

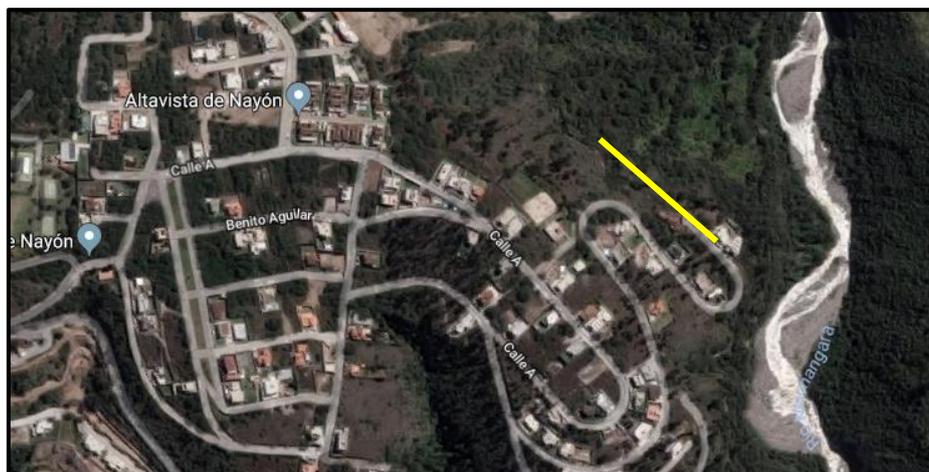
MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO

PROLONGACIÓN CALLE S/N

Para el presente diseño al tratarse de la prolongación de la calle S/N, se tomó en consideración el tipo de capa de rodadura existente.

UBICACIÓN

La calle S/N, se encuentra ubicada dentro de la Urbanización Juan Montalvo, tiene un ancho de la sección transversal de 8,00 metros repartidos en 5,60 metros de calzada y 2 aceras de 1.20 metros cada una y termina en una curva de retorno cuyo radio interno es 5,60 metros. Actualmente se encuentra adoquinada y cuenta con todos los servicios básicos, la finalidad de su prolongación se debe a la intención de dar acceso a una parte del inmueble de Propiedad del Sr. Jibaja René.



DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE – ADOQUÍN

El diseño del pavimento flexible de adoquín según la AASHTO, parte de datos ya establecidos según los resultados obtenidos de los estudios pertinentes del tráfico y de mecánica de suelos.

Los tipos de pavimentos empleados tradicionalmente han sido el asfáltico y el de concreto. Algunas veces las soluciones convencionales son antieconómicas, resultando más favorable el diseño de pavimento en adoquines. El adoquín es un elemento fabricado, su calidad se controla en la misma planta de donde proceden, su colocación no requiere de ningún equipo especial y su conservación es muy económica.

Para el diseño de un pavimento de adoquines se consideran componentes fundamentales que darán garantía de un óptimo periodo de diseño, y son:

1. Capa de rodadura compuesta por los adoquines
2. Cama de arena
3. Sub-base compuesta por los materiales escogidos de mejor calidad que el suelo de fundación.
4. Restricción de borde: elementos de confinamiento en todos los bordes del área pavimentada.

La sub-base descansa a su vez en el suelo de fundación, cuya superficie superior se denomina plataforma.

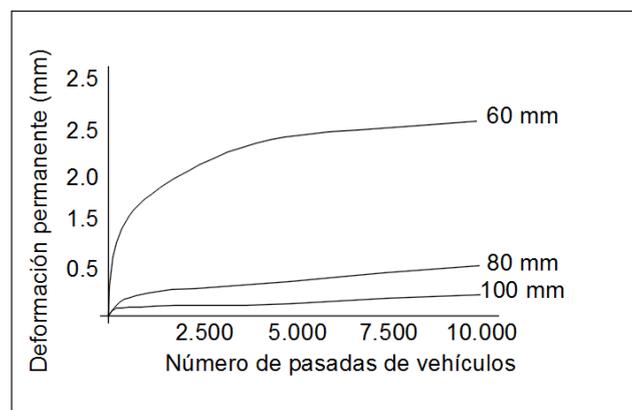
Capa de rodadura compuesta por los adoquines

Es la superficie de desgaste del pavimento y cumple además un relevante rol estructural.

La propiedad de distribución de los adoquines trabados empleados en una capa de rodadura depende esencialmente de su forma, espesor y aparejo.

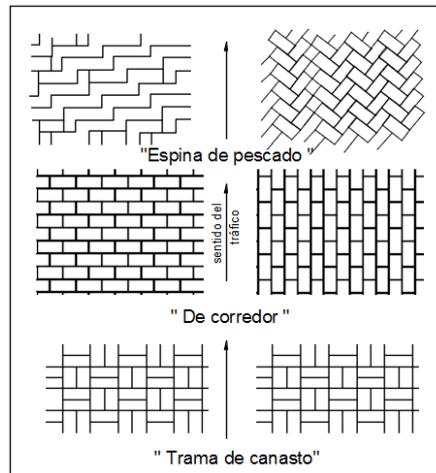
- a) Forma: los ensayos han demostrado que los adoquines de lados dentados se comportan mejor que aquellos de lados rectos o curvas suaves.
- b) Espesor: en base a los ensayos que la AASHTO ha realizado con el simulador de vehículos pesados confirma que las deformaciones permanentes en el pavimento son considerablemente menores con adoquines de 8 cm que con adoquines de 6 cm, a igualdad de condiciones. Con adoquines de 10 cm, el beneficio adicional no es tan acentuado.

Figura. Relación entre espesor de los adoquines y deformación permanente



- c) Aparejo: los aparejos “espina de pescado” y “trama de canasto” experimentaron las menores deformaciones, en condición de tráfico intenso el aparejo “espina de pescado” es considerado el más adecuado.

Figura. Aparejos más usuales para la colocación de los adoquines



- d) Resistencia mecánica: la resistencia a la compresión de las unidades demostró no tener influencia en el comportamiento de los pavimentos bajo carga vehicular dentro de un rango de 250 a 550 kg/cm².

Otros factores concernientes a durabilidad son los que influyen en la fijación de resistencias exigidas que varían de 500 a 600 kg/cm², valores que van asociados directamente con los fenómenos de congelación y resistencia a la acción de sales descongelantes.

Cama de arena

El objetivo básico de la colocación de la cama es servir de base de asentamiento de los adoquines. Se recomienda un espesor de aproximadamente 3 cm . Éste espesor de 3 cm se considera una constante en el diseño de pavimento de adoquines.

Nota: A nivel nacional se tiende una cama de arena de 3 cm de espesor y no se compacta.

Sub-base

Tiene por objeto fundamental absorber las presiones que recibe de las capas superficiales y transmitirlas uniformemente al terreno de fundación.

Las sub-bases pueden ser granulares o granulares estabilizadas con cemento.

- a) Sub-bases granulares

Los factores principales que influyen en el comportamiento de esta capa de pavimento son la calidad de los materiales que lo componen, el espesor de la capa y una adecuada compactación.

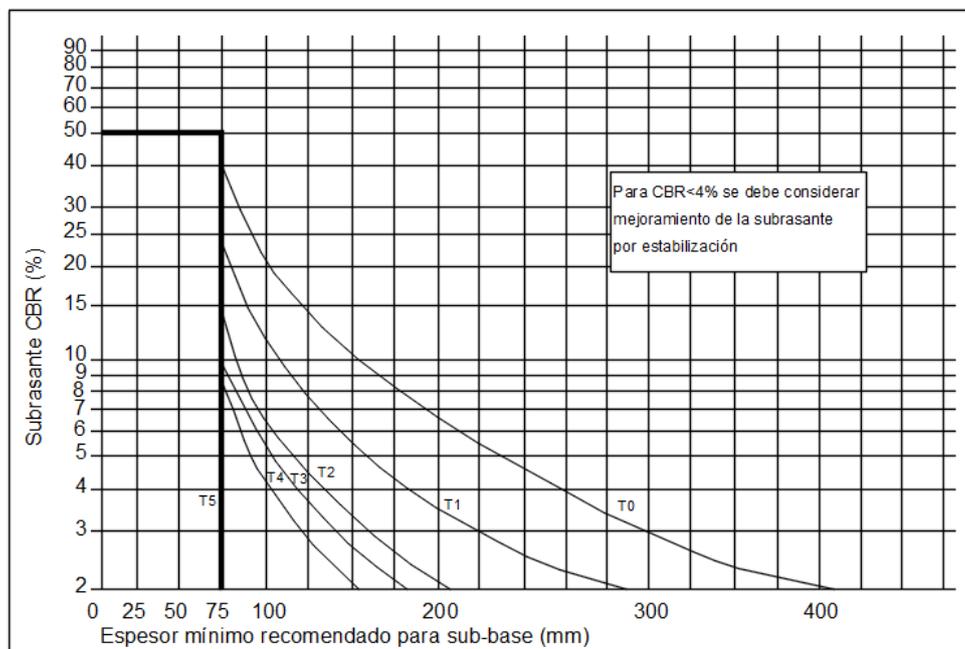
El mayor espesor determinado conlleva a menores tensiones y deformaciones de la sub-rasante, factores que inciden en la vida estructural de pavimento.

En la figura se presenta el espesor mínimo recomendado para las sub-bases de pavimentos de adoquines en función de la sollicitación del tráfico y de la capacidad soportante del terreno.

El gráfico puede aplicarse para tráfico livianos y medianos, limitados en los siguientes aspectos:

- Carga bruta máxima sobre ruedas sencillas (2.7 ton)
- Carga bruta máxima sobre un eje:
 - ✓ Con ruedas sencillas (4.8 ton)
 - ✓ Con ruedas dobles (9.0 ton)
- Carga bruta máxima sobre eje tándem:
 - ✓ Con ruedas sencillas (9.6 ton)
 - ✓ Con ruedas dobles (16.4 ton)
- Presión máxima inflado de neumático 45 PSI.

Figura. Espesor mínimo recomendado para sub-base (mm)



Fuente: AASHTO, Guía de diseño de pavimentos de adoquines, 1983, 30 páginas.

b) Sub-base granular estabilizada con cemento

Se usa cuando se desea impedir la penetración de agua superficial al suelo de fundación, si éste es susceptible de deterioro en su capacidad resistente con la humedad; además exigen un menor espesor equivalente que al emplear las sub-bases granulares sin estabilización. Éste menor espesor compensa al mayor costo que significa el tratamiento, con una economía en excavaciones y rellenos compactados.

Para efectos de diseño se puede suponer que 1 cm de material granular estabilizado con cemento es equivalente a 1.6 cm de material granular compactado (de CBR 50%).

La resistencia del material granular tratado con cemento debe ser de 45 kg/cm² a los 7 días, para obtener esta resistencia se requiere del orden de 70 kg de cemento por m³ de sub-base.

El espesor mínimo recomendado para las bases tratadas con cemento es de 10 cm.

A demás se debe realizar un análisis de tráfico así como de los cambios climáticos que se producen en el área del proyecto.

Análisis del tráfico

La evaluación del tráfico debe considerar las diferentes cargas (pesos) por rueda eje o tandem y su frecuencia de operación en el periodo de diseño, como se indica en el gráfico:

Cuadro. Correlación entre carga por eje y factor de daño.

Correlación entre carga por eje y factor de daño			
Eje simple		Eje Tandem	
Carga (ton)	Factor de daño "F"	Carga total ambos ejes (ton)	Factor de daño "F"
0,9	0,0002	4,5	0,01
2,7	0,01	6,4	0,03
4,5	0,06	8,2	0,08
5	0,13	10	0,17
6	0,28	11	0,26
7	0,53	12	0,38
8	0,92	13	0,53
8,2	1,00	14	0,73
9	1,50	15	0,97
10	2,34	16	1,27
11	3,49	17	1,63
12	5,05	18	2,07
13	7,13	19	2,59
14	9,84	20	3,21
15	13,32	21	3,95
		22	4,80

Fuente: AASHTO, Guía de diseño de pavimentos de adoquines, 1983, 30 páginas.

Para efectos de diseño de pavimentos se fija 20 años para un buen desempeño de la vida estructural.

Al no disponer de información previa o si el tráfico es muy diversificado, se puede obtener una guía general de la clasificación de acuerdo a su tráfico.

Cuadro. Clasificación de calles según tráfico.

Clasificación de calles según tráfico		
Curva de tráfico	Descripción de uso de cada pavimento	Ejes Standard equivalente en 20 años de servicio
T5	Patios, terrazas, veredas peatonales, plazas, pabellones, de exposiciones, áreas alrededor de piscinas, pistas de bicicletas.	0
T4	Entradas en conjuntos habitacionales. Estacionamientos (solo autos), calles o pasajes residenciales, con menos de 15 vehículos comerciales día.	0 - $4,5 \times 10^4$
T3	Calles residenciales (15 a 50 veh com/día). Estaciones de servicio. Estacionamientos comerciales.	$4,5 \times 10^4$ - $1,4 \times 10^5$
T2	Calles residenciales (50 a 150 veh com/día). Terminales de buses. Patios de almacenamiento. Pisos en industrias livianas.	$1,4 \times 10^5$ - $4,5 \times 10^5$
T1	Calles importantes, avenidas (2) (150 a 500 veh com/día). Pisos en industrias medias a pesadas (3). Acceso de áreas industriales.	$4,5 \times 10^5$ - $1,4 \times 10^6$
T0	Calles importantes, avenidas (2) (500 a 1500 veh com/día). Pisos en industrias pesadas. Estacionamiento en áreas industriales con tránsito de camiones solamente (4).	$1,4 \times 10^6$ - $4,5 \times 10^6$
1) Vehículo comercial se define como aquel de más de 3 ton brutas. 2) Límite de velocidad 60 km/h 3) Si el tráfico es canalizado, subir a clasificación superior. 4) Se excluye entrada de cargadores frontales pesados.		

Fuente: AASHTO, Guía de diseño de pavimentos de adoquines, 1983, 30 páginas.

Para nuestro proyecto el NTD para la etapa de 20 años = 1.07×10^6 , de donde según el cuadro en la curva de tráfico estaríamos el T1.

EFFECTOS CLIMÁTICOS

Se debe considerar los siguientes casos:

- a) Penetración de agua superficial: La penetración de agua superficial a las capas inferiores del pavimento, puede ser perjudicial para el buen comportamiento del pavimento si los materiales existentes son susceptibles a deteriorarse con la humedad.

- b) Napa subterránea: En este caso la presencia de agua es inevitable, si se trata de suelos arcillosos o limosos será necesario la instalación de un drenaje adecuado.
- c) Efectos de las heladas: Este fenómeno se manifiesta de dos maneras diferentes:
- Aumento de volumen por expansión de agua al congelarse en las épocas frías del año.
 - Reducción de la capacidad resistente de los materiales de base durante el periodo de deshielo.

Metodología de diseño

El diseño se realiza de acuerdo a los parámetros necesarios que considera la AASHTO.

El proceso aplicado es el siguiente:

1. Evaluación del CBR del suelo de fundación.
2. Análisis de los efectos climáticos presentes en el área de influencia del proyecto.
3. Clasificación del pavimento en la categoría correspondiente según el tráfico obtenido del estudio. Este campo es la descripción del uso de pavimentos para la clasificación de las calles según el tráfico.
4. Con los valores del CBR del suelo, clasificación del tráfico y efectos climáticos, determinar el espesor de la sub-base de acuerdo a la Figura.
5. Con el Cuadro, y de acuerdo a la clasificación del tráfico, se obtienen los restantes datos:
 - ✓ Resistencia del adoquín
 - ✓ Combinaciones de forma
 - ✓ Espesor
 - ✓ Aparejo
6. Realizar consideraciones de drenajes superficial y subterránea si fuese necesario.

7. A demás es necesario identificar soleras, pendientes y otros detalles que al juicio del diseñador – proyectista incidan en el buen comportamiento del pavimento.

PARA EL PROYECTO

Para nuestro proyecto sabemos que en la clasificación del tránsito estamos en T1 y de acuerdo al cuadro encontramos los parámetros de diseño.

PRIMER MÉTODO

Cuadro. Recomendaciones para soluciones típicas de pavimentos de adoquines

Recomendaciones para soluciones típicas de pavimentos de adoquines							
Tráfico		Base y sub-base		Adoquín requerido			
Clasificación de Tránsito	Nº de vehículos comerciales por día 3 ton brutas	Suelo de fundación	Espesor mínimo Sub-base (mm)	Forma	Espesor mínimo (mm)	Aparejo	Resistencia característica Mpa (Kg/cm2)
T5	0	EXC	75	A	60	H-S	35
		BUE	75	B	60	S	
		REG	75	C	50	H-S	357
		POB	75				
T4	0 - 15	EXC	75	A	60	H-S	35
		BUE	75	B	60	S	
		REG	85	C	80	H-S	357
		POB	160				
T3	15 - 45	EXC	75	A	60	H-S	35
		BUE	80	B	80	S	
		REG	100	C	80	H	357
		POB	180				
T2	45 - 150	EXC	75	A	60	H	35
		BUE	85	B	80	S	
		REG	120	C	100	H	357
		POB	210				
T1	150 - 450	EXC	85	A	80	H	45
		BUE	120				459
		REG	150				
		POB	300				
T0	450 - 1500	EXC	120	A	80	H	45
		BUE	160				459
		REG	230				
		POB	450				

Aparejos:

H: Espina de pescado (Herringbone). S: otros aparejo.

El adoquín B no puede instalarse en aparejo espina de pescado.

Fuente: AASHTO, Guía de diseño de pavimentos de adoquines, 1983, 30 páginas.

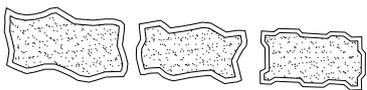
Parámetros de diseño

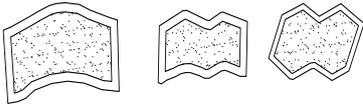
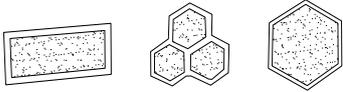
- **ADOQUINES:** Se opta por adoquines en cruz de 20*20 cm o más y un espesor de 8 cm debido al tráfico presente y futuro proyectado.
- **RESISTENCIA DEL ADOQUÍN:** De acuerdo al Cuadro, se tiene que es de 45 MPa (450 kg/cm²).
- **APAREJO:** Considerando la facilidad y rapidez en la colocación se opta por el aparejo de corredor – hileras. Estas hileras deben atravesar la dirección de circulación de los vehículos.
- **NAPA DE AGUA:** No se presume que suba sobre 0.60 m bajo el nivel de la sub-rasante.
- **TIPO DE SUELO:** Se define de acuerdo al Cuadro, presentada por la AASHTO de estimación de la capacidad resistente del suelo. Es un suelo bueno.

Cuadro. Estimación de la capacidad resistente del suelo – CBR

Estimación de la capacidad resistente del suelo – CBR	
Tipo de terreno, según AASHTO	Capacidad resistente C.B.R
Excelente Esencialmente granulares bien graduados, baja plasticidad Clasificación AASHTO grupos A1, A2, algunos A3	20 o más
Bueno Gravas o arenas firmes mezcladas con arcillas. Clasificación AASHTO grupos A2, A3, algunos A4	10 a 19
Regular Arenas arcillosas, arenas limosas con bajo contenido de mica, alguna plasticidad. Clasificación AASHTO grupos: de A4 a A7	6 a 9
Pobre Arcillas plásticas, limos finos, arcillas limosas, muy finas o micáceas. Clasificación AASHTO grupos: de A4 a A7	5 o menos

Cuadro. Formas de tipos de adoquines.

	<p>A. Adoquines dentados que se entrelazan entre si en los cuatro costados, capaces de ser aparejados en “espina de pescado” y que por su geometría plana, al unirse, resisten el desplazamiento relativo, tanto en sentido longitudinal como transversal.</p>
	<p>B. Adoquines dentados que se entrelazan entre si solo en dos costados, que no pueden aparejarse en “espina</p>

	<p>de pescado” y que por su geometría plana, resisten desplazamientos relativos solo en las caras paralelas a los ejes longitudinales, dependiendo de su precisión dimensional y de la precisión de colocación para que traben en las otras caras.</p>
	<p>C. Adoquines rectangulares u otras formas geométricas (trapezios, hexágonos, triedros, etc.) que dependen solo de su precisión dimensional y de colocación para desarrollar alguna trabazón.</p> <p>Algunas formas típicas de cada grupo se presentan en la figura.</p>

En el presente proyecto de acuerdo al estudio de suelos se obtiene un CBR DE 16.00% lo que significa que el terreno es BUENO, para la colocación de los adoquines.

- **TRAFICO:** de acuerdo al Cuadro, se considera un tráfico Tipo 1 porque el diseño es considerado para avenidas y calles de importancia aunque sean de segundo orden ya que el tráfico circulante es representativo para este tipo de pavimento de adoquines. El valor equivalente del eje estándar en 20 años de servicio para este tipo de tráfico es de $4.5 \cdot 10^5 - 1.4 \cdot 10$.
- **SUBRASANTE:** Se obtiene del estudio de suelos, un valor de CBR = 16.00%. De acuerdo al cuadro, se puede mejorar el CBR en un 2% al no haber napa de agua cercana a la superficie. Por lo tanto en el presente diseño el CBR de considerado será la misma de 16.00% debido a que no se recomienda cambio cuando el CBR de diseño saturado es del 10% o mayor.

Cuadro 4. 1. Mejoramiento del CBR si no hay napa superficial.

CBR de diseño saturado	Mejoramiento en CBR de diseño
2% o menos	+ 1%
3 a 10%	+ 2%

10% o más	No se recomienda cambio
-----------	-------------------------

Fuente: AASHTO, Guía de diseño de pavimentos de adoquines, 1983, 30 páginas.

- **ESPESOR DE LA SUB-BASE:** De la Figura, se puede deducir que el espesor debe ser de 12 cm.

Las consideraciones de los valores correspondientes a cada uno de los parámetros de diseño, fue de acuerdo al criterio ingenieril de experiencias en el campo laboral de la construcción de pavimento de adoquines así con el apoyo de cuadros, figuras y curvas empleadas durante el proceso de diseño.

Esta consideración realizada es una estimación inicial como punto de partida para el posterior diseño del pavimento de adoquín que se presenta a continuación como resultados finales en base al cuadro de las recomendaciones para las soluciones típicas de pavimentos de adoquines.

RESULTADOS

Adoquín de hormigón (cemento) = 8 cm (diseño)

Capa de arena (base) = 3 cm (criterio del diseñador)

Sub-base (base + sub-base) = 12 cm (diseño)

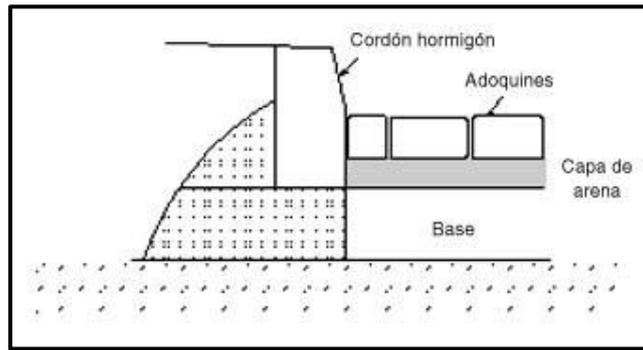
Forma del adoquín = dentado entrelazados en los cuatro costados, pero por facilidad se opta por el adoquín en cruz. (Criterio del diseñador)

Aparejo = espina de pescado, pero por rapidez se opta por el aparejo por hileras. (Criterio del diseñador)

Resistencia característica del adoquín = 35 MPa (criterio del diseñador, porque en el mercado es el más comercial)

Pendientes = muy variables en toda el área de influencia. Aspecto de mucha importancia a ser considerado durante la construcción. (Criterio del diseñador)

Figura- Sección transversal del pavimento de adoquines.



SEGUNDO MÉTODO

La misma AASHTO presenta otro procedimiento de diseño de acuerdo a los datos que se considera fundamentales, pero diferentes al primer método. En éste método, para el cálculo de los espesores, se utilizó la Guía Diseño AASHTO1993.

Este método tiene de base fundamental el cálculo del número estructural para luego realizar la conversión a espesores de capa de pavimento.

En este método los parámetros de diseño son:

Índice de confianza: Valor asumido de acuerdo al criterio de seguridad que se da al pavimento según el periodo de diseño considerado.

Está entre el 75% - 95%.

Asumido = 85%

Índice de servicio inicial (Po): Es directamente proporcional al diseño de pavimento y la calidad de la construcción.

Para pavimentos rígidos = 4.5

Para pavimentos flexibles = 4.2

Asumido = 4.2

Índice de servicio final (Pt): Está en función de la categoría del camino y también en base al criterio del diseñador.

Para caminos principales = 2.5

Para caminos de tránsito menor = 2.0

Asumido = 2.2

Índice de servicio de diseño: Determinado por la diferencia entre el índice de servicio inicial menos el índice de servicio final.

$Pd = 4.2 - 2.2 = 2.0$

Desviación estándar: Es un índice sensible a las variaciones por la dispersión de datos de tráfico existente, por ende variación del comportamiento del pavimento.

Para pavimentos flexibles = 0.40 – 0.50

Para pavimentos flexibles de construcción nueva = 0.35 – 0.40

En sobre-capas = 0.50

Asumido = 0.45

CBR de sub-rasante: Obtenido del estudio de mecánica de suelos.

Asumido = 16.00%

Módulo de resiliencia: Ya que por lo general los suelos a profundidades consideradas para el estudio de suelos son de grano medio a fino se puede considerar que es igual a $1500 \cdot CBR$.

Asumido = $1500 \cdot 16.00 = 24000$

Periodo de diseño: Debe ser mínimo de 10 años.

Asumido = 20 años

Numero de ejes equivalentes: Obtenido del estudio del tráfico del proyecto.

Asumido = $1.07 \cdot 10^6$

Numero estructural (SN): Determinado en el diseño de pavimento flexible – asfalto, de acuerdo al nomograma considerado.

Asumido = 2.80

CALCULO DE ESPESORES

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2$$

Dónde:

SN = número estructural = 2.8 (se determina aplicando el proceso realizado en el diseño de pavimento asfáltico)

a_1 = coeficiente de carpeta (adoquín) = 0.45 (presentado en la Guía de diseño de pavimentos de la AASHTO).

a_2 = coeficiente de base = 0.14 (dato exclusivo para base), (presentado en la Guía de diseño de pavimentos de la AASHTO)

D_1 = espesor de adoquín

D_2 = espesor de la base

NOTA: Las unidades que emplea este método es pulgadas.

Si el espesor del adoquín es de 8 cm, entonces:

$$2.80 = 0.45 \cdot (8/2.54) + 0.14 \cdot D_2$$

$$D_2 = (2.8 - 1.4173) / 0.14$$

$$D_2 = 9.87 \text{ pulg.}$$

$$D_2 = 24,7 \text{ cm}$$

$$D_2 = 25 \text{ cm}$$

En base a los cálculos anteriores, la estructura de pavimento quedaría conformada:

RESULTADOS

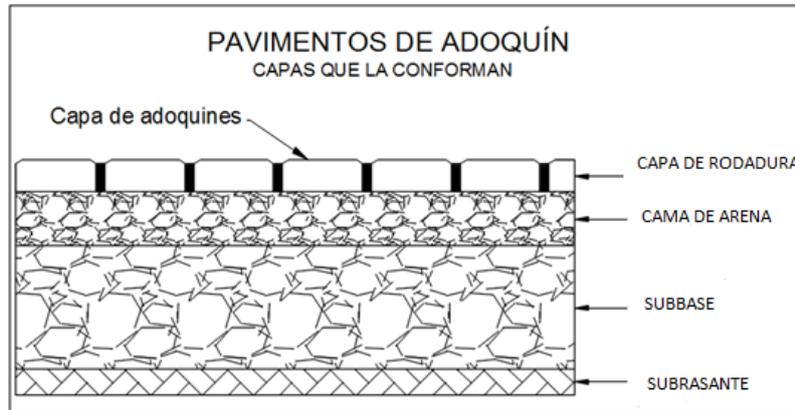
Adoquín de hormigón (cemento) = 8 cm (criterio del diseñador)

Capa de arena (base) = 3 a 5 cm (criterio del diseñador)

Base granular = 24.7 cm. Se opta por 25 cm, en este caso se coloca 25 cm de base. (Criterio del diseñador)

Sub-rasante = terreno natural

Figura. Sección transversal de un pavimento de adoquín.



RESULTADOS FINALES DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Tabla. Resumen de resultados del diseño de pavimentos

RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS		
CAPAS	ADOQUÍN	
	1º MÉTODO	2º MÉTODO
SUB-BASE	12 cm	25 cm
BASE		
CAMA DE ARENA	3 cm	3 cm
CAPA DE RODADURA	-	-
ADOQUÍN	8 cm	8 cm

Presentamos a continuación la sección típica para el diseño de pavimento de adoquín.

Figura. Sección típica de pavimento de adoquín

