

consiguiente, el rendimiento es muy variable, pudiendo estimarse entre 200 y 600 m³ por hora.

Los rodillos neumáticos se usan principalmente en suelos arenosos con finos poco plásticos, sin grumos; también pueden usarse en suelos constituidos por limos poco plásticos.

12.13.3. **Compactación por Impacto**

En este grupo se incluyen los diferentes tipos de pisonos y ciertas clases de rodillos apisonadores. Su empleo está limitado a determinados trabajos, como compactación de zanjas, remoción de cimientos, áreas adyacentes a cámaras o estribos de puentes, etc., en donde no pueden usarse otros equipos de compactación, por razones de espacio o de peso excesivo.

En la compactación por impacto, la duración de transmisión del esfuerzo es muy corta. Los rodillos operan a velocidades de 20 a 25 km/hora. Su mejor rendimiento se logra en suelos finos con abundante contenido de grava, o en suelos finos residuales.

12.13.4. **Compactación por vibración**

Este sistema de compactación emplea un mecanismo del tipo de masas desbalanceadas o hidráulico pulsativo. La frecuencia de las vibraciones influye notablemente en el proceso de compactación; el intervalo de variación óptimo puede estar entre 0,5 y 1,5 veces la frecuencia natural del suelo, lo que equivale a usar frecuencias del orden de 1.500 a 2.000 ciclos por minuto, si bien existen equipos que alcanzan hasta 5.000 ciclos por minuto.

Los principales factores de la vibración para la operación del rodillo son:

- a) la frecuencia, o número de revoluciones por minuto del oscilador.
- b) la amplitud de la vibración.
- c) el empuje dinámico, generado en cada impulso del oscilador.
- d) la carga muerta, o sea el peso del equipo, sin considerar el oscilador.
- e) la forma y tamaño del área de contacto del vibrador y el suelo.
- f) la estabilidad de la máquina.

- g) el contenido de agua del suelo y su naturaleza.

La ventaja principal que ofrece la vibración es el poder trabajar con capas de mayor espesor que con otros sistemas.

En los suelos gruesos, la vibración reduce considerablemente la fricción interna de las partículas del suelo, produciendo al mismo tiempo una reorientación de estas últimas en el momento en que tienden a separarse y trasladando las partículas finas hacia los huecos entre las más gruesas. En estos suelos pueden existir presiones capilares importantes, lo que requiere que se agregue agua para rebajar dichas presiones. Este hecho ha llevado a establecer métodos para la compactación de arenas gruesas, gravas y fragmentos de roca.

En los suelos finos arcillosos existe una gran influencia del contenido de agua, las arcillas húmedas pueden compactarse con energías bastante menores que las secas; sin embargo debe tenerse cuidado en algunos casos, ya que la vibración puede reducir la resistencia al corte en estos suelos.

Los limos y suelos limosos pueden compactarse adecuadamente por métodos vibratorios cuando su contenido de agua se acerca al óptimo y si los espesores de las capas son reducidos.

Un equipo vibratorio de amplio uso, es el manual de placa, accionado por un operador.

Art. 12.14. PRUEBAS DE COMPACTACION EN LABORATORIO.

En el laboratorio se efectúan pruebas de compactación que tratan de representar lo más fielmente posible las condiciones del terreno. Existen las siguientes:

- a) Pruebas dinámicas.
Presentan las siguientes características.
- El suelo se compacta por capas en el interior de un molde metálico cilíndrico.
 - La compactación se obtiene aplicando a cada capa un cierto número de golpes, uniformemente distribuidos, mediante un pisón.
 - Existen expresiones que permiten calcular la energía específica en base a : número de golpes por capa, número de capas, peso del pisón, altura de caída y volumen del molde.

- En todos los casos se especifica un tamaño máximo de partícula, eliminándose las mayores por cribado.

Las pruebas dinámicas más usadas son: la prueba Proctor Standard, la prueba Proctor modificada, la prueba E-10 del U.S. Bureau of Reclamation, la prueba de impactos de California y la prueba británica standard.

b) Pruebas estáticas.

Entre estas puede mencionarse la prueba introducida por O.J. Porter, en la cual se compacta el suelo colocándolo dentro de un molde cilíndrico de 6 pulgadas de diámetro, en tres capas, aplicando 25 golpes de una varilla con punta de bala. La compactación se logra al aplicar al conjunto de las tres capas una presión de 140,6 kg/cm² durante un minuto.

c) Pruebas por amasado.

En estas pruebas se presiona un émbolo de área especificada contra la superficie de las diversas capas de la muestra colocada dentro de un molde; la presión aplicada es constante.

d) Pruebas por vibración.

Generalmente estas pruebas utilizan un molde Proctor montado en una mesa vibratoria. Se estudia el efecto de la frecuencia, de la amplitud y de la aceleración de la mesa vibratoria, así como la influencia de las sobrecargas, de la granulometría del suelo y del contenido de agua.

Art. 12.15. ESTABILIZACION DE SUELOS.

En la Sección 3 del presente Código se exponen los métodos de estabilización de suelos en su aspecto constructivo. En esta Sección se hace una breve exposición de las propiedades estudiadas en la estabilización, y el diseño de las mezclas y de los espesores de las capas estabilizadas.

Las propiedades que más frecuentemente se estudian en los problemas de estabilización, a fin de decidir los procedimientos mediante los cuales pueda obtenerse un mejoramiento en la capacidad de soporte del suelo, son las que se mencionan a continuación:

a) Estabilidad volumétrica.

Esta propiedad se refiere a la capacidad de resistir las

presiones de expansión interna del suelo. Se obtiene mediante la transformación de la masa de arcilla expansiva en una masa rígida o granulada, con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes, para lo cual se aplican principalmente tratamientos químicos o térmicos.

b) Resistencia.

Para mejorar la resistencia mecánica de los suelos se emplea preferentemente la compactación, que es una forma de estabilización mecánica; también pueden usarse otros procedimientos como estabilización mecánica con mezclas de otros suelos, vibroflotación, precarga, drenaje, y estabilización química.

c) Permeabilidad.

Se busca aumentar la permeabilidad del suelo, en especial si está constituido por materiales arcillosos; se usan los defloculantes (polifosfatos), los floculantes (hidróxido de cal o yeso).

d) Compresibilidad.

Para reducir la compresibilidad se usa en general la compactación, aunque todos los métodos mencionados influyen para mejorar este factor.

e) Durabilidad.

En este concepto se involucran la resistencia al intemperismo, a la erosión y a la abrasión por efecto del tránsito. Aunque no existen criterios para evaluar con seguridad este factor, los métodos que se aplican son los de estabilización química con cemento, cal y asfalto.

12.15.1 **Estabilización de algunos suelos comunes.**

Se indica a continuación los procedimientos más usados en la estabilización de los suelos más comunes.

TIPO DE SUELO	ESTABILIZACION USUAL
Arenoso	Cuando la granulometría es uniforme puede usarse mezcla con otros suelos. Para las arenas limpias se usa cemento o asfalto.
Limoso con algo de arcilla	Compactación
Limoso con poca o ninguna arcilla	No apta para estabilización
Arcilloso agrietado	Estabilización con cal
Arcilloso no agrietado y de textura abierta.	Compactación
Arcilloso suave	Estabilización con cal

12.15.2 **Estabilización con cemento (suelo-cemento)**

La capa de suelo que se somete a la estabilización con cemento debe ser flexible, constituida por fragmentos de suelo-cemento entrelazados y trabados. Deben obtenerse resistencias a compresión simple no mayores de 55 kg/cm², ya que resistencias más altas producen un comportamiento rígido. Incluso se considera necesario entregar la calzada al tránsito rápidamente para producir la fragmentación.

Para el diseño de la mezcla se efectúan pruebas de durabilidad en laboratorio; se usa también la prueba triaxial de Texas. Los ensayos sirven para determinar tres aspectos fundamentales en el suelo-cemento:

- La cantidad de cemento necesaria.
- La cantidad de agua que debe agregarse a la mezcla.
- El peso volumétrico al que deberá compactarse la mezcla.

En el Cuadro siguiente se indican las propiedades exigidas a las mezclas de suelo-cemento:

TIPO DE CAPA	RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE Kg/cm ²	C.B.R. %	EXPANSION %	PERDIDA PESO EN PRUEBA HUMEDAD-SECADO %
Sub-bases para tránsito ligero	7 - 14	5 - 15	2	10
Bases para tránsito intenso	14 - 56	20 - 60	2	14
Protección de terraplenes contra erosión y acción del agua.	> 56	60	2	14

Para el diseño de los espesores se considera el efecto de fatiga en base a la distribución del tránsito en cargas de ejes equivalentes, este efecto se cuantifica mediante coeficientes de fatiga; existen tablas que dan los valores de estos coeficientes, en relación al número de cargas por eje. La fatiga de diseño es la sumatoria de los productos de los coeficientes por los respectivos números de ejes equivalentes.

12.15.3 **Estabilización con cal.**

La cal influye directamente sobre el índice de plasticidad de los suelos, en forma tal que reduce su valor en los suelos muy plásticos, tiene poca influencia en los de plasticidad media y aumenta su valor en los suelos finos menos plásticos.

La resistencia a compresión aumenta con los contenidos de cal del orden del 8% en peso; para mayores contenidos, la resistencia no aumenta, salvo en el caso de los suelos más arcillosos.

Para el diseño de espesores, el criterio más usual es dar a la capa de suelo-cal el espesor que resultaría si el suelo no hubiese sido sometido al proceso de estabilización.

12.15.4 **Estabilización con asfalto.**

Prácticamente todos los suelos responden a la estabilización con asfalto, pero los mejores resultados se obtienen en los suelos compuestos de arenas y gravas arenosas.

Aunque la granulometría del material del suelo no es esencial, existen sin embargo algunos requerimientos:

- El tamaño máximo de las partículas debe ser menor que la malla N°4.
- El 35% del material debe ser más fino que la malla N°40.
- El material retenido en la malla N°200 debe estar comprendido entre 10% y 50%.
- El límite líquido de la fracción fina debe ser menor al 40%.
- El índice de plasticidad de la fracción fina debe ser menor al 18%.

Los efectos estabilizantes del asfalto se desarrollan a través de dos mecanismos. El primero consistente en la liga que se produce entre las partículas del suelo, lo cual da cohesión a la mezcla; el segundo es la protección que se obtiene frente a la acción del agua. De estos efectos, el primero es más importante en los suelos granulares y el segundo en los suelos cohesivos.

Respecto de la resistencia a compresión, se ha observado que tiene influencia en el comportamiento de la mezcla el contenido de asfalto sólo en los suelos gruesos, aumentando su valor hasta un cierto límite en dicho contenido. En los suelos finos, el agua tiene una influencia importante en cuanto a afectar el valor de la resistencia. También influye el período de curado de la mezcla, ya que mientras mayor sea éste, es mayor la pérdida de solventes del asfalto, significando un aumento en la resistencia a compresión.

Para el diseño de las mezclas se emplea un método basado en el CBR del suelo. Como ya se expresó, este valor aumenta con el contenido de asfalto hasta un límite, a partir del cual disminuye. En el laboratorio se efectúan pruebas del CBR con especímenes previamente sujetos a un período de inmersión y se determinan contenidos de asfalto que aseguren una buena resistencia ante la acción del agua.

El proceso de mezclado puede tener gran influencia en la estabilidad frente al agua. Si este proceso se prolonga demasiado, disminuye la estabilidad debido a las roturas de las partículas y a la difusión del asfalto en áreas mayores, todo lo cual ocasiona la formación de películas de asfalto más delgadas y más susceptibles a su penetración por el agua.

El diseño de espesores se efectúa igual que en el caso de la estabilización con cal, por el método del CBR, fijando espesores

como los que se obtendría en el suelo sin estabilización. Puede también establecerse una equivalencia empírica entre el espesor de la capa estabilizada y una capa de grava equivalente.

Art. 12.16 NORMAS NACIONALES SOBRE MECANICA DE SUELOS

Las normas del Instituto Nacional de Normalización (I. N. N.) referentes a los ensayos de laboratorio sobre Mecánica de Suelos son las siguientes:

NCh 179 - Símbolos, unidades y definiciones.

NCh 1508 - Guía para la investigación y muestra de suelos y rocas.

NCh 1515 - Determinación de la humedad.

NCh 1516 - Determinación de la densidad en el terreno. Método del cono de arena.

NCh 1517/I - Límites de consistencia. Parte I: Determinación del límite líquido.

NCh 1517/II - Límites de consistencia. Parte II: Determinación del límite plástico.

NCh 1517/III - Límites de consistencia. Parte III: Determinación del límite de contracción.

NCh 1532 - Determinación de la densidad de partículas sólidas.

NCh 1534/I - Relaciones humedad-densidad. Parte 1.

NCh 1534/II - Relaciones humedad-densidad. Parte 2.

NCh 1726 - Determinación de las densidades máxima y mínima y cálculo de la densidad relativa en suelos no cohesivos.

NCh 1852 - Determinación de la razón de soporte en suelos compactados en laboratorio.

SECCION 13

ESTUDIO DEL TRANSITO

Art. 13.1. OBJETIVO

Con el objeto de poder efectuar correctamente la formulación de hipótesis, proyecciones y cálculos de volúmenes, frecuencias y composiciones del tránsito, para ser utilizados en el diseño de los pavimentos, es imprescindible efectuar estudios de tránsito cada vez que la magnitud de la inversión a efectuar justifique hacerlo; sin embargo, en proyectos de pequeña magnitud resulta más conveniente basarse en los estudios que puedan existir al respecto y a la experiencia acumulada, parte de la cual ha sido condensada en esta Sección.

Art. 13.2. CLASIFICACION DE LOS VEHICULOS

Para el diseño de un pavimento rígido o flexible se requiere conocer las solicitaciones debidas al tránsito que deberá soportar durante la vida de diseño; este conocimiento puede obtenerse mediante censos de tránsito, que informan sobre número y tipo de vehículos en circulación, y mediante una estimación del tránsito futuro basada en estos datos y

proyectada de acuerdo a una probable tasa de crecimiento anual. Especial relevancia reviste la medición de las frecuencias de las diferentes categorías de carga por eje en los vehículos pesados, tales como camiones, buses y otros, que determinan la estratigrafía del tránsito; su objeto es el de establecer la distribución relativa de estas diferentes cargas por eje. Otro aspecto de importancia en un censo es la determinación del número total de vehículos que circulan, para así estimar la capacidad necesaria de las vías, de acuerdo al nivel de servicio deseado y estudiar el correspondiente diseño geométrico de las mismas.

El diseño de espesores de las capas que constituyen la estructura de un pavimento es función principalmente de la intensidad y frecuencia de las cargas, del tránsito a partir desde cierto valor mínimo de dichas cargas, lo cual justifica la necesidad de determinar, mediante el censo de tránsito, el número y tipo de vehículos pesados. La distribución porcentual obtenida en esta forma en una vía urbana determinada es aplicable, de acuerdo a la experiencia recogida, a las demás vías de características similares, permitiendo así una clasificación de tales vías en la forma que se establecerá más adelante.

Es necesario, a su vez, establecer una clasificación de los vehículos, la que resulta conveniente en base a la forma en que se distribuyen los ejes y las ruedas en cada eje. Así, se distinguen los **ejes simples, dobles y triples**, y los tipos de **rodado simple o doble**, según si estén constituidos por una o dos ruedas montadas en cada extremo del eje.

Art. 13.3. ESTRATIGRAFIA DE TRANSITO

Se ha mencionado brevemente en qué consiste la estratigrafía de tránsito; en general, para elaborar dicha estratigrafía convendrá agrupar las diferentes cargas por eje en un número reducido de categorías y establecer su frecuencia en base a un cierto número de vehículos, generalmente 1000; esta operación deberá hacerse para cada una de las vías en estudio.

En un reciente estudio efectuado por el MINVU, se obtuvo una estratigrafía de pesos por eje urbana promedio para el país, mediante una base de datos de 75.000 registros tomados en diversas tipologías de vías y ciudades de Chile, la que se desagregó por tipo de eje (simple, doble o triple) y por tipo de transporte (pasajeros, carga y total), arrojando los datos reales que se indican a continuación, a título informativo.

**Estratigrafía de pesos por eje total país, según tipo de transporte
(NoVEH. RANGO TON./1000 VEHICULOS)**

RANGO TONEL	TRANSPORTE CARGA Y PASAJEROS 1000 VEHICULOS				TRANSPORTE CARGA 1000 VEHICULOS				TT.PAX 1000 VEH
	E.S.	E.D.	E.T.	TODOS	E.S.	E.D.	E.T.	TODOS	E.S.
0-1	10	0	0	10	10	0	0	10	11
1-2	356	0	0	356	504	0	0	504	265
2-3	556	1	0	557	481	1	0	482	603
3-4	414	2	0	416	371	6	0	377	441
4-5	325	7	0	332	246	18	0	264	373
5-6	144	8	1	153	126	20	3	149	155
6-7	71	8	1	80	80	22	3	105	65
7-8	41	7	1	49	48	18	2	58	35
8-9	34	8	0	42	35	20	1	56	33
9-10	25	4	0	29	43	10	1	54	14
10-11	18	3	0	21	41	8	0	49	4
11-12	10	3	0	13	27	7	0	34	0
12-13	5	3	0	8	12	8	0	20	0
13-14	2	3	0	5	5	7	1	13	0
14-15	1	3	0	4	3	9	0	12	0
15-16	0	3	0	3	1	8	0	9	0
16-17	0	3	0	3	1	7	0	8	0
17-18	0	2	0	2	0	5	1	6	0
18-19	0	2	0	2	0	5	0	5	0
19-20	0	1	0	1	0	3	1	4	0
20-21	0	1	0	1	0	3	0	3	0
21-22	0	0	0	0	0	1	1	2	0

Conociendo la estratigrafía de tránsito, el número de repeticiones rango de carga deberá transformarse en un número de ejes equivalentes de 18.000 libras (8,16 toneladas) que produzcan igual efecto sobre el pavimento. El procedimiento de diseño recomendado más adelante se basa en esta relación.

La estratigrafía deberá obtenerse en base a censos de tránsito efectuados en los diferentes tipos de vías urbanas a que se refiere el punto siguiente. Si no se dispone de tales antecedentes, podrán emplearse los valores incluidos en el Cuadro Siguiente:

**ESTRATIGRAFIAS DE CARGAS POR EJE PARA CADA
1000 VEHICULOS DE CARGA**

CARGAS POR EJE (Ton)	Vías	Vías	Vías	Vías	Vías
	Expresas	Troncales	Colectoras	de Servicio	Locales
Ejes Simples:					
Menores de 3	1.020	1.060	1.110	1.210	760
3-5	360	355	340	290	540
5-7	220	210	200	190	355
7-9	210	200	180	160	250
9-11	190	170	160	130	125
11-13	50	40	30	30	-
Ejes Tandem:					
Menores de 8	19	4	4	6	3
8-10	2	1	1	1	1
10-12	3	1	1	1	1
12-14	3	3	3	1	1
14-16	3	3	3	1	1
16-18	16	12	11	2	1
18-20	13	6	5	1	1
20-22	10	4	3	1	-

Art. 13.4. CLASIFICACION DE LAS VIAS

Para el diseño geométrico y estructural de las vías urbanas es necesario disponer de una clasificación de éstas con la suficiente amplitud, a fin de que cualquier vía en estudio pueda asimilarse a alguno de los tipos que comprenda dicha clasificación. La finalidad que con esto se persigue es que para cada uno de los tipos de vías, correspondientes a una determinada zona urbana, sean conocidas sus características de tránsito, determinadas por un censo previo, y así estas mismas características puedan ser aplicadas a las nuevas vías.

De acuerdo a lo anterior, se ha adoptado la clasificación de las vías urbanas, establecidas en la Ordenanza General de urbanismo y Construcciones.

Art. 13.5. ESTIMACION DEL TRANSITO FUTURO

Si se pretende diseñar un pavimento para un determinado período de vida útil, será necesario disponer de un medio para determinar el crecimiento del tránsito a través de dicho período, y así obtener el número total de ejes equivalentes que sería necesario considerar en el diseño.

Al respecto, es importante tener en cuenta que el crecimiento en referencia será permanente, siguiendo alguna ley determinada, pero solamente hasta el momento en que llegue a producirse la saturación de la vía.

La forma de determinar la ley de crecimiento consiste en una apreciación de los factores que la influyen, tales como: tendencias históricas, crecimiento del parque automotriz, crecimiento de la actividad económica, construcción y ampliación de vías cercanas, etc. Todo lo anterior podrá permitir fijar una cierta tasa de crecimiento anual o periódica.

Art. 13.6. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE EJES Y TRANSITO DE DISEÑO

Al tratar sobre la estratigrafía de tránsito, se mencionó que era necesario reducir todas las cargas de tránsito en una vía determinada a una carga patrón o eje equivalente de un valor de 18.000 lbs. (8,16 ton.); para esto se emplea un factor de equivalencia, mediante el cual se obtiene que el efecto producido por una carga cualquiera sea traducido en un efecto igual de una determinada carga equivalente.

De acuerdo a estudios de los censos de tránsito en las vías urbanas, ha llegado a determinarse los valores más representativos de los factores de equivalencia para los diferentes tipos de vías; tal determinación se basa fundamentalmente en una estimación suficientemente aproximada de los porcentajes que representan los vehículos pesados en relación al número total de vehículos que transitan por dichas vías, y que son los siguientes:

TIPO DE VIA	% VEHICULOS PESADOS
Expresa	24
Troncal	20
Colectora	18
De Servicio	17
Local	16
Pasaje	14

De acuerdo a estos porcentajes, se ha obtenido los siguientes factores de equivalencia, luego de efectuar, además, una ponderación del número y tipo de ejes en circulación:

TIPO DE VIA	Nº EJES EQUIV. EJE VEHICULO PESADO
Expresa	1,2
Troncal	1,0
Colectora	0,9
De Servicio	0,85
Local	0,8
Pasaje	0,7

La determinación del número total de ejes equivalentes a través de la vida de diseño del pavimento podrá efectuarse, en consecuencia, de acuerdo a dichos factores, aplicados al número total de vehículos pesados en circulación, que se haya obtenido en base a la estimación mencionada anteriormente

Si no se dispone de censos de tránsito que permitan llegar a tal cifra, podrán usarse para el tránsito de diseño los valores que se indican a continuación, obtenidos de un estudio efectuado por el Servicio, en el cual se consideró una vida de diseño de 20 años y una tasa de crecimiento de un 5% anual

TIPO DE VIA	Nº VEHICULOS PESADOS POR PISTA DURANTE VIDA DE DISEÑO
Expresa	$5,0 \times 10^6$
Troncal	$1,5 \times 10^6$
Colectora	$3,5 \times 10^5$
De Servicio	$1,5 \times 10^5$
Local	$6,0 \times 10^4$
Pasaje	$1,0 \times 10^4$

Art. 13.7. CARGAS MAXIMAS DE TRANSITO

De acuerdo a la reglamentación en estudio para aplicarse en las vías urbanas, en relación al peso de los vehículos, se recomiendan los pesos máximos por eje, en toneladas, que se indican en el cuadro siguiente:

TIPO DE VIA	TIPO DE RODADO	PESO MAXIMO POR EJE (TON)
Simple	Simple	5
Simple	Doble	8
Doble	Simple	10
Doble	Doble + Simple	12
Doble	Doble	14
Triple	Simple	14
Triple	2 Dobles + Simple	16
Triple	Doble	18

El peso máximo total por vehículo es de 30 toneladas. No se acepta el tránsito de vehículos con llantas metálicas.

En el diseño debe, en todo caso, considerarse cargas superiores a las indicadas, como son las correspondientes a las cargas máximas por eje establecidas por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, en tanto no sean obligatoriamente establecidas las cargas máximas para vías urbanas.

SECCION 14

DISEÑO GEOMETRICO DE PAVIMENTOS

A) EL DISEÑO EN PLANTA

14.1. ANCHO NECESARIO DE CALZADAS Y ACERÁS

Tanto las calzadas como las aceras deberán tener el ancho que indique el perfil transversal aprobado por el instrumento de planificación que corresponda, sea éste el Plan Regulador Intercomunal, el Plan Regulador Comunal o el Plan Seccional del sector respectivo.

Estos anchos deben ser estudiados atendiendo al tipo de uso del suelo, tipo de vía en estudio, tránsito esperado, volumen y nivel de servicio deseado. (véase el capítulo 3 del Título II de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones).

En cualquier caso, el ancho de la calzada no podrá ser inferior a 3 metros en los pasajes y a 6 metros en las calles, mientras que el ancho mínimo de las aceras será de un metro, dependiendo del tipo de vía que esté diseñando.

Para los efectos de cálculo de la capacidad vehicular de las vías, así como también para su demarcación, debe considerarse que cada pista no podrá

tener un ancho inferior a 2,75 metros ni superior a 4 metros, siendo recomendable la utilización de un ancho modular de 3,50 metros.

Deberá tenerse en cuenta que, al haberse determinado un ancho óptimo de las pistas, existe una reducción de capacidad si el ancho es inferior, de acuerdo a la siguiente relación:

Ancho de la pista (m)	O/O Máx. Reducc. Capacidad
2,75	30
3,00	20
3,25	10

Se propenderá a que el ancho de las pistas y el ancho total de la vía permitan la circulación de un número entero de vehículos, de modo que este número sea, de preferencia, un número par. Esta disposición tiene especial importancia en las intersecciones de las vías.

Cuando en el diseño se contemplan elementos de canalización del tránsito, éstos deberán también cumplir con la condición de permitir el paso de un número entero de vehículos. En las zonas en que existan obstrucciones laterales o curvas, deberá aumentarse el ancho de la calzada, según se expresa en el Artículo correspondiente.

14.2. USO DE SOLERAS Y OTROS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO

En un pavimento de calzada, el diseño de elementos de confinamiento tendrá por objetivo fundamental evitar que los vehículos invadan el espacio destinado al tránsito de peatones. Pero tales elementos cumplirán además otros dos objetivos importantes, que son: a) servir de contención lateral del pavimento e impedir posibles desplazamientos laterales, y b) permitir la formación de una cuneta de suficiente capacidad, sin un ancho excesivo, para la adecuada captación de las aguas lluvias.

En el diseño de pavimentos de calzada se empleará como elementos de confinamiento, en forma preferente, las soleras de hormigón vibrado prefabricadas. Podrá disponerse, sin embargo, el uso de otro tipo de soleras, tales como soleras de piedra o extruídas en sitio, atendiendo a razones de orden práctico o económico.

Las especificaciones constructivas para las soleras serán las contenidas en las Especificaciones de Construcción, que se refieren a soleras de hormigón vibrado y de piedra, respectivamente; para soleras extruídas en sitio, el proyectista deberá proponer especificaciones especiales, que serán sometidas a aprobación por parte del Servicio.

La altura de las soleras sobre el borde del pavimento adyacente a ellas no podrá ser inferior a 12 cms., extendiéndose como tal la del punto más alto de la solera, en particular para las soleras extruídas en sitio.

El uso de las soleras tipos A, B o C, que se mencionan en la Sección 6 del presente Código, se proyectará de acuerdo a la importancia de las vías en estudio; como norma general, en las vías expresas, Troncales, colectoras y de servicio deberá emplearse soleras tipo A exclusivamente, mientras que en las vías locales y pasajes podrán usarse también las soleras tipo B y C.

Para las aceras deberá proyectarse elementos de confinamiento en todos los casos en que estén constituidas por elementos o piezas prefabricadas, tales como baldosas o adoquines. En estos casos, el elemento indicado es la solerilla (Sección 6 del presente código). Sin embargo, si el proyectista lo estima necesario, podrá diseñar otro tipo de confinamiento con especificaciones especiales para su construcción, las que deberán ser sometidas a la aprobación del Servicio.

Un punto importante en el diseño es establecer disposiciones constructivas tendientes a evitar la infiltración de agua a través de las posibles discontinuidades que existan en la superficie de contacto entre los elementos de confinamiento y el pavimento.

14.3 CRUCES A NIVEL Y A DIFERENTE NIVEL

14.3.1. Cruces a Nivel

En las áreas urbanas, la red vial está constituida en un 90 % o más por vías cuyos cruces se producen a nivel (es decir, a un mismo nivel). Independientemente de los dispositivos de prevención (señalizaciones, semáforos), que son necesarios para evitar accidentes en tales cruces, el proyectista de obras de pavimentación deberá considerar en el diseño, las siguientes normas fundamentales:

- a) dentro de las limitaciones naturales existentes en las áreas urbanas, deberá procurarse las mejores condiciones de visibilidad en los cruces.
- b) No deberán producirse discontinuidades en la alineación de los ejes de las vías en los puntos de cruce de los mismos.
- c) El enlace entre las líneas de soleras de ambas vías deberá ser un arco de círculo con un radio no inferior a 6 metros, para permitir que los vehículos puedan girar con comodidad.
- d) Deberá procurarse, en lo posible, que el cruce se produzca en ángulo recto o aproximadamente recto.

14.3.2 Cruces Especiales a Nivel

El diseño de cruces especiales a nivel se exigirá cuando correspondan al encuentro de vías expresas con vías troncales o colectoras. No deberá proyectarse cruces directos entre vías expresas y locales o de servicio.

El diseño de un cruce especial a nivel tendrá por objeto aumentar la seguridad del tránsito de vehículos, y se basará en las siguientes consideraciones:

a) La velocidad de los vehículos debe estar limitada en función de la visibilidad; si la velocidad correspondiente para que esto sea posible es inferior a la velocidad normal de circulación, se adoptarán las medidas tendientes a obtenerlo, mediante inflexión de las trayectorias y / o estrechamiento del ancho del pavimento.

b) Deberá evitarse que los vehículos puedan encontrarse en un mismo punto con otras corrientes de circulación; por consiguiente, tales puntos de encuentro deberán quedar lo más separado que sea posible, adoptando una disposición geométrica adecuada.

c) Deberá procurarse, en lo posible, que los cruces especiales se produzcan en ángulo recto o aproximadamente recto; en ningún caso deberán proyectarse ángulos de cruce inferiores a 60% (sexagesimales), a menos que se usen dispositivos especiales de control de tránsito o de señalización.

d) El trazado de las vías y de los islotes de canalización del tránsito en el cruce especial, debe ser proyectado de modo de facilitar las maniobras permitidas a los vehículos, y de dificultar o imposibilitar las maniobras indeseables o prohibidas.

e) Cuando, a juicio del proyectista, el tránsito que circula por la vía expresa sea intenso, deberá estudiarse el diseño de vías laterales suplementarias que permitan la entrada y salida de vehículos hacia y desde dicha vía.

f) La señalización y demarcaciones deberán efectuarse conforme a las disposiciones establecidas en el Manual de Señalización de Tránsito del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones..

14.3.3. Cruces Giratorios

Los cruces giratorios se usarán como solución de diseño cuando se cruzan dos o más vías, en forma tal que la circulación dentro del cruce tenga sentido único. La separación de los tránsitos que emergen o

acceden desde o hacia las diferentes vías se obtendrá mediante longitudes de entrecruzamiento suficientes entre dos vías consecutivas; con este fin se adoptará en el diseño una velocidad de circulación no superior a 60 Km. por hora.

La forma geométrica de los cruces giratorios podrá ser aproximadamente circular o elíptica; se preferirá la forma elíptica cuando sea necesario disponer de diferentes longitudes de entrecruzamiento, en razón de la diferente importancia relativa de las vías que se cruzan.

14.3.4. Cruces a Diferente Nivel

Los cruces a diferente nivel sólo se proyectarán en cruces de dos vías, limitándolos a los casos en que ambas sean expresas, o bien una de ellas expresa y la otra troncal o colectora.

A fin de determinar la conveniencia o necesidad de construir con cruces a diferente nivel, cuando las obras deban ser financiadas por el Estado, el proyectista deberá hacer un estudio en que se comparen el costo de producción de esta obra y el costo que significaría prescindir de ella, teniendo en consideración factores tales como: seguridad para los vehículos y peatones, demoras ocasionadas por las detenciones, mayor gasto de combustible, congestionamiento y aumento de la contaminación ambiental.

En un cruce a diferente nivel, una de las vías preferentemente mantiene su trazado en altura a nivel del terreno circundante, mientras que la otra debe pasar por encima o por debajo de ella. En el primer caso, se habla de un paso sobre nivel, y en el segundo de un paso bajo nivel, desde el punto de vista estructural, se trata de un puente, cuyo proyecto deberá incorporarse al proyecto general de la obra.

Para permitir el paso de los vehículos de una vía a otra, se diseñará las vías de enlace, cuyo trazado deberá responder, en lo posible, al de una curva geométrica característica; por lo general un arco de círculo, de ovoide o de clotoide.

En el proyecto deberá tenerse presente los siguientes puntos importantes:

- a) Los giros de los vehículos deben efectuarse hacia la derecha salvo en casos muy justificados en que no se comprometa la seguridad.
- b) La velocidad de circulación que se considere en las vías de enlace será no mayor de un 70% de circulación en las vías que se cruzan.

- c) Las vías de enlace deberán tener un solo sentido de tránsito y 4 metros de ancho como mínimos.
- d) Los pasos sobre o bajo nivel deben cumplir con las siguientes características: Atura mínima 4,30 metros; ancho total: el de la calzada más 1,20 metros de acera a cada lado como mínimo. Si el puente tiene apoyos o pilares intermedios, se dejará como mínimo 1,20 metros libres a ambos lados de la línea de pilares.
- e) La pendiente más adecuada para las vías de enlaces de un 4 % a un 6%.
- f) Las vías de enlace deberán tener aceras en uno de los costados a lo menos.
- g) El número de vías de enlace (dos o más), se fijará de acuerdo a la importancia de las vías que se cruzan.
- h) Cuando sea previsible que una vía de enlace deberá soportar una intensidad de tránsito de cierta importancia, su capacidad deberá determinarse considerando, además de su ancho, características geométricas y velocidad de circulación, el número de entradas y salidas de vehículos que se estime en el estudio correspondiente.
- i) La entrada y salida de vehículos desde y hacia la vía expresa podrá facilitarse mediante vías de aceleración o deceleración, adyacentes a ella, y equivalentes a un ensanche de la calzada (Véase volumen 3 del Manual de Vialidad Urbana).
- j) Reviste especial importancia el problema del desagüe en los pasos bajo nivel cuya solución será materia de un estudio complementario dentro del proyecto correspondiente.

14.4.

El diseño de las curvas horizontales deberá estar relacionado con dos variables fundamentales: la visibilidad y la velocidad máxima de los vehículos.

A fin de satisfacer las condiciones que resulten de los valores que deba adoptarse para cada una de las variables señaladas, se aplicará los siguientes criterios de diseños:

- a) Las curvas deberán tener el radio y el peralte necesarios para evitar los peligros derivados de la falta de visibilidad y de la acción de la fuerza centrífuga.

b) El paso de la alineación recta a la curva deberá hacerse, si es preciso, mediante una curva de transición.

c) En las vías de alta velocidad (expresas y algunas troncales) será necesario diseñar un sobreebanco en las curvas.

El radio de la curva deberá calcularse mediante las fórmulas que relacionan las variables a que se ha hecho referencia. En todo caso no deberá adoptarse un valor inferior a que se indica a continuación:

Para vías expresas : 100 metros

Para vías troncales : 60 metros

En el proyecto se especificará los siguientes datos de la curva horizontal: radio, ángulo en el centro, longitud de las tangentes, longitud o desarrollo de la curva, longitud de la secante; además deberá indicarse la posición exacta del principio y fin de la curva, mediante el valor correspondiente del metraje o kilometraje acumulado desde el punto origen o cero del proyecto, y la posición geométrica del proyecto, y la posición geométrica del vértice.

14.5

CURVAS DE TRANSICION

Las curvas de transición, intercaladas entre una curva horizontal y las alineaciones rectas inmediatas a ella, podrán usarse en los casos en que el proyectista lo considere necesario. Para ello, deberá analizar las variables que intervienen en el problema, como son: longitud de la transición, velocidad mínima y radio de la curva circular. Se usará la curva de transición siempre que la longitud que para ella se obtenga sea de un valor significativo, lo cual se deja a criterio del proyectista.

Para la determinación de la longitud de transición se podrá aplicar las fórmulas de uso habitual en este caso.

Podrá emplearse como curvas de transición las siguientes curvas geométricas:

- a) Clotoide o espiral de transición.
- b) Ovoide
- c) Lemniscata
- d) Parábola cúbica.
- e) Círculo de radio mayor al de la curva circular.

Para el replanteo de la curva de transición proyectada, se deberá indicar un número suficiente de punto con sus respectivas coordenadas ortogonales o polares; además, el metraje o kilometraje medido desde el origen o punto cero del proyecto, correspondiente al principio y fin de curva.

14.6 DISEÑO GEOMETRICO DE LAS JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGON

En las Especificaciones de Construcción se mencionan los diferentes tipos de juntas usados en los pavimentos de hormigón, su ubicación sobre el pavimento y la distancia a que deben ser construídas. Nos referimos, en este caso, a la disposición geométrica que conviene usar, especialmente en las juntas de contracción, a fin de evitar la formación de puntos o zonas débiles y de potencial aparición de grietas.

La disposición geométrica en planta de las juntas deberá ser la de alineamientos rectos, con intersecciones perpendiculares entre sí; de no ser posible lo anterior, deberán formar ángulos de 60° como mínimo, sin quiebre; su unión a las soleras será ortogonal. La consideración de estos aspectos tenderá a la formación de paños de calzada rectangulares o, en todo caso, en forma de polígono rectangular o simétrico.

Deberá ponerse especial cuidado en la distribución de las juntas en los sectores conflictivos por su forma geométrica irregular, tales como los cruces de calles, tanto a nivel como a diferente nivel; se procurará cumplir con lo indicado anteriormente, como además, se tratará que las superficies de los paños sean aproximadamente iguales y en ningún caso superior a 20 metros cuadrados.

14.7 ESTACIONAMIENTO EN LA CALZADA

En general, el estacionamiento de vehículos puede efectuarse tanto en sitios de propiedad privada, como en bienes nacionales de uso público, debiendo, en este caso satisfacer los presentes requerimientos.

La posibilidad de estacionar en terrenos de uso público admite, a su vez, dos casos a considerar: a) sobre la calzada, y b) en áreas especiales destinadas a tal fin.

14.7.1. Estacionamiento en la calzada

Sobre la calzada podrá considerarse admisible el estacionamiento de vehículos en forma limitada, en vías colectoras de servicio y locales, teniéndose presente la reglamentación edilicia correspondiente; sin embargo, el estacionamiento en vías expresas y troncales se considerará no autorizado.

14.7.2 Estacionamiento en Areas Especiales

Cuando el instrumento de planificación respectivo contemple áreas especiales de estacionamiento de vehículos, situados fuera de la calzada, en el diseño se deberá cumplir con las prescripciones que se establece a continuación:

- a) **DIMENSIONAMIENTO:** Las dimensiones de un área de estacionamiento dependen fundamentalmente del número de plazas que se considere, de la disposición geométrica de éstas y de los espacios necesarios para las evoluciones y la entrada y salida de vehículos. Las dimensiones mínimas para áreas unitarias de estacionamiento son: 4,50 metros de largo por 2,25 metros de ancho; tales dimensiones deberán ser aumentadas según sea la disposición geométrica de dichas áreas y su posición relativa con respecto a obstáculos fijos adyacentes.
- b) **CAPACIDAD:** La capacidad de un estacionamiento deberá ser determinada de acuerdo a los requerimientos de demanda considerados; estará expresada por el número de plazas o áreas unitarias de estacionamiento. Obviamente, deberá considerarse en la determinación señalada, los espacios accesorios mencionados en a). Normalmente se requieren entre 20 y 30 metros cuadrados de superficie total por cada área unitaria, incluyendo dichos espacios accesorios, a fin de que el estacionamiento funcione en forma adecuada; podrá estimarse, a priori, un promedio de 25 metros cuadrados por plaza.
- c) **SEPARACIÓN DE LA CALZADA:** Cuando un área de estacionamiento tenga una superficie útil superior a 100 metros cuadrados, deberá disponer de una faja de separación con la calzada de tránsito adyacente, y de uno o dos accesos, con un ancho no superior a 4 metros si existe un sólo sentido de circulación y no superior a 7 metros si existe doble sentido de circulación. La faja de separación consistirá en un bandejón limitado por soleras, y de un ancho no inferior a un metro.
- d) **EMPLAZAMIENTO:** Las áreas especiales de estacionamiento no deberán, en ningún caso, perturbar la circulación peatonal por las aceras, como tampoco interferir en sus accesos con el tránsito de vehículos en la calzada adyacente. En otras palabras, será necesario respetar la continuidad y el ancho de las aceras y disponer los accesos (entradas y salidas) de estas áreas, en tal forma que permitan que los vehículos puedan operar en forma cómoda y libre de riesgos.
- e) **PAVIMENTO:** La condición superficial de un estacionamiento deberá asimilarse al de la calzada adyacente. En general, requerirá de un pavimento de asfalto u hormigón. El diseño de estos pavimentos deberá ceñirse a las disposiciones contenidas en las secciones correspondientes del presente texto.

f) **DISPOSICION GEOMETRICA:** Las áreas unitarias de estacionamiento podrán disponerse, con relación al eje de calzada, formando ángulos comprendidos entre 0° y 90° , de modo que los vehículos podrán estacionarse en posición paralela o perpendicular a dicho eje, o en cualquier posición intermedia. Deberá tenerse presente que, según sea dicha disposición, podrá haber una diferente capacidad y fluidez dentro del estacionamiento y, en consecuencia, deberá demarcarse adecuadamente cada una de las plazas, a fin de que se logre efectivamente tales condiciones.

B) EL DISEÑO ALTIMETRICO

14.8 TRAZADO DE LA RASANTE, PENDIENTES LONGITUDINALES

La rasante del pavimento será estudiada y determinada de acuerdo a las condiciones topográficas, de mecánica de suelos y de drenaje correspondientes.

Se entenderá por rasante, la línea del eje de la superficie de la calzada de cualquier vía, que corresponde al trazado del perfil longitudinal de la misma, y cuyas cotas están medidas respecto a un cierto plano horizontal de referencia.

En las vías urbanas tiene especial importancia la consideración, dentro de este problema, de las cotas de cimientos y sobrecimientos de las edificaciones contiguas; sin perjuicio de lo anterior, el proyectista deberá procurar una minimización en el volumen del movimiento de tierras, en función de la longitud y de la pendiente de la rasante.

Los puntos bajos del trazado deberán ubicarse en donde la evacuación de las aguas lluvias sea más conveniente y, por otra parte, se procurará que los puntos altos no coincidan con alguna curva horizontal, ya que, si esto sucede, se agregaría un segundo factor de reducción de la visibilidad al que representa, de por sí, dicha curva.

En los pavimentos de hormigón, o de asfalto, la pendiente longitudinal mínima recomendable es de 3%. (tres por mil), no obstante, si fuese forzoso adoptar una pendiente inferior a dicho valor, el proyectista deberá, junto con tal solución, demostrar que ello no significará problemas en la evacuación de las aguas. Para otros tipos de pavimento (adoquines, macadam hidráulico, afirmados granulares, maicillo, etc.), no podrá emplearse pendientes longitudinales inferiores al 5 % (cinco por mil).

Por otra parte, el valor máximo recomendable para la pendiente longitudinal será del 8% en calzadas con pavimento de hormigón, asfalto o adoquines, y del 4% para los demás tipos de pavimento.

El proyectista deberá tener en cuenta que el uso de pendientes muy altas o muy bajas, que se encuentren cerca de los límites señalados o queden fuera de los mismos, podrá tener consecuencias desfavorables, debido a la acción de las aguas, ya que podrán presentarse problemas de infiltraciones con saturación de las capas de infraestructura, como también problemas de erosión o desgaste superficial. Se recomienda estudiar el régimen de precipitaciones y el escurrimiento en los casos en que estos lleguen a sus niveles más altos.

14.9. CURVAS VERTICALES

Cada vez que la línea de la rasante sufra un cambio de pendiente superior al 4%, (deflexión), ya sea por acomodo al terreno o por la ubicación de puntos bajos, es necesario enlazar los dos tramos rectos mediante una curva vertical parabólica o circular. De acuerdo al ángulo que ambas direcciones formen entre sí, la concavidad de la curva puede estar dirigida hacia arriba o hacia abajo.

El radio de la curva circular o la constante de la parábola se elegirá de modo que se obtenga una distancia de visibilidad adecuada. En el caso de curva circular, no deberá emplearse radios inferiores a 200 metros en las curvas convexas, o con su concavidad hacia arriba, ni inferiores a 400 metros en las curvas cóncavas, o con su concavidad hacia abajo. Se recomienda en lo posible, emplear radios iguales o superiores a 700 metros y a 1000 metros, respectivamente.

En el proyecto deberá indicarse los siguientes datos de la curva vertical: radio de la curva circular o flecha de la parábola, según sea el caso, longitud de la tangente, ángulo de deflexión y kilometraje o metraje en el principio y fin de la curva, medida desde el punto origen.

14.10. PERFILES TRANSVERSALES DE CALZADAS EN CALLES

Para ofrecer las mejores condiciones al tránsito de vehículos la forma más conveniente de la intersección entre la superficie de una calzada y un plano vertical perpendicular al eje de la misma sería una línea recta horizontal. Sin embargo, la necesidad de permitir un mejor escurrimiento de las aguas lluvias hace necesario dar a dicha intersección o perfil transversal de la calzada una forma diferente, de modo que la altura sea máxima en el centro y descienda hacia los costados, otorgando así una determinada pendiente transversal al pavimento.

En los caminos, en que por lo general no existe confinamiento lateral del pavimento, y en que además se dispone de fosos recolectores de aguas lluvias, la pendiente transversal de la calzada puede ser suficientemente pequeña; esto se debe a que las aguas recorren siempre el camino de menor longitud, a través de la calzada y de las

bermas del camino, para llegar hasta el foso y, por consiguiente, no habrá acumulación de aguas sobre el pavimento.

Es diferente el caso de las vías urbanas, puesto que en ellas las aguas no disponen de evacuación lateral, y existirá, por lo tanto, acumulación de ellas sobre el pavimento; por consiguiente, será necesario adoptar las medidas necesarias para su evacuación, disponiendo la colocación de desagües o sumideros conectados a la red de alcantarillado de aguas lluvias, a determinada distancia uno de otro.

Entre un punto de evacuación y el siguiente habrá entonces un determinado volumen de aguas acumuladas, las que deberán ser canalizadas a lo largo de los costados de la calzada y en forma tal que el ancho cubierto por las aguas sea el mínimo posible, a fin de evitar molestias, tanto a los vehículos como a los peatones. Para ello, será necesario disponer de pendientes transversales más pronunciadas que en los caminos.

Para determinar el valor de esta pendiente, será necesario considerar una serie de factores: intensidad y duración de las precipitaciones, muy variables según sea la zona del país en que deba trabajarse; distancia a que se encuentran o se proyectan los sumideros y su capacidad de absorción; pendiente longitudinal y ancho de la calzada.

En todo caso, no es recomendable en general usar pendientes transversales superiores al 3%, que podrían afectar a la necesaria estabilidad de los vehículos.

de acuerdo a lo anterior, la solución más simple para el perfil transversal es la de una doble vertiente plana, cuya intersección con el plano vertical de referencia consiste en dos rectas simétricas respecto al centro de la calzada, que constituye su punto de encuentro. Sin embargo, es conveniente eliminar el quiebre de las pendientes de dichas rectas, para lo cual se usa una curva de enlace de un radio similar al indicado en el punto anterior. Sin embargo, tal medida no será necesaria cuando la diferencia de pendientes sea inferior al 4 %.

La solución expresada, en que la parte central del perfil transversal es una curva, puede hacerse extensiva a todo el ancho de éste, lo cual ofrece la ventaja de que las zonas vecinas a las soleras, que son poco usadas por los vehículos, pueden tener mayor pendiente, y así se reduce el ancho cubierto por las aguas lluvias; existe, sin embargo, el problema de una mayor dificultad constructiva y, por consiguiente, la necesidad de usar equipos más sofisticados.

El proyectista deberá decidir sobre el tipo de solución para cada caso en particular.

En el apéndice III (Lámina N°33) se incluyen perfiles-transversales tipo de calzadas, los cuales se basan en lo anteriormente expresado. El uso de estos perfiles no será de uso obligatorio, ya que el proyectista podrá estudiar soluciones que puedan adaptarse mejor en ciertos casos específicos, ya sea empleando valores diferentes para las pendientes transversales de los segmentos que componen la poligonal adoptada en el perfil-tipo, o bien diseñando perfiles constituidos por una curva continua, que podrá ser preferentemente una circunferencia, una parábola de segundo grado o una parábola cúbica.

14.11. PERFILES TRANSVERSALES DE PASAJES Y ACERAS

En los pasajes, por lo general el pavimento es una faja de 3 metros de ancho, con bermas o veredones en tierra a ambos costados. Si el pasaje es de poca longitud (50 m) con pendiente en un sólo sentido, se podrá usar un perfil transversal horizontal. Para una longitud mayor, será conveniente usar un perfil a dos vertientes, similar al de calzada de calles con una pendiente transversal de 1% a 2%; esta solución será apropiada siempre que no se prevea acumulación de aguas en las vermas o veredones, o que se considere difícil su pronta evacuación, ya que podrían ocurrir infiltraciones que afecten a las capas inferiores o a la subrasante del pavimento. En tal caso, una mejor solución consistiría en usar un perfil a dos vertientes en posición invertida, es decir con su punto más bajo en el centro del pavimento, complementada mediante la colocación de sumideros para la recolección de las aguas, conectados a un sistema unitario o separado de captación, o bien mediante pozos de infiltración.

En las aceras, la pendiente transversal deberá estar dirigida hacia la calzada, no debiendo ser inferior a un 2%.

14.12. PERALTE EN CURVAS HORIZONTALES

La necesidad de disponer de un determinado peralte en las curvas horizontales está relacionada directamente con el valor de la velocidad máxima de los vehículos, del radio de la curva y del coeficiente de fricción entre neumáticos y pavimento. Estos valores que para cada vehículo, de acuerdo a su peso propio y demás características especiales, determinan el valor de las fuerzas, centrífuga y resistente, determinan también el peralte de la curva, permitiendo que las fuerzas de deslizamiento y de volcamiento, calculadas en base a las dos anteriormente mencionadas, no sobrepasen los límites aceptables.

Deberá tenerse presente, además, para fijar el valor del peralte, las siguientes observaciones:

- a) Para un radio y un peralte determinados, la condición de deslizamiento limita en mayor proporción la velocidad que la condición de volcamiento.
- b) Para un radio determinado, el aumento del peralte aumenta en muy pequeña proporción la velocidad máxima admisible.

Para fijar el máximo valor aceptable del peralte, podrá emplearse la definición de "grado de cuevatura" (c), que es el ángulo en el centro correspondiente a un desarrollo de 100 pies (30, 50 metros). Si R es el radio de la curva en metros, el grado de curvatura es:

$$C^{\circ} = \frac{1746}{R}$$

Calculado este valor, el peralte máximo admisible se determinará de acuerdo a la tabla siguiente:

C (grados)	2	3	4	5	Sobre 5
Peralte(%)	2,8	4,2	5,6	7,0	7,0

El peralte más adecuado deberá ser determinado por el proyectista, de acuerdo a lo expresado anteriormente.

14.13.

TRANSICION DE PERALTE

Una vez determinado el peralte de una curva, deberá establecerse una longitud de transición para pasar desde el perfil transversal normal de la calzada hasta el perfil peraltado, lo cual puede hacerse en la misma longitud de la curva de transición horizontal, de existir ésta.

Para el trazado de esta transición de peralte se determinarán las generatrices de la superficie de la calzada cada cierta distancia; para esto suele imponerse la condición de que el perfil longitudinal del borde exterior, o sea, el que se conectará al borde exterior de la curva, sea una recta cuya pendiente respecto al eje oscile entre 1,5 y 2 %.

Si el perfil transversal está formado por dos rectas AC y BC, se empezará por hacer girar BC en torno de C, apoyándola en el borde exterior, para continuar después dicho giro en torno de A hasta alcanzar el valor del peralte.

Si el perfil transversal es una curva, se trazarán tangentes sucesivas desde el extremo B hasta el extremo A, continuando después el giro en torno de A.

Las generatrices pueden también apoyarse en el eje en lugar de hacerlo en su borde interior. Utilizando este procedimiento en el perfil en ángulo, habrá que girar las dos vertientes alrededor de C en el mismo sentido, hasta que se sitúen una en prolongación de la otra en el punto en que se alcance el valor del peralte; si el perfil transversal es curvo, se levantan simultáneamente ambas vertientes mediante tangentes, hasta llegar a un perfil horizontal, continuando después el giro en torno al eje del camino, hasta alcanzar el valor total del peralte.

Este método de transición puede aplicarse al empalme de dos calzadas con diferente forma de perfil transversal.

SECCION 15**DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS RIGIDOS****15.1 GENERALIDADES**

Un pavimento de hormigón o pavimento rígido consiste básicamente en losas de hormigón simple o armado, apoyadas directamente sobre una base o subbase.

Considerando que la rigidez del hormigón es mucho mayor que la del material de apoyo, la capacidad de carga está determinada fundamentalmente por la losa misma. Dicho de otra forma, la losa tiene un gran efecto repartidor de carga y la presión de contacto entre la losa y su fundación es sólo una pequeña fracción de la presión superficial. Este efecto se denomina usualmente como "acción de viga" de los pavimentos rígidos.

El diseño estructural de un pavimento de hormigón incluye dos aspectos básicos: diseño del espesor de la losa y el diseño de las juntas.

Los métodos de diseño recomendados son:

- Método AASHTO 1993
- Método de Brokaw
- Método P.C.A. 1984

Los factores determinantes en el diseño de un pavimento de hormigón son:

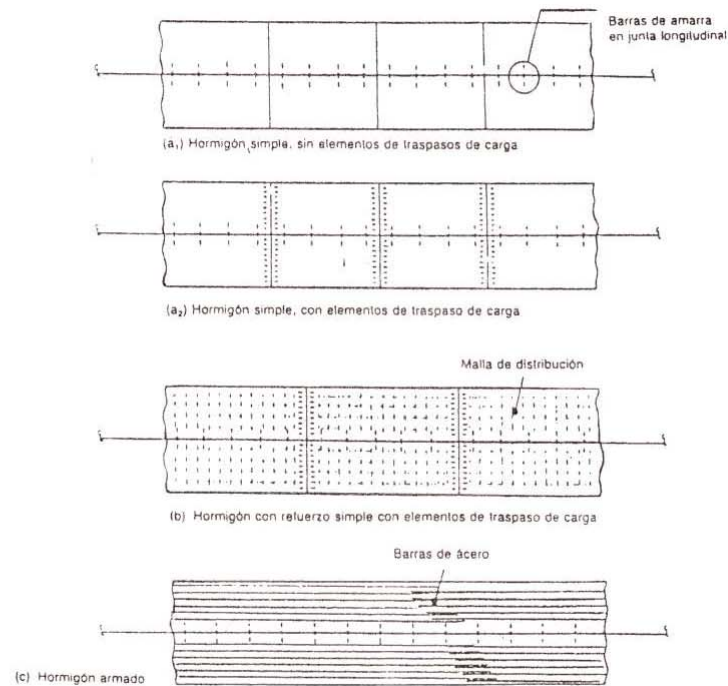
- Características climáticas y de drenajes.
- Expectativas de construcción y mantención
- Tipo de juntas (forma y espaciamiento)
- Módulo de reacción de la subrasante
- Tráfico solicitante
- Propiedades del hormigón
- Tipo de bermas

Tipos de pavimentos

Existen varios tipos de pavimentos de hormigón. En orden de menor a mayor costos inicial de construcción, estos son: (Fig.1)

- Pavimentos de hormigón compactado con rodillos (H.C.R.) con juntas espaciadas.
- Pavimentos de hormigón simple con juntas poco espaciadas.
 - Sin elementos de traspaso de carga
 - Con elementos de traspaso de carga
- Pavimentos de hormigón con refuerzo simple, con elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas.
- Pavimentos de hormigón armado
- Pavimentos de hormigón pretensado o postensado.

FIG. 15.1. TIPOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGON



Art.15.3. ASPECTOS GENERALES

15.3.1. Tipo de Junturas

El diseño de las juntas forma parte integrante del diseño estructural de los pavimentos de hormigón, ya que sus características (espaciamiento, tipo, dimensiones, etc.) son un factor importante a considerar con relación a las tensiones de la losa y durabilidad del pavimento. Distinguiremos los siguientes tipos de juntas:

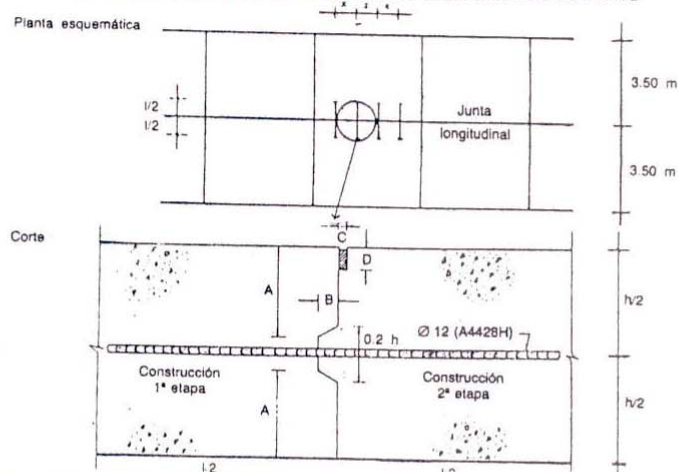
- Juntas longitudinales
- Juntas transversales de dilatación
- Juntas transversales de contracción
- Juntas transversales de construcción

15.3.1.1. Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales tienen como principal objetivo controlar la formación de grietas longitudinales que tienden a producirse debido a los efectos combinados de cargas y alabeo.

Como elemento de transmisión de cargas se utiliza la interacción mecánica provocada por la traba de las caras de unión y la colocación de barras de acero con resaltes que mantienen unidas las losas, actuando como elementos de articulación. (Ver Figura 15.2.)

FIG. 15.2. JUNTAS LONGITUDINALES ARTICULADAS



Espesor pav. h (cm)	Dimensiones en cm.					
	A	B	C	D	I	X
15 a 20	6 - 8	2 - 3	0.5-1.0	2.0-3.0	63.0	120
20 a 24	8 - 10	2 - 3	0.5-1.0	2.0-3.0	63.0	100
24 a 28	10 -12	2 - 3	0.5-1.0	2.0-3.0	63.0	90

15.3.1.2. Juntas Transversales de Dilatación

Las juntas de dilatación son el elemento más débil del pavimento, y es allí donde con más frecuencia se presenta el fenómeno de "erosión por surgencia".

Si se adoptan longitudes excesivas entre juntas de dilatación consecutivas, se produce una concentración de fatigas de tracción y compresión que puede llegar a producir el "blow up", por efecto de pandeo.

Las juntas dejan de funcionar como tales, ya sea porque se introducen elementos extraños en ellas o porque las juntas están muy distanciadas unas de otras (más de 200 m.).

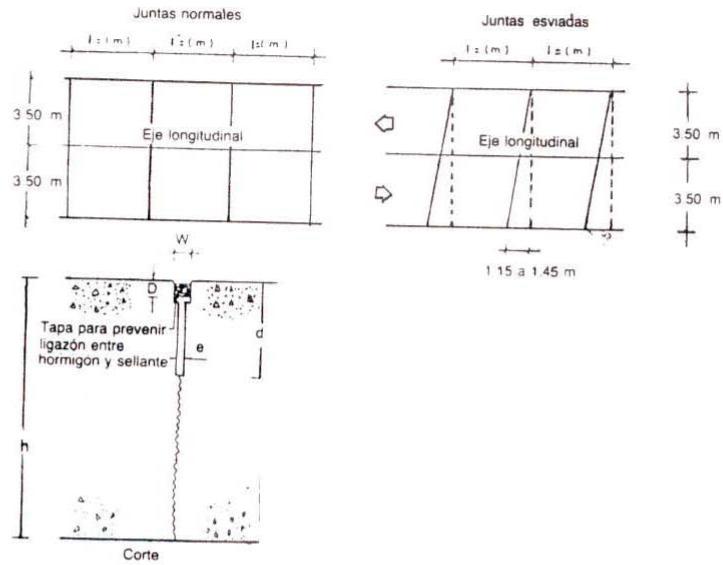
15.3.1.3. Juntas Transversales de Contracción (Fig. 15.3.)

Las juntas transversales de contracción tienen como función básica la de controlar la formación de grietas y/o fisuras derivadas de la retracción del hormigón en su proceso de endurecimiento. Estas juntas controlan además el efecto del alabeo. Cuando la losa se contrae uniformemente por una disminución de su temperatura media o de su contenido de humedad, aparecen, por roce con la base, tensiones de tracción. Colocando juntas transversales a distancias apropiadas, estas tensiones quedan reducidas a límites admisibles. En el caso del alabeo la junta actúa como una articulación imperfecta, reduciéndose así la luz libre de flexión.

Considerando que las juntas de dilatación o no existen o se tiende a separarlas excesivamente, debe proyectarse juntas de contracción y alabeo a poca distancia.

En general, el distanciamiento recomendando, para pavimentos sin armar y sin barras de traspaso de cargas, es de 4 a 6 m.

FIG. 15.3. JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCION

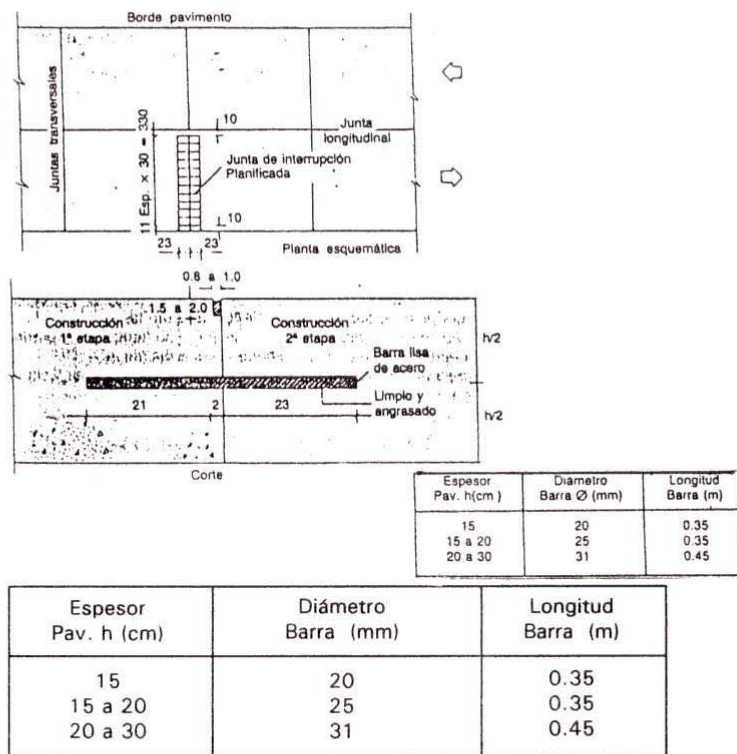


Esesor Pav. h (cm)	19 - 20	21 - 22	23 - 24	15 - 16	17 - 18
factor de forma W	0.8 a 1.2	0.8 a 1.2	0.8 a 1.2		
D					
ancho superior W (cm)	0.9 a 1.1	0.9 a 1.1	0.9 a 1.1		
profund. sellado D (cm)	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	4 a 5	4,5 a 5,5
profund. junta d (cm)	5 a 6	5,5 a 6,5	6,0 a 7,0		
abertura junta e (cm)	0.4 a 0.6	0.4 a 0.6	0.4 a 0.6		

15.3.1.4. Juntas Transversales de Construcción

Quando se ejecute una interrupción planificada de la pavimentación, ésta se hará en un lugar de coincidencia con una junta normal de contracción, colocándose barras de traspaso de carga en la forma indicada en la figura.

FIG. 15.4. JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCION



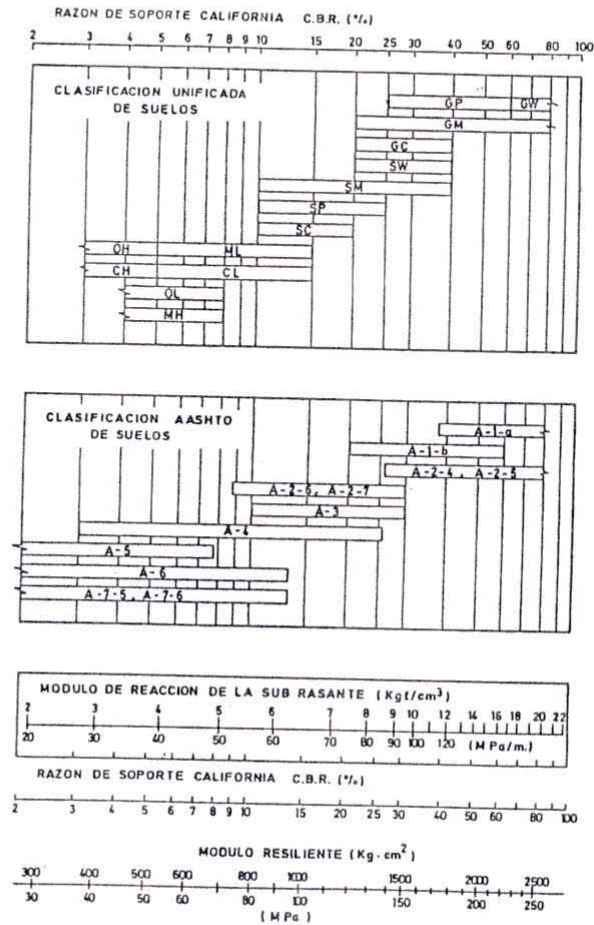
En caso que se produzca una junta transversal de construcción de emergencia o no planificada, es importante asegurar la unión entre las dos caras de la junta, para lo cual se colocarán barras de las mismas características que para las juntas longitudinales. (Ver figura 15.4.).

15.3.2. Sub-rasante y sub base

Un factor de relativa importancia en el diseño de espesores de un pavimento de hormigón es la calidad del suelo que conforma la subrasante. Esta, usualmente se refiere al módulo de reacción de la subrasante k , que representa la presión de una placa circular rígida de 76 cm de diámetro dividida por la deformación que dicha presión genera. Su unidad de medida es el $\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ (kg/cm^3).

Debido a que el ensayo correspondiente (Norma AASHTO T222-78) es lento y caro de realizar, habitualmente se calcula correlacionándolo con otro tipo de ensayos más rápidos de ejecutar, tales como la clasificación de suelos o el ensayo CBR (Ver Figura 15.5. y lámina - tipo N° 35)

Fig.15.5 RELACIONES APROXIMADAS ENTRE SOPORTE DE SUELOS Y SU CLASIFICACION



La relación más usada es la correspondencia CBR-K. Sin embargo, esta relación puede conducir a errores importantes en la determinación de K, particularmente en los suelos finos de bajo poder de soporte. El ensayo CBR opera en la fase plástica del suelo, llegando a su rotura, en circunstancias que la medición del módulo K opera en su fase elástica. Por otra parte, y aún cuando se ejecute el ensayo CBR sobre muestras de suelo relativamente inalteradas, no se detectan plenamente los efectos tixotrópicos propios de los suelos finos.

La relación más confiable para estimar el Módulo K es la que se obtiene de la deflexión elástica superficial (Viga Benkelman).

Con el propósito de diseñar pavimentos se puede utilizar la relación.

$$K = 22e^{-0.8 \Delta} \text{ en la que}$$

K : Módulo de reacción de la subrasante en Kg / cm³

Δ : Deflexión elástica superficial en mm (Viga Benkelman)

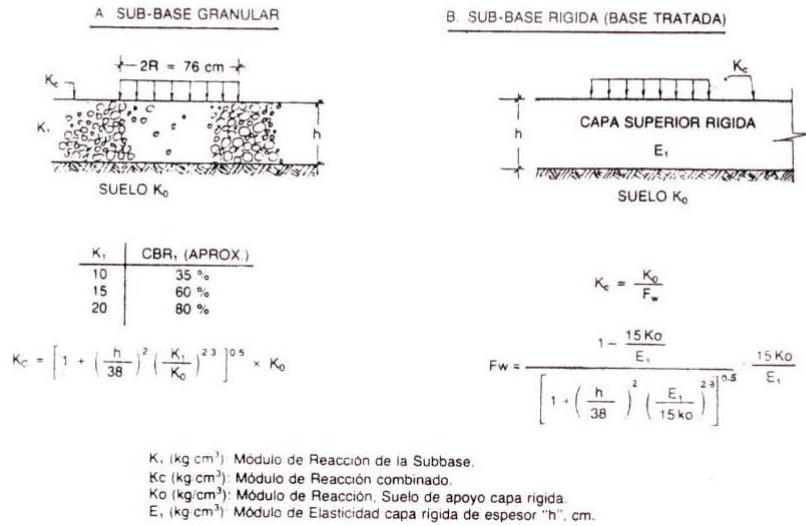
Para fines prácticos se proponen las siguientes categorías de subrasante (Tabla 15.1)

TABLA 15.1. Categorías de Subrasante

Categoría	Clasificación de suelos		Características del suelo	
	U.S.C.S	ASHTO	CBR%	K(Kg /cm ³)
A. Muy Buena	GW,GP,GM,GC	A1-a, A1-b	> 25	> 8
B. Buena	SC-SM	A2-4, A2-5 A2-6, A2-7 A3	6-25	4-8
C. Deficiente	ML,CL,MH,CH OH, OL	A-5, A-6 A7-5, A-4 A7-6	2 -6	2-4

La presencia de una sub-base, de calidad superior a la subrasante, permite aumentar el módulo K de diseño. En la figura 15.6 se indican los criterios de modificación, para una sub-base granular y para sub-base rígida (Base tratada con cemento u hormigón pobre) y en los ábacos contenidos en Figura 15.7 y 15.8 se da la solución gráfica a la fórmulas propuestas.

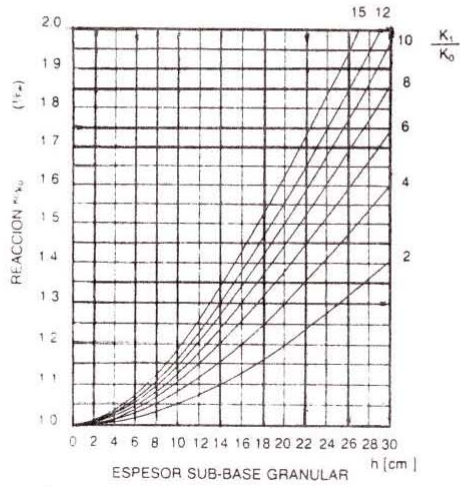
Fig.15.6 AUMENTO DE K DEBIDO A LA PRESENCIA DE UNA SUB-BASE.



Valores aproximados del Módulo de Elasticidad E

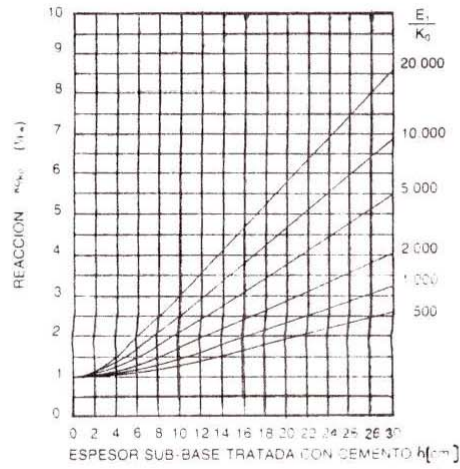
Tipo de sub-base	%cemento en peso	R28 Kg / cm ²	Mod.Elastic Kg / cm ² * 10 ³
Ligada con cemento	1,0 - 2,5	5 a 15	2,0 a 4,0
Tratada con cemento tipo "A"	2,5 - 4,0	25 a 50	4,0 a 10,0
Tratada con cemento tipo "B"	4,0 - 5,5	50 a 100	10,0 a 25,0
Suelo cemento	5,0 -10,0	20 a 60	5,0 a 30,0

Fig.15.7. AUMENTO DEL MODULO DE REACCION DEBIDO A LA PRESENCIA DE SUB-BASE GRANULAR



$$\frac{K_2}{K_0} = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \left(\frac{K_1}{K_0} - 2 \right) \right]^{10.5}$$

FIG.15.8 AUMENTO DEL MODULO DE REACCION DEBIDO A LA PRESENCIA DE SUB-BASE TRATADA CON CEMENTO.



$$\frac{K_2}{K_0} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \left(\frac{E_1}{15K_0} \right)^{0.5} \right]^{10.5}} \left(1 + \frac{15K_0}{E_1} \right) + \frac{15K_0}{E_1}$$

15.4. METODO DE DISEÑO ASSHTO 86

15.4.1. Consideraciones generales

En el año 1986 AASHTO publicó una nueva versión de su método de diseño de pavimentos. En ella se introdujeron nuevos conceptos de diseño y modalidades diferentes a la de 1981 para determinación de algunos parámetros de cálculo. Estos conceptos se mantuvieron en la versión AASHTO-93.

Los nuevos conceptos introducidos en el AASHTO-86 son: la confiabilidad en el diseño, la drenabilidad de la sub-base y el traspaso de cargas entre losas.

15.4.2. Parámetros de diseño

En resumen, se consideran las siguientes parámetros de diseño, que son incorporados o tratados en forma diferente a la versión 1981 del método AASHTO:

- Confiabilidad en el diseño
- Propiedades del hormigón
- Tipo de bermas
- Transferencias de cargas
- Drenabilidad de la sub-base
- Módulo de reacción de la subrasante

15.4.2.1. Tránsito Solicitante

El tránsito solicitante es un factor de primera importancia en todos los métodos de cálculo de espesores de pavimento. El número y composición de ejes pesados que solicitarán al pavimento durante su vida de diseño se determina a partir de la siguiente información básica:

- Tránsito medio diario anual (TMDA), en ambas direcciones, de todos los vehículos.
 - Tránsito medio diario anual, en ambas direcciones, de vehículos pesados.
 - Tasas de crecimiento anual acumulativo de cada tipo de vehículo
 - Distribución de los ejes solicitantes en cada rango de carga.
 - Porcentaje de vehículos pesados que se canalizarán sobre la pista más solicitada (Factor de Diseño).
- * Ejes equivalentes

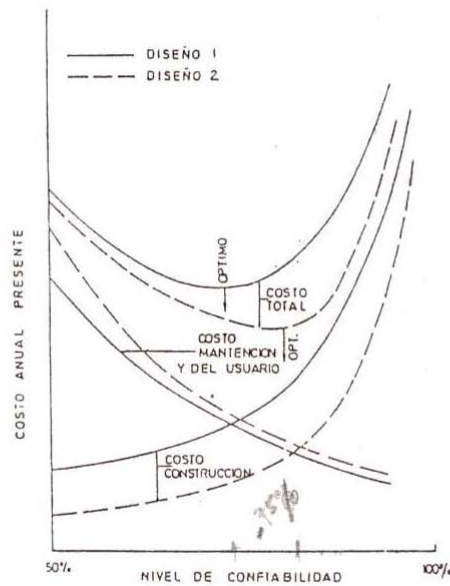
Para utilizar el método AASHTO, las solicitaciones de tránsito se traducen a un número de ejes equivalentes de 18 Kips (8,17 ton.) a través de un factor de equivalencia que depende del espesor del pavimento y del índice de serviciabilidad final adoptado.

15.4.3. Confiabilidad en el diseño

La confiabilidad "R" puede ser definida como la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o mejor que el previsto durante la vida de diseño adoptada. Ella permite determinar, a través de los parámetros que se indican más adelante, un tránsito ficticio "Ti", que debe considerarse en la fórmula de diseño en lugar del tránsito proyectado "Tt".

El nivel de confiabilidad a adoptar en cada caso es un problema complejo y depende de factores técnico-económicos, que permiten determinar el valor presente o costo equivalente anual óptimo, considerando los costos iniciales o de construcción y los costos futuros correspondientes a mantenimiento, rehabilitación, costo vehicular, tiempo de los usuarios, etc. En el gráfico de la figura 15.9 se ilustra esquemáticamente como varían los costos de un pavimento para diseños con diferentes niveles de confiabilidad y la determinación del óptimo.

FIG. 15.9. VARIACION DEL COSTO DE UN PAVIMENTO DE HORMIGON DE ACUERDO AL NIVEL DE CONFIABILIDAD ADOPTADO



En la tabla 15.1 se indican los rangos de confiabilidad que pueden ser utilizados provisionalmente para distintos tipos de vías

TABLA 15.1

Tipo de Vía	Nivel de Confiabilidad Recomendado(%)
Vías Expresas	85 - 95
Vías Troncales	80 - 90
Vías Colectoras	75 - 85
Vías de Servicio	70 - 80
Calles Locales	60 - 75
Pasajes	50 - 70

Cada valor de Restá asociado estadísticamente a un valor del coeficiente de Student (Z_r). A su vez, Z_r determina, en conjunto con el factor "So", un factor de seguridad (F.S.) que debe aplicarse al tránsito proyectado para la vida de diseño (T_t) para obtener el tránsito de diseño T_i , a través de las siguientes expresiones :

$$F.S. = 10^{(Z_r \times S_0)}$$

$$T_i = T_t * F.S. = T_t * 10^{(Z_r * S_0)}$$

En que:

- T_t = El número de ejes equivalentes de 8,17 ton. proyectados para la vida útil del pavimento .
- T_i = El número de ejes equivalentes de diseño que debe emplearse en el cálculo.
- S_0 = Coeficiente que indica la desviación normal del error combinada en la estimación del tránsito y del modelo de deterioro. Para pavimentos rígidos, se recomienda adoptar $S_0 = 0.35$.

En la tabla 15.2. se indican los valores de Z_r y F.S. para distintos coeficientes de confiabilidad (R)

TABLA 15.2

Niveles de Seguridad de Tráns.según Niv. de Confiab.para So = 0.35		
Nivel de Confiab. (R%)	Coefficiente de Student asociado (Zr)	Factor de Seguridad (F.S.)
50	0,000	1,00
60	0,253	1,23
70	0,524	1,53
75	0,674	1,72
80	0,811	1,97
85	1,037	2,31
90	1,282	2,81
95	1,645	3,76
99	2,327	6,52

15.4.4. Propiedades del Hormigón

Las propiedades del hormigón utilizado en los diseños incluyen la resistencia media a la flexotracción de 28 días y el módulo de elasticidad determinado mediante el ensayo de compresión estática de cilindros.

Debido a la incorporación del concepto de confiabilidad en el método, el valor a utilizarse en el diseño corresponde a la resistencia media (Rm) y no a la característica (Rc) que se utiliza en el AASHTO-1981. Si en las especificaciones de construcción se exige esta última, en el diseño debe utilizarse el valor de Rm dado por la expresión:

$$R_m = R_d = R_c + t * r$$

en que:

Rm = Resistencia media

Rd = Resistencia de Diseño

Rc = Resistencia característica

t = Coeficiente de Student correspondiente al nivel de confiabilidad

r = desviación normal de la resistencia

15.4.5. Tipo de Bermas

Estudios recientes han llevado a la conclusión de que la construcción de bermas de hormigón unidas al borde exterior del pavimento mediante barras de acero con resalte, contribuye sustancialmente a mejorar su comportamiento. Esto es debido a una reducción en las tensiones en los bordes y esquinas, conjuntamente con una disminución de la infiltración de agua a lo largo de los bordes del pavimento.

Una Forma de cuantificar el efecto del tipo de berma en el método AASHTO es utilizar la mitad de los ejes equivalentes de 8,17 Ton que resulten del cálculo de tránsito y calcular el espesor; de esta manera resulta una reducción de 2,2 a 2,8 cm. en el espesor de pavimento. Esta reducción se explica debido a que, al aplicar una carga sobre el pavimento con berma pavimentada, se produce un efecto equivalente sólo al 85% de los esfuerzos que resultarían si esta misma carga se aplicara sobre el pavimento sin berma pavimentada, lo que equivale al efecto de aplicar la mitad de la carga sobre el pavimento sin berma de hormigón (Ver tabla 15.3.).

TABLA 15.3

Ejemplo de efecto de las bermas pavimentadas			
Tipo de Berma	Carga Ton.	Factor de Equivalencia	Ejes Equivalentes de 8.17 Ton.
Sin pavimento	12	5,27	5,270
Con pavimento	$0,85 * 12 = 10,2$	2,60	2,600

El espesor de la berma pavimentada deberá ser como mínimo de 0,15m y su ancho de 1,00m o más para que se cumpla la condición de "Berma Pavimentada".

15.4.6. Transferencia de Carga

La transferencia de carga representa la capacidad de un pavimento de hormigón de transferir parte de las cargas solicitantes a través de las juntas transversales.

La eficiencia de la transferencia de carga depende de múltiples factores y tiende a disminuir durante la edad con las repeticiones de carga.

Dentro de los factores más importantes de eficiencia se pueden mencionar los siguientes:

- Existencia de dispositivos especiales de transferencia de cargas. Esto es, barras de traspaso o zapatas de juntas.
- Interacción de las caras de la junta transversal. Para el caso de no existir dispositivos especiales puede existir transferencia por roce entre las caras de la junta. Su eficiencia depende básicamente de la abertura de la junta y de la angulosidad de los agregados.

La abertura de la junta transversal depende principalmente del largo de los paños, la temperatura ambiente en la cual se ejecutó el pavimento y las variaciones periódicas de la misma.

El efecto de traspaso de cargas se considera en conjunto con el del sistema de berma, a través de un coeficiente J, cuyos valores se indican en la tabla 15.4.

TABLA 15.4.
VALORES DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGAS "J"

Dispositivos de Transferencia de Cargas	Berma con pavimento de hormigón	Tipo de Base	Condición Climática	Valor Coef. "J"	
				Largo paños (m)	
				< 4.5	4.5 a 6.0
SI	SI	T.C.C.	Suave	2.5	2.5
			Rigurosa	2.6	2.8
	NO	G.R.	Suave	2.8	2.9
			Rigurosa	2.9	3.1
	NO	T.C.C.	Suave	2.6	2.7
			Rigurosa	2.7	2.9
NO	G.R.	Suave	2.9	3.0	
		Rigurosa	3.0	3.2	
NO	SI	T.C.C.	Suave	2.8	3.2
			Rigurosa	3.0	3.4
	NO	G.R.	Suave	3.2	3.6
			Rigurosa	3.4	3.8
	NO	T.C.C.	Suave	3.4	3.8
			Rigurosa	3.6	4.0
NO	G.R.	Suave	3.8	4.2	
		Rigurosa	4.0	4.4	

15.4.7. Drenabilidad de la sub-base

La infiltración de agua bajo el pavimento y su acumulación en la sub-base, permite que se generen presiones importantes en la fase fluida, bajo la acción de las cargas de tránsito. Esta presión produce arrastre de partículas finas del suelo con la consiguiente erosión por surgencia.

La subbase de apoyo del pavimento se socava, produciendo huecos o creando diferencia de rigideces de apoyo, con la consiguiente formación de grietas en las losas.

Las características de drenabilidad se expresan a través de un coeficiente de drenaje de la sub-base (C_d), cuyo valor depende del tiempo en que ésta se encuentra expuesta a niveles de humedad cercana a la saturación y del tiempo en que drena el agua. El primer factor indicado depende, a su vez, del nivel de precipitaciones de la zona, altura de la rasante, bombeo o inclinación transversal, sistema de saneamiento superficial, etc. El segundo factor depende de la calidad de los materiales de sub-base, existencia de drenaje y propiedades de permeabilidad de la subrasante.

En la Tabla 15.5. siguiente se indican valores típicos del coeficiente de drenaje " C_d " de las sub-bases.

TABLA 15.5.

Valores del coeficiente de drenaje C_d recomendado para el diseño de pavimentos rígidos					
Calidad del Drenaje	Tiempo de Remoción del agua	Valor de C_d para diversos porcentajes de tiempo en que la estructura está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
		< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Exelente	2 horas	1,20 -1,25	1,15 -1,20	1,10 -1,15	1,10
Bueno	1 día	1,15 -1,20	1,10 -1,15	1,00 -1,10	1,00
Regular	1 semana	1,10 -1,15	1,00 -1,10	0,90 -1,00	0,90
Malo	1 mes	1,00 -1,10	0,90 -1,00	0,80 -0,90	0,80
Muy malo	no drena	0,90 -1,00	0,80 -0,90	0,70 -0,80	0,70

15.4.8. **Fórmula de diseño en unidades métricas.**

$$T_t = \left[\frac{H+2.54}{2.588} \right]^{7.35} \times 10 \times \beta^{(4.22 - 0.32pf)}$$

en que:

$$\alpha = \frac{\log(0.33 \Delta p)}{1 + \left[\frac{18.078}{H + 2.54} \right]^{8.46}} - Z_r \times S_o$$

$$\beta = \frac{R_m \times C_d}{15.185 \times J} \left[\frac{H^{0.75} - 2.278}{H^{0.75} - 46.79 (K/E)^{0.25}} \right]$$

Siendo:

T_t : Número total de ejes equivalentes de 8.17 Ton proyectados para la vida de diseño.

H : Espesor de las losas en cm.

Z_r : Coeficiente de Student para el nivel de confiabilidad (R%) adoptado.

S_o : Desviación normal combinada.

R_m : Resistencia media a la flexotracción de 28 días del hormigón.

Cd : Coeficiente de drenaje.

J : Coeficiente de transferencia de carga.

(*) NOTAS:

1. En esta fórmula se ha expresado el tránsito de diseño T_i a través de su expresión equivalente:

$$T_i = T_t 10^{Z_r \times S_o} = T_t \times F.S.$$

K : Módulo de reacción de diseño en Kg/cm^3 .

E : Módulo de elasticidad de hormigón en Kg/cm^2 .

Δp : Pérdida de serviciabilidad en la vida de diseño:

$\Delta p = p_i - p_f$, en que:

p_i = Índice de serviciabilidad inicial. Normalmente se utiliza el valor $p_i = 4.5$.

p_f = Índice de serviciabilidad final. Normalmente se utiliza el valor $p_f = 2.0$ ó 2.5 . Este último valor para autopistas

15.4.9. **Espesores característicos en pavimentos rígidos**

Cuando se construyan calzadas de hormigón en tramos de pequeña extensión, que no justifiquen un estudio completo de diseño, podrá usarse los espesores característicos que se detallan en la lámina- Tipo N° 36.

SECCION 16

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Art. 16.1. GENERALIDADES

Los modernos métodos de diseño de pavimentos flexibles están basados en las conclusiones obtenidas en ensayos efectuados en tramos experimentales de caminos, en especial en el ensayo vial AASHTO. El proyectista podrá usar en el diseño algunos de los métodos en referencia.

Como soluciones, dentro de la variedad de pavimentos flexibles que pueden ejecutarse, se escogerá el tipo de pavimento que se estime más conveniente, de acuerdo a las condiciones de suelo, clima y tránsito, como también a las condiciones económicas de cada proyecto.

Para el diseño de las mezclas asfálticas se tendrá en consideración lo que se expresa en la Sección 17.

Sim embargo, cuando sea necesario obtener los valores de las tensiones y deformaciones, podrán emplearse las conocidas relaciones de Boussinesq.