Ing. LUIS CARLOS ALANDETE BONFANTE
Ingeniero Civil TP 13202159914 BLV
Especialista en Ingeniería de Vías Terrestres
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

# APARTES MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA VÍAS CON BAJOS, MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO INV-2008

ANEXOS

Móvil: 3014841404 – Mail: ing.luis.alandete@hotmail.com

# Manual de diseño
## de pavimentos de concreto
### para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito



Foto ICPC
Carretera Junín - Barbacoas (Nariño)

ICPC
INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO

República de Colombia
MINISTERIO DE TRANSPORTE

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

| Categoría | Tipo de Vía | TPDs | Ejes acumulados de 8.2 t |
|---|---|---|---|
| To | (Vt) – (E) | 0 a 200 | < 1´000.000 |
| T1 | (Vs) – (M ó A) – (CC) | 201 a 500 | 1´000.000 a 1´500.000 |
| T2 | (Vp) – (A) – (AP-MC-CC) | 501 a 1.000 | 1´500.000 a 5´000.000 |
| T3 | (Vp) – (A) – (AP-MC-CC) | 1.001 a 2.500 | 5´000.000 a 9´000.000 |
| T4 | (Vp) – (A) – (AP-MC-CC) | 2.501 a 5.000 | 9´000.000 a 17´000.000 |
| T5 | (Vp) – (A) – (AP-MC-CC) | 5.001 a 10.000 | 17´000.000 a 25´000.000 |
| T6 | (Vp) – (A) – (AP-MC-CC) | Más de 10.001 | 25´000.000 a 100´000.000 |

**Tabla 3-1. Categorías de tránsito para la selección de espesores**

| En la Tabla 3-1 las siglas tienen el siguiente significado: | |
|---|---|
| **Vt:** Vía terciaria | **M:** Medias |
| **Vs:** Vía secundaria | **A:** Anchas |
| **Vp:** Vía principal | **CC:** Carreteras de 2 direcciones |
| **E:** Estrechas | **MC:** Carreteras multicarriles |
| | **AP:** Autopistas |

## 3.2 La subrasante

Para el diseño del pavimento, en éste manual, se tendrán cinco clases de suelo tal y como se indica en la Tabla 3-2, en la cual, la clasificación se hace con base en la Relación de Soporte de California del suelo -CBR- evaluada según la Norma INVE-148-07, estos valores se correlacionaron con el Módulo de Reacción de la subrasante -k- que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño (Ref. 7.10). En el capítulo 2 de los anexos se realiza un amplia descripción sobre las características físicas y mecánicas de los distintos tipos de suelos y materiales que se interpretan en el rango o clasificación del tipo de suelo.

Para subrasantes con CBR menores que 2, en la mayoría de los casos y cuando el diseñador lo considere conveniente, se requieren tratamientos especiales, como la sustitución de los materiales inadecuados (remoción parcial o total del material inaceptable) o la modificación de sus características con base en mejoramientos mecánicos o con la adición de productos como la cal, el cemento u otros que doten a la subrasante de mejores características mecánicas. (Artículo INV-230-07).

## 3.3 Material de soporte para el pavimento

En este manual se tendrán en cuenta tres tipos de soporte para el pavimento, como se indica en la Tabla 3-3, el suelo natural, las bases granulares (Artículo INV-330-07) y las bases estabilizadas con cemento (Artículo INV-341-07), de 150 mm de espesor. Su efecto en el espesor de la estructura se tendrá en cuenta elevando el valor de la capacidad de soporte del terreno natural o suelo de subrasante.

## 3.4 Características del concreto para pavimentos

Para los diseños de los pavimentos se escogieron 4 calidades de concreto según lo indicado en la Tabla 3-4, las resistencias a la flexotracción se evalúan a los 28 días y se miden con base en el ensayo Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz (Norma INV E414-07).

| Denominación | Descripción |
|---|---|
| D | Dovelas |
| B | Bermas |
| No D | No Dovelas |
| No B | No Bermas |

**Tabla 3-5. Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral**

| Variables y su representación | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Suelos | Tránsito | Transferencia y confinamiento | Soporte | Concreto |
| **S1** (CBR<2) | **T0** (EALS <1x10$^5$) | **D y B** (Dovelas y Bermas) | **SN** (Subrasante) | **MR1**=38 MPa |
| **S2** (2<CBR<5) | **T1** (1x10$^6$<EALS <1,5x10$^6$) | **D y No B** (Dovelas y No Bermas) | **BG** (15 cm BG) | **MR2**=40 MPa |
| **S3** (5<CBR<10) | **T2** (1,5x10$^6$<EALS <5x10$^6$) | **No D y B** (No Dovelas y Bermas) | **BEC** (15 cm BEC) | **MR3**=42 MPa |
| **S4** (10<CBR<20) | **T3** (5x10$^6$<EALS <9x10$^6$) | **No D y No B** (No Dovelas y No Bermas) | | **MR4**=45 Mpa |
| **S5** (CBR>20) | **T4** (9x10$^6$<EALS <17x10$^6$) | | | |
| | **T5** (17x10$^6$<EALS <25x10$^6$) | | | |
| | **T6** (25x10$^6$<EALS <100x10$^6$) | | | |

**Tabla 3-6. Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento**

| En donde: | |
|---|---|
| Si: "Clase de suelo con i variando desde 1 hasta 5" | BG: "Base granular" |
| Ti: "Clase de tránsito con i variando desde 0 hasta 6 | BEC: "Base estabilizada con cemento" |
| D: "Dovelas" | CBR: "Relación de soporte de California" |
| B: "Bermas" | EALS: Ejes equivalentes definidos con el procedimiento "Equivalent Axels Load System" |
| SN: "Suelo natural o subrasante" | |

| Clase o Tipo | CBR (%) | Módulo resiliente (kg/cm²) |
|---|---|---|
| S1 | < 2 | < 200 |
| S2 | 2 - 5 | 200 – 500 |
| S3 | 5 - 10 | 500 – 1.000 |
| S4 | 20 - 10 | 1.000 – 2.000 |
| S5 | > 20 | > 2.000 |

**Tabla 3-2. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.**

| Denominación | Descripción |
|---|---|
| SN | Subrasante Natural |
| BG | Base Granular |
| BEC | Base Estabilizada con Cemento |

**Tabla 3-3. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto.**

| Descripción | Resistencia a la flexión (kg/cm²) |
|---|---|
| MR1 | 38 |
| MR2 | 40 |
| MR3 | 42 |
| MR4 | 45 |

**Tabla 3-4. Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura).**

## 3.5 Juntas

Las juntas son parte importante de los pavimentos de concreto y se hacen con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de los movimientos de contracción y de dilatación del material y a los cambios de temperatura y humedad, entre la cara superficial y la de soporte de las losas de concreto (Ref. 7.15 y Ref. 7.16).

En principio las losas tendrán el ancho del carril y su longitud debe estar comprendida entre 3,60 y 5,0 m y la relación entre el largo y ancho de las losas debe oscilar entre 1 y 1,3. Se ha observado que losas cuadradas tienen un mejor comportamiento estructural.

## 3.6 Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral

Hay dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto y son la presencia de pasadores de carga (dovelas) en las juntas transversales y los confinamientos laterales del pavimento, como son las bermas, los bordillos o los andenes, en el manual se identificaran con las siglas indicadas en la Tabla 3-5.

En este manual se presenta el espesor que deben tener los pavimentos en función de la presencia o ausencia de las dovelas y de los elementos confinantes, que para efectos prácticos se denominan genéricamente como bermas.

Hay que tener en cuenta que para algunas condiciones de mala calidad en el soporte o tránsitos altos no se consideran ciertos tipos de pavimentos, como por ejemplo pavimentos sin bermas y sin dovelas.

En este manual no se contempla el uso de acero para reforzar las losas, solo se tendrá acero en las dovelas y en las barras de anclaje. El acero de las dovelas en las juntas transversales es liso y con diámetros de más de 15 mm y el de las barras de anclajes es corrugado y con diámetros menores a los 15 mm.

## 3.7 Resumen de variables consideradas en el diseño

En resumen las variables con las que se realizaron los diferentes diseños se indican en la Tabla 3-6. En la tabla la abreviatura EALS se refiere a la abreviatura de Equivalent Axels Load System o, el número de cargas ejercidas por ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el periodo de diseño.

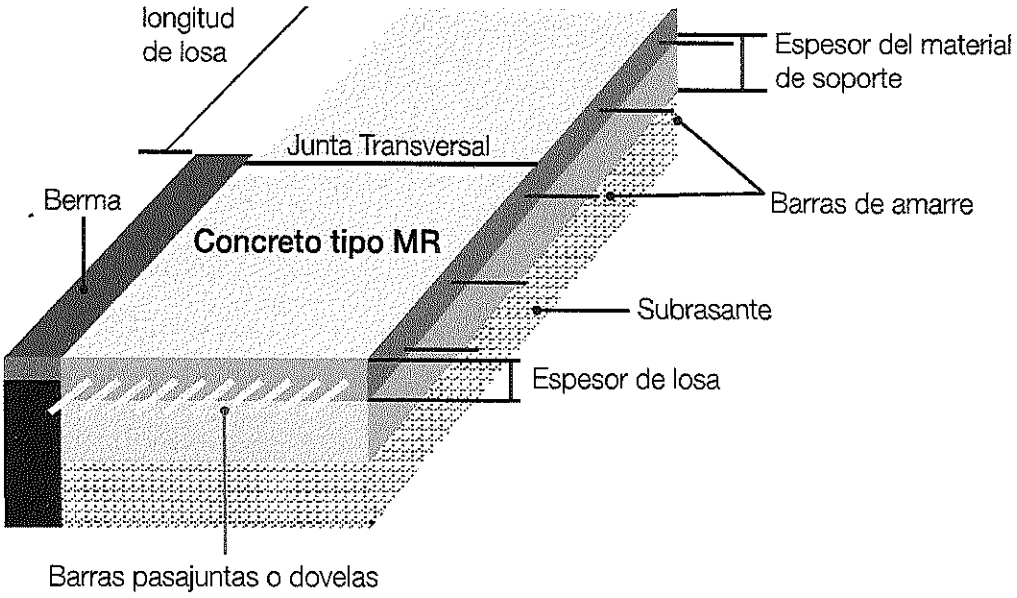



**Figura 4.1. Esquema representativo de un pavimento de concreto**

**ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES**

| | | Tránsito T0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S1 | | | | S2 | | | | S3 | | | | S4 | | | | S5 | | | |
| | | D y B | D y no B | No D y B | No D y no B | D y B | D y no B | No D y B | No D y no B | D y B | D y no B | No D y B | No D y no B | D y B | D y no B | No D y B | No D y no B | D y B | D y no B | No D y B | No D y no B |
| S1 | MR1 | | | 24 | 28 | 23 | 27 | 23 | 27 | 21 | 24 | 21 | 24 | 20 | 24 | 20 | 24 | 20 | 23 | 20 | 23 |
| | MR2 | | | 23 | 27 | 22 | 26 | 22 | 26 | 20 | 24 | 20 | 24 | 20 | 23 | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 |
| | MR3 | | | 23 | 26 | 21 | 25 | 21 | 25 | 20 | 23 | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 |
| | MR4 | | | 21 | 24 | 20 | 24 | 20 | 24 | 19 | 22 | 19 | 22 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 |
| B2 | MR1 | | | 23 | 26 | 22 | 26 | 22 | 26 | 21 | 24 | 21 | 24 | 20 | 23 | 20 | 23 | 20 | 23 | 20 | 23 |
| | MR2 | | | 22 | 25 | 21 | 25 | 21 | 25 | 20 | 23 | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 |
| | MR3 | | | 21 | 24 | 20 | 24 | 20 | 24 | 29 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 18 | 21 | 18 | 21 |
| | MR4 | | | 20 | 23 | 19 | 23 | 19 | 23 | 28 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 17 | 20 | 18 | 20 |
| B1 | MR1 | | | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 20 | 18 | 20 | 17 | 20 | 17 | 20 |
| | MR2 | | | 19 | 22 | 19 | 21 | 19 | 21 | 17 | 20 | 17 | 20 | 17 | 20 | 17 | 20 | 17 | 19 | 17 | 19 |
| | MR3 | | | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 17 | 19 | 17 | 19 | 16 | 19 | 17 | 19 | 16 | 19 | 17 | 19 |
| | MR4 | | | 18 | 20 | 17 | 20 | 18 | 20 | 16 | 19 | 17 | 19 | 16 | 18 | 17 | 18 | 15 | 18 | 17 | 18 |

**Tabla 4-1. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T0 como factor principal**

# 6. Consideraciones sobre pavimentos especiales

En Colombia se tiene una gran tradición en la construcción de pavimentos de concreto en prácticamente cualquiera de sus aplicaciones, desde pisos industriales, en bodegas para el almacenamiento de cargas livianas hasta grandes áreas para el manejo de contenedores; pasando por la adecuación de los pisos de viviendas, ciclovías, andenes, pavimentos urbanos, pavimentos rurales, autopistas y en fin en cuanta posibilidad exista.

Los espesores dados en este manual están dirigidos a la pavimentación de vías solicitadas por vehículos con llantas neumáticas, dispuestas en los ejes indicados en el capítulo referente al tránsito, por lo tanto pavimentos que han de ser solicitados por otro tipo de vehículo requieren que se diseñen teniendo en cuenta las particulares de dichos vehículos.

En la literatura técnica se consiguen cartas, nomogramas y manuales para calcular el espesor de las losas para prácticamente cualquiera de los vehículos y para los medios para el manejo y almacenamiento de cargas en forma de arrumes, estanterías o contenedores.

En general se recomienda que el espesor de cualquier losa para pavimentos de concreto no tenga menos de 13 cm de espesor y que la longitud de las losas no sea mayor a 25 veces el espesor ni mayor a 1,3 veces el ancho de la misma.

Cuando se tengan pavimentos con más de 30 cm de espesor es necesario tener en cuenta que los procesos constructivos son más exigentes, que es necesario poner más atención durante la colocación y vibrado del concreto, además del aserrado de las juntas, debido a los grandes volúmenes de concreto involucrados en losas con esos espesores.

así obtenida se elabora una gráfica de presión contra penetración, con la cual se determina luego el parámetro denominado Módulo de reacción de la subrasante o valor k. En la Figura 2.3 se muestra un esquema del ensayo de placa.

Para efectos de diseño de pavimentos rígidos se determina el valor k calculando la relación entre la carga, por unidad de área, que es necesario aplicar para generar una penetración, de 0,127 cm de la placa en el terreno.

$$k = \frac{P}{0{,}127} \ (\text{kg/cm}^3)$$

**Ecuación 2-8**

En donde: P = carga unitaria kg/cm² correspondiente a la penetración indicada.

## 2.3.1.2 Ensayo de CBR

Es común usar la prueba de CBR (California Bearing Ratio) o valor relativo de soporte, desarrollado por la División de Carreteras de California para determinar la resistencia de suelos. La prueba del CBR es un ensayo normalizado (Norma INV-E 148-07, AASHTO T193), en el cual un vástago penetra, en el suelo compactado en un molde, con una presión y a una velocidad controlada; se establecen un conjunto de penetraciones prefijadas y se determina la presión ejercida correspondiente a cada una de ellas; el vástago tiene un área de 19,4 cm² y penetra la muestra a una velocidad de 0,127 cm/min.

El valor relativo de soporte (CBR) se expresa en porcentaje y se define como la relación entre la carga unitaria aplicada que produce cierta deformación en la muestra de suelo requerida, para producir igual deformación en una muestra patrón.

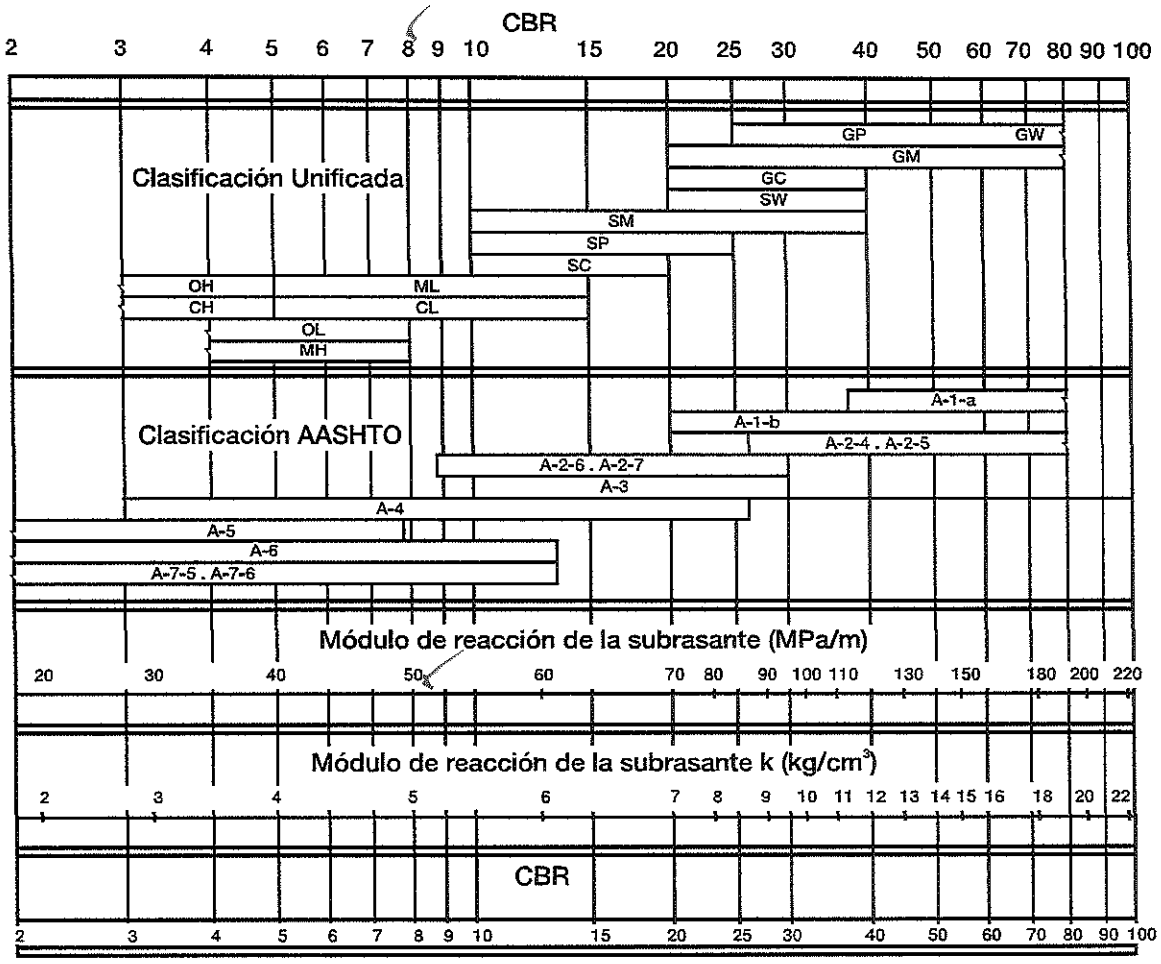



**Tabla 2-12. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K**

En la Tabla 2-11 (Ref. 9.24) se presenta una correlación entre el potencial expansivo del suelo y algunas de sus características.

## 2.3 La subrasante

El suelo es un material en el que se encuentran mezclas que pueden ser bien definidas, con unos pocos minerales, hasta heterogéneas; con granos de diferentes tamaños desde bloques o fragmentos de roca, pasando por gravas, arenas, hasta llegar a las arcillas y limos derivados de las rocas altamente meteorizadas, de planicies aluviales o de depósitos glaciares.

La subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural (cortes), o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como sucede cuando se someten a una estabilización mecánica (terraplén) o mixtas, estabilización físico-química con aditivos como el cemento Portland, la cal o el asfalto, entre otras, y básicamente es la fundación sobre la cual el pavimento se construirá.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, en especial en lo que se refiere a la resistencia y a los eventuales cambios de volumen, las que pueden ocasionar daños a las estructuras. Durante la construcción del pavimento se construyen obras que ayudan a controlar los cambios de humedad del suelo y con ello se controlan las variaciones volumétricas del mismo.

Al suelo como material de fundación, se le debe establecer cuál es su resistencia mecánica determinando la relación entre la carga y la deformación unitaria, y dado que la resistencia varía con las condiciones de humedad, compactación y confinamiento, en lo posible, se deben representar en el laboratorio las mismas condiciones del proyecto.

La respuesta estructural de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) está influenciada por la subrasante, tanto que parte de las deflexiones en la superficie dependerán de ella. Las propiedades que se recomiendan medir de la subrasante, incluyen la resistencia, el drenaje, la compactación y la estabilidad volumétrica.

### 2.3.1 Medición de la capacidad estructural de la subrasante

#### 2.3.1.1 Ensaye de Placa

Para diseñar pavimentos de concreto es necesario conocer la deformación que él tiene cuando se le aplica una carga, para ello se hace la prueba de placa; que está normalizada (Norma INVE 168-07, AASHTO T222, ASTM 1196) y consiste en aplicar sobre el suelo "in-situ" una carga por medio de una placa rígida de 760 mm de diámetro y medir su asentamiento.

La carga se aplica con un gato apoyado en un lastre (viga, camión, u otro elemento), y con la ayuda de extensómetros se mide el asentamiento del suelo, se efectúan diferentes incrementos de carga y se miden sus correspondientes deformaciones, con la información

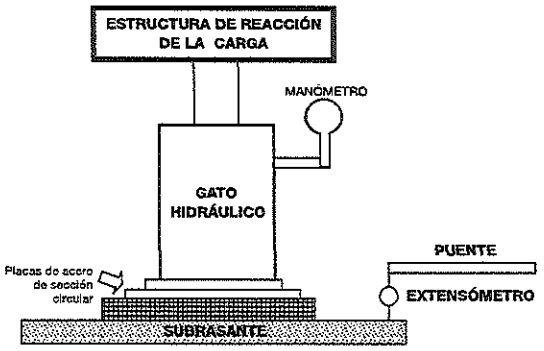



**Figura 2.3. Esquema del conjunto de la prueba de placa**

| Grado de expansión | Hinchamiento | Índice de plasticidad | Expansión libre |
|---|---|---|---|
| No expansiva | < 2 | < 10 | < 50 |
| Moderada | 2 - 4 | 10 – 20 | 50 – 100 |
| Altamente expansiva | > 4 | > 20 | > 100 |

**Tabla 2-11. Correlación entre el potencial expansivo del suelo y algunas de sus características**

La tercera categoría ocurre en áreas donde el nivel freático no se acerca a la superficie y donde el clima es seco la mayor parte del año con precipitaciones menores que 250 mm/año. En fin, el contenido de humedad de la subrasante está gobernado por las condiciones climáticas locales y la profundidad del nivel freático bajo la superficie de la vía.

## 2.5 Categorías de subrasantes para la selección de espesores

Para el diseño del pavimento, en este manual se tendrán cinco clases de fundación en función de la capacidad de soporte, evaluada mediante la Relación de soporte de California –CBR (Norma INV E148-07) como se indica en Tabla 2-13.

Para subrasantes con CBR menores que 2, se requieren tratamientos especiales, como la sustitución de los materiales inadecuados o la modificación de sus características, con base en la adición de productos como la cal, el cemento u otros que la doten con mejores características mecánicas.

Cuando por alguna razón no se haga una exploración del subsuelo para determinar la composición física del suelo y su comportamiento mecánico ante esfuerzos, se puede hacer una clasificación aproximada con base en algunas características del suelo tal como se indica en la Tabla 2-14 (Ref. 9.24) asumiendo que la subrasante está compactada con un valor superior al 95% del Próctor modificado.

La Tabla 2-14 no es aplicable para turbas, materiales orgánicos o arcillas remoldeadas, en estos casos debe ser medido el CBR en laboratorio.

Investigaciones hechas en diversas partes del mundo plantean ecuaciones de tipo empírico, que permiten determinar los valores de la resistencia de la subrasante en función del CBR, con la observación de que las estimaciones hechas de ésta manera presentan un alto grado de dispersión, por lo que deben ajustarse con la experiencia local.

Los efectos de succión y el potencial de expansión en suelos tropicales como los colombianos, sólo se pueden caracterizar con estudios particulares.

Para los casos de diseño, y de acuerdo a lo contemplado en los estudios y análisis de Heukelom y Klomp (1962) (Ref. 9.24), se pueden correlacionar los tipos de suelos a partir de su capacidad de soporte, con su módulo de reacción, distinta a la Tabla 2-12 y que resulta a partir de la correlación:

$$MR = 1500 \times (CBR)$$

**Ecuación 2-9**

En el que $M_R$ es el módulo resilente en psi. El coeficiente de 1500 puede variar desde 750 hasta 3000; la fórmula provee mejores resultados en valores de CBR menores a 20; en otras palabras, la correlación es más adecuada para suelos fino granulares y arenas finas, que para suelos grueso granulares.

### 2.5.1 Bases para el pavimento

En este manual se tendrán en cuenta tres tipos de soporte para el pavimento, el natural o subrasante, las bases sean granulares (Articulo INV330-07), y las estabilizadas con cemento (Articulo INV341-07), ambas bases de 150 mm de espesor. El efecto de las bases en el espesor de la estructura se tendrá en cuenta elevando el valor de la capacidad de soporte por la presencia de la base y su tipo, siguiendo las recomendaciones de la PCA (Ref. 9.16) que se resumen en la Tabla 2-15 y en la Tabla 2-16.

| Clase o Tipo | CBR (%) |
|---|---|
| S1 | < 2 |
| S2 | 2 - 5 |
| S3 | 5 - 10 |
| S4 | 10 - 20 |
| S5 | >20 |

**Tabla 2-13. Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia**

| Profundidad del nivel freático desde nivel de fundación (m) | Clasificación del suelo de acuerdo a su resistencia | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Arenas no plásticas | Arena arcillosa IP=10 | Arcilla arenosa IP=20 | Limo arcilloso IP=30 | Arcillas duras IP>40 |
| 0.5 | S4 | S4 | S2 | S2 | S1 |
| 1 | S5 | S4 | S3 | S2 | S1 |
| 2 | S5 | S5 | S4 | S3 | S2 |
| 3 | S5 | S5 | S4 | S3 | S2 |

Tabla 2-14. Estimación de la resistencia de la subrasante a partir de la clasificación del suelo y la influencia del nivel freático

| Valor de k para subrasante | | Valor de k para la base | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 100 mm | | 150 mm | | 225 mm | | 300 mm | |
| MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ |
| 20 | 73 | 23 | 85 | 26 | 96 | 32 | 117 | 38 | 140 |
| 40 | 147 | 45 | 165 | 49 | 180 | 57 | 210 | 66 | 245 |
| 60 | 220 | 64 | 235 | 66 | 245 | 76 | 280 | 90 | 330 |
| 80 | 295 | 87 | 320 | 90 | 330 | 100 | 370 | 117 | 430 |

Tabla 2-15. Influencia del espesor de la base granular en el valor de k

| Valor de k para subrasante | | Valor de k para la base | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 100 mm | | 150 mm | | 225 mm | | 300 mm | |
| MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ | MPa/m | Lb/pulg³ |
| 20 | 73 | 603 | 220 | 80 | 300 | 105 | 400 | 134 | 500 |
| 40 | 147 | 100 | 370 | 130 | 500 | 185 | 680 | 230 | 850 |
| 60 | 220 | 140 | 520 | 190 | 700 | 245 | 900 | | |

Tabla 2-16. Influencia del espesor de la base de suelo cemento en el valor de k

## 3.3 Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral

El comportamiento mecánico de los pavimentos de concreto, depende del mecanismo de transferencia de carga entre losas y esos mecanismos son objeto del diseño del pavimento (Ref. 9.16).

Dentro de los mecanismos de transferencia se encuentran las barras de acero lisas (dovelas), instaladas de acuerdo con las recomendaciones técnicas de construcción, Artículo INV 500-07 de las Normas de Construcción del INVIAS; existen también mecanismos de transferencia a través de los agregados. Para mejorar el comportamiento mecánico de las losas se pueden construir confinamientos laterales, que además ayudan a reducir la penetración de agua dentro de la estructura y así mismo la acción perjudicial de ella en el funcionamiento del pavimento.

Estos confinamientos pueden ser sardineles monolíticos, sobreanchos de la losa, bermas de concreto o de asfalto, o las mismas losas entre sí (Ref. 9.1).

### 3.3.1 Otras variables de influencia

Existen parámetros implícitos dentro de las metodologías de diseño, que se incorporan en los modelos para el cálculo de los espesores, a través de factores de seguridad. Dentro de dichos parámetros se pueden mencionar: los procesos constructivos, la uniformidad en los materiales de soporte, la calidad del drenaje y en los espesores de las diferentes capas, la homogeneidad de la mezcla de concreto.

Dentro del proceso constructivo y en la interpretación de las prácticas constructivas es necesario tener en cuanta el clima, el brillo solar, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Para el desarrollo de la metodología de diseño, para el presente manual, no se tuvo en cuenta la utilización de la base de concreto hidráulico o concreto pobre (Articulo INV342-07), como material de soporte del concreto.

| Calidad del Concreto | Número de camiones por día | | | |
|---|---|---|---|---|
| | > 300 | 150 – 300 | 25 – 150 | < 25 |
| A flexión (MPa) | 4.5 | 4.2 | 4.0 | 3.8 |

**Tabla 3-1. Resistencia que debe alcanzar el concreto**

| Tipo de agragado y origen | Módulo de elasticidad Ec (Mpa - kg/cm$^2$) |
|---|---|
| Grueso – Ígneo | $Ec = 5{,}500\sqrt{fc'} - 17.500\sqrt{fc'}$ |
| Grueso – Metamórfico | $Ec = 4.700\sqrt{fc'} - 15.000\sqrt{fc'}$ |
| Grueso – Sedimentario | $Ec = 3.600\sqrt{fc'} - 11.500\sqrt{fc'}$ |
| Sin información | $Ec = 3900\sqrt{fc'} - 12.500\sqrt{fc'}$ |

**Tabla 3-2. Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.**

| Espesor de losa (mm) | Barras de ϕ 9,5 mm (3/8") | | | | Barras de ϕ 12,7 mm (1/2") | | | | Barras de ϕ 15,9 mm (5/8") | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Longitud (m) | Separación entre barras según el ancho del carril (m) | | | Longitud (m) | Separación entre barras según el ancho del carril (m) | | | Longitud (m) | Separación entre barras según el ancho del carril (m) | | |
| | | 3,05 (m) | 3,35 (m) | 3,65 (m) | | 3,05 (m) | 3,35 (m) | 3,65 (m) | | 3,05 (m) | 3,35 (m) | 3,65 (m) |
| **Acero de fy= 187,5 MPa (40.000 psi)** | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 0,45 | 0,80 | 0,75 | 0,65 | 0,60 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 0,70 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 175 | | 0,70 | 0,60 | 0,55 | | 1,20 | 1,10 | 1,00 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 200 | | 0,60 | 0,55 | 0,50 | | 1,05 | 1,00 | 0,90 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 225 | | 0,55 | 0,50 | 0,45 | | 0,85 | 0,85 | 0,80 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 250 | | 0,45 | 0,45 | 0,40 | | 0,85 | 0,80 | 0,70 | | 1,20 | 1,20 | 1,10 |
| **Acero de fy= 280 MPa (60.000 psi)** | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 0,65 | 1,20 | 1,10 | 1,00 | 0,85 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 175 | | 1,05 | 0,95 | 0,85 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 200 | | 0,90 | 0,80 | 0,75 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 225 | | 0,80 | 0,75 | 0,65 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| 250 | | 0,70 | 0,65 | 0,60 | | 1,20 | 1,15 | 1,10 | | 1,20 | 1,20 | 1,20 |

**Tabla 6-1. Recomendación para las barras de anclaje**

## 6.1.2 Sistemas para la transmisión de cargas

### 6.1.2.1 Trabazón de agregados

Cuando se produce la ruptura de la sección del pavimento debido a una reducción en el espesor de la losa (por corte a edad temprana), por una hendidura sobre el concreto fresco, o por una fisura espontánea (debido a un retraso en la ejecución de los cortes o a un incorrecto diseño de la disposición de las juntas), se presenta transmisión de cargas entre los tramos de losa o las losas vecinas, debido a la trabazón de agregados, siempre y cuando la fisura no tenga un ancho superior a un milímetro.

Este mecanismo de transmisión de cargas es adecuado en pavimentos que cumplan simultáneamente con los requisitos siguientes: La longitud de las losas sea menor que cinco metros y su soporte no sea susceptible de ser sometido al fenómeno de bombeo; además, el número de camiones que se espera que circulen por día, sea inferior 175 en cada carril y, por último, que las condiciones climáticas sean favorables. Sin embargo, si alguna de estas condiciones no se cumple, es posible mejorar la transferencia de cargas colocando pasadores de carga, llamados pasajuntas (dovelas), construyendo una base propicia o combinando ambas alternativas.

### 6.1.2.2 Varillas de transferencia de carga (dovelas)

Cuando la trabazón de agregados no es suficiente para lograr la transmisión de carga, se pueden utilizar, para alcanzar dicho objetivo, varillas de transferencia de carga, conocidadas como pasadores de carga, o dovelas, que son, barras de acero cortas y lisas con un límite de fluencia (fy) mínimo de 280 MPa (2800 kg/cm$^2$ o 60000 psi), de acuerdo con el Artículo INV 500-07 y el Artículo INV 640-07, metidas dentro del concreto fresco. Los pasadores se instalan en las juntas de tal manera que le permitan a las losas separarse y unirse entre sí, pero no desplazarse verticalmente, y su función es, entonces, absorber los esfuerzos de cortante, generados por las cargas del tránsito al cruzar las juntas y transmitir a la losa adyacente entre el 40 y 45% de la carga de diseño, cuando esta se coloca cerca de la junta.

Las dovelas, para poder cumplir con su objetivo, deben ser fáciles de instalar, lisas y al menos dos terceras partes de su longitud deben estar recubiertas con un material antiadherente, con el propósito de no restringir los desplazamientos horizontales de las losas. Además, deben ser resistentes a la fatiga y a la corrosión.

En cuanto a las dimensiones, espaciamiento y longitud de los pasadores, la práctica se ha reducido a la aplicación de los criterios indicados en la Tabla 6-2.

Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento, con una tolerancia medida en el extremo del pasador que no sobrepase los 10 mm respecto a la posición teórica. La manera más eficiente de lograr ésto, es la de colocar los pasadores sobre unos soportes hechos con varillas, que quedan embebidos en el concreto.

El concreto alrededor de los pasadores debe tener la misma compactación que en el resto del pavimento, para evitar la creación de zonas en las cuales la resistencia a la tracción sea más baja y por ende se convierta en un área que se puede fisurar.

## 6.2 Diseño geométrico de juntas

### 6.2.1 Juntas de expansión o aislamiento

La distribución geométrica de las juntas se inicia con la definición de los lugares en los cuales se colocan las juntas de expansión o aislamiento, que por regla general se localizan en la losa anterior al punto en donde se presenta la particularidad, como se indica en la Figura 6.1. En el caso de intersecciones, se recomienda que la junta de expansión se construya sobre la vía de menor importancia (Ref. 9.11).

Las juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento, tales como sumideros, cámaras de inspección o cajas, deben estar como mínimo a 300 mm de los bordes de dichos elementos y su forma deber ser poligonal, circular, o semicircular, como se observa en la en la Figura 6.2.

Cuando se trate de juntas de expansión o aislamiento con una forma poligonal, hay que construir juntas longitudinales o transversales, contracción, en cada uno de los vértices del polígono. Si la junta de aislamiento tiene forma circular o semi-circular, de ella debe salir al menos una junta longitudinal o transversal de contracción. Las características de las juntas de expansión se presentan en el numeral 6.1.1.4.

| Espesor del pavimento | Diámetro del pasador | | Longitud | Separación entre centros |
|---|---|---|---|---|
| | mm | Pulgadas | mm | mm |
| 0 - 100 | 13 | 1/2 | 250 | 300 |
| 110 - 130 | 16 | 5/8 | 300 | 300 |
| 140 - 150 | 19 | 3/4 | 350 | 300 |
| 160 - 180 | 22 | 7/8 | 350 | 300 |
| 190 – 200 | 25 | 1 | 350 | 300 |
| 210 – 230 | 29 | 1 1/8 | 400 | 300 |
| 240 - 250 | 32 | 1 1/4 | 450 | 300 |
| 260 - 280 | 35 | 1 3/8 | 450 | 300 |
| 290 - 300 | 38 | 1 1/2 | 500 | 300 |

**Tabla 6-2. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga**

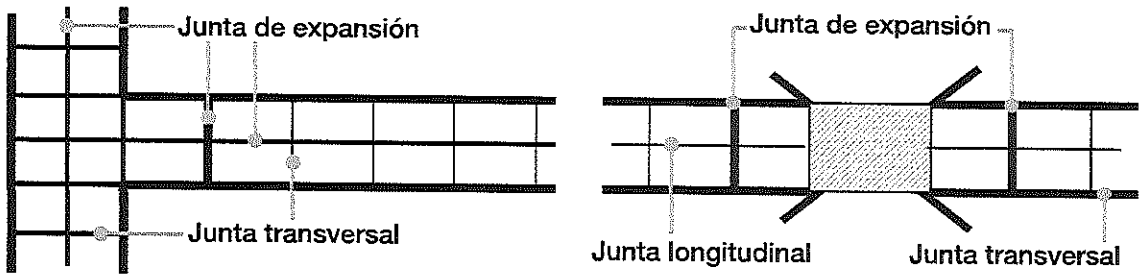



**Figura 6.1. Juntas de expansión en las intersecciones y cerca de algún obstáculo**

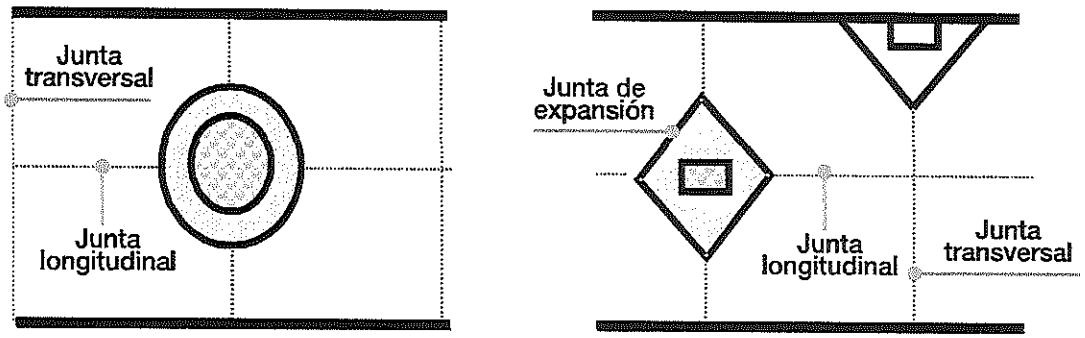



**Figura 6.2. Juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento**

## 6.2.2 Juntas longitudinales

Luego de localizar las juntas de aislamiento o expansión, se define la posición de las juntas longitudinales, teniendo en cuenta la dimensión de los equipos de construcción, el ancho de la vía a pavimentar y las restricciones constructivas, se deben evitar siempre que la separación entre dos juntas longitudinales (ancho de las losas), sea mayor que cuatro metros, atendiendo las recomendaciones de los dos numerales siguientes y los de la Figura 6.3 (Ref. 9.11).

### 6.2.2.1 En vías de doble sentido

Cuando se trata de vías transitadas en ambas direcciones y el ancho del pavimento es menor que 7,60 m, se debe construir una junta longitudinal para dividir el pavimento en dos franjas o carriles de igual ancho. En vías más amplias se deben construir tres juntas longitudinales, definiendo cuatro franjas, así:

- Para vías con un ancho entre 7,60 y 10,65 m: Se construye una junta longitudinal por el centro, y a cada lado de esta, otra que esté separada entre 1,8 y 3,05 m de la central.
- Para vías con un ancho entre 10,65 y 14,65 m: Se realiza una junta longitudinal por el centro y a cada lado de esta, otra separada entre 3,05 y 3,65 m de la central.

En la Figura 6.3 se observa un diagrama con las indicaciones dadas en este numeral.

### 6.2.2.2 En vías de un solo sentido

Cuando se trata de vías transitadas en una sola dirección, la disposición de juntas longitudinales se hace coincidir con los carriles de circulación de los vehículos. Normalmente la separación entre las juntas longitudinales en vías de varios carriles y un sólo sentido de circulación oscila entre 3 y 3,65 m.

## 6.2.3 Juntas transversales

El espaciamiento entre las juntas transversales debe estar comprendido entre 3,60 y 5,0 m y la relación entre el largo y ancho de las losas debe oscilar entre 1 y 1,3. Como recomendación general, las losas que sean lo más cuadradas posible, tendrán un mejor comportamiento estructural.

## 6.2.4 Consideraciones particulares

Con el fin de evitar la formación de losas con poca área, especialmente en los cambios de dirección, en las intersecciones o en las aproximaciones a estructuras existentes, se puede modificar la geometría de ciertas losas para incluir en ellas las otras de poca área como se muestra en la Figura 6.4.

### 6.2.4.1 Ejemplo de un diseño de juntas completo

En la Figura 6.5 se presenta un esquema en el que se indican las juntas que debe llevar un pavimento de concreto, un plano similar a ese se debe hacer con antelación al inicio de las obras, con el fin de evitar de que el equipo de construcción tome decisiones que puedan comprometer el buen funcionamiento de la obra.

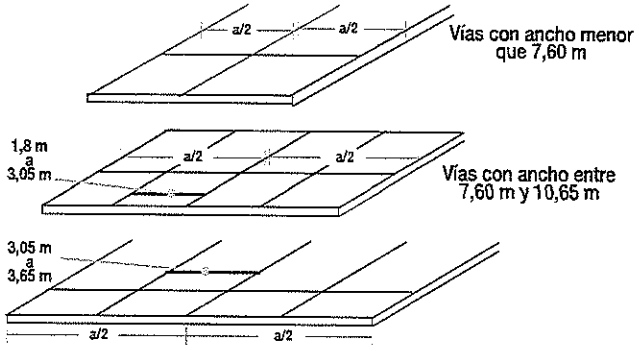



**Figura 6.3. Localización de las juntas longitudinales de doble sentido y de ancho "A"**

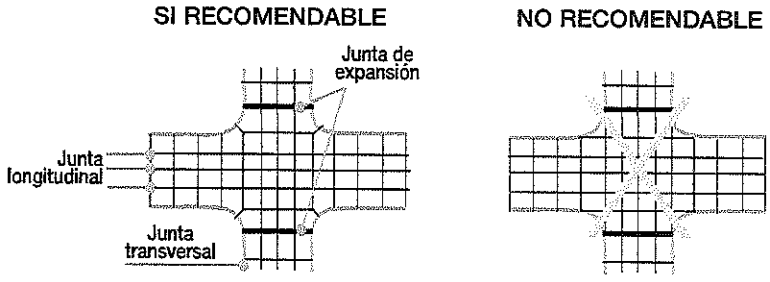



**Figura 6.4. Localización de las juntas en un cruce de vías**

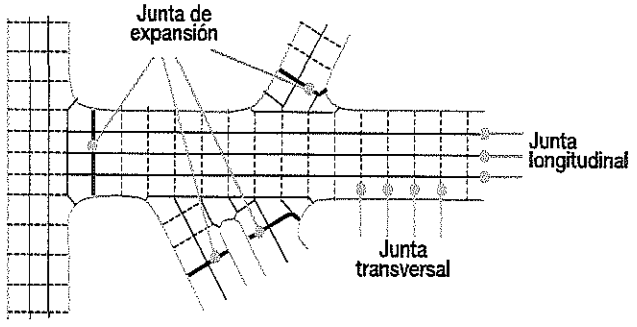



**Figura 6.5. Ejemplo del diseño de las juntas**