



**INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN**



**CONSTRUCCIÓN DE BASES DE  
SUELO - CEMENTO POR EL PROCESO DE  
MEZCLA EN SITIO**

**TRADUCCIÓN AUTORIZADA**

**AUTOR:**

**ING. MÁRCIO ROCHA PITTA**

**TRADUCCIÓN:**

**INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN**

**La Paz – Octubre – 2002**

## **RESUMEN**

El suelo – cemento es un tipo de material utilizado principalmente como base de pavimentos, en autopistas, pistas de aeropuertos, rutas, pavimentos industriales, etc., y como albañilería en forma de paredes monolíticas, bloques o baldosas pre – moldeadas.

Este trabajo trata específicamente de la construcción de bases de suelo – cemento para pavimentación, a través de procesos de mezcla en sitio.

La experiencia adquirida en la ejecución de miles de kilómetros de pavimentos está condensada en forma de especificaciones y recomendaciones, que deben ser rigurosamente obedecidas por las empresas que se dedican a la construcción de pavimentos con base de suelo – cemento.

La Asociación Brasileña de Cemento Pórtland (ABCP) se basa en las especificaciones de la “Portland Cement Association (PCA)”, redactadas estas en el anexo y que hoy son adoptadas por las entidades públicas brasileñas dentro de las cuales destacan el Departamento Nacional de Autopistas y Rodamientos (DNER) y el Departamento de Autopistas y Rodamientos del Estado de San Pablo (DER-SP).

Las especificaciones de la ABCP servirán de base a los comentarios que siguen y a ellas se refieren las anotaciones encontradas en este texto.

## SUMARIO

### RESUMEN

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>MATERIALES COMPONENTES DEL SUELO – CEMENTO</b> .....	<b>4</b>
2.1	SUELO.....	4
2.1.1	Grupos de suelo .....	5
2.1.2	Perfil geotécnico de suelos.....	5
2.1.3	Yacimientos de Suelos .....	7
2.2	CEMENTO PÓRTLAND .....	7
2.3	AGUA.....	7
<b>3.</b>	<b>MÉTODOS CONSTRUCTIVOS Y TIPOS DE EQUIPOS</b> .....	<b>8</b>
3.1	MEZCLADORES MÓVILES.....	8
3.1.1	Equipo reducido.....	9
3.1.2	Otros equipos .....	9
3.2	MEZCLADORES FIJOS .....	10
<b>4.</b>	<b>TÉCNICA DE EJECUCIÓN</b> .....	<b>10</b>
4.1	PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE .....	10
4.2	PREPARACIÓN DE LA BASE.....	11
4.3	PULVERIZACIÓN Y MEZCLA DEL SUELO.....	12
4.3.1	Transporte y esparcido del suelo.....	12
4.3.2	Pre – humedecimiento.....	13
4.3.3	Pulverización .....	13
4.4	TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE CEMENTO .....	14
4.5	MEZCLA INICIAL DE SUELO CON EL CEMENTO .....	16
4.6	ADICIÓN DE AGUA COMPLEMENTARIA Y MEZCLA FINAL DE SUELO – CEMENTO.....	16
4.7	COMPACTACIÓN .....	17
4.8	ACABADO .....	19
4.9	CURADO .....	19
4.10	PROTECCIÓN.....	20
<b>5.</b>	<b>PLANEAMIENTO DE TRABAJO</b> .....	<b>20</b>
5.1	PROGRAMA DE TRABAJO .....	22
5.2	SECUENCIA DE OPERACIONES.....	22
5.3	CANTIDAD DE CEMENTO.....	23
5.4	CANTIDAD DE AGUA .....	26
<b>6.</b>	<b>JUNTAS Y DETALLES</b> .....	<b>29</b>
6.1	JUNTAS DE PROCESAMIENTO .....	29
6.2	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.....	31
<b>7.</b>	<b>TRÁFICO DE SERVICIO</b> .....	<b>32</b>
<b>8.</b>	<b>REVESTIMIENTO</b> .....	<b>32</b>

### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

#### ANEXO – Especificaciones para Construcción de pavimentos de suelo – cemento por el proceso de mezcla en el sitio

<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>34</b>
1.1	Objetivo.....	34

1.2	Descripción .....	34
1.3	Sub - base.....	35
1.4	Base.....	35
<b>2.</b>	<b>MATERIALES .....</b>	<b>35</b>
2.1	Cemento Pórtland.....	35
2.2	Agua .....	36
2.3	Suelo.....	36
<b>3.</b>	<b>MÉTODO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>36</b>
3.1	Preliminares .....	36
3.2	Preparación de la faja .....	37
3.3	Pulverización .....	37
3.4	Distribución de cemento .....	38
3.5	Mezcla inicial .....	38
3.6	Regado e incorporación de agua.....	38
3.7	Compactación y acabado .....	39
3.8	Protección y curado .....	40
3.9	Disposiciones diversas .....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

Antes del inicio de las operaciones de construcción es necesario que sean de conocimiento pleno del constructor, además de las Especificaciones adoptadas, lo siguiente:

- a) Proyecto de pavimento, comprendiendo:
  - Espesor de la base;
  - Espesor del revestimiento asfáltico (cuando sea previsto);
  - Características de sub – base o de la subrasante;
  
- b) Dosificación de suelo – cemento, comprendiendo:
  - Resultados de los ensayos realizados con las muestras de suelo a ser utilizado;
  - Los resultados de dosificación que permitan la remisión de órdenes de servicio, en las cuales deberá constar:
    - Cantidad de cemento;
    - Cantidad de grava de suelo;
    - Cantidad óptima de agua;
    - Peso específico seco aparente.

## 2. MATERIALES COMPONENTES DEL SUELO – CEMENTO

El suelo – cemento es obtenido por la compactación y curado de una mezcla íntima de tres materiales principales: suelo, agua y cemento, descritos separadamente.

### 2.1 SUELO

El suelo es el elemento que entra en mayor cantidad en la composición de suelo – cemento y, por eso, exige toda la atención del constructor.

En cuanto al cemento y agua son materiales que tienen, normalmente, gran uniformidad, el suelo, al contrario, se presenta bastante variable. Este hecho muestra la necesidad de una constante vigilancia por parte de los constructores, en sentido de su certificación al usar, de hecho, suelos con las mismas características de aquellos cuyas muestras servirán de base a los ensayos de dosificación de suelo – cemento.

Casi todos los suelos especificados para fines de caminos sirven para la ejecución de bases de suelo – cemento. Siendo el cemento Pórtland un estabilizante de buena compatibilidad con suelos no orgánicos, confiere características mecánicas y elásticas considerables a los suelos tratados por éste, aunque tales suelos no poseen propiedades naturales favorables, como granulometría, por ejemplo. La cantidad de cemento, naturalmente, variará conforme a las peculiaridades de cada suelo, siendo su determinación hecha por medio de ensayos constantes de la ET-35 – Dosificación de Mezclas de Suelo – Cemento – Normas de Dosificación y Métodos de Ensayo.

### 2.1.1 Grupos de suelo

Se considerarán, para efectos constructivos, dos grupos de suelos:

a) Suelos arenosos y gravosos

- Con hasta 35 % de limo más arcilla – presentan características favorables y, generalmente, exigen menor cantidad de cemento para asegurar una adecuada estabilización;
- Con más de 55 % de material pasando el tamiz de malla de 4,8 mm – son bien trabajables y, cuando excepcionalmente están bien graduados, pueden contener hasta 65 % de material retenido en el referido tamiz y con un comportamiento muy bueno;
- Son suelos fácilmente pulverizables, permitiendo el procesamiento rápido de la mezcla con cemento y agua.

Cuando los suelos arenosos tienen deficiencias de finos:

- Las arenas de playa o de excavación dan buenos resultados como suelo – cemento, sin embargo exigen mayor cantidad de cemento que los suelos del primer grupo. Dada la ausencia de material cohesivo, ofrecen dificultad al movimiento de los equipos de construcción, como tractores de llantas neumáticas, camiones y motoniveladoras. Después del humedecido mejoran las condiciones de trabajo de esas máquinas;
- Las operaciones de acabado son también más difíciles.

b) Suelos limosos y arcillosos

- Son usados en la inexistencia de materiales más adecuados;
- Se prestan a la ejecución de suelo – cemento, reclamando, entre tanto, cantidades elevadas de cemento para estabilizar;
- Cuando el contenido de arcilla es elevado, la pulverización se torna difícil y la construcción se demora más.

### 2.1.2 Perfil geotécnico de suelos

Otro aspecto a considerar es el relacionado con el perfil geotécnico de suelos.

Los suelos superficiales se presentan normalmente en tres capas distintas (*Figura 1*):

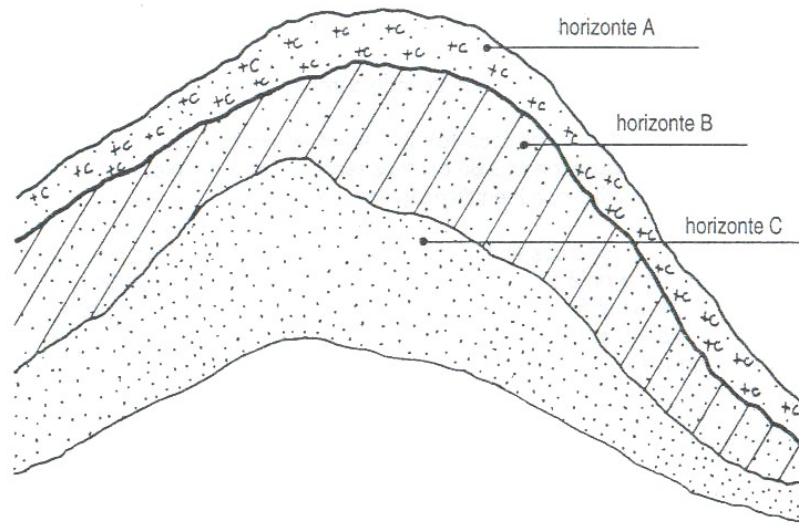


Figura 1 – Perfil de suelos

- a) *Horizonte A* – Capa superficial, normalmente provista de vegetación y microorganismos, con presencia de materia orgánica que puede perturbar, frecuentemente, la hidratación del cemento;
- b) *Horizonte B* – Zona de transición donde comúnmente se depositan varias sustancias solubles, existentes en el *Horizonte A*, que son transportadas por el agua de las lluvias, tanto más profundamente cuanto más permeable fuese el suelo.
- c) *Horizonte C* – Capa subyacente, constituida por suelo sin contaminación o exceso de alteración.

Los métodos de dosificación permiten fijar la cantidad de cemento adecuada para la estabilización de suelos, que pertenecen a los horizontes A y B. Cuando se ejecute suelo - cemento con material propio del sitio o de cortes adyacentes, los constructores deben estar atentos a eventuales modificaciones en las características de suelos de un mismo tramo, conforme a la posición de las capas superiores.

El aprovechamiento de materiales de cortes adyacentes a la pista, o más raramente, el material propio de subrasante, sólo se justifica cuando hay gran uniformidad de suelos a lo largo de todo el tramo a estabilizar.

La variabilidad de tipos de suelos que se encuentran en extensión relativamente pequeña, reclama cuidados especiales de control tecnológico y de ejecución, sobretodo en cuanto a una criteriosa identificación de los materiales.

Con los recursos actuales de equipos de excavación y transporte, el suelo - cemento es hoy ejecutado, en la mayoría de las veces, con yacimientos de suelos, en vez de

usar los suelos del lecho a pavimentar – no siempre factibles, recomendados o económicos en términos de consumo de cemento y facilidad de construcción.

### **2.1.3 Yacimientos de Suelos**

Desde el punto de vista de costo de suelo – cemento resultante, se torna ventajoso el empleo de yacimientos de suelos (no obstante apartados del camino), porque la selección de materiales de buenas características puede reducir la cantidad de cemento, o el tiempo de operación en el tratamiento y compactación y además simplificar el control tecnológico.

## **2.2 CEMENTO PÓRTLAND**

Los cementos brasileños normalizados por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) son:

- a) *NBR 5732 (EB-1) – Cemento Pórtland común;*
- b) *NBR 5735 (EB-208) – Cemento Pórtland de alto horno;*
- c) *NBR 5736 (EB-758) – Cemento Pórtland puzolánico;*
- d) *NBR 5733 (EB-2) – Cemento de alta resistencia inicial;*
- e) *NBR 5737 (EB-903/77) – Cementos MRS y ARS.*

La NBR 5732 especifica tres tipos, identificados por las siglas CPS, CPE y CPZ, cada una de las clases 25, 32 y 40.

La NBR 5735 especifica tres clases: AF-25, AF-32 Y AF-40.

La NBR 5736 especifica dos clases: POZ-25 y POZ-32.

Los números corresponden, respectivamente a las resistencias a la compresión a 28 días en MPa, conforme al ensayo normal NBR 7215 (MB-1).

Los cementos de alta resistencia inicial – ARI (NBR 5733) y los cementos de moderada resistencia a sulfatos y moderado calor de hidratación (MRS) y alta resistencia a sulfatos – ARS (NBR 5737) son destinados a aplicaciones especiales, no siendo, comúnmente, empleados en suelo – cemento.

Cualquiera de los otros tipos de cemento puede ser empleado en la estabilización de suelos, siendo, entretanto, indispensable que los ensayos de dosificación sean hechos con el tipo de cemento a emplearse en la obra.

Siempre que hubiera la posibilidad de empleo de cementos de tipos diferentes, deben ser hechos ensayos y presentados los certificados de dosificación de suelo – cemento correspondientes a cada tipo a emplear.

## **2.3 AGUA**

El agua debe estar exenta de cantidades nocivas de sales, ácidos, alcalisis y materia orgánica. Se consideran satisfactorias las aguas utilizadas, en la región para la



confección de morteros y concretos. En caso de sospecha, el agua debe ser analizada en cuanto a su composición química y sus características de resistencia mecánica que confiere a los cementos en general.

### **3. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS Y TIPOS DE EQUIPOS**

En la construcción de bases de suelo – cemento son realizadas varias operaciones (sección 1.2 de las Especificaciones). Esas operaciones son realizadas normalmente con equipos mecánicos, variables en número y capacidad de producción, según las dimensiones y particularidades de cada obra.

Los métodos constructivos, en consecuencia, varían también, según las condiciones de los equipos a utilizar. Entre los equipos más frecuentemente empleados, se destacan:

- a) Equipos mezcladores móviles;
- b) Equipos mezcladores fijos.

#### **3.1 MEZCLADORES MÓVILES**

El método de ejecución acá descrito, bastante difundido en Brasil, se basa en el empleo de uno o más grupos de máquinas, cuya producción es dirigida por la unidad pulvimezcladora.

La pulvimezcladora (*pulvimixer*) es una máquina constituida esencialmente por un motor de diesel, que acciona un rotor provisto de cuchillas de acero especial, accionado por un sistema de transmisión.

El rotor pulveriza el suelo, después de escarificar, y procesa la mezcla suelo – cemento en sus fases seca y húmeda, dejándola lista para recibir la compactación.

Dos son los tipos generalmente usados en nuestro medio: la pulvimezcladora remolcada y la autopropulsada.

Hay pulvimezcladoras de dos o más rotores, autopropulsadas, utilizadas sólo en obras que exigen alta producción. El empleo de estas máquinas exige un tren complementario de unidades irrigadoras y compactadoras, para mantener la productividad adecuada y compatible con un costo horario de operación.

Los grupos comúnmente usados en Brasil, compatibilizados con la extensión media de los tramos normalmente contratados por los órganos camineros (de 30 a 40 Km), se componen de las siguientes máquinas:

- 1 pulvimezcladora pesada;
- 1 motoniveladora pesada;
- 2 camiones cisterna de 6000 L a 8000 L con vertido de agua controlado;
- 1 compactadora pata de cabra;
- 1 compactadora neumática de 6 t a 10 t y ruedas bamboleantes o 1 compactador neumático de presión variable autopropulsado;

- 2 tractores de ruedas neumáticas de 80 HP;
- Camiones para transportes diversos;
- Herramientas y equipos especiales.

Este conjunto ejecuta en condiciones normales de 1800 m<sup>2</sup> a 2000 m<sup>2</sup> de capa de suelo – cemento, con 15 cm de espesor, por día (8 a 10 horas).

Eventualmente, para ciertos suelos, el empleo de rastra de discos, en pulverización, puede contribuir para la mejora de la producción.

### **3.1.1 Equipo reducido**

Para la ejecución de suelo – cemento en áreas relativamente pequeñas como tramos de rutas, estacionamientos de vehículos, pisos industriales, etc., es aconsejable el empleo de pequeñas unidades mezcladoras tipo mezcladoras, realizándose la compactación con rodillos compactadores de menor porte y, en ciertos casos, con compactadores de plancha (tipo “sapo”). En tales casos, el acabado puede ser ejecutado con motoniveladora liviana y hasta con herramientas comunes y martillos manuales lisos, en caso de imposibilidad de operar aquella máquina.

Cuando se usa una mezcladora para la mezcla, el suelo es antes pulverizado y medido en volumen por medio de cubículos, y el cemento dosificado en sacos.

### **3.1.2 Otros equipos**

- a) Un proceso no difundido en el Brasil y empleado en algunos países es el uso de Centrales Móviles.

Este equipo es usado en grandes obras, sobretudo en Estados Unidos.

Estas máquinas están dotadas de herramientas intercambiables, para varios tipos de operaciones.

El suelo escarificado y retirado en el propio lecho del camino y recogido por elevador mecánico es conducido hasta el interior del mezclador central, donde es pulverizado y mezclado con cemento y agua; conducido enseguida a los dispositivos de descarga y, finalmente, depositado en la plataforma, en el espesor suelto de suelo deseado, y debidamente pre – compactado por una regla reguladora, que deja a la mezcla lista en el lecho del camino en todo su ancho.

El equipo es alimentado continua y automáticamente con agua y cemento y todas sus operaciones son sincronizadas con el avance, de modo continuo.

- b) Trenes de ejecución

Bastante difundida, en Inglaterra, es la ejecución con un tren de máquinas.

Un tractor remolca un conjunto de equipos en forma de tren. Este tren está constituido por:

- Equipo escarificador;
- Pequeño silo distribuidor de cemento con descarga regulable;
- Pulvimezclador acoplado a un camión – cisterna que lo alimenta de agua, acompañándolo lateralmente;
- Finalmente, un compactador vibrador.

En Alemania existen equipos semejantes, con todas las máquinas soldadas a un chasis rígido de grandes dimensiones.

### **3.2 MEZCLADORES FIJOS**

De empleo cada vez más difundido, se aplican en la construcción de suelo – cemento con yacimientos de suelos.

Teniendo en vista las ventajas de su empleo y el actual nivel de la técnica de ejecución, la forma de utilización de este tipo de equipo es detallada a parte a través de un estudio específico, donde son enfocadas sus particularidades (véase “Construcción de Bases de Suelo – Cemento por el Proceso de Mezcla en Planta” – ET-18).

## **4. TÉCNICA DE EJECUCIÓN**

Obedece normalmente las siguientes fases:

- a) Preparado de la subrasante;
- b) Preparación de la base;
- c) Pulverización y mezcla;
- d) Compactación;
- e) Acabado;
- f) Curado.

En autopistas de tráfico liviano se puede ejecutar el suelo – cemento con el material existente en el propio tramo, en el caso de que sean favorables las características de los suelos y satisfactorias sus condiciones de soporte de subrasante, en cuanto a su estado de compactación.

En este caso hay una operación preliminar más, que es la remoción del suelo destinado a la capa base y el escarificado y compactado de la subrasante.

La ejecución con el suelo local, o con suelos transportados, sigue técnicas semejantes, siguiendo varias fases.

### **4.1 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE**

La subrasante está definida por su capacidad de soporte, la que está indicada en el proyecto. Este soporte se refiere a la capa de suelo inmediatamente debajo del

pavimento, y a las características geométricas en los sentidos transversal y longitudinal.

Generalmente, las imprecisiones y sobretodo las variaciones de soporte de la subrasante determinan el empleo de las sub – bases, cuyo espesor varía con las condiciones de la subrasante y el tráfico.

La interposición de esa capa entre la subrasante y la base del pavimento tiene por objeto, principalmente conseguir un soporte mínimo compatible con el proyecto y permitir la conformación de la plataforma dentro de las exigencias geométricas.

El parámetro de suelo que define la capacidad de soporte puede ser el CBR (California Bearing Ratio), o R del estabilómetro de Hveem, o el coeficiente de balasto u otro índice equivalente.

El dimensionamiento del espesor de las bases de suelo – cemento parte, por tanto, de un valor de soporte mínimo.

En el Brasil, ese soporte es definido casi exclusivamente por el CBR.

#### **4.2 PREPARACIÓN DE LA BASE**

Se desprende de las consideraciones de la sección anterior que, dentro de ciertos límites, el espesor de la base es inversamente proporcional al soporte del lecho sobre la cual reposa.

Las características de la subrasante son comúnmente variables a lo largo de un tramo a pavimentar, lo que da origen a espesores también variables para las bases.

El espesor de la base es calculado teniendo en cuenta el CBR mínimo.

Es de buena práctica verificar tales espesores, antes de la ejecución, con referencia a los ensayos realizados en el campo, para la comprobación de los valores mínimos de CBR.

Las subrasantes deben ser estadísticamente analizadas en cuanto a su soporte, pues en muchos casos esta puede presentar valores que resulten en una disminución del espesor de las bases, con apreciable economía.

Durante la ejecución de la base es importante observar las especificaciones en cuanto a las operaciones de mezclado, homogeneización y compactación, para garantizar un CBR mínimo y el comportamiento más uniforme posible.

La base debe ser además controlada geométricamente por el estacado colocado a lo largo de la plataforma y lateralmente a ella, capaz de definirla planimétricamente dentro de los siguientes rigores:

- a) Separación horizontal con relación al eje  $\leq 3$  cm;

- b) Nivelación: 2 cm, como máximo, entre puntos aislados y  $0,02 \cdot \sqrt{k}$  para eje, siendo  $k$  en kilómetros.

### 4.3 PULVERIZACIÓN Y MEZCLA DEL SUELO

Las operaciones comprendidas en esta fase se especifican, normalmente, de la manera siguiente:

#### 4.3.1 Transporte y esparcido del suelo

Como fue observado en la sección 2.1.2, en el Brasil casi la totalidad de las bases de suelo – cemento son ejecutadas con suelos provenientes de yacimientos, que pueden incluso localizarse en cortes del mismo camino. El suelo extraído del yacimiento, transportado en camiones es cortado o cortado y transportado por el equipo moto excavatrnsportador y llevado a la plataforma ya nivelada, donde es distribuido sobre la subrasante o sub – base.

Dependiendo del plano del trabajo, la base puede ser ejecutada en todo el ancho en la vía o en la mitad.

Distribuido el suelo en la plataforma, es necesario calcular el espesor de suelo suelto capaz de conducir, después de la compactación, al espesor compactado previsto en el proyecto.

Durante el esparcido del suelo, el propio tránsito del equipo de transporte proporciona una cierta compactación.

Después de distribuido el suelo en un espesor entre el 10 % y 20 % superior a la base compactada, conforme el suelo sea menos o más arcilloso, la capa es regularizada con la motoniveladora, lo más uniformemente posible.

Se determina entonces, el peso específico aparente de suelo seco esparcido y parcialmente compactado en la plataforma.

La profundidad a escarificar para obtener el espesor de capa de suelo suelto deseada, es obtenida de la siguiente forma:

$$\frac{h_{\text{escarificado}}}{h_{\text{compactado}}} = \frac{\gamma_{sc} - C_v \cdot \gamma_c}{\gamma_s}$$

Donde:

$$h_{\text{escarificado}} = h_{\text{compactado}} \cdot \left( \frac{\gamma_{sc} - C_v \cdot \gamma_c}{\gamma_s} \right)$$

En que:

$h_{\text{escarificado}}$  = profundidad de escarificación;

$h_{compactado}$	=	espesor de capa compactada;
$C_v$	=	Cantidad de cemento en volumen;
$\gamma_{sc}$	=	Peso específico seco máximo aparente de suelo - cemento ;
$\gamma_c$	=	Peso específico del cemento (1430 g/dm <sup>3</sup> );
$\gamma_s$	=	Peso específico seco aparente de capa esparcida y pre – compactada en el camino.

Es de buena práctica, al iniciarse este trabajo, hacer un esparcimiento en pequeño tramo de 10 m a 15 m y calcular el espesor de escarificación.

Habiendo exceso de material, éste es removido para el frente, con una motoniveladora. En caso de falta es entonces completado. De ahí en adelante, la operación de esparcimiento puede proseguir en el espesor deseado, sin resultar falta o exceso.

#### 4.3.2 Pre – humedecimiento

El suelo, al ser excavado del yacimiento, contiene una cierta humedad natural, variable con las condiciones atmosféricas y normalmente debajo de la humedad óptima de compactación.

Dependiendo de la humedad natural y del tipo de suelo, la incorporación de más agua antes de la pulverización, de modo de dejar al material con la humedad en torno de 2 o 3 puntos porcentuales debajo de la humedad óptima, puede facilitar a la operación de pulverización. Tal práctica trae las siguientes ventajas:

- La operación de pre humedecimiento es realizada usualmente en etapas de trabajo programadas para el día siguiente;
- En la mayoría de los suelos utilizados para construcción de caminos, la elevación de la humedad hasta que esté cerca de la cantidad óptima facilita la pulverización;
- De otra parte, los incrementos de agua necesarios para alcanzar el contenido óptimo quedan reducidos a un mínimo, resultando de ahí la disminución de tiempo de mezclado húmedo después de la adición del cemento, momento en que comienza a contar el plazo de 6 horas para la conclusión del trabajo.

#### 4.3.3 Pulverización

En los suelos de difícil pulverización se exige el empleo de artificios para lograrlo.

Se adoptan comúnmente los siguientes recursos:

- Disminuir la humedad del suelo, revolviéndolo constantemente durante un periodo de sol y aflojando con la pulvimezcladora con la cubierta del rotor abierta, proyectando el suelo para que se airee;

- b) Esparcir el suelo seco en capas de poco espesor y destrozarlo con el paso del rodillo compactador;
- c) Procurar la humedad conveniente a una compactación parcial con rodillos neumáticos, por ejemplo, o en algunos casos, conferir mayor resistencia al impacto de las cuchillas del rotor de la pulvimezcladora, facilitando la operación de pulverización;
- d) Adicionar el cemento antes de alcanzar el grado de pulverización de 80 % de suelo pasando el tamiz de 4,8 mm (ver especificaciones).

Cuando se hecha mano de este último recurso conviene hacerlo con cautela, en etapas pequeñas, para evitar riesgos de pérdida de cemento en cantidades mayores, en caso de no ser satisfactorio el resultado.

En los casos más corrientes, de suelos arenosos, el trabajo de pulverización no requiere procesos especiales, y el pre humedecimiento puede ir hasta 1 % o 2 % por debajo de la cantidad óptima de humedad.

#### **4.4 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE CEMENTO**

Cuando las etapas diarias de trabajo son grandes, la cantidad de cemento a transportar alcanza a decenas de toneladas, siendo necesaria una previsión adecuada de los medios de transporte.

Dependiendo de los recursos, el cemento puede ser transportado en sacos o a granel.

Cuando se emplea el transporte a granel, la distribución es hecha por equipo especial, acoplado a las unidades transportadoras.

El equipo distribuidor es provisto de un regulador de descarga continua, que esparce el cemento sobre el suelo pulverizado.

Es necesario hacer la calibración previa a la descarga y hacerla con frecuencia, para que se mantenga la dosificación correcta del cemento por unidad de área. La verificación de descarga es comúnmente hecha del siguiente modo:

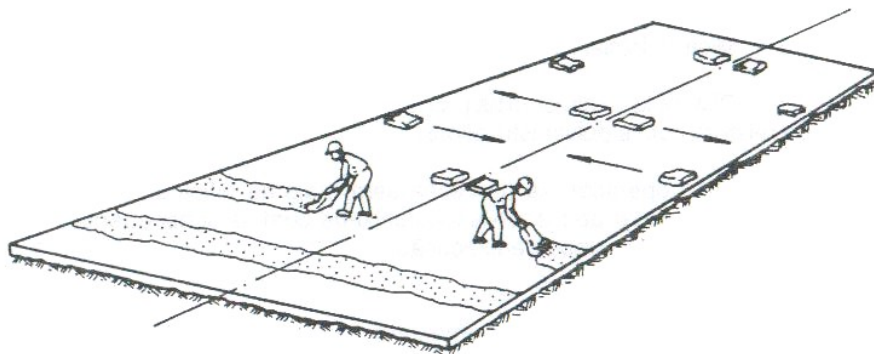
- a) Se colocan dos o tres bandejas de 30 cm x 50 cm de área, con bordes de aproximadamente 5 cm de altura, bien raso al suelo y dispuestas longitudinalmente en cierto espacio; después se pasa el distribuidor de cemento, las bandejas son recogidas y pesado cada contenido;
- b) Las tolerancias para las diferencias en peso de las bandejas son de  $\pm 0,4$  %;
- c) Ocurriendo diferencias mayores, se debe verificar el equipo y ajustarlo;
- d) Un otro cuidado a tomarse en cuenta es el control de la carga total del cargamento de cemento con relación al área de distribución.

Cuando la distribución es hecha en sacos, el problema se resume en calcular el número de sacos de 50 Kg a ser distribuido uniformemente a lo largo del tramo.

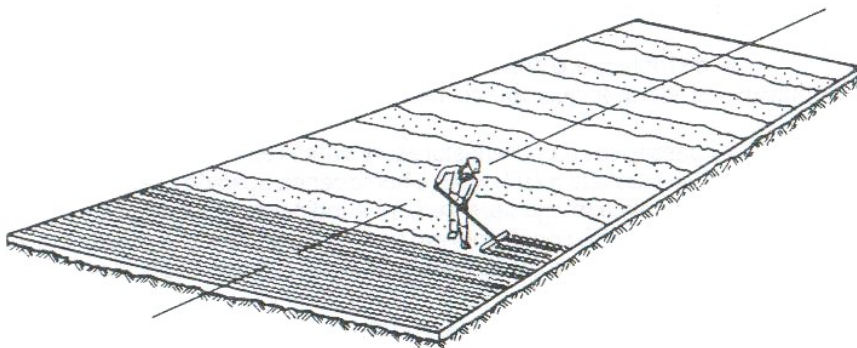
Los sacos son colocados en filas y espaciados entre sí en el sentido longitudinal y transversal, siguiendo las medidas calculadas.

Hecha la distribución, los sacos son abiertos y su contenido esparcido manualmente por obreros.

Los sacos son levantados por el fondo y al mismo tiempo desplazados transversalmente al eje del camino formando fajas de cemento (*Figuras 2a y 2b*).



*2a – Distribución de sacos y formación de fajas de cemento*



*2b – Esparcimiento complementario de cemento*

*Figura 2 – Distribución de sacos y esparcimiento de cemento*

La uniformidad de la capa de cemento distribuido se da por el esparcimiento complementario, hecho con rodillos manuales.

Es alternativa para esto el uso de rastrillos de arrastre, remolcados por un tractor liviano de ruedas neumáticas.

La operación de distribución y esparcido de cemento debe ser hecha dentro del menor intervalo de tiempo posible, de forma de permitir el inicio de la mezcla en seguida, con



la idea del aprovechamiento del plazo de 6 horas establecido para todas las operaciones hasta el acabado final (sección 3.4 de las especificaciones).

#### **4.5 MEZCLA INICIAL DE SUELO CON EL CEMENTO**

Distribuido el cemento en la proporción fijada en el proyecto, se inicia la operación de mezcla con la pulvimezcladora.

Esta operación se procesa sin mayores dificultades, debiéndose, entretanto, cuidar de mantenerla sincronizada con las operaciones subsecuentes, teniendo en vista minimizar el tiempo de ejecución.

#### **4.6 ADICIÓN DE AGUA COMPLEMENTARIA Y MEZCLA FINAL DE SUELO – CEMENTO**

Mezclado el cemento con el suelo se inicia la incorporación de agua necesaria para llevar a la mezcla a la humedad óptima. Esta operación, denominada *mezcla húmeda*, debe distribuir y mezclar el agua uniformemente en el suelo.

La distribución es hecha por las regaderas que caminan al frente de la pulvimezcladora, en cuanto esta procesa la mezcla.

Las pasadas de la pulvimezcladora serán repetidas tantas veces cuantas necesite la perfecta distribución y homogeneización de la mezcla de suelo – cemento. La humedad óptima a alcanzar será siempre la indicada en el ensayo de compactación ejecutado en campo con el suelo en uso, y no aquella que resulte de ensayos de dosificación realizados en laboratorio (sección 2.3 de las Especificaciones).

De acuerdo con las condiciones de tiempo se debe prever un ligero exceso en la cantidad de humedad con relación a la óptima, para compensar las pérdidas por evaporación durante las operaciones de mezcla y compactación.

El agua debe ser adicionada tan uniformemente como sea posible, debiendo, para eso, el equipo de regado estar provisto de distribuidores de presión constante.

Una barra de irrigación debe distribuir el agua uniformemente en todo el ancho de la faja en que se opera. Su colocación deberá ser hecha en la parte trasera de los camiones.

La pulvimezcladora debe entrar en operación inmediatamente después del paso del cisterna (vea el esquema de la *Figura 3*).

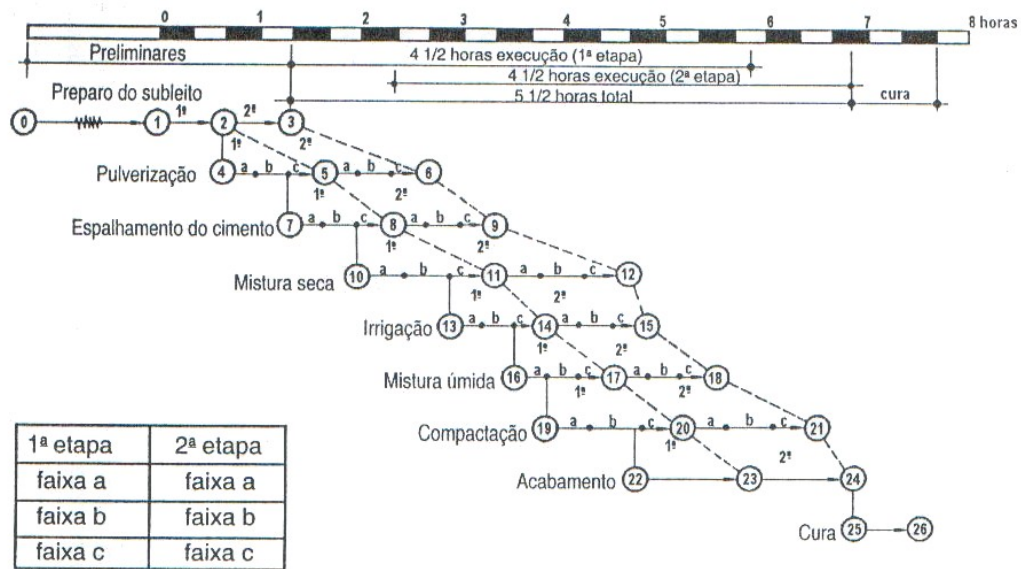


Figura 3 – Esquema de ejecución de base de suelo – cemento por el proceso de mezcla en sitio

Terminada la mezcla húmeda se debe proceder a la verificación del espesor de capa de suelo – cemento suelto, a fin de asegurar el espesor final del material compactado dentro de las tolerancias previstas (sección 3.7.3 de las Especificaciones)

#### 4.7 COMPACTACIÓN

Hecha la verificación y considerada satisfactoria la operación de mezcla, en cuanto a la homogeneización, pulverización, humedad y espesor suelto, se inicia la compactación.

La entrada de equipo de compactación, en cuanto al tipo, varía con las características del suelo.

Suelos de granulometría predominantemente fina exigen preliminarmente el empleo de rodillos pata de cabra, que permiten alcanzar compactación de abajo para arriba, operación que es seguida por la compresión de arriba para abajo, en la cual son empleados compactadores de tipos diversos:

- Neumáticos de presión variable;
- Vibratorios lisos;
- Neumáticos de múltiples ruedas.

El rodillo pata de cabra termina su operación tan luego sea posible de ejecutarse apenas con el rodillo compactador neumático y siempre que reste aún compactar un mínimo de 5 cm de espesor final contando de arriba hacia abajo.

La compactación exagerada con el rodillo pata de cabra y, principalmente, con los rodillos vibratorios, puede crear los siguientes problemas:

- a) La compactación con el rodillo pata de cabra llevada hasta la próxima superficie termina dejando una capa relativamente delgada de suelo suelto sobre la parte compactada. Esa capa, recibiendo la compactación final por cualquier tipo de equipo, no se une suficientemente a la parte compactada. Terminado el acabado, la apariencia puede ser satisfactoria, entre tanto, en pocos días aparecen las láminas que se desprenden, resultando una superficie irregular y una base de espesor variable. Cuando se insiste demasiado en la compactación con los rodillos lisos vibratorios se forma una capa superficial de peso específico muy superior al conjunto, con tendencia a desprenderse;
- b) En los días que hay mucho viento hay una natural tendencia de evaporación de la humedad superficial. La pérdida de humedad en esta zona impide que sea alcanzado el peso específico máximo deseado, facilitando la desintegración de la parte superior de la capa.
- c) Tales inconvenientes acostumbran suceder después de un cierto intervalo de tiempo: así, basado apenas en la buena apariencia de la superficie, el constructor aplica el revestimiento bituminoso, la deficiencia de unión con el conjunto acaba por comprometer el pavimento.

Se evitan tales defectos con cuidados mínimos que hacen parte de la rutina de la construcción, o sea:

- Observar lo recomendado en cuanto al empleo de equipos de compactación;
- Controlar la humedad durante las operaciones de compactación, particularmente en la fase de finalización;
- Usar un rodillo neumático de presión variable a partir de la mitad de la compactación en el sentido de abajo hacia arriba y nunca permitir que ese límite sobrepase de 5 cm;
- Cuando el suelo es demasiado arcilloso se presenta formación de grumos en la parte final a compactar, para contrarrestar esto se debe, recorrer las pasadas de la pulvimezcladora graduada para 8 cm de profundidad seguida entonces de la compactación final con rodillos neumáticos, de preferencia de presión variable.

Los rodillos pata de cabra operan normalmente con las siguientes presiones:

- En suelos friables arenosos con limo y arcilla, de 5 Kg/cm<sup>2</sup> a 9 Kg/cm<sup>2</sup>;
- En suelos arcillosos y limosos de bajo índice de plasticidad, de 7 Kg/cm<sup>2</sup> a 14 Kg/cm<sup>2</sup>;
- En suelos muy arcillosos con grava, de 10 Kg/cm<sup>2</sup> a 20 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los suelos del 1º y 2º grupo, comúnmente más usados, exoneran el uso de rodillos pata de cabra, principalmente el 2º grupo. En estos, el empleo de rodillos vibratorios acostumbra presentar buenos resultados.

Actualmente, dentro de la banda de suelos normalmente empleados en bases de suelo – cemento, la compactación es prácticamente ejecutada apenas por rodillos neumáticos de presión variable, que conducen a resultados muy buenos en corto espacio de tiempo.

La eficiencia de este tipo de equipos tornó generalizado su uso.

#### **4.8 ACABADO**

El acabado es ejecutado, prácticamente, apenas por la motoniveladora. Por su importancia, merece especial atención.

En la superficie de la base se desenvuelven las mayores sollicitaciones de cargas y de su calidad depende, también, la buena fijación de la capa de revestimiento bituminoso. Cuando se calcula el espesor de suelo suelto, es siempre conveniente aumentarla en un 5 % para en el final permitir el acabado por corte, de forma de garantizar una superficie uniforme. Ese exceso, después compactado, es inferior a la tolerancia admitida para las variaciones de espesor final.

En ningún caso se debe permitir la reutilización de suelo – cemento en la superficie. El exceso cortado, cuando las condiciones geométricas lo exigen, debe ser retirado fuera del camino.

Modelada la sección transversal, de acuerdo con el proyecto, por la motoniveladora, entonces, ella es verificada por la pasada de una lienza extendida directamente de las estacas de referencia (off-sets), colocadas lateralmente al camino.

Tanto en sentido transversal como longitudinal, las cotas se deben presentar dentro de los rigores exigidos en las especificaciones. Si no se alcanza el acabado deseado, debido a la naturaleza del suelo, si es necesario, puede este ser complementado con la pasada de un rodillo neumático para uniformizar la textura. Notándose las deficiencias localizadas de humedad, es conveniente proceder a la pasada de rodillo por una rápida irrigación, en cantidad bastante para uniformizar el acabado.

#### **4.9 CURADO**

El curado, operación indispensable para la obtención de buena calidad de suelo – cemento, debe ser iniciada inmediatamente después del acabado. Se emplea esta operación a los siguientes materiales:

- a) Pintura bituminosa con uno de los siguientes productos:
  - Emulsiones asfálticas catiónicas tipo RR-1C, RR-2C, RR-MC, RM-1C o RM-2C;
  - Emulsiones asfálticas aniónicas tipo LA-1 o LA-2:

- b) Recubrimiento de arena con cerca de 5 cm;
- c) Recubrimiento de paja de no menos de 10 cm.

El curado ayuda a impedir la pérdida rápida de humedad durante por lo menos 7 días.

Cuando se emplea materiales bituminosos, estos deben garantizar la formación de una película impermeable, capaz de retener la humedad durante la fase de curado. En este caso, es de buena práctica hacer antes un humedecimiento de la plataforma por irrigación y aplicar la pintura luego que el agua haya sido absorbida por el suelo – cemento. La cantidad de asfalto a emplear es de cerca de 0,8 L/m<sup>2</sup> a 1 L/m<sup>2</sup>.

Cuando se usa arena o paja, deben estas ser mantenidas mojadas durante los 7 días.

#### **4.10 PROTECCIÓN**

El tramo concluido debe ser protegido del tráfico por lo menos durante los 7 días de curado.

Se excluye de esta prohibición al tráfico de vehículos de irrigación cuando el curado sea por humedecimiento y, en este caso, la carga por eje debe ser limitada a 5 t como máximo.

Habiendo la necesidad de circular, estas deben ser localizadas y protegidas con por lo menos 15 cm de tierra.

En caso de curado bituminoso, es preciso tener presente que su eficiencia depende de la integridad de la película. El paso de vehículos directamente sobre ella, la inutiliza perjudicando el curado.

### **5. PLANEAMIENTO DE TRABAJO**

Como ocurre con todas las obras de ingeniería, la ejecución de bases de suelo – cemento debe ser planeada y programada.

El equipo debe ser dimensionado en función del volumen de obra y de los plazos contractuales. Como ejemplo, se considera suficiente el equipo descrito en la sección 3.1 (ejecución de etapas diarias entre 1800 m<sup>2</sup> y 2000 m<sup>2</sup>)

En el planeamiento se debe tomar en cuenta que la producción es comandada por la pulvimezcladora y que, después de su operación, se tiene cerca de 2 horas para la conclusión del acabado y aplicación del material de curado, y que, a partir de la distribución del cemento, se inicia el plazo final de 6 horas.

Por tanto, es de máxima importancia minimizar el tiempo improductivo de las máquinas y acortar tanto cuanto sea posible a partir de la distribución de cemento.

Una preocupación siempre presente para quien ejecuta bases de suelo – cemento por el proceso de mezcla en sitio es la sorpresa de lluvia en las estaciones propicias a ella.

Una programación criteriosa se dirige a alejar tal inconveniente en cualquier obra, particularmente en las de pavimentación de carreteras.

Tanto del punto de vista del rendimiento como de defensa, con relación a una lluvia imprevista, es aconsejable la división en etapas de sub tramos diarios a ejecutar, dirigiendo mejor el rendimiento para el aprovechamiento simultaneo de las máquinas en operaciones diferentes.

Si, por ejemplo, una etapa de 200 m es dividida en dos flancos, en cuanto a la distribución de cemento se procesa en uno de ellos, la mezcla ya puede irse procesando en el otro, igualmente sucede con las demás operaciones. El esquema de la *Figura 3* esclarece lo suficiente este asunto.

Como se desprende del esquema, a las primeras señales de lluvia se puede limitar el trabajo de un flanco, abreviándolo.

Por otro lado, cada flanco es normalmente dividido en tres fajas, que comprenden la cobertura de vía de 7,20 m de ancho por la pulvimezcladora.

Dependiendo del programa, los flancos pueden ser de 50, 80, 100 metros o más de extensión.

Es evidente que, en épocas sujetas a lluvia, los flancos deben ser reducidos a un mínimo compatible con el equipo.

Suponiendo la ocurrencia de una lluvia momentánea, que no permitiese seguir a la conclusión de un flanco mínimo y que el cemento ya estuviese distribuido, igualmente, habría recursos para salvar el imprevisto.

En este caso, se debe procesar rápidamente la mezcla y compactarla enseguida, aun parcialmente con la simple pasada del rodillo neumático, alisando e igualando bastante la superficie. Buena parte de la lluvia se escurrirá lateralmente sin ser absorbida por el suelo – cemento.

Una lluvia de 10 mm, por ejemplo, difícilmente caerá de sorpresa y, aun que eso pasara, con la absorción total de la precipitación de 10 l/m<sup>2</sup>, se puede evitar la pérdida del tramo en operación. Sea un suelo – cemento de:

$\gamma_{sc}$	=	1800 Kg/m <sup>3</sup> ;
$h_o$	=	14 %
$h$	=	10 % humedad de mezcla;
$e$	=	espesor de la base compactada = 15 cm;
$A$	=	cantidad unitaria de agua de lluvia, en mm.

La lluvia de 10 mm incorporaría al suelo – cemento la siguiente cantidad de agua:

$$\frac{h}{100} = \frac{A}{0,01 \cdot \gamma_{sc} \cdot e} = \frac{10}{0,01 \cdot 1800 \cdot 15} = 0,037$$

o sea 3,7 %, aun inferior a la cantidad de agua a incorporar para alcanzar la humedad óptima de 14 %. Si la lluvia cayera con mayor intensidad, o si la mezcla ya estuviese en la cantidad óptima de humedad, entonces, después de la lluvia, se debe escarificar el material y proceder a la aireación, conforme a lo indicado en la sección 4.3.3, inciso c, hasta alcanzarse la humedad óptima para el reinicio de la compactación y demás operaciones.

## 5.1 PROGRAMA DE TRABAJO

En la preparación del programa de trabajo deben ser considerados los siguientes puntos:

- a) Producción diaria prevista;
- b) Disponibilidad y estado del equipo;
- c) Previsión del equipo humano;
- d) Extensión de la etapa del trabajo;
- e) Esquema de subdivisión de etapas en flancos y fajas.

## 5.2 SECUENCIA DE OPERACIONES

Normalmente, se divide la etapa de servicio en flancos y estos en fajas de operación. Como ya se estableció anteriormente, el cumplimiento de los flancos es determinado según el equipo disponible y las condiciones de tiempo. Cuando el trabajo es hecho en la estación de construcción, o sea, en tiempo firme, las etapas son dimensionadas para el rendimiento ideal del equipo. Las operaciones siguen el siguiente esquema:

- *En la víspera: operación conforme al inciso a);*
  - *Al día siguiente: operaciones conforme a incisos b) hasta f).*
- a) Preparación de la etapa de trabajo referentes a la distribución del suelo y el espesor calculado, pre humedecimiento y alisamiento superficial;
  - b) Escarificación y esparcido del cemento;
  - c) Mezcla seca;
  - d) Irrigación y mezcla húmeda;
  - e) Compactación
  - f) Regularización y acabado;
  - g) Curado

### 5.3 CANTIDAD DE CEMENTO

Escarificada la base a la profundidad deseada, según lo descrito en la sección 4.3.3, inciso a), se inicia la distribución de cemento, calculando el número de sacos del siguiente modo:

$$C_V = \frac{100 \cdot C_p}{100 + C_p} \times \frac{\gamma_{sc}}{\gamma_c} \quad (1)$$

Siendo:

- $C_p$  = Cantidad de cemento en peso;
- $C_V$  = Cantidad de cemento en volumen;
- $\gamma_{sc}$  = peso específico aparente seco máximo de suelo - cemento compactado en  $\text{Kg/m}^3$ ;
- $\gamma_c$  = Peso específico de cemento suelto =  $1430 \text{ Kg/m}^3$ .

El volumen  $V_c$  (L) de cemento a ser esparcido por  $\text{m}^2$  de base, de espesor  $e$ , será:

$$V_c = \frac{C_V \cdot e}{10} \quad (2)$$

Estando  $e$  en cm y  $C_V$  en %. Como generalmente  $e = 15 \text{ cm}$ , se tiene:

$$V_c = \frac{1}{10} \cdot C_V \cdot 15 = 1,5C_V \quad \left( \frac{\text{L}}{\text{m}^2} \right) \quad (3)$$

y el peso por metro cuadrado será:

$$p = 1,5C_V \cdot 1,43 = 2,145C_V \quad \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right) \quad (4)$$

- a) Distribución en sacos de 50 Kg  
El peso del cemento a ser distribuido por  $\text{m}^2$  y es dada por la fórmula (4).  
Llamando  $n$  al número de sacos por metro se tiene:

$$n = \frac{2,145C_V}{50} = 0,043C_V$$

Siendo  $C_V$  en %.

Siempre que es posible, el cemento debe ser distribuido en dos filas de sacos por faja, colocados alternadamente y distribuidos en dos sentidos, siempre



normalmente al eje de la faja, tratando de compensar el error de distribución que se da en la ruptura de un saco, debido a la tendencia de escurrir en mayor cantidad al inicio.

Así en una carretera de 7,20 m de ancho a ser ejecutada en tres fajas con 2,40 m de ancho cada una, siendo de 10 % la cantidad de cemento en volumen, se tiene:

$$n = 0,043 \times C_v = 0,43 \text{ sacos/m}^2$$

En cada metro de faja habrá:

$$2,40 \times 0,43 = 1,03 \text{ sacos.}$$

El número de sacos de cemento por m<sup>2</sup> será:

$$\frac{I}{n} = \frac{50}{2,145C_v}$$

y, finalmente, el esparcido  $E$ , entre los sacos, colocados en una faja de ancho  $L$ , será:

$$E = \frac{50}{2,145C_v \cdot L}$$

Así para  $C_v = 8 \%$  y  $L = 2,40 \text{ m}$  se tiene:

$$E = \frac{50}{2,145 \times 8 \times 2,40} = 1,21 \text{ m}$$

El esquema de distribución será el N° 1 (*Figura 4*)

Los cálculos pueden ser hechos con el auxilio del ábaco de la (*Figura 5*)

Adoptándose dos fajas de distribución de cemento en lugar de tres, se tiene:

$$E = \frac{50}{2,145 \times 8 \times 3,60} = 0,81 \text{ m}$$

El esquema de distribución será el N° 2 (*Figura 4*)

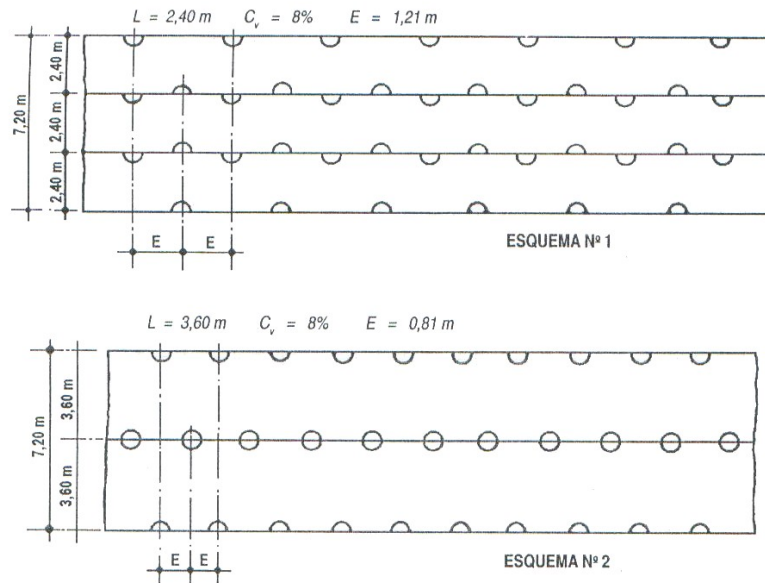


Figura 4 – Esquema de distribución de sacos de cemento

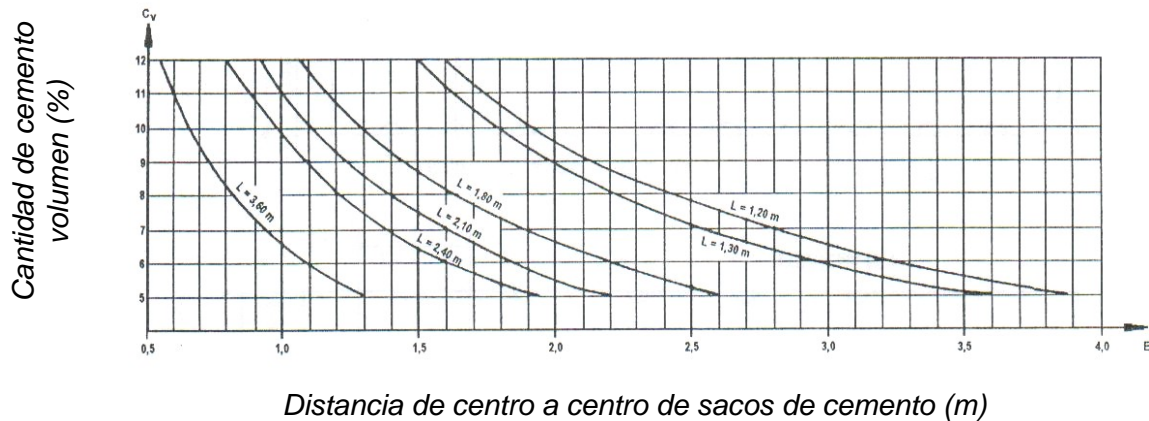


Figura 5 – Ábaco para el cálculo de esparcimiento de sacos de cemento en función del ancho de faja

b) Distribución a granel

Los distribuidores tienen la abertura regulable y deben ser graduados de modo que dejen una capa de cemento suelto de espesor  $d$  sobre el suelo distribuido.

Ese espesor puede ser calculado por la expresión:

$$d = \frac{b}{10}$$

Siendo  $b$  en L/m<sup>2</sup> y  $d$  en cm.

Para el caso de una base de 15 cm y una cantidad de cemento de 8 % se tiene:

$$d = 0,15C_v o \quad 1,2 \text{ cm.}$$

#### 5.4 CANTIDAD DE AGUA

La cantidad de agua a ser incorporada a la mezcla de suelo – cemento es fijada por el laboratorio, en los ensayos de dosificación, y corregida por los ensayos de campo de acuerdo a la sección 2.3 de las Especificaciones:

*“Para cada sub tramo definido por un tipo distinto de suelo, se hace entonces un ensayo de compactación en laboratorio de campo, con una muestra media de suelo y con la cantidad de cemento correspondiente a la cantidad en volumen fijada de acuerdo con los ensayos previos de laboratorio. Los nuevos valores de humedad óptima y de peso específico seco máximo aparente así obtenidos, para las condiciones reales del tramo, serán adoptados en sustitución de los encontrados por los ensayos previos de laboratorio”.*

Los datos originales de ensayos de dosificación, realizados en laboratorio, deben ser mantenidos a la cantidad de cemento, en tanto que el peso específico aparente seco máximo y la humedad óptima deben ser aquellos obtenidos en los ensayos hechos en el laboratorio de campo, con las muestras bien representativas de suelo con las cuales se va a trabajar.

Estos dos valores pueden confirmar o alterar, dentro de ciertos límites, los datos de ensayos originales de dosificación.

Las especificaciones no precisan los límites de tolerancia para estos casos, por ser ellos variables con las características de suelos.

El laboratorio de campo está obligado a estar atento y seguro de que las variaciones de peso específico seco máximo aparente y de humedad óptima no sean provenientes del hecho de estar utilizando otro suelo que no fue el ensayado originalmente.

Verificados los ensayos y conocida la humedad óptima a ser usada en el campo, se procede entonces al cálculo de la cantidad de agua necesaria para la compactación de suelo – cemento, con un incremento de 1 % para la evaporación durante la operación de mezclado.

Se considera por ejemplo, una etapa de trabajo de 200 m de una plataforma con 7,20 m de ancho. Se desea saber la cantidad total de agua.

Datos:

- Humedad óptima de suelo – cemento ( $h_o$ ) = 14 %;
- Humedad de evaporación ( $h_e$ ) = 1%;

- Humedad higroscópica ( $h$ ) = 10 %;
- Cantidad de cemento en volumen ( $C_v$ ) = 10 %;
- Peso específico seco máximo aparente de suelo - cemento ( $\gamma_{sc}$ ) = 1800 Kg/m<sup>3</sup>;
- Peso específico suelto aparente de cemento ( $\gamma_c$ ) = 1430 Kg/m<sup>3</sup>;
- Espesor compactado de suelo - cemento ( $e$ ) = 0,15 m;
- Área a ser ejecutada ( $S$ ) = 1440 m<sup>2</sup>;
- Largo de la etapa ( $c$ ) = 200 m;
- Ancho del camino ( $L_p$ ) = 7,20 m;
- Ancho de faja de trabajo ( $L_p/3$ ) = 2,40 m;
- Número de fajas ( $f$ ) = 3;
- Velocidad de irrigado ( $v$ ) = 84 m/min = 5 Km/h;
- Caudal de irrigación ( $q$ ) = 520 l/min.

a) Calculando la cantidad de agua por m<sup>2</sup>:

$$Q'_a = P_{sc}(h_o + h_e) - P_s \cdot h \quad (1)$$

Siendo:

$$V_{sc} = \text{Volumen del m}^2 \text{ de suelo - cemento} = 1,0 \times 1,0 \times 0,15 =$$

$$V_{sc} = 0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$P_{sc} = V_{sc} \cdot \gamma_{sc} \quad (2)$$

$$P_{sc} = \text{Masa de suelo - cemento compactado contenido en } 1 \text{ m}^2 \text{ de base } 0,15 \times 1800 = 270,00 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_c = \text{masa de cemento} = V_c \cdot \gamma_c = C_v \cdot V_{sc} \cdot \gamma_c \quad (3)$$

$$P_c = 0,10 \times 0,15 \times 1430 = 21,45 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_s = P_{sc} - P_c$$

$$P_s = 270,00 - 21,45 = 248,55 \text{ Kg/m}^2$$

Así:

$$Q'_a = 270,00(0,14 + 0,01) - 248,55 \cdot 0,10$$

$$\therefore Q'_a = 15,64 \text{ L/m}^2 \quad (\text{Considerando } \gamma_{\text{agua}} = 1)$$

El total necesario será:

$$Q_a = Q'_a \times S \quad (4)$$

$$Q_a = 15,64 \times 1440 = 22500 \text{ L}$$

b) Cantidad de agua por faja de 2,40 m

$$q_f = \frac{Q_a}{3} = \frac{22500}{3} = 7500 \text{ L} \quad (5)$$

c) Número de pasadas del cisterna

- Para recorrer una faja a velocidad de 84 m/min (5Km/hr), el tiempo será:

$$t = \frac{c}{v} = \frac{200}{84} = 2,4 \text{ min}$$

- Cantidad de agua lanzada en cada pasada del cisterna:

$$q_p = q \cdot t = 520 \cdot 2,4 = 1250 \text{ L}$$

- Número de pasadas por faja, para distribuir el agua necesaria:

$$N = \frac{q_f}{q_p} = \frac{7500}{1250} = 6$$

El cálculo puede ser resumido por la fórmula:

$$N = \frac{Q_a \cdot v}{f \cdot q \cdot c} = \frac{22500 \times 84}{3 \times 520 \times 200} = 6$$

La división en tres fajas de 2,40 m cada una es hecha teniendo como base el ancho de regado cubierta por la barra de irrigación.

Es esta operación se debe cuidar que no haya superposición de regado, lo que resultaría en un exceso de humedad en fajas longitudinales de ancho superpuesto, perjudicando la operación de mezcla húmeda.

Otro modo de calcular la distribución de agua, consiste en determinar el caudal de regado, correspondiente al incremento de 1 % de humedad en cada pasada.

El cálculo de caudal puede partir del valor de  $Q'_a$  en litro de agua por metro cuadrado.

Manteniendo los mismos datos del ejemplo anterior, esto es:

$$v = 84 \text{ m / min};$$

$$Q'_a = 15,64 \text{ L / m}^2;$$

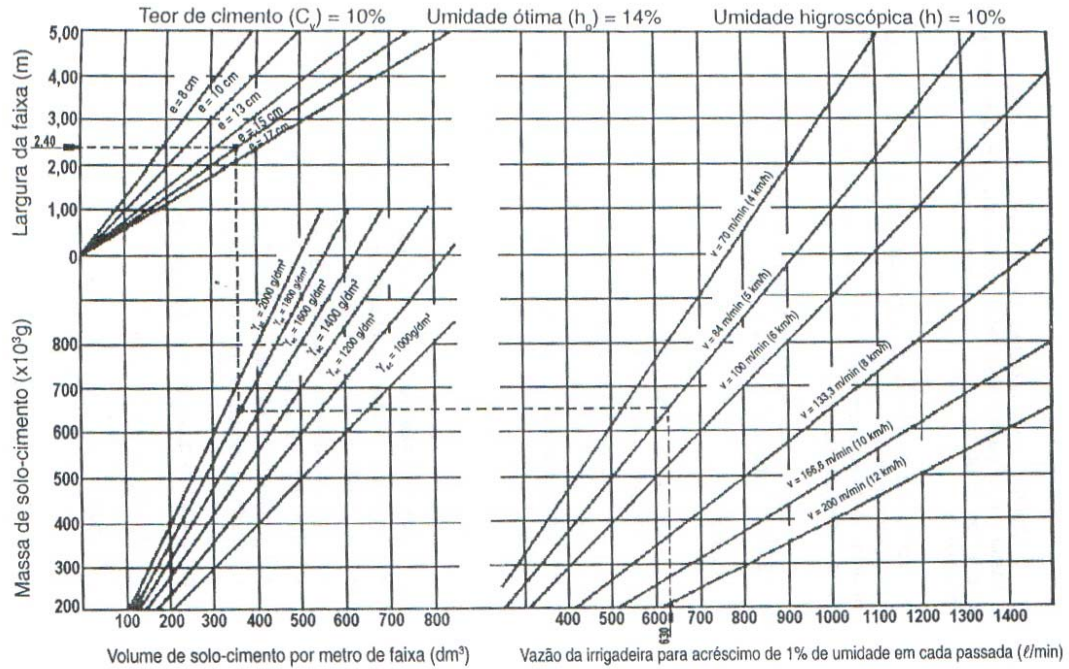
$$L_p / 3 = 2,40 \text{ m};$$

$$a\% = (h_o + h_e) - h = 5\%;$$

Así :

$$q = \frac{Q'_a}{a\%} \left( v \cdot \frac{L_p}{3} \right) = \frac{15,64}{5} (84 \times 2,40) = 630 \text{ L / min}$$

Se puede utilizar para estos cálculos el gráfico de la *Figura 6*.



*Figura 6 – Gráfico para el cálculo de la cantidad de agua*

## 6. JUNTAS Y DETALLES

Uno de los cuidados a tomarse en la construcción de bases de suelo - cemento son las juntas.

Pueden ser clasificadas en dos tipos principales:

- Juntas de procesamiento;
- Juntas de construcción.

### 6.1 JUNTAS DE PROCESAMIENTO

Las juntas de procesamiento existen apenas, transitoriamente, durante la construcción. Pueden ser longitudinales, en este caso sólo se presentan durante la fase de mezcla de suelo - cemento, cuando este está dividido en fajas, cuyo ancho es determinado por el rotor de la pulvimezcladora. En la medida en que la mezcla vaya siendo concluida en una faja, esta va siendo unida a la faja continua, conforme al esquema de la *Figura 3*.

El cuidado a tomarse, en este caso, reside en hacer que la pulvimezcladora recubra siempre cerca de 20 cm de faja ya mezclada, evitando discontinuidad entre las fajas lo que podría resultar en el surgimiento de una fisura longitudinal o diferencias de nivel entre una faja y otra.

Si esto acontece, antes de la finalización, se debe escarificar la zona, remezclar el material y recompactar de manera de permitir un acabado adecuado.

Si surge una fisura de ese tipo, después de endurecido el suelo – cemento, y que necesite reparación, esto se procesa de la siguiente manera:

- a) Se abre una fosa longitudinal de 40 cm a 50 cm de ancho, a lo largo de la falla en todo el espesor de la base;
- b) Llénese esta fosa con suelo – cemento debidamente mezclado con la cantidad indicada por los ensayos y compáctese con un rodillo neumático de presión variable;
- c) La mezcla de suelo – cemento puede ser retirada durante la ejecución de una etapa próxima.

La junta transversal de procesamiento se produce al final de cada flanco en que se divide la etapa. Dos son los procedimientos normalmente empleados:

- a) Cuando se dispone de compactación con rodillos neumáticos de presión variable.

Es este el caso más simple, bastando realizar la compactación hasta cerca de 1 m o 2 m del final, dejando ese pedazo para ser unido a la mezcla del flanco siguiente – dentro, naturalmente, del tiempo total de ejecución.

En algunos casos, se puede reforzar la cantidad de cemento en aproximadamente 2 %, sólo en esa zona. Conviene, con todo, no abusar en cuanto al exceso de cemento, para no tornar al suelo – cemento demasiado rígido.

Una operación de mezcla bien programada es garantía de eficiencia, apenas con una simple remezcla en la zona de la junta entre los flancos.

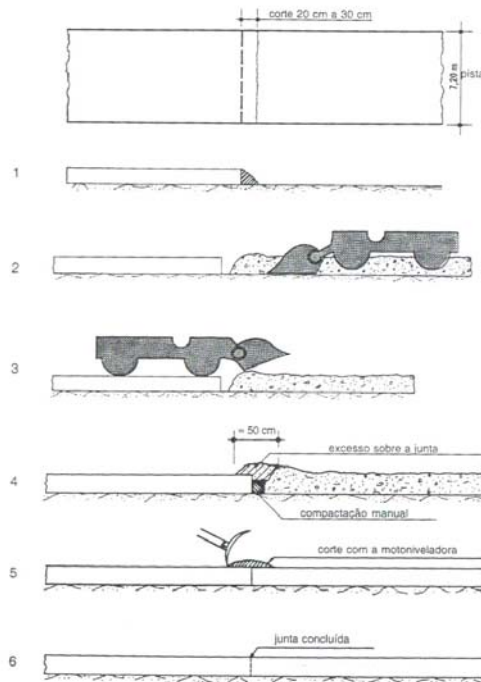
- b) Cuando no se disponen de rodillos que permitan la compactación de frente y al revés.

La compactación puede ser hecha hasta el final del flanco y luego que sea iniciado el siguiente. Se hace un corte transversal con la motoniveladora y se deja cierta cantidad de material mezclado para la junta de suelo – cemento cortado.

Se hace una compactación inicial profunda, junto a la parte cortada, con martillos manuales o mecánicos, y se completa con un ligero exceso de material suelto, en cerca de 50 cm.

Iniciada la compactación en el 2º flanco, los rodillos neumáticos se remontan sobre el tramo acabado. El exceso es retirado en el acabado de la motoniveladora (ver esquema 4 de la *Figura 7*).

Para las operaciones de mezclado, la circulación del equipo pulvimezclador puede ser hecho sobre la etapa concluida, antes del acabado final.



*Figura 7 – Ejecución de juntas*

## 6.2 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción son ejecutadas de la siguiente forma:

- Compactación del último flanco hasta el final;
- Al día siguiente, antes de iniciarse la etapa adyacente, se corta con la motoniveladora la parte irregular del final (20 cm a 30 cm), operando transversalmente a la plataforma;
- El corte es en seguida regularizado con una cortadora manual, de forma de dejar la junta con el paramento vertical en todo el espesor de la base;



- d) El material para la ejecución de la etapa siguiente es distribuido hasta cerca de 50 cm próximo a la junta cortada, dejándose ahí un exceso de espesor suelto, que después de mezclado con la pulvimezcladora es, entonces, aproximado a la junta manualmente. Al hacerlo, 3 o 4 operarios ejecutan una primera compactación manual profunda, enérgica con martillos de puntas o compactadores mecánicos, hasta cubrir la faja transversal de 50 cm de la próxima junta.

Esa compactación es realizada hasta cerca de la mitad del espesor, cuando entonces la mezcla suelta es nuevamente redistribuida para complementación, por compactación con rodillos neumáticos. Antes de tales operaciones, se hace un recubrimiento del suelo puro, con aproximadamente 15 cm de espesor, sobre la plataforma concluida, de modo de protegerla de los efectos mecánicos originados durante las maniobras del equipo. El esquema de la *Figura 7* aclara los detalles.

## **7. TRÁFICO DE SERVICIO**

Se debe permitir el tráfico sobre el suelo – cemento después de los 7 días de curado, y estando la superficie endurecida, limpia y seca.

## **8. REVESTIMIENTO**

El revestimiento bituminoso puede ser ejecutado inmediatamente después del curado o algún tiempo después, conforme al programa de trabajo. Entre tanto es importante que, antes de la imprimación, la base de suelo – cemento esté limpia, exenta de cualquier material extraño y lo suficientemente seca.

La imprimación debe ser aplicada uniformemente y permanecer en curado el tiempo especificado, dependiendo del tipo de asfalto empleado. Hasta el recibimiento del revestimiento, no debe ser permitido cualquier tipo de tráfico sobre la imprimación.

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

1. ASSOCIACAO Brasileira de Cimento Portland (ABCP). *Controle e fiscalizacao de obras de solo-cimento*. Sao Paulo, 1973.
2. BRASIL. Ministerio dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Base de solo-cimento; DNER-ES-P 12-71*. In\_\_\_\_. *Especificacoes gerais para obras rodoviaras*. Rio de Janeiro, 1971.
3. \_\_\_\_\_. *Base de solo melhorado com cimento DNER-ES-P 11-71*. In\_\_\_\_. *Especificacoes gerais para obras rodoviaras*. Rio de Janeiro, IPR, 1971.
4. SAO PAULO. Departamento de Estradas de Rodagem. *Instrucao para o controle tecnologico do pavimento; I-100-58t*. In:\_\_\_\_. *Normas e instrucoes*. Sao Paulo, 1969. p. 174-92.
5. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). *Essentials of soil-cement: construction, inspection, field control*. Skokie, 1970. (EBO68-01S).
6. \_\_\_\_\_. *Minimizing reflective cracks in soil-cement pavements: a status report of laboratory studies and field practices*. Skokie, 1973. (TA028P).
7. \_\_\_\_\_. *PCA soil primer*. Skokie, 1973. (EBO07.04S).
8. \_\_\_\_\_. *Properties and uses of cement-modified soil*. Skokie, 1966. (CR034.01S).
9. \_\_\_\_\_. *Rebuilding, widening and maintaining old pavements with soil-cement*. Skokie, 1955. (IS007S).
10. \_\_\_\_\_. *Soil-cement construction handbook*. Skokie, 1979. (EB003.09S).
11. \_\_\_\_\_. *Soil-cement inspector's manual*. Skokie, 1963. (PA050.01S).
12. \_\_\_\_\_. *Soil-cement laboratory handbook*. Skokie, 1959. (EB052.05S).
13. \_\_\_\_\_. *Suggested specifications for soil-cement base course*. Skokie, 1969. (IS008.09S).
14. SAO PAULO. Departamento de Estradas de Rodagem. *Sub-base e base de solo-cimento; I-61-56t*. In:\_\_\_\_. *Normas e instrucoes*. Sao Paulo, 1969. p. 118-22.
15. BRASIL. Ministerio dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Sub-base de solo melhorado com cimento; DNER-ES-P 09-71*. In\_\_\_\_. *Especificacoes gerais para obras rodoviaras*. Rio de Janeiro, 1971.

## **ANEXO – Especificaciones para Construcción de pavimentos de suelo – cemento por el proceso de mezcla en el sitio**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Objetivo**

Las presentes especificaciones se aplican a la construcción de bases de suelo – cemento, en rutas, autopistas, aeropuertos, pisos industriales, etc., por proceso mecánico de mezcla en obra.

#### **1.2 Descripción**

El suelo – cemento es un producto de una mezcla íntima de suelo, cemento y agua, en proporciones determinadas por ensayos de laboratorio, adecuadamente compactada y sometida a un periodo mínimo de curado.

La construcción es hecha, normalmente, de la siguiente forma:

- a) El área a pavimentar, dependiendo del ancho, es dividida en fajas convenientes al trabajo y al equipo empleado.

La pavimentación debe ser ejecutada sobre una subrasante previamente preparada, de forma de ofrecer las condiciones de soporte exigidas en el proyecto. Se entiende por subrasante la capa inmediatamente por debajo del pavimento, constituida por el lecho de la autopista después de concluido el terraplén. Las características de la subrasante, en cuanto a su soporte CBR, y en cuanto a la configuración geométrica, son establecidas por el proyecto y deben ser obedecidas enteramente.

- b) El suelo, en la plataforma, sea local o transportado de yacimientos, debe ser escarificado y pulverizado en la profundidad calculada y en todo el ancho de la faja, de modo que la capa de suelo suelto constituya, después de compactado, el espesor de la base determinada por el proyecto.
- c) El cemento Pórtland será uniformemente distribuido en la proporción determinada por los ensayos e íntimamente mezclado al suelo pulverizado
- d) El agua necesaria será uniformemente lanzada e incorporada en la mezcla, de forma de conferirle la cantidad óptima de humedad, determinada por el ensayo de compactación.
- e) La mezcla húmeda, después de procesada y perfectamente uniformizada, será compactada hasta alcanzar el peso específico seco máximo aparente pretendido, en todo el espesor de la base.
- f) Terminada la compactación, la superficie es entonces regularizada de forma de encuadrarse a las exigencias del proyecto geométrico.

### 1.3 Sub – base

Como medio de conseguir un soporte suficiente y uniforme en lo posible, atendiendo las exigencias del tráfico, se emplea entre la base y la subrasante una capa denominada sub base, también especificada en el proyecto.

Las sub bases para pavimentos de base de suelo – cemento pueden ser simplemente estabilizadas o más comúnmente de suelo mejorado con cemento. La ejecución de las sub bases se procesa del mismo modo que la base, difiriendo apenas en el control de dosificación del cemento, en caso de suelo mejorado, y del ancho de faja, normalmente extendida 50 cm para cada lado.

Tal como en la preparación de la subrasante, el control geométrico debe ser hecho dentro de las recomendaciones de estas especificaciones, con diferencias máximas de 0,02 m para puntos aislados al estacado de 20 m y  $0,02\sqrt{k}$  para el nivelado del eje, siendo k en kilómetros.

### 1.4 Base

Debe ser ejecutada siguiendo lo especificado en la sección 3, donde son detalladas las operaciones resumidas en la descripción, título 1.2.

## 2. MATERIALES

### 2.1 Cemento Pórtland

Deberá obedecer las Especificaciones Brasileñas:

- a) *NBR 5732 (EB-1) – Cemento Pórtland común;* con tres tipos de cemento, identificados por las siglas CPS, CPE y CPZ cada una de las clases 25, 32 y 40.
- b) *NBR 5735 (EB-208) – Cemento Pórtland de alto horno;* con tres clases: AF-25, AF-32 y AF-40.
- c) *NBR 5736 (EB-758) – Cemento Pórtland puzolánico;* con dos clases: POZ-25 y POZ-32.

Para cualquiera de los tipos, los números corresponden a las respectivas resistencias a compresión del ensayo normal a los 28 días.

El uso de cualquiera de estos tipos es permitido, debiendo, ser especificado en el ensayo de dosificación de suelo – cemento.

En el caso del empleo de tipos diferentes de cemento, a cada tipo deberá corresponder un ensayo completo de dosificación.

## **2.2 Agua**

Deberá estar exenta de cantidades nocivas de sales, ácidos, álcalis, y de pH neutro o levemente ácido. Se presumen satisfactorias las aguas usadas en la región para la confección de concretos en general. Siempre que haya sospecha, el agua debe ser analizada.

## **2.3 Suelo**

Pueden ser utilizados el suelo local del propio camino o suelos procedentes de yacimientos, identificados a través de muestras debidamente ensayadas en laboratorio.

El empleo de suelo local sólo es viable cuando éste se presenta con bastante uniformidad a lo largo del tramo y es capaz de garantizar características finales de suelo – cemento uniformes.

Preferencialmente, deben ser utilizados suelos procedentes de yacimientos previamente estudiados, teniendo en cuenta la uniformidad de la cantidad de cemento y la constancia de las características del material.

Para efectos de control de la humedad óptima y del peso específico seco máximo aparente, se usan los valores obtenidos en el ensayo de compactación de campo que dentro de ciertos límites, acostumbran ser diferentes de los ensayos originales de laboratorio. La cantidad de cemento, entretanto, debe ser mantenida tal como lo especifica el ensayo original de dosificación.

El suelo no debe contener material retenido en el tamiz de 76 mm y el porcentaje de material retenido en el tamiz de 4,8 mm no debe exceder de 45 %. Debe estar exento de materia orgánica y otras impurezas.

En el reconocimiento, como en la exploración de yacimientos de suelos, se debe caracterizar lo más precisamente posible los horizontes, sugiriendo siempre emplear los suelos ensayados.

## **3. MÉTODO CONSTRUCTIVO**

### **3.1 Preliminares**

El constructor debe estar en conocimiento de todos los elementos del proyecto de pavimento y, principalmente, de los certificados de ensayos suministrados por laboratorios idóneos y ejecutados de acuerdo con las Normas Brasileñas y Normas de Dosificación de Suelo – Cemento de la Asociación Brasileña de Cemento Pórtland (ABCP).

La obra deberá mantener copia de estos ensayos, comprendiendo como mínimo lo siguiente:

- a) Ensayo de caracterización de suelos;
- b) Ensayo de compactación;
- c) Ensayo de durabilidad (cuando sea necesario);
- d) Indicación explícita del tipo y cantidad de cemento en peso y en volumen, y de la humedad óptima para el o los suelos a utilizar.

### **3.2 Preparación de la faja**

Antes de iniciar la operación de la construcción, deben estar concluidos todos los trabajos de drenaje, ejecutada la sub base dentro de las exigencias del proyecto, en cuanto a su soporte CBR y en cuanto a las características geométricas en planta, perfil y sección transversal.

En la preparación del subsuelo, habiendo la presencia de materiales inadecuados, deben éstos ser removidos y sustituidos por material de buenas características, debidamente aprobados por la Fiscalización.

### **3.3 Pulverización**

Antes de la distribución del cemento, la sección transversal, en toda la etapa de servicio, se debe encontrar regularizada y las cotas exactas para, después escarificar y pulverizar, permitir la ejecución de la base en el espesor del proyecto.

Cuando la ejecución se hiciese con suelo local, la capa a ser tratada será escarificada en la profundidad determinada por cálculo (teniendo en cuenta la relación entre los pesos específicos aparentes de suelo y de suelo – cemento compactado), y removida lateralmente, para la adecuada preparación de la subrasante. El material a ser utilizado en la base será entonces recolocado sobre la subrasante, preparado y sometido a la pulverización.

En el caso más frecuente, de empleo de suelo de yacimiento, el espesor del material es calculado en la ocasión de esparcimiento en plataforma, cuando la capa es entonces distribuida uniformemente, regularizada con la motoniveladora y ligeramente compactada con rodillos neumáticos.

Tal como en el caso de empleo de suelo local, esa capa es escarificada y pulverizada antes de recibir al cemento. La pulverización es prolongada hasta que un mínimo de 80 % en peso de suelo seco, con exclusión de material gravoso, pase el tamiz de 4,8 mm – NBR 5734 (EB-22/45 de ABNT).

En la operación de pulverización, dependiendo del tipo de suelo, es permitido el empleo combinado de pulvimezcladora con escarificadores y gradas de discos.

Siempre que hubiera cambio en el tipo de suelo, debe este cambio corresponder a etapas distintas de trabajo, y los materiales serán dosificados de acuerdo con los ensayos correspondientes, de laboratorio, confirmados por los ensayos de campo, según lo dispuesto en la sección 2.3.1.

### **3.4 Distribución de cemento**

Concluida la pulverización, el suelo es regularizado de modo que presente aproximadamente la sección transversal proyectada.

El cemento debe ser distribuido uniformemente en la superficie, en todo el ancho de faja y en el espesor indicado por el cálculo, según la cantidad especificada por el ensayo de dosificación.

A partir del esparcimiento de cemento, todas las operaciones hasta el acabado deberán estar concluidas en un máximo de 6 horas.

Cuando se emplea la distribución en sacos, ella es hecha colocándolos en posición equidistante, de modo de permitir el esparcimiento uniforme. Cuando se utiliza la distribución a granel, por proceso mecánico, el equipo debe ser aprobado por la Fiscalización.

En cuanto la operación de mezcla esté en proceso, ningún equipo, excepto los que operan en esta fase, podrán circular sobre el suelo – cemento.

### **3.5 Mezcla inicial**

Inmediatamente después del esparcimiento, el cemento será mezclado al suelo pulverizado, en todo el espesor de la capa.

La mezcla debe ser hecha con equipo pulvimezclador adecuado, debidamente verificado y considerado eficiente por la Fiscalización. La operación de mezcla seca será repetida por pasadas de máquina en una misma faja, hasta que la mezcla se presente uniforme, en cuanto a la distribución y coloración.

### **3.6 Regado e incorporación de agua**

Considerada satisfactoria la mezcla seca es entonces iniciada la incorporación de agua, hasta alcanzar la humedad óptima.

El regado de agua debe ser hecho en irrigaciones sucesivas, con incrementos de un máximo de 2 % por cada vez después mezclados por la pulvimezcladora, hasta alcanzar la humedad óptima.

La operación de mezcla húmeda debe ser ejecutada sin interrupciones y la incorporación completa de la cantidad total de agua deberá estar terminada dentro de 3 horas contando desde la distribución del cemento.

Después del último regado de agua, el proceso de mezcla debe continuar hasta la completa homogeneización de la humedad, en toda la capa suelta.

Terminada la mezcla húmeda, la cantidad de humedad deberá estar comprendida entre 0,9 y 1,1 veces la humedad óptima indicada por el ensayo de compactación realizado en el campo (sección 2.3).

### **3.7 Compactación y acabado**

Antes de iniciar la compactación, la mezcla de suelo – cemento deberá estar completamente floja en todo su espesor, a fin de permitir la obtención uniforme de peso específico previamente determinado por el ensayo de compactación realizado en campo.

En esta ocasión se debe verificar que:

- a) El espesor suelto de capa de suelo – cemento, debe ser tal que, después de compactado, conduzca a un espesor de base, de acuerdo con el proyecto;
- b) La regularización superficial debe encuadrarse a la sección del proyecto incrementada por el exceso necesario de compactación.

**3.7.1** El equipo compactador debe satisfacer las condiciones exigidas en cuando al tipo y peso, necesarios para la obtención de pesos específicos previstos para el suelo – cemento.

Preferencialmente, deben ser empleados rodillos neumáticos de presión variable.

En casos excepcionales, de suelos predominantemente finos, la compactación inicial profunda debe ser ejecutada por rodillos patas de cabra, hasta cerca de la mitad de espesor de la base, en sentido de abajo hacia arriba, y concluida por los rodillos neumáticos.

En ningún caso, la compactación con rodillos pata de cabra debe sobrepasar el espesor que deje menos de 5 cm de material a compactar de arriba hacia abajo.

La operación de compactación debe ser procesada a partir de los bordes hacia el centro de la pista.

**3.7.2** Siempre que en la fase final de la compactación el suelo – cemento presente vestigios de deficiencia de humedad, esta debe ser mantenida en la cantidad óptima por medio de pequeñas irrigaciones.

Aun, antes del acabado, se debe proceder a la verificación del grado de compactación que deberá ser igual o superior al mínimo especificado. Admitiéndose como aceptables los resultados iguales o mayores que el 95 % del peso específico seco máximo aparente, determinado por el ensayo de compactación de suelo – cemento, verificado en campo para cada suelo a utilizar.

**3.7.3** Acabado: debe ser ejecutado inmediatamente después de la compactación, confiando en acertar el trabajo de la motoniveladora, con la finalidad de modelar la sección transversal conforme al proyecto.

Esa operación debe ser obtenida por raspado, de modo de eliminar eventuales protuberancias. Todo el material cortado será removido fuera del camino.



No está permitido el alterar el material para corrección de la superficie, que en la fase final de compactación debe encontrarse dentro de las tolerancias especificadas.

Tolerancias:

- a) Diferencias parciales en puntos aislados, máximo 1 cm;
- b) Nivelamiento de eje  $0,01\sqrt{k}$  siendo k en kilómetros;
- c) Espesor medio por etapa de construcción en un día: máximo de variación =  $\pm 8$  % del espesor proyectado;
- d) Diferencias máximas localizadas: máximo =  $\pm 12$  % de espesor proyectado.

**3.7.4** Terminado el acabado final con la motoniveladora, si es necesario, se debe realizar pasadas complementarias con el rodillo neumático, regulando la presión de modo de obtener la textura superficial deseada.

**3.7.5** Concluido el acabado final y verificadas las cotas del eje de bordes, directamente de los off-sets, la Fiscalización procederá a la verificación de la superficie con perfilógrafo, a falta de este, con una regla de 3 m de largo, dispuesta paralelamente al eje longitudinal del pavimento, avanzando cada vez, en no más de una mitad de su largo.

Serán toleradas diferencias de un máximo de 1 cm entre la cara inferior de la regla y la superficie acabada.

### **3.8 Protección y curado**

**3.8.1** Todo el tramo, luego de concluido el acabado, de acuerdo con estas especificaciones, será protegido contra la pérdida rápida de humedad, durante por lo menos 7 días, por la aplicación de cualquiera de los siguientes procesos:

- a) Pintura bituminosa que garantiza la formación de una película impermeable capaz de retener la humedad durante la fase de curado;
- b) Cobertura de la pista por la aplicación de una capa de tierra o arena de un mínimo de 5 cm de espesor, a ser mantenida húmeda durante 7 días;
- c) Cobertura de una capa de paja de por lo menos 10 cm de espesor mantenida húmeda durante 7 días

**3.8.2** En caso de cura con material bituminoso, los materiales normalmente empleados son:

- a) Emulsiones asfálticas catiónicas tipo RR-1C, RR-2C, RR-MC, RM-1C o RM-2C;
- b) Emulsiones asfálticas aniónicas tipo LA-1 o LA-2:

Cuando se procesa el curado por medio de pintura bituminosa, esta no debe ser considerada como imprimadora ligante para el revestimiento asfáltico.

### **3.9 Disposiciones diversas**

**3.9.1** Dependiendo de la importancia y del volumen de trabajo, podrán ser usados otros tipos de equipos de pulverización, compactación y acabado, diferentes a los especificados, desde que sea comprobada su eficiencia y permitidos por la Fiscalización.

Cuando los equipos, en cualquiera de las fases del trabajo, comprendieran fajas de ancho relativamente reducidas, este debe ser ejecutado con sucesivas descomposiciones laterales, hasta completar el ancho de la pista, cuidándose siempre, las operaciones de mezcla y compactación, para que haya una sobreposición sobre la faja procesada del orden de 20 cm.

#### **3.9.2** Algunas restricciones

- a) El cemento debe ser siempre distribuido en un área tal que todas las operaciones sucedan de manera continua, conforme a lo especificado en 3.4, de forma que, a partir del esparcido del cemento, todas las demás operaciones estén concluidas dentro de 6 horas;
- b) El cemento no podrá ser aplicado cuando la cantidad de humedad de la sub base, o del material pulverizado, excedan el valor de la humedad óptima para los dos casos;
- c) La aplicación del cemento se debe dar cuando la temperatura ambiente fuese igual o superior a los 5 °C;
- d) No es permitido el tráfico de vehículos sobre el suelo - cemento, antes de concluido el curado. Cuando esta se haga por humedecimiento, el camión cisterna debe tener su tonelaje limitado a 5 t/eje, y la presión transmitida por los neumáticos debe ser inferior a 2 Kg/cm<sup>2</sup>;
- e) En puntos de travesía obligatoria, para las operaciones del propio trabajo, puede ser admitido un tráfico antes de los 7 días, desde que:
  - El suelo - cemento esté suficientemente endurecido;
  - El lugar sea recubierto por una capa de tierra de por lo menos 15 cm de tierra;
  - Las cargas no excedan los límites fijados en el inciso d.

#### **3.9.3** Verificaciones y recibimiento

La verificación de pesos específicos obtenidos en la compactación (grado de compactación) deberá ser hecha en intervalos de 40 m entre los bordes y el eje, aprovechándose los mismos puntos para la verificación de espesores.

El grado de compactación debe encuadrarse a lo especificado en la sección 3.7.2, o sea, mayor o igual al 95 % del peso específico aparente seco máximo determinado por el ensayo de compactación de suelo - cemento, verificado en campo, y el espesor debe satisfacer la sección 3.7.3, inciso c).

El tramo o sub tramo en que estas condiciones no hayan sido cumplidas debe ser colocado en observación.

Para la delimitación del área observada, serán abiertas tantas fosas cuantas sea necesarias, determinándose en cada uno los espesores o grados de compactación, conforme al caso.

Definida el área, será el pavimento demolido o reconstruido de forma de atender las presentes Especificaciones.

#### **3.9.4 Apertura al tráfico**

La apertura al tráfico se dará después de los 7 días de curado desde que la superficie presente el endurecimiento suficiente.

Antes de la apertura, la plataforma deberá presentarse limpia y libre de cualquier material extraño.

Para el inicio del revestimiento bituminoso, la superficie de base de suelo – cemento deberá presentarse seca y exenta de polvo antes de la aplicación de la pintura ligante.