



INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN



**CONSTRUCCIÓN DE BASES DE
SUELO - CEMENTO CON MEZCLA
EN PLANTA**

TRADUCCIÓN AUTORIZADA

AUTOR:

ING. MÁRCIO ROCHA PITTA

TRADUCCIÓN:

INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN

La Paz – Octubre – 2002

RESUMEN

En la medida que la tecnología avanza, volviendo más conocidos los materiales, el campo de su aplicación también se va ampliando, motivando, incluso, al perfeccionamiento de los métodos constructivos.

Naturalmente, la estabilización de suelos para fines de caminos, y particularmente los suelos tratados con cemento, no escapan a esa regla.

Acompañando la evolución, la industria mecánica hoy en día ha perfeccionado los equipos empleados en la construcción y la pavimentación de caminos.

De otra parte, cabe a los constructores la utilización racional de tales equipos, procurando la mejor calidad del producto final, la mejora de la productividad y la minimización de los costos, de ahí el cuidado que se debe tener en la estructuración de la organización de la obra, en el dimensionamiento de los equipos, máquinas y recursos humanos, para la consecución de los fines propuestos.

Los gráficos, esquemas y recomendaciones encontrados en este texto, tratan de sintetizar, en forma práctica, todo lo que la experiencia permitió acumular hasta el momento, recomendaciones y prácticas brasileñas, que continuarán sufriendo revisiones para mejorar, en la proporción que el perfeccionamiento de los métodos venga a indicar.

SUMARIO

RESUMEN	1
SUMARIO	2
1 INTRODUCCIÓN	4
2 ESTRUCTURA DE LA OBRA	5
2.1 EQUIPO.....	5
2.2 EQUIPO COMPLEMENTARIO.....	5
2.3 PRODUCTIVIDAD	5
2.4 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO	6
2.4.1 Equipo de máquinas	6
2.4.2 Determinación de la planta	7
2.4.3 Distribuidora de suelo - cemento	9
2.4.4 Compactación.....	10
2.4.5 Acabado final	12
2.4.6 Localización de la planta	13
2.4.7 Transporte	13
2.4.8 Equipo complementario	14
2.5 MANO DE OBRA.....	15
2.5.1 Equipo de administración de la obra.....	15
2.5.2 Equipo de ejecución	16
2.5.3 Equipo de mantenimiento	16
2.6 INSTALACIONES	16
3 EJECUCIÓN	18
3.1 ELEMENTOS ESENCIALES	18
3.2 TÉCNICA DE EJECUCIÓN	19
3.2.1 Subrasante	19
3.2.2 Bancos de suelos	19
3.2.2.1 <i>Identificación de los suelos en el banco</i>	20
3.2.3 Sub - base	23
3.2.4 Ejecución de la base.....	24
3.2.4.1 <i>Preparación de la mezcla suelo-cemento (en planta)</i>	24
3.2.4.2 <i>Transporte</i>	24
3.2.4.3 <i>Distribución (en la plataforma)</i>	25
3.2.4.4 <i>Compactación</i>	28
3.2.4.5 <i>Acabado</i>	29
3.2.4.6 <i>Curado</i>	30
3.3 DETALLES	30
3.3.1 Juntas	30
3.3.2 Lluvias.....	33
3.4 CONTROL	33
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXO – ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE BASES DE SUELO – CEMENTO POR EL PROCESO DE MEZCLA EN PLANTA. 36	
1 GENERALIDADES	36
1.1 Objetivo.....	36
1.2 Descripción	36

2	MATERIALES	37
2.1	Cemento Pórtland	37
2.2	Agua	37
2.3	Suelo.....	38
3	MÉTODO CONSTRUCTIVO	38
3.1	Preliminares	38
3.2	Preparación de la planta	38
3.3	Transporte	39
3.4	Distribución de la mezcla	39
3.5	Compactación	39
3.6	Acabado.....	39
3.7	Protección y curado	40
3.8	Disposiciones diversas	41

1 INTRODUCCIÓN

En 1940, cuando se iniciaba en Brasil la aplicación del suelo - cemento, los equipos empleados contaban con el aprovechamiento de máquinas usadas en terraplenes complementadas con implementos utilizados en agricultura.

Eran tractores de discos, motonivealadoras, arados, ruedas de discos y dentadas, rodillos pata de cabra y lisos, camiones cisterna, escarificadores y otros.

Alrededor de la década de los cincuenta, se iniciaba el empleo de las pulvimezcladoras y de los rodillos neumáticos, lo que constituía un avance considerable en la producción y en la calidad de mezcla, eliminando la precaria operación de los arados, motoniveladoras, rodillos lisos etc.

Los fabricantes de equipos, atentos al desarrollo tecnológico, fueron perfeccionando sus máquinas, en sentido de alcanzar mayor productividad y mejor calidad del producto acabado.

Persiguiendo tal objetivo, se iniciaba, en la década de los sesenta, las primeras experiencias para el empleo de plantas centrales mezcladoras de suelos.

Tres obstáculos surgían en limitar la aplicación de ese proceso de mezcla para la construcción de bases de suelo - cemento:

- a) *El empleo de centrales de mezclado montadas de improviso con la adaptación de mezcladoras normalmente utilizadas para otros fines, en función de la experiencia, conduciendo a resultados poco alentadores.*
- b) *Excesivo número de unidades de transporte de mezcla, procurando conseguir, en tiempo razonable, un frente de trabajo en la plataforma, capaz de permitir la utilización técnica y económica de los equipos de distribución, compactación y acabado entonces en uso; y,*
- c) *Demasiado tiempo de colocación de la mezcla en la plataforma, a la espera de un frente mínimo de trabajo, acarreando diferencias sensibles en el contenido de humedad a lo largo de la plataforma.*

Los primeros intentos de empleo de mezcla centralizada de suelo - cemento, en escala industrial (y eso con un intervalo de unos 15 años), mostraron de salida, además de los problemas citados, muchos otros, desde los de orden tecnológico, tales como: *dosificación irregular del cemento y del agua, dificultad en la obtención de tramos homogéneos, ejecutados entonces discontinuamente, con sus problemas consiguientes, hasta los provenientes de una cierta acomodación psicológica al proceso rutinario de la mezcla local ya considerada tradicional.*

Se puede decir que la resistencia a la ejecución de suelo - cemento con mezcla en la planta central sólo fue vencida con el surgimiento de dos elementos esenciales:

- a) La planta mezcladora de suelos proyectada y fabricada específicamente para este fin, con todos los perfeccionamientos mecánicos indispensables; y,
- b) El rodillo compactador neumático autopulsado de presión variable.

Tales perfeccionamientos permitieron llegar al estado actual, en que las empresas de pavimentación consagran una nueva técnica de ejecución por las ventajas alcanzadas, en simplificación y mejora de la calidad y de la productividad.

El objetivo del presente trabajo, constituido de dos partes es: la *primera*, proporcionar elementos básicos para el planeamiento y montaje de la estructura de la obra; la *segunda*, técnica de ejecución de las bases de suelo-cemento, con empleo de plantas centrales dosificadoras y mezcladoras, tales como de uso corriente hoy en el Brasil.

2 ESTRUCTURA DE LA OBRA

2.1 EQUIPO

En el dimensionamiento de la cantera de obra, la unidad de comando de producción es la planta. Todos los demás equipos son dimensionados para atender la producción de la unidad principal.

Dentro de los patrones normales de los contratos de pavimentación (30 Km a 40 Km), la planta que más se adapta es la de 200 t/h de producción nominal media.

La experiencia ha demostrado, que esas máquinas, normalmente operadas, llegan a producir unos picos, de 20% a 25% más de su capacidad nominal.

El equipo complementario, en este caso, se dimensiona para una producción de 240 t/h, considerado como rendimiento máximo.

2.2 EQUIPO COMPLEMENTARIO

- Distribuidora de suelos de tornillo regulable entre 3,00 m y 4,00 m - faja normal de operación = 3,60 m;
- Rodillos compactadores neumáticos de presión variable y faja de operación = 1,90m;
- Motoniveladora tipo CAT 12 o similar;
- Camiones volqueta de 10 t;
- Camión cisterna esparcidor de asfalto para el curado;
- Camión cisterna para irrigación;
- Pala mecánica sobre ruedas neumáticas.

2.3 PRODUCTIVIDAD

En el planeamiento de ejecución, el administrador de obra debe fijar su atención en tres puntos de máxima importancia:

- Producción sincronizada entre los equipos y de conformidad con el cronograma de la obra;
- Calidad de servicio; y,
- Costo de producción.

La productividad resulta en la optimización de estos tres elementos básicos:

- a) El primero procura la mejor aplicación del conjunto de máquinas, con el objetivo de máxima eficiencia a ser alcanzada por el equipo, o sea, reduciendo al mínimo el tiempo improductivo de cada máquina, con énfasis particular en aquellas responsables de las operaciones básicas.
- b) El segundo depende del perfecto funcionamiento y calibración de la planta, ajustando la velocidad de operación de la distribuidora con relación a la producción de la planta y a la suya propia, como elemento de avance del trabajo y, finalmente, de la eficiencia de la compactación y precisión en el acabado.

La continuidad del trabajo de la máquina distribuidora de suelo - cemento responde en buena parte por la uniformidad del espesor de la base y su acabado. Por otro lado, es de máxima importancia la sincronización entre la distribución de la mezcla y la operación de compactación.

El dimensionamiento del equipo debe tomar en cuenta el mantenimiento de un flujo constante de operaciones.

- c) El tercer punto depende, naturalmente, de los dos primeros y se constituye en el termómetro de la administración de la obra.

Los costos de producción deben ser controlados en sus variaciones con referencia al costo unitario básico del presupuesto, de modo que se indique los puntos inestables y permitir correcciones inmediatas para su estabilización y minimización.

2.4 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

2.4.1 Equipo de máquinas

Ejemplo:

Tramo patrón de 35 Km de extensión, base de suelo - cemento con 7,20 m de ancho y 15 cm de espesor y refuerzo de suelo mejorado con cemento de 8,00 m de ancho y 15 cm de espesor.

Plazo de ejecución: *1 año.*

Volumen del material mezclado y compactado:

$$(35.000 \times 7,20 \times 0,15) + (35.000 \times 8,00 \times 0,15) = 79.800 \text{ m}^3$$

Tiempo de construcción: 7 meses de 22 días hábiles.

2.4.2 Determinación de la planta

La ejecución de suelo - cemento mezclado en planta se realiza normalmente con suelos escogidos y dentro de una faja, cuyos pesos específicos secos máximos aparentes compactados varían entre 1,7 t/m³ y 2,0 t/m³, siendo, por tanto, válido tomar para el dimensionamiento de la planta mezcladora un peso específico medio de las mezclas de suelo - cemento y suelo mejorado con cemento de 1,85 t/m³.

Entrando en el gráfico (*Figura 1*) con:

$$Y_{sc,m\acute{a}x} = 1,850 \text{ t/m}^3$$

Humedad óptima = 13%

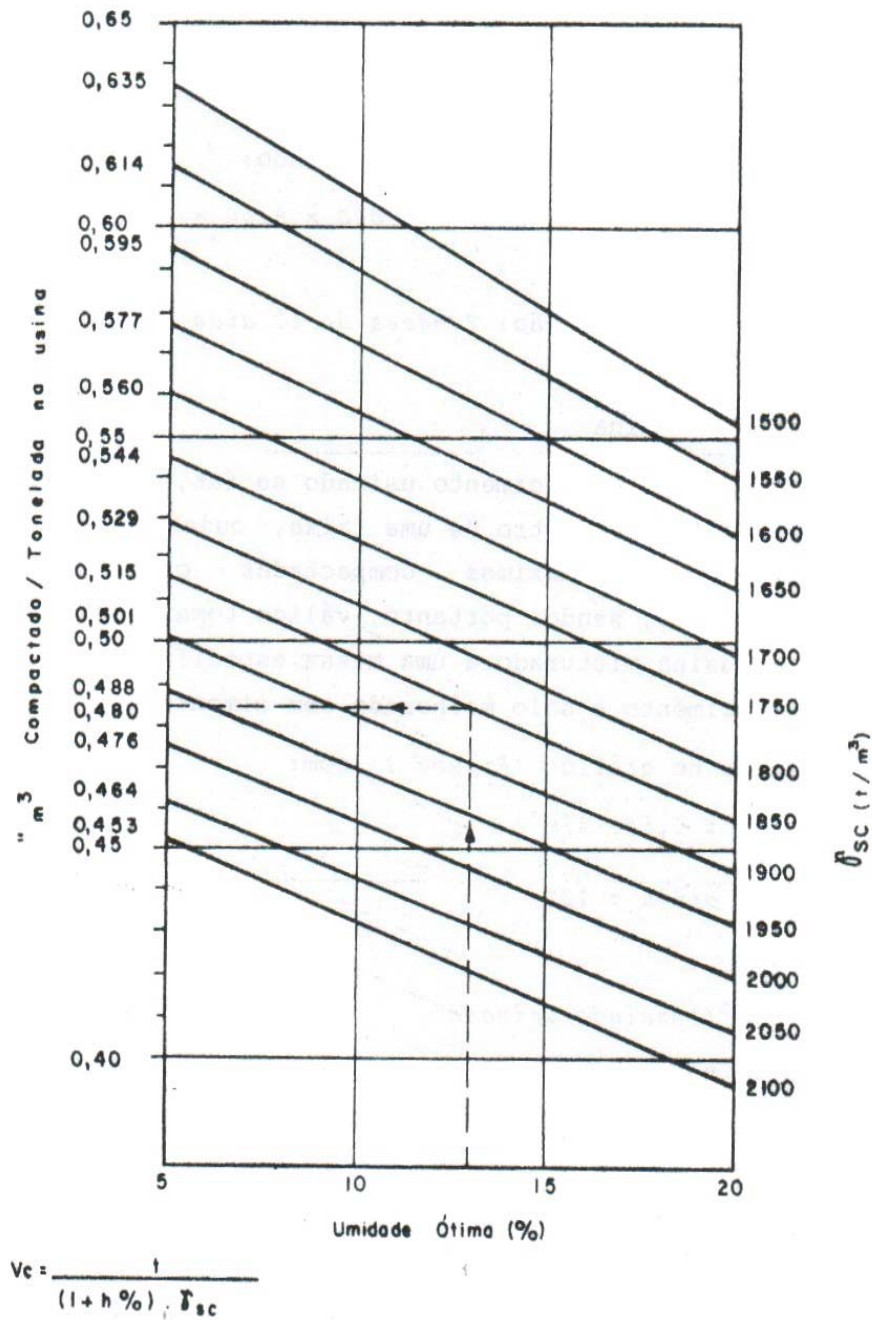
Se obtiene:

0,480 m³/tonelada mezclada.

Para 79.800 m³ a ser ejecutados en 7 meses de 22 días de 8 horas, será necesaria una producción media de 135 t/hora.

En el caso en estudio, la planta a adoptar es de capacidad nominal de 200 t/h, que es la menor de fabricación brasileña, solicitada por tanto en apenas 68,5%.

Aprovechada en su eficiencia nominal podrá ejecutar la obra en 4,7 meses y en su eficiencia total en 3,9 meses, o sea, cerca de 8,5 Km/mes.



- V_c = Volumen de suelo - cemento compactado (m^3)
- t = Peso de suelo - cemento (tonelada)
- h = Humedad óptima (%)
- γ_{sc} = Peso específico seco máximo aparente (t/m^3)

Figura 1 - Producción de suelo - cemento en planta

2.4.3 Distribuidora de suelo - cemento

Es la segunda máquina en orden de importancia y debe tener su eficiencia de trabajo elevada al máximo, de modo de evitar paralizaciones intermitentes.

Las paradas constantes, comunes en equipos mal dimensionados o mal aprovechados, no toman en cuenta la sincronización entre velocidad de operación y el volumen de producción, afectando la buena calidad del servicio, así como su costo.

El ábaco presentado en la *Figura 2* facilita el dimensionamiento y la elección de la velocidad ideal de operación de la distribuidora de suelos, para producciones de hasta 1300 t/h, mezclas de suelo - cemento con pesos específicos secos máximos aparentes compactados de $1,6 \text{ t/m}^3$ a $2,2 \text{ t/m}^3$ y espesores de 10 cm a 50 cm.

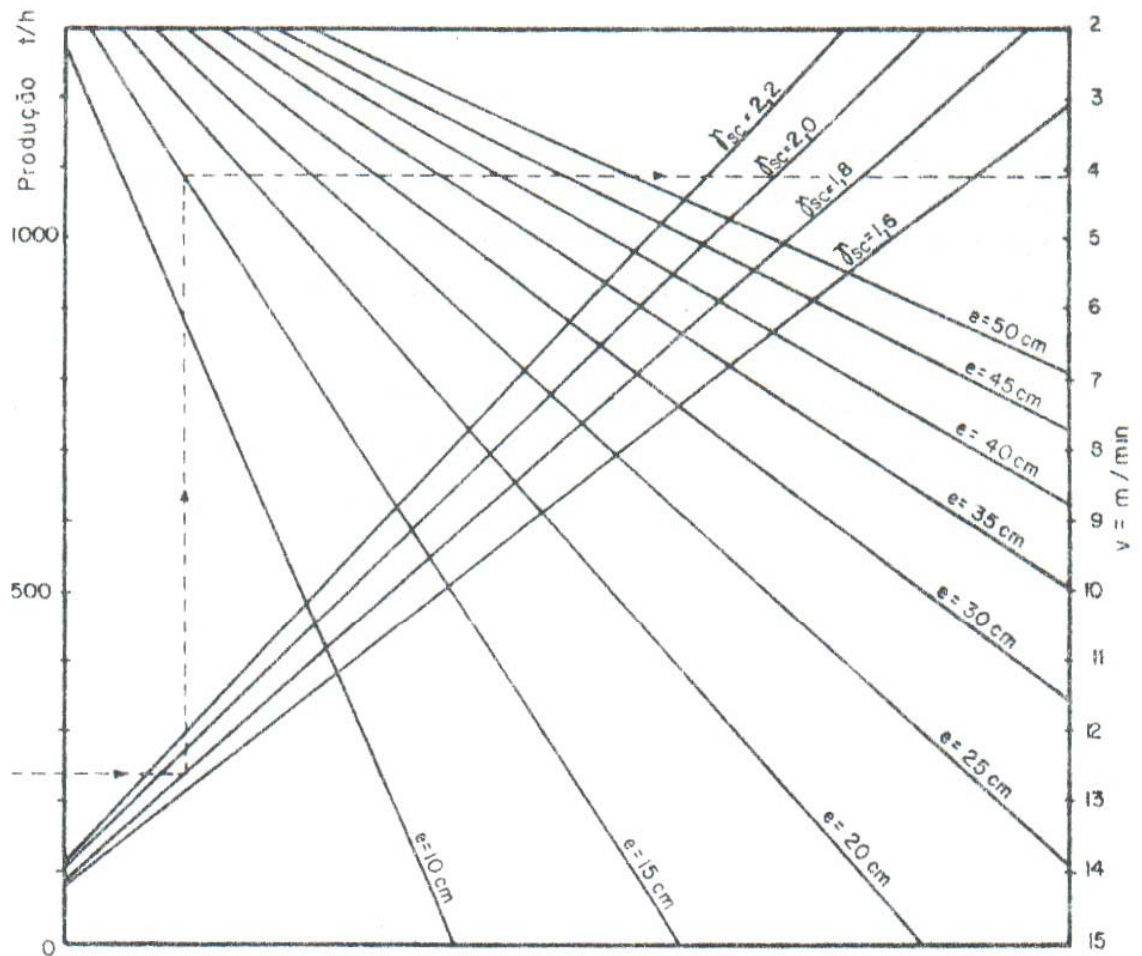
Las distribuidoras de suelo - cemento tienen normalmente un tornillo regulable entre 3,00 m y 4,00 m.

En el caso presentado, un ejemplo que se verifica a la práctica en nuestras carreteras, se tiene una calzada de 7,20 m, que corresponde a dos pasadas de la distribuidora con un tornillo de 3,60 m.

Usando el ábaco de la *Figura 2*, los extremos entre los pesos específicos secos máximos aparentes de suelo - cemento compactado de 1,6 a 2,2, se verifica que una unidad distribuidora para 240 t/hora de producción, con un espesor de 15 cm, tendría en el primer caso que operar a velocidad de 4,7 m/min y en el segundo 3,2 m/min, atendiendo así, fácilmente, al trabajo entre ambos límites.

Las distribuidoras de suelos, cuando operan en 1ª marcha, hacen normalmente hasta 10m/min, alcanzando, por tanto, una producción bastante superior al promedio aquí adoptado.

En caso de adoptar tornillos diferentes a 3,60 m, en el dimensionamiento de la distribuidora, basta multiplicar la producción obtenida en las curvas por la relación entre el tornillo patrón y el tornillo a ser usado.



L = 3,60 m

Exemplo:

- 1) P = 240 t/h
- 2) $\gamma_{sc} = 1,8 \text{ t/m}^3$
- 3) e = 15 cm
- 4) v = 4,1 m/min.

Figura 2 – Distribuidora de Suelos

2.4.4 Compactación

En el caso de ejecución de suelo - cemento con mezcla en planta, la compactación debe ser hecha con el empleo de rodillos compactadores neumáticos de presión variable.

Una de las ventajas que se puede lograr en la ejecución de suelo - cemento mezclado en planta es la posibilidad de corrección de los suelos, cuando no se presentan bancos de material de buenas características, dentro de distancias económicas. En estos casos, una mezcla con arena o suelos arenosos es muchas veces aconsejable, lo que resulta en una mejora de la calidad y casi siempre en economía de cemento.

La corrección de suelos arcillosos con mezclas locales es siempre muy trabajosa y problemática, en cambio en planta se procesa normalmente dentro de la dosificación de los materiales.

Los suelos, por tanto, en el caso de la mezcla en planta, se encuadran dentro de una cierta faja, cuya compactación se realiza normalmente con rodillos neumáticos.

El ábaco de la *Figura 3* da la producción de compactación para rodillos neumáticos de 2,16 m de ancho, con un recubrimiento de 0,26 m, o sea, ancho útil de 1,90 m y capas variando de 10 cm a 30 cm.

Para el ejemplo de 550 t/hora de producción en planta, correspondientes a 300 m³, un número medio de 8 pasadas en una capa compactada de 20 cm de espesor, un rodillo neumático operando a 6,3 Km/h, con 100% de eficiencia, sería suficiente. Si adoptamos una eficiencia de 0,75, la producción efectiva del suelo, a 100% debería ser de 400 m³/h. En este caso se entraría en el gráfico con esta última producción y la velocidad de operación pasaría a 8,5 Km/hora.

Como la operación de compactación responde por el rendimiento en plataforma, es siempre conveniente mantener dos unidades compactadoras, además porque la operación simultánea de dos unidades, cubrirá, con holgura de 20 cm, toda la faja de material distribuido.

Cuando el tipo de suelo que por sus características lo exija, es interesante la compactación combinada entre los rodillos neumáticos y pata de cabra, siendo indicado el rodillo autopropulsor, que tiene el mismo recurso de operación de avance y retroceso.

Para rodillos de otro tipo, el cálculo del número de unidades se realiza de modo idéntico al de la unidad distribuidora.

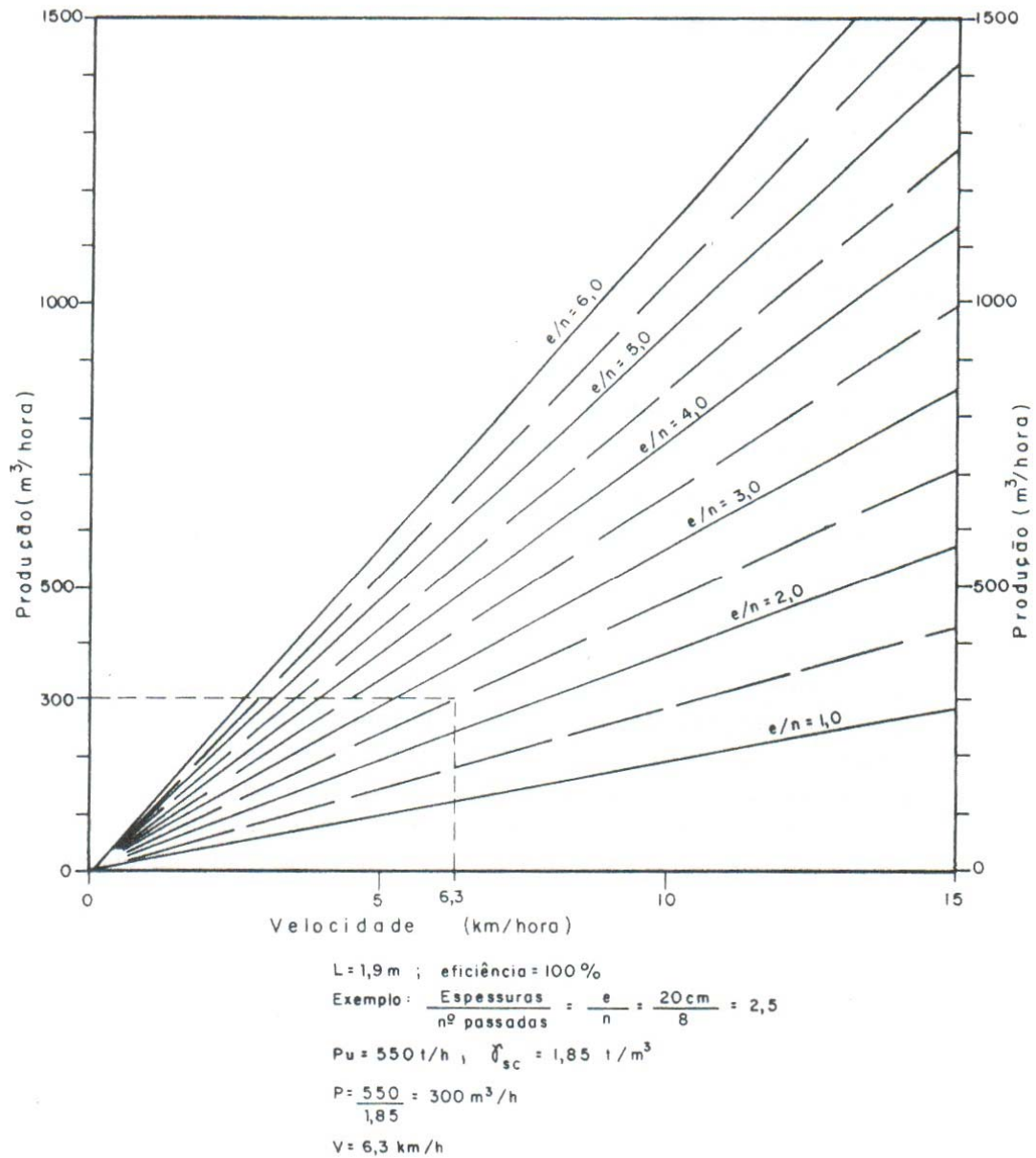


Figura 3 – Rodillo Compactador

2.4.5 Acabado final

La finalización de la superficie de las bases de suelo - cemento, después de la compactación, depende de la motoniveladora, operando en idénticas condiciones que en la ejecución con mezcla en obra, proporciona la forma más sincronizada para el avance.

Dado su rendimiento, la motoniveladora, en caso de una producción de orden mayor, por ejemplo, de 800 m a 850 m de plataforma completa por día, tendrá su trabajo efectivo entre 35% y 40% del tiempo total de ejecución, esto porque operando a una velocidad media de 10 Km/h, en la regularización de la superficie, alcanza un rendimiento de orden de 300 m de pista de 7,20 m de ancho por hora, con 3 pasadas en cada faja de 1/3 de ancho.

La motoniveladora adoptada es la de tipo *Caterpillar 12* o similar, debe tener un peso mínimo de 12 t, una hoja de 3,60 m de ancho, motor de un mínimo 125 HP y comandos hidráulicos.

2.4.6 Localización de la planta

Es de mucha importancia la localización de la planta con relación al volumen de trabajo a ejecutar. Se debe tomar en cuenta sobre todo la minimización de los transportes, incluyendo los suelos de los bancos hacia la planta y de ésta al tramo en ejecución.

El transporte del cemento no es tomado en consideración ya que prácticamente no sufre alteración, debido a la posición de la planta con relación al tramo.

De igual modo, eventuales transportes de agua, cuando las fuentes estuvieran distantes de la planta, por el volumen, no contribuyen significativamente en la ubicación de la mezcla central de mezclado, con relación a los dos principales factores:

- a) Transporte de suelos; y,
- b) Transporte de la mezcla.

La elección, por tanto, de la mejor posición de la planta se realiza, en cada caso, en función de variables dependientes de la cantera, además de los costos de transportes locales.

2.4.7 Transporte

La flota de transporte de suelos del banco a la planta y de la mezcla suelo - cemento entre la planta y la plataforma, debe ser dimensionada de acuerdo a la cantera.

El gráfico de la *Figura 4* permite determinar rápidamente el número de volquetas de 10 t para la planta de 240 t/h, en función de la distancia del transporte de la mezcla suelo - cemento. Igualmente proporciona una producción en t/h/volqueta, para la determinación del número de volquetas del banco a la planta.

Se tiene para el ejemplo citado en la sección 2.4.1 (35 Km), las siguientes distancias de transporte:

- a) Banco del suelo a la planta: *10 km*
- b) Mezcla de la planta a la plataforma: *8,75 km*

Una flota para transporte de suelos será:

- a) Producción mostrada en el gráfico: 10 t/h/camión
- b) Producción efectiva de la planta: 240 t/h
- c) Número de volquetas: $\frac{240}{10} = 24$

Flota para el transporte de la mezcla suelo - cemento:

- a) Transporte máximo: 17,50 Km = 40 volquetas
- b) Transporte medio: 8,75 Km = 21 volquetas
- c) Transporte mínimo: 1,00 Km = 5 volquetas

Considerando que el transporte de la mezcla entre la planta y la plataforma es variable, la práctica recomienda la aplicación de una flota media, usando en los períodos de holgura, las unidades de sobra para aumentar el abastecimiento de suelos de la cantera central, lo que permite utilizar parte de las unidades de transporte de suelos en el transporte de mezcla, en los días pico de esta operación.

La obra del ejemplo necesitaría de 46 volquetas de 10 t, como mínimo.

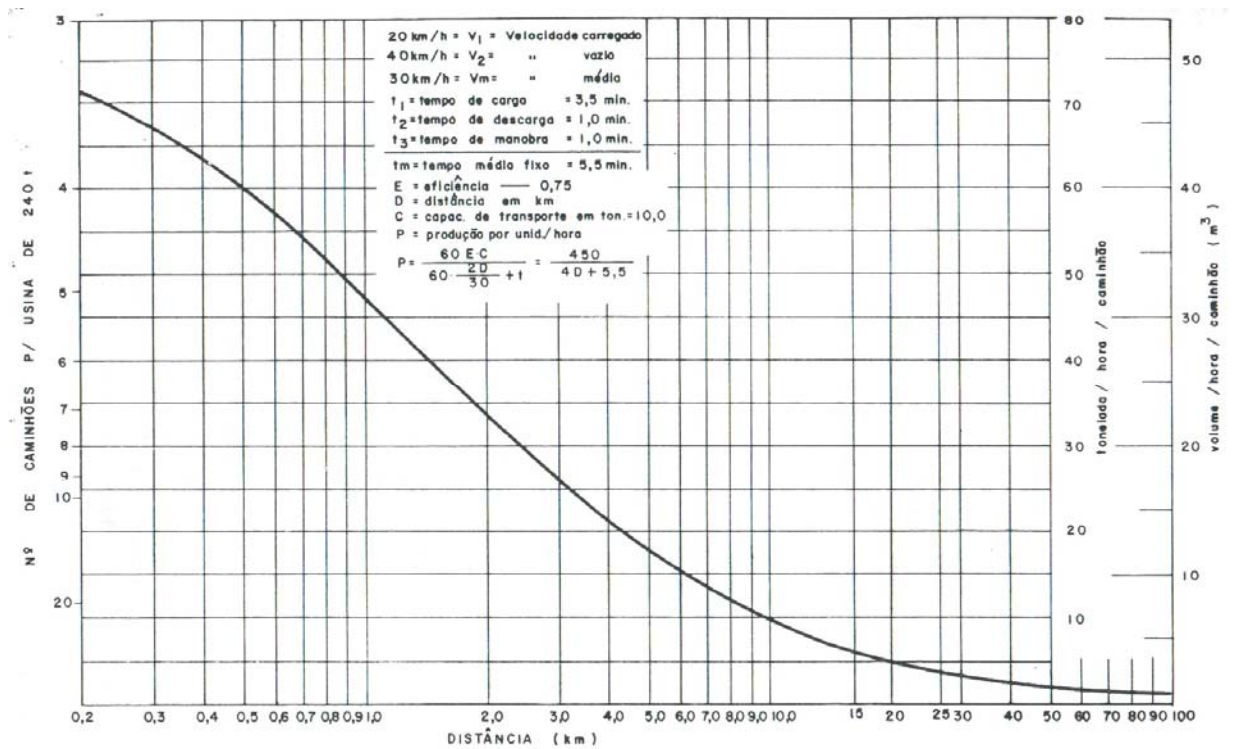


Figura 4 – Transporte en Volquetas de 10 t

2.4.8 Equipo complementario

Pala mecánica para abastecimiento de los silos de la planta.

El depósito de suelos bien localizado podrá exigir un máximo de 10 m a 15 m de distancia de viaje para la pala cargadora.

La producción de esta máquina puede ser determinada por el manual de producción de *Caterpillar*, donde son encontradas curvas de producción para cada modelo.

En el caso de la planta de 240 t/h, el abastecimiento puede realizarse con una pala 950, conforme se verifica a continuación:

- *Capacidad de la cuchara:*
 - *rasa* = 1,72 m³
 - *colmada* = 3,06 m³
 - *media* = 2,39 m³
- *Tiempo de carga* = 0,07 min
- *Tiempo de descarga* = 0,06 min
- *Tiempo de maniobra* = 0,22 min
- *Tiempo de viaje* = 0,30 min
- *Total* = 0,65 min
- *Frecuencia de ciclos* = $\frac{60}{0,65} = 92 \text{ ciclos}/\text{min}$
- *Factor de carga* = 0,90
- *Producción por hora* = 2,39 x 0,9 x 92
= 198m³
- *Consumo previsto de la planta* = 240 t/h
- *γ de suelo suelto* = 1,35 t/m³
- *Eficiencia exigida* = $\frac{240}{1,35 \times 198} = 0,90$
- *Camión cisterna para riego* = 1 un de 8.000 L

En el caso de canteras distantes de la fuente de agua, el abastecimiento puede ser hecho con carros cisterna, en el que el número de unidades debe ser determinado para un consumo de orden de 30.000 litros por hora, considerando la necesidad de 12,5% de humedad a ser incorporada en el suelo. Normalmente el abastecimiento se realiza con la instalación de una bomba directamente de la fuente, o de pozos, en caso de ser esta la solución mas indicada.

Un camión esparcidor de asfalto es suficiente para cubrir la producción prevista de 700m a 800 m de plataforma, en menos de una hora de operación.

2.5 MANO DE OBRA

Dimensionado del equipo, a continuación se presenta la tarea de dimensionar cualitativa y cuantitativamente el equipo humano.

2.5.1 Equipo de administración de la obra

1 Ingeniero de campo;

1 *Auxiliar técnico (topógrafo);*
1 *Laboratorista*
1 *Administrador;*
1 *Encargado de costos;*
1 *Encargado de personal*
1 *Apuntador;*
1 *Alarife*

2.5.2 Equipo de ejecución

1 *Encargado general;*
1 *Operador de planta;*
2 *Auxiliares de planta;*
1 *Operador de pala mecánica;*
1 *Operador de distribuidora de suelos;*
2 *Operadores de rodillos compactadores;*
1 *Operador de motoniveladora;*
n Choferes;
6 *Ayudantes;*
2 *Vigilantes.*

2.5.3 Equipo de mantenimiento

1 *Mecánico jefe;*
2 *Mecánicos auxiliares;*
1 *Electricista;*
1 *Soldador;*
1 *Encargado de lubricantes;*
2 *Ayudantes.*

2.6 INSTALACIONES

En obras de carreteras, casi siempre, ocurre la necesidad de construir un campamento donde funcione toda la administración y abastecimiento.

Así con referencia al ejemplo presentado, la previsión de instalaciones sería la siguiente:

1 *Oficina de obra con 80 m²;*
1 *Comedor con 120 m²;*
1 *Laboratorio con 30 m²;*
1 *Oficina (galpón) con 120 m²;*
1 *Posta de lubricantes con 10 m²;*
1 *Surtidor de gasolina;*
1 *Surtidor de diesel.*

Las *Figuras 5 y 6*, a continuación, contienen un modelo de planta central con las respectivas instalaciones y un esquema de funcionamiento.

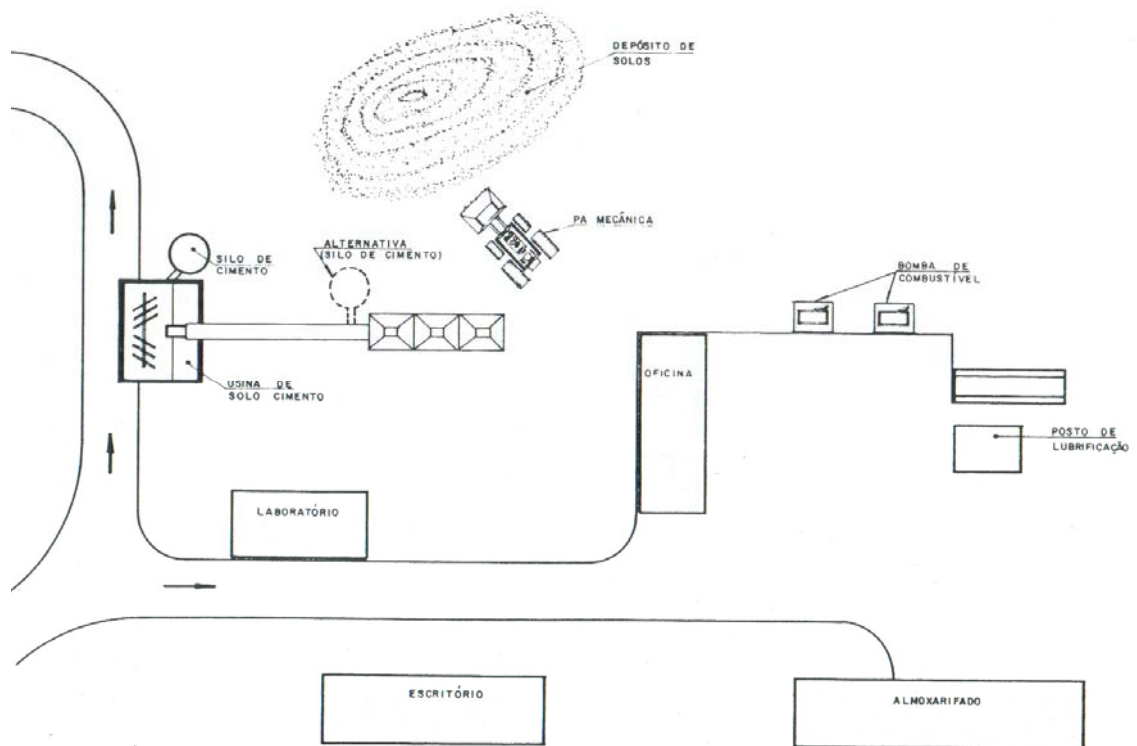


Figura 5 – Suelo – cemento mezclado en planta central

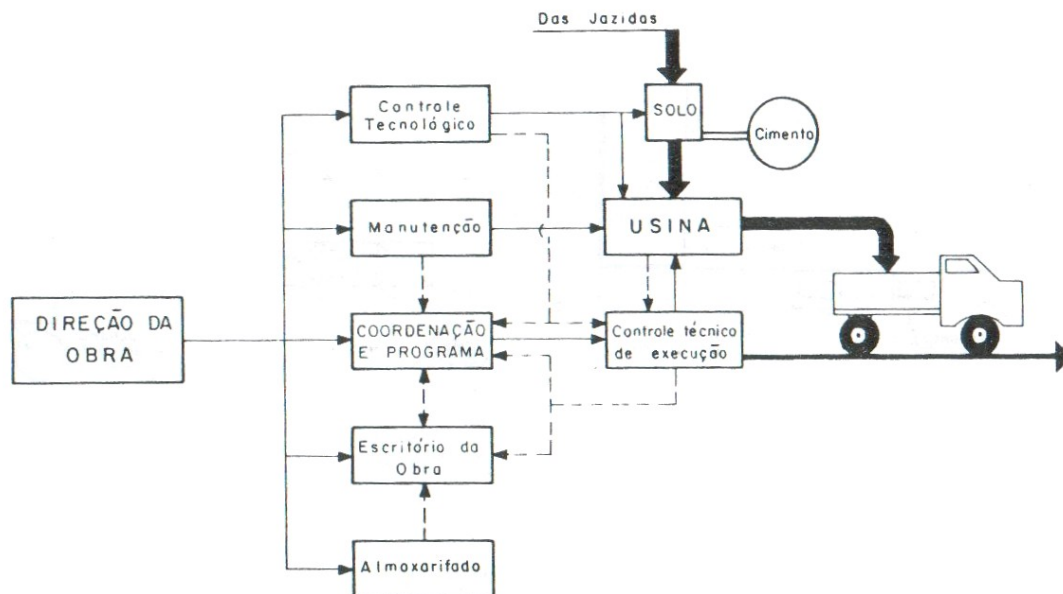


Figura 6 – Ejecución de suelo – cemento pre mezclado en planta (cantera central)

3 EJECUCIÓN

Las operaciones de ejecución obedecen, en principio, a las Especificaciones Técnicas aplicables en las obras, que hacen parte integrante de los Documentos de Licitación y de los Contratos de Construcción.

Dentro de pequeñas variaciones, las especificaciones oficiales del Departamento Nacional de Vías (DNER) y de algunos Departamentos Estatales, son prácticamente iguales en cuanto a los puntos principales que deben ser seguidos.

Las referencias encontradas en el texto se relacionan con las Especificaciones de la Asociación Brasileira de Cemento Pórtland (ABCP), en el anexo, que son copiadas, en principio, de las especificaciones de la *Portland Cement Association (PCA)*, adaptadas y modificadas según la práctica brasileña.

Antes de iniciar la obra, el responsable de la ejecución debe conocer en todos sus detalles:

- a) Las especificaciones;
- b) El proyecto de pavimento (base y revestimiento);
- c) Características de la subrasante;
- d) Resumen de todos los ensayos de dosificación de suelo - cemento referentes a los suelos a ser empleados; y
- e) Ubicación precisa de los bancos, con indicación de los horizontes ensayados.

3.1 ELEMENTOS ESENCIALES

- a) En cuanto a la dosificación:
 - Contenido de cemento;
 - Contenido de grava en el suelo (cuando hubiera);
 - Contenido óptimo de humedad determinado por el ensayo SC-1;
 - Tipo de mezcla de suelos (cuando hubiera);
 - Peso específico seco máximo aparente de suelo - cemento compactado; y,
 - Grado de compactación mínimo a ser obtenido.
- b) En cuanto al uso del suelo:
 - Peso específico de los suelos en los bancos;
 - Peso específico de los suelos sueltos en las volquetas;
 - Límites de variación de humedad higroscópica; y
 - Sistema de explotación de los bancos.
- c) En cuanto al programa:
 - Equipo disponible y estado de cada unidad;
 - Instalaciones y recursos disponibles;
 - Equipo humano; y,
 - Obligaciones contractuales.

3.2 TÉCNICA DE EJECUCIÓN

3.2.1 Subrasante

Se entiende por *subrasante* el terreno de fundación sobre el cual se apoya el pavimento. En un proyecto de pavimentos, el parámetro referente a la fundación es definido por la capacidad de soporte de subrasante, siendo de uso corriente en Brasil el CBR (Índice de Soporte California), elemento caracterizador de soporte.

La primera preocupación del constructor es la verificación de la subrasante en cuanto al CBR y las características geométricas, y su confrontación con los valores constantes del perfil realizado.

Ocurriendo la presencia de suelos inadecuados o materiales extraños, la remoción se hace indispensable hasta la profundidad necesaria, caso en que el material retirado y sustituido por suelos de características escogidas.

En general, las subrasantes reciben siempre un refuerzo de espesor variable, conforme al dimensionamiento, ejecutado con suelos escogidos, de modo de garantizar cierta uniformidad de soporte en cuanto a los mínimos exigidos.

Desde el punto de vista geométrico, el acabado se debe presentar en las cotas exactas, en los sentidos transversal y longitudinal, no siendo tolerados errores parciales localizados mayores a 2 cm para el estacado de 20 m y $0,02 \sqrt{k}$ para las cotas del eje, estando k en kilómetros.

3.2.2 Bancos de suelos

El suelo - cemento procesado en planta es siempre ejecutado con suelos de bancos, previamente estudiados. Antes del inicio de explotación de los bancos es indispensable la verificación de los suelos a través de ensayos, para confrontar con los elementos citados en la sección 3.1 inciso d) de las Especificaciones.

Verificada la falta de correspondencia de resultados con relación a los realizados por los ensayos del proyecto, o constatada alguna duda, los ensayos de dosificación deben ser rehechos.

Es común que ocurran pequeñas variaciones entre los ensayos preliminares y los de verificación en campo, en cuánto al peso específico seco máximo aparente y humedad óptima, situación en la cual, para todos los fines de ejecución, deben prevalecer los elementos de los ensayos de verificación.

Se debe tener particular cuidado en la identificación correcta de los horizontes a ser aprovechados, a fin de evitar una mezcla de suelos no ensayados y no especificados para uso.

La limpieza de los bancos debe preceder las operaciones de explotación.

De un modo general, casi todos los suelos normalmente utilizados para fines camineros se prestan a la estabilización con cemento, teniendo como limitación de empleo apenas los factores de orden económico.

Una de las ventajas de empleo de las plantas mezcladoras es exactamente el de permitir la corrección de los suelos por la mezcla de tipos diferentes, que conduzcan a la modificación, para mejorar, las características originales, operación trabajosa, cuando es ejecutada por el proceso tradicional de mezcla en la plataforma.

Cuando se opera con suelos mezclados es preciso tomar en cuenta el porcentaje en peso de cada uno de los suelos, al momento de calibración de la planta, para garantizar una correcta proporción en la mezcla final.

Los suelos arenosos, con un contenido de limo más arcilla hasta 35%, son de fácil pulverización y permiten un óptimo rendimiento en las operaciones de mezcla, como en las de compactación.

Los suelos arcillosos son, en general, de difícil pulverización, necesitando más tiempo de mezcla.

De cualquier modo, entre las pruebas de funcionamiento de la planta, debe figurar el regulador de tiempo de la mezcla, para los suelos en uso.

3.2.2.1 Identificación de los suelos en el banco

Es práctica corriente, en la elaboración del proyecto geotécnico, el estudio de los bancos existentes a lo largo en las proximidades del tramo a pavimentar.

En esa fase, los suelos son identificados a través de sondeos que delimitan el área de existencia, la profundidad de las capas existentes (horizontes) y los volúmenes aproximados de los suelos utilizables.

El manual de pavimentación de DNER recomienda, para prospección de bancos, el levantamiento por medio de una malla de sondeos de 30 m de espaciamiento.

Para el caso de suelos destinados a suelo - cemento puede ser adoptado el mismo criterio; cuando puede, el banco presentar variaciones sensibles en tipo y espesor de capas, es aconsejable reducir el espaciamiento de la malla, para la mejor caracterización de los horizontes.

La *Figura 7* muestra el tipo de malla de sondeo para identificación de los suelos y cálculo del volumen de los bancos.

La *Figura 8* es un ejemplo del perfil indicativo de horizontes, según la caracterización del sondaje.

La *Figura 9* muestra la localización de los bancos con relación al eje de camino y, finalmente, el *Cuadro 1* es un tipo de hoja - resumen con las indicaciones necesarias para la exploración del banco. La identificación de los horizontes o estratos es complementada en detalle por las hojas de ensayos cuyo número aparece en el ejemplo del *Cuadro 1*.

La hoja destaca el suelo a ser utilizado y el espesor de retiro de material a efectuarse. Durante esta última operación, por las coloraciones y texturas del suelo se va reconociendo fácilmente el surgimiento del horizonte utilizable. De igual modo es observado el horizonte inmediatamente inferior, cuando el suelo de uso se agota.

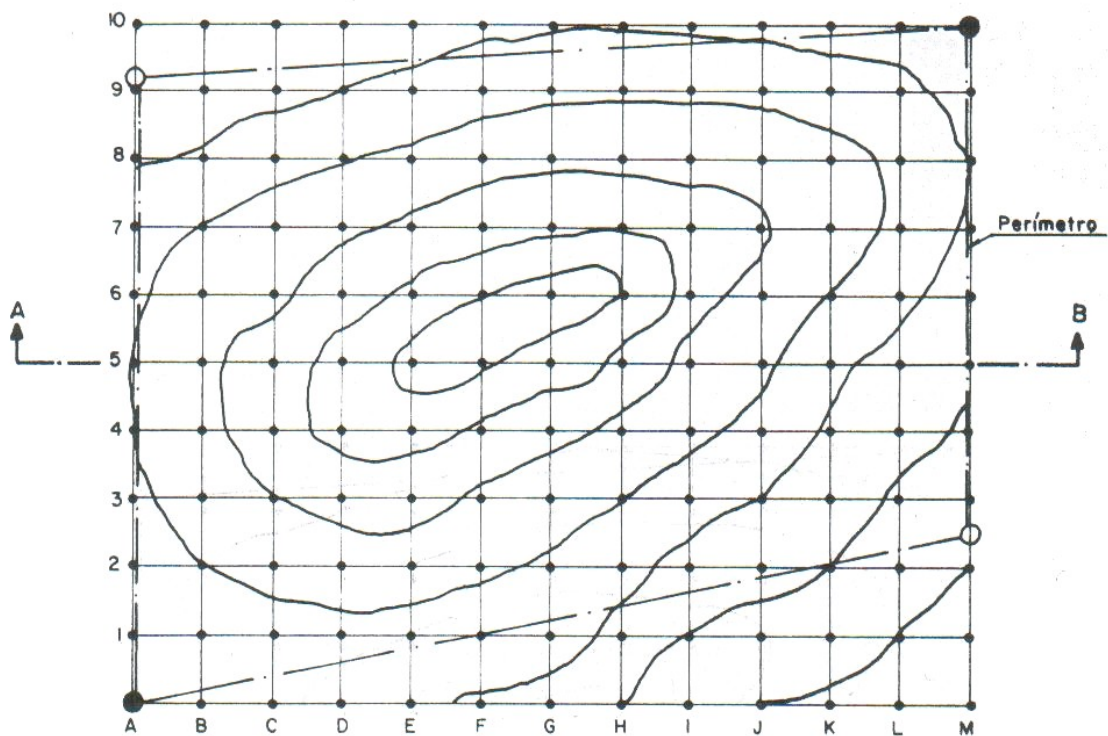


Figura 7 – Malla de sondeos para levantamiento geotécnico de bancos

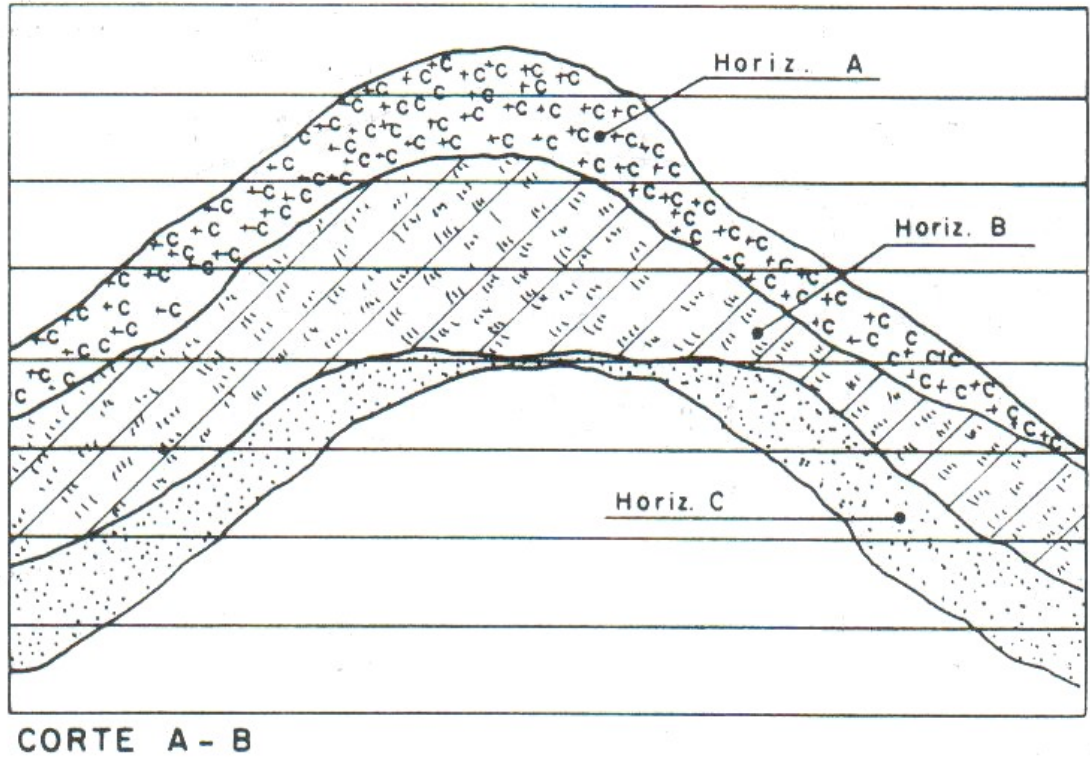


Figura 8 - Perfil del suelo

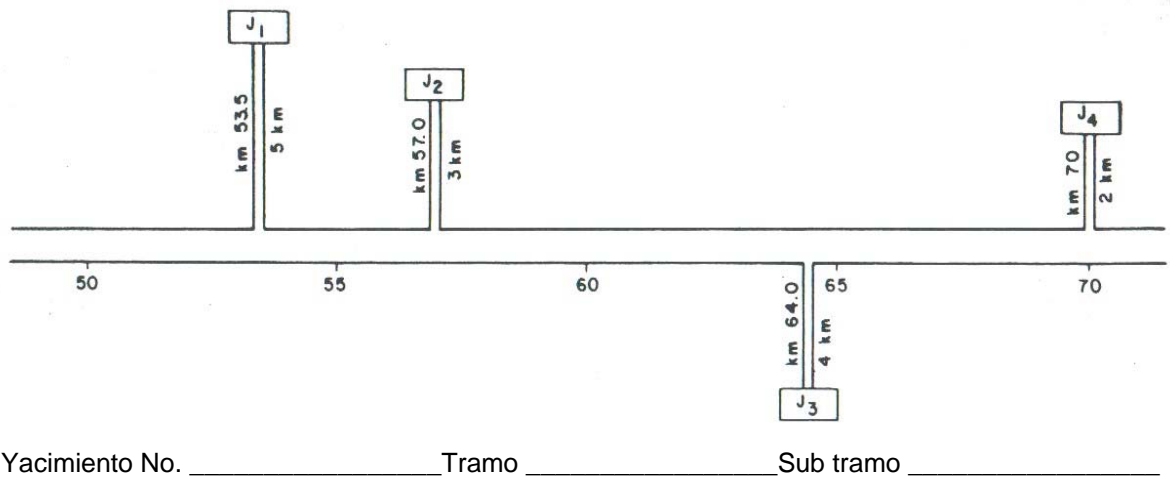


Figura 9 - Esquema de localización de bancos

Cuadro 1 – Material para uso en suelo – cemento horizonte B

Perforación sondeo n°	Clasificación		Hoja de ensayo	Profundidad (m)	Horizonte	Utilización	Contenido de cemento (%)	Compactación		Observación
	HRB	IG						h (%)	γ_{sc} (Kg/m ³)	
A-5	-	-	05	0 - 0,50	A	Botar afuera	-	-	-	Desperdicio
A-5	A2-4	1	05	0,5 - 1,20	B	SC	8	12	1950	Base
B-5	-	-	05	0 - 0,9	A	Botar afuera	-	-	-	Desperdicio
B-5	A2-4	1	05	0,9 - 1,50	B	SC	8	12	1940	Base

3.2.3 Sub - base

Verificada y preparada la subrasante, dentro de las Especificaciones, entra en procesamiento la ejecución de la sub - base.

De acuerdo a la sección 3.2.1, la subrasante, después del refuerzo, se debe presentar en condiciones de recibir a la sub - base, cuyo espesor puede ser uniforme o variable en determinados sub - tramos, según el soporte alcanzado.

La sub-base es dimensionada, teniendo por finalidad alcanzar en su superficie acabada un soporte mínimo para recibir la base, y, es deseable que ese soporte sea el más uniforme posible en toda la extensión del proyecto.

La verificación cuidadosa de la subrasante y la delimitación precisa de los sub-tramos con diferentes soportes, es lo que definirá las indicaciones de los espesores definitivos de la sub-base en cada sub-tramo, con vista a la uniformidad de soporte, según las indicaciones del proyecto.

En el ejemplo presentado, se consideró una sub - base de espesor uniforme, admitiendo que eventuales variaciones de espesor vengán a recaer en el refuerzo de la subrasante. La opción, entretanto, de una u otra solución es generalmente impuesta por razones económicas.

Cuando ocurre una variación del espesor en la sub - base es indispensable realizarla con referencia al estacado.

La ejecución de las sub - bases de suelo mejorado con cemento se procesa del mismo modo que el de las bases, con la diferencia apenas en el control de la dosificación y en el ancho de la capa, normalmente con un incremento del ancho de 50 cm para cada lado (ver figura 10).

Es de máxima importancia el acabado superficial de la sub - base, en cuanto a la precisión geométrica. El error máximo permisible en puntos aislados es de 1 cm, en cuanto que el error de nivelamiento del eje y de los bordes no deberá sobrepasar a $0,01 \sqrt{k}$ estando k en kilómetros.

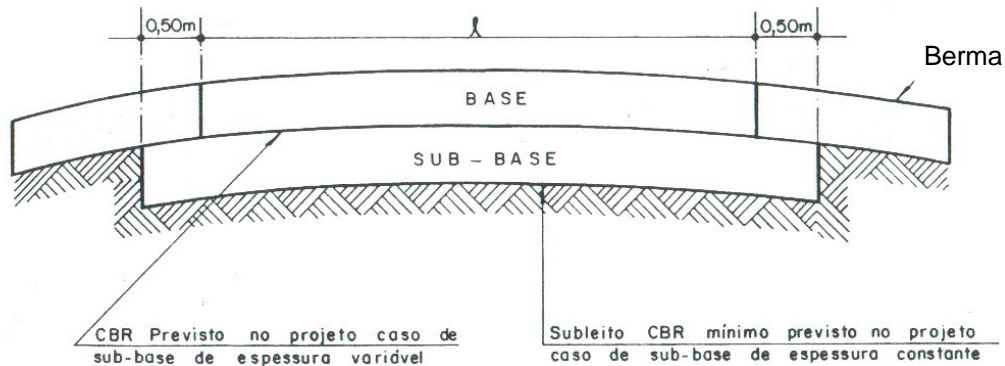


Figura 10 – Incremento del ancho recomendado para la ejecución de la sub base

3.2.4 Ejecución de la base

3.2.4.1 Preparación de la mezcla suelo-cemento (en planta)

Calibrada la planta, abastecido el depósito de material y considerada en orden de ejecución a la sub-base, la operación de la mezcla en planta se procesa en las siguientes fases:

- Determinación de humedad media de suelo o los suelos para mezclar;
- Determinación de la cantidad de agua a añadir para llevar la mezcla a la humedad óptima incrementada por un valor necesario para la evaporación durante las operaciones de transporte y esparcido. Esta humedad suplementaria es variable con las condiciones ambientales y con el intervalo de tiempo programado para las operaciones; y,
- Verificación de las primeras mezclas por medio de ensayos expeditos de humedad, contenido de cemento, homogeneidad de la mezcla y grado de pulverización.

3.2.4.2 Transporte

Entrando la planta en ritmo de operación, se debe cronometrar el tiempo de operación y ajustar el flujo de transporte a la producción continua de la planta.

El transporte debe ser continuo, absorbiendo sin interrupciones la producción de la planta y alimentando de igual modo la distribuidora de suelo - cemento en la plataforma.

3.2.4.3 Distribución (en la plataforma)

La distribuidora recibe directamente del camión la mezcla de suelo-cemento y la distribuye en fajas longitudinales de 3,60 m de ancho y largos de extensión previamente programados.

Esta máquina debe ser regulada para distribuir una capa de mezcla de suelo - cemento suelto uniforme y superficialmente comprimido por la regla regularizadora, en el espesor deseado, previamente determinado por la relación entre los pesos específicos aparentes de la mezcla compactada y de la misma mezcla suelta dejada por la máquina.

El peso específico aparente suelto de la mezcla de suelo - cemento (γ_{ss}), distribuida por la máquina, es prácticamente constante para cualquier abertura de salida en la tolva de distribución, variando apenas el espesor, según el regulador de descarga.

En la primera fase de distribución, el peso específico del suelo distribuido es determinado, conforme sigue:

- a) La volqueta lanza el material suelto en la tolva de la distribuidora con una abertura de salida que produzca un colchón flojo con el espesor en torno de 1,5 veces el espesor de la base de suelo - cemento.
- b) Después de la distribución, se sumerge el anillo metálico, de $\phi = 35,7$ cm y altura de 20 cm (volumen de 20 dm³), en la capa suelta distribuida (*Figura 11*).

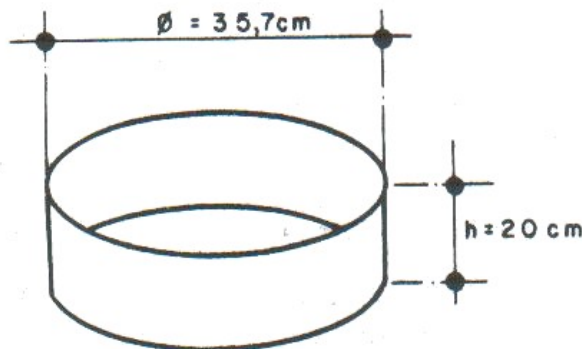


Figura 11 – Anillo metálico para la recolección de la muestra

Se alisa la superficie con una regla y se pesa el material contenido en su interior. Se determina la humedad para calcular el peso seco.

El peso específico de la mezcla suelo - cemento suelto seco es dado por la fórmula:

$$\gamma_{ss} = \frac{P_s}{V}$$

en que:

γ_{ss} = peso específico aparente de suelo - cemento suelto seco;

P_s = peso del material seco suelto contenido en el anillo;

V = volumen de anillo = 20 L.

El peso específico buscado debe resultar de la media obtenida por tres determinaciones.

- c) Para calcular la abertura conveniente y la obtención de un colchón fofo, que después de compactado conduzca al espesor de base de suelo - cemento compactado, se puede adoptar la siguiente ecuación:

$$e \cdot \gamma_{sc} = \gamma_{ss} \cdot e_s$$

Siendo:

e = espesor de suelo - cemento compactado;

γ_{sc} = peso específico de suelo - cemento compactado;

γ_{ss} = peso específico suelto del colchón de mezcla;

e_s = abertura buscada para determinar el espesor del colchón.

Una tabla relacionando e_s a la expresión:

$$\frac{e \cdot \gamma_{sc}}{\gamma_{ss}}$$

facilitará la elección de abertura de operación de la distribuidora, partiendo de la abertura inicial.

Ejemplo:

$$\gamma_{sc} = 1,9$$

γ_{ss} de la mezcla suelta (admitiendo un mínimo de 1,3)

Haciendo $e_s = \frac{e \cdot \gamma_{sc}}{\gamma_{ss}}$ se tiene:

γ_{ss}	e_s en cm
1,3	21,9
1,4	20,3
1,5	19,0
1,6	17,8
1,7	16,7
1,8	15,8
1,9	15,0

Conocido γ_{ss} se entra en la tabla con ese valor y se tiene la abertura de operación.

Los valores intermedios son obtenidos por interpolación

Regulada la abertura de la máquina, se repite entonces la operación de determinación de γ_{ss} para un ajuste final.

Conviene, en esta ocasión, ajustar entonces la regla pre compactadora en la posición ideal de la operación. Esta regla produce una cierta compresión superficial y el alisamiento de la superficie, facilitando la entrada de los rodillos neumáticos.

La *Figura 12* muestra curvas de valores de γ_{ss} cualquiera para valores de γ_{sc} de 1,6 a 2,2 y espesores de suelo - cemento acabado igual a 15 cm.

- d) El espesor del suelo - cemento suelto debe ser aumentado en un 5 %, para facilitar las operaciones de acabado.

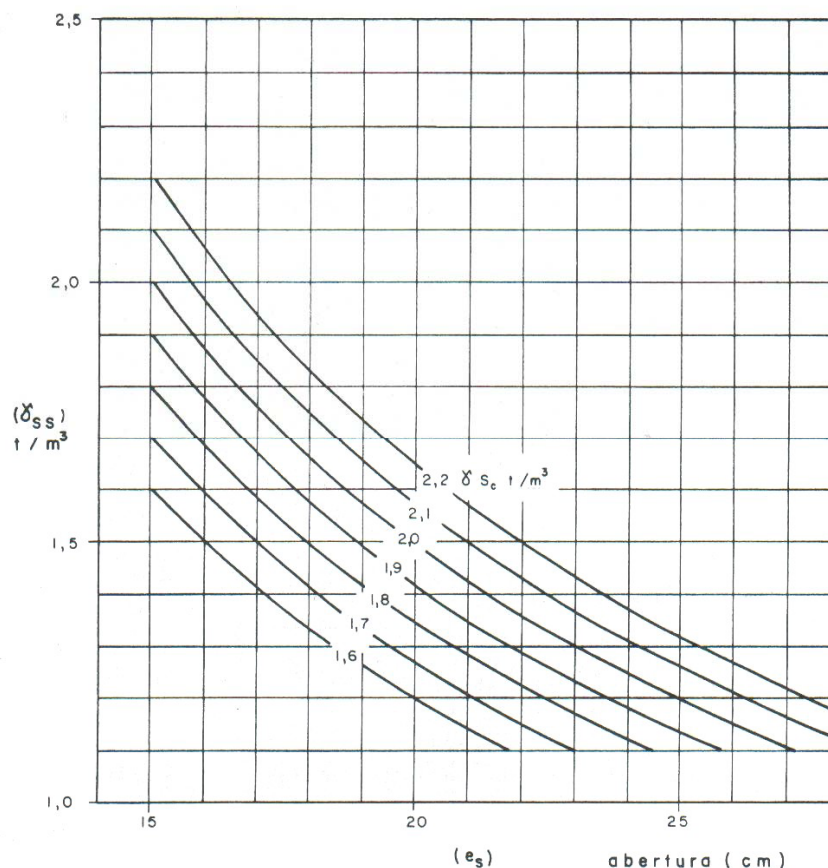


Figura 12 – Curvas para el cálculo de la abertura de salida de la mezcla de la máquina (e = 15 cm)

3.2.4.4 Compactación

La operación a seguir es la distribución y la compactación, hecha normalmente con rodillos neumáticos de presión variable.

La operación es iniciada con presiones más bajas, que se van incrementando a medida que el material se va compactando y adquiriendo mayor capacidad de soporte.

Los incrementos de presión son dirigidos por el propio operador, en la medida en que va sintiendo el aumento del soporte del suelo – cemento.

La selección de velocidad de operación es hecha también para cada grado de compactación. Estos rodillos operan a igual velocidad en los dos sentidos (de frente y de retro), pudiendo entrar así en operación inmediatamente después de la distribución del primer flanco de 3,60 m de ancho (ver esquema de la *Figura 13*).

La compactación prosigue en operaciones de frente y de retro hasta alcanzar el grado especificado, o sea, hasta que el peso específico alcance un valor ≥ 95 % de peso específico seco máximo aparente del suelo – cemento, determinado por el ensayo de compactación verificado en campo (ver sección 3.5.4 de las Especificaciones).

Luego que la compactación alcanza la fase en que ya se define las condiciones de superficie final, antes de haber alcanzado el compactado total, se debe proceder a la verificación de la sección transversal, estirando un hilo de referencia directamente sobre las estacas colocadas lateralmente, en el sentido de constatar la presencia de depresiones, para corregirlas a tiempo. Téngase presente que, cuando la distribución es hecha con la debida técnica tal hecho no ocurre. Es siempre aconsejable, en el distribución, observar lo que recomienda la sección 3.2.4.3 en el inciso d), tratando de garantizar un pequeño exceso de material para facilitar la operación de acabado.

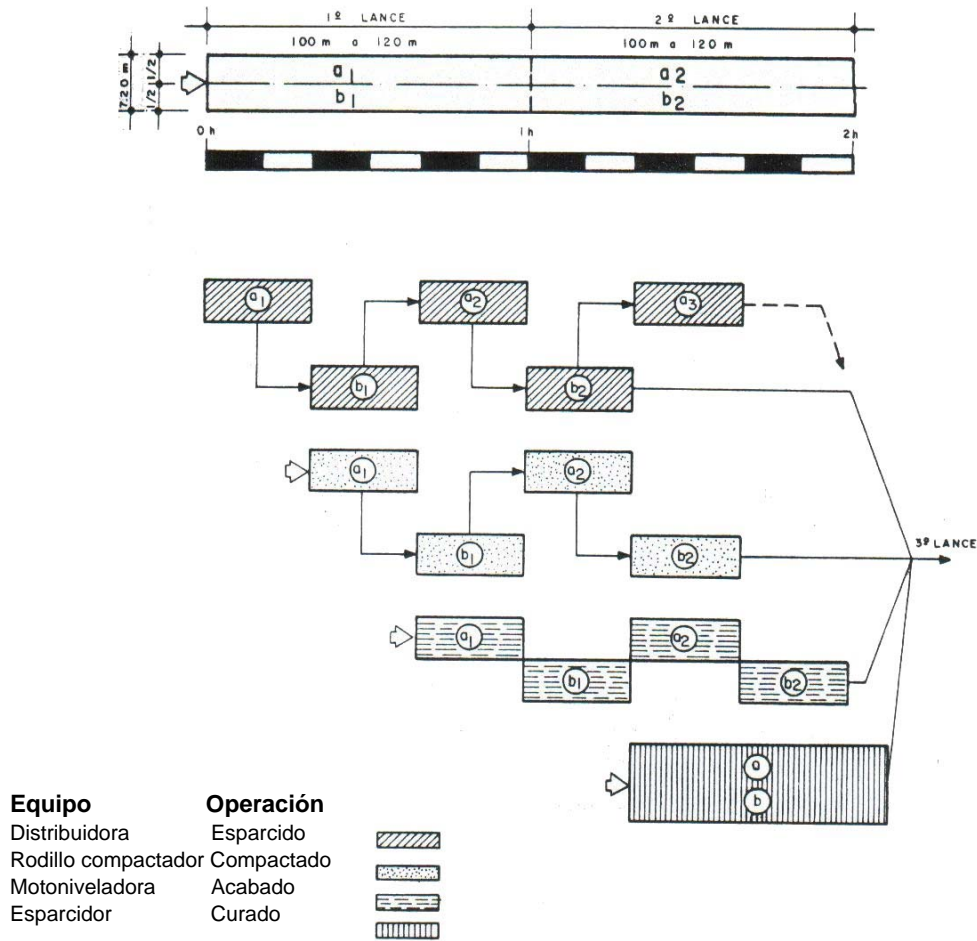


Figura 13 – Flujograma de ejecución en la plataforma. Suelo – cemento procesado en planta (240 t/h avance medio/día \approx 900 m)

3.2.4.5 Acabado

Terminada la compactación en mitad del ancho de la plataforma, se inicia la operación del acabado, haciendo la verificación de la superficie con la colocación del hilo de referencia sobre las estacas colocadas lateralmente, ocasionando que eventuales protuberancias sean localizadas y cortadas con la motoniveladora, removiéndose el material de exceso fuera de la plataforma.

El acabado queda, por tanto, reducido a un alisado de la superficie por corte, dentro de las tolerancias geométricas exigidas. Especificaciones: secciones 3.6 y 3.8.3 incisos a) y b) *Figura 18*.

No se admite la reutilización del material para regularizar la superficie.

Si la textura del material compactado necesita complementación del acabado después del raspado superficial, esta es hecha con un rodillo compactador neumático, a la presión que mejor se adapte. Es esta fase, un rápido regado de la superficie es benéfico e indispensable siempre que existan señales de deficiencia de humedad en puntos diversos.

3.2.4.6 Curado

Luego que los sub tramos del orden de 120 m de extensión estén concluidos, es aconsejable iniciar con la operación de curado; normalmente realizada con material bituminoso (de preferencia asfaltos emulsionados), siguiendo un regado abundante, tan luego el suelo – cemento tenga absorbida el agua. El esquema de la *Figura 13* muestra la secuencia de las operaciones.

En caso de curado con material terroso o paja, la superficie de suelo – cemento debe ser mantenida húmeda por 7 días, renovándose el regado tantas veces cuantas sea necesaria para mantener la humedad permanentemente.

Cuando, por necesidad de trabajo, algún equipo de construcción necesitara circular sobre el tramo acabado, su superficie debe ser protegida con por lo menos 15 cm de tierra, de modo de impedir daños superficiales.

En el caso de curado con película bituminosa, es condición mantenerla íntegra durante 7 días. La circulación de vehículos sobre el material bituminoso de curado provoca roturas en la película protectora perjudicando su normal procesamiento.

3.3 DETALLES

3.3.1 Juntas

Dos tipos de juntas ocurren durante la construcción de las bases de suelo – cemento:

- a) *Juntas de procesamiento* – ocurren entre flancos o sub tramos; y
- b) *Juntas de construcción* – ocurren entre tramos ejecutados en etapas completas de trabajo.

La junta de procesamiento ocurre apenas por corto periodo de tiempo como limitación de las operaciones realizadas por flancos, no creando discontinuidades de ejecución. No dejan vestigios después de la conclusión de los tramos.

En el sentido de evitar un demasiado prolongamiento de las fajas longitudinales de distribución de suelo – cemento y de abreviar el ciclo de operaciones, entre el lanzamiento de la mezcla y su compactación final, se divide el tramo programado para el día de trabajo en flancos sucesivos, cuya continuidad es garantizada por la existencia de material no compactado, una faja transversal de cerca de 3 m entre los flancos en ejecución y el siguiente (*Figura 14*).

La junta de construcción se produce al final de una jornada de trabajo. La compactación es llevada hasta la finalización y, al día siguiente, antes de iniciar la

distribución de la mezcla en el tramo siguiente, se corta la parte irregular del final, generalmente 20 cm a 30 cm.

El corte inicial es hecho con la punta de la lámina de la motoniveladora, operando transversalmente a la plataforma y finalmente igualada con una cortadora manual, de forma de dejar la junta con su paramento vertical y en el espesor exacto de la base (Figura 15). El material cortado es removido fuera de la plataforma.

La continuidad del trabajo no presenta mayores problemas, siguiendo los cuidados de la Figura 16.

La distribuidora de suelo - cemento inicia su operación lo más próximo posible a la junta concluida. Pequeñas deficiencias próximas a la junta, si ocurriesen, son completadas manualmente, lanzándose la mezcla por medio de palas, siendo aconsejable comprimirla un poco con martillos manuales.

Aun en colocado manual, se hace una superposición de material, remontando la mezcla, en exceso, cerca de 30 cm a 40 cm a cada lado de la junta.

Al iniciar la compactación, el rodillo compactador opera maniobrando sobre la base concluida y, al final, habrá un exceso de material sobre la junta que es cortado por la motoniveladora.

Como variante, se puede, antes de entrar a la compactación neumática, proceder a una compactación manual de abajo para arriba en las proximidades de la junta, con martillos apropiados, lanzándose al final el material de exceso a ser compactado por el rodillo neumático, en continuidad con la operación del tramo a compactar (Figura 17).

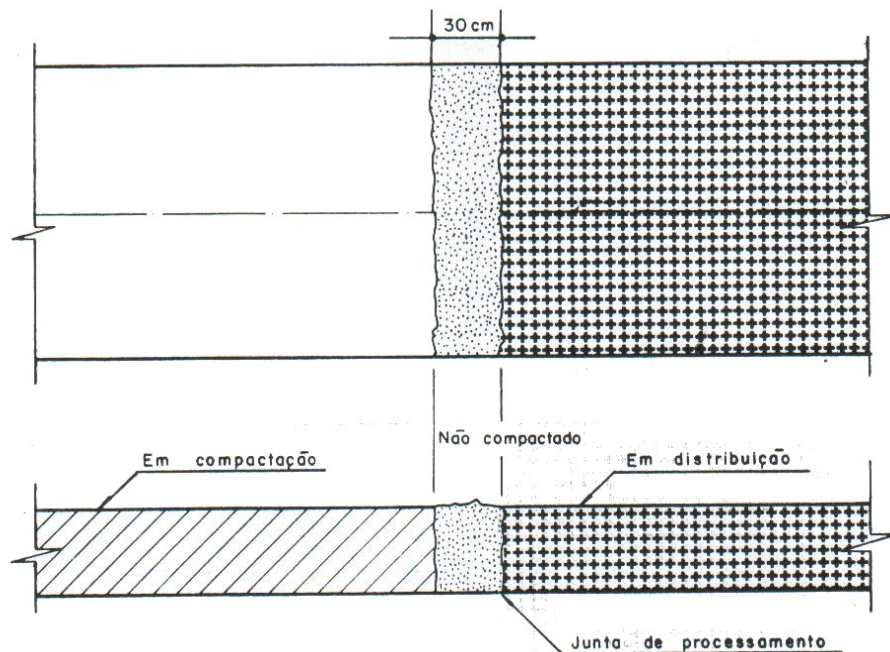


Figura 14 – Juntas de procesamiento

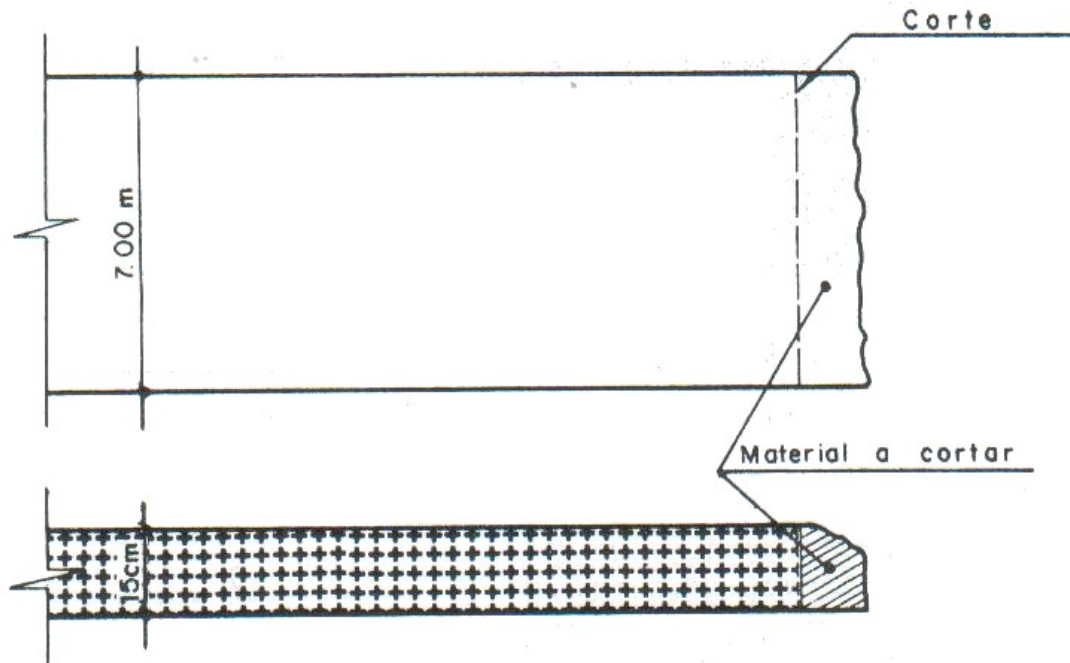


Figura 15 – Juntas de construcción

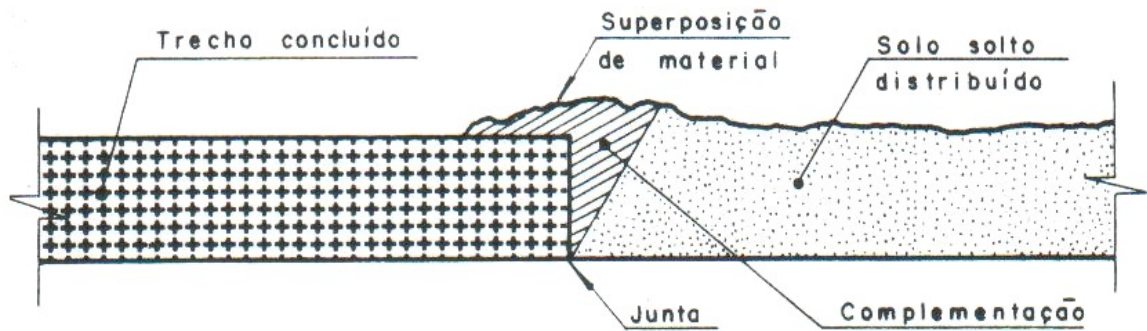


Figura 16 – Detalhes de execução de juntas de construção

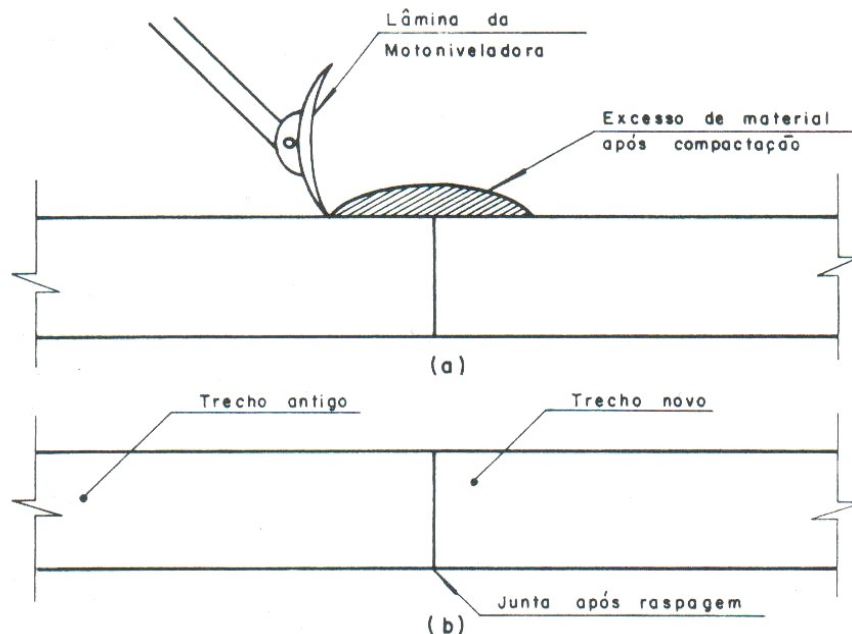


Figura 17 – Detalhes de acabamento de juntas de construção

3.3.2 Lluvias

La ejecución de suelo - cemento procesado en planta presenta, también, una gran ventaja al evitar los problemas que podrían ocurrir con una lluvia imprevista.

Una buena “miluchada” de obra bien organizada y una buena programación de trabajos alejarán por completo el problema.

Normalmente, ningún tipo de pavimento debe ser ejecutado en día de lluvia, de todos modos puede ocurrir una lluvia imprevista. El suelo - cemento procesado en planta puede ser ejecutado en flancos cortos sin mayores inconvenientes técnicos. La compactación es ejecutada a continuación del avance de la distribución, y puede ser concluida en plazo corto, lo que no ocurre con el proceso de mezcla local, que tiene la mayor parte del tiempo tomado por las operaciones de pulverización y mezcla.

Iniciado el trabajo de colocado del suelo - cemento a las primeras señales de lluvia, se puede, a tiempo, concluir la compactación y el acabado del material lanzado, y una lluvia tendrá, en este caso, la función de curado por humedecido.

En el proceso de ejecución de suelo - cemento procesado en planta, el peligro de la pérdida de servicio por lluvia es enteramente desechado.

3.4 CONTROL

Dos son los enfoques a seguirse sobre las operaciones de control:

- a) *Control tecnológico* – ver publicación específica sobre Control y Fiscalización de Obras de Suelo - Cemento (ET-36) editada por la ABCP.
- b) *Control geométrico* – obedecer la recomendación en la sección 3.6 de las Especificaciones y proceder a las verificaciones descritas en la sección 3.2.4.5 y la Figura 18.

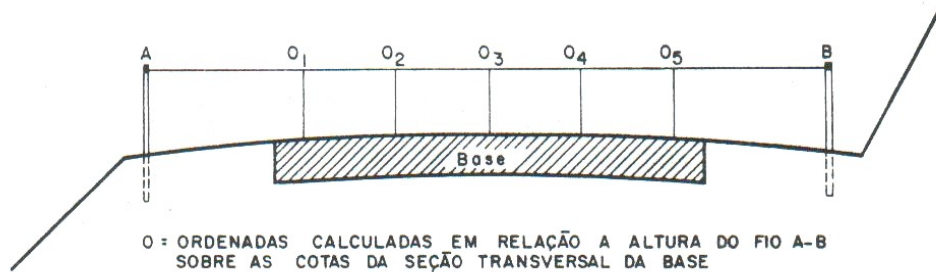


Figura 18 – Control geométrico del esquema de proyección

Los *off-sets* (método de proyección) son colocados en cada sección de estacado, con una altura = O_3 constante, encima de la cota del eje, en posición defendida por las operaciones de servicio por una separación mínima en relación al borde de la base.

Tal procedimiento conduce a la conformación de la sección transversal acorde al proyecto.

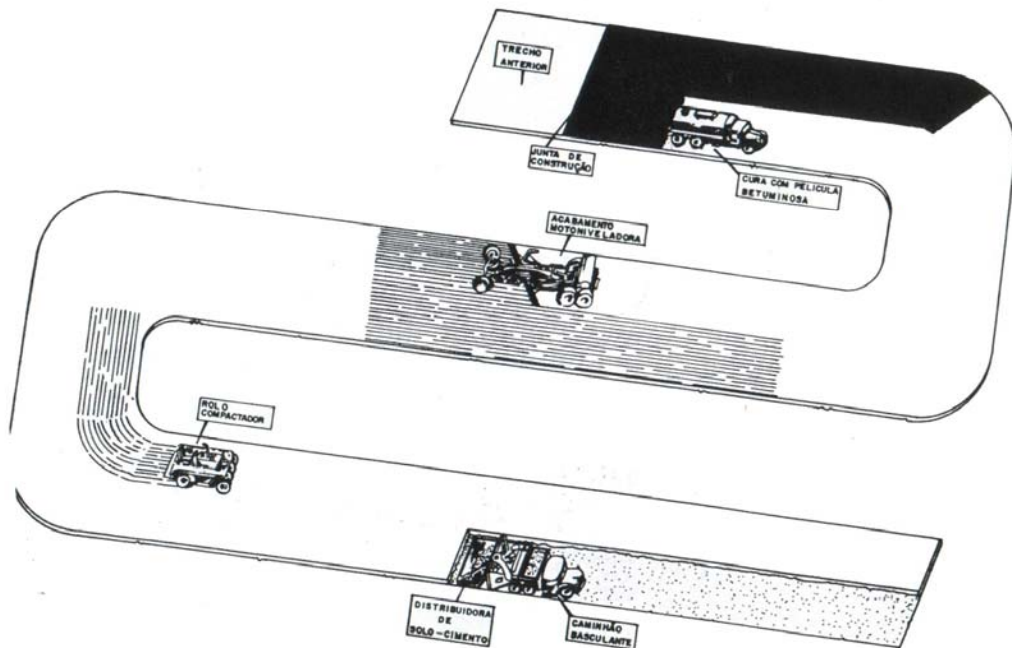


Figura 19 – Diagrama de las operaciones de ejecución de suelo - cemento procesado en planta

BIBLIOGRAFÍA

1. ASSOCIAÇÃO Brasileira de Cimento Portland (ABCP). *Construção das bases de solo-cimento*. São Paulo, 1962.
2. _____. *Construção das bases de solo-cimento pelo processo de mistura na pista*. 2.ed.rev.atual. São Paulo, 1983. (ET-4 0)
3. _____. *Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaio*. 2.ed.rev.atual. São Paulo, 1983. (ET-35)
4. _____. *Estradas de solo-cimento*. São Paulo, 1941. (Bol. n.74)
5. BRASIL. Ministérios dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Manual de pavimentação*. Rio de Janeiro, 1960.
6. _____. *Bases de solo-cimento; especificação para construção por processo mecânico*. Rio de Janeiro, s.d.
7. _____. *Especificação para execução de serviços de sondagens e reconhecimento para fins de engenharia*. Rio de Janeiro, s.d.
8. _____. *Base de solo-cimento; ES-P-12/71*. Rio de Janeiro, 1971.
9. _____. *Base de solo melhorado com cimento; ES-P-11/71*. Rio de Janeiro, 1971.
10. *CATÁLOGOS de fabricantes de usinas misturadoras de solos, distribuidoras de solos e rolos compactadores*.
11. CATERPILLAR. *Manual de produção*. 2.ed. São Paulo, 1972.
12. CHAVES, Cândido do Rego. *O emprego de máquinas e implementos na construção de bases de solo-cimento*. São Paulo, ABCP, 1961.
13. PITTA, Márcio Rocha. *Controle e fiscalização de obras de solo-cimento*. 2.ed. São Paulo, ABCP, 1983. (ET-36).
14. VARGAS, Milton. *Identificação e classificação dos solos*. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 1981.

ANEXO – ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE BASES DE SUELO – CEMENTO POR EL PROCESO DE MEZCLA EN PLANTA

1 GENERALIDADES

1.1 Objetivo

Estas especificaciones se aplican en la construcción, por proceso mecánico de mezcla en planta, de bases de suelo – cemento, en rutas, autopistas, pistas y plataformas de aeropuertos.

1.2 Descripción

El suelo – cemento es el producto de la 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, en caminos y rutas es ejecutada en todo su ancho, por la distribución de suelo suelto en fajas paralelas interligadas, con el avance sincronizado con la compactación.

En caso de suelos de gran ancho, el avance puede ser en fajas longitudinales en un ancho de tantas fajas distribuidas cuantas sean viables, de acuerdo con la producción programada, condicionando la extensión mínima en el sentido longitudinal, de forma de operar el equipo con el mejor aprovechamiento.

- b) La mezcla suelo – cemento será pulverizada y homogeneizada en la planta, transportada en camiones volqueta, y distribuida en la plataforma por la máquina distribuidora, el espesor suelto es obtenido por la aplicación de la siguiente fórmula:

$$e_s = \frac{e \cdot \gamma_{sc}}{\gamma_{ss}}$$

En que:

- e = *espesor de la base después de la compactación;*
 γ_{sc} = *peso específico de suelo – cemento compactado;*
 γ_{ss} = *peso específico del suelo – cemento suelto;*
 e_s = *espesor del suelo – cemento suelto.*

- c) Los materiales, suelo, cemento y agua son mezclados y homogeneizados en la planta, de modo que, al ser entregados al camión de transporte, estén perfectamente mezclados con por lo menos el 80 % de material que pasa el tamiz No. 4 (4,8 mm).

Para los suelos en cuya composición granulométrica exista un material gravoso retenido en el tamiz No. 4, el porcentaje de pulverización es calculado con relación al suelo que pasa

- d) El transporte es hecho por camiones volqueta que deben lanzar la mezcla directamente en la tolva receptora de la distribuidora, en el intervalo máximo de tiempo de 30 minutos.

El abastecimiento de la distribuidora debe ser continuo y el número de unidades de transporte el suficiente para evitar interrupciones.

- e) La compactación se debe procesar continuamente, en la medida del avance de la distribuidora, y más aun cuando el ancho del material distribuido sea igual o mayor a dos veces el ancho del rodillo compactador.

La operación de compactación con rodillos neumáticos de presión variable se inicia normalmente con presiones más bajas, elevándose durante las pasadas sucesivas, hasta el máximo deseable para alcanzar el grado de compactación especificado.

- f) La operación de acabado se debe dar a continuación de la compactación y luego que se tenga un frente mínimo compatible con el trabajo de la motoniveladora.

En caso de que el suelo lo exigiera, después del acabado, se puede aun pasar el rodillo neumático para el alisado de la superficie, ocasión en que la presión de los neumáticos debe ser regulada para la operación.

No será permitido, en ningún caso, la reutilización del material de la superficie, en lo que se refiere al acabado.

- g) Después de la operación del acabado y dentro de un plazo de 6 horas, se debe iniciar la distribución del material de curado.

- h) El intervalo máximo de tiempo entre la entrega de mezcla en la planta y el término de compactación será de 3 horas.

2 MATERIALES

2.1 Cemento Pórtland

Deberá obedecer las exigencias de Normas Brasileñas: NBR 5732 (EB-1) para Cemento Pórtland común, NBR 5735 (EB-208) para Cemento Pórtland de alto horno y NBR 5736 (EB-758) para Cemento Pórtland puzolánico. Los ensayos de dosificación deben corresponder al tipo de cemento a ser empleado.

2.2 Agua

Deberá estar exenta de cantidades nocivas de sales, ácidos, álcalis, y materia orgánica. Se considera satisfactoria el agua potable.

2.3 Suelo

Debe ser procedente de bancos previamente ensayados en laboratorio y cuidadosamente identificados antes de la ejecución, por el cotejo con los ensayos de campo.

Los suelos utilizables en suelo – cemento no deben tener material retenido en el tamiz de 76 mm y un máximo de 45 % de material retenido en el tamiz de 4,8 mm.

3 MÉTODO CONSTRUCTIVO

3.1 Preliminares

Constituyen elementos indispensables a ser suministrados por la fiscalización al constructor, los resultados completos de los ensayos para cada tipo de suelo y de cemento a ser utilizado, efectuados por laboratorio idóneo de acuerdo con las Normas de Dosificación de Suelo – Cemento de la (ABCP).

La obra deberá mantener los certificados de ensayos, que contengan como mínimo lo siguiente:

- a) Ensayo de caracterización de suelos;
- b) Ensayo de compactación;
- c) Ensayo de durabilidad (cuando sea necesario);
 - Cantidad y tipo de cemento en masa y en volumen,
 - Humedad óptima;
 - Peso específico seco máximo aparente.

Estos elementos deben ser suministrados para cada suelo o mezcla de suelos a emplear, con referencia al tipo de cemento utilizado en el ensayo.

3.2 Preparación de la planta

Antes de iniciar la operación de la planta se debe proceder a su calibración, conforme a lo que especifica la sección 6.2.1 de la publicación Control y Fiscalización de Obras de Suelo – Cemento (ET-36) editada por la ABCP, determinándose, también, en la misma ocasión, la velocidad del rotor y el tiempo medio de mezcla para los suelos a ser utilizados.

La planta deberá ser puesta en operación sólo después de su cuidadosa calibración.

La calibración suministrará al constructor los siguientes elementos, para descarga continua del mezclador:

- a) Cantidad de cemento;
- b) Cantidad de suelo;
- c) Cantidad de agua;
- d) Tiempo de ciclo de mezclado; y

e) Tiempo de carga para cada camión.

3.3 Transporte

Deberá ser hecha por camiones volquetas o equipo similar que permita la descarga directa en la tolva de la distribuidora, de manera de garantizar la operación continua.

El tiempo máximo de transporte entre la planta y la plataforma debe estar limitado a 30 minutos.

3.4 Distribución de la mezcla

La distribuidora de suelo – cemento debe operar tan continuamente como le sea posible, recibiendo y distribuyendo el material de modo continuo y uniforme. Siempre que por razones imprevistas ocurrieran paradas de la máquina distribuidora, su tolva debe permanecer con por lo menos 50 % de material suelto, a fin de evitar discontinuidad en la distribución.

3.5 Compactación

3.5.1 La compactación con rodillos neumáticos o patas de cabra autopropulsados es ejecutada en concomitancia con la distribución del colchón suelto de suelo – cemento, en la medida en que cada flanco distribuido tenga por lo menos el doble de ancho de la faja cubierta por el rodillo compactador.

3.5.2 La compactación de suelos arenosos es hecha enteramente con rodillos neumáticos de presión variable, que aseguran la obtención del peso específico especificado en todo el espesor de la capa a compactar.

3.5.3 Cuando se trabaja con suelos arcillosos, que solicitan en la fase inicial el empleo del rodillo pata de cabra, éste deberá ser autopropulsado y permitir la operación en los dos sentidos (de frente y de retro). La fase final será siempre ejecutada por los rodillos neumáticos de presión variable, y esto cuando el restante de la capa a compactar fuera lo mayor posible en espesor y nunca inferior a 5 cm de suelo – cemento compactado.

3.5.4 Antes del acabado, en la fase final de compactación, se debe proceder a la determinación del grado de compactación que deberá ser igual o superior al mínimo especificado. Se admite como aceptable los resultados ≥ 95 % del peso específico seco máximo aparente determinado por el ensayo de compactación de suelo – cemento, verificado en campo para cada suelo a utilizar.

3.6 Acabado

Concluida la compactación se inicia la operación de acabado, con el afinado final de la superficie, de modo de encuadrar en las características geométricas del proyecto, en los sentidos longitudinal y transversal.

Tolerancias:

Diferencias parciales en puntos aislados: máximo 1 cm.

Nivelamiento del eje: $0,01 \cdot \sqrt{k}$ (siendo k en kilómetros)

3.6.1 El acabado de la superficie debe ser ejecutado con motoniveladora, tratando de corregir eventuales pequeñas protuberancias que serán cortadas y removiendo el material fuera de la plataforma. No será permitido la reutilización del material para corrección de la superficie que, en la fase final de compactación, se debe encontrar dentro de las tolerancias especificadas.

3.6.2 Después de la pasada de la motoniveladora, igualando la sección transversal a las cotas del proyecto, si es necesario, se debe realizar pasadas complementarias con un rodillo neumático, regulando la presión de modo de obtener la textura superficial deseada.

3.6.3 Terminado el acabado y verificadas las cotas de eje y bordes directamente de las estacas de referencia, la fiscalización procederá a la verificación de la superficie con un perfilógrafo y, en falta de este, con una regla de 3 m de largo, dispuesta paralelamente al eje longitudinal del pavimento, avanzando cada vez, como máximo una mitad de su longitud.

Será tolerada una diferencia máxima de 1 cm, en sentido vertical, entre la cara inferior de la regla y la superficie acabada.

3.7 Protección y curado

3.7.1 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, en 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 plataforma con la aplicación de una capa de tierra o arena de un mínimo de 5 cm de espesor, a ser mantenida húmeda durante 7 días; y
- c) Cobertura de una capa de paja de por lo menos 10 cm de espesor mantenida húmeda durante 7 días.

3.7.2 En caso de curado con material bituminoso, los materiales normalmente empleados son:

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

3.7.3 El curado debe ser iniciado inmediatamente después del acabado y, en caso de pintura asfáltica, el consumo debe ser de un litro por m².

3.7.4 La pintura aplicada para el curado no debe ser considerada como pintura ligante para el revestimiento asfáltico.

3.8 Disposiciones diversas

3.8.1 En el proceso de construcción de bases de suelo – cemento con mezcla procesada en planta, el tiempo entre la mezcla con adición de agua y el acabado no debe exceder de 3 horas.

3.8.2 La ejecución de bases de suelo – cemento sólo debe ser practicada a temperaturas ≥ 5 °C, en el caso de temperaturas mayores de 40 °C, se deberá también, tomar cuidados especiales, particularmente en cuanto a la cantidad de agua en la compactación y en cuanto al curado.

3.8.3 El espesor de la base de suelo – cemento debe ser verificado en intervalos de no más de 150 m y es aceptable dentro de los siguientes límites:

- a) El espesor medio por sub tramo construido en un día no debe diferir en más de 8 % de espesor proyectado; y
- b) Las diferencias máximas localizadas no deben sobrepasar el 12 % del espesor proyectado.

3.8.4 El peso específico del suelo – cemento será determinado para el sub tramo construido en el día, en los puntos utilizados para la determinación del espesor y no deberá ser inferior al 95 % del peso específico seco máximo aparente obtenido en el ensayo de compactación de laboratorio de campo, de acuerdo con el método SC-1.

3.8.5 No será permitido el tráfico sobre el tramo recién construido durante el periodo de curado.

Se excluye de esta prohibición al tráfico de vehículos de regado, cuando el curado es hecho por este proceso, limitando la carga a 5 t/eje.

3.8.6 La circulación en puntos localizados, de vehículos livianos de llantas neumáticas, será permitida, desde que el suelo – cemento tenga el endurecimiento suficiente y mediante la protección del punto de pasada con una carga de tierra de un mínimo de 15 cm sobre la plataforma.

3.8.7 La apertura al tráfico se dará después de 7 días de protección al que se refiere la sección 3.7 y desde que la superficie presente el endurecimiento suficiente. Antes de la apertura al tráfico, la plataforma deberá estar enteramente limpia.

3.8.8 Para el inicio del revestimiento bituminoso, la superficie de la base se debe presentar seca y exenta de polvo, antes de la aplicación de la pintura ligante.