

Construcción de Bases y Subbases de Suelo Cemento



INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han construido más de 1.500 km de bases y subbases de suelo cemento, bajo pavimentos de hormigón ejecutados con pavimentadoras. Si bien nuestro país tiene una larga tradición en el empleo de suelo cemento como material de uso vial, a fines de la década del '70, a la par de la disminución de protagonismo de los pavimentos de hormigón como alternativa estructural, comienza también a perder vigor la utilización de bases cementadas, en la construcción de carreteras. Esta discontinuación en la ejecución de suelo cemento, sumado a la carencia general de capacitación y entrenamiento en la especialidad vial, han generado una marcada necesidad de conocimientos e instrucción de técnicos y operadores de equipamiento relacionado con esta actividad.

La reinsertión de los pavimentos rígidos a mediados de los años '90, de la mano de nuevas tecnologías constructivas, ha marcado el regreso también de las bases cementadas; acompañadas además por el ingreso de nuevos equipamientos y tecnologías para su construcción.

Producto de estos numerosos antecedentes constructivos, en los cuales el Instituto del Cemento Portland Argentino ha tenido una activa participación, son esta serie de comentarios y recomendaciones relacionadas con la construcción

de bases cementadas. Cuya objetivo primordial es dar a conocer y transferir estas ricas experiencias, compartidas con empresas constructoras, vialidades, consultoras, proveedores de equipos, etc.

GENERALIDADES

El suelo cemento es una mezcla íntima de suelo pulverizado, cantidades medidas de cemento portland y agua, compactada a alta densidad. El suelo cemento compactado (no confundir con suelo tratado o estabilizado con cemento), contiene suficiente cemento como para conformar una estructura resistente y durable, y el grado de humedad necesario para una adecuada compactación y para la hidratación del cemento. Este material tendrá el contenido mínimo de cemento que permita garantizar la resistencia requerida en las especificaciones técnicas y cumplimentar además los ensayos de durabilidad por humedecimiento y secado y congelamiento y deshielo según normas.

No es el objetivo de este escrito profundizar en las características ni en las condiciones deseables de los materiales componentes de una mezcla de suelo cemento, ni en su dosificación. Sí hay que remarcar que para los fines de este documento, el término "suelo" se utiliza en su más amplio significado desde el punto de vista vial; es decir

que se entiende por tal “a cualquier material natural y/o artificial, o mezcla de ellos, de cualquier granulometría, con las propiedades mínimas exigibles para un suelo de uso vial; utilizado para la ejecución de capas cementadas”. El que mezclado con las cantidades de cemento determinadas en laboratorio y el agua necesaria para alcanzar la humedad óptima de compactación, permitirá la elaboración de un suelo cemento compactado o suelo cemento propiamente dicho, con las condiciones y exigencias requeridas en las especificaciones.

La construcción de un suelo cemento de estas características requiere de una adecuada planificación y logística, que permita asegurar las cantidades y dotaciones de los diversos componentes, predeterminadas en laboratorio; así como la reproducción en escala de obra de las condiciones de ejecución referentes a granulometrías de los materiales, mezclado, compactación, terminación y curado de la capa terminada, dentro de los plazos de trabajabilidad recomendados.

El propósito fundamental de este documento es enumerar una serie de indicaciones y sugerencias relativas a las mejores prácticas para la construcción de bases y subbases de suelo cemento, muchas de las cuales pueden encontrarse en la bibliografía específica sobre el particular, en tanto que otras surgen de experiencias y casos particulares en obras de nuestro país, que sin embargo pueden resultar de utilidad en otras aplicaciones. Varias de ellas pueden parecer obvias y elementales, sin embargo la experiencia muestra que la reafirmación de conceptos nunca resulta infructuosa.

CONSTRUCCIÓN DE SUELO CEMENTO

Como se ha esbozado precedentemente, para la ejecución de bases y subbases de suelo cemento destinadas a servir de soporte a pavimentos rígidos, se requiere la adopción de una serie de medidas dirigidas a asegurar la buena calidad de esta capa estructural antibombeo. Los factores

fundamentales a considerar, una vez definidos los materiales a utilizar, se pueden resumir en:

- contenidos de cemento y humedad adecuados para alcanzar las características de resistencia y durabilidad especificadas, determinadas previamente en laboratorio. En obra se seleccionarán los equipos y metodologías apropiados que aseguren el cumplimiento de ambas condiciones;
- mezclado preciso y uniforme de todos los materiales intervinientes, correctamente dosificados y con las características requeridas en cuanto a granulometría, pulverizado, homogeneidad, espesores, etc;
- compactación adecuada en el camino, ejecutada dentro de los plazos de manejabilidad recomendados, que garantice la obtención de las densidades predeterminadas en los estudios de laboratorio y la uniformidad en todo el espesor de la base y;
- curado apropiado de la capa terminada que permita mantener las condiciones de humedad durante el tiempo mínimo prescripto, de forma de asegurar la correcta hidratación del cemento y la obtención de las resistencias potenciales de la mezcla proyectada.

La correcta selección de equipos, tecnologías, métodos y prácticas de construcción permitirá cumplir con las premisas enunciadas. Hay dos grandes tipos de metodologías de ejecución de suelo cemento, diferenciados principalmente por el tipo de equipos utilizados en el mezclado de los materiales:

- MEZCLADO IN SITU
- MEZCLADO EN PLANTA CENTRAL

La adopción de una u otra tecnología de mezcla dependerá del tipo y envergadura del proyecto, de los equipos y la logística que se dispongan, de las características y origen de los materiales a utilizar, etc, etc.

Para el mezclado en el camino existen en la actualidad modernos y potentes equipos recicladores - reclamadores (reclaimers), capaces de producir suelo cemento de elevada calidad por su alta eficiencia y uniformidad en la pulverización y mezcla de materiales (Foto 1). Por otra parte se adaptan perfectamente a las nuevas técnicas de construcción de pavimentos de hormigón, pues aportan elevadas producciones diarias, acordes a los requerimientos de los trenes de pavimentación



Foto 1: Equipos recicladores - reclamadores en la construcción de bases de suelo cemento.

Mezclado en el camino (recicladores-reclamadores)

Preparación previa de la cancha

- El primer paso lo constituye la carga del suelo sobre la subrasante compactada y nivelada, en los volúmenes y cantidades necesarios para obtener el espesor de proyecto de la capa de suelo cemento terminada (en función del porcentaje de suelo que interviene en la mezcla). Para esta tarea, se deberá considerar un sobreespesor para el corte y perfilado de la capa, del orden del centímetro, de manera de asegurar que haya “corte” en todos los puntos de la cancha, lo cual contribuye a una mejora en la terminación superficial. Es importante remarcar que el cálculo de la dotación de cemento en el camino se debe efectuar sobre el espesor teórico de la base, más la revancha mencionada. De otra forma, si computáramos cemento sólo para el espesor de proyecto,

estaríamos incorporando realmente un porcentaje de ligante inferior al requerido por los estudios.

- Extendido, perfilado, precompactación y corte a cotas de proyecto (más revancha por corte mencionada anteriormente) del suelo para la subbase. Si la carga de suelo se mide en volumen (método usual), se deberán determinar las densidades obtenidas en el proceso de precompactación, a fin de calcular el coeficiente de esponjamiento del material referido a la máxima densidad obtenida en el ensayo Proctor del mismo.
- Las tareas topográficas previas, de conformación y corte de canchas para la ejecución de suelo cemento, deberán ejecutarse con la máxima precisión posible, atento a que de éstas depende tanto la dosificación del suelo en la mezcla, como la uniformidad de distribución en la cancha.

En sectores con espesores de corte por encima de las tolerancias especificadas (máximo 1 a 1,5 cm) y, asumiendo que la subrasante aprobada esté en la cota proyectada, estaríamos en presencia de una carga excesiva de suelos para la construcción de la capa o una valoración incorrecta del porcentaje de esponjamiento de la mezcla. Cualquiera de estas situaciones trae aparejado un menor contenido efectivo de cemento (el cálculo de la distribución de cemento en cancha, como se dijo, se efectúa con el espesor teórico de la base más la revancha para corte mencionada) o un consumo innecesario de ligante. La ejecución de canchas de prueba permite realizar los ajustes necesarios para corregir este tipo de desvíos en la valoración de los aportes de materiales.

Por otra parte, la presencia de zonas con cotas inferiores a las de diseño se “corregirá” con aporte de mezcla de suelo cemento excedente del corte de sectores altos. Es evidente que si las tareas de corte y perfilado final de la capa se realizan fuera del intervalo de tiempo recomendado para la conclusión

del suelo cemento (estimativamente 2 a 3 horas), el material de aporte habrá dejado de ser un suelo cemento propiamente dicho, para ser apenas un suelo “corregido” o “estabilizado” con cemento. Produciendo en consecuencia, una capa superficial debilitada, de escaso espesor y mal adherida, susceptible de bombeo. Como recomendación básica deberá observarse que todo el producto de “corte” sea desechado a banquinas, no pudiendo utilizarse para el relleno de zonas bajas, salvo que dicha operación se realice dentro del plazo de manejabilidad y se tomen, además, los recaudos suficientes en cuanto a escarificado de la superficie a recubrir, humectación adecuada del material y compactación dentro de los plazos admisibles.

- Dependiendo del tipo de suelo que conforma la capa, puede ser necesaria una escarificación y pulverización del mismo, previo a la distribución del cemento. En los suelos friables, en general, puede prescindirse de esta operación, no así en suelos cohesivos que requerirán un enérgico proceso de pulverización para obtener una granulometría acorde con un eficiente proceso de mezcla de suelo, cemento y agua. En general, los suelos muy húmedos son difíciles de pulverizar, pero se roturan fácilmente cuando pierden parte de la humedad. Por el contrario, materiales cohesivos demasiado secos también son difíciles de pulverizar, pero se mejoran rápidamente con un pequeño humedecimiento (en suelos arcillosos por lo general se consigue un buen pulverizado con humedades 2 o 3 puntos por debajo de la óptima).
- Ajuste de la humedad natural del suelo a tratar con cemento: esta operación puede ser necesaria en el caso de cargar suelos de la traza o de yacimientos con elevados contenidos de humedad (mayor que la humedad óptima de compactación), para lo cual será preciso airear el suelo para ajustar a la humedad conveniente de trabajo. Como regla general se acepta que suelos arenosos,

aún con porcentajes de humedad cercanos a la óptima, pueden ser mezclados de manera eficiente, mientras que en suelos cohesivos lo recomendable es tener humedades, previo al mezclado, de 2 o 3 puntos por debajo de la óptima. En cualquiera de los casos se recomienda uniformar la humedad de la cancha a ejecutar en una misma operación, previo a la distribución del ligante.

- Si se utiliza un “suelo corrector” para la subbase, que por lo general se extenderá sobre el material a corregir en las cantidades especificadas para la mezcla, puede resultar necesario hacer un premezclado de ambos, con el mismo equipo reciclador u otro medio eficiente, y reconformar luego la capa antes de la distribución del cemento. La incorporación de un suelo fino, con alguna plasticidad, podrá requerir un ligero pulverizado previo para aumentar la eficiencia de la corrección, además de evitar la permanencia de terrones de suelo aún después del paso del reclamador.



Foto 2: Distribución de arena con extendidora de asfalto.

- Otra solución bastante usual es la corrección del suelo a tratar con arenas naturales. En estos casos la distribución del material granular se hace sobre el suelo cargado, precompactado y “cortado” a cabeza de estacas, mediante el uso de equipos que descargan y enrasan los volúmenes previstos. Para esta finalidad es frecuente la participación de terminadoras de asfalto,

distribuidores de áridos, pavimentadoras, etc. (Foto 2), que permiten el aporte de un espesor de material determinado en todo el ancho de la cancha, en una o más pasadas del equipo. También en estos casos resulta recomendable hacer un premezclado de ambos materiales, en especial si la carga de los mismos se adelanta a la ejecución del suelo cemento, de tal manera que se pueda precompactar y sellar el suelo mezcla, evitando el ingreso de agua de lluvia a las capas inferiores. Aun cuando la distribución de la arena se realice en la misma jornada de construcción del suelo cemento, la premezcla puede ser necesaria para facilitar el desplazamiento de los neumáticos de los equipos de construcción, que de otra forma se torna dificultosa.

- El ajuste en obra de todos los parámetros mencionados (sobreesesores, necesidad de pulverizado previo, humedad previa, etc.) se realiza de manera más eficiente con ejecución de canchas de prueba en el inicio de los trabajos o cada vez que las características y proporcionamiento de los materiales varíen de manera significativa.

Distribución del cemento

- La descarga del cemento se realiza generalmente a granel, sobre la cancha precortada, utilizando equipos o dispositivos de distribución de diversas características, aunque lo usual en nuestro país, es que

dosifiquen en volumen. Estos pueden ser desde camiones tolvas con descarga mecánica a tornillo y distribución neumática, hasta dispositivos de arrastre que se acoplan a un camión volcador preparado especialmente (caja tolva cerrada), que distribuyen en el ancho del equipo mediante cintas o sinfines. En la mayoría de los casos el proporcionamiento se efectúa descargando la cantidad requerida, mediante la regulación de una abertura y/o la velocidad del camión, de manera de colocar una dotación de cemento predeterminada sobre la cancha. Es recomendable que el equipo distribuidor cuente con algún elemento o mecanismo que pueda ser calibrado o regulado (apertura, velocidad, etc), de manera que haya cierta repetibilidad en la dotación descargada (Fotos 3 y 4).

- La técnica que consiste en descargar una determinada cantidad de cemento (en general, la capacidad del equipo distribuidor) en un ancho y largo dado, en función del tenor de ligante por m^2 ; no es una práctica adecuada, por cuanto no se puede garantizar uniformidad entre diferentes puntos o fajas. Siendo este tipo de distribución bastante azarosa y dependiente del operador o encargado de la descarga (por ejemplo, uso de camiones motohormigoneros); y sólo garantiza el total de cemento a consumir en una cancha dada, aunque no la uniformidad en cada punto.



Foto 3: Distribución de cemento poco adecuada y confiable.



Foto 4: Distribución de cemento precisa y uniforme.

- En cualquier circunstancia se deben extremar las precauciones en el uso de estos equipos distribuidores, y es recomendable realizar tramos de prueba, que permitan controlar y calibrar todas estas cuestiones, a fin de encontrar el procedimiento que garantice los mejores resultados. Además, los controles frecuentes de la cantidad de cemento aportada en las canchas, permitirán perfeccionar los mecanismos y metodología de graduación del ligante, hasta obtener la uniformidad adecuada. Estas verificaciones se realizan muy sencillamente mediante el uso de una lona o chapa de superficie conocida (usualmente 1 m²), colocada sobre la cancha, previo al paso del equipo de distribución. El control se efectúa mediante el pesado del cemento recuperado de este elemento.
- Siempre es conveniente la colocación de estacas o estacones bien visibles delimitando el ancho efectivo del tratamiento, para ayudar al operador del equipo de distribución. También puede resultar conveniente formar un pequeño caballete de suelo contiguo a la línea de estacas para contener los “derrames” de cemento por fuera del ancho de tratamiento. Esta sencilla operación (ejecutada en forma rápida con la cuchilla de una motoniveladora) es recomendable en todos los casos para evitar también el desplazamiento del ligante por acción del neumático del equipo reclamador.
- Cualquiera sea el método de distribución del cemento a granel (distribuidores mecánicos, camiones volcadores con dispositivos de dosificación, etc.), se tratará que el recorrido de caída libre del material sea el mínimo posible, por cuanto en ese momento se producen las mayores pérdidas de cemento (especialmente en días de viento). Para este fin se dotará a los equipos distribuidores de “baberos” o bandejas, mangas de lona, etc., para minimizar las pérdidas por este motivo.
- La incorrecta dosificación del cemento, en especial la falta de uniformidad, se advertirá claramente en los controles de Laboratorio, puesto que acusarán dispersiones importantes en los valores de resistencia, en especial en probetas moldeadas con mezcla del camino.
- La incertidumbre en la distribución del cemento, por falta de confiabilidad del equipo distribuidor, siempre trae aparejado un mayor costo, puesto que con el fin de asegurar los valores mínimos de calidad requeridos (que se controlan principalmente por resistencia a compresión) se hace necesario aumentar el tenor de ligante para compensar la elevada dispersión en los resultados. En proyectos de gran magnitud el sobrecosto por este motivo supera ampliamente la inversión que significa un equipo apropiado para la dotación del cemento.



Foto 5: La falta de solapes adecuados entre las distintas fajas de trabajo del reciclador, puede generar juntas longitudinales de material sin tratar.

Mezclado en cancha

- Completada la distribución del cemento y verificada la uniformidad de la cantidad incorporada en todo el ancho de la capa, se procede a iniciar la mezcla de suelo, cemento y agua con el equipo reciclador, en franjas longitudinales acordes con el ancho del rotor del equipo y teniendo en cuenta que deberán efectuarse solapes longitudinales de al menos 10 / 20 cm de ancho, para evitar juntas sin tratamiento (Foto 5). El ancho del tambor mezclador determinará la cantidad necesaria de pasadas para la ejecución del ancho proyectado. Rara vez este valor arrojará un número entero de franjas, por lo cual será necesario trabajar con solapes longitudinales mayores. Siempre resultará más sencillo y confiable construir con franjas del mismo ancho efectivo (deducido el ancho de los solapes), comenzando por una de las fajas laterales.
- En la mayor parte de los casos se distribuirá el cemento en todo el ancho de la “cancha” antes de comenzar el proceso de mezcla con el reciclador. Cuando se utilizan equipos distribuidores que puedan garantizar la uniformidad de descarga en todo su ancho de trabajo, podrá iniciarse la mezcla con el reclamador aun antes de haber completado la descarga de cemento en todo el ancho de tratamiento. Sin embargo, en estos casos nunca se iniciarán las operaciones de mezcla antes de haber completado la primera faja de distribución del cemento e iniciada la segunda en una longitud suficiente para evitar que el distribuidor se interponga en el camino del equipo mezclador. Esto asegura además que no queden franjas, o zonas intermedias entre dos fajas, sin cemento.
- Una vez que se inician los trabajos de mezclado en el camino, deberán evaluarse los resultados detrás del tambor mezclador a fin de comprobar las condiciones de pulverización y mezcla de los materiales. Estos controles, mediante tamizado de la mezcla obtenida, determinarán la necesidad

de efectuar ajustes previos de la humedad del suelo, para encontrar aquel tenor de humedad más adecuado para alcanzar la máxima eficiencia en la pulverización; o la necesidad de realizar un premezclado y pulverizado en seco, con el cemento ya distribuido, sin la incorporación de humedad todavía; así como efectuar los ajustes necesarios en el equipo reclamador (regulación de velocidad de avance, apertura de compuerta), etc.

- La cantidad de agua a incorporar a la mezcla será la necesaria para alcanzar la humedad óptima de compactación del suelo cemento, o un valor cercano a ella. Para efectuar el cálculo del agua a incorporar deberán realizarse determinaciones previas de la humedad del suelo existente a tratar. La cantidad de agua a agregar surgirá como diferencia entre la humedad óptima obtenida en Laboratorio para la mezcla de suelo cemento y la humedad que aporta el suelo (considerar que el aporte de agua del suelo no se computa al 100 % pues éste constituye un porcentaje inferior en la mezcla), se tendrá una buena aproximación sumando 2 puntos a la diferencia de humedades, para compensar el efecto de la adición del cemento seco.
- La mayor parte de estos equipos poseen un sistema hidráulico que permite incorporar la humedad directamente dentro del tambor mezclador, de tal manera que entrega el material (mezcla de suelo/s, ligante y agua) listo para su compactación. Es decir que determinada la cantidad de agua a incorporar se calibrará el equipo (velocidad de avance, caudal de la bomba, etc.) para alcanzar la humedad óptima de compactación en la mezcla. Tener en cuenta que en los solapes longitudinales de las distintas franjas de trabajo del equipo, la cantidad de agua incorporada puede exceder sobradamente la necesaria si no se toman algunas precauciones mínimas, dando lugar a la formación de baches. La forma más sencilla de resolver este inconveniente es, como se ha expresado anteriormente, trabajar con franjas de igual ancho efectivo, obturando los picos

aspersores ubicados en un ancho igual a la diferencia entre el ancho total del tambor y el efectivo de trabajo, a uno de los lados del rotor. De esta manera se incorpora humedad sólo en una de las dos pasadas del reciclador en los solapes.

- En aquellos casos en que no sea posible incorporar el agua en la cámara de mezcla, se podrá agregar la humedad necesaria regando directamente sobre la cancha. Esta operación no debe realizarse nunca sobre el cemento distribuido en la superficie, para evitar la formación de “grumos” o terrones que difícilmente sean pulverizados por el mezclador. Por el contrario, en estos casos será necesaria una primera pasada “en seco” del equipo para mezclar el suelo y el cemento (no olvidar que a partir de este momento se deberá iniciar el conteo del tiempo de ejecución de la capa, pues el suelo contiene humedad suficiente para comenzar la hidratación del cemento), para recién en una segunda pasada mezclar la humedad aportada por los camiones regadores delante del mezclador.
- Luego del paso del equipo reciclador se efectuarán comprobaciones de la humedad de la mezcla en el Laboratorio de campaña, en base a los cuales se harán los ajustes necesarios en la calibración del equipo mezclador, si la humedad medida no se condice con la óptima de compactación.
- El ensayo de compresión manual (o método del “muñeco” o “terrón”) para estimar el contenido de humedad de un suelo, puede resultar de suma utilidad para efectuar los ajustes necesarios en la incorporación de agua a la mezcla. Si bien este tipo de ensayo de inspección visual permite estimar la humedad con bastante aproximación, no puede considerarse como reemplazo de los ensayos de laboratorio, pero seguramente reducirá a un mínimo las determinaciones de humedad con los métodos convencionales de laboratorio.

- El otro aspecto importante en el uso de las reclamadoras es el control del espesor del tratamiento. Estos equipos trabajan “copiando” la cancha, ya que permiten regular la profundidad de penetración del tambor mezclador respecto al plano de apoyo de los neumáticos de la reclamadora. Nuevamente, la precisión en las cotas de las superficies a tratar precortadas será fundamental para garantizar el espesor final de la base, además de la correcta calibración, operación y control del equipo reciclador. Cuando, por los motivos apuntados precedentemente, sea necesaria una premezcla en seco de los materiales, se prestará especial cuidado en el control de espesores como consecuencia del esponjamiento que se produce en la mezcla, lo que definirá una profundidad de inserción distinta del tambor.
- Aunque habitualmente no resulta necesario, si debiera realizarse un perfilado de la mezcla entregada por el reciclador, se deberá evitar el tránsito excesivo de la motoniveladora sobre el material suelto, formando “planos” o “franjas” selladas por los neumáticos difíciles de compactar.

Mezclado en Planta Central

- El mezclado de suelo cemento en planta central tiene la ventaja de tener un buen control sobre la dosificación de los materiales intervinientes, si se efectuó una correcta calibración de la misma en el inicio de la construcción (Foto 6). De cualquier manera, la metodología requiere la adopción de algunas precauciones mínimas para lograr una mezcla eficiente de los materiales componentes, en especial si se trabaja con suelos finos.
- Cuando se trabaja con suelos granulares por lo general no habrá dificultades para su manipulación y mezclado en planta. En cambio, en suelos finos cohesivos será necesaria la preparación previa del suelo mediante pulverizado hasta obtener granulometrías y humedades acordes con las

especificadas. En estos casos será conveniente preparar acopios suficientes de materiales con granulometría y humedad controladas. Es aconsejable colocar además, cribas o zarandas en las tolvas de alimentación de la planta, para limitar el tamaño máximo de los suelos al especificado.

- Previo al inicio de los trabajos se debe efectuar una calibración adecuada de la planta mezcladora. Estas, en general, son de flujo continuo y dosifican por volumen mediante la regulación de una abertura de compuerta, velocidad de cintas o tornillos alimentadores, caudalímetros, etc. Esta regulación del equipo de producción debe controlarse periódicamente y es necesario, además, realizar calibraciones para distintas humedades de los materiales, en tanto variaciones en el tenor de agua determinaran modificaciones en el proporcionamiento de materiales secos.
- Es conveniente que la provisión de cemento al mezclador se asegure con silos de capacidad adecuada y que estén dotados de aireadores o sopladores que garanticen un flujo uniforme de material. Es importante, además, el control visual de ingreso de los distintos materiales al

mezclador, para detectar rápidamente cambios o interrupciones en el flujo de cada componente, que alteren las proporciones de la mezcla.

- En el transporte a las canchas deberán reducirse al mínimo las pérdidas de humedad por evaporación, equipando a los camiones con lonas u otras coberturas adecuadas, limitando por otra parte el tiempo total de transporte a 30 minutos como máximo. Se recuerda que el plazo de manejabilidad en este caso, debe contabilizarse a partir de la mezcla del cemento con el resto de los materiales.
- La distribución de la mezcla en camino se efectuará con equipos distribuidores o extendedoras de pavimentos, trabajando en el mayor ancho posible. En caso de distribuir con un único equipo, en dos o más fajas, se acortará la longitud de las canchas de manera de limitar el lapso transcurrido desde la distribución de una faja y la adyacente a 25/30 minutos como límite aconsejable, para evitar juntas constructivas longitudinales.
- La descarga en montones a encaballetar y distribuir con motoniveladoras, es una



Foto 6: Mezclado en planta central.

práctica poco recomendable por la desigual densificación que se logra en la mezcla extendida, entre las zonas compactadas por los neumáticos de la motoniveladora y aquellas que no han sido afectadas. A esto se suma la dificultad que supone la reposición de la humedad perdida por evaporación en la mezcla (que alcanza valores importantes en este tipo de procesos) en estos movimientos de distribución.

Compactación del suelo cemento

- Una vez finalizado el proceso de mezcla o extendido del suelo cemento (con cualquiera de los métodos descritos anteriormente) se procederá de inmediato a la compactación y terminación de la capa.
- Se verificarán en este momento las condiciones de la mezcla en lo que refiere a humedad y granulometría, para efectuar los ajustes que resulten necesarios en el proceso de construcción, previo al ingreso de los equipos de compactación.
- La humedad de la mezcla en el inicio de la compactación deberá estar cercana al contenido óptimo determinado previamente en el ensayo de Humedad - Densidad en Laboratorio. En mezclas de suelo cemento es preferible un ligero exceso de humedad que la falta de ella.
- Algunos suelos presentan ciertas dificultades en los procesos de terminación (bacheo) cuando se trabajan con humedades cercanas a la óptima, lo que obliga a compactarlos en la rama seca (con una mayor energía). Como regla general **“se recomienda mantener el más alto contenido de humedad que permita la consolidación y terminación sin que se observen fisuramiento superficial, ondulaciones, huellas o desplazamiento del material durante las operaciones de compactación y terminación”**.
- Como ya se adelantó parcialmente en los párrafos anteriores, el ensayo final de pulverización se realiza previo al ingreso de los equipos de compactación. La granulometría de la mezcla de suelo cemento será tal que el 100 % del material pase el tamiz IRAM 25 mm (1”) y más del 80 % pase por el tamiz IRAM 4,8 mm (N° 4), excluidas las partículas de grava o piedra. Este ensayo determinará la necesidad de realizar ajustes en los procesos previos de mezcla, si no se cumplen las condiciones especificadas.
- La compactación se realizará con los equipos usuales en obras de movimiento de suelos, tales como rodillos “pata de cabra”, rodillos metálicos lisos o aplanadoras, o rodillos neumáticos, escogidos en función del tipo de suelo que se pretende compactar y chequeando su eficiencia en canchas de prueba.
- No debe demorarse el inicio de los trabajos de compactación cualquiera sea el o los equipos que se utilicen. Es menester señalar que los trabajos de compactación concluyen sólo cuando el último de los equipos afectados a esta tarea es retirado de la cancha, usualmente el compactador neumático. Cualquiera sea el equipo que inicia la compactación, aun cuando lo haga inmediatamente detrás del reciclador o del material extendido, no significa que hayamos eliminado todo retardo en la densificación hasta tanto no se efectúe el rodillado final de la capa. En este aspecto es recomendable insistir nuevamente con la importancia de concluir la ejecución de capas de suelo cemento dentro de plazos tolerables, preferentemente un límite de 2 horas para la finalización de los trabajos de compactación. Esta limitación garantizará que hayamos construido un verdadero suelo cemento compactado (caso contrario estaremos ante un simple suelo estabilizado con cemento), de buena calidad en todo su espesor y con resistencias acordes a las potencialmente obtenibles en el Laboratorio para el tenor de cemento adicionado. Un retardo de 2 horas, desde la incorporación del cemento hasta la

finalización de la compactación de la mezcla, puede significar una pérdida de resistencia del orden del 10 al 15 % respecto a la potencial, si la compactación hubiera sido realizada inmediatamente.

- Cuando se utilizan compactadores “pata de cabra” es condición esencial que el material se encuentre suelto, para que los tacos del equipo puedan llegar hasta el fondo de la capa e ir compactando gradualmente. Si las patas no penetran lo suficiente se deberá roturar el suelo con equipos adecuados (rastras, escarificadores, etc.).
- El uso de rodillos “patas de cabra” suele traer aparejadas algunas dificultades en la terminación superficial de las capas de suelo cemento, puesto que éstos siempre dejan una capa superior suelta (de 2 o 3 cm) que no logran “cerrar” por el tipo de compactación y amasado que producen, la que además habrá perdido las condiciones óptimas de humedad. Si bien la densificación de la capa se completa con un compactador de ruedas, en estos casos es sumamente importante que, previo al ingreso del rodillo neumático, se realice un ligero escarificado y humectación de este material suelto, a fin de lograr una capa de espesor suficiente, que resulte firmemente adherida y densamente compactada al resto de la estructura. En muchas oportunidades puede resultar más adecuado disminuir el número de pasadas de la pata de cabra, buscando compactar sólo la parte inferior de la base, y completar la densificación requerida con rodillos neumáticos, de manera de cerrar rápidamente la estructura, garantizando una buena terminación superficial. Siempre que sea posible por el tipo de suelo, es preferible utilizar compactadores de superficie lisa, tales como rodillos metálicos, aplanadoras o directamente rodillos neumáticos, puesto que permiten mantener la humedad de la mezcla durante el proceso y aseguran una mejora en la terminación superficial. En general es posible alcanzar los porcentajes de densificación requeridos, aún con estos equipos que compactan en superficie, para los

espesores habituales de las capas de suelo cemento (usualmente de 15 a 20 cm).

- Durante el proceso de compactación se deben efectuar riegos ligeros de agua, a fin de reponer las pérdidas de humedad por evaporación y manipuleo, en especial cuando se trabaja con patas de cabra, que producen un desecamiento de la capa superficial que se mantiene suelta.



Foto 7: Sellado final con rodillos neumáticos.

- El método utilizado para la terminación final del suelo cemento depende de las características del suelo y de los equipos utilizados para la compactación. Para producir una superficie de alta calidad deberán observarse dos exigencias fundamentales: mantener la humedad óptima de trabajo y remover cualquier plano de compactación formado por el paso de los equipos usados en la construcción, en especial si se utilizan “patas de cabra” o motoniveladoras para la distribución.
- En líneas generales, se puede decir que cualquiera sea el equipo de compactación utilizado, se obtendrá una buena terminación del suelo cemento “sellando” la capa superficial con rodillos neumáticos (Foto 7). La superficie obtenida debe quedar lisa, densa y húmeda, libre de grietas, rebordes y planos de compactación.

Corte y perfilado final del suelo cemento

- Completadas las operaciones de compactación y terminación de la capa de suelo cemento se procederá al corte y perfilado final a los niveles de proyecto, con motoniveladoras o equipos cortadores “trimmers” (Foto 8). El material producto del corte se desechará, retirándolo a las banquetas. Luego de las operaciones de corte se efectuarán riegos ligeros superficiales.
- En algunos casos se prefiere compactar la capa a un 90 / 92 % de la densidad requerida e inmediatamente iniciar el corte y perfilado final de la base, con el objeto de aumentar la eficiencia de los equipos de “corte”, para luego completar la compactación y sellado final de la capa con rodillos neumáticos. Por supuesto que estas operaciones deben efectuarse dentro del plazo de trabajabilidad y el corte a cabeza de estaca debe contemplar un pequeño huelgo para compensar la diferencia por finalización de la densificación.
- En ocasiones, cuando se utilizan equipos trimmer, suele efectuarse el corte de la cancha al día siguiente de su construcción, sobre todo de los últimos tramos ejecutados. Esta práctica no parece recomendable, no sólo por la baja de rendimiento y mayor consumo de elementos de desgaste del trimmer, sino porque además tiene la gran desventaja de impedir la terminación y curado de la cancha

dentro de los plazos máximos de construcción. Para atender esta situación, es necesario mantener la humedad del suelo cemento mediante riegos frecuentes, hasta que se pueda completar el corte y curado, y además, asegurar un espesor de corte mínimo, de manera de poder eliminar la capa superficial que pueda haber sufrido las consecuencias de desecamiento por pérdida de humedad.

- Las mismas premisas señaladas en los trabajos de compactación pueden expresarse con respecto a las demoras en el corte y perfilado final de la capa, que deberán ejecutarse dentro de los plazos tolerables mencionados anteriormente. Una estructura de suelo cemento compactado, al menos en sus primeras horas hasta que la hidratación del cemento de inicio al proceso de endurecimiento, no se diferencia de una capa de suelo común, es decir, se trata de una estructura susceptible de deformaciones por el tránsito de equipos de construcción. Las cargas aplicadas por los neumáticos de la motoniveladora durante las tareas de perfilado final, cuando aún el suelo cemento no tiene resistencia suficiente, tenderán a “romper” las estructuras ya formadas durante los procesos de hidratación del cemento, conspirando contra la calidad de la base de suelo cemento. De allí la importancia de fijar límites al tiempo total insumido por el proceso constructivo.



Foto 8: Trimmers en la construcción de bases cementadas.



- Las demoras en la compactación y en el perfilado de canchas suelen estar emparentados con una incorrecta estimación de la capacidad de producción de los equipos involucrados. En especial cuando se utilizan equipos recicladores para la mezcla, el equipo crítico en la construcción, y que por lo tanto será quien regule el ritmo de trabajo, suele ser la motoniveladora. Puesto que el reclamador es apto para entregar producciones sustancialmente mayores, su máximo rendimiento sólo podrá alcanzarse aumentando la dotación de equipos de perfilado (motoniveladora) o recurriendo a equipamientos de mayor rendimiento (trimmers). Cuidando además de no desatender las tareas de topografía, que suelen incidir sobremanera en las demoras indicadas.
- Aun cuando los equipos seleccionados sean los adecuados, no debe incurrirse en una sobrevaloración de la capacidad de producción del equipamiento afectado, puesto que esta práctica traerá aparejada deficiencias constructivas tales como juntas frías entre fajas contiguas, compactación y acabado final tardío, corte y perfilado final de canchas a tiempos excesivos, etc. A fin de evitar este tipo de complicaciones, es recomendable trabajar con canchas cortas, que permitan cumplimentar todas las operaciones necesarias para la ejecución de bases cementadas dentro de los plazos de manejabilidad especificados. En todo caso, si la capacidad de producción lo permite, se pueden hacer varios tramos en la jornada, escalonando la utilización de los diversos equipos durante el día y, una vez que se ha comprobado en sucesivas producciones que los tiempos disponibles lo permiten, agregar nuevas canchas.
- Respecto a las tareas topográficas de nivelación de canchas para el corte final, si el mismo se efectúa con motoniveladoras, se recomienda la colocación de estacas de nivelación en perfiles cercanos, no más de 10 a 12 m de separación longitudinal y al menos cinco estacas por perfil, con el objeto de brindar al operador referencias firmes y seguras en el corte del perfil transversal, acordes con el ancho de trabajo de la cuchilla del equipo. Esta mayor densidad de estacas respecto a otras metodologías tradicionales en la construcción de capas especiales, garantizará la obtención de la precisión necesaria en el acotamiento final de la base, acorde con los requerimientos de los equipos de pavimentación de Alto Rendimiento.
- Si el perfilado final se ejecuta con trimmers, equipos cortadores que trabajan con sensores de línea y nivel referidos a un hilo guía, es recomendable que la separación entre los “pines” sobre los cuales se posiciona la línea, no supere los 8 a 10 m entre sí. Además de un minucioso trabajo de nivelación del hilo guía, acorde con la elevada precisión en el corte que son capaces de entregar estos equipos de gran producción y rendimiento.
- En este aspecto es importante resaltar que las pavimentadoras de encofrados deslizantes trabajan con sensores de línea y nivel que “leen” la cota objetivo (cota de rasante de proyecto) sobre un hilo guía. De esta manera, generan un plano virtual a nivel de proyecto, absolutamente independiente de las cotas de la superficie de apoyo, es decir “no copian estrictamente la cancha”. De tal forma que un corte deficiente de canchas afectará notablemente la calidad y economía de la obra. Cotas de base en exceso, se traducen en menor espesor final del pavimento (debilitamiento estructural más penalización económica), puntos bajos implican mayores espesores a los proyectados (sobreconsumo de materiales de elevado costo).
- Finalizada la jornada de trabajo se deberá formar una junta vertical de construcción perfectamente definida ya sea efectuando un corte con la motoniveladora o con el reciclador en forma transversal, para lograr una junta de alineación y borde perfectamente definido (Foto 9).

- Cuando se trabaja con reclamadora, es una práctica bastante usual iniciar la construcción de la próxima cancha hincando el tambor mezclador volviendo unos centímetros sobre la jornada anterior, buscando garantizar que no queden sectores sin tratamiento. Pero de esta manera se comete el error de “formar” una junta con borde redondeado por la sección del tambor, de forma tal que la capa tendrá en esta zona un espesor variable, que se romperá fácilmente en el extremo más delgado. Por eso se recomienda el corte vertical de la junta de construcción. La forma más conveniente de trabajar en estos casos es retirar el suelo próximo al corte, dejando el sector de la junta libre durante la ejecución del tramo siguiente y sólo volver a colocar el suelo tratado (terminadas las operaciones de mezcla, con la humedad de compactación) en el lugar de la junta cuando se inicien las operaciones de compactación.

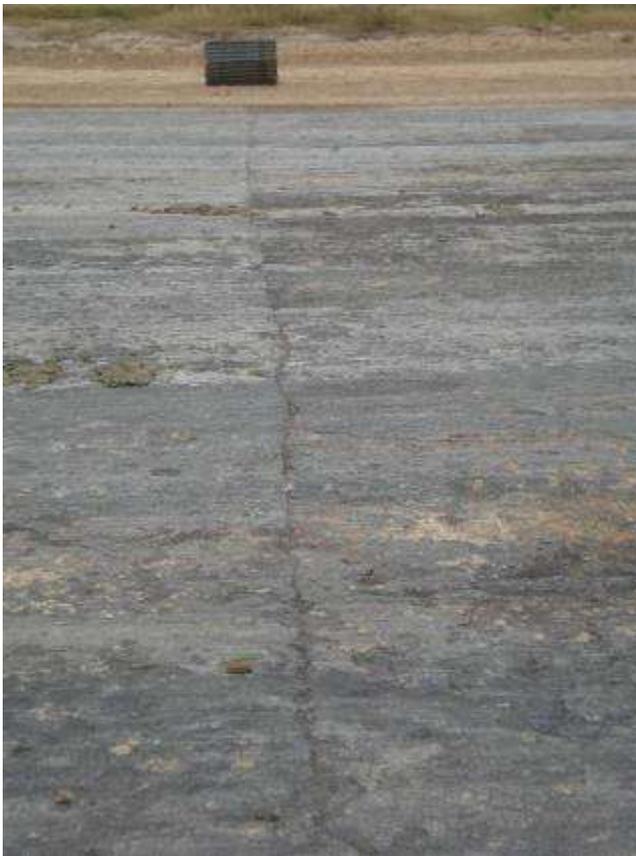


Foto 7: Junta de construcción bien resuelta, se genera un plano vertical bien definido.

Curado del suelo cemento

- El suelo cemento compactado y terminado contiene suficiente humedad para la adecuada hidratación del cemento. Con el fin de retener esa humedad, inmediatamente después de su terminación se efectuará un riego bituminoso de curado, en las cantidades y tasas especificadas en el Proyecto (por lo general de 0,50 a 1,20 l/m²). El curado de las capas de suelo cemento mediante la aplicación de riegos asfálticos, permitirá mantener la humedad de la mezcla a fin de garantizar la correcta hidratación del cemento y obtener, además, una superficie de igual calidad y resistencia que el resto de la estructura.
- En este aspecto, debemos recordar que la principal causa de fallas en capas de suelo cemento es la disgregación del material estabilizado por pérdida de humedad de la estructura o deficiente terminación superficial. Aun en canchas recién ejecutadas, pequeñas demoras en la aplicación de riegos de agua en espera de la aplicación del riego asfáltico (no más de 20 a 30 minutos), generan rápidamente la formación de capas superficiales totalmente resacas y disgregadas, de espesores considerables (del orden del centímetro).
- Por otra parte, en suelos granulares con escasa proporción de finos y de estructuras abiertas y permeables, muy sensibles a la pérdida de humedad por filtración y percolación, tampoco es recomendable mantener constantemente la aplicación de riegos de agua (“lavado” de cemento hacia el interior de la capa) durante tiempos excesivos, por lo que será necesario realizar la imprimación asfáltica dentro de plazos mínimos.
- Debemos insistir que la finalidad de la base de suelo cemento es brindar aporte estructural y una superficie resistente a la erosión,

evitando la presencia de materiales sueltos, susceptibles de bombeo. Por esta razón es importante hacer hincapié en las recomendaciones de ejecución, fundamentalmente respecto a la terminación superficial que reciba el suelo cemento, que deberá proveer una capa superior con densidad y resistencia adecuada.

- Previo al riego asfáltico de curado, deberá procederse a efectuar un enérgico barrido y soplado de la superficie, que permita eliminar los restos de material suelto en la capa de suelo cemento (Foto 10). Caso contrario se estará ejecutando un riego asfáltico sobre una capa de material suelto, susceptible de “bombeo”, que además produce un debilitamiento estructural del paquete.
- En el momento de la aplicación del riego bituminoso, el suelo cemento deberá encontrarse suficientemente húmedo, con todos sus poros saturados. Es una práctica recomendable realizar riegos de agua inmediatamente antes de la aplicación de la imprimación asfáltica, para evitar que el residuo asfáltico penetre en la capa compactada, debilitando la estructura. No se debe imprimir sobre charcos o con agua superficial, sino con los poros de la capa saturados (Foto 11).
- En las juntas de construcción, el riego asfáltico debe aplicarse exactamente hasta la junta para evitar zonas defectuosas por curado ineficiente, distribuyendo arena en el sector, a fin de garantizar que el riego asfáltico no se levante con el paso de los equipos de construcción de la cancha siguiente.
- Es importante destacar que los trabajos tendientes a mantener las condiciones de humedad de la base de suelo cemento que garanticen la integridad estructural de la capa, deben ser valorados en su justa medida, fijándoles al igual que al resto de las etapas constructivas, límites de tiempo precisos,



Foto 10: Barrido y soplado de la superficie, previo al riego de curado.



Foto 11: Curado efectuado sobre la superficie seca y mal preparada.

para su protección con materiales asfálticos. Exigiendo además: mantenimiento de la humedad superficial, un correcto trabajo de barrido y soplado con equipos adecuados para tal fin, con el objeto de eliminar todo material suelto, y la aplicación de riegos de agua previo a la ejecución del riego asfáltico, para asegurar la saturación de poros de la capa.

- No obstante lo señalado precedentemente, si por algún inconveniente surgido en la ejecución de un tramo, no se puede realizar el riego de curado inmediatamente después de terminada la construcción del tratamiento, se deberá mantener la humedad superficial de la capa con frecuentes riegos de agua, hasta que se haga efectiva la imprimación asfáltica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Los conceptos expresados en este documento son solamente una guía con las mejores prácticas para lograr bases de suelo cemento de buena calidad, basadas en las experiencias recogidas a través de los años, en diversas obras realizadas en el país, con diferentes equipamientos y metodologías constructivas. Sustentados además en criterios y fundamentos contenidos en bibliografía de la especialidad.

A modo de resumen final se pueden señalar las siguientes premisas esenciales:

- Adoptar contenidos de cemento conservadores para la construcción de bases cementadas, atendiendo a las sustanciales diferencias entre las condiciones de obra y las determinaciones en laboratorio. En general se acepta que en obra se requiere incrementar el porcentaje en peso de cemento establecido en los ensayos de dosificación en, al menos, 1%, dependiendo de las condiciones particulares de ejecución de la capa (equipamiento, clima, etc.).
- Diseñar y adoptar una adecuada logística para la construcción de capas de suelo cemento,

atendiendo los aspectos relacionados con una correcta selección de los equipos de construcción, provisión y dosificación de los materiales componentes y un esquema de seguimiento y control apropiado, que asegure los mejores resultados de calidad.

- Respetar las reglas del arte de la construcción con materiales cementicios, respetando los tiempos de manejabilidad y manteniendo las condiciones de humedad de las mezclas, tan sensibles a estos parámetros.
- Efectuar las tareas de curado dentro de los márgenes de tolerancia recomendados para estos trabajos con bases cementadas, a fin de alcanzar las resistencias potenciales del conjunto de materiales en uso y, sobre todo, mantener la calidad e integridad de la superficie de la capa.
- Independientemente de la metodología constructiva que se adopte para la ejecución de bases de suelo cemento, es relevante obtener una superficie de tratamiento lisa, húmeda, de alta densidad y resistencia, libre de grietas y materiales sueltos o débilmente adheridos. Muchas veces no alcanza con utilizar equipamiento suficiente y adecuado,



Foto 12: Canchas de suelo cemento terminadas y curadas.

dosificar con precisión apropiada, mezclar con alta eficiencia y compactar a elevadas densidades, si no se efectúa una terminación correcta de las capas cementadas. Un suelo cemento con la densidad y resistencia requerida no basta si estas características no se cumplen en todo el espesor de la base.

- Es necesario recordar que una falla en la superficie de una base de suelo cemento, aún en escasos milímetros, es suficiente para iniciar un proceso de erosión y deterioro prematuro de un pavimento rígido, por fenómenos de bombeo. Por esto es importante remarcar que se debe invertir el máximo esfuerzo por lograr una adecuada terminación superficial del suelo cemento, de la misma calidad y características del resto del espesor, utilizando equipos y técnicas apropiadas, y mantenerlas en el tiempo hasta su protección mediante un curado conveniente y en tiempo.
- Es importante insistir con la singular importancia que debe atribuirse a esta capa estructural de los paquetes rígidos, encargada de: proporcionar la superficie de apoyo de la calzada de hormigón, firme, homogénea y con una adecuada resistencia a la erosión durante el período en servicio previsto.

Fuentes bibliográficas:

- Soil-Cement Construction Handbook - Portland Cement Association
- Guide to Cement-Treated Base (CTB) - G. Halsted, D. Luhr; W. Adaska - Portland Cement Association
- Construcción Pavimentos de Suelo Cemento. Manual - ICPA
- Manual de Construcción de Suelo Cemento - IMCYC.

Marzo de 2011

DEPARTAMENTO TÉCNICO DE PAVIMENTOS
INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO

INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO

San Martín 1137 1ºPiso | C1004AAW | Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina | Tel / Fax: (+54 11) 4576 7695 / 7690 | www.icpa.org.ar

Se prohíbe la reproducción total o parcial sin el consentimiento del autor. Piense en el Medio Ambiente antes de imprimir este documento.