

ASPECTOS ECONÓMICOS Y TÉCNICOS DE LA PREFISURACIÓN

Fernando Pedraza Majarrez

Jefe de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras
Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura
Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento

Recursos involucrados en la ejecución del suelocemento

Dado que el objetivo de la presente Mesa Redonda así lo dispone, es necesario abordar la vertiente económica que supone la ejecución de una unidad, como es el caso del suelocemento.

Desde el punto de vista de una Administración resulta bien conocido la cantidad que se abona por una obra, descender al coste de lo abonado por una unidad concreta y además intentar estimar el coste real de la misma, resulta una tarea de mayor complejidad.

No obstante, sí es posible conocer las operaciones que entraña la unidad y los medios dispuestos para su ejecución con carácter general. En una primera aproximación podemos distinguir los siguientes costes parciales:

- Materiales
- Fabricación
- Ejecución
- Control

Aunque la atomización de conceptos es una estrategia más propia del Constructor que de la Administración, seguidamente se repasan en mayor detalle cada uno de estos puntos.

Durante toda la descripción asumiremos que los costes que suponen las medidas de Seguridad y Salud en los trabajos corren a cargo del empresario/Constructor.

También será necesario tener presente que las condiciones específicas del mercado de la Obra Pública en cada región tienen una influencia determinante en todos los costes. Además, las condiciones climáticas obligan a unos rendimientos muy diversos en esta unidad.

Coste de los materiales

Los materiales básicos que se encuentran involucrados en la unidad de suelocemento son:

– **Suelo.** Tal como se ha expuesto en la descripción de los trabajos realizados, el coste del suelo puede ser muy variable atendiendo a su naturaleza, punto de extracción y tratamientos necesarios. Básicamente se pueden distinguir dos escenarios elementales:

- Procedente de las excavaciones de la obra. Esta situación en general supone un importante ahorro que puede revertir en los tratamientos que son necesarios para conseguir un material adecuado.
- Procedente del exterior. A su vez, en este caso puede ocurrir que:
 - Sea necesario recurrir a una cantera/yacimiento existente, situación que simplifica también el problema.
 - Sea necesario abrir una nueva cantera/yacimiento, situación que requiere de los terrenos adecuados y de las autorizaciones pertinentes.
 - Que estén previstos en el proyecto las expropiaciones de los terrenos necesarios para el préstamo.

En todo caso, es necesario considerar el acopio y transporte del material. Además, en las dos últimas situaciones, puede mediar un canon de extracción.

– **Cemento.** Este material es objeto de comercialización, por lo que está sujeto a menores incertidumbres en la evaluación de su coste. En un mercado imperfecto, es posible que la zona de trabajo se encuentre dominada por un proveedor concreto.

– **Emulsión para el riego de curado.** De igual manera que el cemento, la emulsión y su extendido puede ser objeto de subcontratación, disponiendo en general de varias alternativas de proveedores, al tratarse de una unidad demanda.

– **Agua.** Para la fabricación del suelocemento será necesario también disponer de suministro de agua, ya sea por acometidas a la red, de pozos o charcas, o transportada mediante cisternas. El agua también se utiliza para la limpieza y/o prehumectación previa al extendido de la capa de suelocemento.

Respecto a los tratamientos adicionales necesarios, pueden ser diversos y, en general, buscarán básicamente conseguir una granulometría satisfactoria. Podemos distinguir:

- Reducción de tamaños excesivos: mediante machaqueos, trituras con equipos de compactación, etc.

- Consecución del huso: por adición de las fracciones necesarias (procedentes o no de préstamos) o la eliminación de las fracciones perjudiciales mediante cribado.

Estos tratamientos pueden darse en la obra o en el punto de procedencia del material.

Coste de fabricación

La situación habitual es que no existan plantas de suelocemento estables en una zona, por lo que es necesario proceder a su montaje.

Para ello, además de la elección de la tipología de planta (capacidad de producción), es necesario decidir su emplazamiento, generándose las siguientes situaciones:

- Se aprovecha el emplazamiento de otras instalaciones semejantes, como canteras y/o plantas asfálticas ya autorizadas. Esta solución permite disponer de las acometidas de agua y/o eléctricas ya existentes.
- Es necesario proceder al alquiler de un terreno y a obtener la autorización de la instalación. El proyecto de la obra puede aliviar esta situación contemplando los terrenos necesarios, aunque se corre el riesgo de que el emplazamiento previsto no sea finalmente autorizado por la autoridad competente¹.

La planta puede ser propiedad del Constructor, ser alquilada o subcontratada la tarea de fabricación.

Coste de ejecución

En esta fase se pueden enunciar los siguientes trabajos:

- Barrido y/o riego de prehumectación.
- Extendido de la capa. Para la ejecución de los carriles adicionales de los enlaces serán necesarias dos extendedoras, el tronco se puede y debe resolver con una única.

La ejecución del espesor adicional de los arcenes requerirá de una extendidora lateral o de otra extendidora secundaria. No obstante, dependiendo de la anchura de trabajo que permita la extendidora principal, puede que sea necesaria también la extendidora lateral para completar la anchura de la capa.

¹ Los departamentos de industria de las Comunidades Autónomas. Además se exigirá Declaración de Impacto Ambiental.

PREFISURACIÓN DE CAPAS TRATADAS CON CEMENTO

Por otro lado, dependiendo de la distancia de transporte del suelocemento a la extendidora, el ciclo de alimentación puede requerir de más o menos bañeras.

- Compactación. El tren de compactación estará constituido por dos o tres equipos.
- Prefisuración. Un equipo móvil de ejecución de la prefisuración y una persona. También es necesaria la emulsión bituminosa que se inyecta en la junta.
- Extendido del riego de curado. Será necesario además reparar las calvas que se produzcan hasta el momento del extendido de la primera capa de mezclas. En ese momento, también será necesario el barrido previo del suelocemento.

Puede que todas o parte de estas tareas sean objeto de subcontratación. Tal es el caso de la propia prefisuración.

Coste del control

Aparte de los trabajos de apoyo topográfico a la ejecución (la capa se extiende con cable) será necesario el control geométrico de la capa ejecutada. Para ello se necesitará obtener datos de espesores, cotas y anchuras.

Será necesario elaborar una fórmula de trabajo del suelocemento realizando los ensayos correspondientes.

También habrá sido necesario ejecutar un tramo de prueba previo al inicio de los trabajos, que proporcione información sobre la compacidad alcanzable y el esponjamiento de la capa.

Pero la tarea fundamental del control reside en las labores de autocontrol del Constructor, que serán desarrolladas con el auxilio de un laboratorio propio o subcontratado para la ocasión. El Plan de Control de la obra definirá los ensayos a realizar y su intensidad.

Finalmente, es necesario subcontratar tareas como la determinación del IRI de la capa terminada.

En principio, todos estos costes de control no son de abono explícito al Constructor.

Conclusión respecto al aspecto económico de la unidad

Todo lo expuesto puede resultar obvio para una persona involucrada en la ejecución desde el punto de vista del Constructor, de hecho, seguramente será capaz de aportar fuentes de coste adicionales.

No obstante, desde el punto de vista de la Administración, resulta necesario adoptar un enfoque reduccionista y agregar todos los costes anteriores en uno o dos precios, dependiendo de que se considere la inclusión o no del cemento.

También resulta elemental, que en el contexto de todo lo enunciado, el coste adicional del equipo de prefisuración no resulta relevante. Tampoco se observa que la prefisuración afecte significativamente al rendimiento de la unidad.

Comportamiento estructural de la capa de suelocemento

En vías de alta capacidad parecen indiscutibles las ventajas de todo tipo que representa el suelocemento frente a una capa de material granular.

Es esta capa, apoyada sobre una explanada estabilizada, la responsable en gran medida de la rigidez final del paquete de firme, siendo capaz de reducir la deformabilidad que proporciona la propia explanada en un 40% o más. La cubrición final con capas de mezcla bituminosa proporciona un reparto inicial de solicitaciones y asegura la protección de las capas tratadas.

Buscando que las resistencias a compresión simple a siete días se encuentre por encima del mínimo de 2,5 MPa que marca la normativa², se han observado coeficientes de variación de entre 15 y 35%.

Por otro lado, aunque el ensayo con placa estática no es obligatorio para el suelocemento, se ha procedido a realizar algunos en diversas obras para obtener un mejor conocimiento del comportamiento de la unidad y la evolución de la capacidad portante.

Habitualmente se han podido hacer muy pocas placas, puesto que es necesario dejar que el suelocemento adquiera gran parte de sus resistencias y la primera capa de mezclas bituminosas se encuentra presionando para iniciar su extendido.

Se comprueba que el ensayo de placa de carga del suelocemento proporciona resultados con una apreciable dispersión, superior a la observada en laboratorio para la resistencia a compresión simple. En la mayoría de los casos el coeficiente de variación resulta superior al 50%, pero con valores medios habitualmente elevados (mínimos siempre superiores a 300 MPa en E_{v2}).

Más recientemente se está empleando en las obras, y de forma complementaria a la placa de carga estática, el deflectómetro de impacto. Este equipo permite alcanzar un mayor rendimiento en los trabajos de auscultación de la capa.

² Artículo 513 del PG-3, "Materiales tratados con cemento (Suelocemento y Gravacemento)". También se acota la resistencia máxima en 4,5 MPa.

En este caso, un importante aspecto que hay que tener muy presente es la carga a transmitir y el tamaño de la placa con que se ensaya (presión aplicada). Por un lado, es claro que la explanada y la capa de suelocemento, no tienen que asumir directamente el eje de 11 t (o el antiguo de 13 t, que supone una mayoración sobre el límite reglamentario actual), pero por otro, si no se utiliza la misma referencia no se puede comparar la ganancia de rigidez entre capas sucesivas. Al respecto, la Nota Técnica de la DGC de 30 de diciembre de 2008 se decanta por este segundo criterio para la explanada.

Al igual que la placa estática, el coeficiente de variación es habitualmente superior al 50 %. Los resultados cuantitativos alcanzados han sido muy distintos, puesto que los ensayos se realizaron con distintos tamaños de placa (30 ó 45 cm) y cargas aplicadas.

Actualmente se está trabajando en la capa de suelocemento con el curvímetro. La experiencia es satisfactoria, pero hay que tener presente la interacción del riego de curado con la cadena de geófonos, por lo que la auscultación debe realizarse a primera hora, cuando la temperatura superficial es menor.

También se han realizado experiencias de control de calidad de la capa mediante equipos de seguimiento continuo de la compactación. El módulo de rigidez que proporciona el compactador puede utilizarse como valor relativo para detectar zonas más débiles, o incluso puede ser calibrado para proporcionar una interpretación cuantitativa.

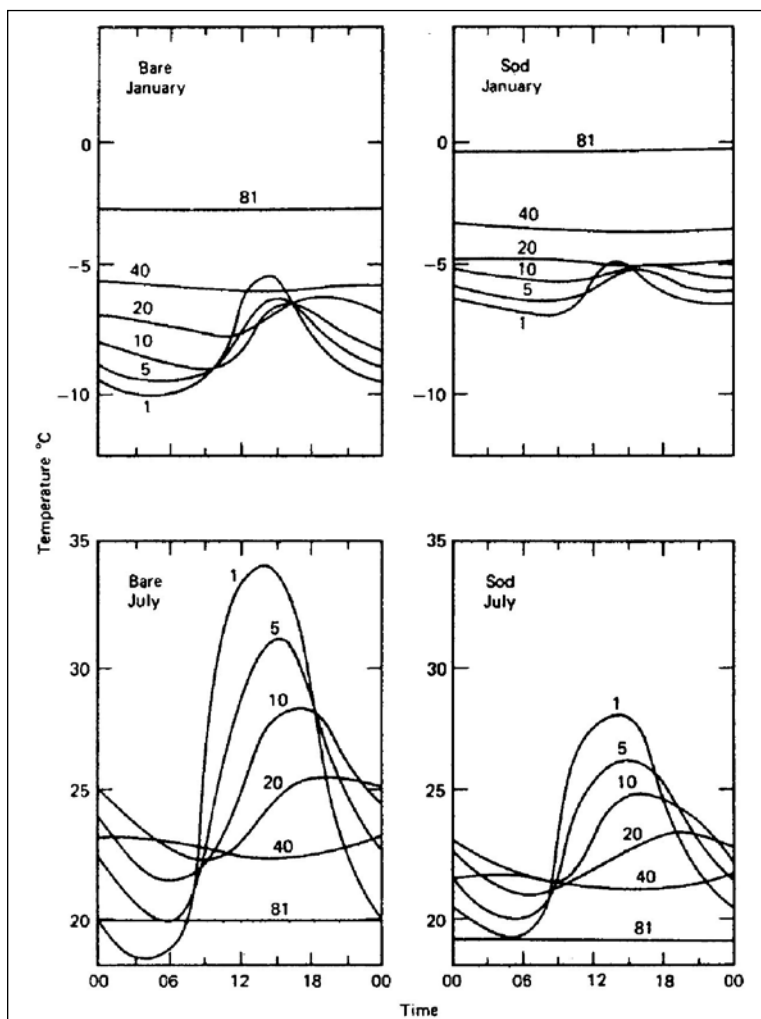
Sobre la regularidad que se puede alcanzar con la capa de suelocemento (mediante determinación del IRI), y conforme a nuestra experiencia, señalaríamos que valores medios de 4,5 dm/hm proporcionan bases con resultados dentro de la norma, siempre que la propia base se encuentre correctamente ejecutada. Valores medios superiores a 5,5 dm/hm ya no garantizan tal facilidad, requiriendo extremar las condiciones de puesta en obra de las mezclas para corregir la mala tendencia.

Efecto de la prefisuración

En la siguiente figura se recoge la evolución térmica de dos tipos de suelos (sin vegetación y cubierto de césped) a lo largo de un día de invierno y de verano. Aunque se trata de una referencia antigua, mantiene un importante valor pedagógico.

El caso de un firme con una capa superficial bituminosa mantiene un comportamiento más cercano al caso del suelo sin vegetación, aunque posiblemente con más apuntalamiento³. Se puede observar que la oscilación térmica superficial (máxima en verano) se diluye con la profundidad.

³ Su comportamiento se aproxima al de un cuerpo negro, con una emisividad de 0,85-0,93 cercana a la unidad, y también alta absorptividad.



Temperatura media horaria de un suelo sin vegetación y otro con césped en enero y julio en 1961 (de Baker, 1965, citado por Rosenberg, 1974). Profundidad en cm.

Por lo que para las capas inferiores de un firme, existe un efecto de amortiguamiento térmico proporcionado por las capas superiores, que depende del espesor de las mismas.

Conforme a nuestra experiencia, el coeficiente de dilatación de las mezclas es muy reducido, aunque es posible que vaya aumentando conforme la mezcla envejece. Por otro lado, el de las capas tratadas con cemento es superior, generándose unas tensiones de autoequilibrio en el contacto entre capas que finalmente vencen la capacidad resistente del material y provocan la aparición de la fisura.

PREFISURACIÓN DE CAPAS TRATADAS CON CEMENTO

A nuestro juicio el beneficio de la técnica de prefisuración se centra en normalizar el patrón de fisuras superficiales que inevitablemente puede acabar presentándose por reflejo.

Esta normalización tiene un doble efecto. Por un lado, se geometriza la fisuración, localizando las fisuras secuenciadamente en posición transversal, con lo que se reduce su longitud y los eventuales tratamientos de sellados serán más sencillos de ejecutar. Y por otro, lo que es más importante, se introduce un efecto de reparto que disminuye sustancialmente el tamaño de las potenciales fisuras.

Si además se utiliza un material bituminoso como relleno de la junta se proporciona capacidad de trabazón y una buena transmisión de cargas verticales entre ambos lados de la discontinuidad.

Estos aspectos redundan en la durabilidad del paquete de firme, en su economía de mantenimiento y en la sostenibilidad de los trabajos, y por tanto, en la rentabilidad global de la inversión.

A día de hoy, hay tramos que fueron puestos en servicio hace ya 4 años y, en las distintas inspecciones superficiales realizadas, no se ha identificado la existencia de problemas de fisuración térmica.

Debemos plantearnos ya si resulta procedente elevar ligeramente la resistencia que debe alcanzar la capa de suelocemento, siempre que vaya acompañada de prefisuración.

No obstante, el alto nivel de desarrollo actual de las técnicas de ejecución de las capas más superficiales de la carretera, no debe eximir de prestar la máxima atención a los materiales existentes a mayor profundidad.