

Consolidación de terrenos por medio de inyecciones de cemento

En el número de 1.º de abril de esta REVISTA publicó un artículo, con este mismo título, nuestro querido jefe D. J. Eugenio Ribera, describiendo las reparaciones hechas por la Jefatura de Obras públicas de Madrid en algunos puentes de la provincia empleando este sistema.

La aplicación de las inyecciones de mortero de cemento ha sido generalizada, desde hace algunos años, en las obras hidráulicas y marítimas, principalmente, como medio de reparación de socavaciones en obras anteriormente construídas o como solución para prevenirlas. Pero no son esas las únicas aplicaciones de este procedimiento, que presenta grandes ventajas de sencillez y economía para un gran número de problemas de cimentación, tanto en obras terrestres como marítimas.

El caso más sencillo, en el que se ve más claramente la conveniencia de las inyecciones, es cuando se trata de consolidar una masa de piedra suelta, o gravera, y también para formar un basamento sólido de cimentación con escollera. Fácilmente se comprende que, introduciendo en esas masas incoherentes unos tubos por los que se inyecte mortero (o también hormigón minúsculo), por efecto de la presión se reparará la masa inyectada a través de los huecos y solidificará el conjunto, formando un hormigón muy económico, ya que el elemento árido grueso no necesita moldearse ni amasarse.

Además de esta aplicación, cuya ventaja se advierte tan sencillamente, es susceptible el procedimiento de emplearse como consolidación de terrenos de cimentación que sean flojos, sustituyendo con ventaja y economía al método de pilotajes, del que muchas veces se ha abusado injustificadamente.

Desde muy antiguo se considera que para cimentar edificaciones en terrenos muy flojos, y principalmente para los fangosos, la única solución práctica es el pilotaje, bien con pilotes de madera o, más frecuentemente ahora, con pilotes de hormigón armado.

Si los pilotes se apoyan sobre una capa resistente de terreno inferior, capaz de sustentar la carga de éstos, la solución puede ser buena, aunque, en general, cara. Pero si el terreno flojo o fangoso se prolonga inferiormente sin que sea posible prácticamente llegar con los pilotes hasta otras capas fuertes, aunque al hincarlos se llegue aparentemente a un rechazo admisible con carga mayor que la de régimen, la solución es, a nuestro juicio, mala. El pilote, en el transcurso del tiempo, afloja su contacto con el terreno, y para resistir por su rozamiento con él es necesario nuevas penetraciones. El fenómeno es el mismo de penetración de un cuerpo duro sobre una sustancia semiplástica: cojamos una masa de lacre o asfalto frío, y en un cilindro colocado sobre aquél podemos cargar varios kilos por centímetro cuadrado, dando la sensación de un apoyo sólido, y, sin embargo, basta sostener esa carga, y aun otra menor, varios meses para que el cilindro haya penetrado hasta ocultarse en el interior de la masa.

Pero como no todos los pilotes encuentran la misma resistencia, porque el terreno no es idéntico en su constitución (ni los pilotes tampoco), se originan a la larga asientos desiguales, que producen sobre la superestructura esos agrietamientos tan frecuentes, que luego se atribuyen a causas caprichosas.

Un ejemplo práctico de esta cuestión se ha presentado recientemente en una edificación industrial construída en Bilbao. En un terreno desigual y flojo, mezcla de arenas y fangos, con algunas capas de arcilla, se hizo la cimentación por medio de pilotes de madera distanciados aproximadamente 1,50 m entre ejes y con sección circular de 25 cm. de diámetro. Se hincaron a 7 y 8 m de profundidad, encepando sus cabezas con vigas de hormigón armado en todo el contorno del edificio y otras transversales, unidas por dos chapas de hormigón armado—una superior y otra inferior—, rellenando la parte intermedia con hormigón de escorias, con un grueso total de placa de 2,90 m. Antes de terminarse la construcción del edificio, solamente con la carga de los macizos de hormigón, construídos sobre la placa para basamento de las máquinas, la placa se agrietó, acusando fisuras en los paramentos exteriores de dos de los lados de la planta; fisuras que rajaban los 2,90 m de su grueso. La causa, indudablemente, fué la desigual penetración de los pilotes, que produjeron régimen de flexión en la placa.

Sin parar la obra, se hizo la reparación del modo siguiente: Perforados, con pistolete, una serie de agujeros a través de la placa, con distancias de 5 a 8 m, apróximadamente, se sondaron con la sonda ordinaria, penetrando 3 m por bajo de la placa, ajustando un tubo en cada uno de 10 a 12 cm, bien acuciado, por los que se hizo la inyección de mortero de cemento portland en la proporción de 400 kg por cada metro cúbico de arena, añadiendo una cuarta parte de polvo de escorias, para que la inyección circule con más facilidad.

Con seis atmósferas de presión llegó a conseguirse inyectar ¡hasta 7 m³ por algunos agujeros!, con un total de 45 m³ en 14 orificios.

Posteriormente, hecha una serie de sondeos en el terreno, siguiendo el contorno exterior del edificio, a un metro por fuera de él, y a distancias de 3 m unos de otros, se inyectó por ellos la misma mezcla, consiguiendo sanear por completo un terreno antes inundado de agua y consolidado visiblemente, formando un suelo capaz de dar reacción sobre la placa, para que éste no sufriera las flexiones que la quebrantarón.

Lógicamente se comprende que, para llegar a este resultado, ninguna falta hubiera hecho el pilotaje, que más bien puede considerarse perjudicial.

En estos terrenos, la solución más conveniente es un cimiento continuo de placa armada, o mejor, bóvedas invertidas con solera horizontal, apoyando directamente sobre el terreno, produciendo cargas muy bien repartidas, para dar casi uniformidad de apoyo, calculándola para que reparta las presiones de este

modo y dejando agujeros para luego inyectar por ellos mortero a presión que sanee y consolide el terreno inferior, haciendo más pequeñas sus deformaciones.

* * *

El efecto de las inyecciones no es el mismo en todos los terrenos. Cuando se trata de masas arenosas, la inyección penetra por los huecos y solidifica la masa de un modo relativamente regular. De una forma análoga, en terrenos terraplenados recientemente, que son muy compresibles, las inyecciones constituyen un sistema venoso, disminuyendo los huecos y, por tanto, su compresibilidad. En los fangosos se forma una bolsada de inyección en el extremo inferior del tubo, escapando en forma de filón por los puntos débiles, siendo su efecto principal, no la solidificación, sino la compresión que se consigue.

La dosificación de la mezcla depende también del efecto que se obtenga según el terreno. Para conseguir solidificar masas porosas—que pueden entonces alcanzar fuertes resistencias—es preciso emplear

mezclas ricas, dosificando con 400 ó 450 kg de cemento por metro cúbico y empleando siempre arenas sueltas y relativamente gruesas. Para comprimir sólo el terreno basta una mezcla pobre con materiales áridos que circulen bien (arenas con escorias o con granos finos de puzolana, trass, etc.), y presiones grandes, de seis a ocho atmósferas, cargando el terreno superficialmente para evitar que estalle y que se entumezca.

En las obras en terrenos sumergidos, y principalmente si las aguas son saladas o selenitosas, conviene ver si se deslava el mortero inyectado, o si, como ocurre muchas veces, no traba éste con el fango; entonces puede emplearse mejor la mezcla con cementos rápidos del tipo Zumaya, pues en el amasado en hormigonera y tiempo de inyección no se tarda más de diez a doce minutos por pastada de un metro cúbico, dando, por tanto, tiempo para hacer la operación sin que principie el fraguado.

Ya se comprende las múltiples aplicaciones que con este procedimiento, bien estudiado, pueden hacerse, principalmente en obras marítimas de muelles, sobre cuya cuestión insistiremos más concretamente en otro artículo.

A. PEÑA BOEUF
Profesor de la Escuela de C., C. y P.

Macadam mejorado, empleando como aglomerante cemento fundido

La Jefatura de Obras públicas de Palencia ha efectuado varios ensayos de afirmados de carreteras, y entre ellos uno que resulta muy interesante.

Se eligió un tramo de carretera a la entrada de Palencia, en el sector de tráfico más activo, y se hizo una escarificación profunda para retirar la piedra silícea, constituyente del afirmado, que se limpió y clasificó. Cilindrado el fondo de la caja, se colocó la piedra, cuidando de poner la de mayor tamaño en el fondo, y se pasó el rodillo para consolidar ligeramente. A continuación se tendió una capa de mezcla de arena silícea y cemento fundido, regando y consolidando ligeramente, hasta notar que la mezcla se adhería a las llantas de la apisonadora. Al final se espolvoreó con arena y se permitió el tránsito a las doce horas.

Las proporciones de cemento, arena y agua fueron, por metro cuadrado:

Cemento fundido.....	4,300 kg
Arena.....	9,000 kg
Agua.....	11,5 litros.

Resultó difícil mantener la mezcla homogénea, pues parece excesiva la cantidad de arena, a juicio del ingeniero jefe, Sr. Sáinz, quien se propone en lo sucesivo elevar la proporción de cemento fundido a 5 kg por metro cuadrado.

El tramo de ensayo tiene 42 m de longitud por 5,50 m de ancho, o sea una superficie de 231 m². El

espesor del recargo consolidado resultó de 10 cm. El coste total se descompone en la forma siguiente:

	Pesetas
24 jornales de peón, a 4,40 pesetas.....	105,60
7 horas de apisonadora de vapor, empleadas 3 en escarificar y 4 en consolidar.....	40
1 m ³ de arena fina.....	20
1 tonelada de cemento fundido.....	300
TOTAL.....	465,60

El coste por metro cuadrado es de 2,02 pesetas.

Terminada la obra en 5 de octubre de 1923, se halla hasta el presente en buen estado, sin haber sufrido desgaste apreciable, y no se produce polvo.

Dado el activo tráfico que soporta (camiones de carga, automóviles de turismo, ómnibus de viajeros, carros de dos ruedas y mucho ganado), el resultado es muy alentador.

En el extranjero se han hecho también numerosos ensayos de macadam mejorado, empleando mortero de cemento fundido como aglomerante. A título de indicaciones, que sólo tienen el valor de experimentos de fecha reciente, daremos las siguientes normas:

Preparación de la calzada.—Es fundamental que el cimientado sea sólido y esté limpio; el firme antiguo, barrido para quitar el polvo y lodo, constituye en general un buen cimientado.

Extensión de la piedra.—Sobre el cimientado se ex-