

el suelo estabilizado, material de construcción

aplicaciones en edificación

J. NADAL, ingeniero de caminos

812-5

1. cuestión previa

Los suelos, más o menos estabilizados, se emplean de muy antiguo para levantar edificaciones, constituyendo, con frecuencia, los muros de las mismas y, en ocasiones, también los pisos y cubiertas. En todas estas aplicaciones, el suelo, por razones de la función que cumple, se encuentra en condiciones un tanto distintas de las que se producen en las vías de comunicación. Estas diferencias son esencialmente las siguientes:

- a** En carreteras, el suelo estabilizado está en íntimo contacto con el suelo natural, y las variaciones que en éste se producen durante el período de servicio de la obra, influyen grandemente en el comportamiento de aquél; en tanto que en edificación, el suelo estabilizado, aun en el caso de constituir muros, se encuentra prácticamente aislado del terreno, por interposición de un zócalo de material distinto, en general, mampostería u hormigón.
- b** La protección a los agentes atmosféricos y, en especial, de la lluvia, no existe en las carreteras si el suelo constituye el terraplén o el propio pavimento; y aún en el caso de que se emplee como capa de base, la protección que le brinda el firme es, por regla general, escasa, ya que éste no acostumbra a cubrir la totalidad de la superficie estabilizada, ni es siempre tan estanco como fuera de desear. Por el contrario, en edificación, mediante un diseño adecuado, puede lograrse, con relativa facilidad, una defensa eficaz contra la acción directa de la lluvia, y aminorar, si hiciera falta, el excesivo calentamiento por el sol.
- c** En los edificios, los elementos construídos con suelo estabilizado están más en contacto con el aire que en las vías de comunicación, lo que favorece su secado.
- d** Las superficies a tratar son mucho menores en las aplicaciones que nos ocupan que en las carreteras, y menores también las variaciones de esfuerzos a que se encuetran sometidas.

Nos hemos apresurado a poner de manifiesto cuanto antecede para llamar la atención del lector sobre el hecho de que los avances logrados en orden a la estabilización de suelos, gracias a los estudios relacionados con la carretera, no son totalmente aplicables a los problemas que plantea la edificación, pues resultados que en aquella técnica se tienen por satisfactorios, no lo son tanto a la hora de constatarlos en una vivienda, mientras que aquí puede, por el contrario, prescindirse de determinadas condiciones del material teniendo en cuenta que pueden suplirse ventajosamente mediante el adecuado proyecto de la obra, en su conjunto y en sus detalles.

Por otra parte, la técnica de estabilización de suelos no se deriva todavía de un modo directo de la ciencia correspondiente, y, por lo tanto, si ésta se afana aún por seleccionar los parámetros que en mayor grado influyen en los fenómenos observados, aquélla se encuentra refugiada, por el momento, en un cierto empirismo, sin demasiadas posibilidades de generalización a otros casos que los directamente estudiados, ni otras aplicaciones que las que específicamente considera. Es en orden a estas aplicaciones—carretera—donde establece sus métodos de comprobación en obra y ensayos de laboratorio, cuyos alcances son, por lo tanto, muy limitados, ya que sólo pretenden establecer una correlación entre el comportamiento de una probeta o una muestra, ante sollicitaciones que puedan producirse y reproducirse con facilidad, y el comportamiento real de un suelo ante los agentes interiores y exteriores que se supone habrán de actuar durante el tiempo en que éste cumpla su misión específica como constituyente de una carretera.

2. Antecedentes

No parece eventurado suponer que el suelo y el ramaje fueron los dos materiales con que el hombre construyó sus primeros refugios. La tierra, el barro diríamos mejor, se llegaría a estabilizar sólo en las ocasiones en que el suelo natural fuese especialmente apto para ello y favorable el clima de la región.

De lo que no cabe la menor duda es de que por toda la redondez de la tierra, y desde las épocas más lejanas, cuantos trabajaron con este material hicieron intentos para darle la debida estabilidad, como lo prueban los numerosos restos arqueológicos encontrados, y como atestiguan los relatos bíblicos cuando se refieren a la permanencia de los israelitas en Egipto.

En la literatura técnica se encuentran obligadas referencias a construcciones babilónicas, romanas y a edificios posteriores, pero también de varios siglos de existencia que, como el Palacio de la Gobernación en Santa Fe, aún se mantienen en pie, pero la realidad es que las construcciones de tierra estabilizada son muy anteriores a la humanidad misma, y muestra de ello son los nidos de muchas aves, entre las cuales destacan los aviones y las golondrinas, tan corrientes en nuestra patria; el pájaro hornero de América del Sur (*Furnarius Rufus*); las torres que levantan los termes africanos, y las obras hidráulicas de los castores en América del Norte. Los ejemplos en la naturaleza son muy abundantes, y su sistemático estudio probablemente aportaría datos de interés para los que actualmente investigan estas cuestiones en la línea de los materiales de construcción. Estas construcciones del reino animal, parecen confirmar que los sistemas a emplear en estabilización para edificación pueden canalizarse en tres direcciones:

Establecer un entramado resistente sobre el que pueda mantenerse el barro, cuya misión es, fundamentalmente, dotar de estanqueidad a la obra.

Completar la estabilización del suelo por adición de fibras.

Adición de sustancias químicas.

3. Embarrado

Empleamos este vocablo para designar aquellos sistemas constructivos que, como el utilizado por los castores, se basa en establecer previamente un entramado de troncos y ramas, entrelazados por un tejido secundario, también vegetal, revestido luego con barro que cierra los intersticios y proporciona cierta estanqueidad. Este procedimiento tiene una variante; consiste ésta en un doble entramado formando como dos mamparas paralelas, y luego de retundidos y cerrados con barro se rellena de tierra el espacio comprendido entre ambos.

Obras de este tipo requieren suelos con alta proporción de arcilla, así como también un clima que mantenga el grado de humedad por encima del límite de retracción, lo que justifica que se agrieten y deterioren cuando la humedad desciende por debajo de este límite. A este respecto, resultaría curioso comprobar que el castor logra la necesaria invariabilidad del clima ambiente regulando, mediante presas, los ríos que habita.

El sistema constructivo, sin embargo, no parece apto más que para edificaciones de muy reducidas proporciones y carácter provisional, más bien diríamos chozas, en las que los trabajos de conservación deben ser muy frecuentes.

Entre los materiales tradicionales, incorporados a la edificación actual, los cañizos y los enlistonados con yeso responden a esta técnica, y, debido a la relativa estabilidad del conglomerante, pesa también sobre estos elementos modernos la servidumbre para su empleo en la regulación de condiciones ambientales, lo que limita su utilización a interiores o exteriores muy protegidos.

4. Construcción con pellas de barro

Este procedimiento, la expresión más rudimentaria del adobe, es el que siguen aún ciertos pueblos aborígenes y que podríamos identificar con los nidos de golondrinas.

Algunos pueblos africanos lo realizan mezclando el suelo de varios sitios para dotar el conjunto de la apropiada granulometría, y a continuación amasan añadiendo agua, dejándolo reposar para que la humedad sea uniforme y se produzca un cierto efecto bacteriológico que ya apuntábamos al referirnos a las aplicaciones del suelo a la alfarería. Pasado un tiempo conve-

niente se amasa de nuevo, añadiendo paja, o hierbas cortadas en pequeños fragmentos, y con esta mezcla hacen pellas del tamaño de un balón de fútbol, con las que van levantando el muro por hiladas de 30 a 40 centímetros de alto, que se dejan secar antes de colocar la siguiente. La continuidad del muro queda asegurada por la plasticidad de las piezas que, al ser colocadas en obra, cobran, bajo la acción del operario, la forma necesaria para cerrar el hueco en que se coloca. Posteriormente, se reviste la pared por sus dos paramentos de un mortero también de barro.

Ya se comprende que el procedimiento exige utilizar un suelo muy plástico y colocarlo con un alto contenido de agua; esto ocasiona, indefectiblemente, agrietamientos de secado que las fibras vegetales reparten con cierta uniformidad por toda la pella, y obliga, antes de colocar la siguiente, a esperar a que cada hilada haya retraído.

5. Adobes

Las construcciones de adobe constituyen, por decirlo así, el arquetipo de lo que puede hacerse en edificación con el suelo estabilizado, y sobre ellas recaen todos los honores de un pasado glorioso del que da fe, entre otras construcciones, las casas de Sialk en Irán, cuya antigüedad se remonta—según parece—al año 4.000 (antes de J. C.). En nuestro país existen innumerables restos del mayor interés, de los que, sin duda, no son los más antiguos los vestigios de las torres que Escipión mandó levantar a lo largo de las costas del Mediterráneo. Actualmente se emplean aún, pero cada día menos, debido a una serie de causas que no es lugar este para analizarlas, si bien esperamos volver sobre el tema en ocasión más oportuna.

El adobe tiene, como todos los materiales, sus ventajas y sus inconvenientes, sus detractores y sus defensores, quienes le achacan defectos que en el estado actual de la técnica no sería difícil paliar y aún evitar, y quienes le atribuyen virtudes no siempre justificables.

Existe la creencia de que el adobe constituye un magnífico aislante térmico y acústico; y si bien ello es cierto, no debe olvidarse que tales propiedades las adquiere, principalmente, por el espesor que hay que dar a las paredes construídas con este material, consecuencia de su menguada resistencia mecánica. El adobe en sí no es, por regla general, más aislante que un hormigón o un ladrillo. Otros lo rechazan por no prestarse a la composición arquitectónica actual, lo cual equivale a tanto como negar al arquitecto moderno capacidad e imaginación para expresar los principios estéticos y funcionales de la arquitectura de nuestro tiempo con los materiales que utilizaron sus antepasados, y esto, desde luego, es injusto.

Entre los modernos defensores del suelo estabilizado como material de construcción, algunos se muestran partidarios del adobe y detractores del tapial o viceversa. Aparte, naturalmente, de otras razones que puedan justificar estas preferencias, debe considerarse que el adobe es la solución para aprovechar suelos de mucha plasticidad con contenidos de arcilla del orden del 70 %, mientras que el tapial precisa de menos proporción de arcilla.

El adobe exige para su fabricación un contenido muy alto de agua (del orden del 30 %), lo que crea la necesidad de dejarlo secar antes de su utilización hasta reducir su humedad a un

décimo de la inicial. Este secado explica que las contracciones sean muy fuertes; y si las piezas fuesen de mucho volumen, como ocurre en el tapial, no podrían evitarse agrietamientos importantes, aún cuando se tratase de aminorarlos añadiendo a la pasta fresca una apreciable proporción de fibras vegetales para darle trabazón.

El papel que desempeñan estas fibras vegetales, la paja en nuestro país, está realmente poco estudiado. Su naturaleza y proporción depende de la cantidad y actividad de la arcilla que compone el suelo, es decir, probablemente depende de la plasticidad y, también, en cierto grado, de la naturaleza de los minerales componentes de la arcilla, que confieren a ésta sus propiedades, digamos macroscópicas, de tal suerte que parte de la labor confiada a las fibras vegetales podría cumplirla o complementarla una adición de carácter químico, cosa que no sería de extrañar hiciesen las especies de golondrinas corrientes en nuestro país, por cuanto parece comprobado que el amasar el barro adicionan una cierta proporción de saliva, la cual es eminentemente alcalina.

La forma, en su sentido geométrico, de estas adiciones vegetales, parece estar relacionada también con la plasticidad del material base, ya que, además de constituir una especie de armadura de reparto a efectos de fisuración, dotan al material de la porosidad necesaria para facilitar el secado uniforme durante la fabricación de los adobes, y la rápida evacuación de la humedad cuando el elemento forma parte de un muro.

En relación también con el empleo de fibras vegetales, se ha planteado con frecuencia la duda de si éstas alcanzarán la durabilidad necesaria o, por el contrario, desaparecerán con el tiempo debido a un proceso de descomposición. Según la naturaleza de los vegetales incorporados y del clima ambiente, puede ocurrir lo uno o lo otro. Como el adobe es un material eminentemente tradicional, cuya fabricación responde a una artesanía de tradición milenaria, allí donde el adobe se utilizó con éxito se comprueba que las fibras añadidas han sido seleccionadas de ciertas especies vegetales, probablemente por ser abundantes en la región y por haberse comprobado que no se descomponían con el tiempo. En estos casos de éxito, las fibras al principio tienen a veces un cierto período de descomposición superficial, pasado el cual, por el contrario, entran en un proceso de mineralización que las hace totalmente inertes. Falta por estudiar el efecto estabilizante o impermeabilizante de estos productos de descomposición, pero es lo cierto que la adición de lignina, material celulósico aglutinante subproducto de la industria del papel, actúa de barrera coloidal al paso de la humedad.

El adobe, así concluído, es un excelente material de construcción, con propiedades que lo hacen especialmente grato en muchas aplicaciones, debido a su porosidad relativa, su resistencia a compresión, su inalterabilidad frente a los agentes atmosféricos—que pudiéramos llamar normales—, y su textura que le confiere adaptabilidad a los pequeños cambios de forma a que puedan obligarle algunos asientos de la edificación, participando, en cierto modo, de las características que a este respecto tiene un fieltro. Esta propiedad que, aunque en reducidas proporciones, tienen los suelos estabilizados cuando constituyen los adobes, y que se debe, principalmente, a la morfología que le confiere la adición de elementos filamentosos, la alcanzan, en mucho menor grado, los suelos estabilizados cuando forman parte de un firme, aún cuando esta estabilización sea desde otros puntos de vista más perfecta; esto ha sugerido a algunos investigadores la idea de considerar una nueva faceta de la estabilización (formación de compuestos filamentosos) que podría explicar ciertas diferencias de comportamiento entre firmes realizados con suelos, aparentemente iguales, estabilizados a base de las mismas sustancias químicas.

5.1. SELECCION DE LAS TIERRAS

En obras de cierta importancia se deben enviar a un laboratorio especializado las muestras de suelo para que se determine su aptitud para hacer adobes y se aconsejen las mezclas más convenientes. Esto sería muy útil no sólo para el constructor, sino también para el laboratorio si, como en el caso del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, se dedica a la investigación técnica, ya que le permitiría ir acumulando una experiencia y una serie de datos que podrían, con el tiempo, servir de base a un estudio sistemático y profundo que determinase si, realmente, es posible encontrar una versión moderna y adecuada a la economía actual de este género de construcciones, o, por el contrario, hay que dar definitivamente la razón a los que propugnan su pronta desaparición. De cualquier modo, hay pruebas muy sencillas que, con carácter preliminar y exclusivamente orientativo, se pueden realizar como complemento del previo reconocimiento del terreno.

Una de ellas es tomar una muestra, hacer una bola de unos 5 cm de diámetro e introducirla en un horno doméstico que esté muy flojo de temperatura. Si no se resquebraja y ofrece, luego de seca, resistencia a rotura, es que el suelo puede valer para hacer adobes. Si se agrieta y desmorona, demuestra que es demasiado arcillosa, pero si en las proximidades de la obra hay arena, podría corregirse el suelo con este material, para lo cual se repite la experiencia, ahora con mezcla de ambos suelos, hasta encontrar una proporción conveniente.

Son características favorables, para un suelo, las siguientes:

- que mezclada una muestra con un poco de agua se amase con facilidad;
- que una bola de unos 5 cm de diámetro no se agriete al secarse;
- que hecho un adobe de prueba y humedecido con una regadera, deje, al secarse, granos al descubierto, pero no presente señales de erosión;
- que en un adobe bien seco, con aristas vivas, las esquinas se rompan con dificultad.

5.2. FABRICACION DE ADOBES

El sistema tradicional consiste en amasar el suelo con agua e inmediatamente añadirle la fibra vegetal (cuando es necesario este componente), para lo cual es buena práctica que ésta tenga una longitud de unos 7 cm y haya pasado unas semanas envuelta en barro para acelerar el proceso de descomposición de la capa superficial.

A estas operaciones previas sigue un amasado de la pasta bastante plástica, y unos días de reposo para favorecer la homogeneización y la posible acción de los productos de descomposición. Finalmente, se moldean los adobes en una era de arena, valiéndose de bastidores de madera, y unos días más tarde se apilan en rejales, protegidos de la lluvia, para completar el secado, de tal modo que, al cabo de unas semanas, contienen menos del 4 % de humedad y están ya dispuestos para su empleo.

Como puede apreciarse, el adobe fabricado así, por procedimientos tradicionales, precisa de bastante espacio y requiere mucha mano de obra. En definitiva, es caro, y, aun cuando su calidad fuera excelente, su empleo no tiene ya clara justificación más que en zonas rurales, y aún esto como recurso para absorber mano de obra en épocas en que las labores agrícolas no la requiere.

5.3. ADOBES DE SUELO-CEMENTO

Por el contrario, la fabricación industrial de adobes a pie de obra puede abrir nuevas perspectivas a la resolución del problema de la vivienda en ciertas regiones, por cuanto la propia tierra que las topadoras arrancan para las excavaciones se puede emplear económicamente en la confección de adobes amasados a máquina * y moldeados en prensa; pero, en este caso, se impone ya una cierta evolución en el sistema de estabilización, empleando estabilizantes químicos, como, por ejemplo, el cemento, que en proporciones, según los casos, de un 3 % al 10 %, permite obtener piezas que soportan, incluso, una prolongada inmersión en agua y tienen, relativamente, elevada resistencia a compresión, con las ventajas de que el conjunto es más homogéneo, que se aprovechan suelos que, de otro modo, no podrían estabilizarse, y de que el tiempo de fabricación puede reducirse considerablemente, ya que hay máquinas moldeadoras por presión y vibración combinada que pueden producir más de 1.000 piezas por hora.

En el caso del suelo-cemento, el secado ha de sustituirse por un período de fraguado y endurecimiento en el que deben evitarse las pérdidas de humedad, para lo cual parece ser buena práctica cubrir o envolver con papel los paquetes de adobes frescos.

5.4. CONSTRUCCIONES DE ADOBE

Si en cualquier caso es preciso prever ya, en el momento de diseñar el edificio, las características del material con que ha de construirse, en el caso de los adobes esto es de todo punto imprescindible, ya que, aparte de otras consideraciones que se derivan de su escasa resistencia (los buenos adobes resisten a compresión menos de 20 kg/cm²) y de la heterogeneidad de posibles calidades que obliga a considerar fuertes coeficientes de seguridad, hay que prever la obra con porches y aleros salientes para aminorar los efectos de la lluvia incidiendo directamente en los muros, así como dotar las casas de un zócalo para cortar la humedad que pueda ascender del suelo por capilaridad.

En las zonas donde descansan cargaderos y dinteles de huecos, es conveniente tomar precauciones para el mejor reparto de las cargas de apoyo y evitar la acción posible de concentraciones de humedad.

Respecto al mortero de agarre, cabe aconsejar que éste sea del mismo material con que se hayan hecho las piezas para evitar desiguales retracciones; pero es también posible añadir cal o cemento, con lo que el muro es más resistente, si bien aumenta el peligro de fisuración.

(*) Las hormigoneras no sirven para este fin. Es preferible amasadoras del tipo de las utilizadas por la industria cerámica.

El revestimiento en las construcciones de adobes no es siempre necesario, y de hacerse, es preferible ejecutarlo con barro al que se puede agregar cal. En algunos casos, y ciertas regiones, las construcciones de adobe se revisten con mortero de cal e, incluso, con morteros mixtos de cal y cemento.

6. Tapial

Dentro de la gama de soluciones a base de suelo estabilizado, el tapial es la más conveniente cuando el material disponible contiene gravas y arenas en proporciones que van del 50 % al 75 %. Sobre el adobe ofrece las ventajas de necesitar mucha menos manipulación y menos humedad, pero exige el uso de encofrado y es preciso apisonar el muro durante su construcción, operación que se realiza con pisones o, simplemente, pisando la tierra por tongadas, y de esto le viene su nombre de «pisé de terre» con que se le conoce en Francia y que se ha generalizado en muchos países.

El proceso de fabricación es bien sencillo: Se coloca un encofrado parecido al utilizado para el hormigón armado, se van vertiendo en él capas de tierra previamente humedecida, y homogeneizada, se apisona por capas, y cuando el cajón está lleno se enrasa, se transporta el encofrado a otra sección y así sucesivamente.

De la descripción que se ha hecho, y teniendo en cuenta que al amasado y humedecido debe preceder la oportuna corrección granulométrica del material, se infiere que al tapial es de aplicación todo cuanto, con carácter general, se ha dicho en relación con la compactación de suelos, lo que a primera vista hace concebir, para esta modalidad de construcción, esperanzas de evolución favorable que en el adobe resultaban un tanto dudosas. Más tarde veremos que esto no es exactamente así por las razones que apuntábamos al comienzo del presente artículo, ya que, si bien no hay razón aparente que impida proyectar un tapial atendiendo a su correcta granulometría, determinando la humedad óptima, logrando el máximo peso específico y, por lo tanto, reduciendo al mínimo su volumen de huecos, lo cierto es que el logro real de todo ello, a medida que el muro progresa en altura, ofrece ciertas dificultades que no siempre se han resuelto acertadamente.

6.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Como reiteradamente venimos diciendo, los ensayos de laboratorio a que se someten los suelos son de aplicación específica a la carretera; no obstante lo cual, y en tanto no surjan otros más idóneos, pueden ser también muy útiles para determinar la aptitud de un suelo como constituyente de muros de tierra apisonada.

A este respecto cabe señalar que de los ocho grupos en que clasifica los suelos la USPRA, el A-1 * se considera como excelente; el A-2, cuya gradación de partículas no es tan buena como en el anterior, es también apto para tierra apisonada; los A-3, que carecen de finos, no se estabilizan ni permiten el apisonado; los A-4, que contienen bastante limo, pueden apisonarse y es-

* A-1 Suelos con buena gradación de partículas que abarca de las gruesas a las más finas.

tabilizarse especialmente cuando la proporción de limo y arcilla no rebasa el 50 %, y el resto de los suelos, hasta el A-8, deben descartarse por exceso de finos o contener turba.

Los ensayos que sirven de base a esta clasificación, tales como análisis granulométrico, límites de Atteber, etc., etc., aún cuando no son muy complicados, deben confiarse siempre a un laboratorio especializado, al que conviene solicitar, además, el límite de retracción (L. R.) y la relación de retracción (S. R.). El primero, es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo no sufre nuevas contracciones y, sin embargo, aumenta de volumen al aumentar esta humedad crítica. El segundo representa la disminución dimensional que sufre una probeta al secarse, y se expresa en tanto por ciento de la dimensión inicial de la probeta con humedad natural.

No puede perderse de vista que la estabilización de los suelos, sea cual fuere el empleo que haya de dárseles, lo mismo en vías de comunicación que en edificación, depende, de un modo fundamental, del comportamiento de las partículas finas, por la proporción que éstas representan respecto del volumen total y por su propia naturaleza. Suelos totalmente carentes de finos o muy escasos de estos tamaños no pueden compactarse ni estabilizarse, e incluso, cuando se les añade un conglomerante, no se logra hacer realmente un suelo-cemento, sino un hormigón pobre y, en muchos casos, un hormigón malo, a no ser que se corrija la granulometría. A su vez, es también perjudicial el exceso de finos, arcillas y, concretamente, de tamaños inferiores a 0,001 mm, que en la técnica de estabilización de suelos se conoce frecuentemente por coloides*.

Cuando la proporción de finos es excesiva, es decir, cuando la plasticidad es grande, el suelo es posible que no sirva para construcciones de tierra apisonada, si bien es probable que pueda ser utilizado en la construcción de adobes; y si el contenido coloidal excede de ciertos límites, puede preverse que la resistencia del muro a la intemperie no será buena.

6.2. ENSAYOS PREVIOS

Los expertos de cada región acostumbran a conocer a simple vista, o mediante pruebas muy rudimentarias, si un suelo es o no apto para construir muros de tierra apisonada. Sin que quepa dudar de la buena fe de estos artesanos, sí conviene advertir que, en este aserto, hay implícita una premisa que a veces escapa incluso al técnico, y es que el perito en la materia, generalmente albañil del pueblo, presupone que con esa tierra va a hacerse precisamente una construcción análoga en todo a las que allí se ejecutan, cosa no siempre cierta debido a las modernas exigencias funcionales y arquitectónicas, lo que da lugar a que la nueva edificación suponga ya una extrapolación en lo que se refiere a cargas, distribución en planta, alturas, dimensiones de huecos, etc., etc., y que por estas causas puedan ponerse de manifiesto fenómenos de fisuración o inestabilidad que en las construcciones tradicionales pasaban inadvertidos. Por lo tanto, parece que en muros de tierra apisonada no son recomendables, como en el caso del adobe, los ensayos en probeta, siendo preferible ejecutar un muro experimental de más de dos metros de longitud y, mejor aún, dos muros formando esquina, construídos con los mismos medios que se prevean para las obras definitivas.

Como ensayos previos para determinar si, en principio, el suelo es idóneo para el fin propuesto, se podría recomendar una determinación, siquiera sea rudimentaria, de la cantidad de arcilla, sirviéndose, para ello, de una muestra que se deseca en un horno, y luego, ya pesada, se introduce en un jarro con agua. Al cabo de unos instantes se habrá depositado en el fondo

* Concepto de coloides no totalmente concordante con el que se tiene en química.

la arena, mientras que la arcilla continúa en suspensión. Se vierte el agua teniendo cuidado en no perder el material decantado, y se continúa lavando y repitiendo la operación hasta que el agua salga limpia. Vuelto a secar en el horno, se pesa el residuo. La relación entre ambas pesadas nos da una idea de la proporción de arena, que debe ser del orden del 75 % para un buen tapial.

Siendo también perjudicial la materia orgánica, es conveniente comprobar que el suelo elegido no la contiene en cantidad excesiva; con este fin se cree conveniente realizar el ensayo previsto para las arenas de los hormigones, ampliando, claro está, los límites de tolerancia.

Finalmente, pueden hacerse algunos bloques de ensayo utilizando como encofrado un cubo sin fondo y apisonando por capas de unos 7 cm de espesor. Del comportamiento del bloque en los primeros días, es decir, cuando más activo es el secado, es factible deducir enseñanzas provechosas, especialmente respecto a posibles suelos de corrección.

6.3. CONSTRUCCION

La construcción de un muro de tapial implica la previa preparación del suelo, corrigiendo su granulometría, si ello fuera necesario, y separando de él la grava de más de 3 cm, porque, aun cuando estos tamaños grandes pueden contribuir a dar estabilidad y resistencia al muro, tienen en contrapartida el inconveniente de dificultar el apisonado.

Los encofrados que se emplean son simples cajones, sin fondo, de madera, de 1,80 m de longitud, como máximo, y alrededor de 75 cm de altura. La disposición de estos encofrados varía con las regiones y los medios de que disponga el constructor. Según se desprende de experiencias realizadas en los Estados Unidos, parece que los encofrados metálicos pueden no dar buen resultado.

El apisonado se realiza con pisonos a brazo de unos 8 kg de peso y una sección en la base de 80 cm², ya que la experiencia demuestra que con estos elementos se obtienen resultados satisfactorios, lo que no ocurre cuando se ha tratado de emplear sistemas más perfectos, tales como pisonos mecánicos o vibradores. El único inconveniente que se observa es que al apisonar las primeras tongadas de material se produce un deslizamiento hacia arriba de los encofrados y, consecuentemente, fisuración longitudinal en el muro. La humedad óptima para este apisonado acostumbra a estar por debajo del óptimo determinado por el ensayo Proctor.

Como puede apreciarse, el sistema de construcción tradicional es demasiado empírico y demasiado lleno de contraindicaciones para que pueda generalizarse en las realizaciones arquitectónicas actuales. En aras de la brevedad hacemos gracia al lector de un sinfín de detalles de construcción que encontrará fácilmente en la literatura que trata del tema y que, al decir de los autores, constituyen la clave del éxito. Esta abundancia de reglas, las discrepancias que se observan entre los diferentes tratadistas, los fracasos que se registran y las razones que se arguyen para justificarlos, evidencian la necesidad de continuar con el estudio, primero, teórico; luego, experimental de base, y, finalmente, tecnológico, en busca de criterios amplios y principios generales en los que pueda basarse una verdadera técnica.

En tanto no se logre esto, la edificación con tierra apisonada no podrá salir del estado de artesanía en que hoy se encuentra, y, por consiguiente, el sistema no es susceptible de encuadrarse entre las soluciones a que puede recurrir el arquitecto para resolver los problemas que tiene planteados.

6.4. MODERNA VERSION DEL TAPIAL

Las tendencias actuales de evaluación del tapial se basan esencialmente en la estabilización del suelo mediante la adición de conglomerantes, aglutinantes u otras sustancias, según los procesos esbozados en los primeros artículos de esta serie. De entre todas las adiciones ensayadas destaca, por su importancia y generalización, el cemento como constituyente de suelo-cemento, material al que ya nos hemos referido en diversas ocasiones y al que esperamos poder dedicar próximamente especial atención.

El suelo, aun cuando se corrija convenientemente en su granulometría y se apisona con esmero, no llega a alcanzar, en sus aplicaciones a la edificación, la compacidad que tiene en un buen firme de carretera, por dificultades materiales de compactación y porque los medios de que se dispone para su puesta en obra y la resistencia de las capas subyacentes no permite siempre ajustar la proporción de agua a los valores óptimos. Consecuencia de todo ello es que los tapias sufran contracciones relativamente fuertes. El cemento facilita la compactación, reduce la retracción y, en definitiva, da mayor estabilidad y resistencia mecánica. Sobre todas estas ventajas del suelo-cemento hay otra, que probablemente tiene más valor, y es que ha atraído la atención de los científicos y de los investigadores hasta el punto que raro es el Centro de Investigación de Carreteras o de la Construcción que no incluya en sus programas de trabajo cuestiones relacionadas con este material. Organizaciones tan potentes como la Portland Cement Association, lleva muchos años ocupándose del tema; países como Argentina y Brasil, entre otros, han perfeccionado las técnicas de aplicación y, en definitiva, todo ello ha contribuido a establecer una experiencia y unas reglas fijas, en lo que el suelo-cemento como material se refiere, que están permitiendo a la industria desarrollar medios auxiliares eficaces para resolver satisfactoriamente, y con economía, algunos de los inconvenientes que tradicionalmente pesaban sobre la construcción de tierra apisonada.

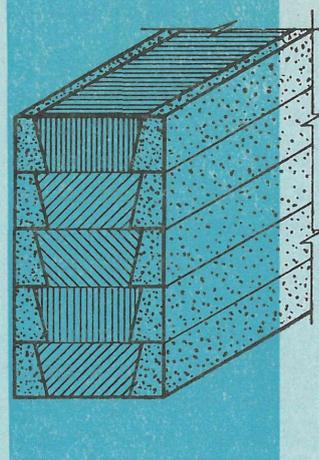
En lo que a edificación se refiere, el suelo-cemento proporciona resistencias mecánicas que van de 40 kg/cm² de rotura en compresión, a cerca del doble, con dispersiones no mayores que las que pueda tener una fábrica de ladrillo corriente, y todo ello con proporción de cemento que oscila de cincuenta a doscientos kilos por metro cúbico de pared terminada, cuando la composición del suelo es la adecuada.

La retracción del material en sus edades tempranas es bastante fuerte, lo que limita, evidentemente, la longitud de lienzos de pared que no deben ser mayores de unos dos a tres metros como máximo; pero como quiera que el fenómeno no es reversible, al menos en proporciones apreciables, no hay el menor inconveniente en cerrar las juntas con material rígido.

Por lo demás, el suelo-cemento, pese a las restricciones que impone su escasa resistencia a cortante y a tracción, es un material muy apto para edificación y, especialmente, para la construcción de viviendas, por cuanto su aislamiento es bueno, la porosidad muy conveniente, no es combustible y es fácil cubrirlo con los revestimientos tradicionales, si bien la continuidad y textura de sus superficies hace innecesario muchas veces esté terminado.

Para aunar las ventajas económicas del tapial en su versión tradicional y las técnicas del suelo-cemento, se ha utilizado, al parecer con éxito, un procedimiento mixto. Consiste en colocar simultáneamente en los encofrados una cierta cantidad de suelo-cemento en las proximidades de las paredes, y tierra en la parte central. Haciendo esta operación por capas se obtienen bloques, de cuya composición da idea el adjunto croquis. También se han ensayado estabilizaciones a base de cal y mixtas de cal y cemento. Una proporción muy conveniente es la de 1/3 de cemento y 2/3 de cal.

En general, para edificación se han utilizado todos los estabilizantes que señalábamos en el primer artículo de la presente serie, algunos como los productos bituminosos, especialmente en el caso de los adobes, en que la pasta es más fluida; la cal, cenizas volantes, el cemento, etc., en los tapiales o bloques de tapial moldeados a máquina, y otros, en fin, con carácter puramente experimental, habiendo dado la mayoría de ellos resultados satisfactorios en determinados suelos, lo que presagia la posibilidad de que muy pronto se establezcan campos específicos de utilización para cada grupo de estabilizantes, siendo, dentro de estas posibles aplicaciones, las condiciones económicas las que, en definitiva, acaben decidiendo.



6.5. FUTURO DE LAS CONSTRUCCIONES DE SUELO ESTABILIZADO

Profetizar es misión delicada que no pretendemos abordar, pese al título del presente párrafo. Nos limitamos a exponer una opinión muy personal que pueda servir de resumen a todo lo expuesto y tema de meditación para los que se interesan por estas cuestiones.

Estabilizar en grado satisfactorio un suelo natural por la sola acción de elementos mecánicos, es muy difícil y en la mayoría de los casos imposible, de donde se desprende que, salvo en la constitución de rellenos y terraplenes de gran volumen, no parece haya de encontrar aplicaciones de importancia.

Los suelos previamente corregidos en su composición y compactados con adecuados medios, llegan a estabilizarse en un grado tal que resultan especialmente aptos para las capas superiores de los rellenos y terraplenes, para los cimientos de firmes e, incluso, para los propios firmes, pero no para edificación, donde tienen tantas servidumbres, que no parece compatible con las modernas tendencias económicas y funcionales, no pudiendo, por tanto, esperarse para ellos, al menos en nuestro país, un futuro mucho más próspero que su presente.

Las estabilizaciones por adecuada corrección del suelo, adición de estabilizantes y compactación posterior, ocupan ya un lugar preponderante en la técnica de los firmes de carretera y revestimiento de taludes, papel que irá cobrando más importancia cada día por los avances de la ciencia del suelo, el creciente progreso que se está logrando en la técnica de utilización, la mejora constante de sus propiedades intrínsecas y, sobre todo, por la evolución de los medios mecánicos de puesta en obra.

En edificación pueden ocupar también un lugar destacado, fundado en la economía del sistema y el ahorro de transportes de larga distancia, aunque su utilización estará siempre íntimamente ligada a las condiciones del suelo donde se ubique la obra, al desarrollo industrial y al clima de la región. Es condición de capital importancia para que puedan obtenerse las ventajas económicas que ofrece la edificación a base de suelo estabilizado, que se desarrolle, como ya está ocurriendo en carreteras, una técnica de empleo más perfecta que la actual y una maquinaria auxiliar que economice mano de obra y contribuya a dar calidad uniforme al nuevo material.