Ing. Belisario Maldonado P.

Elementos de Edafología y Edafotecnia

APENDICE

Los suelos en la edificación rural

a) *Explicaciones.*—Como es sabido, ciertos suelos arcillosos son empleados por nuestros campesinos y por gente de escasos recursos de las ciudades, para la confección de adobes.

En general, la industria del adobe, como la del ladrillo, no se atiene a norma técnica alguna; de tal modo que las características resistentes de estos elementos constructivos suelen variar de uno a otro—según hemos podido comprobar—hasta en un ciento por ciento.

Tomando nota de estos hechos el Jefe del Taller de Ensayes de la Universidad de Chile me encargó hacer un estudio serio sobre adobes y ladrillos.

En la presente edición de Elementos de Edafología y Edafotecnia daré a conocer los primeros resultados de mis investigaciones sobre adobes; investigaciones que pudieron realizarse rápidamente gracias al aporte de personal auxiliar y de fondos hecho por la Corporación de Reconstrucción y Auxilio.

Proximamente publicaré los resultados completos sobre esta materia, y sobre ladrillos; y un estudio sobre aplicación de la Edafotecnia al estudio y construcción de embalses, cuyas investigaciones se están realizando actualmente en el Taller de Ensayes de la Universidad de Chile.

b) *Experiencias previas.*—Se inició el estudio de los adobes haciendo un acopio de suelos de diversas características, y de vegetales chilenos considerados, a grosso modo, como imputrecibles.

A cada uno de los suelos acopiados se les determinó en seguida las siguientes constantes:

1.—Granulometría.
2.—Límite líquido.
3.—Límite plástico (e índice de plasticidad).
4.—Equivalente de humedad.
5.—Contracción lineal y volumétrica correspondiente a un contenido de agua inicial igual al equivalente de humedad.
6.—Optima humedad de compactación, por el método de Proctor.
7.—Fatiga de ruptura por compresión de todas las probetas Proctor.

c) *Influencia de las sales.*—Terminadas las experiencias previas (experiencias que han sido explicadas en el capítulo destinado a las medidas de la primera parte del presente trabajo), me propuse buscar un mejoramiento de las características resistentes de los suelos, por el agregado de sales. Los resultados obtenidos tienen, a juicio del autor, una importancia más general que la que podría darle su aplicación a la confección de adobes; por esto, el tema será desarrollado con algunos detalles.

Las experiencias se hicieron sobre probetas cilíndricas de una pulgada de altura por una de diámetro, confeccionadas en la máquina para preparar probetas de ornamentación de polvo de roca.

Las probetas se confeccionaron con una mezcla de suelo fino (menor que cuarenta mallas) de arcilla de Renca tratada con sal, y arena normal de Cartagena, en la proporción de uno de arcilla por tres de arena.

La mezcla, que se revolvía con espátula, en forma standard, durante cinco minutos, se hacía con las siguientes cantidades:

Suelo fino arcilloso salado	65 gr.
Arena normal.....	195 »
Agua	20 »

De este mortero se separaban, luego de hecho, ocho porciones de 31 gramos cada una, que eran comprimidas durante 30 segundos en el molde cilíndrico de la máquina preparadora de probetas, bajo una carga total de compactación de cuatrocientos kilógramos.

Los cilindros preparados en esta forma recibían después el siguiente tratamiento:

a) 24 horas de permanencia al aire libre.

b) 24 horas de permanencia en el horno de 110° C.

c) Prueba de resistencia a la compresión inmediatamente de retirada la probeta del horno.

Los resultados, cada uno promedio de ocho experiencias, se resumen en el cuadro acompañado. Puede verse que el agregado de sales mejora los suelos hasta en más de un doscientos por ciento.

La influencia de las sales se estudió también—en la misma forma—para la desintegración bajo agua, floculación, límites plástico y líquido, índice de plasticidad, etcétera.

Dibujados los gráficos se observó, como era de esperar, leyes de variación muy parecidas, pero con los máximos y mínimos desplazados.

Dosis %	Alumbre	$Ca\ Cl_2$	$Na\ NO_3$	Na Ce
0	9,28 Kg/cm²	9,28	9,28	9,28
0,25	8,66 »	8,4	8,72	7,88
1	9,1 »	7,8	7,8	5,64
3	12,0 »	12,46	12,34	10,4
5	23,2 »	20,6	12,8	12
7,5	11,4 »	14,9	18,6	12
10	12,1 »	12,2	14,4	12
15	12,6 »	11,5	16,1	13,2

Quien se interese por conocer el detalle de este trabajo, puede consultar el estudio completo presentado por el Taller de Ensayes al 1.er Congreso Chileno de Ingeniería.

d) *Influencia del agua de confección.*—Una probeta de tierra puede obtenerse compactada mediante dos procedimientos:

a) Mediante el pistón actuando sobre la tierra humedecida con una cantidad de agua próxima a la óptima de Proctor.

b) Por simple secamiento de un suelo hecho barro; o sea, en un estado intermedio entre los límites líquido y plástico.

El primero de estos procedimientos se emplea para la construcción de caminos y grandes obras de tierra en general.

El segundo se aplica a la confección de adobes.

Analicemos las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas. El primero, por emplear cantidades de agua próximas al límite de contracción, no determina contracciones ni agrietamientos. En el segundo, por emplearse dosis de agua muy superiores a dicho límite, al secarse sufren los adobes contracciones y agrietamientos que son tanto mayores cuanto más grandes son: la humedad de confección y la diferencia entre esta humedad y el límite de contracción.

En adobes, el agrietamiento es evitado por el agregado de paja, que recoge las tensiones internas producidas en el secamiento.

El empleo que el hombre hace de los suelos es, pues, ajustado a la lógica: En las grandes obras hace uso del pisón con humedades bajas, y así evita los agrietamientos consiguiendo grandes resistencias. En las pequeñas, empleando grandes dosis de agua se ahorra el pisón, y evita el agrietamiento por un armado interior de fibras capaces de resistir tracciones y de adherir al barro.

Al estudiar la influencia de la humedad, debemos pues hacer una distinción específica:

a) Suelos humedecidos (bajo el límite plástico).

b) Suelos embebidos de agua, o barros (sobre el límite plástico).

A los primeros se les puede determinar la mejor dosis de agua por el método de Proctor, que, como se recordará, consiste en confeccionar probetas con dosis de agua variable y en medirles los pesos aparentes: La mejor dosis da el mayor peso aparente y con él, la óptima resistencia.

Para los suelos barrosos, la mejor dosis de agua es la mínima que permite su trabajabilidad; porque, como se sabe, todo exceso de agua disminuye la resistencia.

En el caso del adobe, la dosis de agua está entonces definida por el procedimiento que se emplea para confeccionarlo.

Observemos dicho procedimiento: El barro, revuelto con la paja, es colocado en un molde. Allí, sin pisón ni movimiento brusco, el barro se adapta al molde; de modo que el operador solamente necesita pasar por encima su mano o cualquier instrumento plano para que el adobe quede formado. En seguida, suavemente se levanta el molde y la operación queda terminada.

Estudiemos ahora las condiciones que le impondremos a nuestra dosis de agua.

a) Será lo suficientemente alta como para permitir que el barro se adapte al molde, sin pisón.

b) Será lo suficientemente pequeña como para que, al retirar el molde, el material no se desparrame.

c) Dentro del margen que permiten estas dos primeras condiciones la dosis debe elegirse próxima a la mínima, siempre que permita una fácil extracción del molde.

He observado que una dosis de agua que satisface estas condiciones, está definida por la fórmula:

$$H = (LP + 0{,}2\ IP)\ \frac{SF}{100}$$

o lo que es lo mismo:

$$H = (8\,LP + 2\,LL)\ \frac{SF}{1000}$$

H = Porcentaje de *agua cómoda* con respecto al peso seco de la tierra.
LL = Límite líquido del suelo fino.
LP = Límite plástico del suelo fino.
IP = Indice de plasticidad en suelo fino.
SF = Porcentaje de suelo fino en la función granulométrica.

Para terminar con el estudio de la influencia de la humedad, expresaré la conveniencia de remojar la paja antes de revolverla con el barro (trilla del adobe), con el objeto de evitar que se quiebre en dicha operación.

También es conveniente «podrir el barro» mediante un buen tiempo de permanencia al estado de tal, con el objeto de que las materias putrecibles se eliminen antes de la confección del adobe (antes de «cortarlo»).

e) *Influencia de las constantes de contracción.*— En general, si se confecciona un adobe de suelo arcilloso de 40×19×8, sin paja, y con dosis «cómoda» de agua, las fuertes contracciones producidas en el secamiento determinan profundos agrietamientos; que, como ya se ha dicho, se evitan por el agregado de paja. No he observado aún casos de tierras que no puedan en manera alguna emplearse para la confección de adobes a causa de las excesivas contracciones; pero si las hubiere, ello no significa que deban eliminarse. Su aprovechamiento puede realizarse mezclándolas con otros suelos de menor contracción.

Para realizar estudios de esta clase no es necesario recurrir al ensayo complicado que se explicó en «Medidas Edafológicas»; basta con el procedimiento de batalla que explico en seguida: sobre un molde de volumen conocido se coloca tierra pisonada con dosis de agua igual a la constante que hemos denominado equivalente de humedad. La tierra se deja secar, primero al aire libre y luego en el horno de 110°, hasta peso constante. Finalmente se le determina el volumen seco: el porcentaje de la pérdida de volumen con respecto a este volumen seco, es la contracción volumétrica correspondiente a un contenido inicial de agua igual al equivalente de humedad.

Haciendo la diferencia entre el equivalente de humedad (EH) y esta contracción volumétrica (CV), se obtiene el límite de contracción (LC):

$$LC = EH - CV$$

Sabemos que, sobre el límite de contracción, las contracciones volumétricas de un suelo son sensiblemente iguales al agua que haya en exceso sobre dicho límite; de modo, pues, que en cualquier suelo, mientras menores sean las dosis de agua con que lo trabajemos, menores son también los agrietamientos.

Tratándose de comparar dos suelos, las contracciones volumétricas son tanto mayores cuanto mayor sea la diferencia entre la humedad de confección y el límite de contracción; porque, más o menos, dicha diferencia expresa la contracción que experimentará el adobe al secarse. Ahora bien, la humedad de confección no es susceptible de grandes variaciones; de modo que las contracciones son—a grosso modo—tanto mayores cuanto menor sea el límite de contracción. Esta constante puede entonces servirnos para definir los suelos bajo el aspecto que se estudia.

Hasta la fecha, operando con suelos cuyo límite de contracción era superior a 10% ninguno de ellos ha tenido que ser desechado a causa de sus excesivas contracciones.

En cambio, se obtuvieron resultados dudosos con un suelo de límite de contracción igual a 4%; lo que parece indicar que entre 4% y 10% hay un límite, que estamos actualmente buscando, y que será una especificación para la tierra que se emplee en la confección de adobes.

Conocida dicha especificación, va a ser posible calcular mezclas de suelo aptos para la confección de adobes, mediante el abaco que he proyectado con el nombre de gráfico de Caracteres Hídricos.

En obras monolíticas en tierra, evidentemente el límite de confección mínima admisible debe ser muy superior. Aun no tengo datos concretos al respecto; pero he obtenido buenos resultados trabajando con suelos de límite de contracción próximo a 20%; y dudosos con valores inferiores a 10%. Se prosiguen experiencias tendientes a fijar el límite mínimo admisible.

En esta clase de obras de tierra, existe una íntima relación entre el límite de contracción y la humedad óptima de Proctor; habrá seguridad de buenos resultados, si el límite de contracción es igual o superior al valor óptimo de Proctor.

f) *Influencia de la paja y fibras vegetales.*—El agregado a las obras de tierra

de elementos fibrosos capaces de soportar tracciones no sólo tiene por objeto evitar agrietamientos; en efecto, también contribuyen esos elementos a la resistencia con un aporte apreciable.

En el trabajo que se expone, la medida de esta influencia se hizo a través de experiencias de flexión, realizadas en adobes de proporciones que han sido propuestas como normales ($40 \times 19 \times 8$ cm.^{3}). Posteriormente se iniciaron comprobaciones en cizalle y compresión. Esta serie de pruebas aún no termina.

Las experiencias de flexión se hicieron con una luz libre de 30 cm. y carga central. Se realizaron en esta forma más de cien pruebas, que dieron como resultado definitivo e indiscutible, que la mejor dosis de paja de trigo es *un cuarenta por ciento (40%) con respecto al volumen del adobe.* (El volumen de la paja se midió comprimiéndola en seco a mano).

Desde el punto de vista de la dosificación de agua y de paja, los resultados de la presente investigación han sido, en realidad, inesperados. En efecto, confeccionando adobes con tierra corriente para ladrillos, sin mejoramiento de granulometría, plasticidad, ni agregados de sales; pero operando con las dosis «cómoda» de agua y «óptima» de paja, se han obtenido resistencias a la flexión bastante superiores a las de cualquier ladrillo de chonchón.

El mejoramiento que hemos obtenido en la resistencia del adobe, nos permitirá especificar una fatiga mínima aceptable de ruptura por flexión superior a los cuatro kilógramos por centímetro cuadrado.

Cambiando la paja por pita (una fibra del sur que actualmente es una maleza muy abundante), y manteniendo la dosis, se han duplicado las resistencias; pudiendo especificarse en este caso, hasta ocho kilógramos por centímetro cuadrado de fatiga en ruptura por flexión. Posteriormente, en las experiencias de cizalle, se pudo comprobar que estas resistencias pueden aún aumentar enormemente disponiendo racionalmente las fibras en el adobe.

Las experiencias de cizalle han demostrado mejor la influencia del cambio de paja por pita. En efecto, en promedio el adobe de paja cede en esta prueba con tres kilógramos por centímetro cuadrado; en circunstancias en que el de pita resiste hasta 35 Kg/cm^2; su resistencia es más de diez veces superior.

La influencia de la forma de distribución de la fibra en el adobe, también pudo apreciarse netamente en pruebas de cizalle: disponiendo la pita en sentido normal al plano de cizalle, se obtiene una resistencia superior en un 40% a la que se alcanza con la misma proporción de fibra distribuída a la pele mele.

Finalmente, las pruebas de cizalle demostraron un grave inconveniente del adobe, que le hace perder todo lo que se pudo haber ganado en su mejoramiento: la juntura entre adobe y adobe es un plano de falla que cede con esfuerzos superiores a dos kilógramos por centímetro cuadrado. En el caso del adobe de paja esta falla podría perdonarse; ya que sólo significa una pérdida de un 30%; pero tratándose de adobes de pita, capaces de soportar más de treinta kilógramos por centímetro cuadrado, la pérdida no podría tolerarse.

La falla observada es más trascendental todavía: hemos llegado a un adobe de notables cualidades asísmicas ya que es capaz de resistir flexiones y cizalles considerables. Pues bien, todo ello se pierde en el muro a causa del factor juntura.

Hay una manera de salir del paso: la construcción monolítica. Aun no he iniciado experiencias en este sentido; pero con los datos de resistencia que ya tengo, me atrevo a suponer que llegaremos a un muro de tierra armada con fibras vegetales, y mejorada con sales, de cualidades asísmicas superiores al muro de albañilería de ladrillo.

En efecto, la pita es una fibra larga (más de 1,5 mts.) cuya resistencia a la tracción es de 10 a 15 Kg/mm². Se ve, pues, que es un material ideal para el armado de muros. Por otra parte nos parece que la zarzamora tan corriente y perjudicial en nuestros campos, puede suministrar un insustituíble material equivalente a las barras gruesas en el hormigón armado.

Sólo existe un inconveniente para la obra monolítica: la perniciosa influencia de las contracciones.

Sabemos ya que este inconveniente puede ser subsanado en la obra monolítica, en aquellas tierras que permiten una buena compactación al pisón, con humedad comparable a la del límite de contracción.

Sabemos también que si una tierra no satisface esta condición, por mezcla con otros suelos, podemos obtener un material que la cumpla.

Finalmente, es posible que una combinación del empleo de los siguientes elementos, permita resolver el problema en forma definitiva:

a) Suelo solo, mejorado con sales o con otros suelos;

b) Paja para absorber las tensiones internas;

c) Fibras y ramas de vegetales imputrecibles para armar el muro, al estilo del hormigón; y

d) Agua intermedia entre la «cómoda» para adobe y la óptima Proctor.

g) *Asentimiento de muros de adobles.*—Es considerable el asentamiento que sufre un muro de adobes durante su construcción: y son también considerables los cambios de volumen experimentados posteriormente a causa de los cambios climatéricos.

Estos fenómenos son gravemente perjudiciales. Los primeros, porque, a causa de la forma como se construyen las casas de adobes, son irregulares; (lo cual hace que estos asentamientos produzcan grietas en las esquinas). Los otros, causados por los cambios climatéricos, son los que «trancan» las puertas y ventanas durante los inviernos.

Para medir estos fenómenos, se procedió a construir un muro con adobes adquiridos en la capital. Este muro se cargó más o menos con la sobrecarga a que quedan sometidos en la práctica.

Observando el descenso diario de un punto de referencia colocado en el muro, se alcanzó la estabilidad al cabo de 12 días, con un descenso de 35 milímetros para un alto de muro de 2,5 m. La experiencia se realizó en las peores condiciones posibles, buscando el máximo de deformación que podría producirse en la práctica.

Después de estabilizado, el mismo muro se regó dos veces, con dos días de intervalo entre riego y riego; midiéndose la deformación quince días después: se observó un descenso adicional de cinco milímetros, llegando a cuarenta milímetros el asentamiento total.

Para evitar y corregir los efectos de los asentamientos iniciales en muros de

adobes, propongo que se construya con ellos completando hiladas de adobes que cubran todo el perímetro de muros de la construcción.

Para evitar los cambios posteriores de volumen, causados por cambio de humedad, se propone agregar a los suelos sales delicuescentes (Na Cl, Na NO_3) que estabilicen la dosis de agua. Además se propone la protección de la casa mediante un platachado hecho con una mezcla de 55% de cal apagada, y 45% de la misma tierra que sirvió para confeccionar el adobe.