

Elementos de Edafología y Edafotecnia

(Continuación)

E) Instrucciones para el uso de gráficos de estabilización.— 5.º Construcción de carpetas estabilizadas por mezcla.—A) Dosificaciones de uso práctico.—B) Procedimientos de construcción.

E.—INSTRUCCIONES PARA EL USO DE LOS GRÁFICOS DE ESTABILIZACIÓN.

Observaciones generales.

1.º No se opere directamente sobre los gráficos, sino sobre papel transparente fijado a ellos.

2.º Los gráficos a emplear son dos: El granulométrico y el de caracteres hídricos.

3.º El gráfico granulométrico lleva en abscisas el porcentaje de agregado grueso; en ordenadas, el porcentaje de agregado fino; y en las rectas a 45º, el porcentaje de conglomerante.

4.º El gráfico de caracteres hídricos lleva en ordenadas el porcentaje de suelo fino; y en las rectas concurrentes, el índice de plasticidad.

5.º El gráfico granulométrico puede emplearse también con los siguientes ejes: Abscisas, grava gruesa; ordenadas, grava fina; rectas a 45º, mortero de suelo.

6.º En el gráfico de caracteres hídricos se puede substituir el índice de plasticidad por el límite líquido, sin modificar la posición de las rectas concurrentes. (*)

Operatoria simplificada.

7.º El método simplificado que se expone en lo que sigue, entrega mezclas garantidas desde los siguientes puntos de vista: Agregado grueso, agregado fino, conglomerante, suelo fino e índice de plasticidad.

8.º La primera operación que debe realizarse es la colocación, en ambos gráficos, de las especificaciones. Este problema no envuelve mayores dificultades, y está resuelto en los dibujos que acompañan a estas instrucciones.

9.º En seguida deben representarse por puntos, en ambos gráficos, los materiales en estudio. Si en ambos gráficos los puntos representativos caen dentro del

(*) También puede servir este gráfico para el cálculo de otras constantes hídricas.

cuadrilátero de las especificaciones, los materiales correspondientes las satisfacen integralmente.

Mezcla de dos materiales.

10.—Toda mezcla entre dos materiales, A y B, sólo puede quedar representada dentro de la recta que une a A con B (Figura N.º 78).

11.—Si en uno cualquiera de los dos gráficos, la recta AB no corta al cuadrilátero de las especificaciones, no es posible obtener por simple mezcla de A con B, un material que las satisfaga.

12.—En cualquiera de los dos gráficos, si por mezcla de A con B se quiere obtener un determinado material P, *ubicado dentro de la recta AB*, para calcular la dosis en peso, basta con colocar un interpolador de 100 divisiones, con sus líneas extremas coincidiendo con los puntos A y B. La lectura correspondiente de PA, es el porcentaje de B (Dib. 78) y la correspondiente a PB, el de A.

13.—En cualquiera de los dos gráficos, si se tienen dos materiales, A y B, que se mezclarán en la proporción a % de A y b % de B, el punto representativo P de la mezcla puede obtenerse haciendo coincidir las divisiones extremas del interpolador con los puntos A y B; y colocando el punto P de modo que entre P y A se lean b divisiones; y entre P y B, a divisiones (Gráfico N.º 78).

14. *Problema.*—Por mezcla de dos materiales—A y B—se quiere obtener un tercero que satisfaga las especificaciones. (Gráfico N.º 78).

Si la recta AB no corta las especificaciones en *uno*, cualquiera de los dos gráficos, según lo expresado en 11), no es posible obtener por simple mezcla de los dos materiales, uno que cumpla las exigencias.

Si la recta AB corta el cuadrilátero de las especificaciones en los dos gráficos, se proseguirá la resolución del problema en la forma que sigue:

En el gráfico de plasticidad, sean m y n los puntos en que la recta AB corta las especificaciones.

Mediante el procedimiento 12), calcúlense los porcentajes de A y B, que producen las mezclas ficticias m y n.

Conocida la composición de las mezclas m y n, se procederá a ubicar estos puntos en el gráfico granulométrico mediante el procedimiento 13).

Lo que se ha hecho es trasladar al gráfico granulométrico la recta mn. Si este trazo queda fuera de las especificaciones, el problema no tendrá solución por simple mezcla de A con B.

Si todo el trazo mn o una parte de él, queda dentro del cuadrilátero de las especificaciones granulométricas, cualquier punto del trazo que quedó adentro, cumplirá totalmente con las exigencias impuestas.

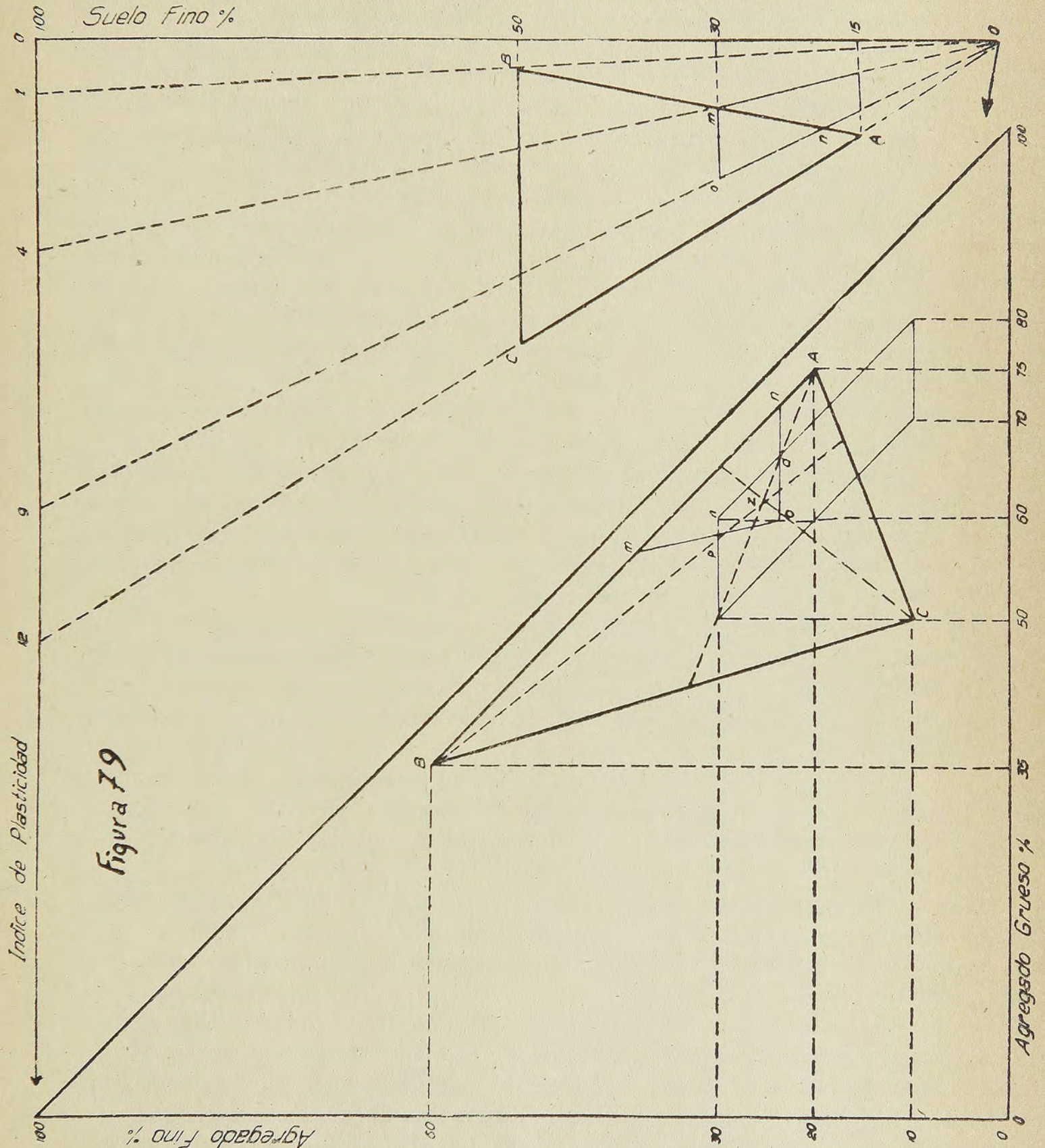
La elección del punto definitivo podrá hacerse tomando en cuenta coeficientes de seguridad y antecedentes de orden económico. En lo que se refiere a esto último, el punto será ubicado lo más lejos posible del punto representativo del material más caro.

Definido el punto, se procederá a calcular los porcentajes de A y de B que determinan tal mezcla. Para ello se hará uso del procedimiento 12).

Mezclas de tres materiales.

15.—El punto representativo de cualquier mezcla entre tres materiales. A, B y C, sólo puede estar dentro del triángulo ABC. (Gráfico N.º 79).

16.—Si por mezcla de tres materiales A, B y C, se quiere obtener un cuarto Z,



cuyo punto representativo está dentro del triángulo ABC, los porcentajes de los componentes, se calcularán en la forma que se explica a continuación (Gráfico N.º 79). Primero se procederá a trazar las tres transversales del triángulo que pasan por Z.

Cada transversal quedará dividida por el punto Z en dos partes: Una que da al vértice y otra que da al lado opuesto.

A continuación se colocará el interpolador en cada una de las transversales, con sus divisiones extremas pasando por los extremos de la respectiva transversal. El porcentaje del material representado por el vértice será el número de divisiones comprendidas dentro del trozo de transversal que cae del lado opuesto.

17.—Si tres materiales, A, B y C, se mezclan en la proporción, a % de A, b % de B y c % de C, el punto representativo Z de la mezcla podrá obtenerse como sigue: El interpolador será colocado sobre AB. En seguida—a partir de B—se medirán a divisiones en la recta AB; y se marcará el punto. Por este punto se trazará la paralela al lado a (que es el lado opuesto del vértice A).

El interpolador será colocado luego sobre BC, con sus divisiones extremas tocando a los puntos B y C. Hecho esto, a partir de C se contarán b divisiones en el trazo BC; y se marcará el punto. Por este punto se trazará la paralela al lado b (que es el lado opuesto al vértice B). El punto donde se cortan las paralelas así construídas, es el punto pedido. Como comprobación puede repetirse la operación explicada en el trazo CA del triángulo.

18. *Problema.*—Por mezcla de tres materiales—A, B, C—se quiere obtener un cuarto Z, que cumpla con las especificaciones. (Dibujo N.º 79),

Colóquense los tres materiales dados en los dos gráficos, y trácense los triángulos.

Si en uno de los gráficos, el triángulo no tiene un sector común con las especificaciones, no será posible—por simple mezcla de A, B y C—obtener un material que satisfaga las exigencias. Si en los dos gráficos se cumple esta condición, el problema se seguirá resolviendo como sigue:

Colóquese en el gráfico granulométrico, la zona de trabajo en plasticidad (También se puede proceder a la inversa; o sea, colocar en el gráfico de plasticidad, la zona de trabajo en granulometría). Zona de trabajo es el sector coincidente, dentro del gráfico, del triángulo determinado por los materiales, con el polígono de las especificaciones.

El traslado de la zona de trabajo se hace en la siguiente forma: En el gráfico de plasticidad se calculan las mezclas representadas en cada uno de los vértices de la zona de trabajo respectiva. Los porcentajes de los materiales A, B y C, se obtendrán, según el caso, por el procedimiento 16) o por el 12).

Después, cada una de las mezclas calculadas, será representada en el gráfico granulométrico; haciendo uso del procedimiento 17) ó 13), según el caso.

Luego se unirán por rectas los puntos obtenidos, en la misma forma como en el otro gráfico.

Si el polígono que se ha obtenido no tiene un sector común con la zona de trabajo en granulometría, ello significa que no es posible obtener por simple mezcla de A, B y C, un material que satisfaga las especificaciones.

Si este sector común existe—Zona de trabajo resultante—cualquier punto situado dentro de él, representará un suelo que satisface las exigencias impuestas.

Dentro de la Zona de Trabajo Resultante, el punto Z que se busca podrá ser elegido aceptando condiciones de seguridad y economía. Bajo este último aspecto, el punto Z deberá ubicarse lo más lejos posible de los materiales caros.

Operatoria completa.

19.—Cuando las circunstancias lo exijan, puede emplearse el gráfico granulométrico como se expresa en 5.º; y el de caracteres hídricos como se detalla en 6.º. El cálculo hecho en esta forma entrega mezclas garantizadas desde los siguientes puntos de vista: Grava gruesa, grava fina, mortero de suelo, suelo fino, agregado grueso, agregado fino, agregado conglomerante, índice de plasticidad y límite líquido.

20.—El procedimiento completo es, en general, igual al ya explicado; sólo que más largo. Se comienza por colocar en los cuatro gráficos las especificaciones y los puntos representativos de los suelos por mezclar. Si en uno solo de los gráficos el triángulo de los suelos no tiene una superficie común con las especificaciones, el problema no puede ser resuelto mediante simple mezcla. Si en todos los gráficos existe esta superficie común.—Zona de trabajo—el problema se continuará trasladando a uno solo de los gráficos las zonas de trabajo de los otros tres. Las mezclas que satisfacen totalmente las especificaciones, se encuentran solamente en el área común de las cuatro zonas de trabajo.

Aplicaciones.

Problema 1.º—Operemos primero con granulometría y plasticidad; y comencemos con ejemplos sencillos de mezclas de dos suelos.

Sea el gráfico de figura 78. Queremos obtener un suelo estabilizado de arcilla-arena, cuyas características queden encerradas dentro de los límites:

Agregado grueso.....	0 %	a	45 %
Agregado fino	35 %	a	70 %
Conglomerante	20 %	a	30 %
Suelo fino.....	35 %	a	70 %
Límite líquido	0 %	a	35 %
Índice de plasticidad.....	3 %	a	9 %

Los suelos tienen las siguientes propiedades:

Características	Material A	Material B
Agregado grueso.....	40 %	15 %
Agregado fino	55 %	40 %
Conglomerante.....	5 %	45 %
Suelo fino.....	55 %	55 %
Límite líquido	30 %	34 %
Índice de plasticidad	1 %	15 %

En primer término observamos que no va a ser necesario operar con el límite líquido, porque ambos suelos están, desde este punto de vista, dentro de las especificaciones.

Dibujemos entonces en los gráficos de plasticidad y granulometría las especificaciones. En el primero, ellas están limitadas por el trapecio GHIJ; y en el segundo, por el paralelogramo CDEF. Pongamos ahora los puntos representativos de los materiales A y B. Vemos que AB corta en ambos gráficos a las especificaciones. Podemos entonces seguir. Para ello traslademos el trazo mn del gráfico de plasticidad al de granulometría. Los puntos m y n en granulometría dividirán el trazo AB en la misma forma que en el gráfico de plasticidad. Para hacer esta división, se emplearán los interpoladores que se acompañan en los gráficos.

Hecho el traslado, vemos que sólo una parte ON del trazo MN ha quedado dentro del paralelogramo de las especificaciones granulométricas; pues bien, cualquier punto situado dentro de ON, satisface integralmente las especificaciones.

El punto P, por ejemplo, ha resultado con 28,2 % de grueso; 48 % de fino; 23,8 % de finísimo; 55 % de suelo fino y 7,6 % de índice de plasticidad.

Cabe ahora preguntarse qué cantidad de A y cuánto de B producen la mezcla P, con las características que se terminan de enumerar. Para saberlo, basta con colocar la recta AB sobre uno de los interpoladores, con sus divisiones extremas (0 y 100) coincidiendo con A y B. La división del interpolador donde se encuentra el punto P marca los porcentajes en pesos buscados: El trazo PA marca el porcentaje de B; y el trazo PB, el de A. Se ve que el material P se compone de 53 % de A y 47 % de B.

Problema 2.º—Se desea construir una carpeta de grava estabilizada de las siguientes características:

Agregado grueso	50 %	a	80 %
Agregado fino	10 %	a	30 %
Conglomerante	10 %	a	20 %
Límite líquido	0 %	a	35 %
Índice de plasticidad	4 %	a	9 %

Los materiales que se mezclarán son:

Características	A	B	C
Agregado grueso	75 %	35 %	50 %
Agregado fino	20 %	60 %	10 %
Conglomerante	5 %	5 %	40 %
Suelo fino	15 %	50 %	50 %
Límite líquido	30 %	25 %	32 %
Índice de plasticidad	12 %	1 %	12 %

Dibujemos en los gráficos (Figura 79) las especificaciones y los triángulos de materiales en la misma forma que en el problema anterior. Observamos que existen dos amplias zonas de trabajo. Por lo tanto, podemos seguir operando. Traslaremos la zona de trabajo en plasticidad OMN al gráfico granulométrico. Para ello, coloquemos primero los puntos M y N, dividiendo a la recta AB del gráfico en la misma forma como dividen al trazo homónimo en el de plasticidad. En seguida, pro-

cedamos a trasladar el punto O. Este punto puede trasladarse trazando por cualquier vértice una transversal que pase por él, y trasladando esa transversal al gráfico granulométrico. Luego se coloca el punto O en la transversal trasladada, de modo que la divida en la misma forma que en el gráfico de plasticidad.

En el gráfico granulométrico, las dos zonas de trabajo tienen coincidentes un sector OPQR: Cualquier punto situado dentro de este sector, satisface íntegramente las especificaciones. Por ejemplo, el punto P, con 61,5 % de agregado grueso; 25,8% de agregado fino; 12,7% de agregado ultrafino; 29,7% de suelo fino; y 8,3% de índice de plasticidad.

La dosificación en peso se calcula pasando por P las tres transversales del triángulo, y colocando cada transversal frente a los interpoladores en la forma que ya se ha explicado.

La dosis resulta:

Material	A	58%
Material	B	20%
Material	C	22%

5.° CONSTRUCCIÓN DE CARPETAS ESTABILIZADAS POR MEZCLA

A. *Dosificaciones de uso práctico.*—El cálculo de estabilización que se termina de estudiar entrega porcentajes en peso de suelos secos. En la práctica no se opera con pesos ni con suelos secos: se trabaja con suelos húmedos, que se miden con unidades de volumen. Es preciso entonces que consideremos estas condiciones al calcular las dosificaciones que se entregarán a los encargados de la construcción de una obra.

1.° *Reducción a Peso Húmedo.*—Supongamos que la dosificación en peso de una mezcla de suelo seco es:

$$38) \quad P' + P'' + P''' + P'''' \dots \dots \dots P^n = 100$$

Si se considera que la humedad de alguno o algunos de los componentes de esta mezcla es tal que puede alterar la dosificación en forma perjudicial, el coeficiente correctivo que se calculó anteriormente, permite eliminar el error:

$$K = \frac{100}{100 + H}$$

donde H es la humedad.

Aplicando la corrección que corresponde a los términos de la dosificación 38), la suma ya no será 100:

$$39) \quad \frac{P'}{K'} + \frac{P''}{K''} + \frac{P'''}{K'''} + \dots \dots \dots + \frac{P^n}{K^n} \neq 100$$

De la fórmula 39) se desprende que los porcentajes en peso de los suelos medidos húmedos serían:

$$Q' = \frac{\frac{P'}{K'}}{\frac{P'}{K'} + \frac{P''}{K''} + \frac{P'''}{K'''} + \dots + \frac{P^n}{K^n}} \cdot 100$$

$$40) \quad Q'' = \frac{\frac{P''}{K''}}{\frac{P'}{K'} + \frac{P''}{K''} + \frac{P'''}{K'''} + \dots + \frac{P^n}{K^n}} \cdot 100$$

En general estas fórmulas no se aplican porque la humedad de los suelos tienen valores tan bajos en la época de trabajo, que no alcanzan a influenciar en forma perjudicial los resultados obtenidos calculando con suelos secos.

Su aplicación es, en cambio indispensable, cuando se trabaja en época lluviosa, y se opera con suelos capaces de absorber grandes cantidades de agua, como son los trumaos y ciertas arcillas.

2.º Reducción a volumen.

Sea una dosificación en peso:

$$41) \quad P' + P'' + P''' + \dots + P^n = 100$$

Los pesos aparentes correspondientes a cada uno de los suelos dosificados sean:

$$42) \quad g', g'', g''' \dots g^n$$

Transformemos en volúmenes los pesos P' , P'' , etc. de la fórmula 41):

$$\frac{P'}{g'} + \frac{P''}{g''} + \frac{P'''}{g'''} + \dots + \frac{P^n}{g^n} = 100$$

La dosis porcentuales volumétricas de cada material quedarían expresadas en las fórmulas:

$$V' = \frac{\frac{P'}{g'}}{\frac{P'}{g'} + \frac{P''}{g''} + \frac{P'''}{g'''} + \dots + \frac{P^n}{g^n}} \cdot 100$$

$$V'' = \frac{\frac{P''}{g''}}{\frac{P'}{g'} + \frac{P''}{g''} + \frac{P'''}{g'''} + \frac{P^n}{g^n}} \cdot 100$$

etc., etc.

B. *Procedimientos de construcción.*—Preparada la subrazante, es decir, mejorados los sectores que exigían mejoramiento; y regada y rodillada «hasta que el rodillo no deje huellas», se procede a colocar la capa de base.

La confección y colocación de capas de material estabilizado, puede realizarse según diferentes procedimientos. A continuación expondré y justificaré el que me ha dado más felices resultados.

1.º *La medida.*—Es conveniente medir los materiales a mezclar en cajones sin fondo como el de la figura. Se construye un cajón para cada material. Se obtiene

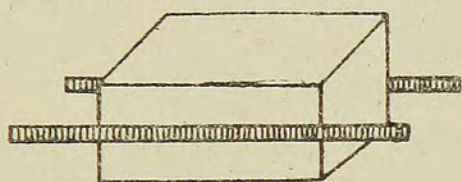


Figura 81

un buen rendimiento, sin fatigar excesivamente al personal, confeccionando el cajón del ripio con una capacidad de un metro cúbico. Las dimensiones de los otros se calculan de acuerdo con los datos de la dosificación volumétrica.

La dosificación en cajones permite entregar a los cabos y mayordomos de obra—poco familiarizados con porcentajes—una manera de realizar y controlar la faena, extremadamente sencilla.

Como ejemplo citaré la dosificación entregada a la autoridad comunal de Purén, para la construcción de la calle Imperial.

Chancado (Muestra 56). Cajón de 1,41 . 1,41 . 0,50 m³.

Suelo actual de la calle. (Muestra 58). Cajón de 1 . 1 . 0,80 m³. Cada *Cachada* rendirá cuatro metros de longitud en el camino de cuatro metros de ancho.

La dosificación entregada en esta forma de fácil aplicación, corresponde a la siguiente obtenida por cálculo gráfico:

Muestra	Dosis peso	Peso aparente	Dosis volumen
56	65%	1,847	56%
58	35%	1,256	44%

Las ventajas que ofrece el método de la medida en cajones son las siguientes:

a) Permite realizar rigurosamente las dosis calculadas.

b) Permite un control directo e inmediato de las entregas de los proveedores.

La importancia de este control sólo puede ser apreciada debidamente por quienes hayan dirigido personalmente esta clase de obras.

c) Al entregar como dato de construcción el rendimiento en longitud de cada mezcla, suministra un último sistema de control de material adquirido. (Control que se realiza midiendo espesores y longitudes).

d) Simplifica el trabajo de cabos y mayordomos, que no tienen que pensar ya en el espesor de la capa, sino en el rendimiento por «cachada» y en los niveles.

e) Permite realizar convenios sencillos con los obreros, por la medida, mezcla y colocación del material.

2.º *La mezcla y colocación.*—La mezcla a mano por cuatro obreros, realizada como la revoltura de un concreto hecho a mano y dándole dos «pasadas» a la mezcla, me ha dado espléndidos resultados. Para que el mayordomo realice bien su trabajo de control, es preciso mostrarle como debe quedar la mezcla después de la revoltura completa, y como queda cuando se ha eludido parte del trabajo.

La colocación del material, como la revoltura, se hacía a mano. El precio que se pagaba por la medida, revoltura y colocación de un metro cuadrado de capa de diez centímetros de espesor, era de treinta centavos cuando se mezclaban dos materiales; y de treinta y cinco centavos cuando se mezclaban tres.

3.º *La Consolidación.*—La consolidación debe hacerse con riego, con el objeto de dar al material la humedad de máximo rendimiento compactivo. Si el proyecto incluye tratamiento salino, la sal puede disolverse en el agua de compactación. La cantidad de agua necesaria se determina mediante el ensayo de compactación que se explica en el capítulo destinado a las Medidas Edafológicas. El rodillo debe pasarse hasta que no deje huella.

4.º *Procedimiento económico.*—Donde los fondos son escasos y se cuenta con una inspección segura al 100%, el trabajo puede simplificarse.

El suelo natural no se mide, sino que se obtiene medido, construyendo el cofre de dimensiones tales que el total del material extraído, más el adquirido, realice la dosificación calculada. El material adquirido tampoco se mide en cajones, sino en el mismo vehículo mediante el sistema de las marcas. El proveedor debe colocar el material cada cierta distancia calculada.

Este procedimiento me ha dado buen resultado en las dos ocasiones en que he hecho uso de él. El éxito se debe a que conté con la inspección gratuita y severa de las autoridades y vecinos interesados en la obra.

5.º *Procedimientos mecánicos.*—El trabajo con equipo de niveladora-escarificadora, es bastante más complicado, y exige personal especializado que no es posible improvisar.

El procedimiento se resume en lo siguiente. Preparada la subrazante, se escarifica en la cantidad necesaria para suministrar la dosis volumétrica calculada para el suelo natural. La tierra suelta se reúne luego en un caballete al centro del camino, y se le agrega, colocándolo encima, el material ripioso en la cantidad especificada. El material ligante se coloca en las bermas; se deja secar, se muele y se le coloca finalmente en caballetes en las mismas bermas.

El caballete central se desparrama; y sobre él se desparrama también el ligante; en seguida se revuelve con la niveladora hasta color uniforme. Conseguido esto, se coloca la mezcla en ambas bermas, se riega la base, y se comienza a depositar la mezcla, regarla y consolidarla, por parcialidades de un medio del espesor total.

La revoltura mecánica puede ser hecha también con betoneras de hormigón; o en plantas mezcladoras del tipo de las que se emplean para mezclar gravas y arenas con bitúmenes.

(Continuará).