Ing. Belisario Maldonado P.

Elementos de Edafología y Edafotecnia

(*Continuación*)

Capítulo III.—Cálculo de estabilización de suelos

1.° Generalidades.— 2.° Consideraciones sobre la granulometría.—3.° Consideraciones sobre las constantes hídricas.

1.° *Generalidades.*

Se ha dicho ya que en la naturaleza no abundan suelos con características iguales a las que se han especificado en el capítulo anterior. La Edafotecnia Caminera resuelve el problema de obtener artificialmente estas características.

El mejoramiento vial de un suelo puede obtenerse de las siguientes maneras:

a) Mezclando suelos.

b) Por procedimientos físico-químicos tales como el agregado de sales.

c) Tratando suelos con substancias consolidantes tales como bitúmenes, silicatos y desperdicios industriales.

d) Tratando suelos con cementos: cemento portland, cal hidratada, cemento de soreil, turba, etc.

e) Tratando suelos con métodos térmicos.

f) Tratando arcillas y arenas por diversos métodos especiales.

El problema fundamental de la edafotecnia es el de las mezclas; y se plantea en la siguiente forma: si se dispone de ciertos materiales para la confección de una calzada, que no satisfacen las especificaciones, ¿es posible que una mezcla de ellos las cumplan?; y, si esto es así, ¿cómo calcular las dosis de mejor rendimiento?

2.° *Consideraciones sobre la granulometría.*

Sean dos materiales, 1.° y 2.° (Ver Figura N.° 66) que se quieren mezclar para obtener un tercero que satisfaga las especificaciones.

Coloquemos primero en un cuadro los datos y las exigencias:

DIÁMETRO	MATERIALES		ESPECIFICACIONES	
(Pasa)	1.º	2.º	Superior	Inferior
1 1/2″	a′ %	a″ %	A′ %	A″ %
1″	b′	b″	B′	B″
3/4	c′	c″	C′	C″
1/2	d′	d″	D′	D″
1/4	e′	e″	E′	E″
10 m	f′	f″	F′	F″
40	g′	g″	G′	G″
200	h′	h″	H′	H″
0,005 m/m	i′	i″	I′	I″

Los materiales 1.º y 2.º deben mezclarse en una proporción tal que, siendo m′ el porcentaje del 1.º y m″ el del 2.º:

$$A' > \frac{m'a' + m''a''}{m' + m''} > A''$$

$$B' > \frac{m'b' + m''b''}{m' + m''} > B''$$

$$C' > \frac{m'c' + m''c''}{m' + m''} > C''$$

$$D' > \frac{m'd' + m''d''}{m' + m''} > D''$$

1) $$E' > \frac{m'e' + m''e''}{m' + m''} > E''$$

$$F' > \frac{m' f' + m'' f''}{m' + m''} > F''$$

$$G' > \frac{m' g' + m'' g''}{m' + m''} > G''$$

$$H' > \frac{m' h' + m'' h''}{m' + m''} > H''$$

$$I' > \frac{m' i' + m'' i''}{m' + m''} > I''$$

Si los materiales a mezclar, en vez de dos, fuesen n, entonces las fórmulas quedarían (para 1/2 pulgada):

$$2)\quad D' > \frac{m' d' + m'' d'' + m''' d''' + m'''' d'''' + \ldots + m^n d^n}{m' + m'' + m''' + \ldots\ldots + m^n} > D''$$

Teniendo a la vista estas fórmulas; y considerando que a ellas es preciso agregar las condiciones relativas a plasticidad, límite líquido, etc., se comprende que la resolución analítica del problema de calcular mezclas, es prácticamente imposible.

Volvamos, pues, al gráfico de que hablamos al principio de estas líneas (Figura N.° 66).

Coloquemos en el gráfico las especificaciones y las curvas de los suelos que queremos mezclar. Para ello hagamos uso del cuadro de la página (147).

Observamos que ninguna de las dos curvas de los materiales queda dentro del área definida por las especificaciones. Estudiemos, entonces, un procedimiento gráfico que permita encontrar aquella o aquellas mezclas que cumplen con dichas especificaciones.

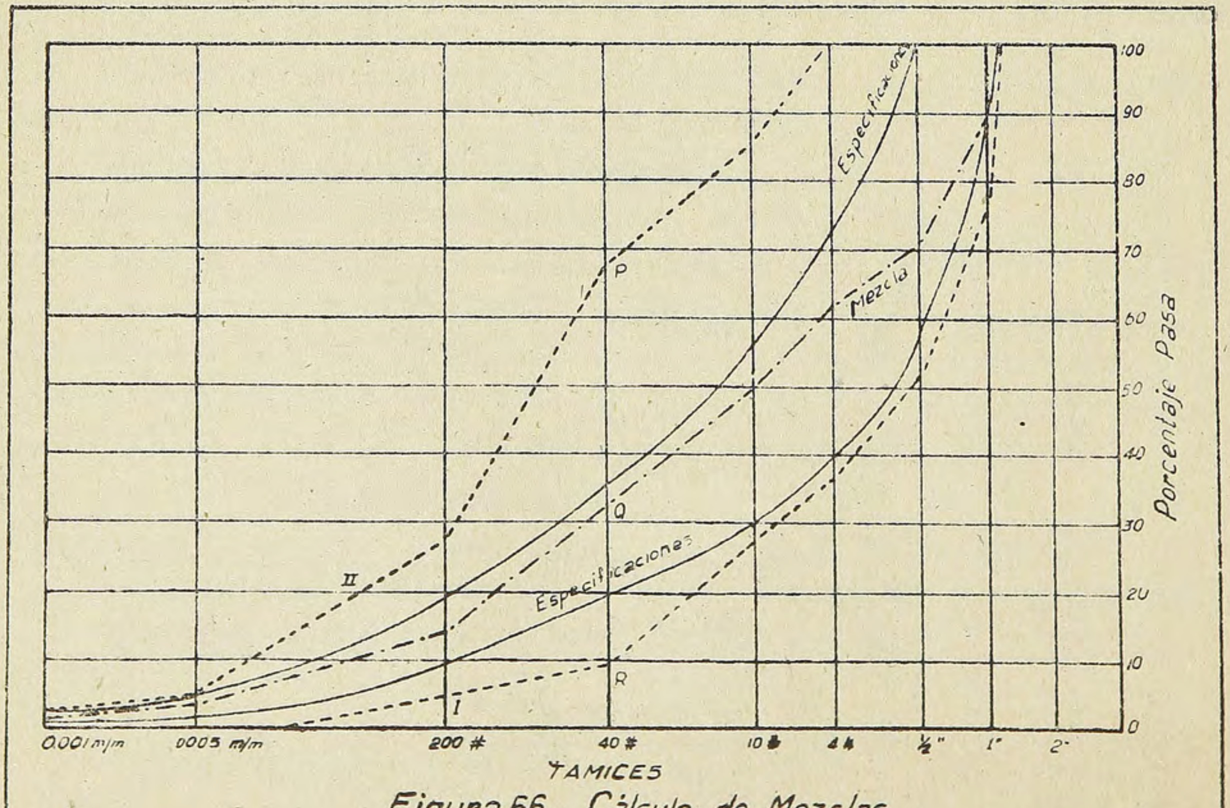

Figura 66 Cálculo de Mezclas

Aceptemos un par de valores m′ y m″ (m′ + m″ = 100); y dibujemos la curva granulométrica que corresponde a una mezcla hecha en estas proporciones. Para ello, coloquemos un punto cualquiera de la curva; sea el que corresponde a 40 mallas.

$$3) \qquad g = \frac{m' g' + m'' g''}{m' + m''}$$

Sea Q el punto de ordenada g. Tenemos:

$$RQ = g - g'$$
$$QP = g'' - g$$

$$RQ = \frac{m' g' + m'' g''}{m' + m''} - g'$$

$$RQ = \frac{m''}{m' + m''} (g'' - g')$$

$$QP = \frac{m'}{m' + m''} (g'' - g')$$

$$4) \qquad \underline{RQ : QP = m'' : m'}$$

Hemos demostrado, pues, que el punto Q de la curva de la mezcla divide al trazo PR, en razón inversa de los correspondientes porcentajes. Se desprende de aquí un procedimiento gráfico—el que se emplea corrientemente—para obtener Q, conociendo m′ y m″: mediante un interpolador se divide el trozo PR en sectores proporcionales a m′ y m″; el lado adyacente a P, proporcional a m′; y el adyacente a R, proporcional a m″.

Lo que se ha demostrado para un punto cualquiera de la curva es válido, naturalmente, para todos.

Dibujada la curva mediante este método simplificado, se ve si ha quedado dentro o fuera de las especificaciones. Si ha quedado dentro, el problema ya está resuelto; si aun está afuera, o tiene sectores afuera, es preciso tantear con un nuevo sistema de valores.

El triángulo de Féret, que estudiamos en la Edafología (Medidas Edafológicas), proporciona un método más sencillo aun para el cálculo de mezclas granulométricas.

Cada material queda representado en este diagrama por un punto cuyas coordenadas son: porcentaje de agregado grueso, de agregado fino y de Conglomerante (Figura 67).

Las especificaciones se reducen a fijar límites para estos tres agregados; así, las que corresponden a grava estabilizada son:

Agregado grueso	de	50%	a	80%
Agregado fino	de	10%	a	30%
Conglomerante	de	10%	a	20%

Del mismo modo, las especificaciones para calzada de arcilla-arena quedan:

Agregado Grueso	de	0%	a	45%
Agregado Fino	de	35%	a	70%
Conglomerante	de	20%	a	30%

Coloquemos en el gráfico las especificaciones correspondientes a calzadas de grava estabilizada:

Los límites relativos al conglomerante son las rectas a y b; las que corresponden al agregado fino, las rectas c y d; y las del agregado grueso, las rectas e y f.

Estas rectas definen el llamado paralelógramo de las especificaciones, que ha sido trazado con línea llena en el dibujo.

Cualquier material cuyo punto representativo quede dentro de este paralelógramo, satisface las especificaciones.

Sean ahora tres materiales: P, Q y R:

AGREGADOS	P	Q	R
Grueso	G′ = 100	G″ = 10	G‴ = 10
Fino	F′ = 0	F″ = 10	F‴ = 80
Conglomerante	C′ = 0	C″ = 80	C‴ = 10

Ninguno de estos tres materiales satisface las especificaciones, como puede verse en el gráfico y en los cuadros. Cabe preguntarse si existe mezclas de ellos que las satisfagan. (Figura N.º 67).

Todas las soluciones posibles se encuentran dentro del área definida por las especificaciones, de modo que todo el problema se resume en saber si existen mezclas entre los tres materiales P, Q y R, cuyos puntos representativos estén situados dentro de dicha área.

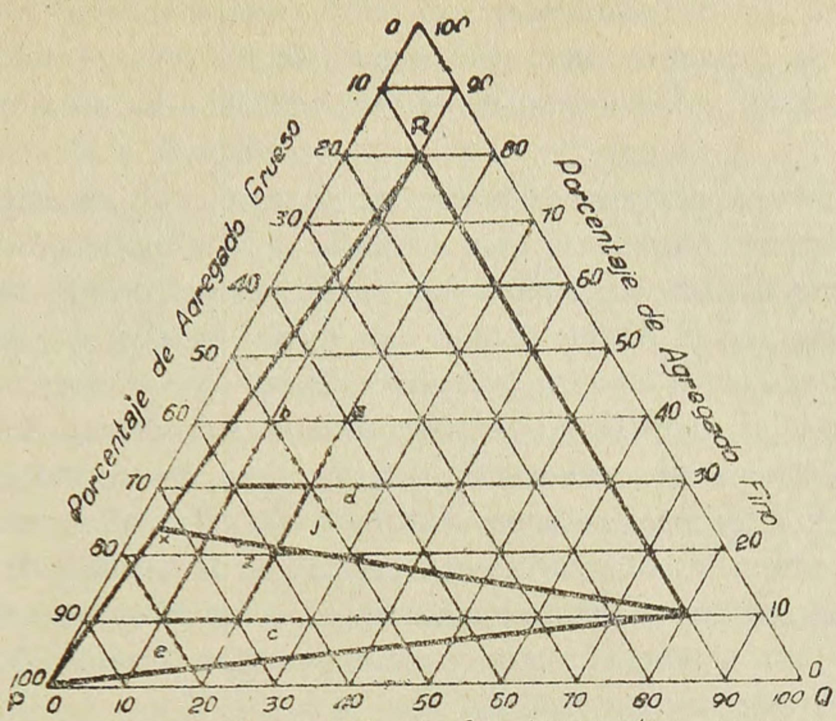

Figura 67. Metodo del Triángulo de Féret para el cálculo de mezclas estabilizadas

Para poder estudiar esta posibilidad, es preciso que previamente resolvamos el problema de colocar en el gráfico, el punto representativo de la mezcla entre dos materiales.

Supongamos una mezcla entre m% de P y n% de R.

¿Dónde está el punto representativo de tal mezcla?

El porcentaje G de agregado grueso de la mezcla, debe ser el promedio compensado de G′ y G‴:

5) $$G = \frac{m G' + n G'''}{m + n}$$

Dentro del gráfico, el lugar geométrico de los puntos de coordenadas G, es una recta paralela al eje fino, que corta al trazo PR en un punto X tal que:

6) $$PX : XR = n : m$$

Del mismo modo, el porcentaje N de agregado fino de la mezcla debe ser:

7) $$F = \frac{m F' + n F'''}{m + n}$$

Dentro del gráfico, el lugar geométrico de los puntos de coordenadas F, es una recta paralela al eje conglomerante, que corta el trazado PR en un punto X tal que:

8) $$PX : XR = n : m$$

Igual raciocinio puede hacerse para el porcentaje de material conglomerante.

Con esto hemos demostrado que el punto representativo de la mezcla entre dos materiales, se encuentra en el trazo recto que los une, y solamente dentro de él; y que lo divide en forma inversamente proporcional a los porcentajes en que se mezclan.

La propiedad que se termina de demostrar permite el desarrollo de un procedimiento sencillo para estudiar la granulometría de dos materiales.

1.° Si la recta que une sus puntos representativos no corta el paralelógramo de las especificaciones, no es posible obtener una mezcla de ellos que la satisfagan.

2.° Si el trazo corta las especificaciones, existe toda una serie de mezclas que la satisfacen: aquellas cuyos puntos representativos están dentro del paralelógramo.

Resolvamos ahora este problema: dado un punto dentro del trazo que es el lugar geométrico de las mezclas entre dos materiales dados (punto que representa un suelo de determinadas características), determinar la dosificación.

Volvamos al gráfico, y determinemos en él el porcentaje m de P y n de R que se precisan para obtener el material representado en el punto X.

Sabemos ya que:

$$PX : XR = n : m \tag{9}$$

Componiendo:

$$PX : PR = n : 100$$

De aquí:

$$n = 100 \frac{PX}{PR} \tag{10}$$

Igualmente:

$$m = 100 \frac{XR}{PR} \tag{11}$$

El porcentaje de P es, pues, el porcentaje de RX con respecto a PR; y el de R, el porcentaje de PX, con respecto a PR. En suma, son los porcentajes, respecto al trazo entero de los sectores en que lo divide el punto X.

Ahora ya podemos abordar el problema de la mezcla entre tres materiales.

El punto representativo de la mezcla entre dos materiales P y R, se mueve a lo largo del trazo PR, al variar la dosis. Ahora bien, este punto, sea X, representa un material que a su vez puede ser mezclado con otro cualquiera Q; pudiendo estar la nueva mezcla representada en cualquier parte de la recta QX. De aquí se desprende que el lugar geométrico de todos los puntos representativos de las mezclas posibles entre tres materiales, es el área del triángulo formado por sus puntos representativos.

Se deduce de aquí que, si este triángulo—que llamaremos triángulo de materiales—no tiene un sector común con el paralelógramo de las especificaciones, ninguna mezcla de esos tres materiales puede satisfacerlas.

Si lo tiene, todas aquellas mezclas cuyos puntos representativos estén dentro del área común de ambos polígonos, cumplen las exigencias.

Dentro de esta área, elijamos un punto Z, que representará un material de determinadas características. Calculemos la dosificación que permitirá obtenerlo.

Para ello, hagamos pasar por Z una transversal cualquiera entre las tres posibles; sea esta la transversal QZ que prolongaremos hasta cortar el lado opuesto en X. Calculemos ahora la dosificación del material X, entre P y R; y luego, la dosificación del material Z, entre X y Q.

Este procedimiento que es el empleado corrientemente—y en el cual se fundan algunas construcciones gráficas más o menos complejas—no tiene razón de ser: *No es necesario el cálculo de la mezcla ficticia X.*

En efecto, en la recta QX, el porcentaje de XZ con respecto a QX. *es el porcentaje de Q en la mezcla que se calcula.*

Ahora bien, si por Z se pasan las otras dos transversales, los porcentajes de P y R, pueden calcularse en la misma forma que Q.

Esto conduce a un teorema de geometría:

«Si por un punto cualquiera de un triángulo cualquiera se trazan las tres transversales, la suma de las razones entre el sector de cada transversal adyacente al lado y la transversal entera es Uno».

3.º *Consideraciones sobre las constantes hídricas.*

El índice de plasticidad es una constante que se determina sobre el suelo fino (material que pasa 40 mallas).

Sean n suelos

$$A', A'', A''', A'''' \ldots\ldots, \text{etc}$$

cuyas dosis porcentuales de suelo fino son: S', S'', S''', S'''',......., etc.; y cuyos índices de plasticidad son I', I'', I''', etc.

Al mezclar estos n suelos en las dosis porcentuales X', X'', X''', etc., se obtendrá un material cuyo porcentaje de suelo fino será la suma de los siguientes aportes:

Aporte del suelo A'......................	$0{,}01\ X'\ S'$
» » » A''......................	$0{,}01\ X''\ S''$
» » » A'''......................	$0{,}01\ X'''\ S'''$
....	
....	
» » » A^n......................	$0{,}01\ X^n\ S^n$

Ahora bien, el I de una mezcla de suelos finos es aproximadamente igual al promedio aritmético compensado de los I de los componentes.

$$12)\qquad I = \frac{I' S' X' + I'' S'' X'' + I''' S''' X''' \ldots + I^n S^n X^n}{S' X' + S'' X'' + S''' X''' \ldots + S^n X^n}$$

De la misma manera, si en una mezcla de los mismos suelos se quiere calcular el límite líquido L, a base de los L', L'', etc., de los componentes:

$$13)\qquad L = \frac{L' S' X' + L'' S'' X'' + L''' S''' X''' + \ldots + L^n S^n X^n}{S' X' + S'' X'' + S''' X''' + \ldots\ldots S^n X^n}$$

(*Continuará*)