Ing. Belisario Maldonado P.

Elementos de Edafología y Edafotecnia

(Continuación)

4.° Método gráfico para el cálculo de estabilización de suelos.—A) Explicaciones.—B) Gráfico granulométrico.—C) Gráfico de caracteres hídricos.—D) Cálculo de mezclas estabilizadas.

4.°—Método gráfico para el cálculo de estabilización de suelos

A —EXPLICACIONES.

La aplicación sistemática de las fórmulas, gráficos y tanteos que se terminan de estudiar, en los cálculos de mezclas, no es cómoda ni racional.

El *método gráfico* que tengo el agrado de presentar, racionaliza el cálculo de las mezclas estabilizadoras.

El procedimiento entrega mezclas garantizadas desde los puntos de vista de *granulometría, índice de plasticidad y límite líquido.*

El cálculo se realiza mediante operaciones gráficas hechas en dos dibujos: el de Granulometría y el de Caracteres Hídricos.

El Gráfico granulométrico puede ser el Triángulo de Féret; pero, por razones de comodidad, se ha preferido en este método el uso del diagrama ortogonal.

El gráfico de Carateres Hídricos ha sido proyectado por el suscrito, y sirve para estudiar la plásticidad y el límite líquido de los suelos.

Dentro de estos gráficos, cada material queda representado por un punto. Todas las mezclas posibles entre dos materiales quedan representadas dentro del trazo que une sus puntos representativos, y todas las posibles entre tres materiales, dentro del triángulo correspondiente.

Las especificaciones son cuadriláteros. Dentro de ellos, todos los puntos representan materiales aptos.

El procedimiento que se expondrá consiste en superponer *zonas de trabajo*, llamando así al sector coincidente en cada gráfico, entre el cuadrilátero de las especificaciones y el triángulo formado por los puntos representativos de los materiales.

La operatoria completa está explicada, con amplios detalles, en las *instrucciones* que se adjuntan. Su estudio habilita para la resolución de cualquier problema de estabilización, sin que sea preciso conocer previamente la teoría del método, que se expone en la primera parte del presente párrafo.

El autor considera conveniente llamar la atención hacia el hecho de que, si bien la explicación del Procedimiento resulta compleja, su aplicación es muy sencilla.

B.—Gráfico granulométrico.

Para el cálculo de la granulometría, puede emplearse cualquiera de los métodos estudiados en el párrafo 2.°. He preferido el uso del diagrama ortogonal por considerarlo más adecuado para aplicaciones numéricas.

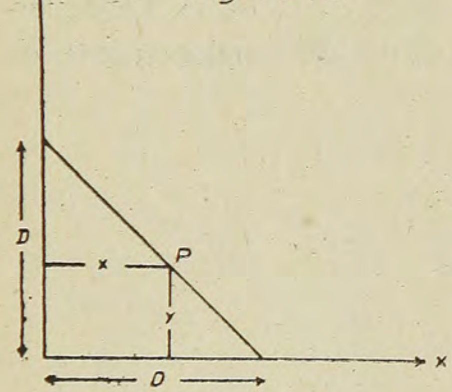
Sea (Fig. 68), un sistema ortogonal de coordenadas. P (x, y), representa a un determinado material, compuesto de X% de un componente, Y% de otro; y de un resto R% tal que:

14) $$X + Y + R = 100$$

Estudiemos esta ecuación. Aceptando que el resto R se mantiene constante; y haciendo variar a X (por lo tanto a Y), el punto P correspondiente se mueve según una recta, cuyas características determinaremos:

15) $$\begin{array}{lll} \text{Para } X = O & & Y = 100 - R \\ \text{Para } Y = O & & X = 100 - R \end{array}$$

Figura 68



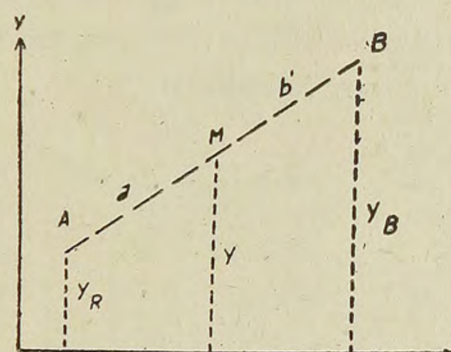


Figura 69

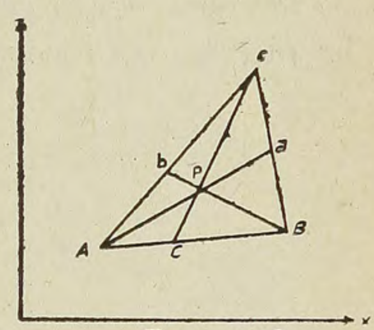
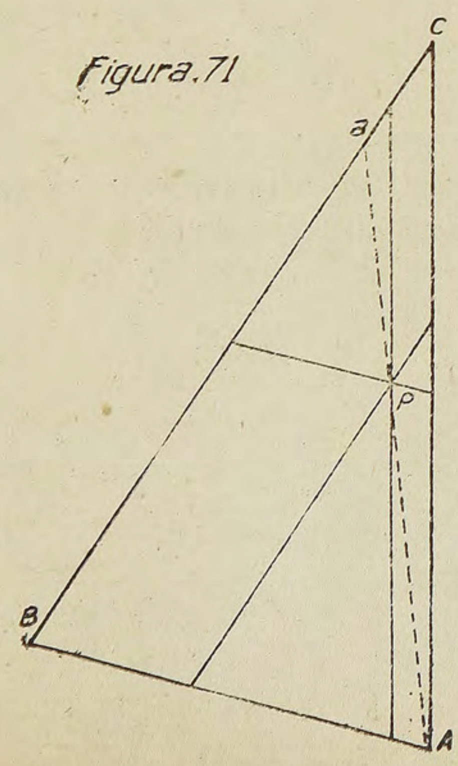


Figura 70

Figura.71



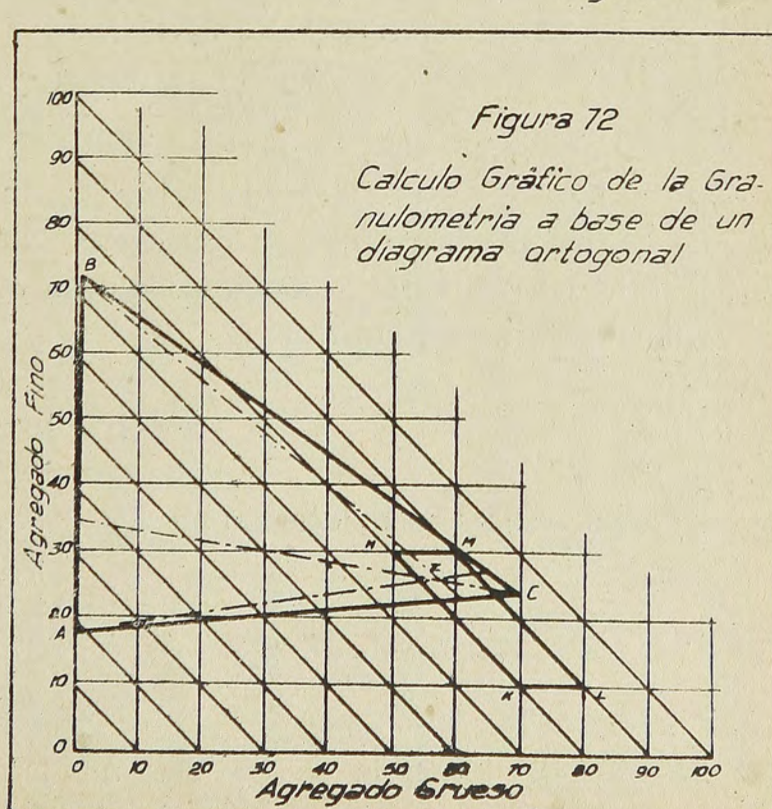


Figura 72

Calculo Gráfico de la Granulometría a base de un diagrama ortogonal

Se trata, pues, de una recta a 45 grados, cuya posición en el gráfico está definida por el valor de R. Ella corta a los ejes a una distancia D del origen, tal que:

$$16)\qquad D = 100 - R$$

Considerada en su aspecto más general, la ecuación 14 representa a una familia de rectas paralelas, a 45°; cada una de las cuales corta a los ejes a una distancia D del origen definida por 16).

Nuestro gráfico será justamente esta familia de rectas. Los ejes coordenados serán graduados entre cero y cien; y cada una de las rectas de la familia, será numerada con el correspondiente valor de R.

Estudiemos ahora el gráfico bajo el aspecto que nos interesa. Sean dos suelos que se van a mezclar. El primero, llamémosle A, se compone de X'% de Finos; Y'% de Gruesos; y R'% de Limo y arcilla (conglomerante). El segundo, B, está compuesto de X''% de Finos; Y''% de Gruesos; y de R''% de conglomerante (Figura N.° 69).

El primer asunto que estudiaremos será el de la representación en nuestro gráfico de todas las mezclas posibles entre A y B.

Consideremos una mezcla que se compone de a % de A y b% de B. De acuerdo con esto, los porcentajes X de Finos; Y, de gruesos; y R, de conglomerante, de las mezclas, que denominaremos M, serán:

$$X = \frac{aX' + bX''}{100}$$

$$17)\qquad Y = \frac{aY' + bY''}{100}$$

$$R = \frac{aR' + bR''}{100}$$

El sistema 17), constituye las ecuaciones paramétricas de la línea que describe el punto M cuando varía la composición de la mezcla que representa.

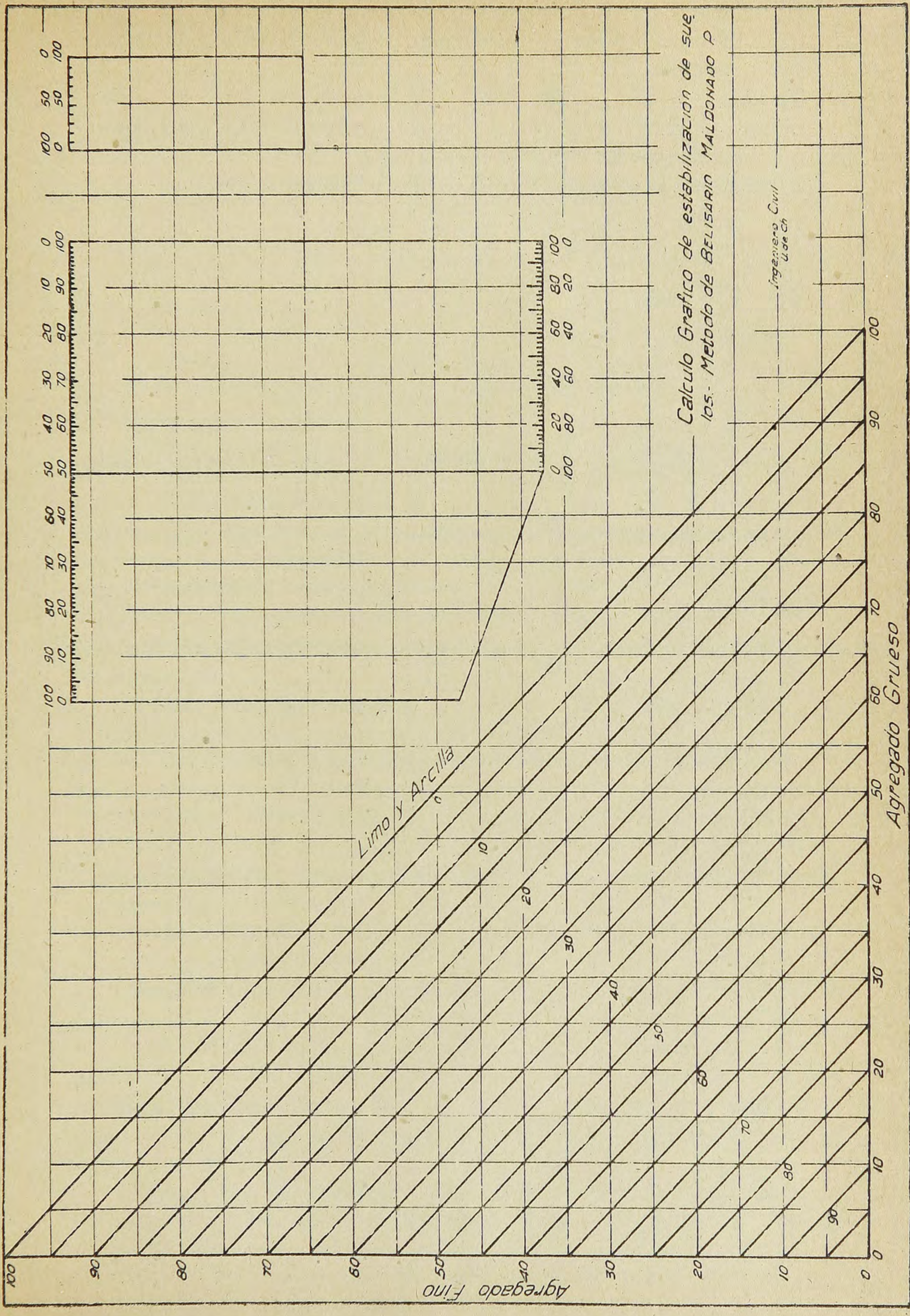
Eliminemos los parámetros:

$$18)\qquad a + b = 100$$

De aquí resulta, introduciendo en 17:

$$19)\qquad \frac{X - X''}{X' - X''} = \frac{Y - Y''}{Y' - Y''}$$

La ecuación 19) es la de una recta que pasa por los puntos A y B.


Calculo Grafico de estabilizacion de suelos.- Metodo de BELISARIO MALDONADO P.
Ingeniero Civil
U. de Ch
Limo y Arcilla
Agregado Grueso
Agregado Fino

De las ecuaciones 17), se desprende también que los valores de X e Y fuera del trazo AB, carecen de sentido edafotécnico, por corresponder a porcentajes negativos de los suelos.

Por lo tanto:

El lugar geométrico de los puntos representativos de la mezcla entre dos suelos, es el trazo que une sus puntos representativos.

Interpretemos la ecuación 19) en el dibujo. Amplifiquemos por —1:

20) $$\frac{X - X''}{X'' - X'} = \frac{Y - Y''}{Y'' - Y'}$$

Componiendo:

21) $$\frac{X - X'}{X'' - X'} = \frac{Y - Y'}{Y'' - Y'}$$

Apliquemos ahora en el dibujo, el teorema de las rectas cortadas por paralelas:

22) $$\frac{X - X'}{X'' - X'} = \frac{Y - Y'}{Y'' - Y'} = \frac{a'}{a' + b'}$$

De aquí resulta:

23) $$X = \frac{a' X'' + b' X'}{a' + b'}$$

23) $$Y = \frac{a' Y'' + b' Y'}{a' + b'}$$

23) $$R = \frac{a' R'' + b' R'}{a' + b'}$$

Las fórmulas 23) son idénticas con las 17), a condición de que:

24) $$a' = K b$$

$$b' = K a$$

Sumando:

$$K = \frac{a' + b'}{a + b}$$

25)

$$K = \frac{a' + b'}{100}$$

Dividiendo:

$$a : b = b' : a' \tag{26}$$

Componiendo:

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{b'}{a' + b'}\,100 \\ b &= \frac{a'}{a' + b'}\cdot 100 \end{aligned}\right. \tag{27}$$

Hemos llegado al mismo resultado que en el triángulo de Féret; y que se resume en lo siguiente:

«El punto representativo de la mezcla entre dos materiales se encuentra en el trazo que une a los puntos representativos de esos materiales; y solamente dentro de él; y lo divide en sectores que son inversamente proporcionales a los respectivos porcentajes. En esta forma, el porcentaje de cada material es, en el trazo que une sus puntos representativos, el porcentaje del sector adyacente al otro material, con respecto al trazo entero».

Al calcular una mezcla, ya sea con el gráfico ortogonal o el de Féret, podemos ahorrarnos las operaciones aritméticas de calcular porcentajes, mediante el uso de un interpolador.

En efecto, si con un interpolador graduado con 100 divisiones, descomponemos la recta AB en cien partes, la división del interpolador en que queda el punto M, marcará los porcentajes de los componentes: El número de divisiones entre M y B, será el porcentaje de A; y el número de divisiones entre M y A, el porcentaje de B.

El problema recíproco; o sea, la determinación gráfica de la granulometría de una mezcla entre a% de A y b% de B, también es muy sencillo de resolver mediante el interpolador: Basta con hacer uso de él para dividir la recta AB, en trazos inversamente proporcionales a a y a b.

Mezclas de tres materiales.—Sean tres materiales: A, B y C, que se mezclan para obtener un cuarto P. (Figura N.° 70).

Ubiquemos el lugar geométrico de los puntos representativos de esta mezcla. Sabemos ya que el de las mezclas posibles entre A y B, se encuentra en el trazo AB. Del mismo modo, toda mezcla entre el material representado en un punto cualquiera de AB, y el material C, estará dentro del trazo que une a ambos puntos.

De aquí se desprende que, como en el triángulo de Féret, toda mezcla entre los suelos A, B y C, sólo puede quedar representado por un punto situado dentro del triángulo ABC.

Tratemos ahora de encontrar el procedimiento más sencillo para determinar los porcentajes en que deben mezclarse los suelos A, B y C para formar un cuarto P, que debe estar dentro del triángulo formado por los primeros.

Tracemos por P las tres transversales del triángulo. Sean ellas aA, bB y cC. De acuerdo con lo que se ha explicado más atrás, el punto b, representa una mezcla de los suelos A y C. Por otra parte, P, representa otra mezcla entre b y B, en la cual, la proporción de B, puede calcularse mediante la fórmula:

$$B = 100 \frac{Pb}{bB}$$

El mismo razonamiento puede hacerse para las otras dos transversales; de modo que:

$$A = 100 \frac{Pa}{Aa}$$

28) $$B = 100 \frac{Pb}{Bb}$$

$$C = 100 \frac{Pb}{Cc}$$

Naturalmente que, teniendo interpolador, no es necesario realizar estas operaciones: Se colocará el interpolador en cada transversal con sus divisiones extremas coincidiendo con los extremos de la transversal; y se leerán las divisiones comprendidas entre el punto P y el lado del triángulo. El valor leído será el porcentaje del material representado en el vértice respectivo.

La resolución del problema recíproco de encontrar gráficamente la granulometría de una mezcla entre tres materiales mezclados en una proporción dada, también es sencillo de resolver mediante el interpolador.

El problema se reduce a colocar en el gráfico el punto representativo de la mezcla. Sean, pues, tres materiales que se mezclan en la proporción a% de A,b% de B y c% de C (Figura N.° 71).

El punto P, representativo de la mezcla se caracteriza porque divide a las transversales en sectores proporcionales: el trazo que da al lado, al porcentaje del vértice respectivo; y el trazo que da al vértice, al correspondiente complemento de 100 (la suma de los otros dos porcentajes).

Es preciso entonces, buscar el lugar geométrico de los puntos que satisfacen esta condición.

De acuerdo con la geometría de las rectas proporcionales, si por P trazamos una paralela al lado CB, esa paralela divide a los lados AB y AC, en la misma forma que el punto P divide a la transversal Aa. Entonces, si el lado AB (o el AC) lo dividimos en la misma forma como habríamos dividido a la transversal; y por el punto de división pasamos una paralela al lado BC, esa paralela será uno de los lugares geométricos buscados. En la misma forma se pueden obtener los otros. La intersección de ellos da el punto pedido.

Problema.—Se trata de obtener por mezcla, un material que satisfaga las siguientes especificaciones (Figura N.° 72).

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

Los suelos disponibles son tres:

Agregados:	A	B	C
Grueso	0	1,00	70,00
Fino	18,00	72,00	24,00
Conglomerante	82,00	27,00	6,00

Coloquemos primero en el gráfico las especificaciones, en la misma forma como en el triángulo de Féret.

De acuerdo con los datos, KLMN es el paralelógramo de las especificaciones.

Cualquier punto situado dentro de este paralelógramo representa un material de buenas características granulométricas.

Coloquemos ahora en el gráfico los materiales A, B y C; y unamos estos tres puntos. Obtendremos un triángulo, que hemos llamado triángulo de materiales. Como sabemos, todas las mezclas posibles entre los tres materiales están representadas solamente dentro del área de dicho triángulo.

Ahora bien: el paralelógramo de las especificaciones y el triángulo de materiales tienen coincidente el área encerrada por la figura KNPQ, que en lo sucesivo llamaremos zona de trabajo en granulometría. Dentro de esta zona, y solamente dentro de ella están representadas todas las mezclas posibles entre los tres materiales que satisfacen las especificaciones.

Elijamos dentro de KNPQ, un material. Sea éste el que está representado por la letra Z. Se trata de saber cuánta cantidad de A, B y C se necesita para obtener Z.

Para obtener estos porcentajes, tracemos por Z las tres transversales AZ, BZ y CZ; y prolonguémoslas hasta cortar los correspondientes lados opuestos. Coloquemos ahora sobre cada transversal el interpolador graduado en 100 divisiones; con sus divisiones extremas coincidiendo con los extremos de la transversal, y leamos en cada una de ellas las divisiones comprendidas entre Z y el lado:

A	11,0%
B	5,5%
C	83,5%

Observación.—No se necesitan los tres materiales, A, B y C, para obtener una mezcla que satisfaga las especificaciones; también las satisface cualquiera mezcla de A con C, cuyo punto representativo esté situado entre P y Q.

He planteado el problema en esta forma, porque es un caso práctico corriente (Mezclas que satisfacen la granulometría y quedan fuera de especificaciones en caracteres hídricos, obligan a buscar un tercer material que, manteniendo a la mezcla dentro de las especificaciones granulométricas, cumpla también las otras).

C.—Gráfico de caracteres hídricos.

En el párrafo tercero del presente capítulo, se dedujo la fórmula para el cálculo del índice de plasticidad y del límite líquido de una mezcla de suelos:

$$12)\qquad I=\frac{I'S'X'+I''S''X''+I'''S'''X'''}{S'X'+S''X''+S'''X'''}+\dots\dots$$

$$13)\qquad L=\frac{L'S'X'+L''S''X''+L'''S'''X'''}{S'X'+S''X''+S'''X'''}+\dots\dots$$

Me he propuesto encontrar un gráfico que permita interpretar esta fórmula; y en el que cada suelo de determinada constante hídrica, y porcentaje de suelo firme S, quede representado por un punto.

Me he impuesto también la condición de que, si dos tierras se mezclan, el suelo resultante quede representado en el gráfico por un tercer punto, ubicado en la recta que une a los que representan a los componentes; y que divida a esa recta en forma tal, que los segmentos que resulten a uno y otro lado, sean inversamente proporcionales a los porcentajes en que es preciso mezclar a los componentes, para determinar una tierra con las características que marque el gráfico en el referido tercer punto.

Me he impuesto estas exigencias, porque, si consigo alcanzarlas, dentro del nuevo gráfico se podrá operar en la misma forma que en el triángulo de Féret, o en el diagrama ortogonal.

Sea un sistema ortogonal de coordenadas X — Y; y dos puntos A y B, de de coordenadas X′, Y′ y X″, Y″, respectivamente (Figura N.° 73).

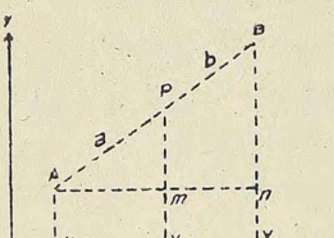


Figura. 73

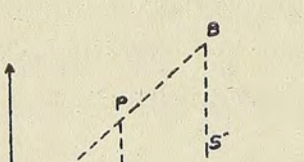


Figura 74

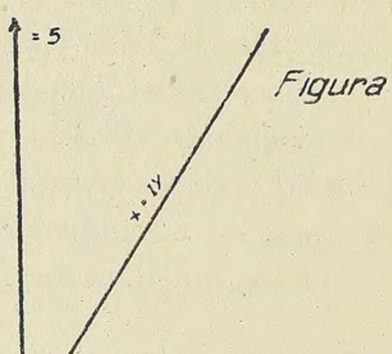


Figura 75

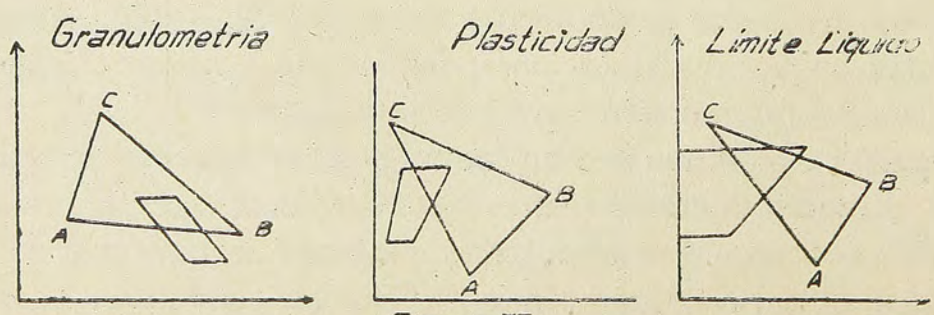


Figura 77

Tracemos la recta AB, y ubiquemos en ella un tercer punto P, de coordenadas X, Y. Ahora, resolvamos esta cuestión: ¿Cuáles son las coordenadas de P, en función de las de A y B; y de los trazos a y b? Tracemos por A, una paralela al eje de las abscisas. De acuerdo con el conocido teorema de las rectas cortadas por paralelas, podemos escribir:

$$Pm : Bn = a : (a + b)$$

O sea:

$$\frac{Y - Y'}{Y'' - Y'} = \frac{a}{a + b}$$

Del mismo modo:

$$\frac{X - X'}{X'' - X} = \frac{a}{a + b}$$

De estas dos ecuaciones se deduce, separadamente:

29) $$Y = \frac{aY'' + bY'}{a + b}$$

30) $$X = \frac{aX'' + bX'}{a + b}$$

Hagamos ahora un cambio de variables:

31) $$\begin{aligned} X &= T \,.\, Y \\ X' &= T' \, Y' \\ X'' &= T'' \, Y'' \end{aligned}$$

Introduciendo 31 en 30 y formando sistema con 29, tendremos:

32) $$\begin{aligned} TY &= \frac{a\,T''\,Y'' + b\,T'\,Y'}{a + b} \\ Y &= \frac{a\,Y'' + b\,Y'}{a + b} \end{aligned}$$

Eliminemos Y de este sistema, y calculemos T:

33) $$T = \frac{a\,T''\,Y'' + b\,T'\,Y'}{a\,Y'' + b\,Y'}$$

Si comparamos estas fórmulas con las que dan el límite líquido o el índice de plasticidad, aplicadas a dos materiales:

$$34)\qquad I = \frac{I'X'S' + I''X''S''}{X'S' + X''S''}$$

T e I serán idénticos cuando se verifique:

$$35)\qquad \begin{array}{lll} I = T & Y = S & a = K X'' \\ I' = T' & Y' = S' & b = K X' \\ I'' = T'' & Y'' = S'' & \end{array}$$

K es una constante que desaparece de la fórmula por simplificación; y depende de la longitud AB.

Recordemos ahora que:

$$\begin{array}{l} X = T Y \\ T = I \\ Y = S \end{array}$$

De donde resulta:

$$36)\qquad \begin{array}{l} X = I S \\ Y = S \end{array}$$

Por lo tanto, si elegimos un sistema de coordenadas que en abscisas tenga el producto entre el índice de plasticidad y el porcentaje correspondiente de suelo fino; y en ordenadas, este último porcentaje, el gráfico cumplirá rigurosamente con las condiciones impuestas al comienzo de estas líneas.

El sistema de cálculo gráfico a que daría origen un par de ejes confeccionados como se termina de deducir, adolecería, sin embargo, de un defecto: El producto IS. Sería preciso calcularlo para cada uno de los suelos componentes; y el gráfico no daría directamente el I, sino dicho producto.

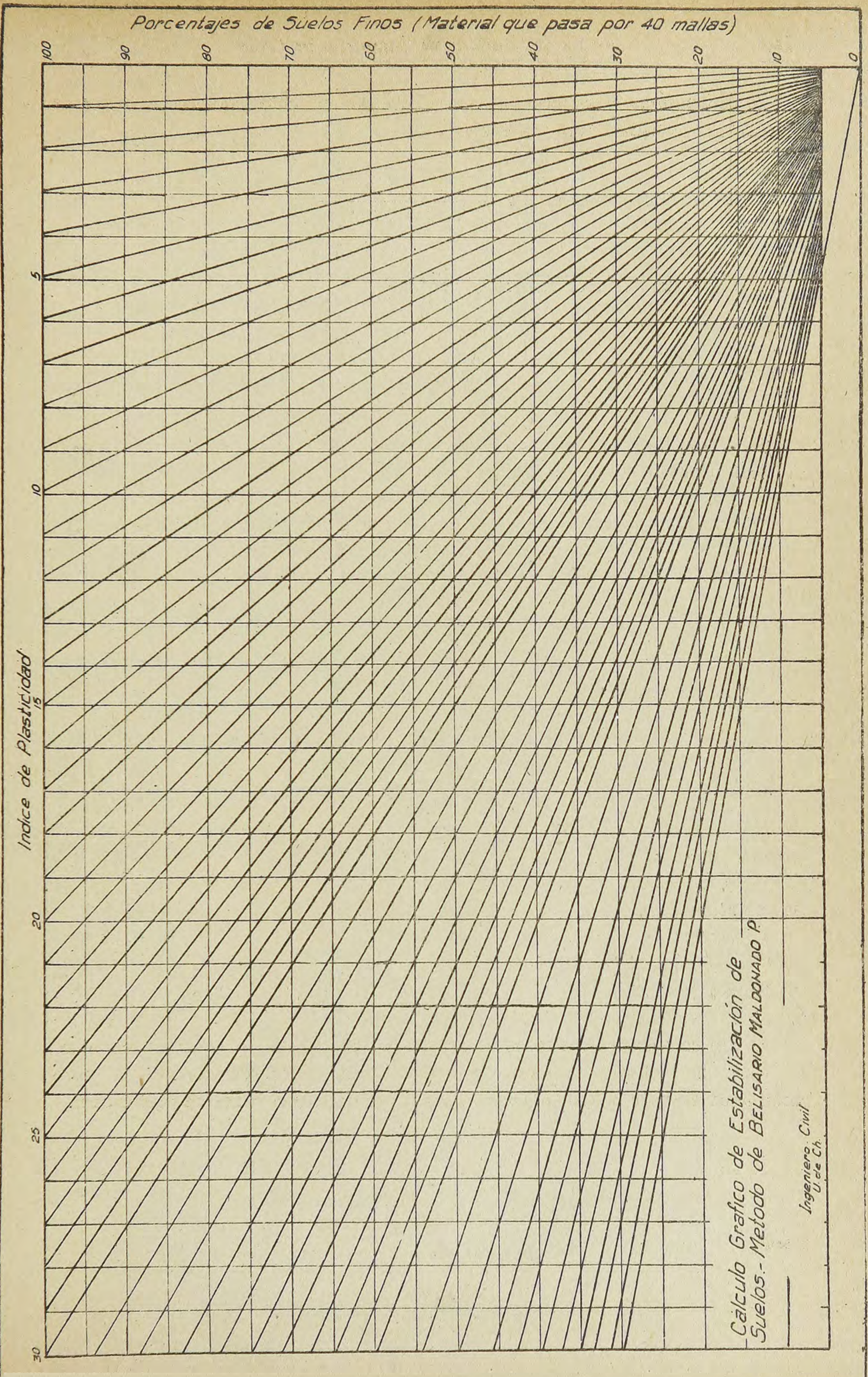
El procedimiento tiene todavía operaciones aritméticas que es preciso eliminar.

Para ello, volvamos a nuestro primitivo sistema de coordenadas X — Y; pero recordando siempre que, dividiendo X por Y, se obtiene el índice de plasticidad:

$$I = \frac{X}{Y}$$

o sea:

$$37)\qquad X = IY$$



Porcentajes de Suelos Finos (Material que pasa por 40 mallas)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Indice de Plasticidad
5
10
15
20
25
30
Cálculo Gráfico de Estabilización de Suelos.- Metodo de BELISARIO MALDONADO P.
Ingeniero Civil U. de Ch.

Ahora bien, ésta es la ecuación de una recta que pasa por el origen del sistema de coordenadas; y cuyo coeficiente angular es el índice de plasticidad.

Si hacemos de este coeficiente angular un parámetro variable, la ecuación 37 representará a una familia de rectas que concurren en el origen, cada una de las cuales representará un determinado valor de I, valor que variará entre cero (Eje de las Y) hasta infiito (Eje de las X).

El gráfico que ha resultado de este estudio no es, pues, otra cosa que ese haz de rectas que se han trazado haciendo variar I de unidad en unidad.

El antiguo eje de las Y, convertido ahora en eje de los S, o sea, de los porcentajes de suelo fino, ha sido graduado entre cero y cien.

Cada horizontal es ahora el lugar geométrico de los puntos de igual proporción de suelo fino. Y cada recta del haz, el lugar geométrico de los puntos representativos de suelos de igual índice de plasticidad.

De las fórmulas se desprende que este gráfico tiene propiedades análogas al de granulometría. Esto no debe extrañarnos, porque lo proyectamos así.

Como en el gráfico granulométrico, en el de plasticidad, cada suelo de características S I definidas, queda representado por un punto bien determinado.

Cualquier mezcla entre dos suelos A y B, sólo puede quedar representada dentro del trazo que une a los puntos representativos de A y B.

El punto representativo P de una mezcla entre los suelos A y B, divide a la recta AB, en trazos inversamente proporcionales a los respectivos porcentajes.

El punto representativo P de una mezcla entre tres materiales A, B y C, sólo puede encontrarse dentro del triángulo definido por los puntos A, B y C.

El punto representativo P de una mezcla entre tres materiales A, B y C divide a cada una de las transversales que pasan por P, de modo que el trazo adyacente al lado es a la transversal entera, como el porcentaje del suelo representado por el respectivo vértice, es a 100.

Del conjunto de estas propiedades, se deduce que los mismos procedimientos de cálculo obtenidos para la granulometría, son aplicables sin ninguna alteración en la plasticidad.

Generalmente, sólo es necesario hacer el cálculo gráfico de un suelo, desde el punto de vista de los caracteres hídricos para el índice de plasticidad; porque los materiales a mezclar se han elegido dentro de las especificaciones en límite líquido.

Cuando alguno o algunos de los suelos componentes de una mezcla tienen un límite líquido mayor que 35, entonces es indispensable introducir esta constante en los cálculos. La operatoria es, como ya se ha insinuado, igual a la del índice de plasticidad.

Problema.

Los materiales A, B y C, se quieren mezclar para obtener un suelo que cumpla con las siguientes exigencias:

Suelo fino.............	de	15%	a	30%
Indice de plasticidad...	»	4%	a	9%

Las características de los materiales son:

Características	A	B	C
Suelo fino...............	100,00	67,00	10.00
Indice de plasticidad.....	4,00	10,50	3,00

Coloquemos en el gráfico las especificaciones. Resulta el polígono PQRS, que llamaremos cuadrilátero de las especificaciones. (Figura N.° 76).

Dibujemos ahora el triángulo de materiales, A, B, C. Ha resultado que el triángulo y el cuadrilátero tienen de común el área de la figura QRST; por lo tanto, cualquier punto situado dentro de ella representa mezclas de los tres materiales que satisfacen las exigencias impuestas.

Elijamos un punto Z, dentro de QRST, y determinemos la cantidad que hay que mezclar de cada componente A, B, C, para obtener Z.

Para ello, tracemos por Z las transversales, AZ, BZ y CZ; y prolonguémoslas hasta cortar los lados opuestos.

Coloquemos en seguida sobre cada transversal un interpolador dividido en cien partes, con sus divisiones extremas coincidiendo con los extremos de cada transversal. Las divisiones comprendidas entre el punto Z y el lado

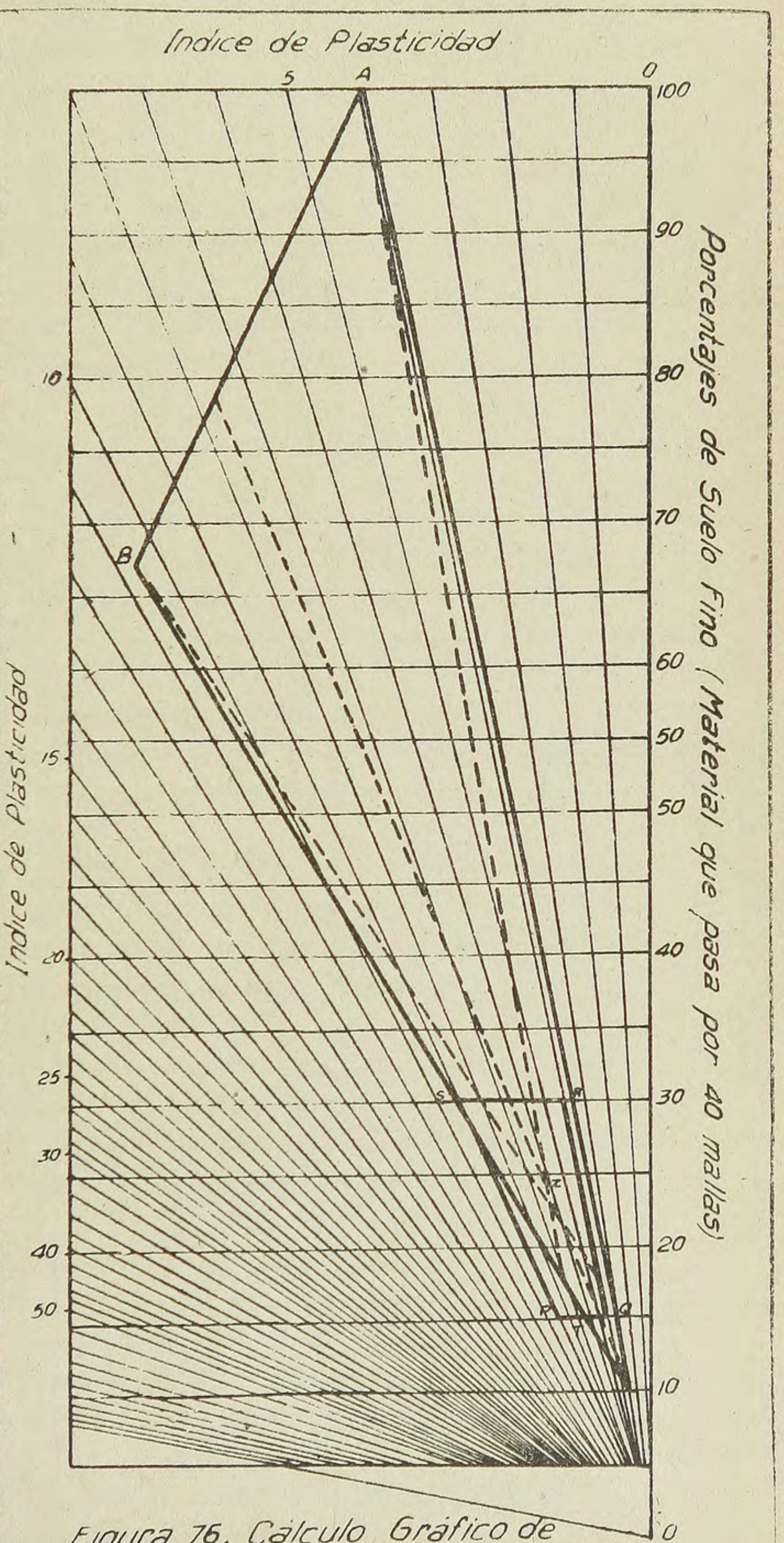


Figura 76. Cálculo Gráfico de la Plasticidad

del triángulo, miden el porcentaje del material representado en el vértice. En el caso que se estudia:

A...........................	7%
B...........................	14%
C...........................	79%

Observación.—El problema pudo resolverse sin intervención del material A, por simple mezcla de B con C; por cuanto, la recta BC corta el cuadrilátero de las especificaciones.

El problema fué planteado en esta forma porque, corrientemente, en la práctica se encuentran mezclas que satisfacen las condiciones de plasticidad, pero quedan fuera de especificaciones en granulometría. Esto obliga a buscar un tercer material que, manteniendo a la mezcla dentro de las especificaciones en plasticidad, la lleve también a cumplir las que se refieren a la granulometría.

D.—Cálculo de mezclas estabilizadas.

Conocidas las propiedades de los gráficos que hemos proyectado, cabría ahora estudiar el procedimiento más eficaz para el cálculo de mezclas estabilizadas.

Nos pondremos en el caso más complejo: Se trata de mezclar tres suelos que no cumplen con las especificaciones granulométricas, ni con las de plasticidad; estando dos de ellos fuera también de lo aceptable en límite líquido.

Operamos con tres gráficos: Uno de granulometría, otro de plasticidad y otro de caracteres hídricos. Naturalmente, los dos últimos son iguales. Coloquemos las especificaciones. En el primero forman un paralelógramo; y en los otros, dos trapecios.

Dibujadas las especificaciones, procederíamos a representar a cada uno de los suelos por puntos. Uniendo los puntos, obtendremos tres triángulos, uno en cada gráfico. Consideremos la posición relativa del triángulo de materiales y del paralelógramo de las especificaciones en el gráfico granulométrico. Si el triángulo y el paralelógramo tienen un sector común (Zona de trabajo en granulometría), cualquier punto de él satisface las exigencias granulométricas. Si no existe este sector común, ello significa que por simple mezcla de los tres suelos disponibles, no se puede obtener un suelo estabilizado (Lo que no significa que mediante otras operaciones, tales como el cernido o agregado de sales no sea posible conseguirlo; sino sólo que por simple mezcla hay imposibilidad).

Lo que terminamos de asegurar en materia de granulometría es válido también para la plasticidad y el límite líquido.

Por lo tanto, si en uno cualquiera de los tres gráficos no hay área común entre el triángulo de materiales y el polígono de las especificaciones, no será posible obtener por simple mezcla un suelo estabilizado. Es preciso, entonces, abandonar la solución emprendida, y buscar otra.

Si en los tres gráficos existe esa área común, podrá proseguirse la resolución del problema. Para ello es preciso trasladar a uno solo de los tres gráficos la zona de trabajo de los otros dos. Naturalmente, en el traspaso se produce una deformación de esas zonas de trabajo.

Ahora bien, si existe un sector común entre las tres zonas de trabajo, cualquier punto situado dentro de él (dentro de la *zona de trabajo resultante*) satisfará integralmente las especificaciones.

Hemos explicado el procedimiento en sus líneas generales. Detallamos ahora. Supongamos que queremos pasar al gráfico de granulometría la zona de trabajo en plasticidad. Para ello tenemos varios métodos. He aquí uno: Calculemos las mezclas correspondientes a los vértices del contorno de la zona de trabajo en el gráfico de plasticiaad; y dibujemos los correspondientes puntos en el gráfico granulométrico.

Otro método consistiría en aprovechar esta propiedad fácilmente demostrable de los gráficos: Si el punto representativo de una mezcla cualquiera P, divide en cierta proporción algún trazo del triángulo de materiales de un gráfico, en los otros dos gráficos, el mismo trazo queda dividido en la misma proporción por el punto que representa la misma mezcla P.

(Continuará)