

UNA NOTABLE SIMPLIFICACION EN EL CALCULO DE ESTRUCTURAS

Por ALBERTO VIADER MUÑOZ,
Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor un método operatorio para el cálculo de estructuras, que proporciona, a su juicio, grandes ventajas, como resume él mismo en sus conclusiones finales.

El método de Cross ha alcanzado, sin duda alguna, la máxima difusión en el cálculo de estructuras por su sencillez unida a la lógica de su proceso operatorio.

Ahora bien: a pesar de estas cualidades — que no posee ningún otro método —, induce fácilmente a error por la repetición de operaciones aritméticas, por la necesidad de concentrar los cálculos en esquemas que exigen giros del papel, etc. Es, por tanto, interesante lograr las mayores simplificaciones del método y llegar, si es posible, con ellas hasta la posibilidad de encomendar los cálculos, en su mayor parte, al menos, a personal auxiliar sin preparación especial, con la debida garantía.

A juicio del que suscribe, lo más seguro es siempre operar por ciclos que comprendan las siguientes operaciones:

1.^a, cálculo de los momentos desequilibrados en todos los nudos de la estructura; 2.^a, reparto de estos momentos en las barras concurrentes en cada nudo; 3.^a, transmisión de estos momentos a los extremos opuestos de las barras. A continuación comienza el ciclo siguiente calculando los momentos desequilibrados que corresponden a este ciclo, suma de los transmitidos en el anterior.

Para concretar, vamos a referirnos a la figura 1.^a,

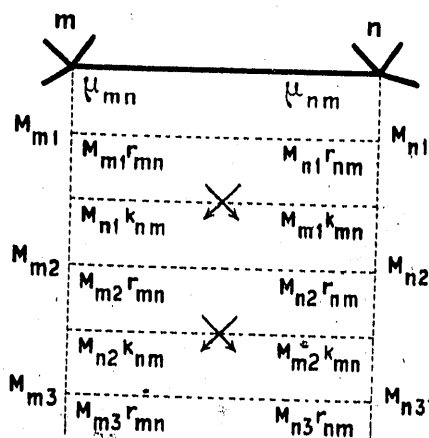
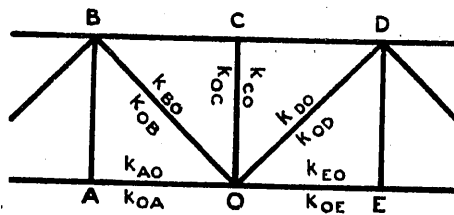


Figura 1.^a

en donde se pone de manifiesto el proceso operatorio en una barra, $m n$. En primer lugar aparecen los momentos de empotramiento perfecto, μ_{mn}, μ_{nm} , correspondientes a la sobrecarga actuante sobre la barra $m n$. Comienza, seguidamente, el primer ciclo que determina los momentos desequilibrados M_{m1} y M_{n1} que se reparten y transmiten apareciendo los $M_{m1} \times r_{mn}$; $M_{n1} \times r_{nm}$; $M_{m1} \times k_{nm}$; $M_{m1} \times k_{mn}$, que son los desequilibrados multiplicados por los coeficientes de reparto — r_{mn}, r_{nm} — o por los productos de este coeficiente por el de transmisión, al que denominamos k con los subíndices correspondientes. Al coeficiente k le llamaremos "coeficiente de transmi-



1	M_{O1}	M_{O1}
2	$M_{A1} k_{AO}$	
	$M_{B1} k_{BO}$	
	$M_{C1} k_{CO}$	
	$M_{D1} k_{DO}$	
	$M_{E1} k_{EO}$	M_{O2}
3	$M_{A2} k_{AO}$	
	$M_{B2} k_{BO}$	
	$M_{C2} k_{CO}$	
	$M_{D2} k_{DO}$	
	$M_{E2} k_{EO}$	M_{O3}
4	$M_{A3} k_{AO}$	
	$M_{B3} k_{BO}$	
	$M_{C3} k_{CO}$	
	$M_{D3} k_{DO}$	
	$M_{E3} k_{EO}$	M_{O4}
		$\sum_1 M_O$
		$\sum_2 M_O$

Figura 2.^a

sión de desequilibrio", puesto que enlaza momentos desequilibrados correspondientes a los nudos extremos de cada barra.

Los momentos finales que corresponden a m y n , admitiendo hasta v ciclos, son los siguientes:

$$\begin{aligned} M_{mn} &= v_{mn} + r_{mn} \sum_1^v M_m + k_{mn} \sum_1^{v-1} M_n \\ M_{nm} &= v_{nm} + r_{nm} \sum_1^v M_n + k_{nm} \sum_1^{v-1} M_m \end{aligned} \quad [1]$$

lo que demuestra que no es necesario hallar más que la serie de los momentos desequilibrados en los nudos de la estructura.

Esta sola consideración permite simplificar los cálculos de una manera notable, ya que ahorra una tercera parte de las operaciones, reduce la escritura al mínimo, pues permite anotar estas operaciones una sola vez por nudo en lugar de tantas veces como barras concurren en el mismo, y evita, además, los giros del papel al escribir.

La figura 2.^a concreta esta afirmación. En ella se

anotan todas las operaciones que se refieren al nudo O . Se disponen en cuatro columnas, que indican lo siguiente: la 1.^a, anota el número de orden del ciclo; la 2.^a, los momentos transmitidos desde los nudos próximos al O ; la 3.^a, comprende los momentos desequilibrados correspondientes al nudo O , que son suma de los anteriores; la 4.^a, finalmente, nos da las sumas de momentos desequilibrados hasta el ciclo 3.^o y hasta el 4.^o, que se supone el último en el caso de la figura.

Dados los valores de los coeficientes r y k , no es necesario pasar del cuarto ciclo, salvo excepciones.

En la práctica, un calculista cualquiera suprimiría las dos primeras columnas y dejaría la cuarta para el final, cuando necesitase hacer uso de las fórmulas [1], escribiendo, por consiguiente, en el gráfico solamente la tercera.

Supongamos, ahora, que en una estructura cualquiera, como la representada, por ejemplo, en la figura 3.^a, no hay más sollicitación que el momento desequilibrado del primer ciclo en el nudo O , M_{O1} , y analicemos el mecanismo de su propagación. Llamaremos al nudo O , en lo sucesivo, "origen".

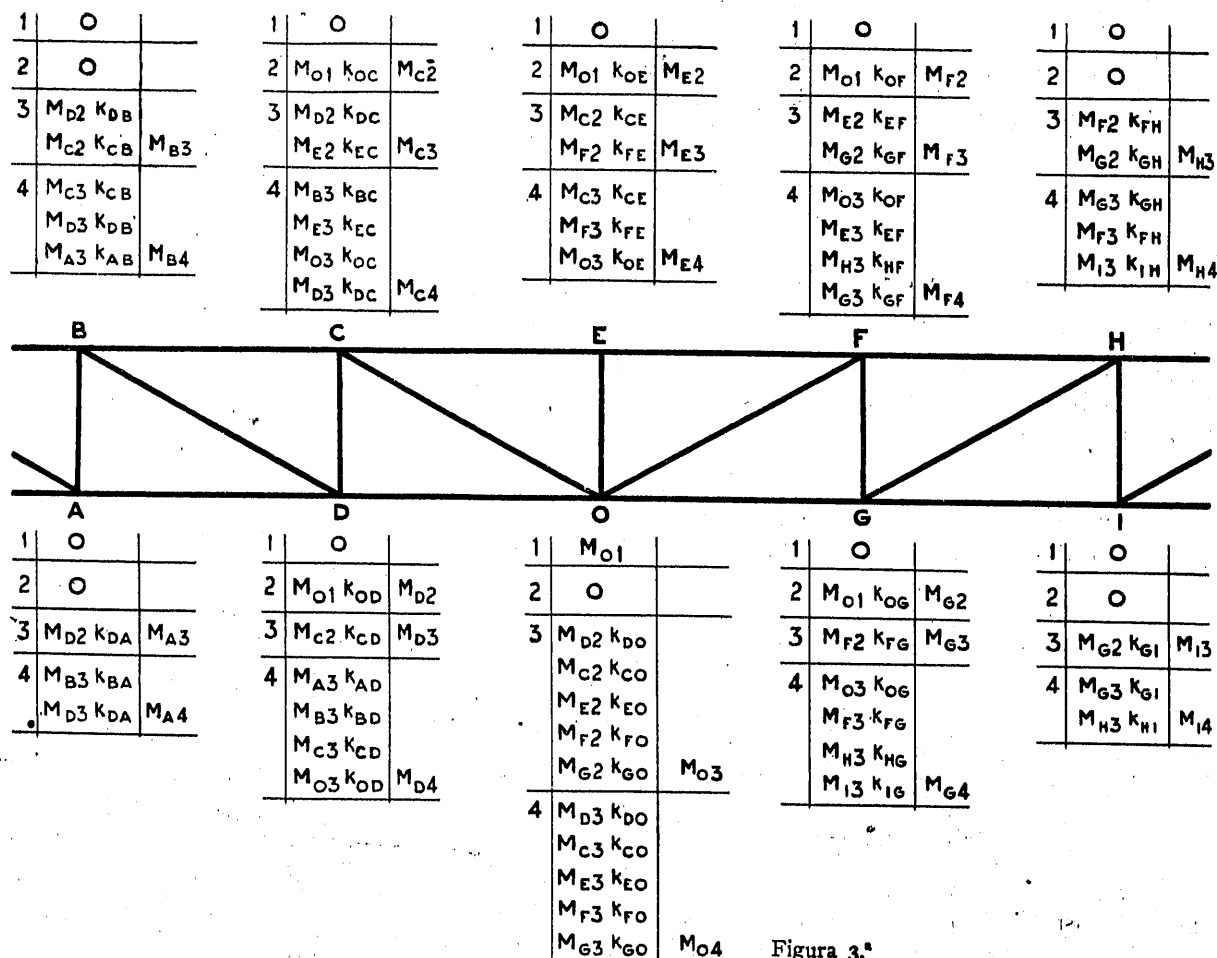


Figura 3.^a

Podemos observar que en un nudo cualquiera el momento desequilibrado correspondiente al ciclo de orden v , se obtiene multiplicando M_{O1} por un coeficiente que es suma de productos de orden $v - 1$ de los coeficientes k , que pueden encontrarse recorriendo todos los caminos posibles, incluso con retrocesos, desde el nudo O hasta el considerado siempre que cada uno de esos productos represente caminos, sin solución de continuidad, que comiencen en el origen y terminen en el nudo considerado.

Así, por ejemplo, el momento desequilibrado correspondiente al cuarto ciclo en el nudo H de la figura 3.^a. Con arreglo a la definición anterior se obtendrá, atendiendo a las consideraciones siguientes:

1.^a El coeficiente que afecte a M_{O1} ha de ser suma de productos de los factores k que representen los caminos posibles sin solución de continuidad entre O y H en tres etapas.

2.^a Estos caminos son: $O E, E F, F H; O F, F G, G H; O G, G I, I H; O G, G F, F H$.

3.^a Según esto, el momento M_{H4} ha de ser:

$$M_{H4} = M_{O1} (k_{OE} k_{EF} k_{FH} + k_{OF} k_{FG} k_{GH} + k_{OG} k_{GI} k_{IH} + k_{OG} k_{GF} k_{FH}), \quad [2]$$

como así puede comprobarse en la figura 3.^a, puesto que:

$$\begin{aligned} M_{H4} &= M_{G3} k_{GH} + M_{F3} k_{FH} + M_{I3} k_{IH} = \\ &= M_{F2} k_{FG} k_{GH} + (M_{E2} k_{EF} + M_{G2} k_{GF}) k_{FH} + \\ &\quad + M_{G2} k_{GI} k_{IH} = M_{O1} k_{OF} k_{FG} k_{GH} + \\ &\quad + M_{O1} k_{OE} k_{EF} k_{FH} + M_{O1} k_{OG} k_{GF} k_{FH} + \\ &\quad + M_{O1} k_{OG} k_{GI} k_{IH}. \end{aligned} \quad [3]$$

Si estos razonamientos los hubiéramos seguido para M_{F4} , por ejemplo, habíamos obtenido:

$$\begin{aligned} M_{F4} &= M_{O1} (k_{OF} k_{FO} k_{OF} + k_{OG} k_{GO} k_{OF} + \\ &\quad + k_{OE} k_{EO} k_{OF} + k_{OC} k_{CO} k_{OF} + k_{OD} k_{DO} k_{OF} + \\ &\quad + k_{OF} k_{FH} k_{HF} + k_{OG} k_{GH} k_{HF} + k_{OC} k_{CE} k_{CF} + \\ &\quad + k_{OF} k_{FE} k_{EF} + k_{OF} k_{FG} k_{GH}). \end{aligned} \quad [4]$$

En estas fórmulas [2, 3 y 4], podríamos clasificar los coeficientes k por etapas. En efecto, serían de la primera etapa todos los que se encuentran en los primeros recorridos a partir de O hasta llegar a los nudos inmediatos; de la segunda etapa, todos los que se encuentran a partir de estos últimos nudos en los recorridos hasta los siguientes; de la tercera, los que se encuentren partiendo de éstos, etc.

Estas conclusiones pueden resumirse en la fórmula siguiente:

$$M_{nv} = M_{O1} [\Sigma k_1 k_2 k_3 \dots k_{v-1}] \xrightarrow{on} \quad [5]$$

en la que:

M_{nv} representa el momento desequilibrado correspondiente al nudo n y ciclo v producido por el momento desequilibrado M_{O1} del nudo O en el ciclo primero.

$k_1, k_2, \dots, k_{v-1}$ representan los "coeficientes de transmisión de desequilibrio" que se encuentran en las etapas $1, 2, 3, \dots, v-1$, recorriendo, en la estructura, todos los caminos posibles, sin solución de continuidad, incluso con retrocesos, entre los nudos O y n .

Volviendo a las fórmulas [1], vemos que lo que interesa son sumas de momentos desequilibrados correspondientes a cada uno de los ciclos que se consideren. Si estimamos que no ha de pasarse del ciclo v , tendremos:

$$\Sigma_1^v M_n = M_{O1} [k_1 + \Sigma k_1 k_2 + \Sigma k_1 k_2 k_3 + \dots + \Sigma k_1 k_2 k_3 \dots k_{v-1}] \xrightarrow{on} \quad [6]$$

y, por tanto, con carácter general, podremos escribir:

$$\begin{aligned} M_{mn} &= M_{O1} \{ r_{mn} [k_1 + \Sigma k_1 k_2 + \Sigma k_1 k_2 k_3 + \dots + \\ &\quad + \Sigma k_1 k_2 k_3 \dots k_{v-1}] + \\ &\quad + k_{nm} [k_1 + \Sigma k_1 k_2 + \Sigma k_1 k_2 k_3 + \dots + \\ &\quad + \Sigma k_1 k_2 k_3 \dots k_{v-2}] \} \xrightarrow{om} \end{aligned} \quad [7]$$

en la cual, volvemos a repetir:

M_{mn} representa el momento en el nudo m de la barra mn , debido al momento desequilibrado M_{O1} del primer ciclo en el nudo origen O .

r_{mn} representa el coeficiente de reparto en el nudo m de la barra mn .

k_{nm} , el coeficiente de transmisión de desequilibrio de n a m .

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_{v-1}$, los coeficientes de transmisión de desequilibrio que se encuentran en las etapas

1, 2, 3, ..., $v-1$, recorriendo en la estructura todos los caminos posibles, sin solución de continuidad, incluso con retrocesos, entre los nudos O y m .

$k_1, k_2, \dots, k_{v-2}$, el mismo significado anterior en el camino de o a n .

La fórmula precedente tiene, sin duda, un gran valor, pues da, con absoluta generalidad, el momento en un nudo producido por el desequilibrio en otro, con la única salvedad de no incluir los efectos debidos a los desplazamientos de los nudos. Sin embargo, al hacer la corrección típica del método de Cross, especialmente, siguiendo el llamado procedimiento indirecto, vuelve a tener una gran utilidad, pues en realidad, lo que da la fórmula es un coeficiente más de la estructura, equivalente a $\frac{M_{mn}}{M_0}$.

El mecanismo operatorio que acabamos de exponer, que nos conduce a la aplicación de la fórmula [7], completamente general, no altera en nada los principios fundamentales ni los procedimientos del método de Cross. Es, sencillamente, una simplificación del mismo que en algunos casos da resultados muy interesantes y en todos abrevia notablemente y permite encomendar casi totalmente el cálculo a personal auxiliar con muy ligera vigilancia.

Es, en efecto, muy sencilla la aplicación de tal fórmula. Bastará encargar al delineante una serie de copias del esquema de la estructura que calculemos, y sobre ellas dibujar los caminos posibles a recorrer en una etapa, dos o tres — en la práctica, no hacen falta más —, entre el origen y cada uno de los nudos de la estructura. Si en las citadas copias del esquema se han dibujado también los coeficientes k de cada barra, la aplicación de las fórmulas [5], [6] y [7], sucesivamente, será facilísima y podrán consignarse los resultados así obtenidos en otra de las copias del esquema de la estructura, en la que sólo figurarán los momentos producidos en los extremos de cada una de las barras por el desequilibrio en el origen. A este diagrama podemos llamarle "de momentos unitarios"; para terminar el cálculo de la estructura, será preciso hacer tantos "diagramas de momentos unitarios" como nudos tiene la estructura. Una vez conocidos éstos, pueden calcularse también los "diagramas de esfuerzos cortantes unitarios" con suma facilidad. Hasta este punto puede encomendarse el cálculo, por

completo, con absoluta garantía y poquísima vigilancia por su fácil comprobación, a personal auxiliar.

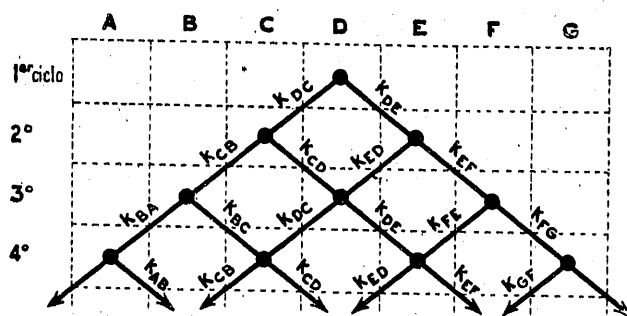


Figura 5.^a

A partir de ese momento, con la serie de diagramas de momentos y esfuerzos cortantes unitarios, dispone el Ingeniero del pulso de la estructura — valga la frase — y puede conocer casi inmediatamente los efectos producidos en un punto cualquiera de la misma por una sobrecarga cualquiera aplicada en cualquier lugar.

La deducción de los diagramas de momentos y esfuerzos cortantes unitarios en la forma expuesta, puede abreviarse concentrando los cálculos en "diagramas estrallados" o utilizando los "diagramas de desequilibrios" que más adelante estudiaremos.

Para reducir los cálculos debe comenzarse por estudiar los efectos producidos en la estructura por un momento desequilibrado en uno o varios de los nudos centrales y continuar con los demás, supuesto enpostramiento perfecto en los primeros hasta terminar la propagación, dejándolos posteriormente en libertad de giro y efectuando las correcciones pertinentes.

Veamos algunas aplicaciones.

Viga continua.

Supongamos una viga continua de un número indefinido de tramos y veamos cómo se verifica la propagación de momentos desequilibrados. Suponemos calculados los coeficientes k . La figura 4.^a resume todas las operaciones y creemos no necesita explicación.

Observando esta figura se deduce que la transmisión de momentos desequilibrados se hace en la forma que indica el diagrama de la figura 5.^a, que podría

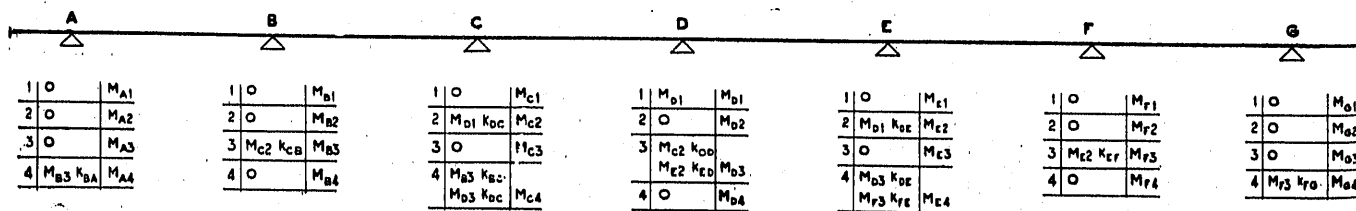


Figura 4.^a

llamarse "diagrama de desequilibrios". Es decir, el momento M_{D1} en el ciclo segundo produce los M_{C2} y M_{E2} , cuyo valor es $M_{C2} = M_{D1} k_{DC}$ y $M_{E2} = M_{D1} k_{DE}$; éstos, a su vez, dan lugar a los M_{B3} , M_{D3} , M_{F3} , cuyo valor se obtiene simplemente multiplicando M_{C2} y M_{E2} por los valores de k que encuentren en su camino y sumándose cuando se encuentren en un punto; en el cuarto ciclo aparecen los

M_{A4} , M_{C4} , M_{E4} , M_{G4} , por el mismo procedimiento. Cualquier momento desequilibrado puede encontrarse recorriendo todos los caminos posibles en la dirección de las flechas del diagrama, desde D hasta el nudo que interesa, y obteniendo los productos de los coeficientes k que encuentre en cada uno de ellos y sumando dichos productos. Esto equivale, simplemente, a aplicar, en este caso, la fórmula [5] antes deducida.

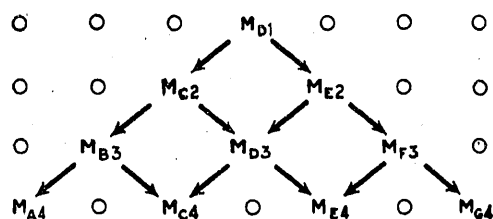


Figura 6.ª

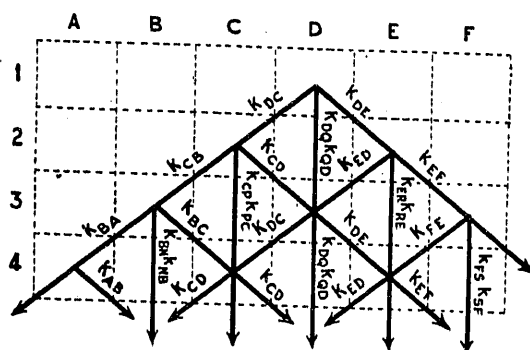


Figura 9.ª

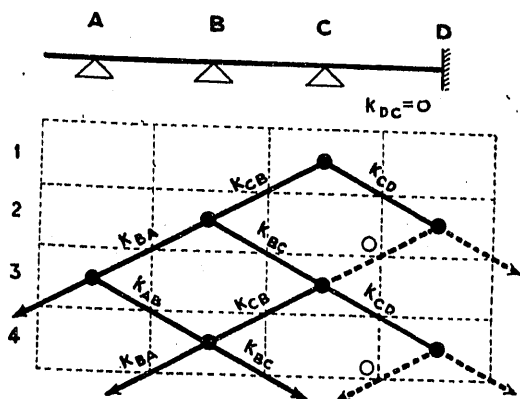


Figura 7.ª

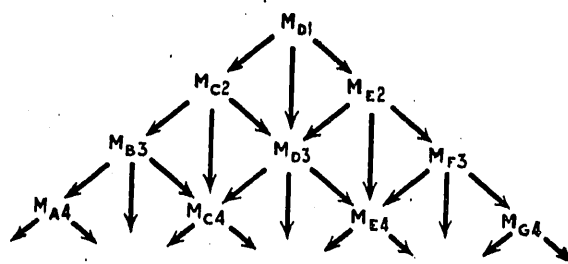


Figura 10.ª

1 0	1 0	1 0	1 M_{D1}	1 0	1 0
2 0	2 0	2 $M_{D1} k_{DC}$	2 0	2 $M_{D1} k_{DE}$	2 0
3 0	3 $M_{C2} k_{CB}$	3 0	3 $M_{C2} k_{CD}$	3 0	3 $M_{E2} k_{EF}$
4 $M_{B3} k_{BA}$	4 0	4 $M_{B3} k_{BC}$ $M_{P3} k_{PC}$ $M_{D3} k_{DC}$	4 0	4 $M_{D3} k_{DE}$ $M_{R3} k_{RE}$ $M_{F3} k_{FE}$	4 0

A	B	C	D	E	F
M	N	P	Q	R	S

1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
2 0	2 0	2 0	2 $M_{D1} k_{DQ}$	2 0	2 0
3 0	3 0	3 $M_{C2} k_{CP}$	3 0	3 $M_{E2} k_{ER}$	3 0
4 0	4 $M_{B3} k_{BN}$	4 0	4 $M_{D3} k_{DQ}$	4 0	4 $M_{F3} k_{FS}$

Figura 8.ª

El procedimiento operatorio no puede ser más sencillo, pues puede llevarse a cabo como indica la figura 6.^a, que permite utilizar con toda claridad y sencillez la fórmula [1], que da los resultados finales.

Si suponemos que el apoyo *D* es central, podemos simplificar notablemente los cálculos restantes en la forma que hemos indicado anteriormente. Por ejemplo, al analizar la propagación correspondiente al

Puente-pórtico de varios tramos..

Suponemos un puente-pórtico de un número indefinido de tramos, y vamos a estudiar el mecanismo de propagación de un momento desequilibrado aplicado en el punto *D*. No hacemos ninguna hipótesis respecto al pie de las pilas, pues lo que deduzcamos será igualmente aplicable al caso de empotramiento

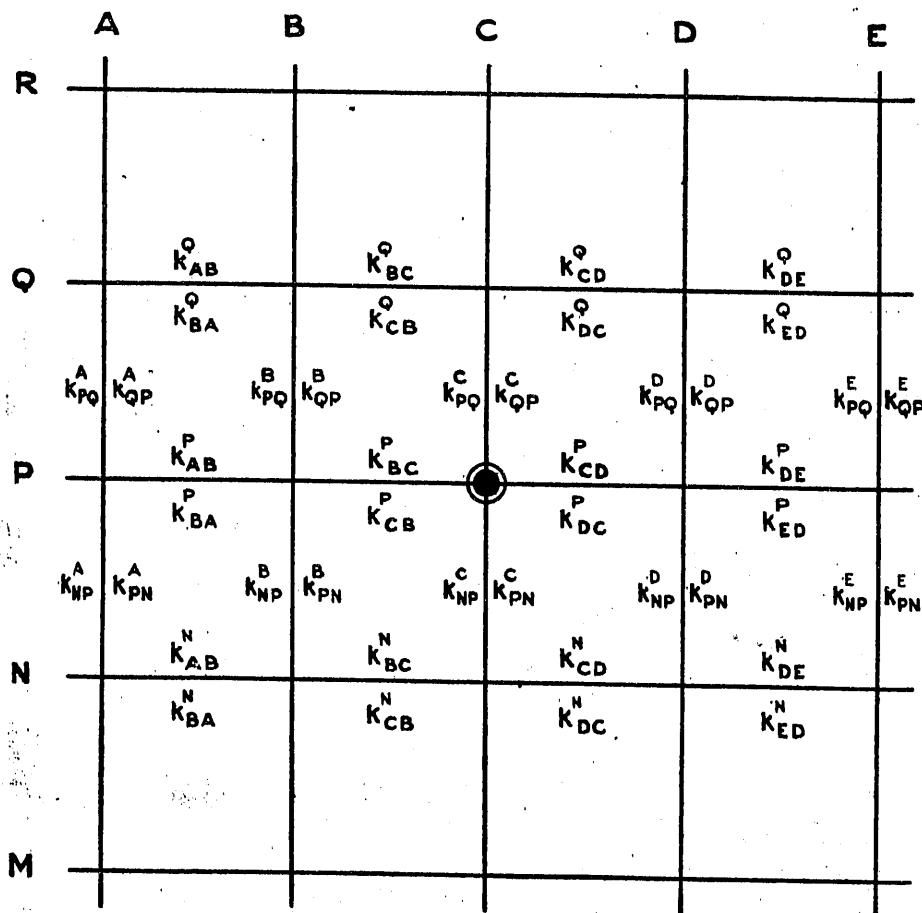


Figura 11.

nudo *C*, procederemos de la manera que indica la figura 7.^a, es decir, suponiendo que en *D* hay empotramiento perfecto, y con ello obtenemos los valores de M_{D2} y M_{D4} que produce M_{C1} en esta hipótesis; dejando después en libertad de giro al apoyo *D*, haremos las correcciones pertinentes por simple proporcionalidad con la propagación estudiada previamente para M_{D1} , lo que debe hacerse después de aplicar en una y otra hipótesis la fórmula [1].

perfecto en el cimiento o al de articulación, que son los únicos que se presentan en la práctica, con sólo dar al coeficiente *k* el valor correcto que le corresponde.

En la figura 8.^a aparece todo el proceso de cálculo hasta el cuarto ciclo, que creemos no necesita explicación. De la simple observación de esta figura se deduce el "diagrama de desequilibrios" que constituye la figura 9.^a, que da con gran claridad y sencillez el

proceso de propagación de M_{D1} en el dintel del pórtico considerado. En efecto: siguiendo el sentido de las flechas desde D y multiplicando por los coeficientes anotados en dicho diagrama, vamos obteniendo los momentos desequilibrados correspondientes al pie de una pila en el ciclo v ; se obtienen de los correspondientes a la cabeza en el ciclo $v-1$, multiplicando por el coeficiente k de cabeza a pie.

La manera de calcular según el diagrama de la figura 9.^a, puede interpretarse como indica la figura 10, que respecto al pórtico es lo mismo que la figura 6.^a respecto a la viga y, por tanto, no necesita explicación.

Si se trata de averiguar los efectos que en el pórtico produce un momento desequilibrado en el pie de una pila, por ejemplo, en Q , basta considerar que, supuesta empotrada perfectamente la cabeza de la pila $-D$ en este caso —, la propagación consistiría simplemente en un momento transmitido M_{Q1} , k_{QD} , puesto que en esta hipótesis $k_{DQ} = 0$; deshaciendo, en segunda etapa, el empotramiento en D , obtendríamos una propagación para M_{Q1} , k_{QD} idéntica a la obtenida para el caso, ya estudiado, de M_{D1} y, por tanto, el problema queda reducido a una simple proporcionalidad.

A los mismos resultados que obtendríamos siguiendo el procedimiento que acabamos de exponer, se llegaría, también, aplicando las fórmulas [5], [6] y [7], ya que el diagrama de desequilibrios de la figura 9.^a no hace más que facilitar, todavía más, la deducción de los caminos a seguir desde el origen a cada nudo, o lo que es lo mismo, el cálculo de las sumas de productos de coeficientes k que intervienen en las mismas.

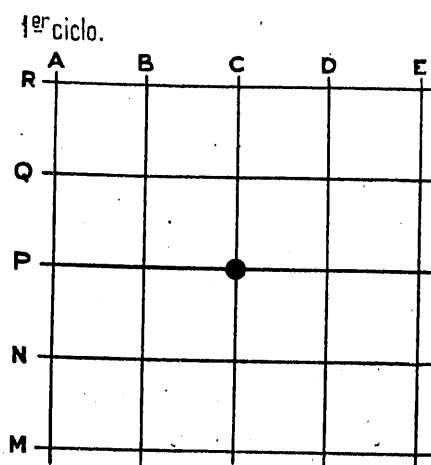


Figura 12.

Si el nudo D está centrado, el cálculo de los efectos producidos en la estructura por un momento desequilibrado aplicado en cualquier otro nudo se debe

hacer en la misma forma que hemos indicado más arriba; es decir, estudiando, en primera etapa, la propagación en la hipótesis de empotramiento perfecto en D , y en segunda, deshaciendo este empotramiento, realizar la corrección pertinente.

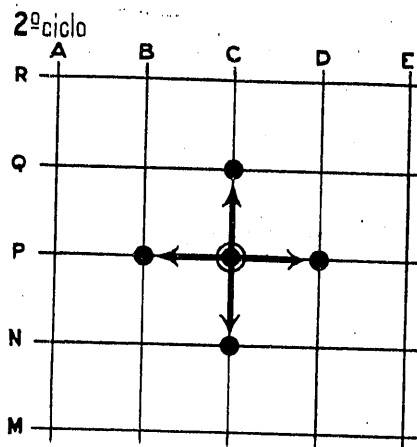


Figura 13.

De esta manera puede llegarse con facilidad a los "diagramas de momentos y esfuerzos cortantes unitarios" de la estructura calculados por personal auxiliar, y con ellos a la vista puede el Ingeniero terminar el cálculo con una rapidez asombrosa.

Estructura de edificio.

Vamos a hacer el estudio de la estructura reticular indefinida de la figura 11, en lo que se refiere a propagación de un momento desequilibrado aplicado en el nudo PC . Suponemos calculados de antemano los coeficientes de transmisión de desequilibrio k correspondientes a cada barra que, en parte, quedan consignados en la misma figura. Tratamos de llegar, con muy pocas copias del esquema de la estructura, a los resultados finales, y lo conseguimos superponiendo en la misma copia los caminos posibles, incluso retrocesos, a partir del nudo PC y escribiendo en cada una el resultado de realizar el recorrido correspondiente a un ciclo. Las figuras 12 a 15 resumen las operaciones realizadas en cada ciclo; los nudos señalados por $\odot$ son los "emisores" — valga la calificación —, y los $\bullet$ son los "receptores", en los cuales consignamos las sumas de los productos de los momentos desequilibrados "emisores" adyacentes por los coeficientes k correspondientes que encuentran en sus recorridos desde el nudo "emisor" hasta el "receptor".

Por ejemplo, en la figura 14 quedan consignados los momentos desequilibrados del tercer ciclo. Para comprobarlo no hay más que recordar la fórmula [5] y aplicarla a cualquier nudo: si lo hacemos en el nudo

Figura 14.

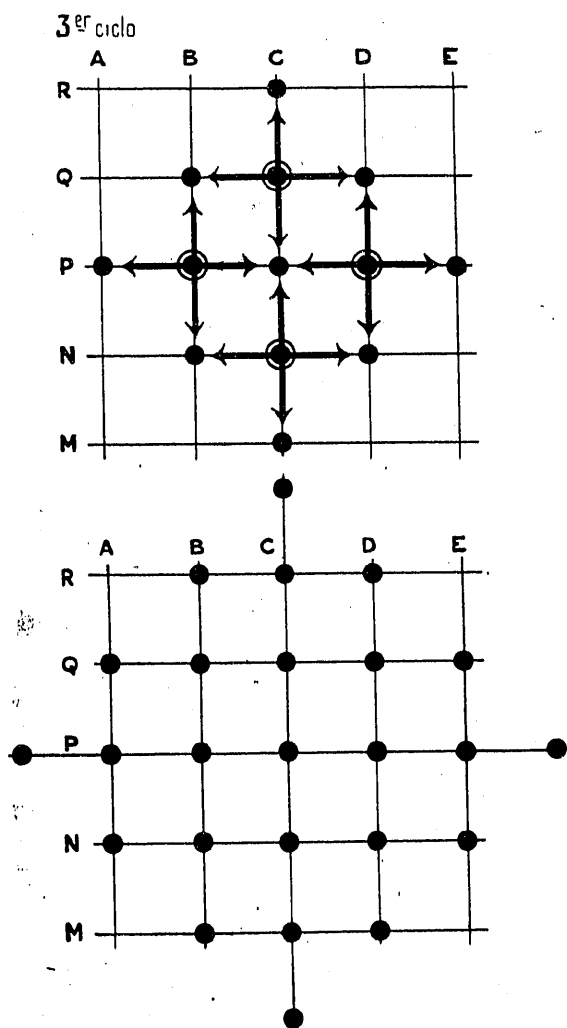


Figura 16.

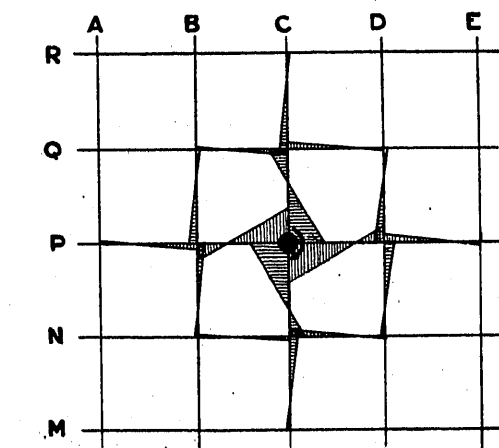


Figura 18.

Figura 15.

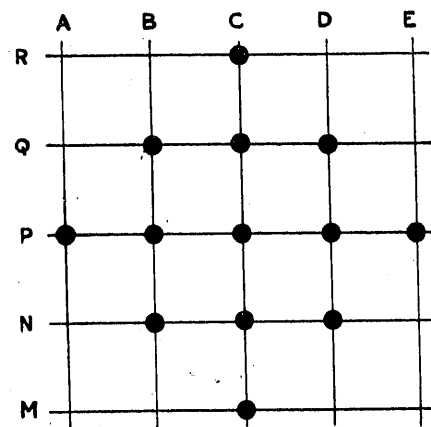
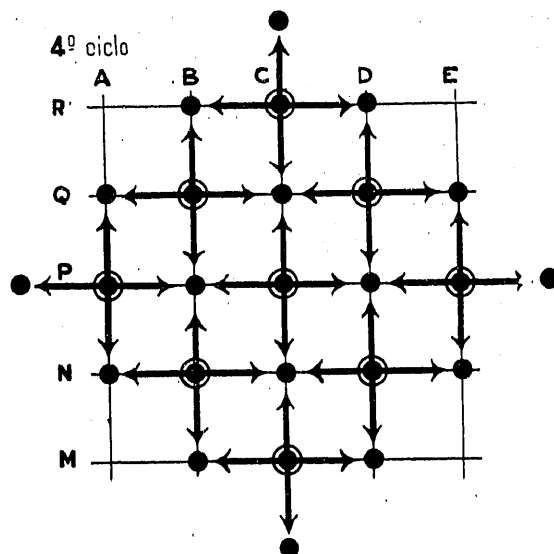


Figura 17.

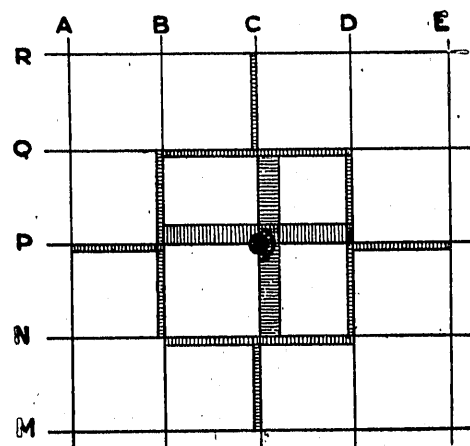


Figura 19.

NB , tendremos que buscar, primero, todos los caminos posibles desde el nudo PC hasta él, en dos etapas, que son:

$$1.^a \quad PC - PB; \quad PB - NB;$$

$$2.^a \quad PC - NC; \quad NC - NB;$$

y, por tanto, el momento desequilibrado del tercer ciclo en el nudo NB será, aplicando la fórmula [5]:

$$M_{NB3} = M_{PC1} [k_{CB}^P \times k_{PN}^R + k_{PN}^C \times k_{CB}^N]$$

que coincide con el que debe consignar la figura 14.

Si hacemos la comprobación del cuarto ciclo con la figura 15, refiriéndonos al mismo nudo NB , nos encontraremos con que el momento desequilibrado de este ciclo es nulo, porque desde el origen PC no se puede llegar a él en tres etapas: han de ser dos, cuatro o más; un número par de etapas. Los momentos desequilibrados de ciclos pares son nulos en este nudo. Refiriéndonos, en cambio, al nudo PB , resultan nulos los momentos desequilibrados de ciclos impares.

En la figura 16 hacemos las sumas de momentos desequilibrados hasta el tercer ciclo en todos los nudos de la estructura, y en la figura 17 hasta el cuarto. Con estos dos diagramas, aplicando la fórmula [1] sucesivamente, obtenemos el diagrama de momentos unitarios de la figura 18, correspondiente al nudo PC . La figura 19 es el diagrama de esfuerzos cortantes unitarios correspondientes también a PC . Lo mismo haríamos con los demás nudos de la estructura.

Hasta aquí, indudablemente, puede encomendarse el cálculo a personal auxiliar sin temor a equivocaciones que, por otra parte, son fácilmente comprobables.

Los "diagramas estrellados" de las figuras 12 a 15, particularizados en cada caso, son aplicables a cualquier tipo de estructura — sea o no de edificio — y arrojan una gran claridad sobre el problema.

Una vez en posesión de los diagramas de momentos y esfuerzos cortantes unitarios correspondientes a todos, o a los más interesantes de los nudos de la estructura, el proyectista hará con gran rapidez las comprobaciones y correcciones que sean necesarias en cada caso de sobrecarga.

* * *

Con lo que acabamos de exponer pretendemos haber puesto de manifiesto la conveniencia de operar en la forma descrita, que nos proporciona:

- 1.º Una notable reducción del número de operaciones aritméticas a realizar.
- 2.º La ausencia de giros del papel para escribir.
- 3.º La posibilidad de encomendar la mayoría de las operaciones a personal auxiliar, sin preparación especial, con las debidas garantías.
- 4.º Facilidad de comprobación de las operaciones anteriores, especialmente utilizando la fórmula general deducida [núm. 7], cuando interese comprobar nudos aislados de la estructura.
- 5.º Una enorme reducción del trabajo personal del proyectista, unida a una gran claridad en su manera de operar.