

cuela preparatoria, se reconoció la necesidad de aumentar un año en la de Caminos, por estar los tres excesivamente recargados y para dar más amplitud a ciertos estudios, como el de las aplicaciones de la electricidad y otros, con lo que la duración de la carrera resultaría muy grande.

También se vió la conveniencia de traer a esta Escuela las asignaturas de Topografía y Geodesia, Estereotomía e Hidráulica teórica, con objeto de que su estudio y desarrollo se acomodase mejor a las peculiares exigencias de la carrera de Ingeniero de Caminos; pero hubo discrepancias en la Junta de profesores respecto a la Preparatoria; unos opinaban que a ésta debían pasar todos los estudios que se exigían para ingresar en ella; otros, que quedara reducido a dos años, con las materias que en ella se estudiaban, menos las ya indicadas; y otros, finalmente, que siguieran los tres años, eliminando las enseñanzas dichas; y agregando las de Algebra superior, Geometría analítica y nociones de Historia Natural. En lo que sí hubo acuerdo fué en la conveniencia de que los programas de estudios de la Preparatoria fueran consultados con las Escuelas especiales, para que respondiesen en lo posible a las necesidades de las diferentes carreras.

El resultado final de todo ello fué la supresión de la Politécnica.

¿Cabe, después de tan repetidos intentos, insistir

de nuevo en la creación de otra Politécnica? La más elemental prudencia aconseja que se proceda, por lo menos, con gran cautela, examinando, en primer término, el pro y el contra de la idea generadora que ha impulsado tantas veces a fundar una Escuela general preparatoria única para todas las carreras técnicas de Ingeniería y Construcción, idea que parece despertar de nuevo, después de un letargo de treinta y tres años, tiempo en el cual han evolucionado tanto los procedimientos de enseñanza técnica profesional.

En este primer artículo nos hemos limitado a hacer historia, que siempre es manantial fecundo de enseñanzas, cuyo conocimiento evita recaer en errores evidentes y fracasos probables; pero la simple narración de sucesos no basta para desterrar ideas de apariencia seductora y cuyo solo nombre evoca prestigios científicos de naciones de alta cultura, pues los actuales partidarios de la idea, como los de antes, dirán que el error radica, no en ésta, que sigue siendo excelente, sino en su mala interpretación.

Es indispensable, por tanto, examinar el problema a fondo, discutiendo su idea madre.

Esto nos proponemos hacer; pero antes conviene examinar otros antecedentes de la creación de las Politécnicas españolas, en relación con las de otros países europeos, lo que será objeto del siguiente artículo.

Vicente MACHIMBARRENA  
Director de la Escuela de C., C. y P.

## Nota sobre el cálculo de forjados de hormigón armado

Después de no pocas horas de indecisión y titubeos sin cuento, de verdadero temor ante la idea de lanzar a la luz pública unos renglones faltos de atractivo, he resuelto perder ese miedo, muy natural en quien comienza a recorrer el vasto campo de la Ingeniería, y resumir en unas cuartillas algunas ligeras observaciones que, aunque exentas de interés para la mayoría de los ingenieros, quizás puedan servir para encauzar los vacilantes pasos de algunos que, como el modesto autor de esta nota, no han hecho más que asomarse tímidamente ante el horizonte deslumbrador de la Ciencia.

Voy a exponer, de un modo todo lo más claro que me sea posible, el procedimiento que empleo en el cálculo de forjados de hormigón armado, empotrados de un modo perfecto en sus secciones extremas y sometidos a la acción de una carga uniformemente repartida.

### Datos preliminares

Sea  $l$  la luz de cálculo, o distancia entre las secciones de empotramiento, expresada en metros;  $a$ , también expresada en metros, la longitud del forjado, y  $p$  el valor de la carga uniformemente repartida que le solicita, expresada en kilogramos por metro cuadrado.

### Ley de variación de los momentos flectores

La ley de variación de los momentos flectores es una parábola de segundo grado, cuya ecuación referida a dos ejes de coordenadas, uno horizontal de longitudes y otro vertical de momentos, que pasen por la sección de empotramiento de la izquierda, es, según fácilmente puede deducirse,

$$M = \frac{p \cdot l}{12} [6x(l-x) - l^2]$$

Esta ley es la que se representa en la figura 1.<sup>a</sup>

La ecuación anterior da para valores de los momentos en el centro y en las secciones de empotramiento las expresiones muy conocidas

$$M_c = \frac{1}{24} p \cdot l^2 \quad M_e = -\frac{1}{12} p \cdot l^2$$

Comencemos por determinar en la ley de variación de los momentos flectores las abscisas para las cuales se anula el valor del momento, así como aquellas para las cuales tiene igual valor absoluto y signo contrario al deducido para la sección central. Por sencillas operaciones se obtiene:

Abscisas de momento nulo

$$X_{M_0} = \frac{l}{6} (3 - \sqrt{3}) \quad X'_{M_0} = \frac{l}{6} (3 + \sqrt{3})$$

Abscisas de momento igual a  $-\frac{1}{24} p \cdot l^2$ :

$$X_{M_{-c}} = \frac{l}{6} (3 - \sqrt{6}) \quad X'_{M_{-c}} = \frac{l}{6} (3 + \sqrt{6})$$

Los puntos simétricos de los primeramente obtenidos, con relación a los determinados en segundo lugar, tienen por abscisas

$$X = \frac{l}{6} (3 - 2\sqrt{3} + \sqrt{6})$$

$$X' = \frac{l}{6} (3 + 2\sqrt{3} - \sqrt{6})$$

Fijados estos elementos preliminares, ahora es ya fácil calcular las secciones necesarias, tanto de hor-

hormigón como de armadura, así como la distribución de ésta.

**Cálculo de secciones**

El cálculo se reduce a determinar para dos secciones—la de empotramiento y la central—el canto y la cuantía necesarias para que en ambas los dos materiales—hormigón y armadura—trabajen a las cargas límites prácticas que para ellos se admitan.

Desde luego, el cálculo se basa en la consideración de que las armaduras son asimétricas para ambas secciones, cosa indicada para que, tanto la armadura como el hormigón, absorban las cargas de la naturaleza adecuada a su constitución. El hormigón, como esencialmente apto para recibir esfuerzos de compresión, será el que recoja y la armadura los de tensión que se originen.

Representando por  $H$ , expresado en kilogramos por centímetro cuadrado, y  $A$  medida en la misma clase de unidades, las cargas prácticas límites del hormigón y la armadura, el canto y cuantía necesarios para que una sección soporte un momento  $M$ —expresado en metros kilogramos—, trabajando los dos materiales que la forman a esas cargas, vienen dados por las siguientes expresiones

$$c = \frac{A + 15H}{15H} \times \left| \frac{0}{A + 10H} \right| \times \frac{M}{15H^2}$$

$$q = 2(A + 15H)$$

en la primera de las cuales el canto deducido saldrá expresado en centímetros.

Conocidos el canto y la cuantía, se deduce para sección de hierro, expresada en centímetros cuadrados,

$$a = q \times 100 \times c$$

Por la aplicación de las fórmulas anteriores se obtiene para la sección central un canto  $c$  y una sección de hierro  $a$ , y análogamente para la sección de empotramiento se deduce un canto y sección críticos de armadura  $c'$  y  $a'$ , que proporcionan ya todos los elementos necesarios para distribuir armaduras y espesores de hormigón.

**Composición y distribución de armaduras**

Se empieza por constituir la armadura de la región central por un cierto número de barras de igual diámetro que proporcionen aproximadamente la sección deducida, e igualmente espaciadas entre sí, pudiendo adoptar como regla práctica que esta separación sea sensiblemente el canto del forjado. En los empotramientos se compone la sección de armadura con el mismo número de barras que en la región central, mas otros tantos redondos de distinto diámetro, que se intercalan entre aquéllas. Estas barras, intercaladas entre las primitivas, se extienden desde el empotramiento hasta la sección de momento igual y contrario al central, pues desde aquí hasta el centro son innecesarias.

Las armaduras de que primitivamente hemos hablado son superiores desde el empotramiento hasta la sección en que acaba el segundo orden de barras,

bajan gradualmente desde aquí hasta la sección de abscisa  $X$  y de ésta al centro del forjado continuán siendo inferiores.

El levante se hace en línea recta y por igual en todas las barras de la armadura, suavizándose los cambios de alineación con curvas de enlace.

**Distribución de espesores de hormigón**

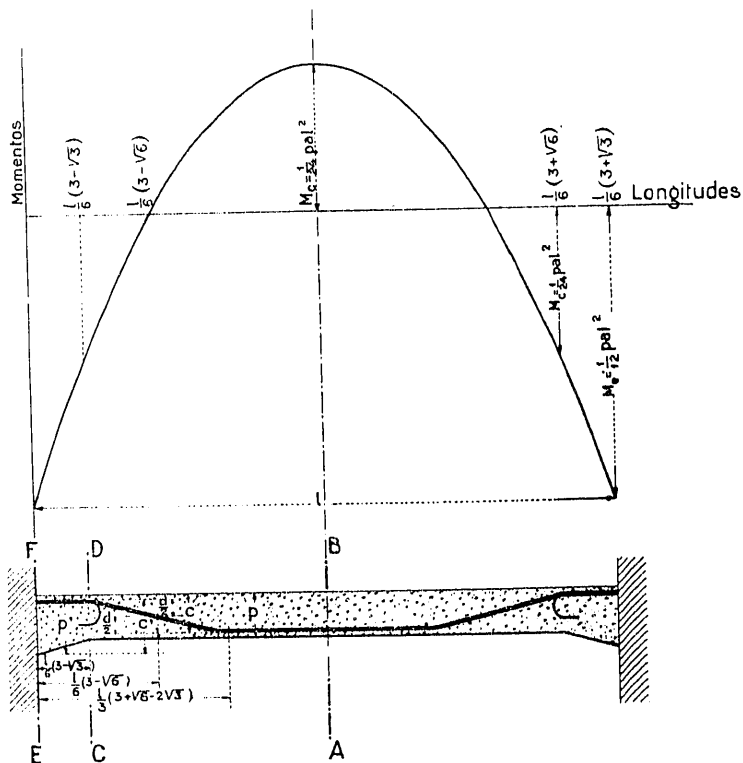
Desde el centro hasta la sección para la cual el momento es igual y de signo contrario al medio, el forjado tiene un espesor constante e igual al deducido para el canto, aumentado en el recubrimiento de la armadura. Y desde la sección mencionada hasta la de empotramiento varía de un modo gradual, según una línea recta, formando así una cartela, que en este caso no es caprichosa, sino deducida por las conveniencias mecánicas de la construcción.

**Ventajas del forjado propuesto**

Con la figura 1.<sup>a</sup> a la vista, razonemos las ventajas del forjado, deducido por el método expuesto de cálculo.

La sección  $AB$  está calculada para que, tanto el hormigón como la armadura, trabajen a sus cargas

FIG. 1<sup>a</sup>.



límites, resultando como consecuencia en idénticas condiciones la sección  $CD$ , que soporta un momento igual y está constituida con el mismo espesor de hormigón e idéntica armadura. Lo mismo podemos decir de la sección de empotramiento  $EF$ , que con las anteriores constituyen los puntos de máximo aprovechamiento del material.

Las demás secciones están en condiciones de resistencia más favorables, es decir, que en ellas ni el hormigón ni la armadura trabajan a los coeficientes máximos admitidos en el cálculo.

Los diferentes espesores de hormigón deducidos, no solamente son convenientes para resistir el momento flector, como se ha visto, sino que también ofrecen la ventaja de presentar mayor sección de hormigón allí donde aumenta el valor de los esfuerzos tangenciales.

Las armaduras, constituídas en la forma indicada, facilitan mucho la ejecución de la obra y mejoran sus condiciones de resistencia por las razones que a continuación se expresan:

1. Cada hierro se encuentra siempre situado en un mismo plano vertical, que no abandona en toda su longitud.

2. Todos los redondos se presentan doblados del mismo modo, lo cual, unido a la circunstancia anterior, es favorable al automatismo de los obreros, que tanta rapidez proporciona al doblado y colocación de las armaduras, y

3. Todo el forjado presenta una distribución uniforme de armaduras; en toda su longitud es igualmente apto para soportar los mismos esfuerzos, no

Por las fórmulas ya indicadas determinaremos el canto y armadura necesarios para que ambas secciones trabajen a sus cargas límites.

Sección central

$$c = 0,40 \sqrt{1\ 000} = 0,40 \times 31,62 = 12,648 \text{ cm}$$

$$a = 0,0075 \times 100 \times 12,648 = 9,49 \text{ cm}^2$$

Secciones de empotramiento

$$c = 0,40 \sqrt{2\ 000} = 0,40 \times 44,72 = 17,888 \text{ cm}$$

$$a = 0,0075 \times 100 \times 17,888 = 13,42 \text{ cm}^2$$

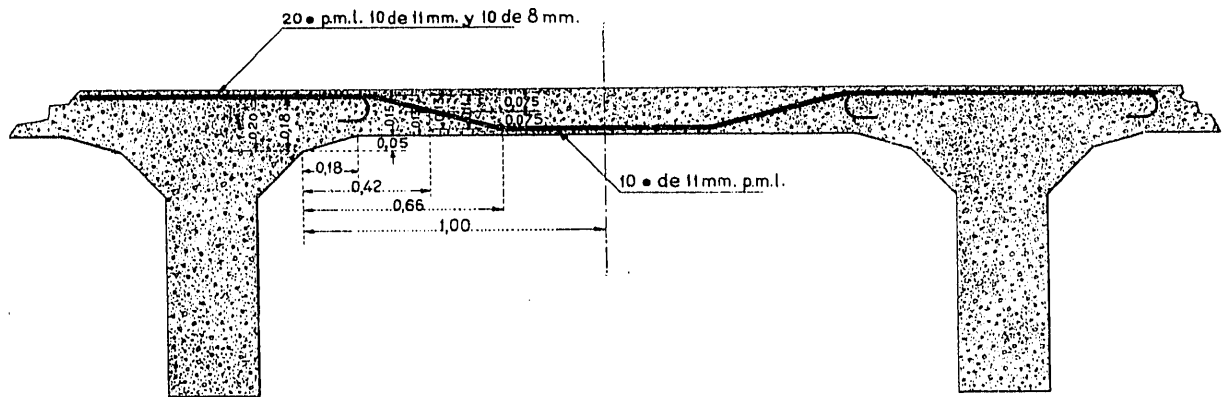
Como dimensiones prácticas para realizar la obra sin dificultades, adoptamos las cifras siguientes:

Sección central:

Canto = 13 cm; armadura, 10 redondos de 11 mm de diámetro por metro lineal, que dan una sección de 9,50 cm<sup>2</sup>; separación entre barras, 10 cm; recubrimiento, 2 cm; peralto, 15 cm.

Secciones de empotramiento:

Fig. 2<sup>a</sup>



ofreciendo esos oleajes de hierro que proporciona el levante no simultáneo de las barras y que complica inútilmente la ejecución de las obras.

### Aplicación a un caso práctico

Para ver la sencillez del método expuesto, apliquémosle a un caso práctico. Calculemos un forjado de 2 m de luz, sometido a una carga uniformemente repartida de 6 000 kgs : m<sup>2</sup> y admitamos como coeficientes de trabajo del hormigón y armadura

$$H = 40 \text{ kg : cm}^2 \quad \text{y} \quad A = 1\ 000 \text{ kg : cm}^2$$

Haremos el cálculo considerando una longitud de forjado  $a = 1$  m.

Los momentos en las secciones central y de empotramiento son, respectivamente,

$$M_c = \frac{1}{24} \cdot 6\ 000 \times 4 = 1\ 000 \text{ m kg}$$

$$M_e = \frac{1}{12} \cdot 6\ 000 \times 4 = 2\ 000 \text{ m kg}$$

Canto = 10 cm; armadura, 10 redondos de 11 mm procedentes del levante de las barras de la región central y otros 10 redondos de 8 mm que se intercalan entre los precedentes, obteniendo así en conjunto para sección de armadura 14,53 cm<sup>2</sup>; recubrimiento, 2 cm; peralto, 20 cm.

Para hacer la distribución de espesores de hormigón y fijar la posición de las armaduras, determinaremos los valores de las abscisas ya citadas

$$N_{M-c} = 0,18 \text{ m} \quad N_{M_0} = 0,42 \text{ m} \quad N = 0,66 \text{ m} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$N'_{M-c} = 1,82 \text{ m} \quad N'_{M_0} = 1,58 \text{ m} \quad N' = 1,34 \text{ m} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\}$$

Como puede verse en la figura 2<sup>a</sup>, el espesor del forjado es constante desde la abscisa 0,18 m a la 1,82 m, aumentando gradualmente desde estas secciones a los extremos. La armadura de menor diámetro ocupa los 0,18 m extremos del forjado en su parte superior y la de mayor diámetro, que en los extremos también ocupa la parte alta, baja gradualmente desde la abscisa 0,18 m hasta la 0,66 m, pasando por el punto medio del espesor en la abscisa 0,42 m, donde se anula el momento. Análoga distribución se hace en las abscisas simétricas de las anteriores con relación al eje del forjado.