

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente.... Excmo. Sr. D. Eduardo López Navarro, Inspector general del Cuerpo.
Redactores..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
D. Antonio Sonier, Profesor de la Escuela d- Caminos.
D. Enrique Latre, Ingeniero de Caminos (Sección de Información).
D. Manuel Maluquer, Ingeniero de Caminos del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

SISTEMA LA «POUTRE DALLE»

El hormigón armado es de antiguo conocido. La primera idea nació de asociar el hormigón al hierro para aumentar su resistencia. Al principio esta idea pareció falta de fundamento y muchas personas con desconfianzas más ó menos justificadas, pusieron en duda la eficacia del nuevo sistema de construcción y le predijeron un mal porvenir.

Desde algún tiempo á esta parte las opiniones se han modificado, y los resultados obtenidos en aplicaciones tan variadas como numerosas, demuestran las grandes ventajas que reúnen las construcciones de hormigón armado.

Hoy la nueva construcción, gracias á los perfeccionamientos obtenidos, ha llegado á inspirar confianza entre los más distinguidos Ingenieros y Arquitectos, á pesar de que las combinaciones y cálculos, en los diversos sistemas conocidos no estén sólidamente apoyadas en una teoría perfectamente racional y matemática.

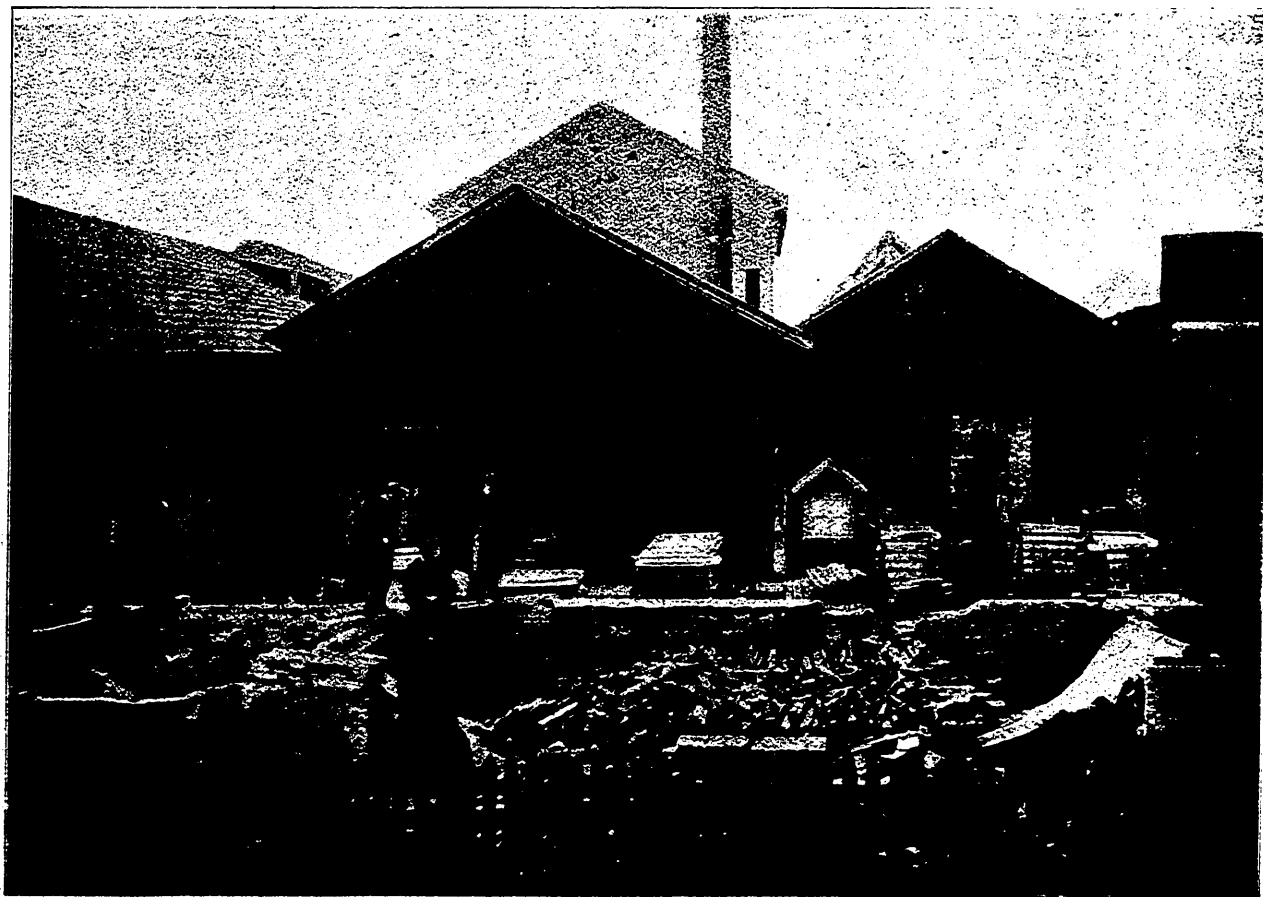
Sería, sin embargo, muy arbitrario afirmar que los métodos más ó

menos empíricos que cada constructor aplica son falsos, cuando se ven los buenos resultados obtenidos por todos los sistemas en general.

Sin entrar en un estudio comparativo de los diversos sistemas reconocidos como buenos, por haber dado resultados satisfactorios en la práctica, diremos solamente que el mejor de todos ellos será aquel que haga de la disposición de los dos materiales, hierro y cemento, un verdadero monolito formado por un esqueleto interior que haga solidarios y asegure un enlace íntimo entre los elementos de resistencia para que puedan equilibrarse los diferentes esfuerzos que bajo la acción de las cargas se producen.

Los fenómenos complejos que se producen en las vigas heterogéneas no son fáciles de investigar, y las experiencias verificadas hasta el día no determinan de una manera precisa la parte con que cada elemento contribuye á la resistencia total.

En las experiencias, que siempre se hacen con gran cuidado, se obtienen resultados excelentes, cualquiera que sea el sistema que se adopte; pero en la práctica hay una porción de causas que falsean los resultados, y esa es la razón por la cual nosotros decimos que para merecer el nombre de buen sistema, hace falta sobre todo que haya un enlace perfecto entre los elementos de resistencia, á fin de que se ob-



Ensayos de rotura de un piso construido por el sistema de la «Poutre Dalle».

tenga una gran seguridad, aun en los casos más ó menos graves de defectos de construcción.

Este enlace es el único que ha de permitir establecer una teoría exacta para los cálculos.

En todos los sistemas los papeles de los elementos son los mismos; el hormigón debe resistir á los elementos de compresión y el hierro á los de extensión.

El problema, pues, consiste en combinar la construcción de las vigas, forjados, apoyos, etc., de tal manera que los dos elementos trabajen gradualmente, tomando partes iguales, en la resistencia que deben oponer á los esfuerzos diferentes que las cargas producen.

Fijos en esta idea es como hemos conseguido un sistema racional, y su descripción, que á continuación damos, demostrará que la seguridad ha sido nuestro principal cuidado, conservando al mismo tiempo la sencillez y la facilidad en la construcción de hormigón armado, y haciendo posibles todas las formas que la construcción general reclama y que la hacen tan apreciable por su elegancia, resistencia, conservación, incombustibilidad y economía.

*
* *

En un piso cualquiera de hormigón armado, el forjado es la parte principal que cubre la superficie limitada por los muros. Esta superficie suele ser en general muy grande para que el forjado sencillo sea prácticamente aplicable, se recurre entonces á vigas que apoyando sus extremidades en los muros de recinto y convenientemente espaciadas pueden soportar el peso propio del piso y la sobrecarga á que ha de estar sometido.

Si el forjado se fabrica fuera de la obra, y se coloca después por trozos sobre las vigas, estas últimas estarán en las mismas condiciones de resistencia que si fueran en hierro. En la construcción ordinaria; sería preciso entonces armarlas sólidamente para obtener la resistencia suficiente; pero si el forjado forma cuerpo con la viga, las cosas varían por completo; entonces el forjado ofrece una resistencia muy grande á la compresión, pues sabemos que el hormigón trabaja muy bien en esas condiciones. Tenemos, pues, de esta manera, una viga, que tiene la forma de T de ala muy larga en la parte superior y que contribuye á la resistencia en una proporción variable con la resistencia de los hierros colocados en la parte inferior de la vigueta. El hierro es el elemento resistente por excelencia á la tensión, el hormigón no proporciona más que una débil resistencia al principio, y por eso no la tendremos en cuenta para nada y dejaremos al hierro solo para resistir á las tensiones producidas por las cargas.

Cuanto mayor sea la resistencia de los hierros, tanto más podrá trabajar el hormigón por unidad superficial en la zona de las compresiones para proporcionar su parte igual de resistencia. Si los hierros son, por el contrario, débiles, en la zona de las tensiones, se producirá rápidamente un alargamiento y en el cemento se presentarán grietas á medida que se alarguen los hierros, y estas grietas del hormigón subirán á la zona de las compresiones, produciéndose la flexión de la pieza antes de que haya producido su máxima resistencia á la compresión.

Se ve, por lo tanto, que son los hierros tendidos de las vignetitas los que deben, ante todo, producir la primera parte de la resistencia buscada. Para obtener un buen resultado, es preciso, como ya hemos dicho anteriormente, que la viga y el forjado formen un solo cuerpo. En el caso contrario, si hay una falta de unión, el forjado se convierte en peso muerto y se aumenta el trabajo de los hierros á la extensión.

Se está expuesto á una mala unión entre las diversas partes del piso, si las vigas se fabrican con anterioridad y es preciso, por lo tanto, un cuidado especial, á fin de poder obtener buenos resultados. Cada constructor tiene su modo especial de enlazar los hierros de la viga en el hormigón del forjado, por medio de estribos de formas variables que se encuentran mejor ó peor enlazados con el hormigón de la región comprimida. Se tiene así un resultado muy lejano de la perfección, porque á menudo tendrá este sistema el inconveniente de facilitar las grietas del forjado en sentido longitudinal de la vigueta, y precisamente en el sitio en que se produce la reacción del forjado sobre los apoyos, cuando no haya hierros en ese sitio que las combatan.

Todas estas dificultades se han vencido por el principio en que descansa nuestro sistema, que es construir un empotramiento perfecto enlazando la armadura de la viga con los mismos hierros de forjado y todos ellos *anclados* á una pequeña barra colocada encima del centro de las compresiones.

De esta manera ningún deslizamiento es posible, el hormigón está aprisionado entre el cruzamiento de los diferentes hierros, ninguna

arista saliente determinará grietas; se refuerza el hormigón del forjado en el apoyo en donde los esfuerzos cortantes son máximos, se colocan barras dobles en forma de triángulo en esta región, y un hierro en la zona superior para combatir la reacción sobre el apoyo.

La pequeña barra de la zona comprimida evita también que el trabajo del hormigón llegue al límite de ruptura por aplastamiento, antes de que las fibras extendidas hayan tomado el alargamiento máximo de que son susceptibles.

Esta observación resulta de los ensayos hechos por Mr. Considère en vigas de cemento armado sometidas á esfuerzos de flexión.

Después de lo dicho, veamos que en la construcción del sistema no hay ya viga y forjado aislados, sino que es á las dos unidas á lo que llamamos *Poutre Dalle*.

DESCRIPCION

La *Poutre Dalle* es una combinación racional del hierro ó el acero con el hormigón.

Según las disposiciones esenciales y características representadas por las figuras correspondientes, las barras están dispuestas de tal manera que permiten obtener una gran resistencia en los pisos, por el enlace íntimo de los hierros del forjado con los del nervio que forma la viga. (Figura 1.)

La disposición es tal que los hierros redondos de la armadura del forjado están plegados sobre la barra de compresión de la viga, descienden por bajo de los hierros de la región extendida, para subir de nuevo á la comprimida, reuniendo así la viga con el forjado por enlaces continuos.

La armadura está, pues, compuesta de dos barras superpuestas en la región extendida, y de una tercera en la comprimida. (Figura 2.)

Una viga puede tener varias armaduras según la resistencia que se desee obtener. (Figura 3.)

En toda armadura la barra interior es la de mayor sección y tiene sus extremidades algo ensanchadas, pero guardando su dirección rectilínea. La segunda, superpuesta á la primera en la parte central, toma la forma de un arco de curva y sus extremidades pueden encorvarse en forma de anillo y gancho para formar con las barras próximas un encañamiento y con los muros un *anclaje* por medio de una barra que se mete en dichos anillos.

Es natural que esta segunda barra, ordinariamente de menor sección y más larga que la primera, tome una forma curva y continua sin tener codos ni cambios bruscos.

Esta disposición de la barra extendida tiene por objeto hacer trabajar el hierro desde el primer momento y aliviar el hormigón oponiéndose á la flexión.

La barra superior de la región comprimida es de pequeño diámetro, sirve de anclaje y de apoyo á las barras transversales del forjado que enlazan las barras inferiores de la viga.

Se ve, pues, fácilmente la solidaridad que existe entre todos los elementos, y la buena repartición de las piezas metálicas para resistir á la tensión y á los esfuerzos cortantes, evitando el deslizamiento y asegurando siempre al hormigón la coesión necesaria para que resista al trabajo de la compresión.

Cualquiera que sea la viga, ya esté formada de una ó varias armaduras, las ramas largas de enlace se dirigen en el forjado, una vez en un sentido y otra en el opuesto, y dos ramas de la misma barra van siempre en direcciones opuestas. Las ramas van siempre hasta el encuentro de la viga más próxima y se enlazan, al pasar, con las ramas cortas que vienen de esta viga.

Se observará que el forjado tiene su armadura trabajando enteramente á la tensión en el centro de la luz, y que las barras suben en los apoyos y se ligan con las ramas cortas de enlace, formando así un triángulo indeformable envuelto por completo por una mayor cantidad de hormigón, que aumenta la resistencia al esfuerzo cortante en la unión del forjado con el apoyo.

De esta manera el forjado está perfectamente empotrado con la viga y por eso se da esta disposición el nombre de *Poutre Dalle*.

La resistencia al momento flector se hace entonces mayor y permite salvar grandes luces, para sobrecargas ordinarias, cruzando en el centro barras de repartición de pequeño diámetro á los cuales se les levanta de distancia en distancia unos pequeños ángulos para asegurar el enlace del hierro con el hormigón.

En el caso de un forjado que descansa sobre cuatro muros ó sobre cuatro vigas que se crucen, la disposición es la misma, todas las barras vienen á cruzarse en el medio y forman además un refuerzo en

Fig. 1

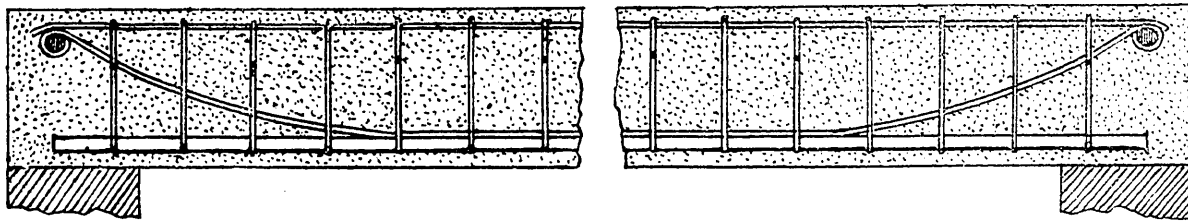


Fig. 3

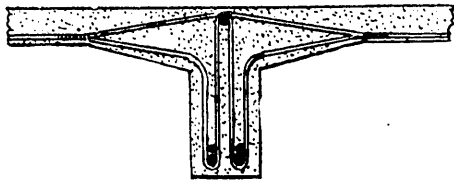


Fig. 2

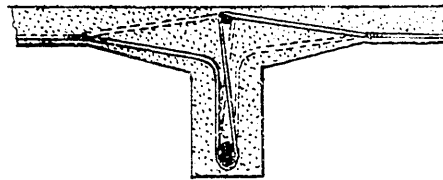


Fig. 4

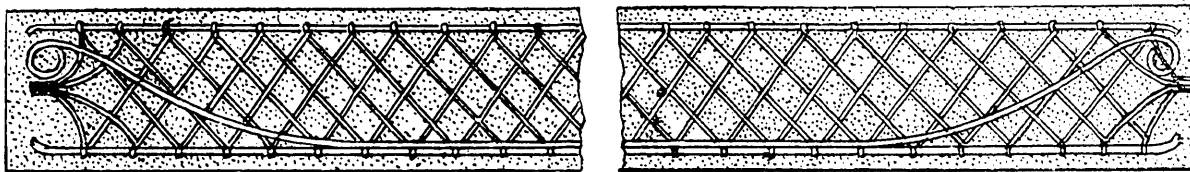


Fig. 6

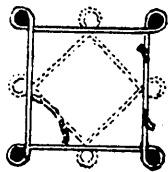


Fig. 5

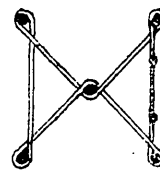
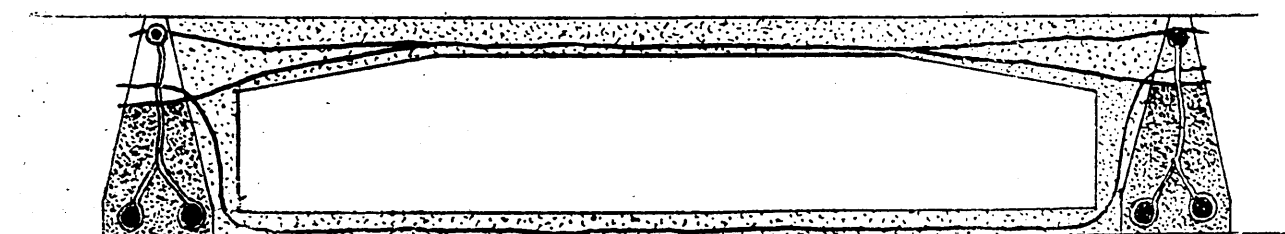
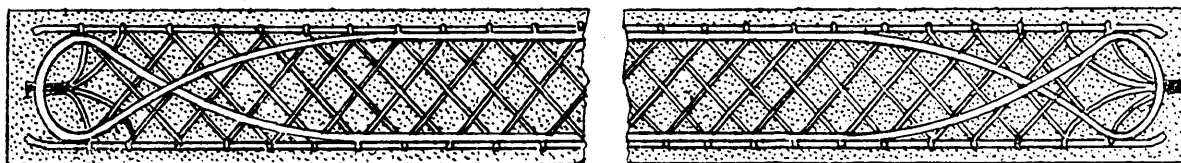


Fig 7



todo el contorno con el aumento de espesor que el hormigón tiene en los apoyos.

Acabamos de describir cómo se construyen los pisos que van de un muro á otro con viguetas espaciadas de dos á tres metros y aun de más, según la resistencia que deseamos obtener.

Se presenta también muy á menudo en las construcciones de cierta importancia ó por necesidades especiales, que se suprimen los muros interiores para reemplazarlos por pilares que sostienen á veces varios pisos y entonces es necesario recurrir á las vigas maestras, en las que se apoyen las viguetas y el forjado y que refieren las cargas á los pilares.

Todo esto puede disponerse y enlazarse perfectamente del siguiente modo:

Los pilares se construyen con cinco barras, en el caso de varios pisos, cuatro, y hasta á veces una sola en el centro, para los de pequeña altura, cuando las cargas son débiles y es necesario darles cierta elegancia. Estas columnas ó apoyos descansan sobre un macizo, al que se da el ensanche necesario para repartir la presión convenientemente y según la naturaleza del suelo.

Como los pilares tienen siempre una sección mucho menor que el macizo del cimiento, se aumenta la base de repartición por medio de una placa cuadrada de hierro de 0,50m de lado ó más, según las necesidades; sobre esta placa se apoyan las barras que suben por los pilares.

Sobre los pilares descansan las vigas maestras, que deben construirse al mismo tiempo que ellos.

Para obtener la solidaridad completa de las barras tendidas de estas vigas que tienen la misma disposición que las ya descritas en la Poutre Dalle, pero en las que no hay barras del forjado que las sirvan de unión, hemos ideado un sistema de enlace con pequeños hierros redondos, cuya disposición característica es una trenza con anillas en sus codos para meter por ellos las barras rectas. (Figura 4.)

Esta disposición de armadura es disimétrica y se tiene, como en la Poutre Dalle, el hormigón que trabaja á la compresión. Sin embargo, el hormigón solo no es siempre suficiente para equilibrar la mitad del momento flector, y entonces se suple la resistencia con barras de hierro colocadas en la región de las compresiones. Estas vigas pueden tener dos ó más armaduras y tienen su barra de compresión que viene á enlazarse con el forjado.

Las mismas trenzas pueden servir para los pilares, separando los anillos para enlazar las barras verticales según cuatro líneas rectas.

Se pueden también emplear hierros redondos de la forma indicada en las figuras 5 y 6, cuando los pilares necesiten una gran resistencia y están formados por cinco ó más barras embutidas en el hormigón.

Se presenta también algunas veces en la construcción la necesidad de disponer vigas aisladas sin forjado superior y que deben remitir esfuerzos en los dos sentidos.

Este caso requiere el empleo de una armadura simétrica como la indicada en la figura 7.

En este caso la viga armada y con cemento trabaja absolutamente de la misma manera que una viga de hierro I, en que las barras representan las cabezas y en que la trenza ó arriostramiento no es otra cosa que un alma en celosía que las reúne.

Cuando la viga debe tener una gran resistencia se compone su esqueleto de dos ó más armaduras, formándose así varias vigas gemelas reunidas en una sola.

Este sistema de armar las vigas está llamado á prestar grandes servicios en gran número de casos, y principalmente cuando se trata de establecer un suelo de hormigón armado en una construcción antigua en que los encofrados son difíciles de colocar.

Se pueden moldear las vigas en un taller dándolas una sección trapezoidal. Estas vigas se ponen después en su sitio y ya no queda más que hacer el forjado, para lo cual se pasan hierros transversalmente á la armadura, y dándoles la posición indicada para la Poutre Dalle, en lo que se refiere á las barras del forjado. Para esto se rompe la parte superior de la viga, quitando el hormigón ó descubriendo la barra de compresión y entonces el anclaje se hace muy fácilmente y el forjado, una vez terminado, aumenta la resistencia.

Este mismo procedimiento de construcción se aplica con ventaja para los pisos dobles ó con cámara de aire; en ese caso el forjado hueco hace como de clave entre las vigas y se une á ellas enlazando todos los hierros en la zona de las compresiones, como se ve en la figura 8.

El alma en forma de trenza que enlaza las barras tiene también aplicación en las piezas del arco para puentes, viaductos, así como para los pies derechos de los muelles embarcaderos, estacadas, etc., pues se llega con esta disposición á tener un esqueleto metálico que se

convierte después en un monolito cuando se le rodea de un buen hormigón de cemento, y esta ventaja resulta grande porque se puede armar sólidamente el esqueleto metálico.

En otra nota nos proponemos desarrollar más ampliamente la construcción de viaductos, puentes, placas de fundación, palizadas, tubos, depósitos, etc. En una palabra, nos proponemos demostrar que todas las disposiciones que la construcción demanda, son prácticamente realizables con nuestro sistema, puesto que con él se obtienen reunidas las dos principales ventajas del hormigón armado, la solidez y la economía.

TEORIA Y CALCULO

Toda la la teoría de nuestro sistema se apoya en las siguientes hipótesis:

El hormigón trabaja solamente á la compresión.

El hierro ó acero trabaja á la tensión ó á la compresión.

Los momentos flectores son equilibrados por mitad por el hierro y el hormigón.

La fibra neutra en los forjados y vigas aisladas está situada en la mitad de la altura, mientras que se encuentra á los $\frac{2}{3}$ de la distancia que separa el centro de las tensiones del de las compresiones, para la Poutre Dalle; siempre que, tanto en un caso como en otro, las proporciones sean las convenientes.

Partiendo de ellas, no hacemos para nuestros cálculos más que aplicar las fórmulas conocidas de la mecánica racional; y así, por ejemplo, para el cálculo de la Poutre Dalle consideramos el empotramiento perfecto y tomamos para momento máximo de flexión el que se obtiene

de la fórmula $M = \frac{P L^2}{12}$ en que P es la carga uniformemente repartida y L la luz. Para las vigas maestras tomamos para momento flector máximo el que se obtiene de la fórmula $M = \frac{P L}{10}$ intermedia entre la anterior y la que corresponde á la viga apoyada $M = \frac{P L^2}{8}$.

Damos á las vigas, á los forjados y á las demás partes de la construcción las dimensiones más convenientes según las luces y cargas que tienen que sostener y comprobamos su resistencia adoptando para el hormigón un coeficiente de 25 kilogramos por cm.² á la compresión y de cero á la extensión; de 10 kilogramos por mm.² para el hierro y de 12 kilogramos por mm.² para el acero. Estos coeficientes, que son los que generalmente empleamos, se disminuyen prudencialmente, cuando en obras especiales están los materiales sometidos á cargas extraordinarias, á esfuerzos dinámicos considerables ó á la intemperie que les pueda desagregar.

En los apoyos, pilares ó columnas elevamos á 30 kilogramos por cm.² el coeficiente de resistencia del hormigón, dejando el mismo el que corresponde al hierro.

Con estas indicaciones cualquier Ingeniero ó Arquitecto, puede darse cuenta exacta de si las obras proyectadas dejan algo que desear respecto á estabilidad y resistencia, y todo constructor celoso debe extender sus cálculos con los más amplios detalles, según la clase de obra que piense ejecutar, á fin de obtener una seguridad completa tanto respecto á solidez como á su buena conservación.

Terminaremos esta parte indicando los resultados obtenidos en alguna de las pruebas de rotura de la Poutre Dalle.

1.º Poutre Dalle de 4m,10 de luz apoyada en dos muros de fábrica de ladrillo.

La sección de la viga era de 0m,25 X 0m,15 hasta el arranque del forjado. Este tenía un metrú de anchura y su espesor era de 0m,09 sobre la viga y de 0m,06 en los extremos.

Las barras de la viga eran 5: las dos inferiores y rectas, de 20 mm.; las dos siguientes y curvas, de 16 mm., y la superior de compresión, de 10 mm.

Los hierros del forjado tenían 5 mm. de diámetro.

El hormigón estaba compuesto de 300 kg. de cemento Portland y 1.200 litros de arena y grava.

Se hicieron las pruebas á los veinte días de construida.

Las flechas máximas de la viga bajo la acción de las diferentes cargas fueron las siguientes:

Peso propio.....	{	Hormigón.....	1.150 kgs.
		Hierro.....	50

JOSEPH BLANC,
Ingeniero.

(Continuará.)