

del mar; pero para evitar la indecisión en los citados casos, que pueden presentarse en las islas Baleares y Canarias, ha parecido preferible adoptar la simple aclaración referente á suponer boca de entrada del canal la que abra más al Oeste, lo que es fácil de reconocer por las cartas.

Se ha considerado también necesario precaver igualmente otro caso de duda, cuando se trata de caracterizar las señales que corresponden á peligros en el mar, avanzados de la costa, que no son aislados, esto es, que el buque debe dejarlos del lado de tierra, suponiendo con este objeto que el barco navega siempre con la costa á estribor, regla muy sencilla sin equivalente en el Reglamento francés, y que es preferible á la adoptada por Inglaterra y los Estados Unidos, fundada en la dirección de la corriente de marea ascendente.

PLANO Y CUADRO FIGURATIVOS

El plano figurativo unido al Reglamento facilita la comprensión de sus prescripciones, incluyendo también un cuadro en que se representan diferentes señales para los diversos casos indicados, las cuales, aunque á primera vista puedan parecer numerosas, debe considerarse que no varía para cada grupo la coloración y la forma de la marca de tope, que son los dos caracteres distintivos esenciales que han de servir para su reconocimiento, como así en el Reglamento clara y precisamente se define.

Reglamento para el balizamiento de las costas de España, islas Baleares, y archipiélago canario.—Aprobado por Real orden de 2 de Noviembre de 1907.

Definición del balizamiento.—El balizamiento comprende el conjunto de todas las señales fijas ó flotantes, que sirven durante el día para indicar los peligros existentes ó bien los límites de los canales practicables para la navegación, constituyéndolas especialmente las boyas y las balizas de todas clases.

Caracteres de las señales.—Todas las señales empleadas en el balizamiento están caracterizadas y diferenciadas por su coloración y por la forma de la marca de tope, que puede ocurrir faltar, especialmente en las boyas sonoras y luminosas, las cuales, en casos inevitables, sólo se distinguirán por el color. La forma propia de la señal contribuirá también, cuando sea posible, á su distinción, pero en segundo término, siendo los otros dos caracteres predominantes.

Convenciones admitidas.—La palabra *estribor* indica el lado á la derecha del navegante que viene del mar.

La palabra *babor* significa el lado á la izquierda.

En los canales cuyos extremos abren al mar, se considerará para estos efectos, como boca de entrada, la situada más al Oeste.

Para las señales en el mar de peligro avanzado de la costa, se supondrá que el buque navega con ella á estribor, cuando debe dejarlo del lado de tierra.

Se llaman *señales de bifurcación* las situadas en la extremidad más próxima al mar de los bajos separados de la orilla.

Las señales colocadas en la extremidad opuesta, se llaman de *confluencia*.

Las señales establecidas sobre los bajos y escollos de pequeña extensión separados de la orilla, alrededor de las cuales puede navegarse, se denominan *señales de peligro aislado*.

REGLAS QUE DEBEN OBSERVARSE

1.^a Las señales de estribor estarán pintadas de rojo, tendrán una marca de tope de forma cónica é igual coloración, y mostrarán cuando constituyan serie, números pares de color blanco, á contar del lado del mar; aunque la forma visible de la señal sea cónica, no dejará de ostentar la indicada marca de tope.

2.^a Las señales de babor estarán pintadas de negro, tendrán una marca de tope de forma cilíndrica é igual coloración, y mostrarán, cuando compongan serie, números impares de color blanco, á contar del lado del mar; aunque la forma visible de la señal sea cilíndrica, la cual se reservará en las boyas para este caso, no dejará de ostentar la indicada marca de tope.

3.^a Las señales de bifurcación estarán pintadas á fajas horizontales blancas y negras alternadas, y mostrarán una marca de tope en forma esférica y de color negro.

4.^a Las señales de confluencia estarán pintadas á fajas horizontales blancas y rojas alternadas, y mostrarán una marca de tope de forma semiesférica con la parte curva hacia arriba y de color rojo.

5.^a Las señales de peligro aislado estarán pintadas á fajas horizontales rojas y negras, y mostrarán una marca de tope formada por un globo superpuesto á una semiesfera con la parte curva hacia arriba y de color rojo.

La forma esférica en la parte visible se reservará para estas tres últimas señales; pero aun en el caso en que la presenten, no dejarán de ostentar la respectiva marca de tope.

6.^a Las señales de restos de naufragio y las que indiquen la situación de cables submarinos, no tendrán marca de tope, y estarán pintadas de verde, con la inscripción correspondiente, *Naufragio ó Telégrafo*, de color blanco.

7.^a Las boyas especiales, luminosas y sonoras, de estribor, no mostrarán marca alguna de tope, y las de babor tendrán un canastillo cilíndrico en su remate.

En las bifurcaciones, confluencias y peligros aislados, se colocará la boya que corresponda de estos dos tipos característicos, considerando la situación del canal de mayor profundidad. La coloración se ajustará, sin embargo, en todos los casos, á las reglas anteriores.

Las boyas de amarra que puedan contribuir al balizamiento, se pintarán también según su posición respectiva, de acuerdo con dichas reglas, y á las exclusivamente de amarra se les dará el color blanco en toda la parte visible no sumergida.

8.^a Los nombres de los peligros, que pueden inscribirse sobre las señales que los marcan, se pintarán de blanco, con la palabra completa ó en abreviatura, de modo que no perjudique al reconocimiento de la coloración característica propia de la señal, é igualmente la numeración.

ENSAYOS DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO

(CONCLUSIÓN)

En las vigas números 49 y 52 se hicieron muescas de 61 centímetros de longitud por 13 centímetros de altura en todo el ancho de aquéllas (fig. 13), que dejaban al descubierto las barras

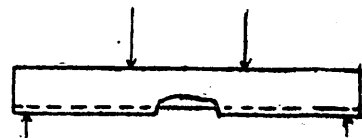


Fig. 13.

de la armadura; en la núm. 62 la muesca tenía 40 centímetros de longitud por 8 de altura. Aunque se presentaron algunas grietas en los rincones de estas muescas, la rotura tuvo lugar entre los apoyos y los puntos de aplicación de las cargas, por lo cual parece que dichas muescas no debilitaron las vigas.

45. *Efecto de la manera de aplicar las cargas.*—Por todos los Ingenieros se ha concedido siempre gran importancia á la manera de aplicar las cargas en los ensayos de vigas, creyéndose en un principio que las uniformemente distribuidas permitían que aquéllas resistieran momentos flectores mayores que cualquiera otra distribución de fuerzas; además, se ha encontrado que el momento resistente de vigas cargadas en su punto medio es mayor de lo que podría esperarse, dada la distribución de fuerzas que se admite en la teoría general de la flexión.

En los Cuadros VII y VIII figuran varias vigas con distribuciones de cargas distintas; todas las cuales se rompieron de manera prevista, dada su constitución y cargas.

El momento resistente de las vigas cargadas en su punto medio, calculado en función de la carga máxima con las fórmulas corrientes, es mucho mayor que los correspondientes á otras distribuciones de fuerzas. De las deformaciones producidas, así como de los momentos resistentes desarrollados, se deduce con toda claridad que la distribución de las fuerzas interiores en una viga de hormigón armado cargada en su centro no es la que se supone en la teoría ordinaria de la flexión; las tensiones de las barras en su punto medio son menores que las obtenidas por el cálculo, mientras que son mayores en puntos algo separados de aquél.

En las vigas cargadas con dos fuerzas equidistantes entre sí y de los apoyos, los resultados de los ensayos concuerdan bastante bien con los obtenidos aplicando la teoría general de la flexión.

Del estudio de los ensayos parece correcto afirmar que las vigas cargadas en su punto medio son comparables con las que tienen distinta distribución de fuerzas, y como por otra parte, la carga central es poco aplicada, hay que recomendar que no se emplee en los ensayos. La carga repartida entre dos puntos en la forma antes indicada es muy aceptable, porque sus efectos son comparables con los de la carga uniformemente repartida en lo que se refiere á las tensiones y compresiones desarrolladas, y aunque los esfuerzos cortantes, y, por lo tanto, las tensiones inclinadas son menores con la primera que con la segunda carga, en cambio con ésta los esfuerzos cortantes son grandes en una pequeña longitud á partir de los apoyos, en la cual la resistencia á estos esfuerzos es mayor que en el resto de la viga; además, á partir de un punto situado á $\frac{1}{8}$ de la luz de los apoyos, los esfuerzos cortantes de la viga con dos fuerzas aisladas son mayores que en las cargadas uniformemente. Todo lo expuesto demuestra la conveniencia de cargar las vigas con dos fuerzas aisladas iguales y equidistantes entre sí y de los apoyos para hacer los ensayos.

46. *Efecto de la repetición de cargas.*—La mayor parte de los ensayos de vigas de hormigón armado se han hecho con cargas crecientes de una manera continua hasta que se produce la rotura. Ahora bien; es un hecho conocido por todos que cuando se retira la carga que actúa sobre la viga, ésta no recupera su primera posición, lo cual es debido, en parte, á que la fracción del peso de la viga que produce tensión en el hormigón de la zona inferior contribuye á aumentar la correspondiente á la armadura cuando se pasa del límite de resistencia de aquel material á la tensión.

Si la carga que actúa sobre una viga se retira, y después se aplica de nuevo, los efectos producidos la segunda vez son distintos de los observados la primera, tanto en la zona comprimida como en la estirada, por cuya razón tiene gran importancia el estudio de lo que pasa en las vigas cuando las cargas se retiran y se vuelven á aplicar, con los mismos valores ó con otros diferentes. Para este fin se dedicaron las vigas números 17, 19 y 29; la primera se cargó once veces con 4.000 kilogramos, rompiéndose con 5.000 kilogramos, la segunda se cargó ocho veces con 2.700 kilogramos, y después seis con 4.500 kilogramos, siendo la carga máxima 4.800, pero rompiéndose con 4.500 kilogramos; y, por último, la tercera se cargó quince veces con 5.500 kilogra-

mos, y después se aumentó la carga hasta 6.200 kilogramos, con lo cual se produjo la rotura.

Los ensayos hechos con estas tres vigas fueron muy interesantes, por las enseñanzas que de ellos se dedujeron sobre los efectos de la repetición de las cargas. Las deformaciones de las vigas con las últimas cargas fueron un 12 por 100, un 15 por 100 y hasta un 30 por 100 mayores que la correspondiente á la primera aplicación de la carga, sobre todo en la parte comprimida, en cuya fibra extrema se observaron aumentos en las deformaciones que llegaron hasta el 30 y el 50 por 100 de la primera, mientras que á la altura de la armadura dicho aumento fué solamente del 7 al 9 por 100; en una viga la deformación del acero tuvo aumentos y disminuciones á partir de la segunda aplicación de la carga. Los incrementos de estas variaciones en las deformaciones decrecen, por regla general, con la repetición de las cargas.

De los resultados de los ensayos se deduce que en el proyecto de una viga de hormigón armado se determinará la carga máxima que soportará, tomando por base un coeficiente de trabajo por compresión algo inferior al que produce la rotura. La repetición de las cargas no aumenta las grietas, y la comparación de los resultados obtenidos con esta clase de ensayos, con los correspondientes á vigas análogas cargadas de una manera continua, siendo iguales los máximos en uno y en otro caso, demuestran que las diferencias tienen poquísima importancia.

Parece desprenderse de los hechos observados que la relación de la deformación que persiste al retirar la primera carga á la producida por ésta es igual á la que existe entre la que queda al retirar la última carga y la correspondiente á ésta; la deformación permanente varía del 20 al 35 por 100 de la que produce la carga, y es debida en su mayor parte á que el hormigón no recupera por completo su situación primitiva; la deformación permanente de la fibra superior de la viga varía del 30 al 50 por 100 de la que experimenta en carga.

47. *Cargas aplicadas progresivamente y retiradas.*—El procedimiento corriente de ensayar vigas consiste en aplicar cargas crecientes hasta producir su rotura. Para estudiar los efectos de retirar las cargas en distintas fases del ensayo se dedicaron cuatro vigas, las señaladas con los números 13, 20, 24 y 28, que se cargaron con cargas crecientes en 500 kilogramos, que se retiraban después de haber actuado sobre aquéllas.

Tanto por lo que se refiere á la forma y disposición de las grietas como á la posición de la fibra neutra, forma de rotura, deformaciones, etc., son de muy poca importancia las diferencias que se han observado entre las vigas antes citadas y las ensayadas con otras disposiciones de cargas, con los mismos valores máximos en uno y otro caso. Del examen de los diagramas y de las curvas de las flechas se deduce que al retirar las cargas, las vigas no recuperan su forma primitiva, sino que conservan parte de su deformación y de la flecha correspondiente en un grado tanto mayor cuanto más grande es la carga, pero siempre en menor escala al nivel de la armadura que en la fibra superior; como regla general puede establecerse que la flecha que persiste al retirar una carga varía del 20 al 35 por 100 de la producida por ésta, y que la deformación de la fibra superior del hormigón que se conserva después de retirada la carga oscila entre el 25 y el 40 por 100 de la debida á ésta, aumentando este coeficiente con la carga; en la armadura dicho coeficiente está comprendido entre el 8 y el 30 por 100, disminuyendo cuando la carga crece.

Los diagramas de las cargas y de las deformaciones ponen en evidencia un hecho que tiene gran influencia en el cálculo de la resistencia de las vigas, que es el siguiente; si bien es verdad que al repetir una carga la deformación de la viga es mayor que cuando se aplica por primera vez, si la segunda carga es mayor que la primera, las deformaciones se adaptan á las del diagrama general; en efecto, los croquis de las curvas coinciden perfectamente con las relativas al caso en que las cargas se aplican de una manera continua, tanto en forma como en los

valores efectivos, siendo explicables las diferencias observadas por las cualidades del hormigón. Este hecho contribuye á reforzar el argumento de que al calcular la resistencia de una viga, la posición de su eje neutro y el coeficiente de elasticidad, hay que atender más á las deformaciones totales que á las elásticas, porque aquéllas representan mejor que éstas el estado de la viga.

Tanto la rotura como la forma y disposición de las grietas en las vigas cargadas, como se ha explicado en los párrafos anteriores, se diferencian muy poco de las observadas en vigas cargadas de otras maneras, sucediendo lo mismo por lo que se refiere á la posición de la fibra neutra, cuando se calcula tomando por base las deformaciones totales. La deformación que conserva la parte inferior de la viga es debida, en su mayor parte, á que el hormigón no transmite las tensiones, las cuales quedan en el acero, que también experimenta un aumento de tensión por efecto de la mayor parte de peso de viga que recibe al excederse el límite de resistencia del hormigón á la tensión, y por la disminución que experimenta la tensión inicial del hormigón. La deformación que persiste en la parte superior de la viga es debida, en su mayor parte, á la naturaleza intrínseca del hormigón. En resumen, la aplicación de fuerzas crecientes de una manera discontinua produce en los materiales de la viga los mismos efectos que las cargas, que aumentan por incrementos muy pequeños.

48. Con las vigas números 23, 27 y 31 se hicieron ensayos con objeto de saber si las flechas y deformaciones que conserva una viga después de retiradas las cargas disminuyen con el tiempo, es decir, si tienden á recobrar su posición y formas primitivas, habiendo llegado á resultados poco satisfactorios, puesto que de las observaciones hechas se deduce que, aun al cabo de quince á cuarenta horas, las alteraciones que pudieran haber experimentado las vigas en el sentido de recobrar su forma primitiva eran inapreciables, lo cual no era de esperar, razón por la cual este hecho no puede admitirse como conclusión definitiva si no se confirma por más ensayos.

49. *Efecto de la permanencia de las cargas.*—Para determinar el efecto de la permanencia de las cargas sobre las vigas durante un período de tiempo mayor que el ordinario, se hicieron ensayos especiales con cuatro vigas, las señaladas con los números 16, 22, 26 y 36, las cuales se sometieron á la acción de las cargas durante unas treinta horas, por término medio, midiendo varias veces las deformaciones y flechas correspondientes. En primer lugar, se observó que la carga indicada por la máquina disminuía un poco, á razón de 500 kilogramos por 3.500 indicados, hecho debido en parte á la reducción de la flecha de la viga, no apreciándose movimiento alguno en los mecanismos de la máquina. Las observaciones se hacían de la manera siguiente: se empezaba por anotar la carga que actuaba sobre la viga, se medían las deformaciones y se dibujaba un croquis de las grietas, elevando entonces la carga hasta su valor inicial y volviendo á medir las deformaciones correspondientes. La carga se mantenía sobre las vigas durante el tiempo que se hubiera acordado, pasado el cual se aumentaba continuamente hasta producir la rotura de aquéllas.

Los incrementos de las flechas durante la permanencia de las cargas fueron el 18 por 100 en la viga núm. 16, el 12 por 100 en la núm. 22, el 35 por 100 en la núm. 26 y el 28 por 100 en la número 36, con relación á las que tomaron las vigas en el momento de aplicar la carga. Las deformaciones de la armadura y de la fibra superior del hormigón aumentaron también, en mayor proporción la segunda que la primera; el incremento de ésta en las vigas números 16, 26 y 36 fué el 15 por 100 y el de aquélla el 41 por 100 con relación á las observadas al aplicar la carga.

Parece que en un principio las deformaciones de la armadura crecen más rápidamente que las de la zona superior de la viga, y que la fibra neutra se eleva, mientras que posteriormente los incrementos de las deformaciones de la armadura son menores que los de aquélla zona, y la fibra neutra desciende hasta ser in-

ferior á su primitiva posición. Hay que hacer notar que la permanencia de las cargas no ejerce influencia alguna sobre los valores máximos de éstas ni sobre la forma de la rotura, así como que las curvas de las fuerzas y deformaciones y las de las flechas se elevan al aplicar cargas mayores que las que han actuado durante algún tiempo, adoptando finalmente la forma general que poseen dichas curvas cuando las cargas crecen lentamente, lo mismo que sucede cuando éstas se aplican y retiran alternativamente.

50. *Efecto de la forma de las barras.*—Las armaduras de las vigas marcadas con los números 48, 54, 58, 59 y 63 se constituyeron con barras dobladas en las dos formas que se representan en la figura 14, vigas cuyas dimensiones relativas y cantidad de

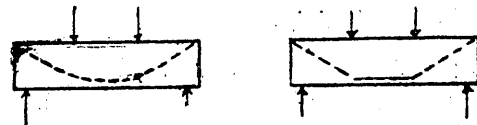


Fig. 14.

metal no eran las necesarias para que el hormigón desarrollara toda su resistencia á los tensiones inclinadas, razón por la cual los resultados de los ensayos no pueden considerarse como concluyentes por lo que se refiere á la parte que de las componentes inclinadas de las fuerzas toman las barras. La parte más interesante de los ensayos es la que se refiere á la posición y forma de la rotura, acompañada por grietas verticales con apariencias de rotura de la armadura por tensión, grietas que aparecieron entre los apoyos y los puntos de aplicación de las cargas. Las circunstancias y particularidades de los ensayos hechos con dichas vigas no son suficientemente claras para poder decir si la rotura se ha producido por alguna otra causa que no sea la tensión de la armadura; también hubiera sido muy interesante saber si en dichas vigas hubo ó no deslizamiento de las barras sobre el hormigón.

51. *Efectos de la calidad del hormigón.*—Las vigas señaladas con los números 39 y 40 se confeccionaron con hormigones poco amasados y poco apisonados, produciéndose su rotura de una manera brusca por tensión inclinada con las cargas máximas de 3.200 y 4.000 kilogramos respectivamente, siendo 4,40 y 5,50 kilogramos por cm.² los valores de los esfuerzos cortantes verticales, incluyendo el peso de las vigas. Las confeccionadas con hormigones normales y armadas como los números 39 y 40 se rompieron por las armaduras con cargas comprendidas entre 4.300 y 5.000 kilogramos, desarrollando un esfuerzo cortante vertical de 700 kilogramos por cm.² al cual corresponde una tensión inclinada que resistieron perfectamente aquellas vigas, hechos que demuestran con toda claridad la influencia de la calidad del hormigón.

La viga núm. 41 y la núm. 42 se construyeron de una manera especial, con hormigón pobre en su mitad inferior, es decir, en la parte que ha de transmitir las tensiones del acero á la zona comprimida, haciendo las funciones de alma.

El hormigón pobre se confeccionó con una parte de cemento, 6 de arena y 12 de piedra medidas en volumen y sin compactar, empleándose el hormigón normal de 1 × 3 × 6 en la mitad superior de la viga, y haciendo el apisonado en la forma corriente. La viga núm. 41 se rompió de una manera brusca por tensión inclinada con una carga de 4.000 kilogramos, sucediéndole lo mismo á la núm. 42 con la de 2.700 kilogramos. Los esfuerzos cortantes verticales calculados, incluyendo el peso propio de las vigas, fueron respectivamente 5,3 y 4 kilogramos por cm.², mientras que en las vigas normales era 8,8. Ahora bien: como la resistencia que una viga desarrolla á la tensión inclinada es proporcional al esfuerzo cortante vertical, resulta evidente la influencia que tiene la calidad del hormigón en el tra-

bajo de la viga por lo que se refiere á la transmisión de fuerzas desde la zona inferior á la superior, influencia generalmente desconocida, y que debe tenerse en cuenta aun cuando se empleen armaduras verticales.

La construcción de la viga núm. 43 se hizo en dos partes, con un intervalo de veinticuatro horas, ambas con hormigón normal (1 × 3 × 6); la primera, que era la inferior, tenía 25 milímetros de altura, y en ella se colocaron las barras de la armadura de manera que la mitad de su espesor quedara al aire; la segunda se construyó en la forma ordinaria. La rotura de esta viga se produjo con una carga de 4.200 kilogramos, iniciada por una grieta vertical á 30 centímetros de la parte central, cuya disposición, así como las fuerzas calculadas, indicaron que la rotura se produjo por la tensión del acero; la carga que resistió esta viga no es menor que la correspondiente á las vigas normales armadas de la misma manera. La adherencia desarrollada se calculó en 7 kilogramos por cm.² de superficie de armadura.

En la viga núm. 44 no se construyó la segunda mitad hasta veinticuatro horas después de haber terminado la primera, cuya cara superior se rayó con la punta de la paleta; esta viga se rompió por tensión inclinada en el hormigón con una carga de 4.200 kilogramos, formándose una grieta vertical hasta el plano de la armadura á 90 centímetros de uno de los apoyos cuando la carga era 3.600 kilogramos, además de la grieta correspondiente á la tensión inclinada que determinó la rotura. El esfuerzo cortante con la carga máxima de 4.200 kilogramos fué 5,60 kilogramos por cm.² Nada se ha deducido en concreto sobre la relación que pueda haber entre la tensión inclinada correspondiente á este esfuerzo cortante tan pequeño y la manera de construir la viga, así como tampoco se explica que se rompiera la viga por efecto de una tensión inclinada de tan poco valor.

52. *Efecto de dejar al descubierto parte de las barras.*—Las vigas señaladas con los números 49, 53 y 62 se construyeron de tal manera que la parte central de su armadura quedara al descubierto en una longitud de 40 á 60 centímetros (fig. 13), en la cual se midieron las deformaciones de las barras, así como entre puntos de las vigas separados 104 centímetros. En el Cuadro XVI se consignan los resultados de los ensayos hechos con aquellas tres vigas. Hay que hacer notar que el cesar de trabajar el hormigón por tensión no afecta las observaciones hechas sobre las barras descubiertas, razón por la cual la tensión de éstas se comparará con la deducida del momento correspondiente á la carga, lo cual es consecuencia de la hipótesis admitida acerca de la igualdad de las deformaciones del hormigón y del metal en el plano de la armadura.

CUADRO XVI

NÚMERO DE LA VIGA	CARGA Kilogramos.	Trabajo del acero. Kilogramos por mm. ² deducido.		
		Del momento resistente.	DE LAS DEFORMACIONES	
			En la parte descubierta.	En la parte cubierta.
49	3.630	18,20	16,17	18,98
53	3.630	18,34	17,71	20,66
62	3.630	18,34	18,13	16,24
Medias.		18,29	17,84	18,63

Es de mucho interés el estudio comparativo de los efectos que produce la retirada de las cargas sobre las secciones cubiertas y descubiertas de las barras. En la viga núm. 49 se retiró la carga al llegar ésta á 4.000 kilogramos, observándose una

deformación permanente entre los puntos de aquélla separados 90 centímetros y casi nula en los trozos de barras descubiertos, pues valía 0,000023, á la cual corresponde una tensión de 0,47 kilogramos por mm.².

53. *Posición de la fibra neutra y valor del coeficiente de elasticidad.*—Las posiciones sucesivas de la fibra neutra á medida que la carga aumenta siguen la misma ley que en las vigas sin armar, esto es, se eleva en un principio y permanece sensiblemente constante durante el último período del ensayo, según se ha comprobado experimentalmente por el procedimiento descrito anteriormente. En las vigas que por la gran cantidad de metal que contienen el hormigón desarrolla grandes compresiones, la fibra neutra baja mucho durante la deformación rápida de la fibra superior; en las vigas con poco metal, por ejemplo al 1 por 100, las deformaciones de la fibra superior son pequeñas. La causa de que en algunos casos no se aprecie un ligero descenso de la fibra neutra durante el último período de la flexión, como lo indica la teoría, es probablemente la disminución de la tensión total del hormigón en una sección á medida que la carga aumenta, influyendo más en la posición de la fibra neutra la mitad de la tensión que conserva el hormigón, que el momento resistente de la viga.

Las posiciones que para la fibra neutra se consignan en los Cuadros VII á XIII se refieren á la primera parte del último período de la flexión, y son las medias de las que corresponden á cargas superiores é inferiores á la que produce en la fibra superior una deformación de 0,0004 ó 0,0005 por unidad de longitud, que equivale próximamente á 0,20 ó 0,25 de la deformación final del hormigón.

En la figura 8.^a se han marcado varios puntos que representan los valores de la posición de la fibra neutra en vigas confeccionadas con hormigón de 1 × 3 × 6 y armadas con acero dulce, valores que concuerdan bastante bien con las curvas deducidas de la ecuación (11), sobre todo si se tiene en cuenta la influencia que ejercen en aquella posición la calidad del hormigón, el desconocimiento de la posición exacta de la armadura, la probabilidad de que ésta apoye sobre la arista de alguna piedra y otras varias circunstancias muy difíciles de prever. Los puntos son inferiores á la curva correspondiente á $n = 15$ (coeficiente de elasticidad inicial igual á 1.400 kilogramos por mm.²) y $q = 0,25$. Á medida que pasa el tiempo, el coeficiente de elasticidad crece algo, y, por lo tanto, la fibra neutra se eleva, pero no mucho, aun á los sesenta días. Sin embargo, parece correcto aceptar la curva en que $n = 15$ cuando el hormigón se confecciona con piedra caliza en la proporción 1 × 3 × 6, para calcular la posición de la fibra neutra y las fuerzas que actúan sobre la viga con un coeficiente de elasticidad inicial de 1.400 kilogramos por mm.² Cuando la cantidad de metal que contiene el hormigón es grande, el valor de q es mayor que 0,25; pero no es de absoluta necesidad tenerlo en cuenta, porque su influencia en la posición del eje neutro es muy pequeña. Si se adopta para curva de fuerzas y deformaciones la línea recta, se elegirá un coeficiente de elasticidad menor que el que se acaba de indicar.

El diagrama rectilíneo correspondiente á las vigas de hormigón sin armar se puede aplicar sin inconveniente á las armadas, mientras la dosis de metal no pase del 1,5 por 100, pero es preferible seguir el procedimiento analítico, sobre todo pudiendo determinar con facilidad la posición de la fibra neutra por medio de las curvas de la figura 8.^a Los valores del coeficiente inicial de elasticidad y de n que se recomiendan, 1.400 kilogramos por mm.² y 15 respectivamente, concuerdan perfectamente con los resultados de los ensayos de compresión hechos con hormigones de 1 × 3 × 6 confeccionados con piedra caliza.

54. *Resumen.*—Es difícil resumir los resultados de los ensayos de vigas de hormigón que constituyen el objeto del presente artículo, tanto por la extensión que abarcan como por el gran número de circunstancias y efectos secundarios con aquéllos íntimamente relacionados. El estudio detenido de los datos y de

las discusiones de los diferentes ensayos será, seguramente, más útil que la lectura de un breve resumen de ellos y permitirá deducir consecuencias de interés. Los párrafos que siguen no se considerarán como verdaderas conclusiones, sino como interpretaciones de los hechos observados durante los ensayos.

(1) Las circunstancias generales de los ensayos, como son los períodos de la flexión, el agotamiento de la resistencia del hormigón a la tensión, el momento resistente de la viga, la influencia del límite elástico del acero, etc., concuerdan bastante con las correspondientes a los ensayos de vigas de hormigón armado hechos durante el año 1904.

(2) El hormigón de $1 \times 3 \times 6$ armado al 1,5 por 100 con acero cuyo límite elástico es de 23,2 kilogramos por mm.² no desarrolla toda la compresión de que es capaz. En las vigas con menos cantidad de metal, la rotura es debida a que el acero se alarga más de lo que corresponde a su límite elástico, siempre que las dimensiones relativas de aquéllas y su armadura sean las convenientes para que la rotura no se produzca ni por tensión inclinada ni por deslizamiento de las barras sobre el hormigón.

(3) Las vigas que se rompen por tensión inclinada desarrollan un esfuerzo cortante vertical medio de 8,64 kilogramos por cm.², calculado con la ecuación (18), al cual corresponde una tensión inclinada que puede considerarse como la tensión del hormigón. Estos resultados confirman la importancia que tienen las armaduras verticales.

(4) Las vigas armadas con acero de herramientas se rompieron por deslizamiento de las barras con una fuerza de adherencia de 9,30 kilogramos por cm.². Los ensayos especiales hechos para medir la adherencia entre dichas barras y el hormigón dieron una media de 10,50 kilogramos por cm.². En vigas armadas con barras de acero dulce colocadas horizontalmente no se observó deslizamiento alguno, aunque el esfuerzo de adherencia desarrollado pasó de 13,50 kilogramos por cm.².

(5) Las cargas aplicadas en el punto medio de la viga dan resultados mayores que los deducidos con la aplicación de las fórmulas corrientes. Los momentos de resistencia obtenidos de los ensayos hechos con vigas cargadas en su punto medio, no se emplearán como base de cálculo cuando la distribución de las cargas sea otra distinta. Por el contrario, los resultados correspondientes a los ensayos hechos con vigas cargadas en dos puntos equidistantes entre sí y de los apoyos pueden compararse favorablemente con las de vigas cargadas en muchos puntos y uniformemente.

(6) La repetición de cargas que desarrollan grandes compresiones en el hormigón produce deformaciones crecientes. Al cabo de diez ó quince repeticiones las flechas son superiores a la correspondiente a la aplicación de la primera carga en una cantidad comprendida entre el 12 y el 30 por 100.

(7) Cuando las cargas aplicadas a las vigas son tales que desarrollan una tensión de 10,50 kilogramos por mm.² en el acero y una compresión de 56 kilogramos por cm.² en el hormigón, aquéllas no recobran su posición inicial al retirar las cargas, conservan una flecha que varía entre el 20 y el 35 por 100 de la producida por la carga, no observándose que disminuyera de una manera apreciable después de quince a cuarenta horas de descanso.

(8) Cuando las cargas aplicadas a las vigas son tales que desarrollan una tensión de 12,65 á 22,5 kilogramos por mm.² en el acero y una compresión de 56 á 98,4 kilogramos por cm.² en el hormigón, el aspecto y disposición de las grietas cambian muy poco con la permanencia de las cargas durante un período de tiempo de veinte á treinta y ocho horas; si se aumentan las cargas, las curvas de éstas y de las deformaciones y las de las flechas se elevan y adoptan la forma general de las correspondientes al caso en que las cargas se aplican progresivamente. Durante la permanencia de las cargas la flecha aumenta de un 12 por 100 á un 35 por 100, hecho que tiene por causa principal el aumento de la compresión del hormigón.

(9) La forma general de las curvas citadas en el párrafo anterior para cargas aplicadas de una manera continua ó sucesivamente aplicadas y retiradas ó repetidas es la misma, mientras las deformaciones producidas por la compresión del hormigón no son grandes.

(10) Cuando la mitad inferior de las vigas se construye con un hormigón pobre y poco amasado, se producen roturas por tensión inclinada con esfuerzos cortantes no mucho mayores que la mitad de los desarrollados en vigas construidas con hormigón normal y que rompen de la misma manera, hecho que demuestra la importancia que tiene la resistencia del mortero a la tensión, sobre todo cuando no existe armadura vertical. En el plano que separa los dos hormigones de cada viga no se observó nada de particular.

(11) Los ensayos de vigas con grietas artificiales y con parte de las barras al descubierto confirman las bases admitidas para determinar las fuerzas que actúan sobre la armadura y para explicar el deslizamiento de las barras y su separación del hormigón superior.

(12) La posición de la fibra neutra de varias vigas indica que cuando éstas se construyen con hormigón de $1 \times 3 \times 6$ confeccionado con piedra caliza y tienen las dimensiones relativas de las empleadas en los ensayos descritos, el valor del coeficiente de elasticidad inicial del hormigón es 1.406 kilogramos por mm.² el cual no aumenta gran cosa con el tiempo ni con la dosis de cemento. Si se admite un coeficiente de elasticidad constante, su valor puede ser menor que el expresado.

No estará de más añadir algunas observaciones sobre el estudio analítico de la resistencia de las vigas a la flexión y sobre la discusión de las formas de rotura.

(13) La ley parabólica admitida en la deformación del hormigón por compresión da resultados muy satisfactorios cuando se aplica a vigas cuyo hormigón se deforma considerablemente. El cálculo analítico tomando por base el valor, no es muy complicado, y las fórmulas á que se llega son tanto ó más sencillas que las correspondientes á la ley rectilínea, pudiendo pasar de unas á otras con facilidad.

(14) El momento resistente de una viga de hormigón armado con una cantidad de metal no muy exagerada puede expresarse en función de la tensión total de la armadura y de la distancia de ésta al centro de gravedad de las compresiones (ecuación 13); en el valor de dicho momento tiene muy poca influencia el diagrama adoptado, así como la posición de la fibra neutra. El brazo del par disminuye cuando aumenta la dosis del metal. La aplicación de la ecuación (8) no es más complicada con el diagrama parabólico que con el rectilíneo.

(15) Cuando la compresión del hormigón es muy grande, la fórmula correspondiente al diagrama rectilíneo da valores demasiado altos para las compresiones. Con dicho diagrama, y aun cuando las cargas sean las corrientes, se elegirá un coeficiente de elasticidad más pequeño que el inicial para el mismo hormigón ó una compresión límite mayor que la que ordinariamente se desarrolla en la viga.

(16) Las ecuaciones (17) y (18) se aplican á las vigas armadas con la disposición de barras de las ensayadas. El cálculo directo de la tensión inclinada no puede hacerse, porque su valor es función de una tensión horizontal desconocida, pero las tensiones inclinadas se pueden comparar muy bien, tomando por base los esfuerzos cortantes verticales.

(17) La rotura por separación de las bases del hormigón superior se considerará como secundaria.

(18) En todos los ensayos relativos á la determinación de la forma de rotura se tendrá mucho cuidado en distinguir la inicial de las secundarias y de la definitiva, de lo cual depende, en gran parte, el valor de las conclusiones.