

Cómo calcular las viguetas de hormigón

Javier Lahuerta, arquitecto

Se pretende en este trabajo dar un método práctico para el cálculo de las viguetas prefabricadas de hormigón de los edificios, que se precisa en los proyectos, publicando la correspondiente tabulación. Previamente se establecen las características de las viguetas que se requieren en este cálculo, y se indican los ensayos para su comprobación.

I. Características de las viguetas

INTRODUCCION

La ejecución de los pisos de un edificio con viguetas prefabricadas de hormigón armado, incluyendo las de hormigón pretensado, tiene determinadas ventajas para el constructor, siendo las principales las siguientes:

1. No requiere el empleo de madera en encofrado ni en puentes.
2. La rapidez de construcción es grande, por tratarse de elementos prefabricados.
3. No es preciso adquirir separadamente el acero redondo necesario para los pisos.
4. Consecuencia de las tres es la obtención, en muchos casos, de una cierta economía.

Como contrapartida, los pisos construidos con viguetas prefabricadas de hormigón tienen también desventajas frente a los pisos de losa aligerada de hormigón y de cerámica armada, hormigonados in situ, entre ellas las siguientes:

1. Se solucionan con dificultades algunas singularidades de las plantas: huecos, brochales, voladizos, etc.
2. El grueso del piso suele ser mayor: 18 ó 20 cm, frente a 12 ó 15 cm que puede lograrse con los hormigonados in situ.
3. La capacidad de absorción de esfuerzos horizontales de los pisos de viguetas, precisa para arriostramiento de muros, efecto del viento, etc., es muy limitada.
4. Consecuencia de las tres es su menor adaptabilidad a las soluciones arquitectónicas y resistentes de las estructuras.

En muchos casos las ventajas deben ser mayores que los inconvenientes, por lo que el empleo de las viguetas prefabricadas de hormigón se ha extendido, y, como consecuencia del amplio mercado producido, han surgido tantos fabricantes y modelos distintos como existen hoy día.

AUTORIZACION DE LAS VIGUETAS

La vigueta prefabricada de hormigón armado, y más aún todavía la de hormigón pretensado, es un elemento constructivo en el que es preciso hacer trabajar a sus materiales a unas tensiones elevadas para que pueda hacerse ligero. Por tanto, tiene su modelo que estar correctamente proyectado y calculado, y ejecutarse las viguetas con un control de fabricación eficaz. Y por su misma ligereza, y por la desventaja que hemos señalado con el número 3, y es preciso emplearla en las condiciones técnicas debidas.

Oficialmente se reconoció la necesidad de que se fabricasen solamente modelos técnicamente correctos, y así se estableció la obligatoriedad de una autorización de uso del modelo, previa a la fabricación del mismo, encargándose este cometido a la Dirección General de Arquitectura del Ministerio de la Gobernación. Al crearse el Ministerio de la Vivienda en el año 1957, esta función ha pasado a la competencia de su Dirección General de Economía y Técnica de la Construcción.

Para obtener esta autorización de uso, el fabricante presenta una Memoria Técnica del modelo en la Dirección General citada, quien estudia dicha memoria y realiza ensayos sobre viguetas fabricadas. Si el resultado de ambos es favorable, extiende la autorización.

Como se sabe, los fabricantes tienen un modelo (a veces más de uno) que designan con el correspondiente nombre comercial, del cual hacen varios tipos, que, manteniendo la forma y disposiciones del modelo, varían en dimensiones y/o en armadura, de forma que pueda emplearse el adecuado en cada caso a las distintas luces y cargas que se presentan en los edificios.

Esta autorización de uso evidentemente se refiere sólo al modelo y a los tipos de éste descritos en la Memoria presentada a la Dirección General, y no a todas las variantes que pudie-

ran haberse derivado de aquél, que el fabricante está obligado a presentar en la Dirección General y obtener su autorización de uso antes de lanzarlas al mercado.

Por desgracia en la práctica no es así en todos los casos, y existen viguetas que no han cumplimentado lo legislado, bien por no tener autorización de uso, o bien por tratarse de modelos o tipos que no son los que obtuvieron tal autorización. El arquitecto, antes de emplear por primera vez un modelo de viguetas, debe asegurarse que tiene la autorización de uso y conocer cuáles son las características autorizadas de cada uno de los tipos de cada modelo.

Las características que definen un tipo de vigueta son fundamentalmente cuatro:

- 1.^a Momento flector útil (M kgm)
- 2.^a Módulo de empotrado (η fracción)
- 3.^a Esfuerzo cortante útil (T kg)
- 4.^a Módulo de flecha (K tm²)

MOMENTO FLECTOR UTIL

Es el momento flector positivo (en kgm), que, como máximo, debe solicitar en su parte central la vigueta, estando sustentada sus extremos, sin o con empotramiento parcial de éstos, bajo las cargas máximas a que está sometida en obra.

El momento flector útil de un tipo vendrá calculado por uno de los métodos admitidos en las normas para el cálculo del hormigón armado o para el hormigón pretensado (1), basándose en la resistencia del hormigón y en las características del acero empleados.

El momento flector útil se comprueba además, experimentalmente, en un ensayo de flexión simple de la vigueta, recomendándose el Ensayo I descrito en la Figura 1 (2).

(1) Se refiere al cálculo inicial realizado al proyectar la vigueta el fabricante. Sobre los métodos citados puede consultarse:

Normas para el cálculo y ejecución de las obras de hormigón armado, Dirección General de Arquitectura, Madrid, 1941.

Sobre el comportamiento anelástico del hormigón armado, E. Torroja, Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, núm. 54, Madrid.

Fertigbauteile aus Stahlbeton, DIN 4225, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin W15 y Colonia, 1951.

Bauwerke aus Stahlbeton, Oenorm B 4220, Oesterreichischer Normenausschuss, Viena, 1953.

Spannbetonträger, E. Mörsch, K. Wittwer, Stuttgart, 1943. *Le beton précontraint*, G. Magnel, Editions Fecheyr, Gante, 1948.

Spannbeton, Richtlinien, DIN 4227, Berlin W15 y Colonia, 1953.

(2) El fabricante puede emplear este ensayo, y los otros que siguen, para verificar lo obtenido por el cálculo y como control de fabricación.

El usuario puede emplear los mismos ensayos para comprobar las características que indica el fabricante.

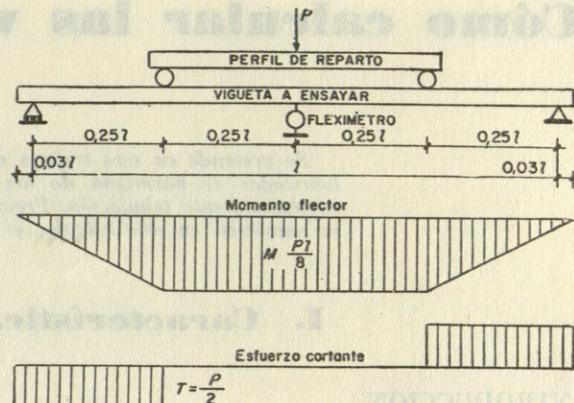


FIGURA 1. Esquema del Ensayo I a flexión simple de una vigueta de largo s , para comprobar el momento flector útil y el módulo de flecha. Luz de ensayo 1 = $s : 1,06$.

Se aplica en la vigueta la carga P que produzca un momento flector igual al útil, y se mantiene durante dos horas. Las grietas capilares que pudieran aparecer no tendrán una amplitud mayor que la tolerable, amplitud que suele estimarse en 0,2 mm. Se descarga la vigueta, y la flecha remanente no deberá ser superior a una fracción de la flecha bajo la carga, fracción que suele aceptarse de valor 0,2.

Se carga después hasta llegar a la rotura. El coeficiente de seguridad respecto a rotura en ensayo estático rápido, o sea la relación entre el momento flector de rotura y el momento flector útil, no deberá ser menor que el coeficiente de seguridad admisible, que suele estimarse en el valor 2,4.

El peso de la vigueta y el del perfil de reparto se incluirán en el cómputo de la carga P .

El momento flector útil es la característica fundamental de una vigueta, que, como muchos fabricantes ya lo hacen, debiera figurar en la misma designación del tipo, y que debiera además estar indeleblemente impreso en cada una de las viguetas fabricadas, para evitar cualquier confusión.

MODULO DE EMPOTRADO

Los extremos de las viguetas tienen, o deben tener en muchos casos, enlace rígido con sus elementos sustentantes, muros, jácenas, etc., enlace que se precisa para el buen arrastre de muros y estructuras. Este enlace da lugar a que se produzcan momentos negativos de empotramiento parcial en los extremos de las viguetas, siendo preciso que éstos aguanten tales

momentos negativos. Si la resistencia de los extremos no es suficiente, aparecen en éstos grietas, que constituyen articulaciones forzadas para anular los momentos negativos de empotramiento, aumentando el momento positivo del vano.

Estas grietas en los extremos reducen de modo notable la resistencia de la viga al esfuerzo cortante, que actúa con valor máximo precisamente en ellos, produciéndose debilidad o incluso la rotura por esta causa.

Módulo de empotrado es la relación entre el momento flector negativo admisible en los extremos de la viga y el momento flector útil (Figura 2), con la condición de longitud de armado superior que a continuación se indica.

Los momentos negativos se extienden en una longitud λl en cada extremo (Figura 2), longitud que depende del valor del módulo de empotrado. Es preciso que la viga resista momentos negativos en toda esta longitud, teniendo en ella, por tanto, la armadura superior que corresponda. La longitud de armado superior precisa, en función del módulo de empotrado, calculada en las condiciones que se indican en la citada Figura 2, que como mínimo debe reunir la viga, es la siguiente:

Módulo de empotrado η	Longitud de armado superior λ
0,2	0,08
0,4	0,12
0,6	0,16
0,8	0,20
1	0,24

Valores intermedios pueden interpolarse linealmente.

En las viguetas ganchosas, es decir, con armaduras salientes en los extremos con ganchos, la longitud de armado superior se mide desde el extremo de los ganchos.

El módulo de empotrado vendrá calculado por el mismo método que se empleó para el momento flector útil.

Se comprueba experimentalmente en un ensayo especial de flexión simple de la viga, recomendándose el Ensayo II descrito en la Figura 3.

Se aplica la carga P que produzca un momento flector negativo igual al producto del útil por el módulo de empotrado, y se mantiene du-

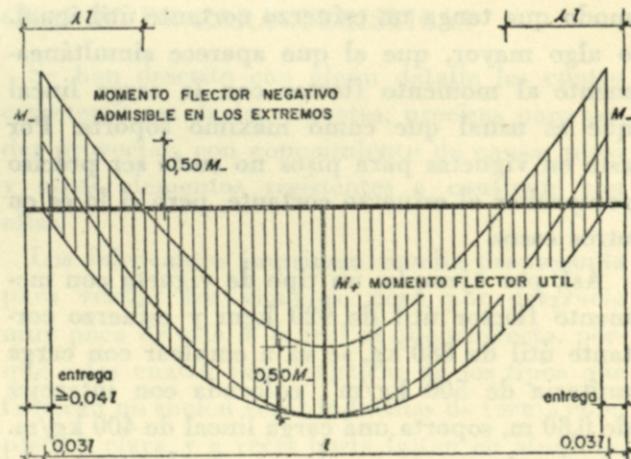


FIGURA 2. Viga con módulo de empotrado $\eta = M_- : M$. Gráfica de momentos que como máximo debe resistir la viga en la práctica.

rante dos horas. Las grietas capilares que pudieran aparecer no tendrán amplitud mayor que la tolerable (0,2 mm).

Se carga después hasta llegar a la rotura. El coeficiente de seguridad respecto a rotura en ensayo estático rápido, o sea la relación entre el momento flector de rotura y el producto del útil por el módulo de empotrado no deberá ser menor que el coeficiente de seguridad admisible, que suele estimarse en el valor 2,4.

En una viga ganchosa se hormigona el extremo previamente al ensayo.

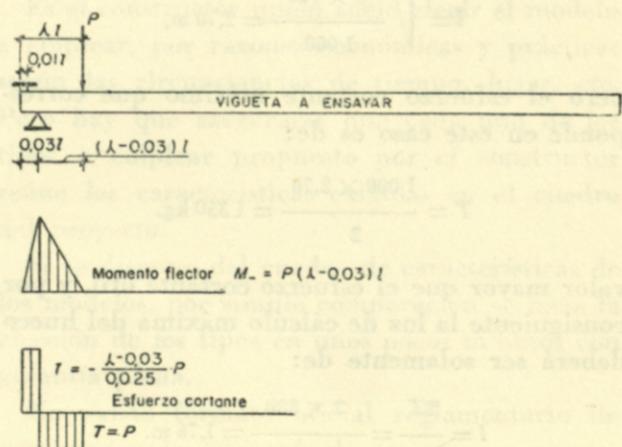


FIGURA 3. Esquema del ensayo II a flexión simple de una viga de largo s para comprobar el módulo de empotrado. Las dimensiones de colocación se calculan a partir de la luz l del Ensayo I.

ESFUERZO CORTANTE UTIL

Es el esfuerzo cortante (en kg), que como máximo debe solicitar los extremos de la viga, estando sustentada en ellos, bajo las cargas máximas a que está sometida en obra.

Un tipo de viga con determinado momento flector útil está generalmente proyectada de

modo que tenga un esfuerzo cortante útil igual, o algo mayor, que el que aparece simultáneamente al momento flector con la carga lineal que es usual que como máximo soporte. Por esto en viguetas para pisos no suele ser preciso comprobar el esfuerzo cortante, pero sí lo es en otros casos.

Así, por ejemplo, un tipo de viga con momento flector útil de 920 kgm y esfuerzo cortante útil de 880 kg, se va a emplear con carga unitaria de 500 kg/m²; colocada con interiores de 0,80 m, soporta una carga lineal de 400 kg/m. La viga puede emplearse simplemente apoyada con luz de cálculo de valor máximo:

$$l = \sqrt{\frac{8M}{q}} = \sqrt{\frac{8 \times 920}{400}} = 4,28 \text{ m},$$

siendo el esfuerzo cortante máximo que corresponde de valor:

$$T = \frac{ql}{2} = \frac{400 \times 4,28}{2} = 856 \text{ kg}$$

menor que el útil.

Si este tipo de viga va a emplearse como cargadero de un hueco, que tenga carga lineal de 1 000 kg/m, podría llegarse en función del momento flector útil hasta un hueco con luz de cálculo de valor:

$$l = \sqrt{\frac{8 \times 920}{1000}} = 2,70 \text{ m},$$

pero el esfuerzo cortante máximo que corresponde en este caso es de:

$$T = \frac{1000 \times 2,70}{2} = 1350 \text{ kg},$$

valor mayor que el esfuerzo cortante útil, y por consiguiente la luz de cálculo máxima del hueco deberá ser solamente de:

$$l = \frac{2T}{q} = \frac{2 \times 880}{1000} = 1,76 \text{ m.}$$

El esfuerzo cortante útil de un tipo vendrá calculado por los métodos admitidos en las normas para el cálculo del hormigón armado o para el hormigón pretensado, basándose en la resistencia del hormigón y en las características del acero empleado en sus armaduras secundarias.

El esfuerzo cortante útil se comprueba además, experimentalmente, en un ensayo a flexión simple de la viga en el que la relación $T:M$ sea de 2 a 2,5 veces mayor que en el Ensayo I

empleado para comprobar el momento flector útil, recomendándose el Ensayo III descrito en la Figura 4.

Se aplica en la viga la carga P que produzca un esfuerzo cortante igual al útil, y se mantiene durante dos horas. Las grietas capilares que pudieran aparecer no tendrán una amplitud mayor que la tolerable (0,2 mm). Se sigue cargando después hasta llegar a la rotura. El coeficiente de seguridad respecto a rotura en ensayo estático rápido, o sea la relación entre el

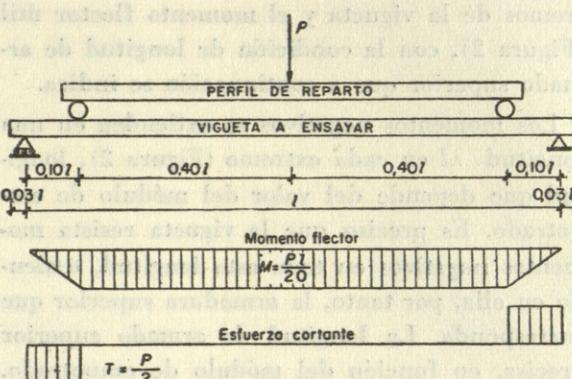


FIGURA 4. Esquema del Ensayo III a flexión simple de una viga de largo s , para comprobar el esfuerzo cortante útil. Luz de ensayo asimismo $l = s : 1,06$.

esfuerzo cortante de rotura y el esfuerzo cortante útil, no deberá ser menor que el admisible, que suele estimarse en el valor 2,4.

MODULO DE FLECHA

La flecha f de una viga, de material homogéneo y elástico según la Ley de Hooke, sustentada en sus extremos, con apoyos o empotramientos parciales o perfectos, y sometida a una carga P , aislada o repartida de un modo cualquiera, puede calcularse por la expresión:

$$f = \frac{\alpha Pl^2}{EJ}$$

en la que E es el módulo de elasticidad (kg/cm^2) del material, J el momento de inercia (cm^4) de la sección recta de la viga, y α un coeficiente numérico que depende de las condiciones de sustentación y de la ley de reparto de la carga P (Por ejemplo: para extremos apoyados y carga uniformemente repartida $\alpha = 5:384$).

Si el material no es homogéneo, como en el caso de una viga de hormigón armado, material que además no cumple la Ley de Hooke,

puede aplicarse, para un determinado escalón de carga, la fórmula:

$$f = \frac{aPl^3}{K}$$

siendo K el módulo de flecha (que por simplicidad se suele expresar en tm^2) y que equivale al producto EJ del caso anterior.

El valor K puede calcularse de forma aproximada por el producto EJ , tomando para E el módulo de elasticidad E_H del hormigón empleado, correspondiente a la tensión de valor 0,4 de la tensión de rotura, y para J el momento de inercia de la sección recta de hormigón de la vigueta, más la armadura multiplicada por $E_A : E_H$; pero el valor así calculado puede apartarse algo del que se obtenga experimentalmente, por causas tales como: fisuración capilar del hormigón, deslizamiento de la armadura, efecto del esfuerzo cortante, etc.

Experimentalmente se determina el módulo de flecha en el Ensayo I a flexión simple, para el cual la flecha tiene la expresión:

$$f = \frac{5,5}{384} \frac{Pl^3}{K}$$

de donde se deduce el valor del módulo de flecha:

$$K = \frac{5,5}{384} \frac{Pl^3}{f}$$

calculándose K con la carga P que corresponde a un momento flector igual al útil, y la flecha f producida por dicha carga tras dos horas de actuación.

Aunque sea innecesario, indiquemos que, para obtener K en tm^2 , se expresará P en t, l en m y f también en m.

El módulo de flecha se precisa conocer para calcular la flecha que tendrán los pisos bajo la carga, y asegurarse que la relación *flecha:luz* no rebasa los límites admisibles para ella. Cuando un piso de viguetas se construye con placas prefabricadas o tableros que no aumenten sensiblemente la rigidez de las viguetas, la relación *flecha:luz* se recomienda no rebasar el valor 1:320. Cuando el piso se construye con bovedillas o con piezas cerámicas o aglomeradas, enjutando con mortero u hormigón, o con otro sistema que aumente la rigidez del piso, la relación *flecha:luz* (calculada la flecha de la sola vigueta), puede aumentarse, sin rebasar el valor 1:250. Para viguetas inclinadas de tejado puede llegarse al valor 1:200.

CUADRO DE CARACTERISTICAS

Se han descrito con algún detalle las cuatro características de las viguetas, precisas para poder proyectar, con conocimiento de causa, pisos y otros elementos resistentes a construir con ellas.

Los fabricantes imprimen mucha propaganda para vender sus viguetas, pero por desgracia muy poca de ella le es útil al que proyecta, porque estas cuatro características de los tipos que fabrican no suelen venir indicadas de forma completa y clara, y a veces hasta faltan en absoluto, sustituidas o enmascaradas por unas tablas de empleo, que evidentemente sólo son empleables en las condiciones y casos para las que se realizaron. Señálemos, no obstante, que hay excepciones técnicamente útiles entre esta propaganda.

Sería de desear que todo fabricante de viguetas prefabricadas de hormigón, aparte de toda la propaganda comercial que desease hacer, tuviera impreso para información del arquitecto un cuadro de características de sus modelos.

El arquitecto, en los proyectos en que se emplean viguetas prefabricadas de hormigón, no suele especificar el fabricante de las mismas, o sea el modelo y tipo de cada vigueta a emplear, pero si el proyecto lo realiza como es debido, incluye el cuadro de características exigibles para todas las viguetas a emplear en la obra.

Es el constructor quien suele elegir el modelo a emplear, por razones económicas y prácticas según las circunstancias de tiempo, lugar, etc. Pero hay que asegurarse que cada uno de los tipos a emplear propuesto por el constructor reúne las características exigidas en el cuadro del proyecto.

Si se dispone del cuadro de características de los modelos, por simple comparación se hace la elección de los tipos en unos pocos minutos con garantía plena.

No existe formato oficial reglamentario de este cuadro, lo que sería de desear, pero se propone a los fabricantes adopten el que a continuación se detalla. Si todos los fabricantes lo hacen en el mismo formato, estos cuadros son fácilmente archivables en el estudio del arquitecto y éste puede utilizarlos con comodidad. Es una buena propaganda de sus viguetas, pues aquellos modelos de los que no haya cuadro serán, al menos, mirados con recelo por el arquitecto.

Tiene además otra ventaja para el fabricante consciente, pues le descarga evidentemente de toda responsabilidad inherente al empleo de las

VIGUETAS MODELO : (NOMBRE COMERCIAL GENERAL)

(RAZON SOCIAL FABRICANTE - LOCALIDAD - DIRECCION)

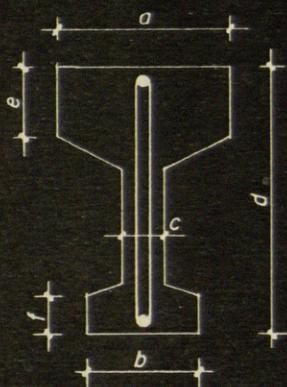
(AGENTES DE VENTAS - REPRESENTANTES)

Extendida la autorización de uso por lo Dirección General de (Arquitectura o Economía y Técnica de la construcción) en fecha

DIMENSIONES FUNDAMENTALES

TIPO	Ancho cabeza <i>a</i>	Ancho base <i>b</i>	Ancho alma <i>c</i>	Canto <i>d</i>	Alto cabeza <i>e</i>	Alto base <i>f</i>	Armado	Estríbos

CARACTERISTICAS:



TIPO	Momento fletor util kgm	Modulo de empotrado fracción	Esfuerzo cortante util kg	Modulo de flecha $t \text{ m}^2$

(Resistencia y características de los hormigones)

(Características de los aceros de las armaduras)

(ESPACIO DEDICADO A PROPAGANDA)

(AL DORSO PROPAGANDA)

UNE A4 297 x 210

Formato propuesto para el cuadro de características de un modelo de viga.

viguetas, lo que no ocurre tan claramente si da unos cuadros de empleo, de los que, en cierto modo al menos, se hace responsable. La responsabilidad del fabricante se limita así, como debe ser, a la del cumplimiento de las características de las viguetas que suministra, que ésta sí que es suya siempre, e importante, pero que está en

su mano controlarla en la fabricación. Esperemos que los fabricantes, comprendiendo esto, publiquen los cuadros de características de las viguetas que fabrican como se ha indicado, y marquen todas las viguetas con la designación del tipo a que pertenecen.

(Continuará en el próximo número.)