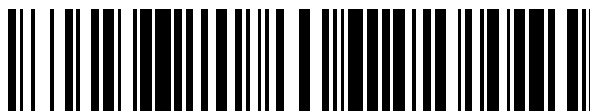


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 863 595**

51 Int. Cl.:

**G01N 3/08** (2006.01)

**G01N 3/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2019 E 19174223 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.12.2020 EP 3570002**

54 Título: **Método de caracterización de la resistencia al esfuerzo cortante de una viga y sistema asociado**

30 Prioridad:

**14.05.2018 FR 1854020**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**11.10.2021**

73 Titular/es:

**CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU  
BATIMENT (100.0%)  
84 avenue Jean Jaurès  
77420 Champs sur Marne, FR**

72 Inventor/es:

**PINOTEAU, NICOLAS;  
PHAM, DUC TOAN;  
RIVILLON, PHILIPPE;  
CHENAF, MÉNAD y  
MEGE, ROMAIN**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 863 595 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método de caracterización de la resistencia al esfuerzo cortante de una viga y sistema asociado

5 La presente invención se refiere de manera general al campo de los ensayos de rotura de vigas, en particular, de vigas para edificio, infraestructura u obra de ingeniería, tales como vigas de hormigón armado.

Se refiere más precisamente a un método de caracterización de la resistencia al esfuerzo cortante de una viga que comprende una porción de prueba que se extiende entre dos porciones de extremo de la viga, durante la cual:

10 - la viga toma apoyo transversalmente sobre un primer apoyo y sobre un segundo apoyo y durante la cual  
- un cilindro principal ejerce sobre la viga una fuerza de puesta en flexión, siendo dicha fuerza aplicada entre el primer apoyo y el segundo apoyo, transversalmente con respecto a la viga.

15 También se refiere a un sistema asociado para caracterizar la resistencia al esfuerzo cortante de tal viga, en particular, durante la aplicación de un esfuerzo de tracción normal aplicado paralelamente a un eje longitudinal de la viga. Los documentos US 6 918 306 B1, US 2017/191916 A1, US 6 332 364 B1, US 2015/276570 A1 y WO 2016/001426 A1 divulgan otros métodos de caracterización de la resistencia al esfuerzo cortante de una viga.

### 20 **Antecedentes de la técnica**

Para probar la resistencia al esfuerzo cortante de una viga, por ejemplo, una viga para edificio de hormigón armado, se conoce instalar la viga sobre dos apoyos, luego, ejercer una fuerza perpendicularmente al eje de la viga, entre el primer apoyo y el segundo apoyo (esta configuración a veces se denomina flexión de "3 puntos" o flexión de "4 puntos" si el cilindro actúa sobre la viga a través de dos apoyos). La viga de este modo puesta en flexión se somete entonces al mismo tiempo a un momento de flexión y al gradiente de este momento de flexión, que corresponde al esfuerzo cortante.

30 La aplicación de un esfuerzo cortante grande implica entonces el desarrollo en la viga de un momento de flexión fuerte.

Para evitar la falla por flexión que se producen antes que las debidas al esfuerzo cortante, entonces se utilizan habitualmente vigas que presentan un refuerzo longitudinal muy grande, o que presentan una sección dimensionada específicamente para resistir momentos flectores muy fuertes.

35 Pero tales vigas no son muy representativas de las realizadas en la práctica en los edificios, infraestructuras urbanas o viales, obras de ingeniería y otras construcciones.

Además, en presencia de un esfuerzo normal de tracción, se facilita la falla por flexión, si bien es aún más difícil alcanzar la rotura por esfuerzo cortante antes que por flexión.

### 40 **Objeto de la invención**

Con el fin de remediar el inconveniente citado anteriormente del estado de la técnica, la presente invención propone un método de caracterización de la resistencia al esfuerzo cortante de una viga, tal como se define en la reivindicación 1.

50 En este método, el momento flector de compensación juega el papel de un contramomento que compensa, al menos parcialmente, el momento flector desarrollado en la viga debido a la aplicación por el cilindro principal del esfuerzo cortante deseado (es decir, debido a la aplicación de dicha fuerza de puesta en flexión).

El momento flector de compensación permite más precisamente reducir el momento flector total sufrido por la viga, mientras se mantiene un esfuerzo cortante elevado.

55 Aplicar este momento flector de compensación, además de la fuerza ejercida por el cilindro principal, permite, entonces, alcanzar la rotura por esfuerzo cortante antes de alcanzar la rotura debida al momento de flexión y esto incluso para vigas cuyo refuerzo y sección son realistas, representativas de vigas empleadas en la práctica en los edificios, infraestructura y obras de ingeniería.

60 Por otro lado, la aplicación del momento flector de compensación permite estudiar el efecto de un valor positivo del momento flector total (siendo negativo el momento flector debido a la acción del cilindro principal) sobre la resistencia al esfuerzo cortante de la viga, lo cual no permite una configuración de flexión con tres o cuatro puntos de apoyos.

Otras características no limitantes y ventajosas del método de caracterización de acuerdo con la invención, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente posibles, están definidas por las reivindicaciones 2 a 6.

El método de caracterización de acuerdo con la invención puede comprender además una o varias de las siguientes características no limitantes y ventajosas, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

- 5 - la viga es una viga de edificio, de obra de ingeniería o de infraestructura vial;
- la viga está hecha de hormigón armado;
- los dos cilindros adicionales y el cilindro principal se controlan de modo que dicha rotura resulte del esfuerzo cortante ejercido sobre la viga;
- 10 - dicho momento de rotura, predeterminado, es igual a un momento de rotura constatado durante los ensayos de rotura preliminares, realizadas en una o varias vigas de prueba idénticas a dicha viga, no siendo dichas fuerzas de contraflexión aplicadas durante dichos ensayos;
- dicho momento de rotura, predeterminado, es igual a un momento de rotura teórico de dicha viga, determinado por cálculos de acuerdo con un código de cálculo reglamentario o estandarizado;
- 15 - dicho momento de rotura, predeterminado, es igual a otro momento de rotura teórico de dicha viga, determinado por cálculos realizados de acuerdo con un método de cálculo específico, habiendo este método de cálculo sido previamente validado por comparación con ensayos preliminares de rotura o por comparación con un código de cálculo estandarizado o reglamentario;
- los dos cilindros adicionales actúan sobre las porciones de extremo de la viga mientras dejan estas porciones de extremos libres para desplazarse perpendicularmente con respecto a un eje longitudinal de la viga;
- 20 - la viga presenta un refuerzo longitudinal más grande en un lado del punto de aplicación de dicha fuerza de puesta en flexión que en el otro lado de este punto de aplicación.

La invención también se refiere a un sistema para caracterizar la resistencia al esfuerzo cortante de una viga tal como se define en la reivindicación 7.

- 25 Otras características no limitantes y ventajosas del sistema de caracterización de acuerdo con la invención, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente posibles, están definidas por las reivindicaciones 8 a 11.

- 30 El método de caracterización de acuerdo con la invención puede comprender además una o varias de las siguientes características no limitantes y ventajosas, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

- 35 - cada cilindro adicional está conectado, por una parte, a la primera brida y, por otra parte, a la segunda brida, formando la primera y la segunda brida y los dos cilindros adicionales un cuadro con cuatro montantes;
- el sistema comprende una pieza de apoyo montada en un extremo del cilindro principal para transmitir dicha fuerza de puesta en flexión ejercida por el cilindro principal a la viga, una primera distancia separa el primer apoyo y dicha pieza se apoya, una segunda distancia separa el segundo apoyo y dicha pieza se apoya y una separación relativa entre la primera distancia y la segunda distancia es superior al 10 %;
- 40 - la unidad de control está configurada para pilotar los dos cilindros adicionales de modo que un momento flector total sufrido por la viga es inferior al momento flector debido a dicha fuerza de puesta en flexión ejercida por el cilindro principal;
- la unidad de control está configurada para pilotar los dos cilindros adicionales y el cilindro principal de manera que dicha rotura resulte del esfuerzo cortante ejercido sobre la viga.

- 45 Otras características opcionales del método de caracterización descrito anteriormente también se pueden aplicar al sistema de caracterización que se acaba de presentar.

### Descripción detallada de un ejemplo de realización

- 50 La descripción que seguirá con referencia a los dibujos adjuntos, aportada a modo de ejemplos no limitativos, hará comprender bien en qué consiste la invención y cómo se puede realizar.

En los dibujos adjuntos:

- 55 - la figura 1A representa esquemáticamente una configuración de puesta en tensión de una viga, empleada para caracterizar experimentalmente la resistencia al esfuerzo cortante de esta viga,
- las figuras 1B a 1E representan esquemáticamente la evolución, a lo largo de la viga de la figura 1A, de diferentes momentos de flexión desarrollados en esta viga y del esfuerzo cortante que sufre,
- 60 - la figura 2 representa esquemáticamente, en perspectiva, un sistema para caracterizar experimentalmente la resistencia al esfuerzo cortante de una viga, que implementa las enseñanzas de la invención,
- la figura 3 representa esquemáticamente una parte del sistema de la figura 2, visto de lado,
- la figura 4 representa esquemáticamente, en perspectiva, una brida del sistema de la figura 2,
- 65 - la figura 5 representa esquemáticamente una viga cuya resistencia al esfuerzo cortante se puede caracterizar por medio del sistema de la figura 2,
- la figura 6 representa las etapas principales de un método de caracterización experimental de la resistencia al

- esfuerzo cortante de una viga, que implementa las enseñanzas de la invención,
- la figura 7 representa esquemáticamente la evolución del momento de rotura de una viga, en función de una fuerza longitudinal ejercida sobre esta viga,
  - la figura 8 representa esquemáticamente un ejemplo de secuencia de puesta en tensión de la viga,
- 5 - la figura 9 representa esquemáticamente una de las etapas del método de la figura 6, más en detalle, para otro ejemplo de una secuencia de puesta en tensión de la viga,
- la figura 10 representa esquemáticamente la evolución en el tiempo de las diferentes fuerzas ejercidas por los cilindros del sistema, durante la secuencia de puesta en tensión correspondiente a la figura 9,
  - la figura 11 representa esquemáticamente la secuencia de puesta en tensión de las figuras 9 y 10.

10 El método y el sistema 1 descritos a continuación, que permiten caracterizar la resistencia al esfuerzo cortante de una viga 100, se basan en una configuración original de la puesta en tensión de la viga que se ilustra esquemáticamente en las figuras 1A a 1E.

15 La viga 100 a caracterizar, aquí de hormigón armado, presenta una forma alargada según un eje longitudinal x. Ella presenta, a lo largo de este eje, tres secciones distintas, a saber:

- una porción de prueba 130, que ocupa una parte media de la viga,
- una primera porción de extremo 110 y
- 20 - una segunda porción de extremo 120,

estando las porciones de extremos primera y segunda 110 y 120 situadas respectivamente a cada lado de la porción de prueba 130 (figura 5).

25 El método y el sistema 1 descritos a continuación permiten caracterizar más precisamente la resistencia al esfuerzo cortante de la porción de prueba 130 de la viga.

30 Como se representa en la figura 1A, para probar la resistencia al esfuerzo cortante de la porción de prueba 130, esta porción se somete a fuerzas, F, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, perpendiculares a su eje longitudinal x y opuestas entre sí, si bien, la viga se somete a un cizallamiento.

35 En el modo de realización descrito en este documento, la porción de prueba 130 toma apoyo lateralmente sobre un primer apoyo 11 y sobre un segundo apoyo 12, mientras que un cilindro principal 14 ejerce sobre esta porción una fuerza de puesta en flexión F. Esta fuerza, que se ejerce sobre la viga a través de una pieza de apoyo 13, se aplica entre el primer apoyo 11 y el segundo apoyo 12, transversalmente con respecto a la viga. El primer y segundo apoyos 11 y 12 se apoyan sobre una misma cara lateral inferior 131 de la viga, mientras que la pieza de apoyo 13 se apoya sobre una cara lateral superior 132 de la viga (opuesta a la cara lateral inferior 131 - figuras 3 y 5). Las fuerzas de reacción del primer y segundo apoyos 11 y 12 se indican respectivamente R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>.

40 Como variante, en lugar de ponerse en flexión entre los tres apoyos 11, 12 y 13 (flexión llamada "3 puntos"), la porción de prueba de la viga podría, por ejemplo, ponerse en flexión entre cuatro apoyos (flexión llamada "4 puntos") o sufrir a una carga transversal distribuida a lo largo de su porción de prueba.

45 Debido a la aplicación de la fuerza de puesta en flexión F, la viga 100 se somete no solamente a un esfuerzo cortante, sino también a un momento flector, llamado momento flector principal M<sub>P</sub> en lo sucesivo.

50 La figura 1B representa esquemáticamente la evolución del momento flector principal M<sub>P</sub>, a lo largo del eje longitudinal x de la viga. Como se puede ver en esta figura, este momento es cero al nivel del primer y segundo apoyos 11 y 12, mientras que su valor absoluto es máximo al nivel del punto de aplicación de la fuerza de puesta en flexión F. El esfuerzo cortante correspondiente es igual a la derivada del momento flector principal M<sub>P</sub>, en función de la abscisa x a lo largo del eje longitudinal x de la viga. Para que el esfuerzo cortante alcance valores elevados, es necesario ejercer una fuerza de puesta en flexión grande, si bien el momento flector principal alcanza entonces también valores elevados.

55 De manera notable, entonces se planea ejercer sobre la viga fuerzas de contraflexión, de lo cual resulta un momento flector de compensación M<sub>C</sub> que se opone al momento flector principal debido a dicha fuerza de puesta en flexión.

60 Este momento flector de compensación M<sub>C</sub> juega el papel de un "contramomento": permite reducir el momento flector total M<sub>tot</sub> sufrido por la viga, mientras se conserva un esfuerzo cortante V elevado.

65 Aplicar las fuerzas de contraflexión (de lo cual resulta este momento flector de compensación M<sub>C</sub>), además de la fuerza de puesta en flexión F ejercida por el cilindro principal 14, permite, entonces, ventajosamente, alcanzar la rotura por esfuerzo cortante antes de alcanzar la rotura debida al momento de flexión y esto incluso para vigas cuyo refuerzo y sección son realistas, representativas de vigas empleadas en la práctica en los edificios y de obras de ingeniería.

En el modo de realización descrito en este documento, se prevé más precisamente, ejercer (figura 3):

- dos fuerzas de contraflexión  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$  sobre la primera porción de extremo 110 y
- otras dos fuerzas de contraflexión  $R'_{a1}$ ,  $R'_{a2}$  sobre la segunda porción de extremo 120.

5 Cada uno de estos dos pares de fuerzas  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$  y  $R'_{a1}$ ,  $R'_{a2}$ , se opone a la flexión de la viga inducida por la fuerza de puesta en flexión  $F$ .

Se aplican fuerzas de contraflexión para no restringir el desplazamiento de los extremos de la viga, perpendicularmente al eje longitudinal  $x$  de la viga. Se evita de este modo que se ejerzan tensiones parásitas adicionales sobre la viga.

10 Por lo tanto, la resultante de las fuerzas ejercidas sobre la primera porción 110 de extremo tiene, según una dirección perpendicular cualquiera al eje longitudinal  $x$  de la viga, un componente cero. Lo mismo ocurre con la resultante de las fuerzas ejercidas sobre la segunda porción de extremo 120.

15 En consecuencia, el momento de compensación  $M_C$  resultante de la aplicación de estas fuerzas presenta un valor constante a lo largo de la viga 100, como se muestra en la figura 1C.

20 Como el momento de compensación  $M_C$  es constante a lo largo de la viga, el esfuerzo cortante  $V$  sufrido por la viga (igual a la derivada del momento total  $M_{tot}$  con respecto a la abscisa  $x$ ) depende únicamente de la fuerza de puesta en flexión  $F$  ejercida por el cilindro principal 14.

25 Aplicar las fuerzas de contraflexión como aquí, para dejar los extremos de la viga libres para desplazarse, de este modo, permite que el esfuerzo cortante  $V$  dependa únicamente de la fuerza ejercida por el cilindro principal (el esfuerzo cortante es entonces independiente de las fuerzas de contraflexión, ejercidas por medio de cilindros adicionales), lo que simplifica ventajosamente el pilotaje de los cilindros durante los ensayos de rotura por esfuerzo cortante.

30 Las figuras 1B, 1C y 1D respectivamente representan el momento flector principal  $M_P$ , el momento flector de compensación  $M_C$  y el momento flector total  $M_{tot}$  sufrido por la viga 100, en función de la abscisa  $x$  a lo largo del eje longitudinal de la viga, con la convención de signo conocida como de los esfuerzos a la izquierda (el momento  $M_P$  entonces representa el momento ejercido, por una sección de la viga 100 que se extiende a la izquierda de una sección de la viga, sobre la sección de la viga que se extiende a la derecha de esta misma sección; en este caso concreto, la primera porción de extremo 110 está ubicada en el lado izquierdo de la viga).

35 El momento flector total  $M_{tot}$  es igual a la suma del momento flector principal  $M_P$  y del momento flector de compensación  $M_C$ . Como el momento flector de compensación  $M_C$  se opone al momento flector principal  $M_P$ , estos dos momentos son de signos opuestos. Entonces se entiende que la aplicación del momento flector de compensación  $M_C$  permite reducir el valor máximo alcanzado por el momento flector total  $M_{tot}$  (en valor absoluto), mientras se conserva un esfuerzo cortante  $V$  elevado.

40 La figura 1E representa esquemáticamente la evolución del esfuerzo cortante  $V$  lo largo de la porción de prueba de la viga. Entre el primer apoyo 11 y el punto de aplicación de la fuerza de puesta en flexión, el esfuerzo cortante  $V$  presenta un primer valor  $V1$  constante. Entre el punto de aplicación de la fuerza de puesta en flexión y el segundo apoyo 12, el esfuerzo cortante presenta un segundo valor  $V2$ , también constante.

45 El primer valor  $V1$  es igual a  $F \cdot d_2 / l$ , donde  $F$  es la norma de la fuerza de puesta en flexión,  $l$  es la distancia entre el primer apoyo 11 y el segundo apoyo 12 y  $d_2$  la distancia entre el segundo apoyo 12 y el punto de aplicación de la fuerza de puesta en flexión, medida a lo largo del eje longitudinal  $x$  de la viga (figuras 1A y 5).

50 El segundo valor  $V2$  es, propiamente igual a  $-F \cdot d_1 / l$ , donde  $d_1$  es la distancia entre el primer apoyo 11 y el punto de aplicación de la fuerza de puesta en flexión, medida a lo largo del eje longitudinal  $x$  de la viga.

55 En el modo de realización descrito en este documento, el punto de aplicación de la fuerza de puesta en flexión no se encuentra a la misma distancia entre el primer y el segundo apoyos 11, 12. Formulando de otra manera, la distancia  $d_1$  es diferente de la distancia  $d_2$ . Gracias a esta disposición, el valor absoluto del esfuerzo cortante es mayor en un lado de la pieza de apoyo 13 que, en el otro, lo que permite saber con antelación de qué lado tendrá lugar la rotura por esfuerzo cortante. A continuación, solo la parte de la viga donde se tendrá lugar la rotura se equipa entonces con sensores de deformación (galgas de deformación, por ejemplo) y se visualiza por medio de una cámara (para un análisis de las deformaciones por correlación de imágenes). Esto permite reducir ventajosamente el número de sensores necesarios para el estudio de la rotura de la viga.

60 Más precisamente, se prevé aquí, una separación relativa

$$\frac{|d_1 - d_2|}{d_1 + d_2}$$

65 entre la distancia  $d_1$  y la distancia  $d_2$  sea superior al 10 %, para asegurar que la rotura por esfuerzo cortante tenga

lugar en un lado de la pieza de apoyo 13, más que en el otro.

Como variante o en combinación, para indudablemente obtener una rotura de la viga en un lado del punto de apoyo anteriormente citado, más que en el otro, se podría emplear una viga cuyo refuerzo longitudinal es más grande en un lado que en el otro.

### **Sistema para caracterizar la resistencia al esfuerzo cortante de la viga**

Ahora se puede describir el sistema 1 que permite aplicar las tensiones descritas anteriormente a la viga 100.

La figura 2 representa los principales elementos de este sistema 1 (con excepción de su unidad de control, que no se representa en las figuras).

Comprende:

- un primer dispositivo de puesta en tensión 10, configurado en particular para ejercer la fuerza de puesta en flexión  $F$  sobre la viga mencionada anteriormente y
- un segundo dispositivo de puesta en tensión 20, para ejercer sobre la viga 100 las fuerzas de contraflexión de las cuales resulta el momento flector de compensación  $M_c$ .

El primer dispositivo de puesta en tensión 10 comprende:

- el primer apoyo 11 y el segundo apoyo 12,
- dos caballetes 15 y 16 que soportan respectivamente el primer apoyo 11 y el segundo apoyo 12,
- una losa 17 que soporta los dos caballetes 15 y 16,
- un soporte para el cilindro principal 14, realizado aquí por medio de cuatro columnas 18 que se extienden perpendicularmente a la losa 17, estando este soporte está anclado en la losa 17 y
- el cilindro principal 14, cuyo cuerpo 19 se solidariza con el soporte anteriormente citado.

El eje que pasa por el primer apoyo 11 y por el segundo apoyo 12 es horizontal. Durante los ensayos de rotura, la viga 100 a probar, que toma apoyo el primer apoyo 11 y el segundo apoyo 12, por lo tanto, se extiende horizontalmente.

El vástago del cilindro principal 14 por su parte se extiende verticalmente. El eje definido por este vástago pasa entre el primer apoyo 11 y el segundo apoyo 12. La pieza de apoyo 13 está montada en un extremo inferior del vástago del cilindro principal 14.

El primer apoyo 11, así como el segundo apoyo 12, comprende una placa 11A, 12A, destinada a recibir la cara lateral inferior 131 de la viga 100 a probar. Esta placa 11A, 12A se apoya sobre el correspondiente caballete 15, 16 por medio de un rodillo 11B, 12B (se evita de este modo transmitir un momento a la viga al nivel de los apoyos primero y segundo).

El segundo dispositivo de puesta en tensión 20, que es distinto (e incluso inconexo) del primer dispositivo de puesta en subtensión, comprende un primer y un segundo cilindro adicional 21 y 22, así como una primera brida 23 y una segunda brida 24 para transmitir los esfuerzos ejercidos por estos cilindros a la viga.

El vástago del primer cilindro adicional 21 está conectada a la primera brida 23 por un enlace de pivote 232, mientras que el cuerpo de este cilindro está conectado a la segunda brida 24, por otro enlace de pivote 242.

El vástago del segundo cilindro adicional 22 también está conectado a la primera brida 23, por un enlace de pivote 233, mientras que el cuerpo de este cilindro está conectado a la segunda brida 24, de nuevo mediante un enlace de pivote, 243.

El conjunto que comprende la primera y la segunda bridas 23 y 24 y los cilindros adicionales primero y segundo 21 y 22, forma de este modo un cuadro de cuatro montantes (cuatro lados). Dos de los montantes de este cuadro, opuestos entre sí, están formados respectivamente por la primera brida 23 y por la segunda brida 24. Los otros dos montantes están formados respectivamente por los cilindros adicionales primero y segundo 21 y 22.

La primera y segunda bridas 23, 24, descrito en detalle a continuación, se configura cada una para montarse sobre una de las porciones de extremo 110, 120 de la viga.

Una vez que la primera y la segunda bridas 23, 24 se han montado sobre la viga 100, cada uno de los primeros y segundos cilindros adicionales 21 y 22 se extiende paralelamente al eje longitudinal  $x$  de la viga (y por lo tanto horizontalmente). Los dos ejes, definidos respectivamente por los vástagos del primer y segundo cilindros adicionales 21 y 22 y el eje longitudinal  $x$  de la viga se ubican entonces en un mismo plano, aquí vertical, que es paralelo al eje del vástago del cilindro principal 14. El primer cilindro adicional 21 se encuentra por encima de la viga 100, mientras que el segundo cilindro adicional 22 se encuentra debajo de la viga 100.

En el ejemplo representado en las figuras, en posición de uso, la primera brida 23 está montada en la primera porción de extremo 110 de la viga, mientras que la segunda brida 24 está montada en la segunda porción de extremo 120 de esta viga.

5 En ausencia de la viga 100, el segundo dispositivo de puesta en tensión 20 es móvil libremente en relación con el primer dispositivo de puesta en tensión 10.

10 Durante los ensayos de rotura, el segundo dispositivo de puesta en tensión 20 por lo tanto, está conectado mecánicamente al primer dispositivo de puesta en tensión 10 solamente por medio de la viga 100. En particular, el segundo dispositivo de puesta en tensión 20, que se soporta directamente en la propia viga 100, no está conectado a la losa 17. Se observará a este respecto que el segundo cilindro adicional 22 parece estar, en las figuras 2 y 3, en contacto con los caballetes 15 y 16. Pero ese no es el caso. Cada uno de estos caballetes 15, 16 comprende de hecho una parte hueca 15A, 16A, a través de la cual pasa el segundo cilindro adicional 22 sin entrar en contacto con los caballetes.

15 De este modo, el segundo dispositivo de puesta en tensión 20 abandona ventajosamente las porciones de extremo 110, 120 primera y segunda de la viga libres de desplazarse con respecto a los apoyos 11, 12 primero y segundo, en particular, perpendicularmente con respecto al eje longitudinal x.

20 La primera y segunda bridas 23, 24 se describen ahora en mayor detalle, en referencia a las figuras 3 y 4.

25 Estas dos bridas 23, 24 están configuradas para ejercer sobre las porciones de extremo 110, 120 las fuerzas de contraflexión de las que resulta el momento flector de compensación  $M_c$ . Las fuerzas de contraflexión se ejercen aquí por medio de almohadillas superiores 236, 246 e inferiores 237, 247 aplicadas respectivamente a las caras laterales inferior 131 y superior 132 de la viga.

30 Cada una de las primeras y segundas bridas 23, 24 se configuran además para ejercer una fuerza longitudinal promedio sobre la viga  $N_1, N_2$  con el fin de poner la viga en tracción, o eventualmente en compresión. Estas dos fuerzas longitudinales promedio son paralelas al eje longitudinal x de la viga. Cada una de estas fuerzas longitudinales promedio se transmite a la viga por medio de un pasador 231, 241 que atraviesa la viga 100 y que también atraviesa la armadura 230, 240 de la correspondiente brida 23, 24.

35 La armadura 230, 240 de cada brida 23, 24 se realiza aquí por medio de perfiles metálicos en U y/o en I (tales como los perfiles tipo IPE300 o HEB300), por ejemplo, soldadas entre sí. Esta armadura presenta aquí globalmente la forma de una I mayúscula, entre las cuales están:

- la rama superior 230B, 240B está conectada al primer cilindro adicional 21,
- la rama inferior 230C, 240C está conectada al segundo cilindro adicional 22 y
- cuya rama vertical 230A, 240A, a través de la cual pasa el pasador 231, 241, superpone la viga 100.

40 Las ramas superior e inferior de la armadura están conectadas entre sí por su rama vertical 230A, 240A.

45 El primer cilindro adicional 21 actúa (es decir, ejerce una fuerza) sobre las bridas 23, 24, respectivamente por medio de dos placas 234, 244 cada una conectada a la rama superior 230B, 240B de la brida correspondiente por uno de los enlaces de pivotes 232, 242 mencionados anteriormente.

50 El segundo cilindro adicional 22 también actúa sobre las bridas 23, 24, respectivamente por medio de dos placas 235, cada una conectada a la rama inferior 230C, 240C de la brida correspondiente por uno de los enlaces de pivotes 233, 243.

La rama superior 230B, 240B de la brida actúa sobre la cara lateral superior 132 de la viga por medio de la almohadilla superior 236, 246 (que se aplica contra esta cara). Esta almohadilla está conectada a la rama superior 230B, 240B de la brida por medio de un rodillo 238, 248.

55 De manera comparable, la rama inferior 230C, 240C de la brida 23, 24 actúa sobre la cara lateral inferior 131 de la viga por medio de la almohadilla inferior 237, 247 (que se aplica contra esta cara). Esta almohadilla está nuevamente conectada a la rama inferior 230C, 240C de la brida por medio de un rodillo 239, 249.

60 Cuando la brida 23, 24 está en la posición de uso sobre la viga, las almohadillas superiores 236, 246 e inferiores 237, 247 están desfasadas entre sí, a lo largo del eje longitudinal de la viga.

Los cilindros adicionales 21, 22 primero y segundo ejercen respectivamente sobre la primera brida 23 de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  longitudinales, que, ambas, se dirigen paralelamente al eje longitudinal x de la viga.

65 Las fuerzas ejercidas respectivamente por el primer y el segundo cilindros adicionales 21, 22 sobre la segunda brida 24 son respectivamente iguales a  $-F_1$  y a  $-F_2$ .

Las fuerzas de contraflexión  $R_{a1}$  y  $R_{a2}$  son aquí las fuerzas de reacción ejercidas sobre la viga 100, respectivamente por las almohadillas superiores 236 e inferiores 237 de la primera brida 23.

5 En cuanto a las otras dos fuerzas de contraflexión  $R'_{a1}$  y  $R'_{a2}$ , se trata aquí de las fuerzas de reacción ejercidas sobre la viga 100, respectivamente por las almohadillas superiores 246 e inferiores 247 de la primera brida 24.

En el modo de realización descrito en este documento, las dos fuerzas de contraflexión  $R_{a1}$  y  $R_{a2}$  son iguales, respectivamente, a las otras dos fuerzas de contraflexión  $R'_{a1}$  y  $R'_{a2}$ .

10 El momento flector de compensación  $M_C$  resulta de la aplicación de estas fuerzas de reacción sobre la primera y segunda porción de extremo 110, 120 de la viga.

15 De este modo, emplear las dos almohadillas 236, 237 (respectivamente 246, 247) para someter la viga a tal momento, en lugar de usar una sola almohadilla en combinación con el pasador 231 (respectivamente 241), ventajosamente permite evitar ejercer una fuerza perpendicularmente al eje longitudinal  $x$  al nivel del pasador 231 (respectivamente 241). De hecho, tal fuerza correría el riesgo de deteriorar la viga, que, cerca del pasador 231 (241), no está necesariamente dimensionada para soportar fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal.

20 Las dos fuerzas de contraflexión  $R_{a1}$  y  $R_{a2}$  constituyen un par de fuerzas iguales opuestas entre sí. La suma de las fuerzas de reacción  $R_{a1}$  y  $R_{a2}$  es por lo tanto cero, si bien la fuerza longitudinal promedio  $N_1$  ejercida sobre la viga por el pasador 231 es, como ya se ha indicado, paralela al eje longitudinal de la viga.

Lo mismo ocurre con las otras dos fuerzas de contraflexión  $R'_{a1}$  y  $R'_{a2}$ .

25 La otra fuerza longitudinal promedio  $N_2$ , igual a la opuesta de la fuerza longitudinal promedio  $N_1$ , es ejercida sobre la viga por el pasador 241 de la segunda brida 24.

30 Para cada brida, una de las almohadillas, inferior o superior, comprende dos placas, aplicadas una contra la otra, al menos una de las cuales tiene forma de esquina. Esto permite, por hundimiento de la placa en forma de esquina, bloquear la brida contra la viga, incluso en presencia de un ligero juego en altura (entre las almohadillas), o de paralelismo (de las ramas superior e inferior) de la brida con respecto a la viga.

35 La distancia entre el eje del enlace de pivote 232, 242 y la fibra neutra de la fibra se indica con  $e1$  y la que hay entre el eje del enlace de pivote 231, 241 y esta fibra neutra se indica con  $e2$ .

El valor del momento de compensación  $M_C$ , por lo tanto, viene dada por la siguiente ecuación E1:

$$M_C = F_1 \cdot e1 - F_2 \cdot e2 \quad (E1)$$

40 donde  $F_1$  y  $F_2$  son los estándares, respectivamente de la fuerza  $F_1$  y de la fuerza  $F_2$ .

En cuanto a la fuerza longitudinal promedio  $N_1$ , es igual a la suma de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$ :

$$45 \quad \vec{N}_1 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (E2).$$

Como variante, unas bridas diferentes a las descritas anteriormente, realizadas, por ejemplo, en forma de sombreros que rodean las porciones de extremo de la brida, podrían emplearse para transmitir los esfuerzos ejercidos por el primer y segundo cilindros adicionales a la viga.

50 La figura 5 representa esquemáticamente la viga 100 cuya resistencia al esfuerzo cortante está caracterizada gracias al sistema 1.

55 Como se ve en esta figura, las porciones de extremo primera y segunda de la viga 110 y 120 presentan un refuerzo específico, más grande que la porción de prueba 130, con el fin de resistir fuerzas longitudinales promedio  $N_1$  y  $N_2$  y las fuerzas de contraflexión  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$   $R'_{a1}$  y  $R'_{a2}$  aplicadas por las bridas para someter la viga al momento flector de compensación. Además, cada una de las caras de extremos respectivas de estas porciones de extremo está provista de una placa de tope soldada a las armaduras longitudinales.

60 En cambio, en la porción de prueba 130, la viga se puede dimensionar libremente (por ejemplo, con el fin de que sea idéntica, en esta porción, a una viga destinada a un edificio).

65 En el ejemplo representado, la armadura metálica de la viga 100 es idéntica en la parte superior de la viga (en el lado de la pieza de apoyo 13) y en su parte inferior (en el lado del primer y segundo apoyos 11 y 12). No obstante, también se podría prever que esta armadura sea más grande en la parte inferior, o en la parte superior de la viga. Asimismo, podría preverse que la distribución de las armaduras evolucione a lo largo del eje longitudinal de la viga.

5 A modo de ejemplo, la longitud de la porción de prueba 130 de la viga representa aquí un poco más de la mitad de la longitud total de la viga, mientras que la longitud de cada una de las porciones de extremo 110, 120 representa un poco menos del cuarto de la longitud total de la viga. En la práctica, la longitud total de la viga es de al menos superior a 1 metro.

10 El sistema 1 comprende, además de los elementos mecánicos descritos anteriormente, una unidad de control (no representada) configurada para pilotar el cilindro principal 14 así como el primer y segundo cilindros adicionales 21 y 22.

La unidad de control comprende, por ejemplo, un ordenador apto para pilotar las bombas que accionan los cilindros antes citados.

15 La unidad de control está configurada para pilotar el primer y segundo cilindros adicionales 21, 22 y el cilindro principal 14 de modo que el momento flector de compensación  $M_c$  se opone al momento flector principal  $M_P$  debido a dicha fuerza de puesta en flexión  $F$ , como se ha indicado más arriba con referencia a las figuras 1A y 1B.

20 La unidad de control se configura más precisamente para pilotar se pilotan los dos cilindros adicionales 21, 22 y el cilindro principal 14:

- de modo que el momento flector total  $M_{tot}$  sufrido por la viga 100 permanece, en valor absoluto, inferior a un momento de rotura  $M_R$  de la viga, predeterminado,
- mientras aumenta la fuerza de puesta en flexión  $F$  hasta alcanzar una rotura de la viga 100.

25 El momento de rotura  $M_R$  en cuestión se puede determinar de diferentes maneras, descrito en detalle a continuación (etapa a) del método de caracterización descrito a continuación).

30 La unidad de control se puede configurar para pilotar los dos cilindros adicionales 21, 22 para, además, aplicar las fuerzas longitudinales promedio  $N$  y  $N_2$  en la viga 100, siendo el momento de rotura  $M_R$  determinado entonces teniendo en cuenta el hecho de que la viga además sufre las tensiones de tracción o de compresión generados por las fuerzas longitudinales.

35 Más generalmente, la unidad de control está configurada para implementar la etapa c) del método de caracterización descrito a continuación.

### **Método para caracterizar la resistencia al esfuerzo cortante de la viga**

40 El sistema 1 que se ha descrito anteriormente permite implementar un método de caracterización de la resistencia al esfuerzo cortante de una viga para edificio, durante el cual la viga se pone en tensión como se explicó anteriormente, con referencia las figuras 1A a 1E.

Este método incluye las siguientes etapas en particular (Figura 6):

- 45 a) determinación del momento de rotura  $M_R$  de la viga 100,
- b) instalación de la viga 100 sobre el sistema 1 destinado a caracterizarla,
- c) aplicación de los esfuerzos mencionados anteriormente, hasta que se alcanza la rotura de la viga 100.

### **Etapas a) determinación del momento de rotura $M_R$ de la viga 100**

50 El momento de rotura  $M_R$  de la viga es el momento flector umbral, más allá del cual la viga se rompe bajo el efecto de la flexión que sufre.

55 En la etapa c) (que se describirá a continuación), el par de fuerzas longitudinales promedio  $N_1$  y  $N_2$  se aplica sobre la viga cuando se desea estudiar experimentalmente la influencia de una tensión de tracción o de compresión sobre la resistencia de la viga al esfuerzo cortante (ensayos mixtos de tracción-flexión).

60 Pero la aplicación de tal tensión de tracción o de compresión (tensión que, sobre una sección derecha de la viga, se ejerce perpendicularmente a esta sección) modifica significativamente la resistencia de la viga en un momento flector. En particular, ejercer una tensión de tracción reduce claramente el valor del momento de rotura  $M_R$  de la viga, si bien es aún más probable que ocurra una rotura por flexión antes que una por esfuerzo cortante.

65 Para alcanzar una rotura por esfuerzo cortante, durante ensayos mixtos de tracción-flexión (o, más precisamente, en el presente documento, de tracción-cizallamiento), por lo tanto, es importante determinar el momento de rotura  $M_R$ , cuyo valor condiciona el pilotaje de los cilindros, teniendo en cuenta el hecho de que la viga está sometida al par de fuerzas longitudinales promedio  $N_1$  y  $N_2$ .

La dependencia del momento de rotura  $M_R$ , en función del valor algebraico  $N$  de la fuerza longitudinal promedio  $N_1$ , se representa esquemáticamente en la figura 7. En esta figura, los valores del momento de rotura  $M_R$  se informan en el plano  $(N, M_{tot})$ , para diferentes valores de  $N$ . Los valores de  $N$  positivos corresponden al caso de una tensión de tracción.

5 Valor  $M_R^0$  del momento de rotura  $M_R$  corresponde al caso de fuerzas longitudinales cero (ausencia de tracción o de compresión). A partir de esta situación, si se aumenta progresivamente la fuerza longitudinal promedio  $N_1$ , en el sentido de una tracción, el valor del momento de rotura  $M_R$  disminuye y finalmente se anula (cuando  $N$  alcanza el límite de la resistencia a la tracción pura  $N_0$ ).

10 Si  $M_{tot}$  es positivo, siempre que  $M_{tot}$  es inferior a  $M_R$ , la viga resiste las tensiones aplicadas sin romperse. Pero si  $M_{tot}$  excede  $M_R$ , la viga se rompe por flexión.

15 De manera comparable, cuando  $M_{tot}$  es negativo, siempre que  $M_{tot}$  es superior a  $M_R$ , la viga soporta las tensiones aplicadas sin romperse y se rompe si  $M_{tot}$  deviene inferior a  $M_R$ , en valor algebraico.

20 Estas dos condiciones se traducen gráficamente en la figura 7: en esta figura, la zona sombreada delimitada por la línea  $M_R(N)$  corresponde al conjunto de estados de tensión que satisfacen las dos condiciones mencionadas anteriormente. De este modo, si el estado de tensión de la viga corresponde a un punto del plano  $(N, M_{tot})$  ubicado en el interior de esta zona sombreada, la viga resiste las tensiones aplicadas sin romperse. En cambio, si las fuerzas aplicadas a la viga la sacan de esta zona sombreada, ella se rompe.

25 El momento de rotura  $M_R$  de la viga (trazado en la figura 7), que luego interviene en el pilotaje de los cilindros realizado en la etapa c), se puede determinar en particular:

- 25 i) mediante ensayos preliminares de rotura por flexión,
- ii) por medio de cálculos realizados de acuerdo con un código de cálculo estandarizado o reglamentario, o incluso
- 30 iii) por medio de cálculos realizados de acuerdo con un método de cálculo específico, habiendo este método sido previamente validado por ensayos de rotura o por comparación con un código de cálculo estandarizado o reglamentario.

Como ya se ha indicado, cuando la viga se somete a las fuerzas longitudinales promedio  $N_1$  y  $N_2$ , el momento de rotura  $M_R$  se determina teniendo en cuenta la aplicación de estas fuerzas.

35 En el caso i, los ensayos de rotura preliminares se realizan en una, o preferentemente en varias vigas de prueba idénticas a la viga 100 mencionada anteriormente. Estos ensayos preliminares, por ejemplo, se realizan por medio del sistema 1 descrito anteriormente, pero sin aplicar las fuerzas de contraflexión, con el fin de obtener una rotura por flexión y no por esfuerzo cortante. Para cada viga de prueba, un momento de rotura  $M_{R1}, M_{R2}, \dots$  de la viga se determina a partir del valor de la fuerza  $F$  (ejercida por el cilindro principal 14) necesaria para romper la viga (mediante la relación

40  $M_{Ri} = F \cdot d_1 \cdot d_2 / (d_1 + d_2)$ ). El momento de rotura  $M_R$ , esperado para la viga 100, entonces se determina en función de los momentos de rotura  $M_{R1}, M_{R2}, \dots$  medidos de este modo. Por ejemplo, el momento de rotura  $M_R$  de la viga 100 se puede determinar que siendo igual a la media aritmética de los momentos de rotura  $M_{R1}, M_{R2}, \dots$ , o determinarse como siendo igual al menor de los momentos de rotura  $M_{R1}, M_{R2}, \dots$  medidos de este modo.

45 Si se considera un ensayo de tracción-cizallamiento, estos ensayos de rotura preliminares se realizan aplicando la fuerza de tracción considerada, en cada extremo de la viga.

50 En el caso ii, el momento de rotura  $M_R$ , esperado para la viga 100, es igual a un momento de rotura teórico de la viga que se determina por cálculos, en función de las características (dimensión, armaduras, ...) de la viga, de acuerdo con el código de cálculo estandarizado o reglamentario mencionado anteriormente.

55 El código de cálculo estandarizado o reglamentario, es, por ejemplo, el código de cálculo oficial, en vigor en un país o conjunto de países. A modo de ejemplo, este cálculo se puede efectuar de acuerdo con el Eurocódigo 2 o, incluso, de acuerdo con la norma canadiense "CAN/CSA-A23.3-F04 (C2010) - Calcul des ouvrages en béton". En el caso del Eurocódigo 2, el cálculo del momento de rotura  $M_R$  se efectuará de acuerdo con la sección 6.1 de este código ("flexion simple et flexion composée").

60 En el caso iii, el momento de rotura  $M_R$ , esperado para la viga 100, por ejemplo, se puede determinar de acuerdo con lo dispuesto en los párrafos 2.3 a 2.7 de la tesis doctoral "Analyse par le calcul à la rupture de la stabilité au feu des panneaux en béton armé de grandes dimensions" respaldada por Duc Toan PHAM el 15 de diciembre de 2014 en la Universidad de Paris-Est (páginas 35 a 56 de este documento, publicada con la referencia tel-01131232 en el archivo HAL). En este caso, el cálculo se realiza colocándolo en el caso simplificado de una temperatura homogénea en la viga. La ventaja del método de cálculo presentado en este documento es que permite, cuando se aplica un esfuerzo de tracción o de compresión sobre la viga, determinar el momento de rotura  $M_R$  más rápidamente que con un código

65 informático estandarizado tal como el Eurocódigo 2 (requiere menos recursos, en términos de cálculo). La validación de este método de cálculo, en comparación con las predicciones del Eurocódigo, se trata en la página 54 de este

documento.

**Etapa c): puesta en tensión y rotura de la viga**

5 Como ya se ha indicado, durante la etapa c), los cilindros 14, 21 y 22 se pilotan para alcanzar la rotura por esfuerzo cortante, evitando la rotura por flexión gracias al momento flector de compensación  $M_c$ .

Para ello, son considerables diferentes secuencias de puesta en carga de la viga.

10 Un primer ejemplo de tal secuencia se representa esquemáticamente en la figura 8, en el plano  $(N, M_{tot})$ . En este ejemplo, la etapa c) comprende:

- una etapa c1), durante la cual los cilindros primero y segundo adicionales 21 y 22 se pilotan para someter progresivamente la viga al momento flector de compensación  $M_c$  y a la tensión de tracción resultante de las fuerzas longitudinales, luego
- una etapa c2) durante el cual se pilota el cilindro principal para aumentar progresivamente la intensidad  $F$  de la fuerza de puesta en flexión, hasta alcanzar la rotura  $R$  de la viga.

20 Durante la etapa c1), los cilindros adicionales se pilotan de modo que la intensidad de la fuerza  $F_1$  sea, en todo momento, superior a la de la fuerza  $F_2$ , para mantener las almohadillas 236, 237, 246, 247 en contacto con la viga 100.

Por otro lado, las respectivas intensidades de estas dos fuerzas se aumentan conjuntamente, para aumentar simultáneamente el valor del momento flector de compensación  $M_c$  y la tensión de tracción (figura 8).

25 Durante esta etapa c1), el momento principal  $M_P$  sigue siendo cero y el momento total  $M_{tot}$  es directamente igual al momento flector de compensación  $M_c$ . Por lo tanto, los cilindros adicionales 21, 22 se pilotan para aumentar el valor del momento flector de compensación  $M_c$ , pero, por supuesto, sin exceder el momento de rotura  $M_R$ . A modo de ejemplo, al final de la etapa c1), el momento flector de compensación  $M_c$  y por lo tanto también el momento total  $M_{tot}$ , son ligeramente inferiores al momento de rotura  $M_R(N_c)$  (por ejemplo, un pequeño porcentaje), donde  $N_c$  es la fuerza longitudinal objetivo, bajo la cual se desea realizar el ensayo de rotura por esfuerzo cortante.

Las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  alcanzadas al final de la etapa c1) se mantienen constantes durante la siguiente etapa c2).

35 Un segundo ejemplo de una secuencia de carga de la viga se representa esquemáticamente en las figuras 9 a 11. En un segundo ejemplo, la etapa c) comprende:

- una etapa c11, durante la cual los cilindros primero y segundo adicionales 21 y 22 se pilotan para someter progresivamente la viga a la tensión de tracción resultante de las fuerzas longitudinales, luego
- una etapa c12 durante la cual los cilindros primero y segundo adicionales 21 y 22 se pilotan para someter la viga, además, al momento flector de compensación  $M_c$  y
- una etapa c2') durante la cual se pilota el cilindro principal para aumentar progresivamente la intensidad  $F$  de la fuerza de puesta en flexión, hasta alcanzar la rotura  $R$  de la viga.

45 Durante la etapa c11, los cilindros adicionales se pilotan de modo que la intensidad de la fuerza  $F_1$  sea ligeramente superior, por ejemplo, algunos Kilonewtons, a la de la fuerza  $F_2$ , ahí también, para mantener las almohadillas 236, 237, 246, 247 en contacto con la viga 100. Las intensidades de estas dos fuerzas aumentan conjuntamente con el tiempo (figura 10).

50 Durante la etapa c12, los cilindros adicionales se pilotan de modo que la fuerza  $F_2$  permanece constante, mientras que la intensidad de la fuerza  $F_1$  aumenta. En el transcurso de esta etapa, por lo tanto, la tensión de tracción aumenta ligeramente y el momento flector de compensación  $M_c$  pasa de un valor casi cero a un valor ligeramente inferior a  $M_R(N_c)$ .

55 Las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  alcanzadas al final de la etapa c12 se mantienen entonces constantes durante la etapa c2') siguiente. Para el ejemplo de viga de la figura 5, de aproximadamente 4 metros de largo, los valores alcanzados por estas fuerzas al final de la etapa c12 son del orden de la centena de Kilonewtons (comprendidos entre 100 y 500 Kilonewtons, por ejemplo).

60 Durante la etapa c2'), el cilindro principal 14 se pilota en desplazamiento (a velocidad constante) para aplicar progresivamente el esfuerzo cortante  $V$ . El pilotaje en desplazamiento hasta la falla completa de la viga permite observar los fenómenos posteriores al pico de esfuerzo máximo  $P$ .

65 Varias otras secuencias de puesta en carga, que permiten alcanzar la rotura por esfuerzo cortante, evitando la rotura por flexión gracias al momento flector de compensación  $M_c$ , pueden contemplarse.

Esta flexibilidad en la elección de la secuencia de carga está permitida, en particular, por el hecho de que los límites de roturas de la viga son independientes de las características elásticas de los materiales constituyentes, de un eventual estado de autotensión inicial y de la trayectoria de carga seguida para llevar a los límites de roturas (como se muestra en el siguiente trabajo: "Plasticité et calcul à la rupture", P. de Buhan, 2007, Prensas de la Escuela Nacional de Ponts et Chaussées).

5

Entre las otras secuencias considerables, se podrían prever, por ejemplo:

- 10 - durante una primera fase, aumentar conjuntamente, progresivamente, la intensidad de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  y la de la fuerza de puesta en flexión  $F$ , para mantener el momento total en un valor casi cero, luego
- en una segunda fase, mantener constante la intensidad de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  y aumentar solamente la de la fuerza de puesta en flexión, hasta la rotura.

15

Esto permite, a diferencia de las secuencias anteriores, evitar someter la viga a un momento flector positivo, lo cual es interesante, por ejemplo, cuando la viga a probar presenta pocas o ninguna armadura longitudinal en su parte superior. La primera fase de la secuencia que se acaba de presentar se puede realizar, por ejemplo, colocando el cilindro principal en contacto con la viga, luego bloqueando este pistón en desplazamiento antes de ejercer el momento flector de compensación por medio de los cilindros adicionales 21, 22.

**REIVINDICACIONES**

1. Método de caracterización de la resistencia al esfuerzo cortante de una viga (100), comprendiendo la viga (100) una porción de prueba (130) que se extiende entre dos porciones de extremo de la viga (110, 120), durante la cual:

- 5 - la viga (100) toma apoyo transversalmente sobre un primer apoyo (11) y sobre un segundo apoyo (12),
- un cilindro principal (14) ejerce sobre la viga (100) una fuerza de puesta en flexión (F), siendo dicha fuerza aplicada entre el primer apoyo (11) y el segundo apoyo (12), transversalmente con respecto a la viga (100),
- 10 **caracterizado por que** unas fuerzas de contraflexión ( $R_{a1}$ ,  $R'_{a1}$ ,  $R_{a2}$ ,  $R'_{a2}$ ), de las cuales resulta un momento flector de compensación ( $M_C$ ) que se opone al momento flector ( $M_P$ ) debido a dicha fuerza de puesta en flexión (F), se ejercen sobre la viga por medio de dos cilindros adicionales (21, 22).

2. Método según la reivindicación 1 en donde:

- 15 - la viga (100) toma apoyo sobre el primer y segundo apoyos (11, 12) al nivel de su porción de prueba (130),
- dos de dichas fuerzas de contraflexión ( $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$ ) se ejercen sobre una de las porciones de extremo (110, 120) de la viga por medio de una primera brida (23) montada sobre esta porción de extremo (110, 120),
- otras dos de dichas fuerzas de contraflexión ( $R'_{a1}$ ,  $R'_{a2}$ ) se ejercen sobre la otra porción de extremo (120, 110) de la viga por medio de una segunda brida (24) montada sobre esta otra porción de extremo (120, 110) y en donde
- 20 - los dos cilindros adicionales (21, 22) ejercen, sobre cada una de las bridas primera y segunda (23, 24), dos fuerzas longitudinales ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $-F_1$ ,  $-F_2$ ) de intensidades desiguales, paralelas a un eje longitudinal (x) de la viga (100), de las cuales resultan dichas fuerzas de contraflexión ( $R_{a1}$ ,  $R'_{a1}$ ,  $R_{a2}$ ,  $R'_{a2}$ ) ejercidas sobre la viga (100).

3. Método según una de las reivindicaciones 1 y 2, en donde se pilotan los dos cilindros adicionales (21, 22) y el cilindro principal (14):

- 25 - de modo que un momento flector total ( $M_{tot}$ ) sufrido por la viga (100) permanece inferior a un momento de rotura ( $M_R$ ) de la viga, predeterminado,
- mientras aumenta la fuerza de puesta en flexión (F) hasta alcanzar una rotura de la viga (100).

4. Método según las reivindicaciones 2 y 3, en donde:

- los dos cilindros adicionales (21, 22) además se pilotan de modo que dichas fuerzas longitudinales ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $-F_1$ ,  $-F_2$ ) generen un esfuerzo normal de tracción o de compresión en la porción de prueba (130) de la viga y en donde
- 35 - dicho momento de rotura ( $M_R$ ) se determina teniendo en cuenta el hecho de que la viga (100) está sometida a dicho esfuerzo normal de tracción o de compresión.

5. Método según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde los dos cilindros adicionales (21, 22) actúan sobre las porciones de extremo (110, 120) de la viga mientras dejan estas porciones de extremos libres para desplazarse perpendicularmente con respecto a un eje longitudinal (x) de la viga (100).

6. Método según una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde:

- 45 - una primera distancia ( $d_1$ ) separa el primer apoyo (11) y un punto de aplicación de dicha fuerza de puesta en flexión (F),
- una segunda distancia ( $d_2$ ) separa el segundo apoyo (12) y dicho punto de aplicación y en donde una separación relativa entre la primera distancia ( $d_1$ ) y la segunda distancia ( $d_2$ ) es superior al 10 %.

7. Sistema (1) para caracterizar la resistencia al esfuerzo cortante de una viga (100), comprendiendo la viga una porción de prueba (130) que se extiende entre dos porciones de extremo (110, 120) de la viga (100), comprendiendo el sistema (1):

- 50 - un primer dispositivo de puesta en tensión (10) que consta al menos de un primer apoyo (11) y de un segundo apoyo (12) para la viga (100), así como de un cilindro principal (14) dispuesto para ejercer sobre la viga (100) una fuerza de puesta en flexión (F), siendo dicha fuerza aplicada entre el primer apoyo (11) y el segundo apoyo (12), transversalmente con respecto a la viga (100),

estando el sistema (1) caracterizado por que comprende, además:

- 60 - un segundo dispositivo de puesta en tensión (20) que consta de dos cilindros adicionales (21, 22), dispuestos para ejercer sobre la viga fuerzas de contraflexión ( $R_{a1}$ ,  $R'_{a1}$ ,  $R_{a2}$ ,  $R'_{a2}$ ), de las cuales resulta un momento flector de compensación ( $M_C$ ) que se opone al momento flector ( $M_P$ ) debido a dicha fuerza de puesta en flexión (F).

8. Sistema (1) según la reivindicación 7, en donde el segundo dispositivo de puesta en tensión (20) comprende:

- 65 - una primera brida (23), configurada para montarse sobre una de las porciones de extremo (110, 120) de la viga

- y para, bajo la acción de los cilindros adicionales (21, 22), ejercer sobre esta porción de extremo (110, 120) dos de dichas fuerzas de contraflexión ( $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$ ),
- una segunda brida (24) configurada para montarse sobre la otra porción de extremo (120, 110) de la viga y para ejercer sobre esta porción de extremo (120, 110), bajo la acción de los cilindros adicionales (21, 22), otras dos de dichas fuerzas de contraflexión ( $R'_{a1}$ ,  $R'_{a2}$ ) y en donde
- 5 - los dos cilindros adicionales (21, 22) están dispuestos para ejercer, sobre cada una de las bridas primera y segunda (23, 24), dos fuerzas longitudinales ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $-F_1$ ,  $-F_2$ ) de intensidades desiguales, paralelas a un eje longitudinal (x) de la viga (100), de las cuales resultan dichas fuerzas de contraflexión ( $R_{a1}$ ,  $R'_{a1}$ ,  $R_{a2}$ ,  $R'_{a2}$ ).
- 10 9. Sistema (1) según la reivindicación 8, en donde cada una de las primera brida (23) y segunda brida (24) está configurada para, además, transmitir a la porción de extremo (110, 120) correspondiente de la viga una fuerza longitudinal promedio ( $N_1$ ,  $N_2$ ), paralela a un eje longitudinal (x) de la viga, resultante de las dos fuerzas longitudinales ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $-F_1$ ,  $-F_2$ ) de intensidades desiguales ejercidas sobre dicha primera o segunda brida (23, 24) por los cilindros adicionales (21, 22).
- 15 10. Sistema (1) según una de las reivindicaciones 7 a 9, en donde el segundo dispositivo de puesta en tensión (20) está en contacto mecánico solamente con la viga (100) y actúa sobre las porciones de extremo (110, 120) de la viga mientras deja estas porciones de extremos (110, 120) libres para desplazarse perpendicularmente a un eje longitudinal (x) de la viga.
- 20 11. Sistema (1) según una de las reivindicaciones 7 a 10, que comprende, además una unidad de control configurada para pilotar los dos cilindros adicionales (21, 22) y el cilindro principal (14) de modo que un momento flector total ( $M_{tot}$ ) sufrido por la viga (100) permanece inferior a un momento de rotura ( $M_R$ ) de la viga, predeterminado, mientras aumenta la fuerza de puesta en flexión (F) hasta alcanzar una rotura de la viga (100).

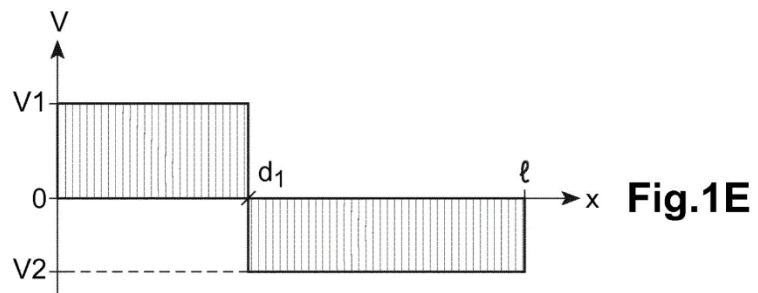
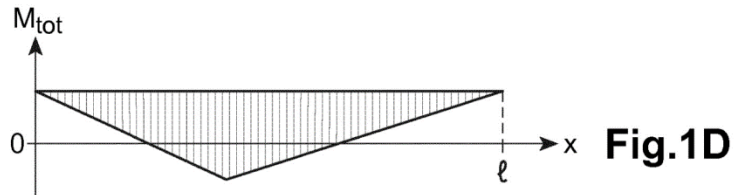
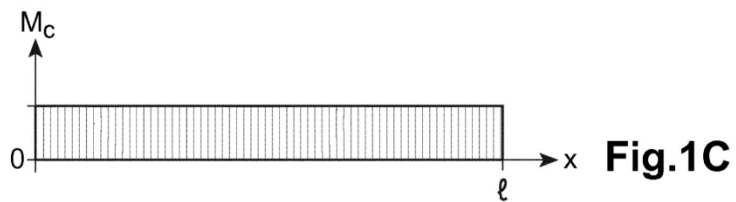
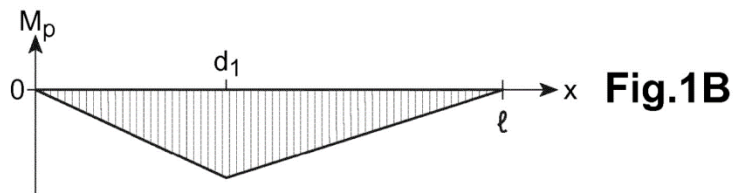
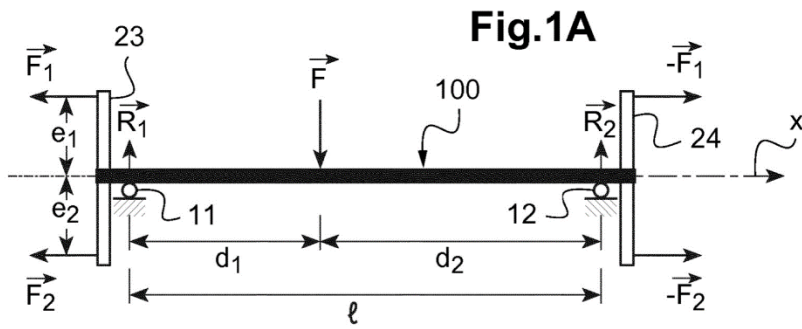
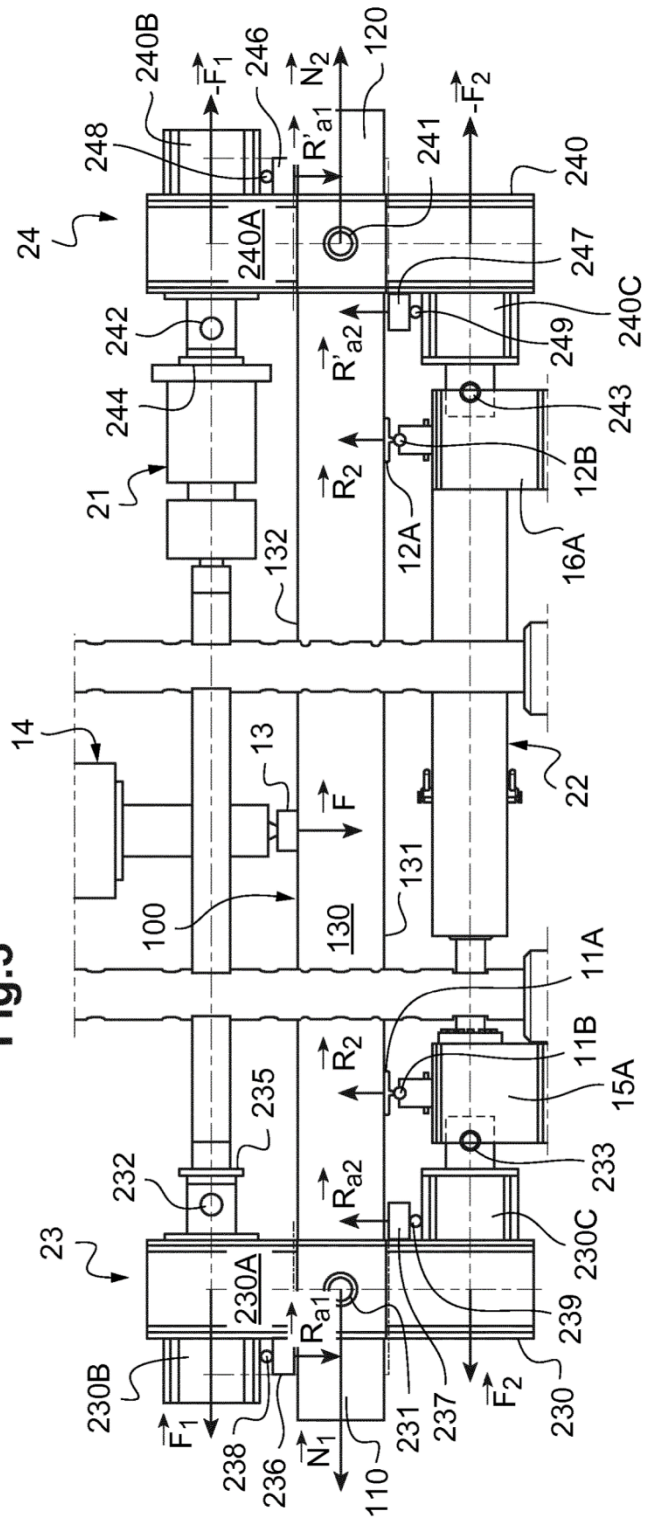
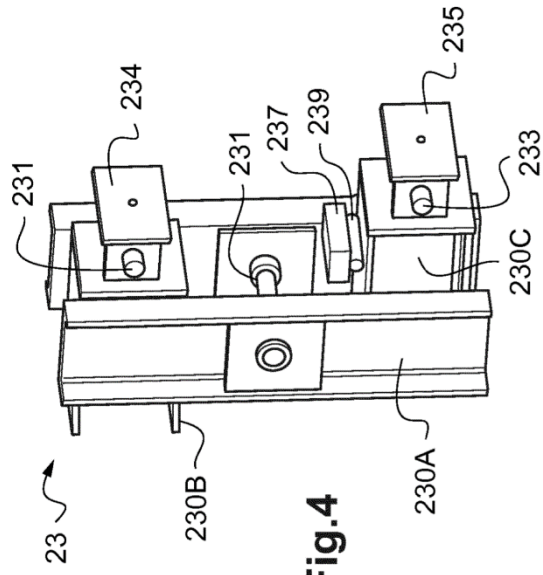


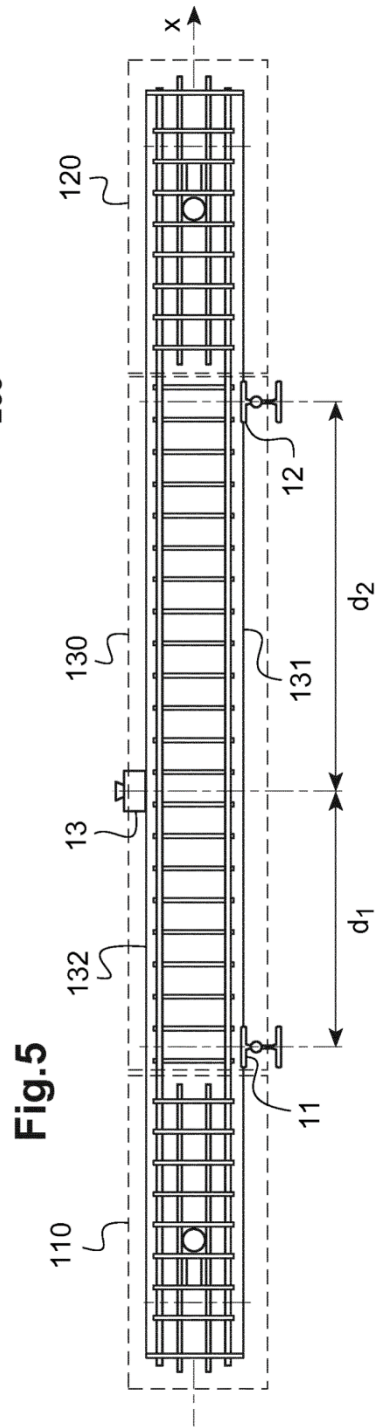


Fig.3

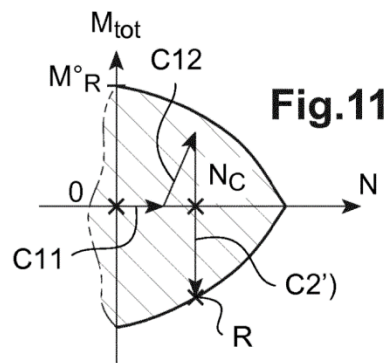
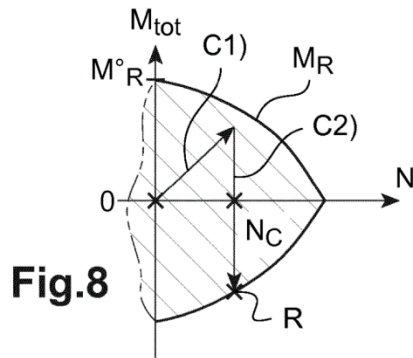
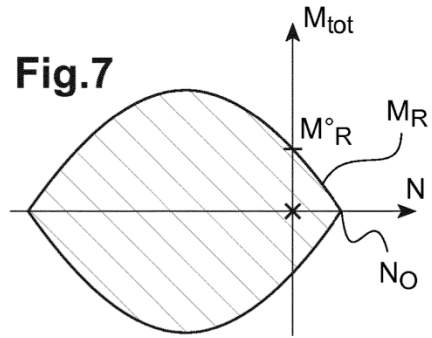
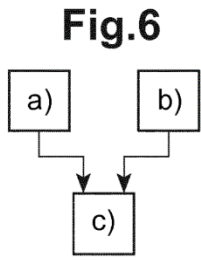




**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig.9**

