

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 429**

51 Int. Cl.:

E01D 19/16 (2006.01)

E01D 11/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2011 E 11153754 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017 EP 2386689**

54 Título: **Procedimiento de amortiguación de las vibraciones de tirantes y sistema asociado**

30 Prioridad:

12.05.2010 RU 2010119171

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

13.06.2017

73 Titular/es:

**SOLETANCHE FREYSSINET (100.0%)
280 avenue Napoléon Bonaparte
92500 Rueil Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**STUBLER, JÉRÔME y
MELLIER, ERIK**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 616 429 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

Procedimiento de amortiguación de las vibraciones de tirantes y sistema asociado

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere a la amortiguación de las vibraciones de al menos dos tirantes de una obra de construcción.

10 Estado de la técnica

A título de ejemplo no limitativo, la amortiguación propuesta por la invención puede servir en concreto para amortiguar las vibraciones de una capa de tirantes de un puente atirantado. En los puentes atirantados, los tirantes que forman la capa de tirantes están por lo general anclados en su extremo superior sobre un pilón y en su extremo inferior sobre el tablero del puente. La capa de tirantes asegura de esta manera el mantenimiento y la estabilidad de la estructura.

No obstante, en algunas condiciones, en concreto cuando el tablero del puente está sometido a unas excitaciones periódicas, los tirantes pueden acumular energía y oscilar de manera importante. Las dos causas principales de estas vibraciones son el desplazamiento de los anclajes de los tirantes con respecto al tablero por el efecto de cargas de tráfico, y el efecto del viento que actúa directamente sobre los tirantes. Estas oscilaciones, cuando no se controlan, son susceptibles de dañar directamente los tirantes, provocando al mismo tiempo la intranquilidad de los usuarios que se encuentran sobre el tablero del puente.

Con el fin de evitar o de limitar las vibraciones de los tirantes de una obra de construcción, se conoce por el documento DE 1 943 509 A1, la utilización de los cables de interconexión que permiten unir entre sí una pluralidad de tirantes de una misma capa de tirantes, estando estos cables de interconexión, además, directamente anclados sobre el tablero del puente. Estos cables de interconexión permiten dar firmeza al conjunto de la capa de tirantes permitiendo al mismo tiempo prohibir algunos modos de vibración, principalmente plana, de dichos tirantes.

No obstante, cuando se utilizan unos cables de interconexión para unir entre sí una pluralidad de tirantes, es conveniente tener en cuenta los siguientes parámetros:

- la sección, la rigidez y la tensión de los cables de interconexión deben estar determinadas por un cálculo de conjunto de la capa de tirantes interconectados;
- la resistencia de los cables de interconexión y de sus anclajes debe estar adaptada en los casos de carga extrema tal como el tráfico rodado sobre el tablero del puente o de un viento turbulento sobre la obra o sobre los tirantes;
- la pretensión de los cables de interconexión debe permitir evitar cualquier distensión con carga extrema; de hecho, un cable de interconexión distendido ya no desempeña su papel y puede experimentar choques nocivos para la durabilidad de los anclajes, lo que es igualmente susceptible de conllevar una rotura de dicho cable de interconexión y, por lo tanto, su sustitución por otro cable de interconexión que presenta una sección y una rigidez más elevada extendiéndose al mismo tiempo a un valor de tensión superior;
- las roturas angulares de los extremos de los tirantes a la altura de los anclajes deben evaluarse igualmente, y corregirse eventualmente.

La toma en cuenta de estos diferentes parámetros complica, por lo tanto, de manera relativamente importante la colocación de estos cables de interconexión con el fin de dar firmeza a la capa de tirantes de una obra de construcción.

Por otra parte, cuando estos cables de interconexión deben instalarse después de la puesta en servicio de la obra de construcción, para corregir, por ejemplo, problemas de estabilidad, es imperativo como se ha descrito más arriba pretensar el conjunto de los cables de interconexión, lo que modifica por lo tanto la geometría de los diferentes tirantes de la capa de tirantes, con unas consecuencias sobre la estructura de la obra y, en concreto, la aparición de roturas angulares a la altura de los extremos de los tirantes directamente anclados sobre el pilón y sobre el tablero del puente en el caso de puentes atirantados.

Otra solución, según el documento europeo FR 2 862 073 A1, consiste en utilizar unos amortiguadores dispuestos entre los tirantes y la estructura de la obra o bien directamente interpuestos entre tirantes, para disipar una parte de la energía vibratoria de los tirantes.

En interés de la eficacia, en concreto, estos amortiguadores son tradicionalmente unos amortiguadores simétricos, es decir, que funcionan sustancialmente de la misma forma cuando están sometidos a un esfuerzo de tracción o a un esfuerzo de compresión. Se trata convencionalmente de amortiguadores de pistón con recorrido rectilíneo que satisfacen una relación simétrica y creciente entre el esfuerzo desarrollado y la velocidad de desplazamiento del pistón, cuando trabajan en tracción (alargamiento) o en compresión (acortamiento). La simetría de la relación se

entiende de un comportamiento idéntico o parecido de estos amortiguadores en tracción y en compresión.

Ahora bien, durante un funcionamiento en compresión, el esfuerzo de reacción del pistón puede ser fuente de inestabilidad.

5 A título de ejemplo, consideremos una capa de tirantes de un puente atirantado, donde un amortiguador respectivo une cada par de tirantes adyacentes de la capa, estando los amortiguadores colocados en la prolongación los unos de los otros. Cuando dos amortiguadores a ambos lados de un tirante están comprimidos, el tirante apretado entre estos dos elementos corre el riesgo de ser empujado fuera del plano de la capa.

10 Esta inestabilidad hace que los amortiguadores ya no funcionen.

Objeto de la invención

15 La presente invención permite limitar algunos al menos de los inconvenientes mencionados más arriba.

Para ello, la invención propone de esta manera un procedimiento de amortiguación de las vibraciones de al menos un par de tirantes de una obra de construcción, en el que se unen los tirantes de dicho par por un amortiguador que presenta una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza.

20 En el contexto de la presente invención, la "firmeza" de un amortiguador se entiende de la relación entre el esfuerzo desarrollado por este amortiguador y la velocidad de desplazamiento (relativo) de un elemento activo de este amortiguador. La firmeza del amortiguador puede, por ejemplo, verse como un coeficiente de proporcionalidad entre estas dos nociones de esfuerzo y de velocidad. Si el amortiguador considerado implementa un elemento viscoso, tal como un fluido, por ejemplo, la firmeza del amortiguador se parece de esta manera a un coeficiente de viscosidad. Una firmeza de este tipo no debe confundirse con la noción conocida de proporcionalidad entre esfuerzo y desplazamiento (más bien que velocidad), como en el caso de un muelle, por ejemplo.

30 La utilización de un amortiguador permite limitar algunos al menos de los inconvenientes de los cables de interconexión mencionados más arriba. Además, la diferencia de firmeza en tracción y en compresión del amortiguador permite limitar algunos al menos de los inconvenientes de los amortiguadores simétricos mencionados más arriba.

35 Según unos modos de realización ventajosos que pueden combinarse en todas las formas factibles:

- el amortiguador está colocado de forma que un eje de trabajo de dicho amortiguador esté sustancialmente perpendicular a los tirantes de dicho par;
- 40 - el amortiguador es un amortiguador con recorrido sustancialmente rectilíneo; este amortiguador puede o no utilizar un pistón;
- el amortiguador funciona por circulación de un fluido viscoso entre dos cámaras separadas por un pistón, haciéndose la circulación del fluido viscoso a través al menos de un paso que crea una diferencia de presión durante el paso del fluido viscoso entre las dos cámaras;
- 45 - la diferencia de presión creada por el paso del fluido es menor cuando el amortiguador funciona en compresión con respecto a su funcionamiento en tracción;
- 50 - el amortiguador funciona por circulación de un fluido viscoso entre dos cámaras separadas por un pistón, haciéndose la circulación del fluido viscoso, como respuesta a un esfuerzo de tracción sobre el amortiguador, a través al menos de un primer paso habilitado en el pistón y recubierto a la salida por al menos una primera válvula, y, como respuesta a un esfuerzo de compresión sobre el amortiguador, a través al menos de un segundo paso habilitado en el pistón y recubierto a la salida por al menos una segunda válvula;
- 55 - el amortiguador presenta al menos una de las dos características siguientes: dicha primera válvula tiene una elasticidad inferior a dicha segunda válvula, y dicho primer paso presenta una sección transversal inferior a dicho segundo paso;
- 60 - la primera firmeza es superior a la segunda firmeza en una relación de 1 a 1,2 al menos;
- la segunda firmeza es casi nula;
- uno de los tirantes de dicho par de tirantes está, además, unido a un elemento fijo de la obra de construcción por medio de un amortiguador que presenta una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda
- 65

firmeza;

- 5 - la unión entre el amortiguador y uno al menos de los tirantes de dicho par permite la rotación alrededor del eje de dicho tirante;
- la obra de construcción comprende al menos una capa de tirantes situados sustancialmente en un mismo plano y que incluye dicho par de tirantes;
- 10 - el amortiguador está colocado de forma que un eje de trabajo de dicho amortiguador esté sustancialmente en dicho plano de la capa de tirantes;
- la capa de tirantes está constituida por al menos tres tirantes, y unos amortiguadores unen al menos algunos pares de tirantes adyacentes de la capa de tirantes, presentando al menos uno de dichos amortiguadores una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza;
- 15 - los amortiguadores que unen unos pares sucesivos de tirantes adyacentes de la capa de tirantes no están en la prolongación el uno del otro; y/o
- 20 - la obra de construcción comprende un puente atirantado.

La invención también propone un sistema que comprende una obra de construcción y un amortiguador dispuesto para amortiguar unas vibraciones de al menos un par de tirantes de la obra de construcción según el procedimiento mencionado más arriba, estando dicho amortiguador unido a los tirantes de dicho par y presentando una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza.

Descripción de las figuras

- 30 Otras particularidades y ventajas de la presente invención aparecerán en la descripción de a continuación de ejemplos de realización no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:
 - la figura 1 es un esquema que muestra un ejemplo de obra de construcción que comprende unos tirantes cuyas vibraciones se amortiguan según un modo de realización de la invención;
 - 35 - la figura 2 es un esquema que muestra un detalle de la amortiguación para una subparte de la obra de construcción de la figura 1;
 - la figura 3 es un esquema que muestra un ejemplo no limitativo de amortiguador asimétrico que puede utilizarse en el marco de la invención;
 - la figura 4 es un gráfico que muestra un ejemplo no limitativo de ley de comportamiento esfuerzo/velocidad de un amortiguador asimétrico que puede utilizarse en el marco de la invención;
 - 40 - las figuras 5 a 13 prevén unos ejemplos no limitativos de amortiguación de una capa de tirantes que hace intervenir una pluralidad de amortiguadores asimétricos y eventualmente simétricos.

Descripción detallada de la invención

45 La invención tiene como objeto la amortiguación de las vibraciones de al menos un par de tirantes de una obra de construcción. Se considera a continuación el caso en que se amortiguan unas vibraciones de al menos dos tirantes de un puente atirantado. Este ejemplo solo se da, sin embargo, a título ilustrativo y no limita en nada el alcance general de la invención. A título de ejemplo alternativo de obra de construcción que incluye al menos dos tirantes, al que la presente invención puede aplicarse, puede citarse un edificio, un capitel, u otro.

La figura 1 muestra un puente atirantado 1 que comprende al menos un pilón 2, un tablero 3 y, en el ejemplo considerado en este documento, dos capas de tirantes 4 y 5 que unen el tablero 3 al pilón 2.

55 Las capas de tirantes 4 y 5 se emplean para sostener la parte del tablero 3 que no descansa sobre unos pilones de sostén (parte del tablero que se encuentra a la derecha del pilón 2 en el ejemplo considerado en este documento).

La capa de tirantes 4 está formada por un conjunto de tirantes, situados sustancialmente en un mismo plano, que están inclinados hacia abajo y hacia la derecha, presentando cada tirante un extremo superior anclado en una zona de anclaje respectiva habilitada sobre el pilón 2 y un extremo inferior anclado sobre el tablero 3. Asimismo, la capa de tirantes 5 comprende, sustancialmente en un mismo plano, un conjunto de tirantes inclinados hacia abajo y hacia la izquierda, presentando cada tirante de esta capa de tirantes 5 un extremo superior directamente anclado en una zona de anclaje respectiva habilitada sobre el pilón 2, y un extremo inferior anclado sobre el tablero 3.

65 De manera conocida de por sí, cada tirante puede estar formado por un haz de hilos metálicos que están anclados en sus dos extremos, y por una funda de plástico que rodea y protege el haz de hilos metálicos del exterior y, en

concreto, de la corrosión. Esta funda 42 puede, por ejemplo, estar realizada a partir de polietileno de alta densidad (PEHD).

5 La figura 2 representa una vista detallada de una porción de la capa de tirantes 4, y de manera más particular de un primer tirante 4a y de un segundo tirante 4b que están unidos entre sí por un amortiguador 6.

De conformidad con la presente invención, el amortiguador 6 es tal que presenta una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza.

10 Dicho de otra manera, contrariamente a los amortiguadores utilizados habitualmente en obras de construcción con tirantes, el amortiguador 6 tiene un funcionamiento diferente según si funciona en tracción o en compresión. Como primer planteamiento, un amortiguador asimétrico de este tipo parece menos eficaz que un amortiguador simétrico. Si la firmeza en compresión es nula, la eficacia se divide aproximadamente por dos, puesto que solo se utiliza la mitad del ciclo de oscilación para disipar energía vibratoria. Esta pérdida de eficacia disuade al experto en la materia de utilizar un amortiguador asimétrico para amortiguar unas vibraciones de al menos un tirante de una obra de construcción. Pero de una utilización de este tipo resultan unas ventajas como va a exponerse esto a continuación.

20 Además, puede observarse que un ajuste *ad hoc* finamente calculado, es posible rebasar el umbral de la mitad de la amortiguación media con un ajuste ligeramente más "firme" de la relación esfuerzo/velocidad que el del cálculo lineal óptimo. Debido a este hecho, la pérdida de eficacia que resulta de la utilización de un amortiguador asimétrico puede reducirse.

25 Un amortiguador asimétrico es tal que la relación entre el esfuerzo desarrollado sobre este y la velocidad de desplazamiento de uno de sus elementos móviles no es idéntica según si funciona en tracción o en compresión.

Un ejemplo no limitativo de un amortiguador asimétrico de este tipo aparece en la figura 3. Se trata de un amortiguador de pistón con recorrido sustancialmente rectilíneo.

30 El pistón 12 comprende un vástago 13 y una parte transversal 14. Se desplaza, en el eje del vástago 13, en el interior de un cuerpo de pistón 17. Su parte transversal 14 delimita dos cámaras de pistón 10 y 11, llenas de un fluido viscoso, como aceite, por ejemplo.

35 El comportamiento en tracción de este amortiguador (es decir, cuando el vástago 13 sale del cuerpo 17) se ilustra esquemáticamente en la parte izquierda de la figura 3, mientras que su comportamiento en compresión (es decir, cuando el vástago 13 vuelve a entrar en el cuerpo 17) se ilustra esquemáticamente en la parte derecha de la figura 3.

40 En lo que se refiere al comportamiento en tracción del amortiguador, al menos un paso 18 (dos pasos en la figura 3) está habilitado en la parte transversal 14 del pistón 12. Una válvula (u "hoja fina") correspondiente 15 recubre la salida del paso 18, situada debajo de la parte transversal 14 del pistón 12 en el ejemplo de la figura 3. Esta válvula 15 se deforma durante la retirada del vástago 13 del cuerpo 17, para dejar pasar una cierta cantidad de fluido 9 de la cámara 10 a la cámara 11.

45 Un comportamiento similar existe en compresión del amortiguador. Al menos un paso 19 (dos pasos en la figura 3) está habilitado en la parte transversal 14 del pistón 12. Una válvula (u "hoja fina") correspondiente 16 recubre la salida del paso 19, situada sobre la parte transversal 14 del pistón 12 en el ejemplo de la figura 3. Esta válvula 16 se deforma durante la nueva entrada del vástago 13 en el cuerpo 17, para dejar pasar una cierta cantidad de fluido 9 de la cámara 11 a la cámara 10.

50 Para asegurar una firmeza del amortiguador más elevada en tracción que en compresión, son factibles varias posibilidades.

55 Se puede, por ejemplo, utilizar una válvula 15 con una elasticidad inferior a la válvula 16. Esta diferencia de elasticidad puede obtenerse previendo un espesor para la válvula 15 superior al de la válvula 16. Como variante o como complemento, un material más rígido puede utilizarse para la válvula 15 que para la válvula 16. Estas diferentes posibilidades tienen como objeto asegurar una resistencia al paso del fluido 9 de una cámara a la otra, más importante para la válvula 15 que para la válvula 16.

60 Como variante o como complemento, el paso 18 utilizado en tracción presenta una sección transversal inferior al paso 19 utilizado en compresión. De esta forma, el paso del fluido 9 de la cámara 10 a la cámara 11 se hace más difícilmente (es decir, con un esfuerzo resistente más elevado) en tracción que el paso del fluido 9 de la cámara 11 a la cámara 10 en compresión con desplazamiento equivalente del pistón 12 con respecto al cuerpo 17.

65 Son factibles igualmente otras medidas para asegurar la diferencia de firmeza del amortiguador en tracción y en compresión, sustituyendo o como complemento de las que acaban de describirse, como se mostrará esto al experto

en la materia.

5 Un amortiguador asimétrico, tal como acaba de describirse, tiene un comportamiento mecánico tal como se ilustra en la curva 20 de la figura 4. Esta curva representa las variaciones de la fuerza F ejercida sobre el pistón 12 (fuerza de retorno) en función de la velocidad v de desplazamiento de este pistón 12 con respecto al cuerpo 17. Por norma, la parte izquierda del gráfico, donde la velocidad v es negativa, corresponde a la compresión (C) del amortiguador, mientras que la parte derecha del gráfico, donde la velocidad v es positiva, corresponde a la tracción (T) del amortiguador.

10 En el ejemplo ilustrado en la figura 4, el comportamiento del amortiguador asimétrico utilizado puede modelizarse como sigue. En compresión, el amortiguador sigue una ley del tipo: $F_c = \lambda_c \times v^{\alpha_c}$, donde F_c designa el esfuerzo de compresión desarrollado por el amortiguador, v designa la velocidad de desplazamiento de un elemento móvil del amortiguador (pistón u otro), λ_c designa un coeficiente, y α_c designa un número entero o real, por ejemplo (pero no necesariamente) inferior a 1. En tracción, el amortiguador sigue una ley del tipo: $F_t = \lambda_t \times v^{\alpha_t}$, donde F_t designa el esfuerzo de tracción desarrollado por el amortiguador, v designa la velocidad de desplazamiento de un elemento activo del amortiguador (pistón u otro), λ_t designa un coeficiente, y α_t designa un número entero o real, por ejemplo (pero no necesariamente) inferior a 1.

20 Además, los coeficientes λ_c y λ_t por una parte y los exponentes α_c y α_t por otra parte no son idénticos. Son tales que la fuerza F_c de compresión sea de un valor inferior a la fuerza F_t de tracción (para un valor de v dado). F_c es ventajosamente escasa para no crear demasiada inestabilidad.

25 Aunque se haya descrito un ejemplo de amortiguador asimétrico de manera más particular con referencia a la figura 3, podrían utilizarse en el marco de la presente invención otros tipos de amortiguadores asimétricos, con la condición de que tenga una firmeza más elevada como respuesta a un esfuerzo de tracción que como respuesta a un esfuerzo de compresión. Unos amortiguadores asimétricos de este tipo no son necesariamente de pistón y/o con deformación sustancialmente rectilínea.

30 Puede pensarse, por ejemplo, en un amortiguador asimétrico sin pistón, que trabaja por cizallado por deformación de un material viscoelástico.

35 Asimismo, mientras que el amortiguador asimétrico de la figura 3 es un amortiguador de tipo pasivo, podría utilizarse como variante un amortiguador asimétrico con control activo. Un amortiguador asimétrico de este tipo comprende, por ejemplo, un pistón provisto de un sensor de velocidad con la ayuda del cual un sistema de servomando adapta el coeficiente viscoso del pistón.

Otros amortiguadores asimétricos más, más o menos sofisticados, son factibles, como se mostrará esto al experto en la materia.

40 Ventajosamente, la diferencia de firmeza del amortiguador asimétrico en tracción y en compresión debería ser importante. A título de ejemplo, la firmeza en tracción es superior a la firmeza en compresión en una relación de 1 a 1,2 al menos. Aplicado al ejemplo de la figura 4, esto podría traducirse en un coeficiente al menos 1,2 veces superior en tracción (λ_t) que en compresión (λ_c). Como variante, la relación entre la firmeza en tracción y la firmeza en compresión podría ser de 1 a 2 al menos, o bien de 1 a 3 al menos, o bien de 1 a 5 al menos, o también de 1 a 10 al menos. Una relación de 1 a 100 al menos, incluso más, es igualmente factible.

50 En un modo de realización ventajoso, la firmeza en compresión del amortiguador asimétrico es nula o casi nula (es decir, lo más cerca posible de cero). En ese caso, el amortiguador solo opondría resistencia prácticamente cuando está en tracción. En el marco de la invención, no es necesario sin embargo que el amortiguador asimétrico utilizado sea totalmente elástico en compresión. Una eficacia en compresión es posible y puede, por ejemplo, calcularse en función de la firmeza en rotación del o de los tirantes en cuestión y de un cálculo de estabilidad en tres dimensiones (3D).

55 En el ejemplo ilustrado en la figura 2, el amortiguador 6 comprende una primera unión 7 articulada sobre el primer tirante 4a y una segunda unión 8 articulada sobre el segundo tirante 4b directamente adyacente al primer tirante 4a. Estas uniones 7 y 8 pueden ser de cualquier tipo factible. La una o la otra de estas uniones, incluso las dos, puede ventajosamente ser una unión deslizante, es decir, sin o con poco rozamiento. En otras palabras, la unión 7 y/o la unión 8 permite la rotación alrededor del eje del tirante 4a y/o 4b correspondiente.

60 Además, el amortiguador 6 está colocado de forma que su eje de trabajo (el eje del vástago del pistón en este caso) esté sustancialmente perpendicular a los tirantes 4a y 4b, al que está unido. Su eje de trabajo, en el ejemplo considerado, está, además, sustancialmente en el plano de la capa de tirantes 4. La eficacia del amortiguador 6 es de hecho máxima en esta configuración, con respecto a las vibraciones de los tirantes que aparecen en el plano de la capa de tirantes 4. Sin embargo, son factibles otras configuraciones.

65 Por otra parte, en el ejemplo de las figuras 1 y 2, un amortiguador asimétrico 6 está dispuesto entre cada par de

tirantes adyacentes de la capa de tirantes 4. Los amortiguadores asimétricos 6 que unen unos pares sucesivos de tirantes adyacentes de la capa de tirantes están en la continuidad el uno del otro.

5 La amortiguación de las vibraciones de los tirantes del puente atirantado tal como se ilustra en la figura 1 que implementa unos amortiguadores asimétricos, permite resolver el problema de los movimientos de tirantes fuera del plano de la capa, mencionado como introducción.

10 Todas las uniones entre los tirantes solo son casi en tracción o son sustancialmente en tracción, con lo que los esfuerzos de los amortiguadores todavía tienden a llevar los tirantes a la capa a la que pertenecen. En consecuencia, los tirantes ya solo pueden salir moderadamente del plano de la capa.

Esto aporta, en concreto, las siguientes ventajas:

- 15 - ya no hay inestabilidad fuera del plano de la capa ni riesgo de aparición de ángulo a la altura de las interconexiones en los tirantes que llevaría a una pérdida mayor de amortiguación;
- el uso de amortiguadores asimétricos permite conseguir este resultado a menor coste, sin tener que desplegar unos medios más sofisticados y, por lo tanto, costosos;
- 20 - el uso de amortiguadores asimétricos permite conservar unas dimensiones reducidas para las diferentes piezas;
- la supresión de la inestabilidad fuera del plano de la capa permite el uso de uniones deslizantes (que permiten una rotación libre alrededor de los tirantes correspondientes) a la altura de las interconexiones en los tirantes y/o la ausencia de continuidad entre los amortiguadores, como se ha mencionado más arriba;
- 25 - al trabajar los amortiguadores asimétricos que unen los tirantes sustancialmente en tracción, su dimensionado no tiene que tener en cuenta, o al menos en una medida reducida, la compresión y el pandeo;
- al llevar los amortiguadores asimétricos sistemáticamente los tirantes al plano de la capa, amortiguan las vibraciones de los tirantes fuera de este plano.

30 Un gran número de variantes del ejemplo que acaba de describirse pueden implementarse en el marco de la presente invención. Estas variantes permiten igualmente obtener todo o parte de las ventajas que se han listado más arriba.

35 Las figuras 5 a 13 ilustran algunas de estas variantes. En estas figuras, las referencias 29 corresponden a unos tirantes de una obra de construcción, tal como un puente atirantado u otro. Las uniones sencillas que aparecen entre algunos de estos tirantes (como la referencia 31, por ejemplo) representan unos amortiguadores asimétricos, con una firmeza en tracción superior a su firmeza en compresión, mientras que las uniones dobles que aparecen entre algunos de los tirantes (como la referencia 30, por ejemplo) representan unos amortiguadores simétricos.

40 Como se puede ver esto en estas figuras, los pares sucesivos de tirantes adyacentes de la capa de tirantes no están necesariamente todos unidos por unos amortiguadores asimétricos. Un amortiguador simétrico puede seguir a un amortiguador asimétrico o a una serie de varios amortiguadores asimétricos, o también estar intercalado entre dos amortiguadores asimétricos. Una alternancia de amortiguadores simétricos y asimétricos es, por ejemplo, factible.
45 Una ausencia de amortiguador entre dos tirantes adyacentes de la capa de tirantes es igualmente posible.

El amortiguador que une el último par (o los dos últimos pares) de tirantes de la capa es (son) ventajosamente asimétrico(s), para evitar una salida del penúltimo tirante del plano de la capa.

50 Varios amortiguadores pueden, además, unir dos mismos tirantes, en concreto, cuando estos son de longitud importante. En este caso, los amortiguadores que unen dos mismos tirantes pueden no ser de la misma naturaleza, siendo los unos simétricos y siendo los otros asimétricos.

55 Los amortiguadores que unen unos pares sucesivos de tirantes adyacentes pueden estar en la prolongación los unos de los otros, o no. Un desvío fijo entre los amortiguadores puede utilizarse para ello, por ejemplo, de forma que la separación entre los amortiguadores que unen dos pares sucesivos de tirantes adyacentes sea siempre la misma. Como variante, un reparto menos regular, incluso aleatorio de los amortiguadores es factible.

60 Ventajosamente, el posicionamiento de los amortiguadores puede elegirse para romper cualquier combinación de frecuencias que pueda resultar del comportamiento vibratorio de los tirantes de la capa, para reforzar la eficacia de la amortiguación. También puede optarse por un reparto de los amortiguadores adecuado para evitar los nudos de los modos propios y, por lo tanto, para evitar las fracciones.

65 En los ejemplos que se han comentado más arriba, se utilizan varios amortiguadores asimétricos, cada uno en unión con dos tirantes. Se comprenderá, sin embargo, que la invención podría implementarse igualmente en relación con una obra de construcción que comprende un solo par de tirantes. Asimismo, cada amortiguador asimétrico utilizado

podría estar unido a más de dos tirantes.

5 Uno al menos de los dos tirantes de un par puede, además, eventualmente estar unido a un elemento fijo de la obra de construcción a la que pertenece con la ayuda de un amortiguador asimétrico del mismo tipo que el que une los dos tirantes del par. En el caso de un puente atirantado, por ejemplo, esto podría equivaler a unir uno al menos de los dos tirantes al pilón y/o al tablero del puente con un amortiguador asimétrico.

10 Otras configuraciones y aplicaciones son factibles en el marco de la presente invención, definida por las reivindicaciones adjuntas, como se mostrará esto al experto en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de amortiguación de las vibraciones de al menos un par de tirantes adyacentes (4a, 4b) de una obra de construcción (1), en el que se unen los tirantes adyacentes de dicho par por un amortiguador (6), **caracterizado por que** dicho amortiguador (6) presenta una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el amortiguador (6) está colocado de forma que un eje de trabajo de dicho amortiguador esté sustancialmente perpendicular a los tirantes (4a, 4b) de dicho par.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que el amortiguador (6) amortigua los movimientos en un plano sustancialmente perpendicular a los tirantes (4a, 4b) de dicho par.
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el amortiguador (6) es un amortiguador con recorrido rectilíneo.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el amortiguador funciona por circulación de un fluido (9) viscoso entre dos cámaras (10, 11) separadas por un pistón, haciéndose la circulación del fluido viscoso a través de al menos un paso que crea una diferencia de presión durante el paso del fluido viscoso entre las dos cámaras.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la diferencia de presión creada por el paso del fluido es menor cuando el amortiguador funciona en compresión con respecto a su funcionamiento en tracción.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera firmeza es superior a la segunda firmeza en una relación de 1 a 1,2 al menos.
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda firmeza es casi nula.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que uno al menos de los tirantes de dicho par de tirantes está, además, unido a un elemento fijo de la obra de construcción por medio de un amortiguador que presenta una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza.
10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unión entre el amortiguador y uno al menos de los tirantes de dicho par permite la rotación alrededor del eje de dicho tirante.
11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la obra de construcción (1) comprende al menos una capa (4, 5) de tirantes situados sustancialmente en un mismo plano y que incluye dicho par de tirantes, y en el que el amortiguador (6) está colocado de forma que un eje de trabajo de dicho amortiguador esté sustancialmente en dicho plano de la capa de tirantes.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la capa de tirantes (4, 5) está constituida por al menos tres tirantes, y en el que unos amortiguadores (6) unen al menos algunos pares de tirantes adyacentes de la capa de tirantes, presentando al menos uno de dichos amortiguadores una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza.
13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que los amortiguadores que unen unos pares sucesivos de tirantes adyacentes de la capa de tirantes no están en la prolongación el uno del otro.
14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la obra de construcción (1) comprende un puente atirantado.
15. Sistema que comprende una obra de construcción (1) y un amortiguador (6) dispuesto para amortiguar unas vibraciones de al menos un par de tirantes adyacentes (4a, 4b) de la obra de construcción según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, estando dicho amortiguador unido a los tirantes adyacentes de dicho par, (6), **caracterizado por que** dicho amortiguador (6) presenta una primera firmeza como respuesta a un esfuerzo de tracción y una segunda firmeza como respuesta a un esfuerzo de compresión, siendo la primera firmeza superior a la segunda firmeza.

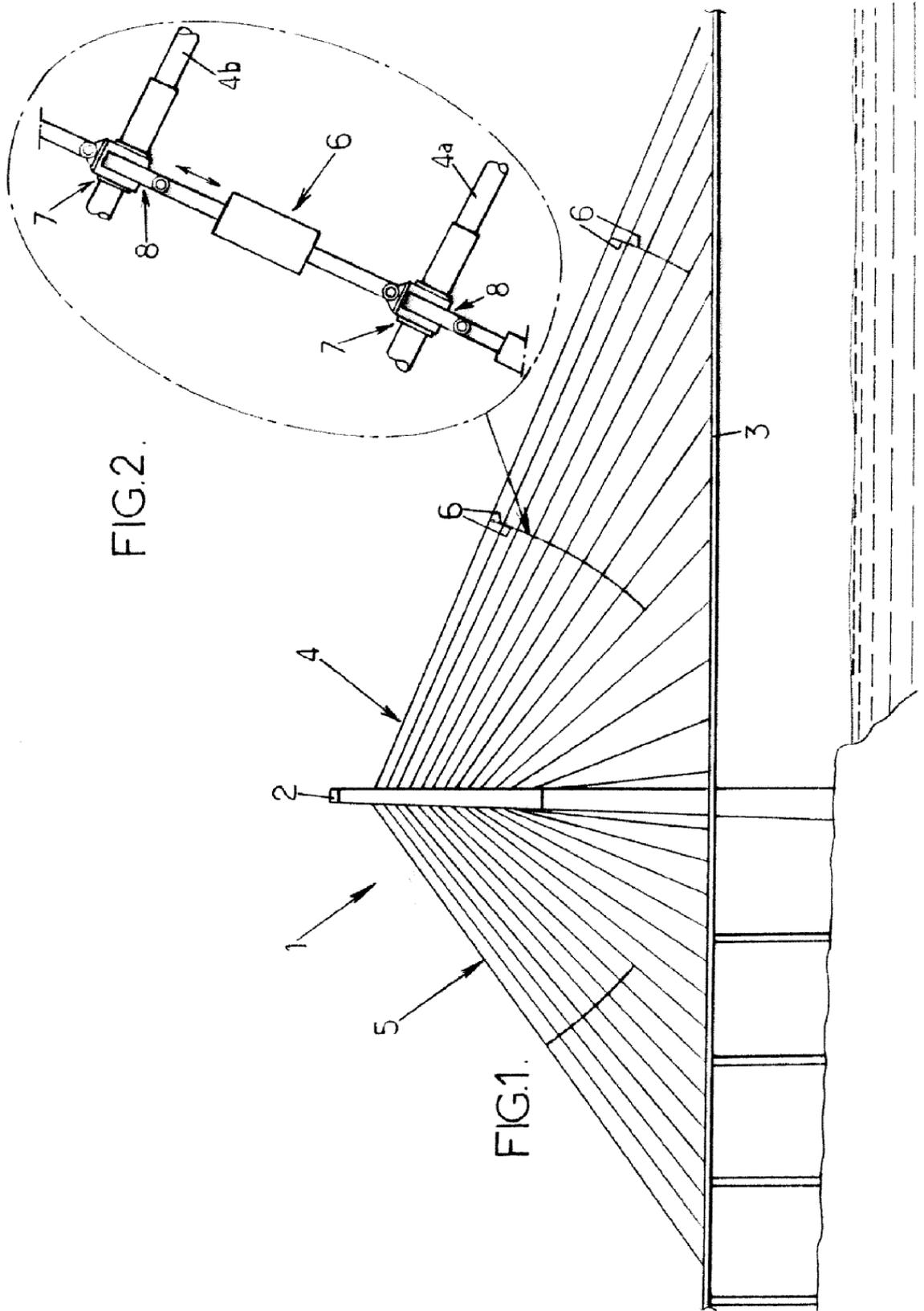


FIG.2.

FIG.1.

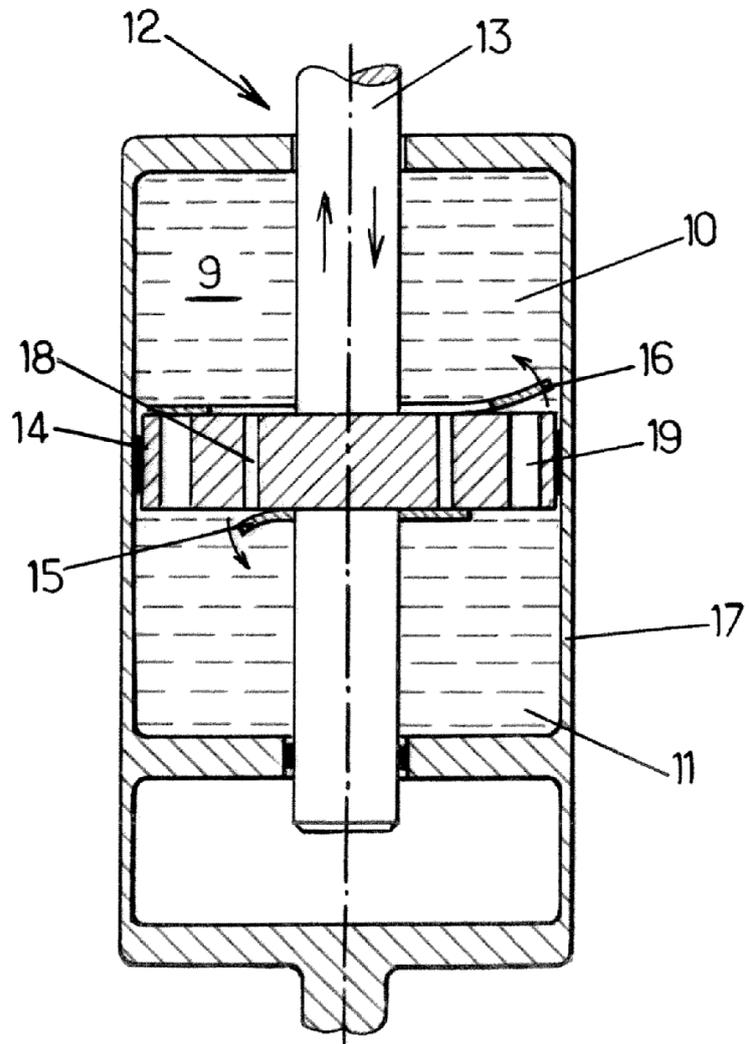


FIG. 3.

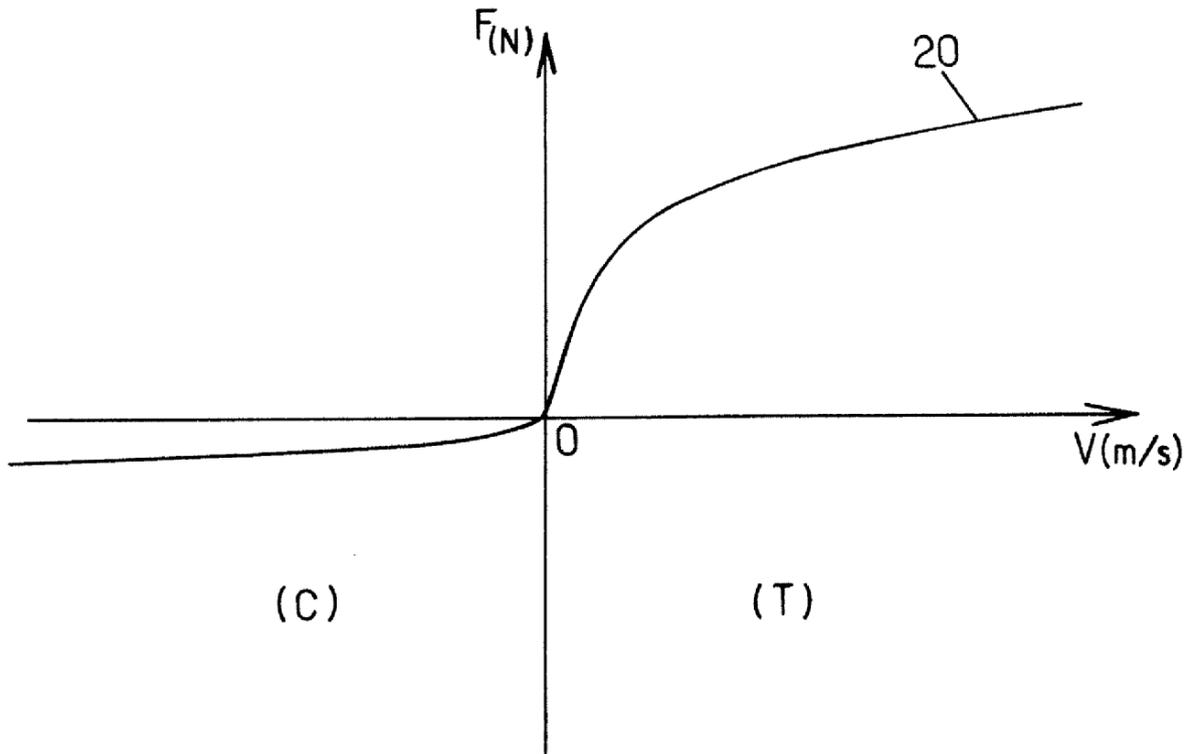
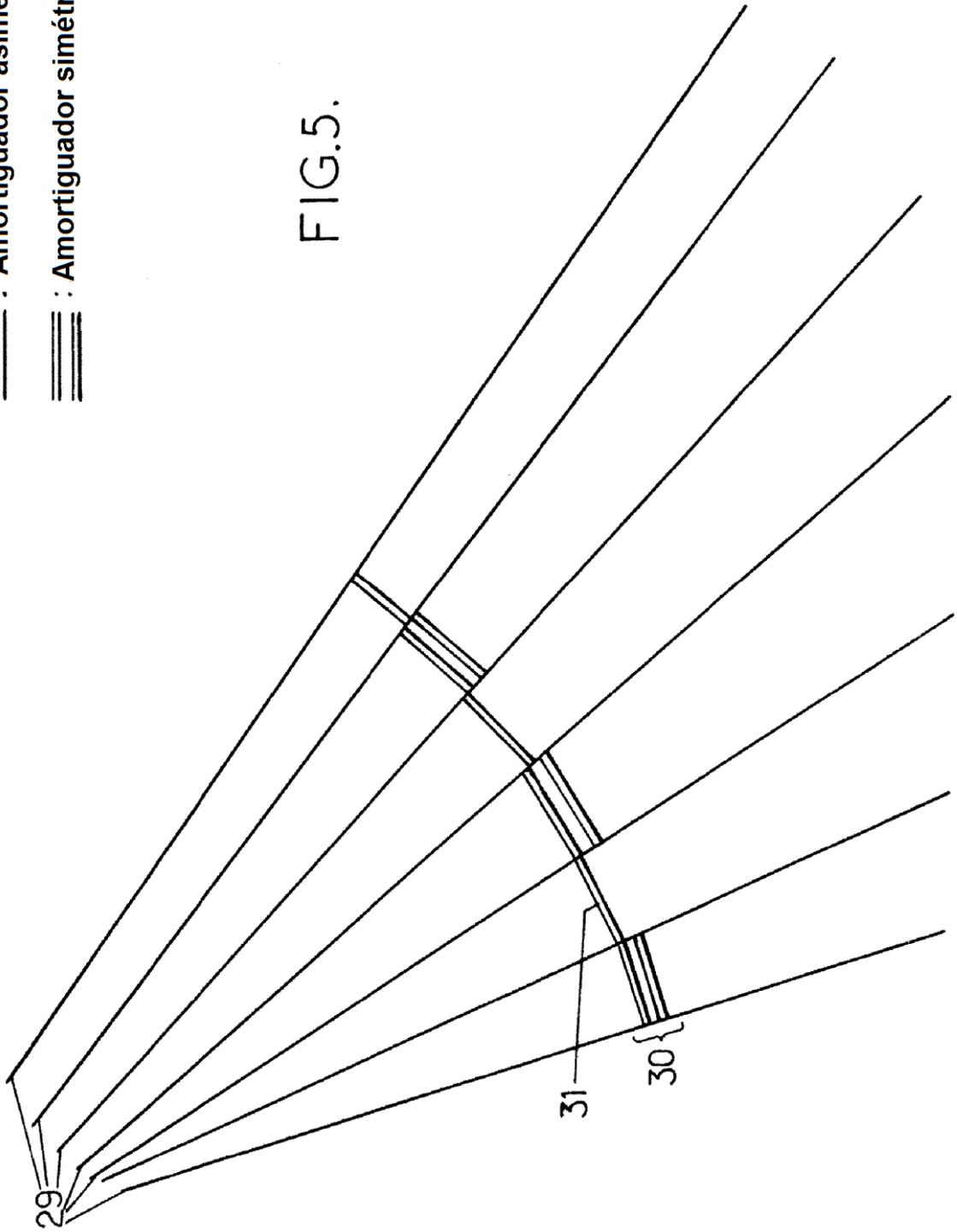


FIG.4.

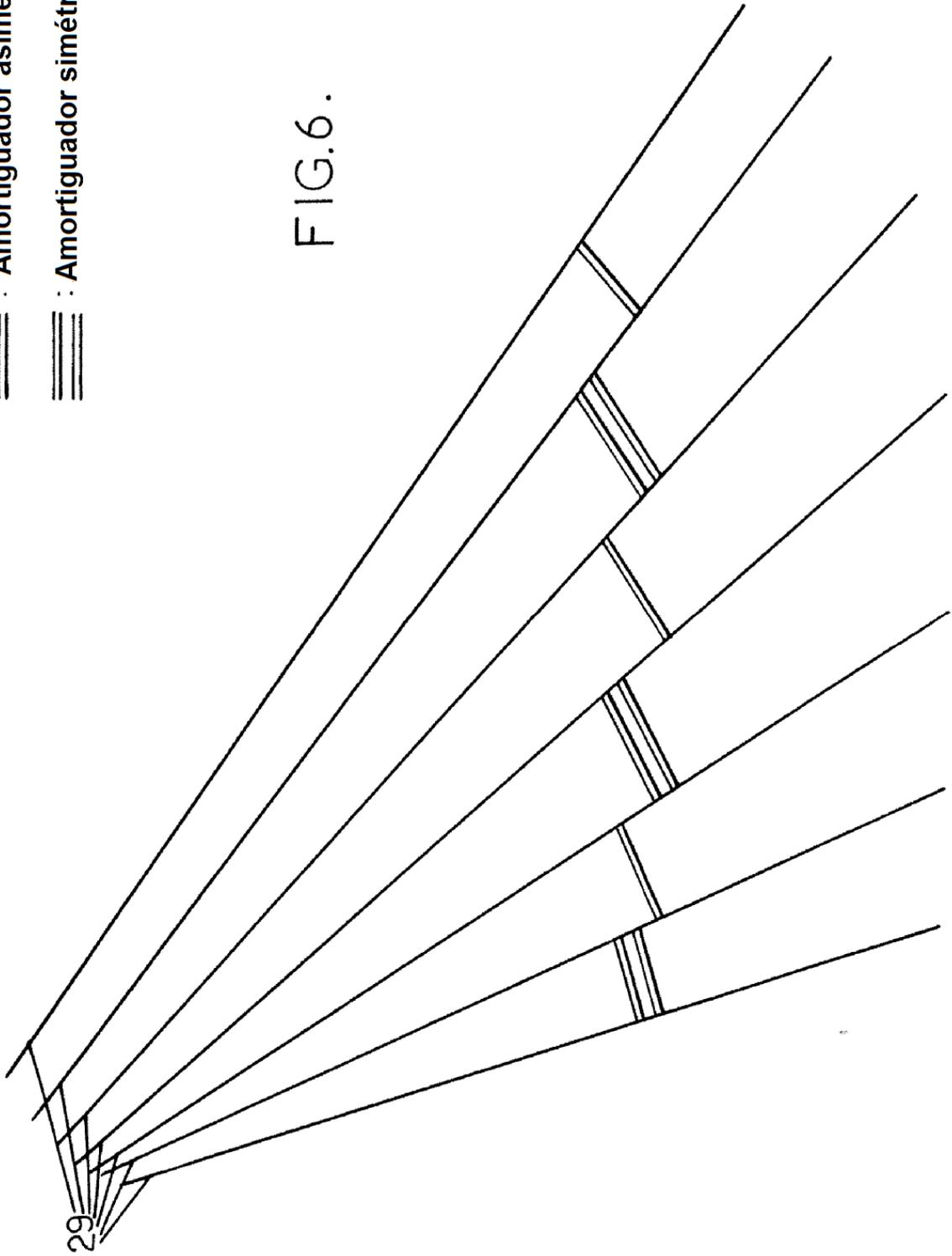
- ≡ : Amortiguador asimétrico
- ≡≡ : Amortiguador simétrico

FIG.5.



- ≡ : Amortiguador asimétrico
- ≡≡≡ : Amortiguador simétrico

FIG.6.



≡ : Amortiguador asimétrico
≡≡ : Amortiguador simétrico

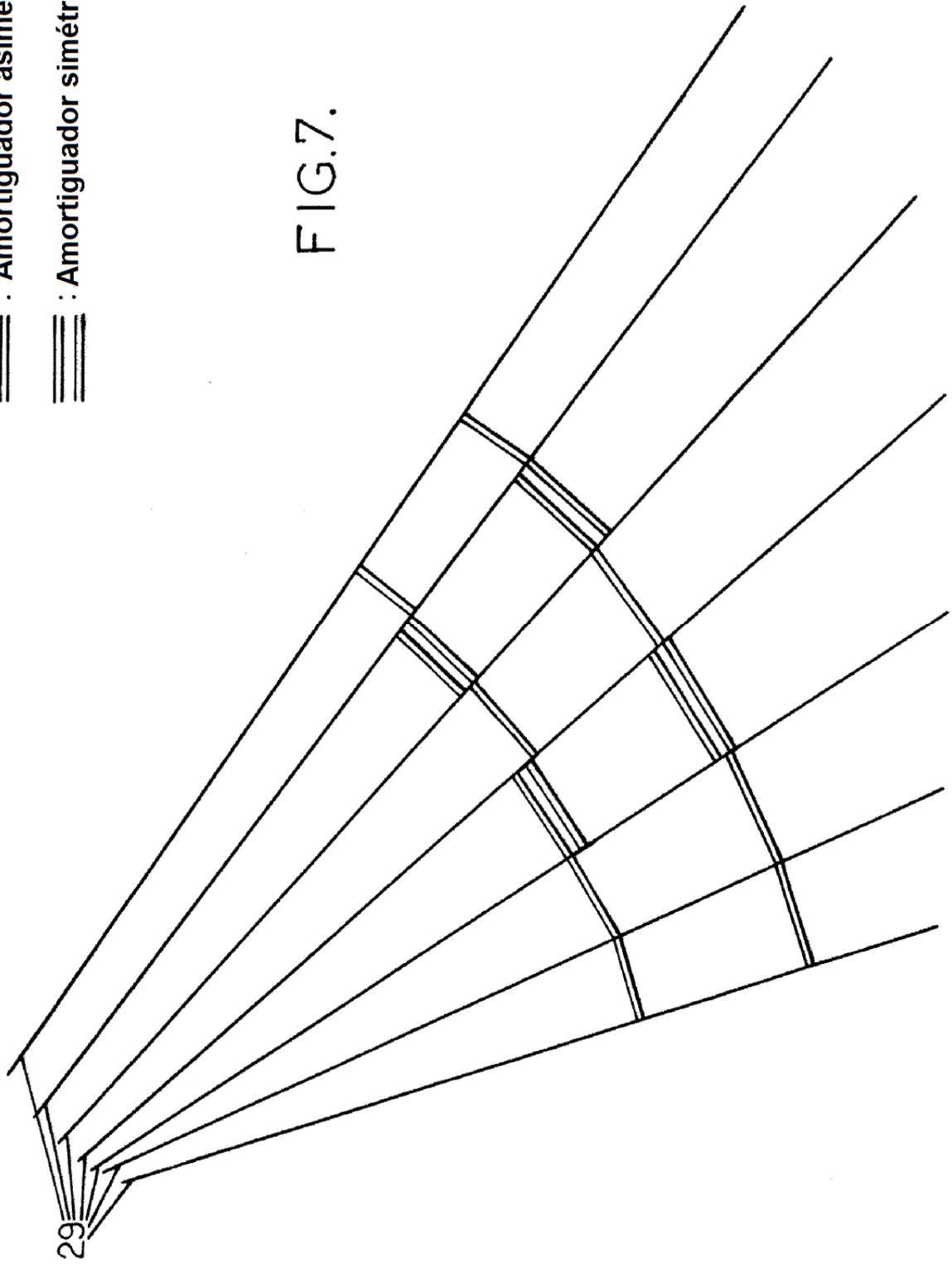
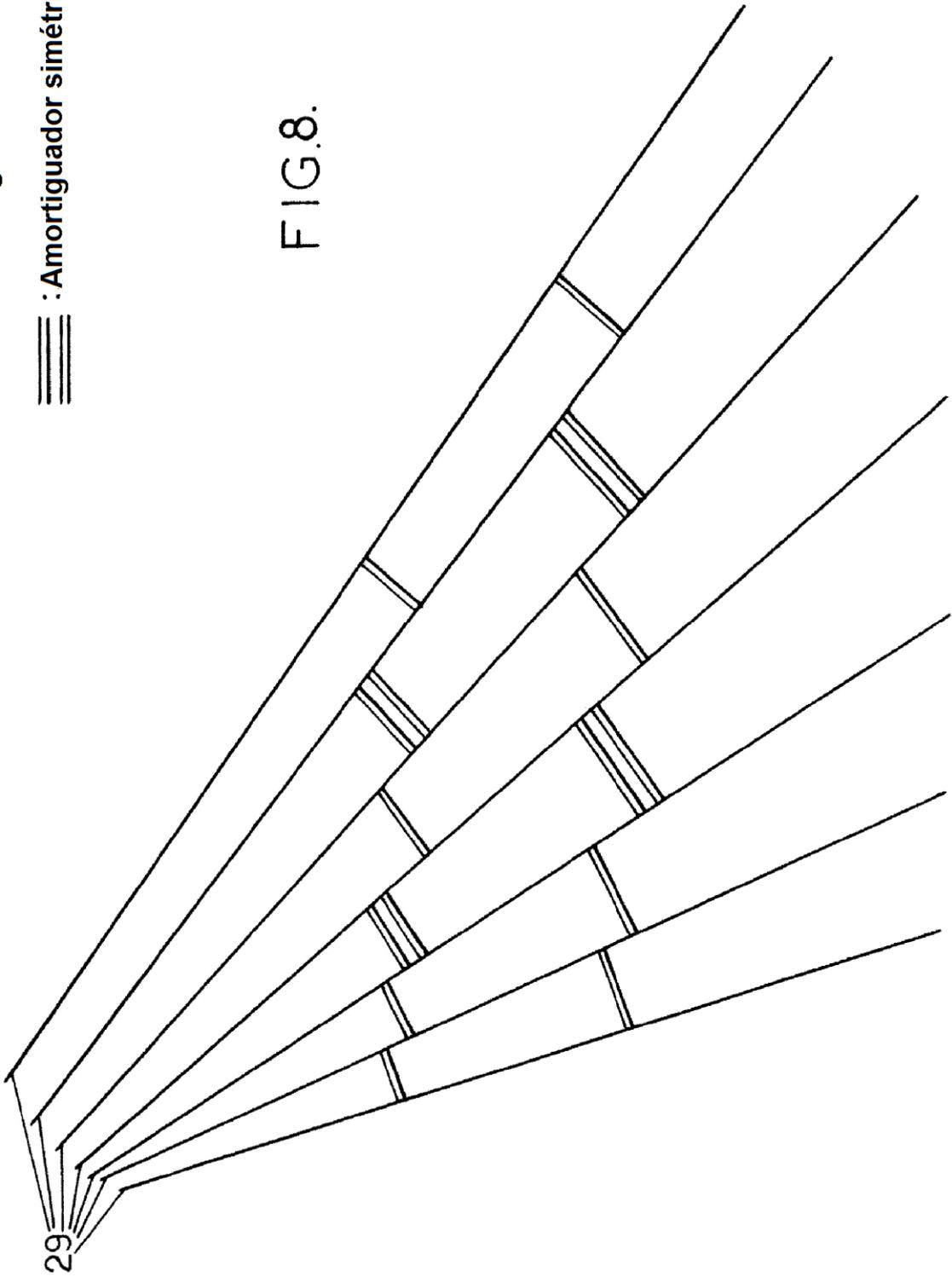


FIG.7.

≡ : Amortiguador asimétrico
≡≡≡ : Amortiguador simétrico



≡ : Amortiguador asimétrico
≡≡≡ : Amortiguador simétrico

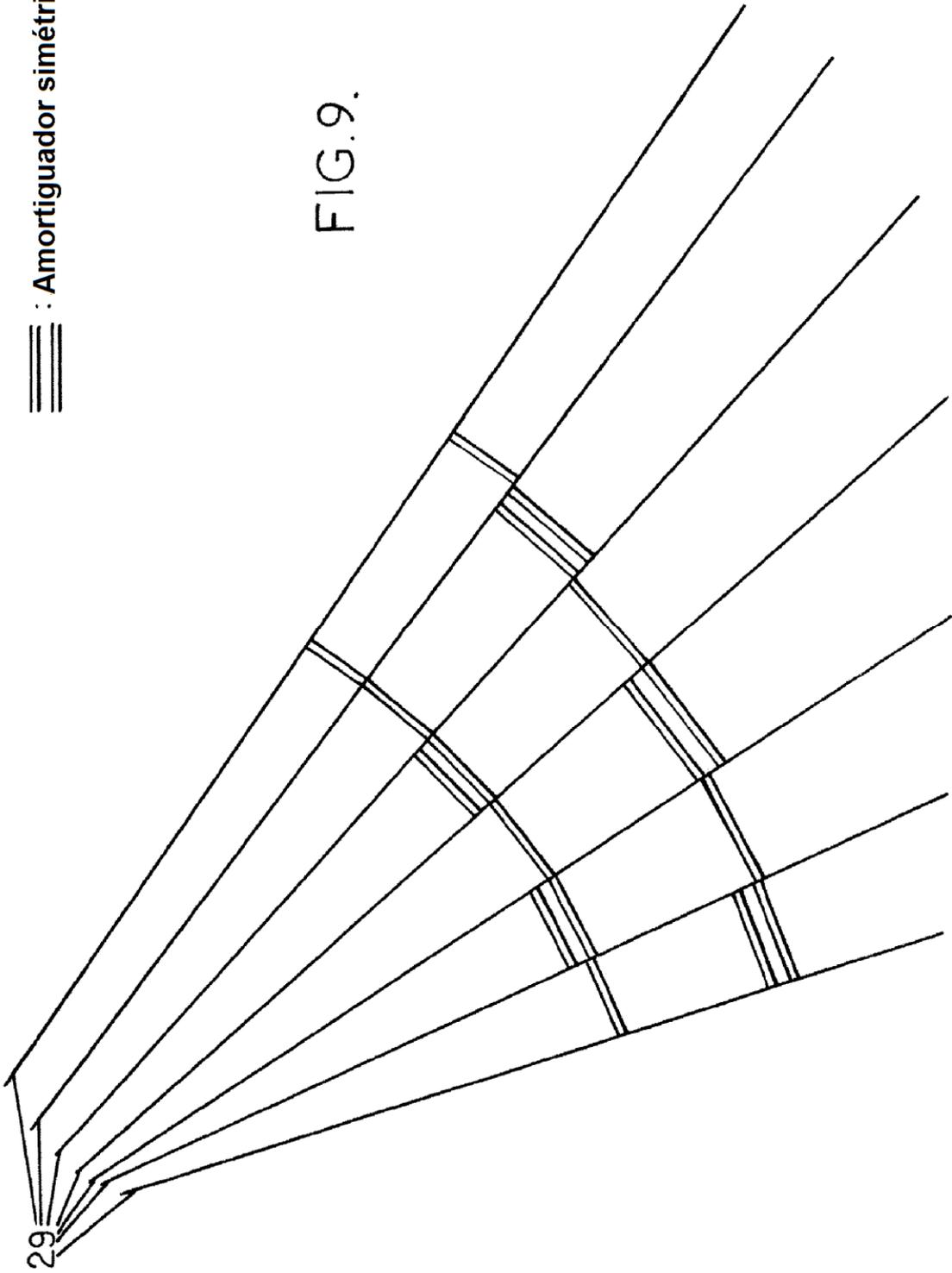
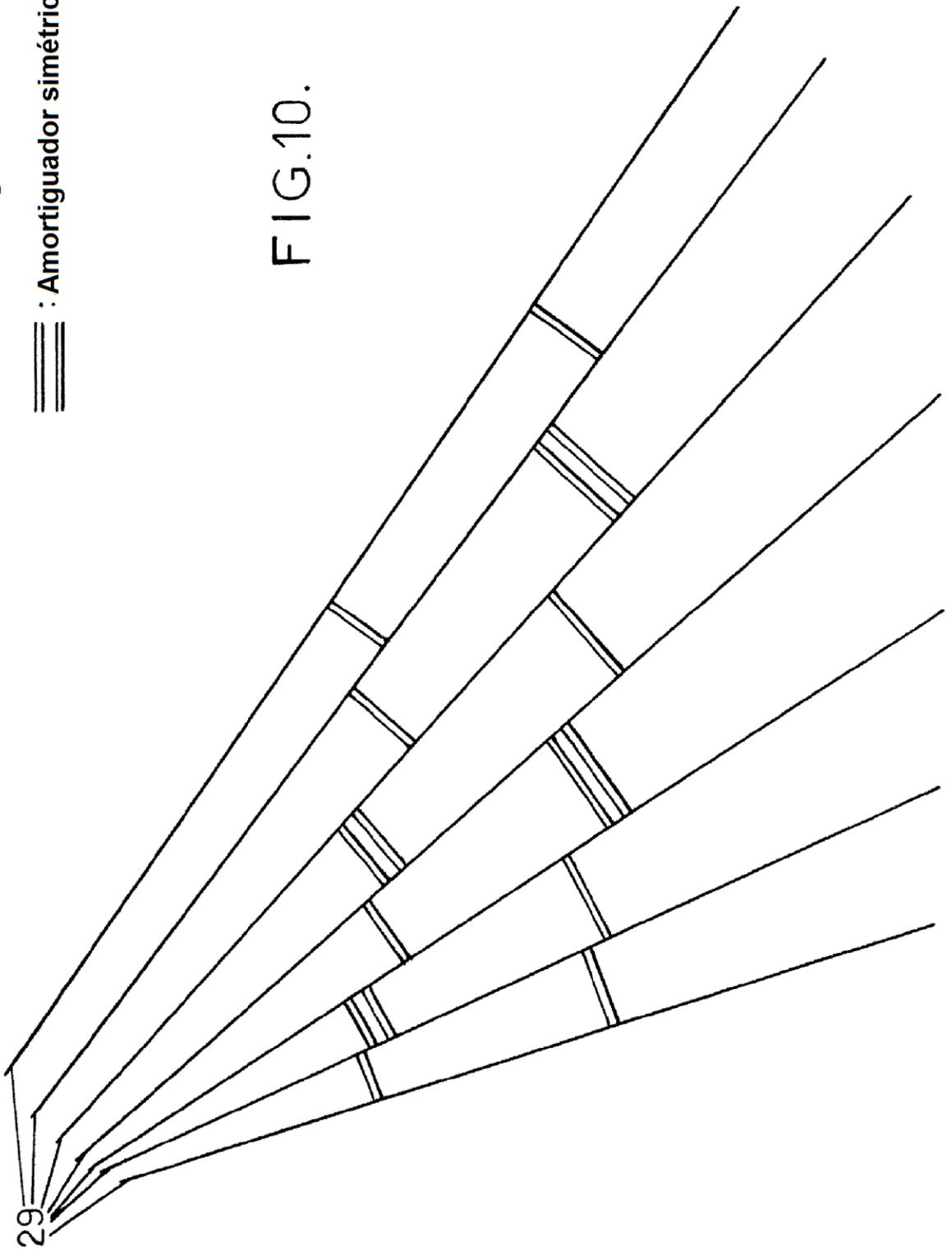


FIG.9.

≡ : Amortiguador asimétrico
≡≡ : Amortiguador simétrico

FIG.10.



==== : Amortiguador asimétrico

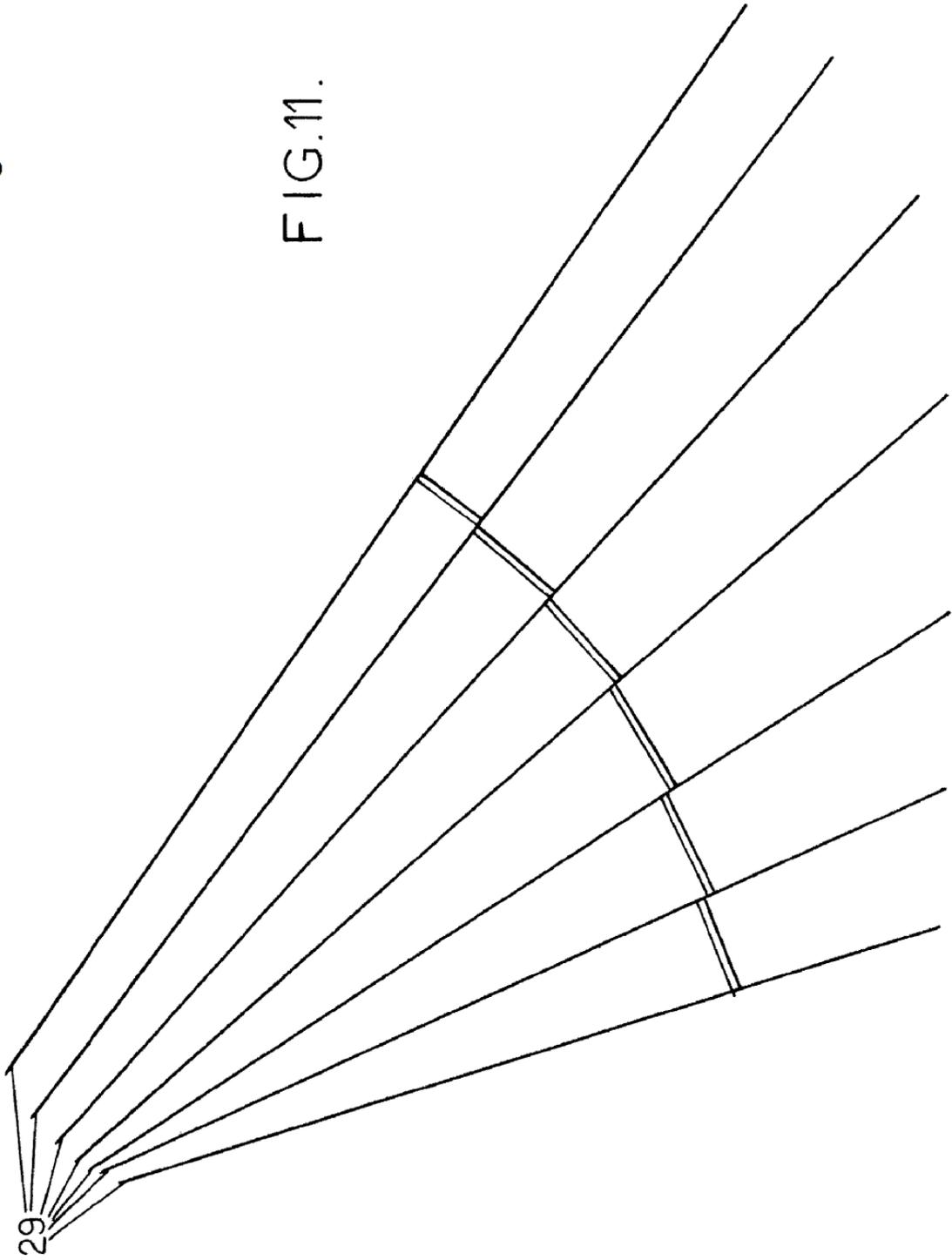


FIG.11.

==== : Amortiguador asimétrico

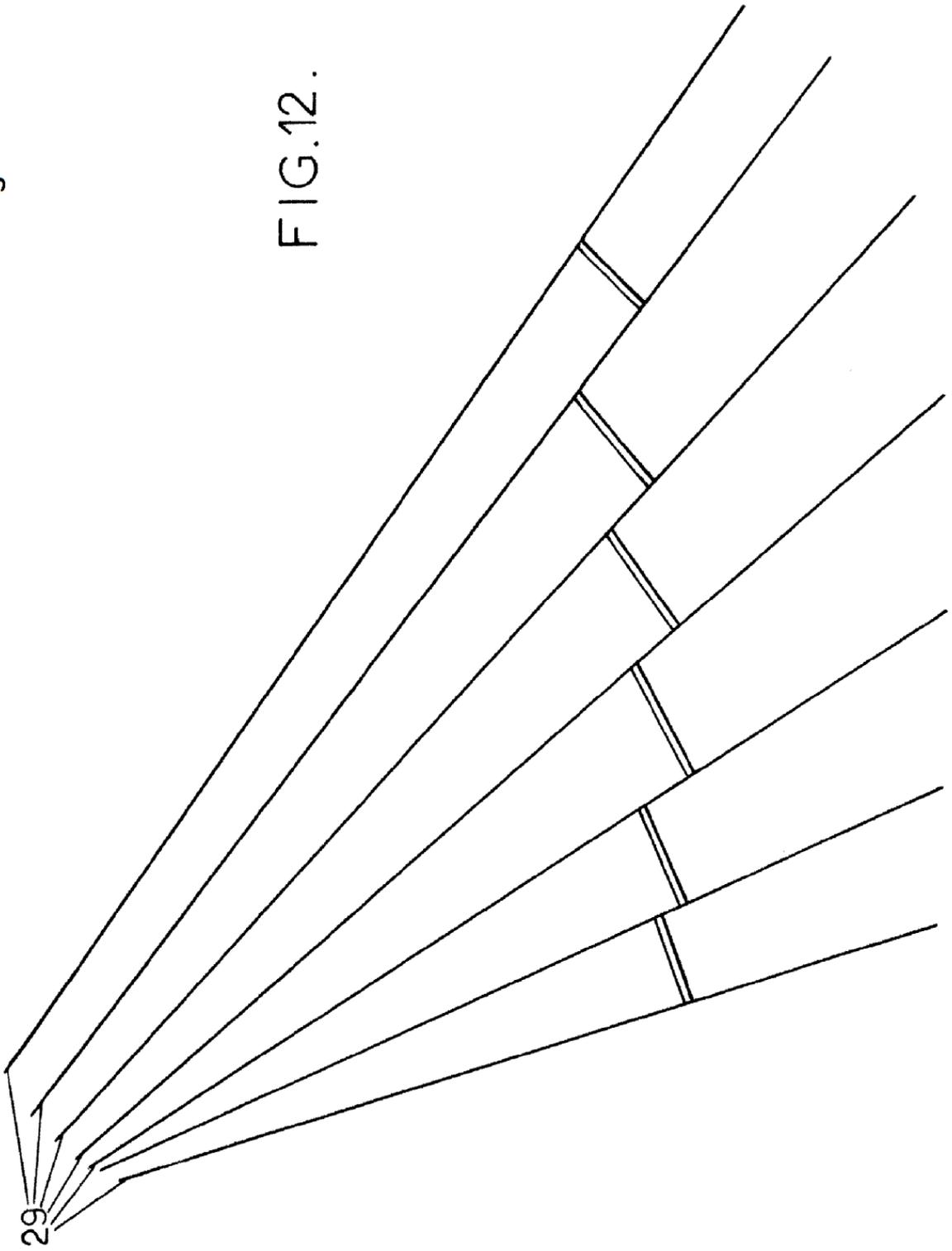


FIG.12.

==== : Amortiguador asimétrico

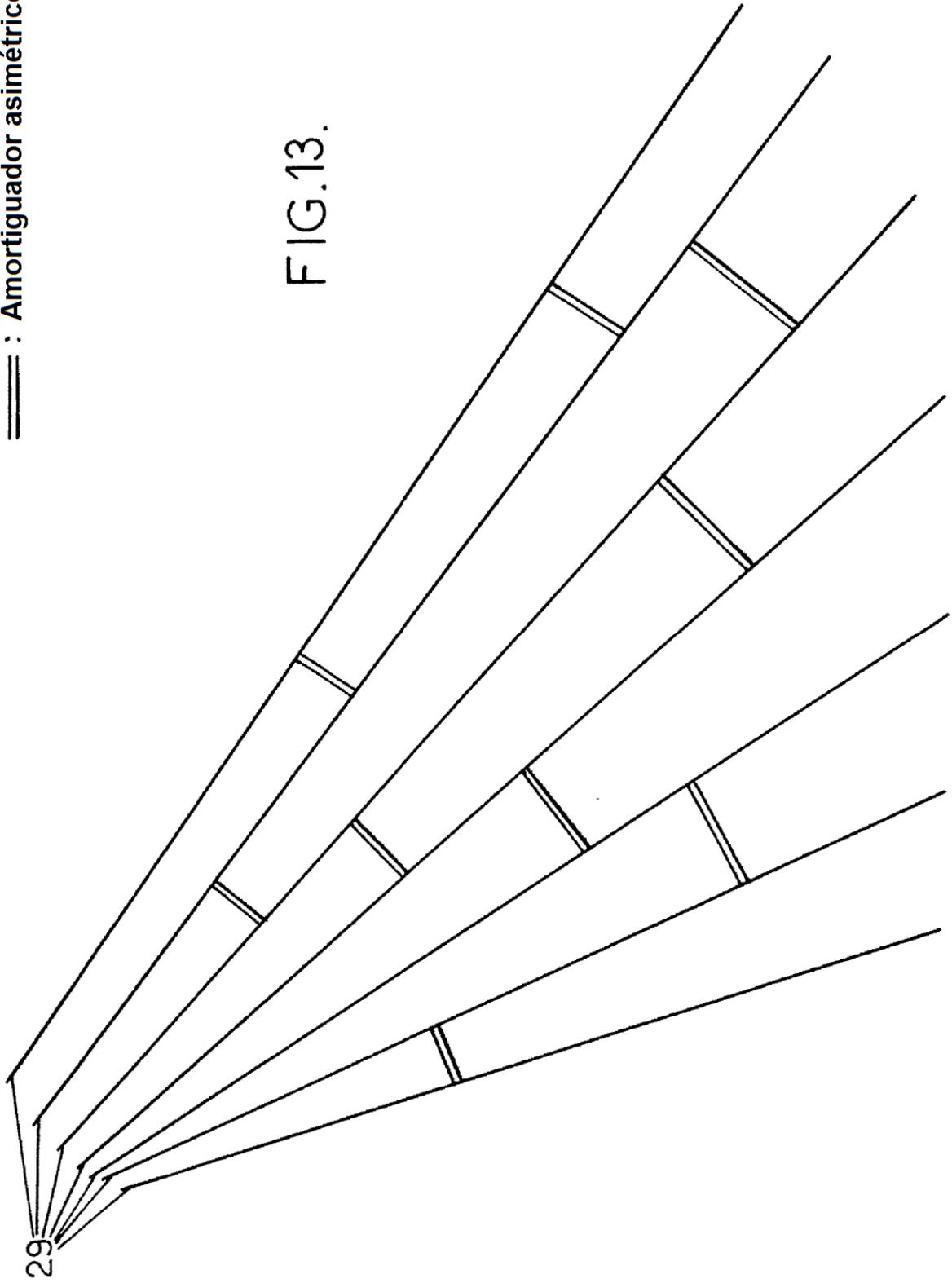


FIG.13.