AMORTIGUADOR DE CONSTRUCCIÓN CON AL MENOS UNA PIEZA DE AMORTIGUACIÓN DE EMPUJE CON FORMA DE ESCALERA AL MENOS EN ALGUNAS PARTES

La presente invención se relaciona con un amortiguador de construcción con al menos una pieza de amortiguación de empuje con forma de escalera al menos en algunas partes que tiene al menos dos vigas longitudinales que están conectadas entre sí por al menos dos vigas transversales tipo peldaño que están alineadas paralelamente entre sí en una primera alineación, en la que las vigas transversales tipo peldaño están conectadas en los extremos a las vigas longitudinales de forma flexible-rígida.

Los amortiguadores de construcción se utilizan para disipar la energía cinética introducida desde el exterior en una construcción (el término debe entenderse en forma amplia y abarca, entre otras cosas, edificios, puentes y torres). Normalmente esto se hace convirtiendo la energía cinética en energía térmica. Este proceso, también conocido como disipación, evita el daño a la construcción ocasionado por movimientos y efectos de aceleración como los que pueden causar, por ejemplo, los terremotos u otros fenómenos similares.

Ya existe una amplia gama de diferentes amortiguadores de construcción que utilizan las propiedades de amortiguación de diferentes materiales o sistemas para la disipación. Un principio que es muy conocido, especialmente en la construcción de vehículos, es la amortiguación por medio de aceite hidráulico. Otro principio de particular interés económico para las construcciones es el uso de la deformación plástica de láminas de acero. Tal sistema de amortiguación basado en la deformación de láminas de acero hoy en día se conoce en alemán como *Stahl-Hysterese-Dämpfer*, en inglés como *steel hysteretic damper* (abreviado SHD) y en español como amortiguador histerético de acero.

Un diseño común de dicho amortiguador histerético de acero consiste en principio en largas láminas finas de acero dispuestas como tirante de armadura en la estructura de una construcción, de forma tal que estén cargadas exclusivamente en tensión o compresión alternadamente debido a que la construcción se encuentra en vibración. Para impedir que las láminas relativamente finas se pandeen bajo la alta carga normal de fuerza, estos amortiguadores usualmente no tienen solo una única tira de lámina, sino medios de rigidez adicionales. Por lo tanto, una sección transversal de la lámina en forma de cruz en vista de plano se ha vuelto la norma y se dispone adicionalmente en un tubo de protección relleno de mortero. El tubo de protección relleno de mortero impide que la tira de lámina se abombe o pandee por la carga y la estabiliza cuando sufre deformación plástica alternada. El diagrama de carga-deformación resultante muestra una curva en forma de bucle de histéresis. El diseño del amortiguador histerético de acero con un tirante de armadura estabilizado para impedir el abombamiento hoy en día se conoce en inglés como *buckling-restrained brace damper* (abreviado *BRB damper*) y español como riostra de pandeo restringido (abreviado amortiguador RPR).

Los amortiguadores histeréticos de acero son considerablemente menos costosos que los amortiguadores hidráulicos. Sin embargo, usualmente y en especial en la construcción de amortiguadores RPR, requieren una gran longitud para que puedan desarrollar el efecto amortiguador necesario. Por esa razón, principalmente se usan para amortiguar edificios grandes en los que hay suficiente espacio para su instalación. Otra desventaja relacionada con el diseño de

los amortiguadores RPR especialmente es que, debido a los medios de rigidez, el funcionamiento interno de los amortiguadores que generan el efecto amortiguador usualmente no se puede ver. Por lo tanto, es difícil juzgar el estado de un amortiguador RPR desde el exterior. Además, las dimensiones tan grandes de los amortiguadores RPR tienen como consecuencia que es muy costoso reemplazar un amortiguador RPR dañado luego de un terremoto.

Por lo tanto, se ha investigado repetidas veces la manera de utilizar la deformación plástica del acero de otras formas para amortiguar una construcción. Un enfoque que se investigó hace más de 25 años es la generación de fuerzas cortantes en los denominados paneles histeréticos de corte (en inglés, *shear hysteretic panels*) (abreviado amortiguadores PHC). Estos son piezas de amortiguación de empuje planas con forma de escalera en las que dos vigas longitudinales están conectadas entre sí por al menos dos (pero usualmente muchas más que dos) vigas transversales sujetas en forma flexible-rígida. La amortiguación se produce de forma tal que una fuerza normal se introduce en una de las dos vigas longitudinales y se transmite de forma amortiguada a la otra viga longitudinal a través de las vigas transversales deformadas por la fuerza de empuje. Si ocurre un movimiento pendular, la fuerza normal introducida en la viga longitudinal será alternadamente una fuerza de tensión o de compresión, que se disipará con la deformación plástica de las vigas transversales interpuestas. En este caso, también se produce una curva de deformación de cargas con la trayectoria de un bucle de histéresis.

Sin embargo, incluso con este diseño, las vigas transversales pueden pandearse fácilmente. Además, dicho amortiguador PHC solo puede recibir una deformación extremadamente pequeña, lo que en particular impide que se lo utilice para amortiguar terremotos en construcciones grandes y altas. Asimismo, los problemas de abombamiento y pandeo de las vigas transversales continúan aumentando a medida que las deformaciones son mayores. Como resultado, se discontinuó la investigación sobre amortiguadores PHC y no ha habido ninguna aplicación práctica de dichos amortiguadores PHC para amortiguar construcciones.

Por lo tanto, el objeto de la invención es proporcionar un amortiguador de construcción que requiera menos espacio que un amortiguador RPR, pero que al mismo tiempo no tenga las limitaciones inherentes a los amortiguadores PHC con respecto a la trayectoria de deformación y el problema de pandeo.

El problema se puede solucionar por medio de un amortiguador de construcción con al menos una pieza de amortiguación de empuje con forma de escalera al menos en algunas partes que tenga al menos dos vigas longitudinales que estén conectadas entre sí por al menos dos vigas transversales tipo peldaño que estén alineadas paralelamente entre sí en una primera alineación, en la que las vigas transversales tipo peldaño estén conectadas en los extremos a las vigas longitudinales de forma flexible-rígida, y en la que la pieza de amortiguación de empuje tenga, según la invención, una estructura espacial en la que al menos otras dos vigas transversales tipo peldaño extendidas paralelamente entre sí estén dispuestas en una segunda alineación que se desvíe de la primera alineación.

Por lo tanto, la idea de la invención es retomar el principio de amortiguación por medio de fuerzas cortantes en piezas de amortiguación de empuje con forma de escalera, que de hecho ya ha sido desestimado por los expertos. A su vez, esto se basa en la comprensión de que el abombamiento se puede controlar y de que la estructura con forma de escalera de la pieza de amortiguación de empuje en particular ofrece una disposición básica que se puede adaptar muy bien a distintos requisitos.

Por lo tanto, según la invención, la pieza de amortiguación de empuje convencional en forma de placa utilizada en los amortiguadores PHC se convierte en una estructura espacial que tiene una estabilidad considerablemente mejor respecto del abombamiento o pandeo. Esta estructura espacial se crea proporcionando vigas transversales tipo peldaño adicionales que se disponen en una segunda alineación desviada de la alineación de las primeras vigas transversales tipo peldaño. Además, al incrementar la cantidad de vigas transversales para la misma longitud de las vigas longitudinales, se puede lograr un aumento de las fuerzas máximas a absorber. El resultado es un comportamiento de pandeo considerablemente mejorado en comparación con los amortiguadores PHC convencionales, con mayores fuerzas máximas que se pueden absorber en total.

Según un avance, la pieza de amortiguación de empuje posee varios planos de viga transversal con al menos una viga transversal dispuesta allí, y en la que los planos de viga transversal se ubican de forma paralela separados entre sí a lo largo del eje longitudinal de la pieza de amortiguación de empuje. En otras palabras, varios planos de viga transversal paralelos se ubican a lo largo del eje longitudinal de la pieza de amortiguación de empuje con al menos una viga transversal dispuesta allí. La disposición en paralelo de los planos de viga transversal tiene como resultado que todas las vigas transversales presentan una alineación común, lo que significa que se las puede someter a empuje en una dirección efectiva transversal al plano de viga transversal.

Según un avance, al menos dos vigas transversales se ubican en cada plano de viga transversal, de las cuales al menos una viga transversal se extiende en la primera alineación y otra viga transversal se extiende en la segunda alineación. Esto permite que cada viga transversal brinde rigidez a la otra en el respectivo plano de viga transversal.

Preferiblemente, varios planos de viga transversal se ubican a la misma distancia entre sí a lo largo del eje longitudinal de la pieza de amortiguación de empuje. Esto estandariza la distribución de la fuerza y simplifica la fabricación.

De conformidad con ello, en la pieza de amortiguación de empuje se pueden proporcionar al menos dos planos de viga transversal, cada uno con al menos dos, preferiblemente cuatro, vigas transversales dispuestas allí. La fuerza máxima que se puede introducir en el amortiguador de construcción se puede controlar con la cantidad de vigas transversales. Cuanto mayores sean las fuerzas máximas a absorber, mayor será la cantidad de vigas transversales y planos de viga transversal respectivamente que se deberán proporcionar. En este sentido, no hay un límite máximo para la cantidad de planos de viga transversal posibles. Según la invención, esto tiene como resultado un amortiguador de construcción muy fácilmente ajustable respecto de las deformaciones máximas a absorber.

Preferiblemente, la pieza de amortiguación de empuje debe estar hecha al menos en parte de metal. En particular, la implementación de la pieza de amortiguación de empuje hecha de acero tiene grandes ventajas, ya que el acero ya es un material ampliamente utilizado en este campo de aplicación y, por lo tanto, se lo ha investigado mucho en cuanto a su comportamiento material. El acero puede deformarse plásticamente con facilidad y repetidamente.

Según un avance, al menos una viga transversal, y preferiblemente todas, tiene un grosor que aumenta hacia ambos extremos. Esto hace que la unión de las vigas transversales con las vigas longitudinales sea particularmente flexible-rígida. Por lo tanto, se pueden introducir fuerzas de empuje muy grandes en las vigas transversales.

Según un avance, la pieza de amortiguación de empuje posee un plano de planta simétrico, poligonal o redondo en la vista de plano de su eje longitudinal. Dicho diseño del plano de planta de la pieza de amortiguación de empuje

construida espacialmente asegura una rigidización particularmente buena de las diferentes vigas transversales entre sí, lo que también abarca las fuerzas de torsión.

Según un avance, la pieza de amortiguación de empuje tiene al menos tres, preferiblemente cuatro, vigas longitudinales. Por lo tanto, en la vista de plano de su eje longitudinal, la pieza de amortiguación de empuje puede tener un plano de planta triangular o cuadrangular.

Por ello, es útil que las vigas longitudinales de la pieza de amortiguación de empuje se dispongan en las esquinas de una pieza de amortiguación de empuje con un plano de planta poligonal. De este modo, una viga longitudinal puede utilizarse para sujetar vigas transversales de dos alineaciones diferentes. Por lo tanto, un amortiguador de construcción diseñado de este modo es particularmente eficiente.

Según un avance, es concebible que las vigas longitudinales y las vigas transversales de la pieza de amortiguación de empuje estén soldadas entre sí, en particular si están hechas de metal. La soldadura asegura una unión particularmente rígida de las vigas longitudinales y transversales.

Alternativa o adicionalmente, la pieza de amortiguación de empuje puede poseer al menos una placa alargada que presente varias ranuras paralelas que se extiendan de forma transversal al eje longitudinal de la placa. Esto tiene como resultado una estructura con forma de escalera, plana al menos en algunas partes, que es muy fácil de fabricar, pero que al mismo tiempo tiene varias vigas transversales creadas por las ranuras.

Preferiblemente la pieza de amortiguación de empuje tiene varias placas con múltiples ranuras que se ubican en diagonal unas de otras en la vista de plano de su eje longitudinal. De este modo, la pieza de amortiguación de empuje se puede construir totalmente a partir de una cantidad de placas con ranuras, lo que la hace particularmente fácil de fabricar.

Las placas también pueden ser perfiles construidos en forma de L cuyas placas de montaje para patas tengan varias ranuras cada una. Dicho perfil en forma de L es fácil de trabajar a máquina y también es muy eficiente en cuanto a los costos de fabricación.

Sin embargo, también es concebible que la pieza de amortiguación de empuje tenga un tubo en el que se dispongan, en al menos una pared del tubo, varias ranuras paralelas que se extiendan transversalmente al eje longitudinal del tubo y que se construya de forma tal que haya al menos dos secciones de pared continuas en la dirección longitudinal del tubo. Estas secciones de pared continuas conforman las vigas longitudinales de la pieza de amortiguación de empuje, mientras que las secciones de pared que se extienden transversalmente al eje longitudinal entre las ranuras conforman las vigas transversales tipo peldaño.

En la forma de realización más simple, es concebible que se utilice un tubo cilíndrico de acero como producto de base y se lo ranure varias veces en ambos lados, por ejemplo, para que se formen dos vigas longitudinales y vigas transversales que se extiendan cada una alrededor hacia la izquierda o hacia la derecha, respectivamente, desde la izquierda y la derecha de estas vigas longitudinales, que luego absorban los movimientos de presión de tensión aplicados a lo largo de un eje longitudinal del tubo en reacción al empuje de forma amortiguadora. Sin embargo, dado

que la forma de realización más simple puede tener como resultado longitudes relativamente largas de las vigas transversales, puede ser útil acortar la longitud de las ranuras y, con ello, aumentar el ancho de las vigas longitudinales.

Alternativamente, las ranuras pueden ser cada una más corta y proporcionarse en mayor cantidad a ese fin. De este modo, el tubo puede estar dividido en cuatro segmentos de un cuarto de círculo. Al menos una ranura que no abarque todo el segmento se dispone en cada segmento. Si varias de dichas ranuras se disponen en paralelo a lo largo del eje longitudinal, se forman cuatro partes sin ranuras que se extienden a lo largo del eje longitudinal, y cada una de ellas conforma una viga longitudinal. De este modo, puede producirse una pieza de amortiguación de empuje con cuatro vigas longitudinales y muchas vigas transversales dispuestas en los mismos planos de forma relativamente simple a partir de un tubo redondo.

Según un avance, al menos una pared del tubo es al menos parcialmente plana o curva. El tubo también puede poseer una sección transversal redonda o poligonal en la vista de plano de su eje longitudinal. Los tubos cuadrados en particular poseen grandes ventajas en cuanto a la tecnología de producción y se pueden usar perfectamente para implementar la invención. En este caso, es particularmente fácil obtener secciones de pared de tubo planas o con forma de escalera que pueden estar bien construidas en cuanto a su comportamiento de amortiguación.

Según un avance, al menos una pieza de amortiguación de empuje tiene al menos un medio de introducción de fuerza, preferiblemente construido tipo abrazadera. Este puede conectar al menos los extremos de dos vigas longitudinales no adyacentes de una pieza de amortiguación de empuje. Debe entenderse que las vigas longitudinales no adyacentes son vigas longitudinales que se cargan por tensión o compresión en la misma dirección, mientras que debe entenderse que las vigas longitudinales adyacentes son vigas longitudinales que están conectadas a la respectiva viga longitudinal por medio de vigas transversales y, por lo tanto, se cargan cada una en la dirección opuesta correspondiente. En la práctica, por lo tanto, el medio de introducción de fuerza forma un puente sobre al menos una viga longitudinal. Debido a los medios de introducción de fuerza, la fuerza de todos modos se introduce de forma pareja en las dos vigas longitudinales adyacentes respectivas.

Según un avance, al menos un primer medio de introducción de fuerza está sujeto a los dos extremos ubicados en un lado de dos vigas longitudinales no adyacentes opuestas en diagonal de una pieza de amortiguación de empuje que es cuadrangular en su plano de planta. Luego, un segundo medio de introducción de fuerza se sujeta en diagonal a los dos extremos ubicados del otro lado de las otras dos vigas longitudinales. Por lo tanto, los dos medios de introducción de fuerza se disponen en un ángulo de 90 ° uno del otro en el amortiguador de construcción o en la pieza de amortiguación de empuje. Como resultado, los dos medios de transmisión de fuerza no se interfieren entre sí, ni siquiera en movimiento. Este no es el caso incluso si están construidos para abarcar al menos parcialmente la pieza de amortiguación de empuje.

Según un avance, al menos un medio de introducción de fuerza se construye como una placa plana con un hueco en forma de U, cuyas patas abarcan lateralmente la pieza de amortiguación de empuje, y en los extremos de dichas patas se ubica una viga de introducción de carga que conecta los dos extremos de las patas, la cual se conecta con los extremos de dos vigas longitudinales. Por lo tanto, la viga de introducción de carga queda sujetada adecuadamente, por ejemplo mediante soldadura, a los extremos de las patas luego de que se haya introducido el medio de introducción de fuerza.

Con utilidad, al menos un medio de introducción de fuerza tiene un medio de sujeción, que a su vez preferiblemente presenta un orificio para unir o sujetar el amortiguador de construcción a la construcción, en el que el orificio se ubica en el lado del medio de introducción de fuerza opuesto a la viga de introducción de carga.

Según un avance, al menos dos piezas de amortiguación de empuje se conectan por medio de al menos un medio de unión. De este modo, se puede crear una estructura con forma de módulo en la que, dependiendo del efecto amortiguador máximo necesario, varias piezas de amortiguación de empuje se pongan en conexión operativa entre sí por medio de dichos medios de unión. Si, por ejemplo, dos piezas de amortiguación de empuje construidas de forma idéntica se conectan entre sí, esto permite que se dupliquen las deformaciones máximas que se pueden absorber en comparación con una forma de realización que tenga solo una pieza de amortiguación de empuje construida de dicha forma.

La unión en serie de varias piezas de amortiguación de empuje construidas según la invención permite la absorción de grandes trayectorias de deformación, lo cual es muy importante para la amortiguación de terremotos en la construcción, con gran estabilidad en cuanto al abombamiento y el pandeo. Al usar varias piezas de amortiguación de empuje con la misma estructura, es posible crear una estructura modular que ofrezca grandes ventajas en términos de tecnología de producción. De este modo, un amortiguador que puede adaptarse rápidamente a una amplia gama de condiciones se puede crear con relativamente poco esfuerzo. Solo es necesario conectar una cantidad suficiente de piezas de amortiguación de empuje unas con otras, dependiendo de las condiciones de operación. De este modo, en particular también es posible superar las desventajas de las bajas capacidades de deformación de los amortiguadores PHC convencionales, que anteriormente se consideraban insalvables.

También es útil que al menos una pieza de amortiguación de empuje tenga un efecto amortiguador que difiera del de la(s) otra(s) pieza(s) de amortiguación de empuje. Esto se puede lograr, por ejemplo, teniendo una cantidad diferente de vigas transversales. De este modo, el efecto amortiguador del amortiguador de construcción se puede ajustar de forma muy precisa a las cargas esperadas a amortiguar.

Según un avance, dos piezas de amortiguación de empuje con distintos niveles de rigidez están conectadas entre sí de modo que, en caso de un terremoto pequeño, solo se active la pieza de amortiguación de empuje menos rígida y, en caso de un terremoto más fuerte, se activen tanto la pieza de amortiguación de empuje más rígida como la menos rígida. Por lo tanto, al conectar en serie diferentes piezas de amortiguación de empuje, las propiedades de amortiguación del amortiguador de construcción pueden diseñarse específicamente para cargas de terremotos de diferentes magnitudes.

Alternativamente, al menos dos piezas de amortiguación de empuje con distintos niveles de rigidez están conectadas entre sí, de modo que, en caso de un terremoto pequeño, solo se active la pieza de amortiguación de empuje menos rígida y, en caso de un terremoto más fuerte, solo se active la pieza de amortiguación de empuje (5) más rígida. Esto conduce a un aplanamiento de la curva de histéresis, es decir, de las propiedades de amortiguación, del amortiguador de construcción en el diagrama de deformación de cargas.

Para que se pueda influir de manera dirigida la actividad de una pieza de amortiguación de empuje, al menos un medio de unión tiene un sistema de bloqueo para limitar o reprimir los movimientos de al menos una pieza de amortiguación de empuje dispuesta allí.

Según un avance, el medio de unión tiene dos huecos en forma de U, cuyas patas abarcan cada una lateralmente una pieza de amortiguación de empuje, y en los extremos de dichas patas se ubica una viga de introducción de carga que conecta los dos extremos de las patas, la cual se conecta a los extremos de dos vigas longitudinales no adyacentes de la respectiva pieza de amortiguación de empuje. En otras palabras, el medio de unión también forma un puente sobre la respectiva viga longitudinal adyacente.

La invención se explica a continuación en más detalle con referencias a los ejemplos de formas de realización que se muestran en los dibujos. Estos muestran esquemáticamente:

Fig. 1 un amortiguador RPR conocido por la técnica anterior;
Fig. 2 un amortiguador PHC conocido por la técnica anterior;
Fig. 3 una primera forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención;
Fig. 4a la sección A-A que se muestra en la Fig. 3;
Fig. 4b la sección B-B que se muestra en la Fig. 3;
Fig. 5 una segunda forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención;
Fig. 6 la sección A-A que se muestra en la Fig. 5;
Fig. 6b la sección B-B que se muestra en la Fig. 5;
Fig. 7 una tercera forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención;
Fig. 8a la sección A-A que se muestra en la Fig. 7;
Fig. 8b la sección B-B que se muestra en la Fig. 7;
Fig. 9a una sección A-A correspondiente a la Fig. 8a por medio de una cuarta forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención;
Fig. 9b una sección B-B correspondiente a la Fig. 8b por medio de una cuarta forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención;
Fig. 10a una forma de realización de una viga transversal con altura constante;
Fig. 10b una forma de realización de una viga transversal con una altura de viga que aumenta hacia los extremos de la viga;
Fig. 10c otra forma alternativa de realización de una viga transversal con una altura de viga que aumenta hacia los extremos de la viga;
Fig. 11 una quinta forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención;
Fig. 12 la sección C-C que se muestra en la Fig. 11 con representación de la distribución interna de la fuerza;
Fig. 13 una vista lateral de una porción de la pared lateral de la pieza de amortiguación de empuje construida con forma de escalera al menos en algunas partes que se muestra en la Fig. 11 en su estado deformado;
Fig. 14 un diagrama de deformación de fuerzas que muestra un comportamiento de deformación según un modelo bilineal de un amortiguador de construcción según la invención;
Fig. 15 el comportamiento de deformación determinado por computadora del amortiguador de construcción según la invención que se muestra en la Fig. 11;
Fig. 16a una primera forma de realización de una pieza de amortiguación de empuje soldada a partir de varias piezas;
Fig. 16b una segunda forma de realización de una pieza de amortiguación de empuje soldada a partir de varias piezas;

Fig. 16c una tercera forma de realización de una pieza de amortiguación de empuje soldada a partir de varias piezas;

Fig. 17 una sexta forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención con dos piezas de amortiguación de empuje con forma de tubo cuadrado;

Fig. 18 una séptima forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención con tres piezas de amortiguación de empuje con forma de tubo cuadrado;

Fig. 19 una octava forma de realización de un amortiguador de construcción según la invención con dos piezas de amortiguación de empuje con forma de tubo cuadrado construidas de manera diferente, una con menos planos de viga transversal que la otra;

Fig. 20 una sección que atraviesa la forma de realización que se muestra en la Fig. 19;

Fig. 21 una sección ampliada de la sección que se muestra en la Fig. 20;

Fig. 22a el sistema mecánico de la forma de realización que se muestra en la Fig. 19 con un sistema de unión de espaciado;

Fig. 22b el sistema mecánico de una forma de realización construida según la Fig. 19, que además tiene un sistema de bloqueo para una de las dos piezas de amortiguación de empuje;

Fig. 23 el comportamiento de deformación según un modelo multilineal del amortiguador de construcción según la invención que se muestra en la Fig. 19; y

Fig. 24a el comportamiento de deformación determinado por computadora de un amortiguador de construcción construido según la Fig. 22a con un sistema de unión de espaciado;

Fig. 24b el comportamiento de deformación determinado por computadora de un amortiguador de construcción construido según la Fig. 22b con un sistema de bloqueo;

Fig. 25a un primer ejemplo de cómo se puede instalar en una construcción un amortiguador de construcción según la invención;

Fig. 25b un segundo ejemplo de cómo se puede instalar en una construcción un amortiguador de construcción según la invención; y

Fig. 25c un tercer ejemplo de cómo se puede instalar en una construcción un amortiguador de construcción según la invención.

El amortiguador de construcción 1 que se muestra en la Fig. 1 es un amortiguador RPR convencional en el que una viga de acero 2 con una sección transversal cruciforme se ubica en un tubo 4 relleno con mortero 3. La fricción entre la viga de acero 2 y el mortero 3 se reduce por medio de una capa lubricante ubicada entre ellos para que la viga de acero 2 pueda deformarse con relativa libertad en la dirección longitudinal dentro del mortero 3.

Si ocurre un terremoto, una fuerza normal se introduce en el amortiguador de construcción 1, con la cual la viga de acero 2 inicialmente se deforma elásticamente y luego plásticamente tras exceder el punto de fluencia. La deformación plástica continúa hasta que el movimiento oscilatorio de la construcción se invierte. Tras la deformación elástica inicial, la fluencia sucede otra vez hasta que el movimiento oscilatorio de la construcción se vuelve a invertir y la construcción comienza a moverse en la otra dirección. Con la fluencia de la viga de acero 2, una parte de la energía cinética se convierte en energía térmica. Esta amortiguación reduce gradualmente el movimiento pendular de la construcción.

La Fig. 2 muestra un amortiguador de construcción 1 conocido en la técnica anterior como amortiguador PHC. Este tiene una pieza de amortiguación de empuje plana y con forma de escalera 5, que tiene al menos dos vigas longitudinales 6 y 8, las cuales a su vez están conectadas entre sí de manera resistente al empuje por al menos dos,

y en este caso siete, vigas transversales 7. El principio de operación es tal que, debido a una acción introducida en la construcción (por ejemplo, la carga de un impacto o la carga de un terremoto), una fuerza F se introduce en la viga longitudinal 6 y desde allí se introduce por medio de las vigas transversales 7 conectadas de forma flexible-rígida en la segunda viga longitudinal 8, que en este caso se encuentra debajo. Por lo tanto, la amortiguación ocurre por medio de la deformación plástica de las vigas transversales 7 generada por fuerzas de empuje.

Como se explicó anteriormente, se ha demostrado que la pieza de amortiguación de empuje plana y con forma de escalera 5 de un amortiguador PHC es muy sensible al pandeo de las vigas transversales 7 y generalmente tampoco alcanza suficientes efectos amortiguadores como para ser utilizada en edificios grandes y altos para amortiguar cargas de terremotos.

La solución según la invención se muestra en la primera forma de realización de un amortiguador de construcción 1 según la invención que se muestra en las Figs. 3, 4a y 4b. Este tiene una pieza de amortiguación de empuje 5 con una estructura espacial en la que al menos dos (en este caso ocho) vigas transversales 7 se extienden en una primera alineación 7 (en la Fig. 4b, empezando desde la viga longitudinal 6 y curvándose hacia abajo en dirección hacia la derecha) y al menos otras dos (en este caso ocho) vigas transversales tipo peldaño 9 dispuestas en forma paralela unas de otras se extienden en una segunda alineación que se desvía de la primera alineación (en la Fig. 4b, empezando desde la viga longitudinal 6 y curvándose hacia abajo en dirección hacia la izquierda). Con la ayuda de esta estructura espacial de la pieza de amortiguación de empuje 5, es posible superar la principal desventaja de los amortiguadores PHC convencionales, es decir, la deformabilidad muy limitada de las vigas transversales antes de que ocurra cualquier pandeo de las vigas transversales.

La pieza de amortiguación de empuje 5 tiene una forma general alargada. Su dirección longitudinal se extiende en la dirección del eje X en este caso, en la que también se extienden las dos vigas longitudinales 6 y 8. En este sentido, la fuerza horizontal F que se introducirá en el amortiguador de construcción 1 se introduce en la primera viga longitudinal 6 y se introduce en la segunda viga longitudinal 8 por medio de las vigas transversales 7 de la primera alineación y de las vigas transversales 9 de la segunda alineación y, debido a la deformación de las vigas transversales 7 y 9, se reintroduce en la construcción de manera amortiguada desde la pieza de amortiguación de empuje 5 o el amortiguador de construcción 1.

Como se puede ver en particular en las vistas en corte de las Figs. 4a y 4b, la pieza de amortiguación de empuje 5 tiene un corte transversal circular en la vista de plano de su eje longitudinal. Por lo tanto, también puede describirse como un tubo redondo con múltiples ranuras con una sección transversal circular de diámetro exterior b y grosor t.

Por lo tanto, los ejes longitudinales de las vigas transversales curvas 7 y 9 se extienden en un plano respectivo paralelo al plano Y-Z. Si los planos de viga transversal de la Fig. 3 están numerados de izquierda a derecha, el primer plano de viga transversal de la pieza de amortiguación de empuje 5 se extiende paralelamente al plano Y-Z como primer plano. Otros siete planos de viga transversal siguen a este primer plano de viga transversal, vistos de izquierda a derecha, en cada uno de los cuales se dispone una viga transversal 7 de la primera alineación y una viga transversal 9 de la segunda orientación. En este sentido, el amortiguador de construcción 1 que se muestra en la Fig. 3 tiene una pieza de amortiguación de empuje 5 con ocho planos de viga transversal y 16 vigas transversales 7 y 9. En la forma de realización que se muestra aquí, todos los planos de viga transversal se ubican a la misma distancia entre sí a lo largo del eje longitudinal de la pieza de amortiguación de empuje 5 que se extiende en la dirección X.

La segunda forma de realización de un amortiguador de construcción 1 según la invención que se muestra en las Figs. 5, 6a y 6b difiere de la primera forma de realización en que en esta se ubican cuatro vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12 en forma paralela entre sí y cuatro vigas transversales 7, 9, 11 y 13 se ubican en cada uno de los ocho planos de viga transversal. Por lo tanto, con la misma carga total F, la fuerza introducida en las respectivas vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12 se puede dividir a la mitad (*F/2*) en comparación con la primera forma de realización.

La tercera forma de realización de un amortiguador de construcción 1 según la invención que se muestra en las Figs. 7, 8a y 8b difiere de las primeras dos formas de realización, no solo en que tiene una menor cantidad de planos de viga transversal (cinco en lugar de ocho), sino principalmente en que la pieza de amortiguación de empuje 5 tiene un plano de planta sustancialmente cuadrado en la vista de plano de su eje longitudinal. Por lo tanto, la pieza de amortiguación de empuje 5 tiene en este caso cuatro vigas transversales rectas 7, 9, 11 y 13 por cada plano de viga transversal en lugar de las vigas curvas. Por lo tanto, también se puede describir como un tubo de grosor t con una sección transversal cuadrada y un ancho externo b que tiene varias ranuras en las paredes laterales.

Como se puede observar en particular en la Fig. 8b, en la forma de realización que se muestra aquí, las cuatro vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12 se ubican cada una en una esquina del tubo o de la pieza de amortiguación de empuje 5. Esto presenta ventajas en la fabricación. Sin embargo, también conduce a un comportamiento de deformación de la pieza de amortiguación de encaje 5 que es más fácil de controlar.

Sin embargo, como alternativa a un plano de planta cuadrado, también es concebible que se utilice un plano de planta rectangular para la pieza de amortiguación de empuje 5, como se ejemplifica con las secciones que se muestran en las Figs. 9a y 9b. De este modo, se puede generar un nivel de rigidez diferente para la pieza de amortiguación de empuje 5.

La rigidez de la pieza de amortiguación de empuje 5 también puede controlarse modelando la altura de las vigas transversales. Por ejemplo, es concebible que se usen vigas transversales 7 con una altura constante, como se muestra en la Fig. 10a. Sin embargo, las formas en las que las vigas transversales 7 tienen una altura creciente en los extremos, como se muestra en las Figs. 10b o 10c, han resultado particularmente adecuadas.

La quinta forma de realización de un amortiguador de construcción 1 según la invención que se muestra en la Fig. 11 es una forma de realización en la que la pieza de amortiguación de empuje 5 se construye en principio de la misma forma que en la tercera forma de realización que se muestra en la Fig. 7. En este caso, la pieza de amortiguación de empuje 5 también tiene un plano de planta cuadrado en la vista de plano. Sin embargo, tiene seis planos de viga transversal en lugar de cinco. En cada uno de los planos de viga transversal, al igual que en la tercera forma de realización, se disponen cuatro vigas transversales planas 7, 9, 11 y 13 con distinta alineación. Las vigas transversales 7, 9, 11 y 13 a su vez tienen la forma que se muestra en la Fig. 10b. Por lo tanto, todas tienen una altura de viga que aumenta hacia los extremos de las vigas.

En este caso, la fuerza se introduce por medio de dos medios de introducción de fuerza tipo placa y tipo abrazadera 14 y 17, cada uno de los cuales tiene un orificio 16 y 19 para asegurarlo a la construcción y, por lo tanto, para introducir fuerza en el amortiguador de construcción 1. Los dos medios de introducción de fuerza 14 y 17 están rotados 90 ° uno respecto del otro y cada uno está sujeto a dos vigas longitudinales no adyacentes 8 y 12 o 6 y 8. En el presente caso,

están soldadas longitudinalmente a las respectivas vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12. Luego de asegurar la pieza de amortiguación de empuje 5, una viga transversal 15 o 18 se asegura a los extremos de cada uno de los dos medios de introducción de fuerza tipo abrazadera 14 y 17. Estos una vez más estabilizan considerablemente los respectivos medios de introducción de fuerza 14 y 17 y también conducen a una estabilidad ampliada de la pieza de amortiguación de empuje 5 y de todo el amortiguador de construcción 1. Debido a la estructura espacial de la pieza de amortiguación de empuje 5 que se logra de este modo, un amortiguador de construcción 1 construido de conformidad con la invención de este modo muestra una capacidad máxima de absorción de fuerza ampliada por la cantidad de vigas transversales, con una estabilidad y una capacidad de soporte de carga considerablemente mejoradas del amortiguador de construcción 1 según la invención respecto del abombamiento, en comparación con un amortiguador PHC convencional.

Como se puede observar en la vista en corte espacial de la Fig. 12, la fuerza F introducida en el amortiguador de construcción 1 se introduce en las dos vigas longitudinales no adyacentes 8 y 12 de la pieza de amortiguación de empuje 5 por medio del orificio 16 y el medio de introducción de fuerza 14. Esto conduce a una deformación de las vigas transversales 7, 9, 11 y 13 y a una fuerza de reacción *F/2* en las dos vigas longitudinales 6 y 10.

La Fig. 13 muestra la deformación de las vigas transversales 7 por la dimensión d en el extremo y en el ángulo γ.

La Fig. 14 ahora muestra el comportamiento de deformación de un amortiguador de construcción 1 según la invención en un diagrama de deformación de fuerzas. Esto se puede simplificar de manera bilineal como se muestra con la línea sólida. La línea punteada muestra el comportamiento real. De conformidad con ello, la deformación elástica ocurre inicialmente cuando la fuerza aumenta súbitamente. Cuando se alcanza la fuerza denominada F_y, ocurre la fluencia de las vigas transversales. En este punto, solo se puede introducir un poco más de fuerza en las vigas transversales. De manera simplificada, sin embargo, se presume que todavía existe comportamiento elástico hasta el punto F_p. A partir de este punto, también se puede presumir un aumento lineal de las fuerzas que se pueden absorber hasta el punto $F_{máx.}$ A partir de este punto, comienza el ablandamiento del material (en este caso el acero) y ocurre la falla con más deformaciones en aumento y fuerzas decrecientes. Por lo tanto, el amortiguador de construcción 1 debe estar diseñado de manera tal que no se exceda la fuerza $F_{máx.}$ en el caso de carga máxima.

El diagrama de deformación de fuerzas que se muestra en la Fig. 15 muestra un ciclo de carga completo para el amortiguador de construcción 1 que se muestra en las Figs. 11 a 13. La curva que se muestra aquí se basa en una simulación por computadora. De conformidad con ello, se puede determinar una histéresis muy uniforme para el comportamiento de deformación del amortiguador de construcción 1 construido según la invención.

Las Figs. 16a, 16b y 16c muestran otras tres formas de realización de piezas de amortiguación de empuje 5 construidas de conformidad con la invención, las cuales se caracterizan porque fueron soldadas a partir de varias piezas individuales. La forma de realización que se muestra en la Fig. 16a es una pieza de amortiguación de empuje 5 en la que varios anillos cuadrados se sueldan en paralelo entre cuatro vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12, cuyos lados conforman las cuatro vigas transversales 7, 9, 11 y 13. Debido a su forma cuadrada y a las esquinas soldadas a las vigas longitudinales 6 y 8, estos anillos son comparables en su modo de operación a vigas transversales únicas.

La Fig. 16b muestra una forma de realización alternativa en la que se sueldan vigas transversales únicas con forma de tira 7, 9, 11 y 13 entre cada una de las cuatro vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12.

Una tercera alternativa se muestra en la Fig. 16c, en la que dos perfiles angostos en forma de L se insertan entre las cuatro vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12 y también se sueldan a ellas. Los perfiles en forma de L forman cada uno dos vigas transversales 7 y 13 o 9 y 11 de la pieza de amortiguación de empuje 5. Los perfiles en forma de L fácilmente se pueden cortar para darles forma de tiras y soldarlos a las vigas longitudinales.

Con respecto a la sexta forma de realización de un amortiguador de construcción 1 construido según la invención que se muestra en la Fig. 17, se explicará a continuación otro aspecto de la invención, que se puede lograr conectando dos piezas de amortiguación de empuje 5 en serie en un amortiguador de construcción 1 por medio de un medio de unión que también tenga forma de placa 21 con piezas transversales 22 proporcionadas en los extremos. De hecho, al conectar varias piezas de amortiguación de empuje 5 en serie, es posible lograr una constante de amortiguación $d_{máx.}$ que sea muchas veces mayor que la de los amortiguadores PHC. Esto no es una cuestión trivial.

Al conectar varias piezas de amortiguación de empuje 5 en serie, las propiedades de amortiguación del amortiguador de construcción 1 según la invención se pueden adaptar de manera muy precisa, y esto se puede hacer de forma muy económica. Esto es porque las piezas de amortiguación de empuje 5 se pueden prefabricar muy fácilmente y luego unir unas con otras según sea necesario. Por ejemplo, es concebible que simplemente se puedan cortar del largo necesario y luego unir como se muestra en la Fig. 17.

En la séptima forma de realización que se muestra en la Fig. 18, tres piezas de amortiguación de empuje 5 se conectan en serie usando dos medios de unión 21 dispuestos a 90 ° uno respecto del otro. Esto permite que se triplique la deformación máxima admisible en comparación con un amortiguador PHC convencional.

En el ejemplo que se muestra en la Fig. 19, dos piezas de amortiguación de empuje 5 construidas de manera diferente se conectan entre sí con un medio de unión 21. Aunque ambas tienen el mismo plano de planta, son de distintas longitudes y tienen una cantidad diferente de vigas transversales 7, 9, 11 y 13. En la primera pieza de amortiguación de empuje 5 que se muestra a la izquierda en la Fig. 19, hay seis planos de viga transversal y cuatro vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12 dispuestas en las esquinas. En la segunda pieza de amortiguación de empuje 5 ubicada a la derecha, hay solo dos planos de viga transversal. Por lo tanto, la pieza de amortiguación de empuje 5 que se muestra a la izquierda tiene una rigidez mayor que la pieza de amortiguación de empuje 5 que se muestra a la derecha.

En este ejemplo, las dos piezas de amortiguación de empuje 5 están conectadas por un medio de unión 21 construido tipo placa, el cual se conecta en sus esquinas con las respectivas vigas longitudinales 6, 8, 10 y 12.

Como se puede observar en la vista en corte de la Fig. 20 y en la sección ampliada que se muestra en la Fig. 21, el medio de unión 21 tiene dos almas 23 y 24. Estas presentan una cierta distancia a las piezas transversales 15 y 18. Esto permite que el comportamiento de amortiguación del amortiguador de construcción 1 se ajuste de manera dirigida. Por lo tanto, se establece el sistema mecánico que se muestra en la Fig. 21 de un amortiguador que consiste en dos amortiguadores conectados en serie, en el que el amortiguador más blando (que se muestra a la derecha en la Fig. 22) tiene un tope que se activa cuando la pieza de amortiguación de empuje 5 (que se muestra a la derecha en la Fig. 19), que tiene menos vigas transversales, alcanza su deformación plástica máxima. Luego, la pieza de amortiguación de empuje 5 de la izquierda, que tiene un mayor nivel de rigidez, se activa por medio de las almas 23 y 24. En total, se obtiene un comportamiento de deformación que se muestra en forma lineal simplificada en la Fig. 23. En una simulación

por computadora, la histéresis que se muestra en la Fig. 24a se puede determinar para la deformación y el comportamiento de amortiguación relacionado del amortiguador de construcción 1 según la invención.

El modo de operación del sistema de unión con unión de cierre de espaciado que se muestra en la Fig. 21 ahora se explicará en relación con el sistema mecánico que se muestra en la Fig. 22a y el diagrama de deformación de fuerzas que se muestra en la Fig. 23. A saber, el sistema de unión de cierre de espaciado permite la creación de un amortiguador de construcción 1 con dos niveles diferentes de rigidez, lo cual tiene como resultado dos niveles diferentes de fuerza que generan, cada uno, deformación plástica, como puede suceder frente a diferentes cargas de terremoto en una construcción.

Por lo tanto, el amortiguador de construcción 1 se construye de manera tal que, en caso de un terremoto más pequeño, la deformación d que se genere sea menor que d2 (d<d2). De conformidad con ello, el amortiguador de construcción es más blando y solo proporciona una fuerza de amortiguación menor (F<F2). Esto permite una estructura más elástica para la construcción. Esto garantiza que las aceleraciones máximas más pequeñas se introduzcan en la construcción durante terremotos pequeños. Implica una mejora considerable y no trivial del amortiguador de construcción 1 según la invención en comparación con los amortiguadores PHC y RPR convencionales. Permite una protección considerablemente mejorada de las piezas no estructurales o que no llevan carga de la construcción, como el equipamiento eléctrico o los muebles de interior.

En caso de terremotos fuertes, ocurren deformaciones más grandes en la construcción (d>d3). En este caso, el amortiguador 1 según la invención también es capaz de proporcionar una fuerza de amortiguación mayor (F3<F<Fmáx.). Además, la rigidez ahora es considerablemente mayor, lo cual significa que la construcción está mejor protegida contra cualquier falla.

La Fig. 24a muestra el bucle de histéresis del amortiguador de construcción 1, en el que el bucle interno se corresponde con el comportamiento en caso de un terremoto pequeño, mientras que la parte externa del bucle muestra el comportamiento en caso de un terremoto fuerte.

La Fig. 22b muestra el sistema mecánico de una forma de realización alternativa de un amortiguador de construcción 1 según la invención. Este difiere del de la Fig. 22a en que, en este caso, el amortiguador de construcción 1 también tiene un sistema de bloqueo para la pieza de amortiguación de empuje 5 que se muestra a la izquierda de la figura. Esto garantiza que, cuando la deformación d exceda d (d>d2) por primera vez, la pieza de amortiguación de empuje 5 no se pueda deformar más. Entonces solo la pieza de amortiguación de empuje 5 que se muestra en el sistema de la derecha contribuye a amortiguar el terremoto.

La Fig. 24b muestra el bucle de histéresis de un amortiguador de construcción 1 construido según la Fig. 22b, en el que el bucle interno nuevamente se corresponde con el comportamiento en caso de un terremoto pequeño, mientras que la parte externa del bucle muestra el comportamiento en caso de un terremoto fuerte. Como se puede observar en particular en comparación con la curva de la Fig. 24a, esta forma de realización hace posible que se aumente la cantidad total de energía a disipar (esta se corresponde con el área del interior de la curva de histéresis). Esto se deduce de la curva mucho más aplanada en los casos de cargas de terremotos fuertes en comparación con la Fig. 24a. Esta forma de realización, en consecuencia, conduce a una mejor protección de la construcción durante

terremotos fuertes o graves con aproximadamente el mismo buen comportamiento de amortiguación durante los terremotos pequeños.

La Fig. 25 muestra tres ejemplos de cómo un amortiguador de construcción 1 según la invención se puede instalar en una construcción. En este caso, la Fig. 25a muestra una construcción con una viga de armadura 25 a la cual se sujeta el amortiguador de construcción 1. Asimismo, la construcción tiene dos soportes verticales 26 sobre los cuales se apoya un disco de techo 27. Si ocurre un terremoto, las fuerzas normales se generan en la viga de armadura 25 debido a los movimientos del suelo impuestos a la construcción. Estas son amortiguadas por el amortiguador de construcción 1.

La Fig. 25b muestra un segundo ejemplo de cómo un amortiguador de construcción según la invención se puede instalar en una construcción. Aquí, el amortiguador de construcción 1 está fijo como un tirante de armadura entre un nodo de dos vigas de armadura 25 y el disco de techo 27. Aquí, de igual forma, solo las fuerzas normales se introducen en el amortiguador de construcción.

La Fig. 25c muestra un tercer ejemplo de cómo un amortiguador de construcción 1 según la invención se puede instalar en una construcción. En este caso, la construcción es un puente en el cual el amortiguador de construcción 1 está asegurado entre el tablero del puente 28 y el contra cojinete 29. Aquí, de igual forma, la montura se lleva a cabo de forma tal que solo las fuerzas normales se introduzcan en el amortiguador de construcción 1.

NÚMEROS DE REFERENCIA

1. amortiguador de construcción
2. viga de acero
3. mortero
4. tubo de protección
5. pieza de amortiguación de empuje
6. primera viga longitudinal
7. viga transversal de primera alineación
8. segunda viga longitudinal
9. viga transversal de segunda alineación
10. tercera viga longitudinal
11. viga transversal de tercera alineación
12. cuarta viga longitudinal
13. viga transversal de cuarta alineación
14. primer medio de introducción de fuerza
15. pieza transversal del primer medio de introducción de fuerza
16. orificio del primer medio de introducción de fuerza
17. segundo medio de introducción de fuerza
18. pieza transversal del segundo medio de introducción de fuerza
19. orificio del primer medio de introducción de fuerza
20. juntura de la soldadura
21. medio de unión
22. pieza transversal del medio de unión
23. primera alma
24. segunda alma
25. viga de armadura
26. apoyo
27. disco de techo
28. tablero de puente
29. contra cojinete