

DISPOSITIVO PARA ENSAYOS CÍCLICOS CON CARGA AXIAL Y FLEXIÓN EN MUROS Y CONEXIONES ESTRUCTURALES

5

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se relaciona con el campo técnico de la ingeniería sísmica, en particular, describe un dispositivo de ensayo y evaluación del desempeño sismo
10 resistente de elementos estructurales como muros de concreto reforzado o mampostería y conexiones de acero.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

15 Los muros de concreto reforzado o de mampostería desempeñan un papel fundamental en la resistencia ante cargas sísmicas y gravitacionales en las edificaciones. Además de soportar estas cargas, también proporcionan la rigidez necesaria para los sistemas estructurales de muros o pórticos. Del mismo modo, las conexiones metálicas son elementos esenciales en la configuración estructural de las edificaciones de acero.
20 Actúan como puntos de unión entre las vigas y columnas, configurando los nudos de los pórticos, lo que no solo permite la transmisión eficiente de cargas, sino que también influye en la rigidez y la capacidad de deformación del sistema.

La realización de ensayos cíclicos sobre muros o conexiones metálicas es un
25 procedimiento indispensable en el diseño y la evaluación sismo resistente de estructuras. Estos ensayos permiten simular las condiciones reales a las que se verán sometidos estos elementos durante eventos sísmicos, lo que proporciona valiosa información sobre su rendimiento bajo cargas repetidas. La comprensión de cómo se comportan los muros y las conexiones metálicas ante esfuerzos cíclicos es crucial para mejorar la resistencia
30 y la capacidad de disipación de energía de las estructuras, lo que a su vez contribuye a la seguridad y la durabilidad de las edificaciones.

En este contexto, diversos laboratorios realizan ensayos cíclicos con carga axial utilizando actuadores que se conectan y reaccionan sobre un conjunto de muro y losa de
35 reacción, ambos elementos de concreto reforzado de secciones considerables, o sobre dispositivos o marcos de reacción de acero estructural prefabricados. Estas opciones son altamente costosas y requieren de un espacio considerable en el laboratorio.

En otras investigaciones, se han construido dispositivos similares o marcos de pruebas; sin embargo, estos aplican la carga al nivel superior de la probeta, lo que genera una relación entre el momento y el cortante aplicados correspondiente únicamente a la altura de la probeta, o a lo sumo, al efecto de un momento flector adicional aplicado mediante un par de cargas adicional. En ocasiones, estas dificultades técnicas obligan a la realización de ensayos a escala reducida.

La evaluación del comportamiento mecánico de elementos estructurales, como muros de concreto reforzado o mampostería y conexiones de acero en escala natural, se realiza a partir de pruebas basadas, simultáneamente, en la aplicación de una compresión que simula cargas de servicio gravitacionales, una deformación lateral proporcional a la altura de los especímenes (entre 0.01% y 10% de dicha altura), que simula el efecto de un sismo, y a momentos flectores que también representan el efecto sísmico.

Estos protocolos de ensayo son definidos mediante señales monotónicas o cíclicas (sinusoidales o triangulares) generadas mediante instrucciones implementadas por un procesador con contenidos frecuenciales entre 0 Hz (unidireccional) y 0.05 Hz y amplitudes limitadas por la capacidad de desplazamiento de los actuadores hidráulicos y la capacidad del sistema externo de potencia hidráulica.

En la literatura de patentes, por ejemplo, se observa el documento CN112903225 que describe un dispositivo para aplicación de carga horizontal de vano de viga para ensayo pseudoestático. El dispositivo comprende un mecanismo de aplicación de carga horizontal, un conjunto de viga de distribución, un conjunto de viga de transmisión de fuerza y una pieza de conexión para conectar una parte de la viga a una pieza de ensayo de bastidor con autorreinicio. El dispositivo de aplicación de carga horizontal se caracteriza por comprender un mecanismo de aplicación de carga horizontal (1), un conjunto de viga distribuidora (2), un conjunto de viga de transmisión (3) y un conector. pieza (4). La carga horizontal puede actuar directamente sobre el tramo de viga de una pieza a probar, se cumple el comportamiento de tensión de que la fuerza de inercia del piso se transmite a un cierto tramo de viga en un marco de restablecimiento automático a través de un piso en un esquema de disposición de estructura real.

Teniendo en cuenta las limitaciones expuestas anteriormente, la presente invención aborda la problemática técnica relacionada con la aplicación simultánea de carga axial y flexión, de manera diferente a otros sistemas conocidos, mediante un dispositivo que permite obtener una mayor relación entre el momento y el cortante aplicados. Esto se logra mediante la aplicación controlada y simultánea de la carga a una altura mayor que el nivel superior de la probeta y de la flexión adicional producida por la acción de un par

de cargas verticales. Una mayor relación entre el momento y el cortante es importante en este tipo de pruebas, ya que permite simular este parámetro que caracteriza el desempeño sísmico de las probetas (Wei, et al., 2021).

5

OBJETO DE LA INVENCION

En un único objeto, la presente invención revela un dispositivo para ensayos cíclicos de elementos estructurales, tales como muros de concreto reforzado o en mampostería y conexiones estructurales de acero, en entorno real, a partir de la aplicación de cargas de flexión, cargas laterales y cargas a compresión, por separado o mediante la combinación de ellas de manera simultánea. Las cargas de compresión simulan el efecto de la gravedad representado como el peso de la estructura. Las cargas laterales o fuerzas cortantes simulan el efecto del movimiento sísmico. Las cargas de flexión o momentos flectores, correspondientes al efecto de un par de fuerzas simultáneas y opuestas, representan el efecto de rotación relativa de la estructura y de sus elementos, producido por las fuerzas sísmicas.

La configuración de los componentes del dispositivo revelado en la presente descripción permite evaluar el comportamiento mecánico de los elementos estructurales ante la simulación de situaciones a las que estarían sometidos, en condiciones reales, durante eventos sísmicos.

El objeto anteriormente descrito, al igual que los objetos adicionales a que hubiere lugar, son expuestos en el capítulo descriptivo que se presenta a continuación, el cual constituirá el fundamento del capítulo reivindicatorio.

BREVE DESCRIPCION DE LA INVENCION

30

La presente invención revela un novedoso dispositivo para ensayos de elementos estructurales de distintas características. La configuración de los componentes del dispositivo permite aplicar momentos flectores para evaluar el comportamiento ante rotaciones, fuerzas cortantes en una o dos direcciones, para evaluar el comportamiento ante desplazamientos laterales, fuerzas verticales de compresión, para representar las cargas gravitatorias de la estructura, o la combinación de los tres tipos de sollicitaciones variables en el tiempo.

Para aplicar los momentos y las fuerzas, y efectuar los desplazamientos de ensayo requeridos, el dispositivo comprende dentro de su configuración estructural los siguientes componentes:

- 5 Un mecanismo o pieza de aplicación de carga lateral (10) que se encuentra soportado en un marco estructural de reacción (20) y un mecanismo o pieza de aplicación de carga vertical (30) que se encuentra soportado en el mismo marco estructural de reacción (20). En los mecanismos (10) y (30) se ubican celdas de medición de las cargas (10.1) (30.1) a las que son sometidos los elementos estructurales (40) objeto de ensayo cíclico.

- 10 El mecanismo de aplicación de carga vertical (30) y el mecanismo de aplicación de carga lateral (10) presentan servoválvulas electrohidráulicas (10.2) (30.2) que se conectan con actuadores hidráulicos (10.3) (30.3). Los actuadores hidráulicos (10.3) (30.3) son provistos de aceite hidráulico por un sistema de potencia hidráulico externo para generar la carga o deformación, a las probetas de elementos estructurales, (40) requeridas para la realización de las pruebas.

- Los valores de fuerza y deformación de los elementos estructurales (40) son registrados y almacenados en un controlador que, mediante instrucciones implementadas por un procesador, envía señales digitales a las servoválvulas electrohidráulicas (10.2) (30.2) que activan los actuadores hidráulicos (10.3) (30.3) para realizar las pruebas de deformación y carga de las probetas de elementos estructurales (40) en ambas direcciones y en rotación.

- 25 El mecanismo de aplicación de carga lateral (10) se encarga de emular el movimiento de la estructura durante un sismo y aplicar parte del momento flector. El mecanismo de aplicación de carga vertical (30) ejerce la fuerza de presión necesaria sobre el elemento estructural (40) objeto de ensayo cíclico, simulando la carga gravitacional de una estructura civil y parte de la flexión producida por el sismo. La carga axial y el momento flector adicional se aplica mediante el mecanismo de carga vertical, a través de los tensores metálicos articulados (30.5).

- Las celdas de carga (10.1) (30.1) son las encargadas de medir la fuerza lateral y la fuerza vertical que se ejerce sobre el elemento estructural.

- 35 En la modalidad preferida de realización de la invención, para medir las deformaciones verticales y laterales, y las rotaciones de los elementos estructurales (40) se dispone de varios transformadores diferenciales de variación lineal (LVDT), potenciómetros, galgas de deformación y un sistema de correlación digital de imágenes (DIC).

La interrelación de los componentes del dispositivo permite obtener curvas de fuerza lateral versus desplazamiento horizontal o de momento versus curvatura, principalmente, que a su vez permiten cuantificar la resistencia, capacidad de disipación de energía y ductilidad ante distintos niveles de desplazamientos impuestos.

De esta forma, es posible reproducir el estado tensional biaxial complejo al cual estarían sometidos los elementos estructurales durante un evento sísmico. La configuración de los componentes del dispositivo permite caracterizar, de manera precisa, aspectos como: comportamiento histerético, capacidad de deformación, pandeo y modo de falla.

Con el objetivo de brindar un adecuado entendimiento de la invención, se acompaña a la presente descripción un capítulo de Figuras que se describe a continuación:

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Muestra una vista en perspectiva del dispositivo para ensayos cíclicos con carga axial en muros y conexiones estructurales de acero en escala natural (1).

Figura 2. Muestra una vista superior del dispositivo para ensayos cíclicos con carga axial en muros y conexiones estructurales de acero (1) y los componentes: Estructuras metálicas de reacción vertical (20.1) y de reacción lateral (20.2) del marco estructural de reacción (20), marcos metálicos unidos (20.3), actuador lateral (10.3), celda de carga lateral (10.1), marco metálico rígido (10.4) y viga metálica atiesada (30.4).

Figura 3. Muestra una vista frontal del dispositivo para ensayos cíclicos con carga axial en muros y conexiones estructurales de acero (1) y los componentes: Estructuras metálicas de reacción vertical (20.1) y de reacción lateral (20.2) del marco estructural de reacción (20), marcos metálicos unidos (20.3), actuador lateral (10.3), celda de carga lateral (10.1), marco metálico rígido (10.4), viga metálica atiesada (30.4), una modalidad de probeta, tipo muro, con su respectiva cimentación (40), celdas de carga vertical (30.1), servoválvulas (30.2), tensores metálicos (30.5), soportes metálicos (30.6).

Figura 4. Muestra una vista en perspectiva del dispositivo de ensayos cíclicos con carga axial, sin incluir el sistema de marcos metálicos usados para restricción del desplazamiento lateral, lo que permite ver la conexión con la probeta. En la figura se observan los dos mecanismos de aplicación de carga y su conexión con la probeta, sus componentes son: Estructuras metálicas de reacción vertical (20.1) y de reacción lateral

(20.2) del marco estructural de reacción (20), actuador lateral (10.3) celda de carga lateral (10.1), marco metálico rígido (10.4), viga metálica atiesada (30.4), una modalidad de probeta, tipo muro, con su respectiva cimentación (40), celdas de carga vertical (30.1), actuadores (30.3), tensores metálicos (30.5), soportes metálicos (30.6).

5
Figura 5. Muestra una vista en perspectiva de los componentes del mecanismo de carga lateral (10) que detalla sus componentes y conexiones: actuador lateral (10.3) con su respectiva servoválvula (10.2) y LVDT (50.1), celda de carga lateral (10.1), marco metálico rígido (10.4), viga metálica atiesada (30.4).

10
Figura 6. Muestra una vista en perspectiva de los componentes del mecanismo de carga lateral (30) que detalla sus componentes y conexiones: viga metálica atiesada (30.4), celdas de carga vertical (30.1), actuadores (30.3) con sus respectivas servoválvulas (30.2) tensores metálicos (30.5), soportes metálicos (30.6).

15
Figura 7. Muestra una vista lateral del dispositivo de ensayos cíclicos con carga axial en muros y conexiones estructurales de acero (1) en el cual se indica la ubicación y se muestra el detalle del sistema de rieles con rodillos (20.4), soportado sobre los marcos metálicos unidos (20.3), que restringen el desplazamiento transversal de la probeta (40)
20 en la parte superior, además de la viga metálica atiesada (30.4).

Figura 8. Describe el sistema de aplicación de cargas. La carga lateral cíclica (H) se aplica mediante el actuador lateral (10.3). La carga axial y el momento flector adicional se aplica mediante el mecanismo de carga vertical, a través de los tensores metálicos articulados
25 (30.5). Estos tensores pueden ejercer una fuerza vertical igual (P1) en cada extremo del muro o una carga diferente en cada extremo ($V1 = P1 + P2$ y $V2 = P1 - P2$).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

30 El dispositivo surge como respuesta a la necesidad de proveer una solución tecnológica a la problemática asociada con el ensayo, caracterización y validación de elementos estructurales, como muros de concreto reforzado o mampostería y conexiones de acero en escala natural, presentados como alternativas para el diseño y construcción sismo resistente de estructuras civiles ante eventos sísmicos de alta afectación. La problemática
35 que surge en este tipo de ensayos consiste en la aplicación simultánea y controlada de cargas de compresión, cargas laterales y cargas de flexión, con magnitudes que representen los efectos reales de un sismo sobre un elemento estructural.

La descripción de la presente invención no pretende limitar su alcance, sino servir como un ejemplo particular de la misma. Se espera que una persona versada en la materia comprenda que las modalidades equivalentes no se apartan del espíritu y alcance de la presente invención en su forma más amplia.

5

Dentro del contexto de la presente descripción, el término “probeta” o “probeta del elemento estructural objeto de ensayo” deberá entenderse como un elemento estructural en escala natural que representa una parte integral de una edificación.

10 El dispositivo objeto de divulgación en la presente memoria presenta una configuración que permite realizar en una misma solución las pruebas para la evaluación del comportamiento mecánico de elementos estructurales. En este sentido, el dispositivo presenta un mecanismo de aplicación de carga lateral (10) soportado en un marco estructural de reacción (20) y un mecanismo de aplicación de carga vertical (30)
15 soportado en el mismo marco de reacción (30). Estos mecanismos permiten la deformación vertical y lateral de los especímenes de elementos estructurales objeto de prueba -probetas- (40), simultáneamente y de forma controlada, mediante la inclusión de actuadores hidráulicos (10.3), (30.3) y servoválvulas electrohidráulicas (10.2) (30.2) de control preciso del flujo hidráulico con el que es alimentado el dispositivo (1) por un
20 sistema de potencia hidráulico (no mostrado en las figuras).

En la modalidad preferida de realización, el sistema de potencia hidráulico externo se compone de bombas hidráulicas, depósito de aceite, tanque de recirculación, válvulas de control de presión y filtros de aceite. Dicho sistema de potencia hidráulico está conectado
25 al dispositivo (1) de la invención, preferiblemente mediante acoples hidráulicos de tipo tubería.

El mecanismo de aplicación de carga vertical (30) comprende los siguientes componentes: una viga metálica atiesada (30.4), al menos dos tensores metálicos (30.5),
30 al menos, dos celdas de carga (30.1), al menos, dos servoválvulas electrohidráulicas (30.2), al menos, dos actuadores hidráulicos (30.3), los cuales son alimentados por un sistema de potencia hidráulico externo (no mostrado en las figuras) donde el fluido es no compresible, y, al menos, dos soportes metálicos (30.6). El sistema de potencia hidráulica externo provee aceite hidráulico a los actuadores hidráulicos (10.3) (30.3) a presión
35 ajustable (entre 500 y 3000 psi) y flujo ajustable (hasta 40 galones por minuto).

En la modalidad preferida de realización, la viga metálica atiesada (30.4), se encuentra reforzada con platinas para evitar el pandeo.

El mecanismo de aplicación de carga vertical (30) presenta una viga metálica atiesada (30.4), conectada en su parte superior a un marco metálico rígido (10.4), que hace parte del mecanismo de aplicación de carga lateral, y en su parte inferior al elemento a ensayar (40).

5

Los extremos de la viga metálica atiesada se conectan mediante conexiones articuladas a un sistema de tensores metálicos (30.5), cada uno unido a una celda de carga (30.1), que mide la fuerza axial transmitida por el tensor, y a un actuador hidráulico (30.3), que aplica la fuerza axial. Los actuadores hidráulicos (30.3) se utilizan para aplicar la carga axial al elemento estructural a través de los tensores (30.5) y para aumentar la flexión producida por la carga lateral. Cada actuador (30.3) se conecta en su parte inferior, mediante una conexión articulada, con un elemento metálico de soporte (30.6) que, además, ayuda a restringir el desplazamiento lateral del elemento estructural (40) y se apoya en el marco estructural de reacción (20.1). Las servoválvulas electrohidráulicas (30.2) permiten el control independiente del flujo hidráulico con el que son alimentados los actuadores hidráulicos (30.3), permitiendo variar la fuerza de cada actuador de manera independiente.

10
15

El mecanismo de aplicación de carga lateral (10) comprende los siguientes componentes: un marco metálico rígido (10.4), al menos una celda de carga (10.1), al menos un transformador diferencial de variación lineal (LVDT) (50.1), al menos, una servoválvula electrohidráulica (10.2) y, al menos, un actuador hidráulico (10.3), el cual es alimentado por un sistema de potencia hidráulico externo (no mostrado en las figuras) donde el fluido es no compresible. El sistema de potencia hidráulica externo provee aceite hidráulico al actuador hidráulico (10.3) a presión ajustable (entre 500 y 3000 psi) y flujo ajustable (hasta 40 galones por minuto).

20
25

El mecanismo de aplicación de carga lateral (10) presenta un marco metálico rígido (10.4), conectado en su parte lateral al actuador hidráulico (10.3) a través de la celda de carga (10.1), y en su parte inferior a la viga metálica atiesada (30.4), que hace parte del mecanismo de aplicación de carga vertical (30). El actuador hidráulico (10.3) aplica el momento flector y la carga lateral cíclica o unidireccional al elemento estructural a través del marco metálico rígido (10.4). La celda de carga (10.1) mide la fuerza aplicada por el actuador (10.3) y el transformador diferencial de variación lineal (LVDT) (50.1) mide la deformación lateral del elemento estructural objeto de prueba (40), generada por la carga medida por la celda.

30
35

La servoválvula electrohidráulica (10.2) permite el control del flujo hidráulico con el que es alimentado el actuador hidráulico (10.3). El control del flujo hidráulico se ejecuta con

referencia en la carga medida por la celda (10.1) o con referencia en la deformación medida por el LVDT (50.1). El actuador (10.3) se conecta al marco estructural de reacción (20.2) mediante una conexión articulada.

- 5 La carga lateral cíclica se aplica mediante el actuador lateral (10.3) el cual reacciona contra el marco de reacción lateral (20.2) y se conecta al marco metálico rígido (10.4), el cual a su vez se conecta a la viga metálica atiesada (30.4) que transfiere el movimiento a las probetas. La carga axial y el momento flector se aplica mediante el mecanismo de carga vertical, a través de los tensores metálicos articulados (30.5). Estos tensores,
10 accionados de manera controlada e independiente por los actuadores (30.3), pueden ejercer una fuerza vertical igual en cada extremo del muro, lo que ocasionaría una simple carga axial de compresión uniforme, o una carga diferente en cada extremo, que correspondería al efecto de la carga axial de compresión más un momento flector adicional, ocasionado por el par de fuerzas.

- 15 El marco estructural de reacción (20) comprende los siguientes componentes: una estructura metálica de reacción vertical (20.1), una estructura metálica de reacción lateral (20.2), dos marcos metálicos unidos (20.3) y rieles con rodillo (20.4) adosados a los marcos metálicos. En la estructura metálica de reacción vertical (20.1) se apoya el
20 mecanismo de aplicación de carga vertical (30) y se apoyan los dos marcos metálicos paralelos unidos (20.3) que restringen el desplazamiento perpendicular al plano de la probeta mediante los rieles con rodillo (20.4). En la estructura metálica de reacción lateral (20.2) se apoya el mecanismo de aplicación de carga lateral (10).

- 25 El elemento estructural (40) se conecta en su parte superior a la viga metálica atiesada (30.4) y en su parte inferior al marco estructural de reacción (20), y se apoya lateralmente en su parte superior sobre los rieles con rodillo (20.4).

- En la modalidad preferida de realización de la invención, para medir las rotaciones y las
30 deformaciones verticales y laterales de los elementos estructurales (40) se dispone de varios transformadores diferenciales de variación lineal (LVDT), potenciómetros, galgas de deformación y un sistema de correlación digital de imágenes (DIC). Los LVDT y los potenciómetros miden el desplazamiento o la deformación entre los extremos de la línea recta sobre la que estén alineados, las galgas de deformación miden las deformaciones
35 unitarias en el área sobre la que estén adheridas y el sistema DIC mide los campos de desplazamiento en el área sobre la que esté dibujado el respectivo patrón aleatorio de puntos.

De este modo, mediante la aplicación controlada de fuerzas y deformaciones por el mecanismo de aplicación de carga vertical (30) y el mecanismo de aplicación de carga lateral (10), las probetas de elementos estructurales (40) son cargadas y deformadas en rotación y en ambas direcciones, vertical y lateral, generando las condiciones de esfuerzo reales en condiciones de servicio como se presentaría durante un evento sísmico real en una estructura.

La configuración de los componentes del dispositivo (1) permite realizar ensayos automatizados, sometiendo a las probetas (40) a una carga lateral unidireccional o a diferentes ciclos sucesivos laterales de amplitud variable o creciente, en ambas direcciones combinadas, hasta alcanzar estados límites sin necesidad de reposicionar las probetas (40) entre cada prueba. De esta forma, se obtiene información detallada del comportamiento estructural bajo diferentes niveles de deformación y con interacción realista con cargas gravitacionales que, eventualmente, experimentarían en servicio los elementos estructurales (40) durante un evento sísmico.

Los valores de fuerza y deformación de los elementos estructurales (40) objeto de medición en el dispositivo de la invención son registrados, en tiempo real, mediante un controlador externo compuesto, por ejemplo, por una tarjeta electrónica de adquisición de datos disponible comercialmente en el mercado y un procesador. El controlador externo (no mostrado en las figuras) adquiere, digitaliza y almacena los datos relacionados con los valores de fuerza y deformación de los elementos estructurales (40).

A su vez, el controlador, mediante instrucciones implementadas por procesador, envía señales digitales a las servoválvulas (10.2) (30.2) para desarrollar, mediante el funcionamiento descrito de los actuadores (10.3) (30.3) las pruebas de deformación y carga de las probetas de elementos estructurales (40).

La configuración de los componentes del dispositivo permite tener una aproximación real y reproducible de estados combinados de esfuerzo sobre los elementos estructurales (40) objeto de prueba, logrando un alto grado de precisión y versatilidad para caracterizar, completamente, el comportamiento mecánico frente a la simulación de eventos sísmicos. También, permite obtener bucles histeréticos completos que representan la energía disipada en cada ciclo por el elemento según la amplitud de deformación lateral. Además, permite analizar la variación de la energía disipada en función del número de ciclos aplicados, para evaluar la degradación por efecto de la carga cíclica acumulada, además de cambios en la rigidez lateral efectiva con niveles crecientes de deformación inelástica.

En conclusión, los ensayos de caracterización del comportamiento mecánico con diferentes niveles de carga y desplazamiento implementados gracias a la configuración de elementos presentada por el dispositivo objeto de divulgación, permite caracterizar, de manera completa y precisa, el comportamiento histerético, la capacidad de
5 deformación y el modo de falla de elementos estructurales como muros de concreto reforzado o mampostería y conexiones de acero, proporcionando datos experimentales de alta calidad para el modelado numérico y la comprensión de su respuesta ante situaciones sísmicas reales. En consecuencia, estos datos experimentales permiten
10 validar y mejorar los modelos computacionales utilizados en el diseño sísmico avanzado de estructuras civiles.

Aunque la presente invención ha quedado descrita con las realizaciones preferentes mostradas, queda entendido que las modificaciones y variaciones que conserven el
15 espíritu y el alcance de esta invención se entienden dentro del alcance de las reivindicaciones.