

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR SÍSMICO UNIAXIAL DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

Gustavo Adolfo Vargas¹

José Esteban Vanegas¹

Peter Thomson¹

Abstract

The catastrophic effects of recent earthquakes have drawn the attention of the civil engineering community to the priority of developing effective means for increasing the seismic resistance of structures. Verification of the performance of new seismic resistant systems requires extensive testing under realistic conditions. Seismic simulators are one of the principal tools used for this type of testing. This paper presents the design and development of a 1.1 m. x 1.5 m unidirectional earthquake simulator for testing small-scale structural models in the Universidad del Valle Earthquake Engineering and Structural Dynamics Laboratory.

Key Words Earthquake simulator, seismic resistance, testing, structural dynamics, structural models

RESUMEN

Los efectos catastróficos de terremotos recientes han llamado la atención de los ingenieros civiles a la prioridad de desarrollar medios efectivos para aumentar la resistencia sísmica de las estructuras. La verificación de la efectividad de nuevos sistemas sismo resistentes requiere amplia experimentación bajo condiciones realistas. Los simuladores sísmicos son una de las herramientas principales para este tipo de experimentación. En este artículo se presenta el diseño y construcción de un simulador uniaxial de 1.1 m. x 1.5 m. para ensayar modelos estructurales de pequeña escala en el Laboratorio de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural de la Universidad del Valle.

PALABRAS CLAVES

Simulador sísmico, sismo resistente, experimentación, dinámica estructural, modelos estructurales

INTRODUCCIÓN

Los eventos sísmicos recientes en nuestro país han incrementado el interés de los ingenieros por desarrollar sistemas para reducir las desastrosas consecuencias de los terremotos, minimizando las pérdidas humanas y materiales. La complejidad en el comportamiento de las estructuras civiles, hace que la experimentación se convierta en un paso fundamental para la evaluación de nuevos sistemas estructurales que reduzcan la vulnerabilidad de las construcciones. La experimentación permite examinar el comportamiento estructural, mejorar modelos analíticos y validar nuevos sistemas constructivos. Los avances que se puedan lograr en este campo investigativo tendrán implicaciones sociales y económicas significativas [Dyke 1998].

Durante los últimos años, se han hecho avances significativos en el diseño e implementación de sistemas de control estructural, a tal punto que dichos sistemas han

¹ Estudiante de Maestría, Universidad del Valle

² Estudiante de Pregrado, Universidad del Valle

³ Profesor Titular, Universidad del Valle

sido diseñados e instalados a escala real en edificios y puentes de países como Nueva Zelanda, Japón y Estados Unidos. Estos sistemas están revolucionando la ingeniería sísmica en el ámbito mundial, sin embargo la falta de experimentación para establecer su desempeño y confiabilidad bajo condiciones reales, hace que los ingenieros sean reacios a usarlos o recomendarlos. Esto mismo sucede con los sistemas estructurales alternativos y las nuevas metodologías constructivas. Por lo tanto es indispensable verificar experimentalmente dichos sistemas en simuladores sísmicos, también conocido como mesas vibratorias, antes de implementarlos en las estructuras.

Este artículo describe el diseño e implementación del simulador sísmico uniaxial del Laboratorio de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural (LINSE), del Departamento de Mecánica de Sólidos de la Universidad del Valle (ver <http://solidos.univalle.edu>). El simulador sísmico uniaxial es una mesa vibratoria que reproduce el movimiento sísmico en modelos estructurales. El diseño y desarrollo del simulador fueron realizados por los autores y se finalizó en octubre de 2000. Con el simulador sísmico uniaxial se pretende contribuir al avance de la ingeniería nacional por medio de la investigación de sistemas de control estructural y nuevos sistemas constructivos, de tal forma que se puedan mostrar los beneficios de estos sistemas y se logre su adaptación a las condiciones propias de nuestro país. El simulador se utiliza para estudiar sistemas de amortiguamiento y aislamiento de base, como también para verificar la eficacia de nuevos sistemas constructivos como los muros en ferrocemento y suelo cemento. Además, es un equipo pedagógico dentro de campos como la Dinámica Estructural y el Diseño Sismo Resistente [Dyke 1997].

DISEÑO DEL SIMULADOR SÍSMICO

El diseño del simulador sísmico tuvo los siguientes objetivos: (1) una mesa vibratoria capaz de reproducir con precisión los movimientos sísmicos en la forma de desplazamientos del suelo (registrados en sismos pasados), mediante un actuador servo-hidráulico controlado con retroalimentación de desplazamiento; (2) un simulador con suficiente sensibilidad para ensayar modelos estructurales de pequeña escala que satisfacen las leyes de similitud (el movimiento del simulador es más rápido que el del prototipo y por lo tanto debe tener capacidades a frecuencias de hasta 50 Hz. [Nagarajah y Gozdowski 1998]); (3) una mesa con la rigidez y masa necesarias para minimizar el efecto de interac-

ción modelo-mesa; (4) un sistema de rodamiento de baja fricción y alta precisión para minimizar efectos no-lineales; (5) un sistema hidráulico con frecuencias naturales de la columna de aceite mayores a 50 Hz.; y (6) un sistema de aislamiento para reducir la transmisión de vibraciones al edificio donde se encuentra ubicado el laboratorio.

DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR SÍSMICO

El simulador sísmico uniaxial que se muestra en la Figura 1, consiste en una placa de aluminio de 1.1 m x 1.5 m montado en cojinetes lineales Schneeberger. La placa de aluminio es desplazada horizontalmente por un actuador hidráulico de 45 KN (10 kip) que tiene servo válvulas duales de 15 gpm cada una. El simulador fue diseñado para operar en un rango de frecuencias de 0-50 Hz, tener un recorrido total de 15 cm, alcanzar velocidades de 90 cm/s, e impartir aceleraciones de 4 g's sobre modelos de 1 tonelada.

Figura 1. Fotografía del Simulador Sísmico

Un área de aproximadamente 120 m² en el primer piso del Edificio 350 de la Ciudad Universitaria Melendez de la Universidad del Valle, fue adecuada para instalar el simulador sísmico y demás equipos del Laboratorio de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural. El simulador y su unidad de potencia hidráulica ocupan aproximadamente la mitad del espacio. En el espacio restante se encuentran los equipos de adquisición/análisis de datos, control y de monitoreo de salud estructural. Los computadores del laboratorio están conectados al Internet mediante la red de Univalle para permitir la transmisión de datos.



Figura 1. Fotografía del Simulador Sísmico

CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR SÍSMICO

El simulador está apoyado sobre una masa de reacción de 47 toneladas para minimizar los efectos de transmisión de vibraciones al edificio (Figura 2). La masa de reacción es una base de concreto reforzado de 4 m. x 3 m. x 1.5 m. aislada del piso, y tiene un pedestal de 3 m. x 1.8 m. x 0.3 m. por encima del nivel del piso que sirve como plataforma al simulador. Para reproducir movimientos sísmicos con precisión es indispensable que la placa de superficie quede en un plano perfectamente horizontal. Por lo tanto, para facilitar la nivelación de la placa de superficie se dispuso de una serie de pernos roscados en el pedestal.

Figura 2. Esquema General

La placa de superficie es una estructura de placas de acero de 1" de espesor, en forma de caja invertida, que cubre el pedestal, y que tiene perforaciones en su parte superior que coinciden con la ubicación de los pernos de nivelación. Después de nivelar la placa de superficie, el espacio que quedó entre el pedestal de concreto y la placa de acero se rellenó con "grouting" auto nivelante de alta resistencia y baja retracción.

En la superficie de la placa de acero se instalaron tres monorrieles Schneeberger de baja fricción y los dispo-

sitivos de apoyo para el actuador hidráulico. La placa de aluminio se conectó a los monorrieles y al actuador hidráulico y éste, a sus apoyos. La placa de aluminio se perforó para instalar bujes roscados de acero de donde se conectan los modelos estructurales a la mesa (Figura 3).

Figura 3. Fotografía del Simulador con Detalle de la Placa de Aluminio

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico consiste en un actuador hidráulico lineal de alto rendimiento, una unidad de potencia hidráulica y un controlador digital. El actuador de Shore Western Inc, tiene dos servo-válvulas duales de 15 gpm cada una, un LVDT interno y fue seleccionado para cumplir con las especificaciones de aceleración, velocidad y rango de frecuencias. La unidad de potencia hidráulica, suministrada por Hyco Ltda., opera a 3000 psi y tiene un caudal máximo de 32 gpm.

El controlador digital del sistema hidráulico fue diseñado en la Universidad del Valle usando un sistema de implementación de control en tiempo real desarrollado por dSpace Inc, que consiste de una tarjeta controlador DS1102 y software para diseñar, simular, e implementar controladores. La tarjeta tiene un procesador digital de

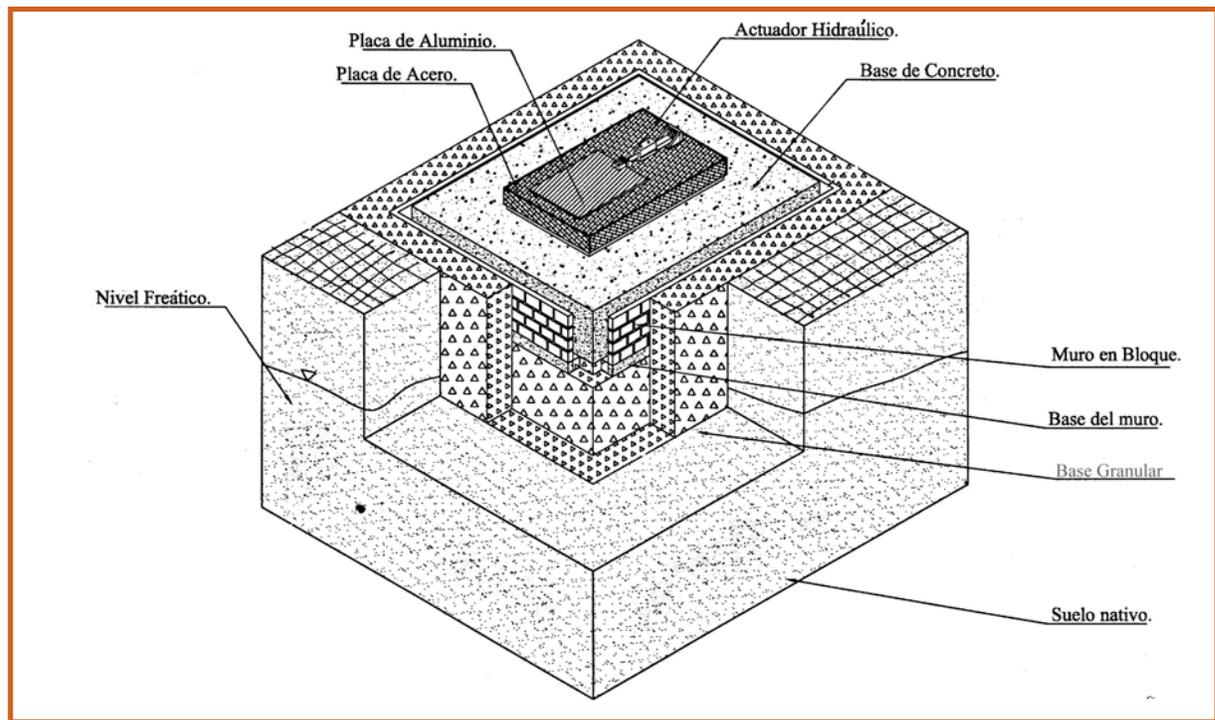


Figura 2. Esquema General



Figura 1. Fotografía del Simulador Sísmico

señales (DSP) basado en el chip TMS320C31 de 60 MHz, dos canales A/D de 16 bits, dos canales A/D de 12 bits, 4 canales D/A de 12 bits, y 16 líneas de I/O digital. Los controladores fueron diseñados en MATLAB/SIMULINK y compilados al DSP usando el Real-Time Workshop. El controlador permite al operario escoger el tipo de ensayo a realizar, incluyendo movimientos senosoidales, barridos, movimientos aleatorios, y formas predeterminadas como registros de movimientos sísmicos.

EQUIPO ADICIONAL

El laboratorio cuenta con un sistema de adquisición de datos de 16 canales de un terminal, u 8 canales diferenciales, con frecuencias de muestreo multicanal agregado de hasta 100 kMuestras/seg, y que opera bajo el software LabVIEW. Además, se cuenta con 8 acelerómetros sísmicos uniaxiales de bajo ruido y alta sensibilidad, 6 acelerómetros de aplicación general, filtros de paso bajo y amplificadores.

CONCLUSIONES

El simulador sísmico de la Universidad del Valle fue diseñado y construido con un esfuerzo significativo de los autores y con un presupuesto moderado. Esta herramienta está concebida para desarrollar investigación en el campo de la dinámica estructural y la ingeniería

sísmica, enfocándose en la verificación y el desarrollo de sistemas de control estructural y la implementación de nuevos sistemas constructivos. Futuros estudios incluirán la verificación y ajuste de los modelos analíticos utilizados para el análisis y diseño sismo resistente en nuestro país. Mayor información sobre el diseño y construcción del laboratorio puede ser obtenida comunicándose con el Dr. Peter Thomson al email: pethomso@mafalda.univalle.edu.co o se puede consultar la página web: <http://solidos.univalle.edu.co>.

AGRADECIMIENTOS

El Laboratorio de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural fue implementado con el apoyo del Departamento de Mecánica de Sólidos de la Universidad del Valle. Se le agradece a las empresas Concretos de Occidente, Cementos del Valle, Dicente, Premolda, Sika Andina, Fablamp y Ferretería Miscelánea por sus contribuciones. Los autores también agradecen a la Doctora Shirley J Dyke, profesora asociada de la Universidad de Washington en St. Louis, por su asesoría permanente, y al ingeniero Juan Martín Caicedo, candidato a Doctorado en la Universidad de Washington, por su colaboración.

REFERENCIAS

- Dyke, S. J., 1997, "Experiences in Integrating Research and Education after the NSF Engineering Education Scholars Workshop," Proc. of the Frontiers in Education
- Conference, Pittsburgh, PA, USA.
- Dyke, S. J., 1998, "Design and Development of the Washington University Seismic Simulator Facility," Proc. 12th Eng. Mech. Conf. '98, ASCE, pp. 762-765, UC San Diego, USA
- Nagarajaiah S y E. Gozdowski, 1998, "Unidirectional Shaking Table for Testing Small Scale Structural Models: Design and Development," Proc. 12th Eng. Mech. Conf. '98, ASCE, pp. 779-782, UC San Diego, USA