

INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA EN PANAMÁ Y PROYECCIONES FUTURAS

Rosalín Méndez¹, Ramiro Vargas²

RESUMEN

Los orígenes de la instrumentación sísmica en Panamá se remontan a la época de la construcción del Canal de Panamá, siendo este país el primero del Hemisferio Occidental que contó con un sismógrafo, el cual fue instalado por la Compañía Universal del Canal de Panamá, el cual registró el terremoto ocurrido en el área de San Blas en 1882 (Instituto de Geociencias - UP, 2011). No obstante, las iniciativas modernas para la instrumentación de las estructuras en Panamá se inician a mediados de los 90's cuando se intensifica la construcción de edificios altos, especialmente en la capital del país, y se regula por primera vez la instrumentación de las estructuras con acelerógrafos.

Es así que desde la emisión del Reglamento para el Diseño Estructural de 1994 (REP-94) se incluye el requerimiento para la instrumentación de estructuras. Cabe destacar que este reglamento toma como referencia guías y estándares norteamericanos, como lo son los del American Concrete Institute, American Society of Civil Engineers, American Institute of Steel Construction, ASTM International, entre otros. Estos estándares han sido adoptados con o sin modificaciones; por esta razón, una revisión de los criterios utilizados en el diseño y construcción de las estructuras, basada en data experimental permitiría calibrar las normativas considerando las prácticas estándares.

Este documento expone la evolución ocurrida en Panamá sobre la instrumentación de estructuras, resultados relevantes que motivaron la actualización de algunas normas, inclusión de nuevas variables que no habían sido consideradas y el establecimiento de necesidades para mejorar la calidad de la información. Además, se describe el estado actual y la propuesta para el desarrollo del proyecto cuyos resultados deben impactar en el mejoramiento de las metodologías de diseño y prácticas de construcción.

Palabras claves: Monitoreo estructural, instrumentación sísmica, acelerógrafos, espectro, respuesta estructural.

¹ Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, rosalin.mendez@utp.ac.pa

² Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, ramiro.vargas@utp.ac.pa

1 INTRODUCCIÓN

En 1976, la Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos (SPIA) divulgó el primer documento de tipo normativo para el diseño estructural en Panamá. En 1981, dichas guías fueron actualizadas y, finalmente, en 1984 aparece el primer Reglamento para el diseño estructural en la República de Panamá (REP-84). Hasta este momento dichos documentos no incluían guías sobre la instrumentación de edificios; sin embargo, en 1994 se publicó una nueva versión del reglamento (REP-1994) donde se le da carácter legal a la instrumentación de estructuras mediante la instalación de acelerógrafos. Más tarde, la Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura (JTIA) emitió la Resolución N° 365, del 9 de diciembre de 1998, por la cual se adoptan las normas de instrumentación sísmica (Méndez, 2010). Más recientemente, con la emisión de la Resolución N° 60, del 26 de junio de 2013, se actualiza y se adoptan las modificaciones realizadas a la Resolución N° 365.

Luego de casi 20 años de experiencia en la instrumentación de edificios y más de 250 edificios instrumentados, podemos observar en retrospectiva un proceso de continuo aprendizaje que ha llevado a realizar ajustes y actualizaciones, no solo en normativas, sino en equipamientos y estrategias para la captura y el análisis de la información. La siguiente figura ilustra la cantidad de edificios que están instrumentados, de los cuales, la mayor parte de ellos están en el rango de alturas de 15 a 36 niveles.

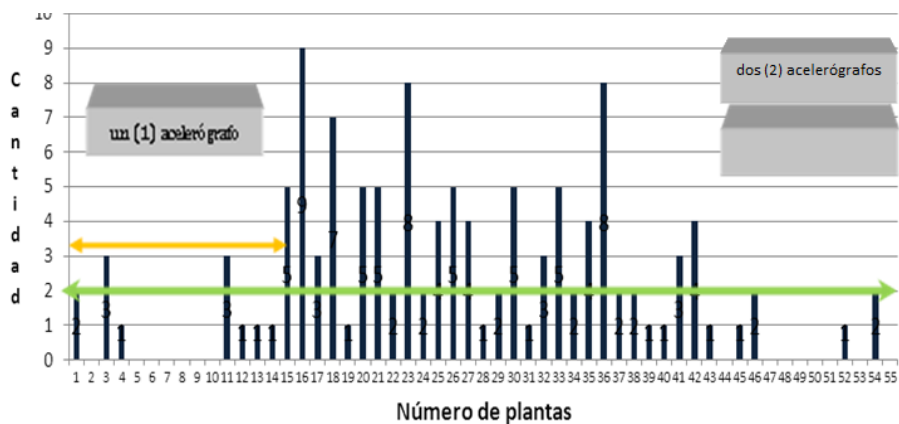


Figura 1. Cantidad de edificios por número de plantas, hasta mayo 2010 (Vargas, 2013).

Este proceso de instrumentación de edificios ha sido impulsado por el interés de caracterizar un sistema estructural híbrido y único en nuestro país. Se espera contar con modelos calibrados para aproximar la respuesta real de la estructura ante los efectos de un sismo, los cuales no solo dependen de la respuesta máxima, sino de la duración del evento y el número de ciclos con derivas significativas. Este sistema estructural típico adoptado de manera generalizada para el diseño y construcción de edificios con alturas que superan los 40 niveles, atiende las demandas de fuerzas laterales con un sistema de columnas y muros cortantes, y conceptualiza las losas postensadas como placas que distribuyen dichas fuerzas inerciales al sistema lateral resistente. Otro aspecto

interesante, acerca de los sistemas constructivos utilizados en nuestro país, es el sistema de particiones; al respecto, no existe un criterio uniforme acerca del sistema de acople de las mismas al sistema estructural. Adicionalmente, el REP-2014 permite el uso de sistemas alternativos, diferentes a particiones conformadas por mampostería de concreto o de arcilla, que se utilizan tradicionalmente en la construcción.

Considerando lo anterior, a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) a través del Centro Experimental de Ingeniería le ha sido encomendada la responsabilidad administrar la red nacional de acelerógrafos, con el objetivo de estudiar la dinámica de los edificios instrumentados, validar las asunciones acerca de su comportamiento, y cuantificar la influencia de las condiciones geológicas y los elementos que forman parte del sistema no estructural. El alcance de este programa de instrumentación incluye edificaciones históricas, facilidades esenciales e instrumentación a campo abierto (Vargas, 2012).

1.1 Datos relevantes de la norma de instrumentación sísmica vigente

Mediante la Resolución N°60, del 26 de junio de 2013, se adoptan las modificaciones a la norma de instrumentación sísmica que estaba vigente desde 1998. El concepto más relevante que se incluye en esta nueva versión de la norma es la creación del Programa de Instrumentación Sísmica (PINS) mediante el cual se establecerá y administrará un sistema de instrumentación con arreglos multisensores.

En el Anexo de la norma, se faculta a la UTP para que desarrolle estudios en las siguientes líneas de investigación:

1. Instrumentación a campo abierto:
 - a. Desarrollo de relaciones de atenuación.
 - b. Calibración de factores de amplificación dinámica y/o coeficientes de sitio.
 - c. Caracterización de propiedades dinámicas de suelos.
 - d. Obtención de espectros de respuesta de sitio.

2. Instrumentación de edificaciones:
 - a. Caracterización de propiedades dinámicas de edificaciones.
 - b. Evaluación de respuesta global de edificaciones.
 - c. Estudio de la interacción suelo-cimentación-estructura.
 - d. Estudio del comportamiento dinámico de elementos no estructurales.

Adicionalmente, se propone que los estudios que se vayan a efectuar en edificaciones instrumentadas se realicen considerando los siguientes parámetros:

- a. Tipo de estructuración
- b. Condiciones geotécnicas del sitio
- c. Sismicidad
- d. Período de vibración fundamental de la edificación

2 ESTUDIOS REALIZADOS

A la fecha se han efectuado algunos estudios que de alguna manera orientaron el diseño de la actual norma de instrumentación sísmica. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes de las investigaciones más recientes.

En 2010, se realizó el estudio “Evaluación de la Respuesta de edificios con instrumentación sísmica” (Méndez, 2010), cuyo objetivo fue estudiar comparativamente las respuestas de aceleraciones de 4 edificios instrumentados en la base y en la azotea con respecto a un modelo analítico, y de acuerdo a la metodología de diseño del reglamento para el diseño estructural vigente durante el estudio, es decir el REP-2004. Dicha comparación se realizó calibrando el primer modo de vibración de un modelo matemático suficientemente complejo. Este estudio reveló que la información obtenida de edificios instrumentados, de acuerdo a la norma de instrumentación previa, con acelerógrafos en la base y en la azotea, no era suficiente para caracterizar un modelo analítico de la estructura. Adicionalmente, en este estudio se utilizaron modelos basados en aproximaciones de elementos finitos, la cual es una metodología bastante fina y compleja considerando la información disponible. En cuanto a la instrumentación instalada, esta solo puede registrar modos de traslación en la base y la azotea; por lo tanto, no es capaz de captar modos rotacionales o modos de los pisos intermedios. Entre las recomendaciones del estudio estuvo realizar un análisis de sensibilidad para identificar factores que afectan la respuesta de una estructura y de esta forma considerarlos o controlarlos en análisis posteriores. También se recomendó confeccionar diccionarios que describan el comportamiento de la estructura ante la variedad de excitaciones que se puedan dar como parte de su uso o ante eventos extraordinarios, como lo es un sismo. En otra línea, se hace énfasis en la importancia de realizar estudios a campo abierto para definir funciones de atenuación, caracterizar respuestas de sitio y de sismicidad locales, así como las frecuencias dominantes del terreno y cómo se modifican debido al efecto de interacción suelo-estructura.

Seguidamente, en el mismo año se publicó el estudio “Cartografía de los parámetros sísmicos en ingeniería estructural para la ciudad de Panamá” (Solís, 2010), el cual presenta mapas de isolíneas y pixeles con la distribución de amplitudes máximas de aceleraciones, velocidades, desplazamientos y análisis de Fourier. Este estudio se basó en la data colectada debido a un sismo ocurrido en el 2009 en la ciudad de Panamá, e hizo algunas comparaciones de acuerdo con las pautas del reglamento vigente de la época. Considerando las disposiciones de la norma de instrumentación, al momento de este estudio solo se contaba con acelerógrafos instalados en las bases de los 21 edificios estudiados; por lo tanto, se asumió que dichos dispositivos representaban la respuesta del suelo y sin considerar la influencia del efecto suelo - estructura. Este estudio es la primera aproximación para establecer un procedimiento para representar la distribución geográfica de parámetros de respuesta máximas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos; así como de frecuencias de Fourier en la región de la ciudad de Panamá. Esta información es de importancia para observar en qué medida las frecuencias fundamentales del terreno se aproximan a los criterios indicados en la normativa, y cómo estos parámetros influyen en la respuesta estructural de las edificaciones. Otro parámetro de importancia que se hizo evidente en este estudio, es que se debe incluir en la instrumentación de las estructuras dispositivos de medición adicionales que permitan

capturar la presencia de distorsiones en los cimientos de los edificios debido a las heterogeneidades del subsuelo.

Más recientemente, se efectuó un estudio denominado “Prototipo de estación de registro de señales sísmicas de aceleración a campo abierto para el programa de instrumentación sísmica de la República de Panamá” (Tribaldos, 2014). Este estudio estuvo enfocado en el diseño de un prototipo de estación a campo abierto, para el registro simultáneo de señales tanto en la superficie del terreno como a nivel de roca, con el fin de generar las funciones de atenuación del suelo. Además, sin considerar el aspecto económico, se indican una serie de requerimientos que son esenciales para seleccionar la ubicación de las estaciones a campo abierto y así garantizar el mayor aprovechamiento de la información que se colecte.

3 PERSPECTIVAS FUTURAS

El desarrollo metropolitano de Panamá provocó que la instrumentación de estructuras esté concentrada en la capital del país, siendo esto un inconveniente para la organización de una red nacional para el monitoreo estructural de los edificios (Vargas, 2012). La acogida de la propuesta de la UTP para la modificación de la Norma de Instrumentación Sísmica, abre la oportunidad para un sistema que contemple parámetros generales para la caracterización de las estructuras, como lo son las condiciones particulares del sitio, tipo de sistema constructivo, entre otras.

En la práctica, el criterio utilizado en el diseño de estructuras considera como sistema portante las losas, vigas, columnas y muros cortantes, despreciando la contribución o el efecto que los elementos de particiones tienen en el comportamiento estructural; no obstante, estos elementos de mampostería están acoplados a los elementos estructurales. Examinar las particularidades de este método constructivo y el sistema estructural típico, se hace necesario para la caracterización y seguimiento de planes de mejoras y actualización de nuestras normativas de diseño.

Producto de la nueva normativa, existe una estructura de cuatro niveles, instrumentada con 16 acelerógrafos, marca Kinematics, modelo ETNA y Geosig, modelo GSR-16, cada uno con capacidad de registrar en tres componentes ortogonales. Se trata de un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de David, provincia de Chiriquí, en una de las zonas más sísmicamente activas del país. El edificio recientemente fue objeto de una evaluación patológica por parte de la UTP, debido a deterioros observados posterior a movimientos sísmicos de magnitud moderada.

En la Figura 2 se ilustra el modelo analítico calibrado con data de campo para evaluar la condición actual de la edificación. Es importante señalar que la estructura es de concreto reforzado, con paredes perimetrales de bloques de concreto e internas en su mayoría de material liviano con paneles de yeso. Además, se puede apreciar que la estructura tiene una forma irregular, simétrica alrededor del eje Y, y asimétrica alrededor de X. Los acelerógrafos instalados en el edificio fueron distribuidos de la siguiente manera:

- 3 acelerógrafos Etna en el sótano del edificio
- 3 acelerógrafos GSR-16 en la planta baja del edificio (N00)
- 3 acelerógrafos GSR-16 en nivel 01 del edificio (N01)
- 3 acelerógrafos GSR-16 en nivel 02 del edificio (N02)
- 2 acelerógrafos GSR-16 y
- 2 acelerógrafos Etna en nivel 03, azotea del edificio (N03)

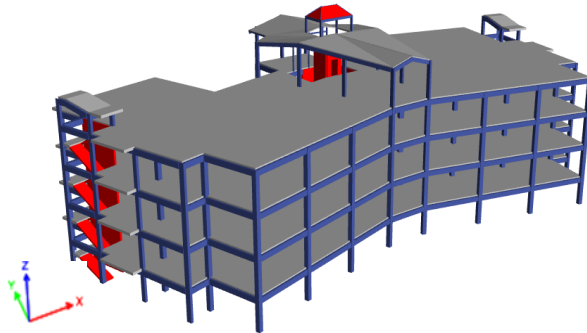


Figura 2. Modelo analítico de la estructura elaborado mediante el programa ETABS v9.7.1

Estos acelerógrafos se encuentran operativos y colectando datos. Hasta el momento se han generado los prototipos de espectros de respuesta de la estructura instrumentada, y se busca observar su comportamiento ante eventos sísmicos de mayor intensidad.

En cuanto al programa que espera desarrollar la UTP, relacionado con la red nacional de instrumentación sísmica, se ha propuesto que este sea dividido en tres fases:

- Etapa 1. Red urbana de la ciudad de Panamá, que considera la instrumentación existente e incluye la ampliación de la cobertura actual.
- Etapa 2. Red nacional de movimientos fuertes, con estaciones de monitoreo a campo abierto en diferentes puntos alrededor del país.
- Etapa 3. Instrumentación de estructuras en las principales ciudades del país.

4 CONCLUSIONES

La norma de instrumentación sísmica en Panamá ha sido un respaldo importante para el proceso de organización de la red para el monitoreo de estructuras y movimientos fuertes en el territorio nacional. El proyecto ya está en fase de ejecución y se han obtenido resultados que han permitido realizar ajustes y orientar mejor los objetivos del programa.

Los esfuerzos actuales están dirigidos a el desarrollo de la red nacional de movimientos fuertes, perfeccionando y ampliando la cobertura de la red, estableciendo estaciones de monitoreo a campo abierto, e instrumentando estructuras representativas de nuestro sistema portante típico, estructuras históricas y facilidades esenciales, como lo son hospitales y escuelas.

Por lo tanto, una vez completado este proyecto se contará con una poderosa herramienta que permitirá comprender el comportamiento de las estructuras, calibrar modelos analíticos que pueden ser utilizados para predecir su desempeño ante diferentes escenarios y amenazas, o tomar decisiones acerca de las necesidades de rehabilitación de una edificación. Adicionalmente, se obtendría datos para evaluar y ajustar criterios que actualmente son utilizados en el diseño y construcción de estructuras.

REFERENCIAS

- ACI Committee 318. (2008). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Instituto de Geociencias - Universidad de Panamá. (2011). *Instituto de Geociencias - Universidad de Panamá*. Recuperado el 30 de octubre de 2017, de Instituto de Geociencias - Universidad de Panamá: <http://www.geocienciaspanama.org/informacion-general-2>
- Méndez, R. D. (2010). *Evaluación de la Respuesta de edificios con instrumentación sísmica*. Facultad de Ingeniería Civil. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- REP-2014. (2014). *Reglamento Estructural Panameño*. Panamá: Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura. Comisión permanente del Reglamento Estructural Panameño.
- Solís, J. (2010). *Cartografía de los Parámetros Sísmicos en Ingeniería Estructural para la Ciudad de Panamá*. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Tribaldos, R. A. (2014). *Prototipo de estación de registro de señales sísmicas de aceleración a campo abierto para el programa de instrumentación sísmica de la República de Panamá*. Facultad de Ingeniería Civil. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Vargas, R. (2012). Instrumentación sísmica de edificios en Panamá. Evolución histórica y perspectivas futuras. *Mente & Materia*(3), págs. 8-10.