

RED NACIONAL DE MOVIMIENTOS FUERTES (RNMF) UTP: ACELERÓGRAFOS DENTRO DE EDIFICIOS Y A CAMPO ABIERTO EN PANAMÁ.

Lic. Jaime Toral Boutet, MSc (Investigador Especial)
Ing. Carlos A. Ho (Ingeniero investigador)

RESUMEN

La instrumentación sísmica en edificios es una técnica cuantitativa de vanguardia experimental utilizada en ciertas ciudades y muchos países del mundo. El Reglamento Estructural Panameño (REP) estableció obligatoriamente la "Norma de Instrumentación Sísmica". Desde 1999 la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) realiza la instalación y análisis de los acelerógrafos de todos los edificios que requieren instrumentación. La historia del desarrollo indica que el primero fue el edificio #1 sede Víctor Levy Sasso, UTP.

Evaluamos la contribución de información de los 36 edificios con acelerógrafos activos y monitoreando eventos sísmicos actualmente, resultado de la extracción de datos in situ. Debido a la dependencia de grandes proyectos solo en la ciudad de Panamá y que era requerido complementar los estudios dentro de los edificios, mezcla de respuestas del suelo y de las estructuras, al paso ondulatorio externo, se ha extendido el monitoreo a otras partes del país, conformando una Red Nacional de Movimientos Fuertes (RNMF). Con este tipo de parámetros básicos presentamos los primeros mapas de isosistas e iso-aceleraciones instrumentales en Panamá, el evento más fuerte hasta ahora en campo libre en David con 0.11g, y 0.13 g dentro de estructuras en Ciudad de Panamá. También, presentamos estimaciones de las frecuencias fundamentales y la amplificación sísmica del subsuelo bajo edificios en sitios instrumentados en Azuero.

Además, se están evaluando los niveles de aceleración entre el sótano y azotea, la duración de la aceleración efectiva a cierto nivel, y los desplazamientos orbitales en la cima de edificios según el historial e incremento del evento. También se transforman los acelerogramas temporales a modelos de respuesta espectrales (al 5 %) y se compararan con curvas de diseño para las zonas correspondientes. Se indica la forma de extraer el periodo fundamental de los edificios mediante la amplitud de Fourier (uni-axial) para los componentes transversales y longitudinales de las estructuras instrumentadas con registros de buena relación señal-ruido. También, el de los suelos con el radio espectral (Nakamura), ejes horizontales respecto al vertical.

Palabras Claves: Acelerógrafo, Acelerograma, Movimiento Fuerte, Microtremor, Espectro, Respuesta y Amortiguamiento.

ABSTRAC

The seismic instrumentation in buildings is a quantitative technique of experimental vanguard used in certain cities and many countries of the world. The Panamanian Structural Regulation (REP) obligatorily established the "Norm of Seismic Instrumentation". From 1999 the Technological University of Panama (UTP) makes the installation and analysis of the accelerograph of all the buildings that require instrumentation. The history of the development indicates that first #1 building was the head office Víctor Levy Sasso, UTP.

We at the moment evaluated the contribution of information of the 36 buildings with active accelerograph and monitoring seismic events, product of the extraction of data in situ. Due to the dependency of great projects only in the city of Panama and that was required to complement the studies within the buildings, combination of the ground response and the structures, to the external ondulatory behavior, the monitor to other parts of the country has extended, conforming a National Network of Strong Motion (RNMF). With this type of basic parameters, we presented the first maps of instrumental iso-accelerations in Panama, with the event more strongest free field until now is in David, Chiriqui with 0.11g, and 0,13g inside building in Panama City. In addition, we displayed estimations of the fundamentals frequencies and the seismic amplification of the subsoil below building in instrumented sites in Azuero.

In addition, the levels of acceleration between the basement and roof are being evaluated, the orbital duration of the effective acceleration, and displacements in the top of buildings according to the time history of the event. Also, the

accelerograms in the time domain are change to models of spectral response (to 5 %) and they were compared with curves of design for the corresponding zones. It is discussed, the form to extract the fundamental period of the buildings by means of the amplitude of Fourier for the transversal and longitudinal components of the instrumented structures with good signal to noise record, and the spectral radius (Nakamura) for the soils, horizontal respect the vertical.

Keywords: Accelerograph, Accelerograms, Strong Motion, Microtremor, Spectrum, Response and Damping.

1 INTRODUCCIÓN

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) a través del Centro Experimental de Ingeniería (CEI) es el ente responsable a nivel nacional de la administración de la Norma de Instrumentación Sísmica de Edificios, según lo establece obligatoriamente el Artículo 1.8.4 del Reglamento Estructural Panameño, REP 94. En este contexto, la función de la UTP consiste en certificar la ubicación y cantidad de acelerógrafos en un edificio según el diseño arquitectónico, el de aceptar la compra del instrumental por la empresa constructora, instalarlos y dar mantenimiento vitalicio. Paulatinamente recuperar y procesar acelerogramas, así como analizar la respuesta dinámica de los edificios instrumentados de contar con registros útiles. La realización de las tareas para aprobar tanto el permiso de construcción como el de ocupación ha sido principalmente con el Municipio de Panamá. En los últimos años, desde que entró en vigencia la Norma, en agosto de 1999, se ha logrado coleccionar una cantidad importante de registros entre los 37 edificios instrumentados en Ciudad de Panamá y 2 en David, a mediados del 2005.

Esta Norma de Instrumentación surge como inquietud de parte del Comité del Reglamento Estructural, elevada a la Junta Técnica (JTIA) de la SPIA, debido a la falta de información sobre el desempeño sísmico de los edificios altos, con losas postensadas y que son muy utilizadas en las edificaciones panameñas desde finales de la década de los 80. Existía incertidumbre entre los parámetros y materiales de los edificios rígidos de Panamá, considerando entre los objetivos el de conocer el desenvolvimiento dinámico de tales sistemas estructurales, y la manera en que las paredes arquitectónicas

interactúan con la estructura durante un fuerte sismo. Otro objetivo de gran relevancia es el de establecer y verificar los coeficientes sísmicos dados en el REP.

Dentro del desarrollo de proyectos de mega-edificios en todo el país, los más importantes se llevan a cabo en la Ciudad de Panamá. Debido a este crecimiento particularmente localizado, la normativa actual ha conducido a una alta densidad de instrumentación en estas áreas, y excluido prácticamente el resto del país.

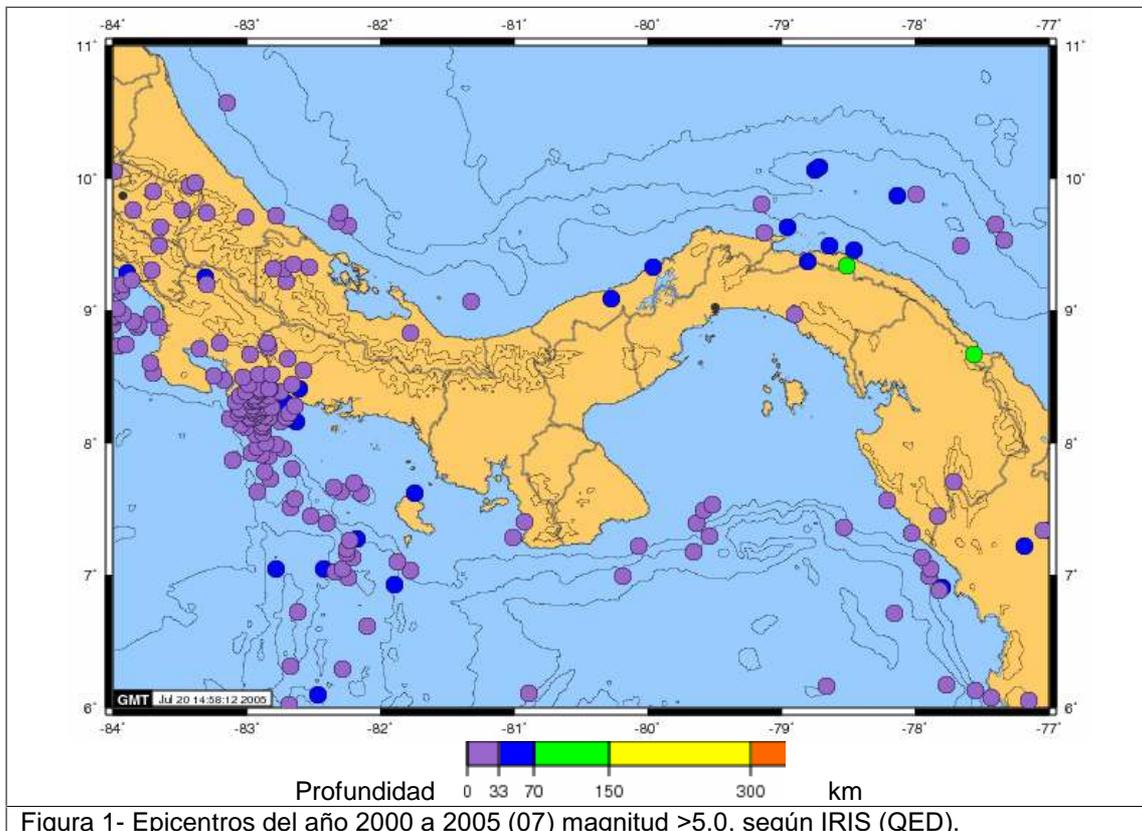
Por esto último y a que falta conocer en la propia Ciudad de Panamá la aceleración a más de 20 m entre edificios altos, el contenido de frecuencias y la variación en amplitud con la trayectoria, se requiere de una Red en Campo Abierto. Esta es necesaria ya que complementa el análisis de los edificios y permite a la vez coleccionar información sobre el tipo de fuente sísmica, propiedades particulares de su generación, más la dirección de los esfuerzos transitorios de sitio. Se contempla la necesidad del Campo Libre para abarcar una distribución espacial por áreas críticas de la energía esperada, estimar la absorción de aceleración por la corteza, y la duración significativa de los eventos, como factores tan importantes como el conocimiento de la respuesta de diseño.

Actualmente la Norma, con base legal, regula desde 1999 toda nueva construcción. Establece que debe colocarse 1 acelerógrafo en línea vertical según el número de plantas (≥ 15 a 20 niveles) o en función del área cerrada de construcción ($> 1/2$ Ha), y 2 acelerógrafos máximo en los extremos de un edificio ≥ 21 pisos, entre la base (sótano) y la última planta (azotea). Con esta Norma implementada por la FIC, y vigente con el CEI se ha logrado instalar a la fecha, 39 sitios entre centros comerciales

y edificios residenciales y de oficina. En total se operan 64 unidades instaladas, en un 50 % con un solo acelerógrafo, y el resto con dos. Todos los aparatos están activos y monitoreando permanentemente eventos sísmicos no usualmente percibidos ni sentidos por la población. Se le da mantenimiento con visitas rutinarias para extraer datos in situ. Adicional a esto, se han colocado instrumentos en 5 extensiones y centros regionales de la UTP, 3 con acceso en tiempo real vía Internet.

2 PREÁMBULO SISMO TECTÓNICO

El Istmo de Panamá dentro de un Bloque Tectónico rígido e independiente, se caracteriza por generar sismos ocasionales fuertes en ambos bordes oceánicos, Caribe y Pacífico, hasta un máximo probable de magnitud 7,8. La sismicidad del país de magnitud mayor de 5 en los últimos 5 años se aprecia en la Figura 1. En donde por la profundidad detectada (~ 80 km) y estilo de ciertos eventos se manifiesta incomprensión a sacudidas de diferente carácter y duración energética, mecanismos de ruptura, el ancho de pulsos de corto y largo periodo, y los efectos potenciales a ejecutarse para deteriorar las edificaciones nacionales actuales.



La mayor amenaza histórica de Panamá Central obedece a dos terremotos con daños dispersos en mayo de 1621 y septiembre de 1882, así como por otros que han impactado fuertemente en promedio cada 30 años, sumado a una reactivación

anual reciente de fallas circundantes. Por ello, se requiere coleccionar más datos de sismos grandes y significativos para lograr resultados según los objetivos por lo cual se implementó esta Norma. Sin embargo, la poca frecuencia de sismos fuertes que

repercuten en la Ciudad de Panamá, donde se concentra más del 95% de estos instrumentos conlleva la espera en años para contar con variedad de acelerógramas representativos, cercanos y con fuerza, mas buena calidad señal-ruido para análisis dinámicos concluyentes. También, otro inconveniente por el número limitado de instrumentos máximos por altura (dos), es poder conocer los desplazamientos, modos y variación entre los pisos intermedios. Indudablemente entre la cantidad de registros recuperados hasta ahora, se muestra a la región occidental del país, en David Chiriquí, como una zona de alta y frecuente sismicidad.

3 INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS EN PANAMÁ.

Desde que se implemento la Norma de Instrumentación se han equipado 39 edificios, de los cuales 37 están en sectores muy específicos dentro de la Ciudad de Panamá y 2 en las afueras de David. El edificio No.1 de la UTP en su sede central Víctor Levy Sasso, denominado Se1, fue el primero instrumentado en todo el país, aún cuando no lo requería. El de mayor altura es de 52 pisos en la Avenida Balboa. La Tabla 1 resume estos según código de control, fecha de instalación, marca, arreglo y número de pisos. Sin embargo, se cuenta con un potencial de datos (Fig. 2) para: analizar y evaluar cualitativamente el comportamiento de los edificios en Ciudad

de Panamá frente a las acciones sísmicas, enfatizando su aspecto resistente. Además, diagnosticar las patologías arquitectónicas y estructurales de las edificaciones; proponer sistemas y tipologías de edificaciones que conjuguen aspectos constructivos, arquitectónicos y estructurales que definan un buen desempeño sismo-resistente, acorde con el avance tecnológico y económico en Panamá. Así como modificar criterios de diseño estructural con la ayuda de la instrumentación.

En el edificio Se-1, de 4 plantas, se logró registrar y analizar con dos acelerógrafos digitales de 12 bits, el fuerte sismo del precarnaval de febrero 26 de 2000, originado a 120 km de la ciudad Capital. A la fecha, más de 300 registros digitales de acelerogramas triaxiales y unos 50 eventos, muchos débiles y/o distantes, el mayor con magnitud Mw 6.5 en territorio nacional, han sido recopilados y procesados en parte. El evento más fuerte detectado hasta ahora en campo abierto ha sido en David, con un 11 % de aceleración horizontal, equivalente a una intensidad Mercalli de VI, a raíz del sismo de febrero 4 del 2004, Mw 6,1, originado cerca de Puerto Armuelles. Actualmente, el record máximo de aceleración registrada en un edificio es en la Ciudad de Panamá, cuando alcanzó 127 cm/s^2 (0,13 g) por un sismo de magnitud Mw 5,4 en agosto del 2003, en la costa Caribe a 60 km de distancia epicentral.



Figura 2- Distribución de Edificios instrumentados en Ciudad de Panamá, en 2005.

Los acelerógrafos UTP están en capacidad de registrar parámetros del historial de las aceleraciones por un sismo dentro de una estructura ingenieril. Revelar el periodo fundamental de las edificaciones, la función del incremento en la duración según la altura, y los desplazamientos orbitales en la cima. Su transformación al dominio espectral ofrece información adicional sobre los espectros de respuesta y poder comparar con las curvas de diseño para distintas partes del país. Así, se pueden extrapolar criterios sobre un buen o mal

diseño estructural, pudiéndose recomendar los correctivos para mejorar la seguridad.

Los sistemas constructivos más utilizados en Panamá no están claramente tipificados o son híbridos, pues constan de losas planas o delgadas postensadas y con Muros Cortantes. Ahora se cuenta por primera vez con datos para comparar cuantitativamente la demanda y la capacidad de los complejos edificios altos. También, para ciertas estructuras disponibles, es evaluar la aceleración y los espectros de respuesta de entrada en la base [1].

Tabla 1- Sitios instrumentados por fecha, tipo de acelerógrafos, interconexión y terreno.

CÓD	FECHA	# Plantas	MARCA	Cant.	ARREGLO	Eventos	TERRENO
Se- 2	2001-09	30	KMI Etna	2	Sótano y azotea	38	Suelo firme y roca
Se- 3	2002-03	17	KMI Etna	1	Azotea	39	---
Se- 4	2002-05	28	KMI Etna	2	Sótano y azotea	14	Suelo blando
Se- 5	2002-05	34	KMI Etna	2	Sótano y azotea	38	---
Se- 6	2002-06	4	KMI Etna	1	Medio	32	Roca
Se- 7	2002-06	2	Syscom MR2002	1	Azotea	15	---
Se- 8	2002-08	28	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	19	Roca
Se- 9	2003-01	25	KMI Etna	1	Azotea	32	Roca
Se-10	2003-01	17	KMI Etna	1	Azotea	1	Firme
Se-11	2003-04	24	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	10	---
Se-13	2003-03	20	KMI Etna	2	Sótano y azotea	26	Roca
Se-14	2003-06	42	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	4	Roca
Se-15	2003-08	46	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	6	Roca
Se-16	2003-08	36	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	5	---
Se-17	2003-09	17	Syscom MR2002	1	Azotea	11	---
Se-18	2003-09	24	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	4	Roca
Se-19	2003-10	52	KMI Etna	2	Sótano y azotea	8	---
Se-20	2004-01	29	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	2	---

Se-21	2004-01	14	Syscom MR2002	1	Azotea	5	---
Se-22	2004-03	17	Syscom MR2002	1	Sótano	3	---
Se-23	2004-05	10	Syscom MR2002	1	Sótano	1	---
Se-24	2004-05	20	Syscom MR2002	1	Sótano y azotea	2	Firme
Se-25	2004-08	22	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	5	---
Se-26	2004-08	30	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	2	Relleno
Se-27	2004-11	21	KMI Etna	1	Sótano	0	---
Se-28	2005-01	36	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	0	---
Se-29	2005-01	16	Syscom MR2002	1	Sótano	0	Roca
Se-30	2005-02	11	KMI Etna	1	Sótano	3	Roca
Se-31	2005-03	33	KMI Etna	2	Sótano y azotea	0	---
Se-32	2005-04	24	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	0	Roca
Se-33	2005-04	18	Syscom MR2002	1	Sótano	0	Roca
Se-34	2005-04	16	KMI Etna	1	Sótano	0	Roca
Se-35	2005-07	28	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	0	---
Se-36	2005-07	12	Syscom MR2002	1	Sótano	0	---
Se-37	2005-07	16	Syscom MR2002	1	Sótano	0	---
Se-38	2005-07	14	KMI Etna	1	Sótano	0	---
Se-39	2005-07	22	Syscom MR2002	2	Sótano y azotea	0	---
TOTAL	---	---	---	56	---	---	---
L							

Se tiene una propuesta de modificación a la Norma actual en la CAPAC, de manera que se considere un número finito de edificios. Habría en el interior del país ciertos edificios-modelos, escogidos según centros

urbanos representativos, el sistema estructural y arquitectónico, las alturas y fundaciones sobre geología o terreno de contrastes.

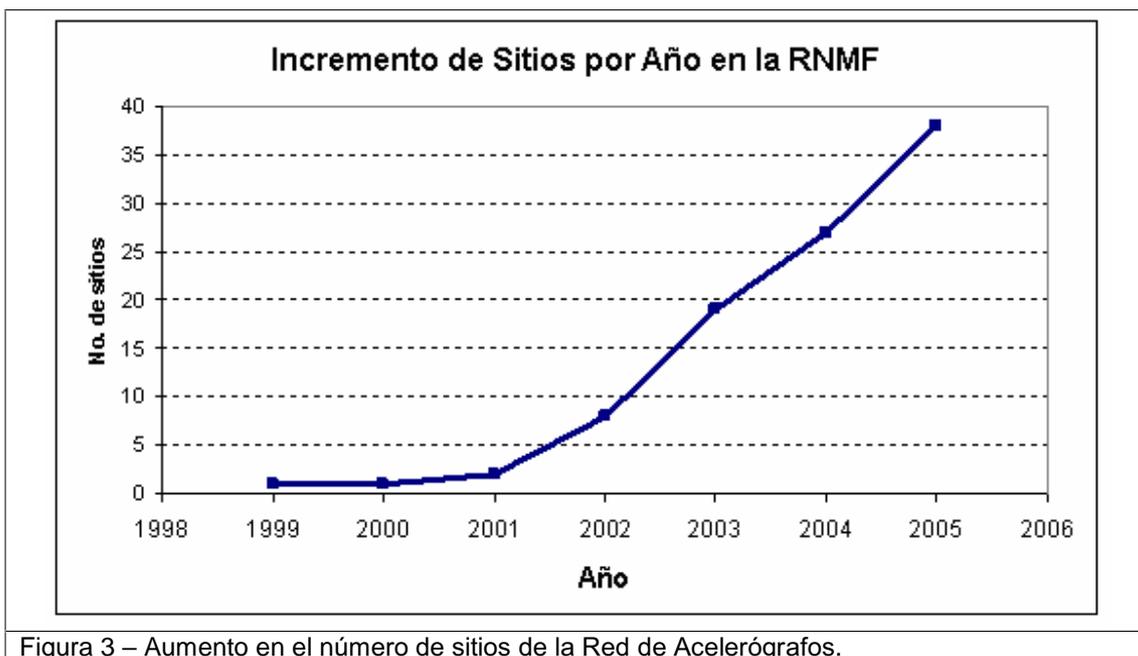


Figura 3 – Aumento en el número de sitios de la Red de Acelerógrafos.

La fase actual de la Normativa se visualiza y prevé en pleno desarrollo y en evolución (Fig. 3). Se adapta el incremento según la economía nacional, la cual es aleatoria para edificar y por tanto adquirir instrumentos para la UTP. Se distingue una configuración de activación automática, duración del registro entre el sótano y el nivel superior, y poder contar con más eventos de análisis si se dispone el arranque maestro por las señales desde las azoteas, donde se percibe mayor movimiento. Actualmente se ingresan datos básicos de la instrumentación en nuevas construcciones, mediante la localización por coordenadas geográficas, espaciamiento de red (Fig. 4), la fecha de instalación, orientación, con mejoras en la resolución y ajuste del tiempo. Además, la clasificación de señales y su adecuado agrupamiento en formatos de formas de ondas multiuso, comparación y preparación de listados, mas la búsqueda técnica de parámetros sismológicos y estructurales.

4 RED NACIONAL DE MOVIMIENTOS FUERTES RNMF- CAMPO ABIERTO

El término “fuerte” refiere a vibración sísmica del terreno, que sacude o mueve los cimientos de las estructuras, objetos y las personas de una forma violenta poco usual. Por “movimiento” entendemos traslación temporal, con desplazamientos, velocidad, aceleración y duración desarrollada por un sismo. Una Red Nacional de Movimientos Fuertes (RNMF) esta basada en el empleo de acelerógrafos distribuidos por todo el país. Medir aceleración pretende detectar y evaluar los cambios bruscos de la velocidad, y que potencialmente ponen en riesgo a las estructuras creadas por el hombre.

Las mediciones y estimaciones pretenden conocer la posibilidad de un temblor que se exceda en fuerza, y exista desconocimiento de la distancia a las fuentes sismo-generadoras, los valores de absorción con sub-estimación en la resistencia de los diseños arquitectónicos e ingenieriles. En Panamá se adolece que nunca se ha

dispuesto de datos instrumentales para desarrollar funciones entre la aceleración, distancia y magnitud local. Esto no prevé una buena estimación del decaimiento

espacial de la energía liberada por un terremoto, pues hasta ahora, las relaciones han sido importadas de regiones con geología diferente a la nuestra.

Tabla 2- Instrumentos a de la RNMF en Campo Abierto o dentro de edificios bajos.

CÓD.	FECHA	LUGAR	Cant.	MARCA	Eventos	ARREGLO	TERRENO
Se- 1	1999-09	Panamá	2	Terra GSR	15	Sótano y abierto	Suelo blando
Se-12	2003-06	David	1	KMI Etna	60	Abierto	Suelo
Sa- 1	2001-03	Tocumen	1	KMI Etna	22	Campo libre	Suelo
Sa- 2	2001-04	Los Santos	1	KMI Etna	95	Planta baja	Suelo
Sa- 3	2003-04	Santiago	1	Syscom MR2002	19	Campo libre	Suelo
Sa- 4	2005-05	Penonomé	1	Syscom MR2002	1	Campo libre	Suelo
Sa- 5	2005-06	La Chorrera	1	Terra GSR	0	Campo libre	Suelo
TOTAL	---	---	7	---	---	---	---

Los mayores esfuerzos para ampliar la cobertura y conocimiento de las aceleraciones del terreno, mediante una Red Nacional dan inicio en 2004. Esto se requeriría para complementar los estudios de las señales captadas dentro de los edificios, lo cual es una mezcla de dos respuestas, suelo y estructuras. Estos lugares (Tabla 2) se han ido adicionando en los centros regionales UTP de: Santiago de Veraguas, La Villa de Los Santos en Azuero, Penonomé en Coclé, La Chorrera en Panamá Oeste, y en la Extensión de Tocumen, en las periferias de la ciudad de Panamá, en donde esta la sede del CEI. Así, a inicios de 2005 se logra interconectar por primera vez vía Internet a 3 centros regionales UTP y extraer cómodamente los archivos de datos hacia las oficinas del Laboratorio. Los relojes son revisados constantemente con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Con esto en marcha, es viable evaluar el acecho peligroso de haber constantes réplicas

luego de un terremoto, que condiciona una crisis sísmica.

Los criterios de selección de los sitios incluyen la distribución geográfica de las principales ciudades respecto a las fuentes sísmicas. La colección de datos de la RNMF, se da en conjunto o de manera coordinada con los equipos disponibles en los edificios. Actualmente, se enumeran características de toda la información sísmica recolectada desde 1999 en reportes individuales denominados Sa (sitio en campo abierto) y Se (sitio en edificio). Como ventaja es el hecho que solo se cuenta con 3 marcas o fabricantes, lo que facilita el software de operación, manejo de formatos de salida, intercambio y conversión de datos a otras formas de evaluación. Tal catálogo de señales detectadas se convierte en más representativa o bastante completa desde el año 2002 al presente, el cual contiene detalles del suelo, rangos de disparo, y su asignación del registro a eventos reales.

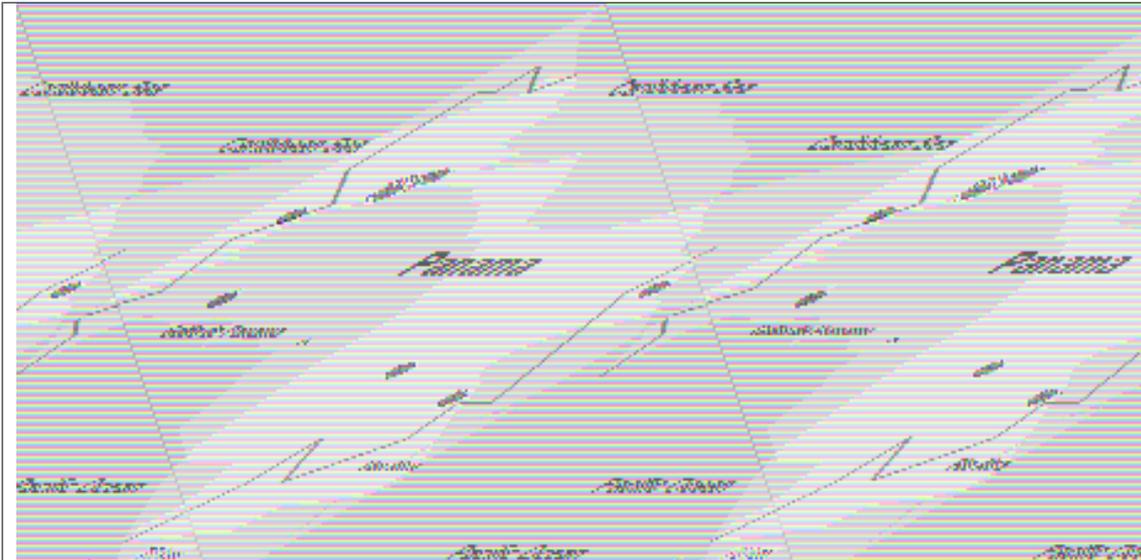


Figura 4 – Estaciones acelerográficas de la RNMF a nivel nacional.

Se hacen grandes esfuerzos por contar con una Red Nacional óptima, y definir parámetros de movimientos fuertes y otros datos necesarios para mejorar el conocimiento de la amenaza sísmica a nivel nacional. Se ha proyectado la ubicación de las estaciones acelerográficas en el territorio nacional, de forma tal que se cuente con un sistema eficiente y calibrado para: clasificar eventos sísmicos según la amplitud (aceleración pico o máxima PGA); ayudar a mejorar el entendimiento de las características de las fuentes sísmicas; aportar datos para elaborar funciones de atenuación o decaimiento de la aceleración con la distancia epicentral; y dar a conocer la amplificación sísmica y ciertas propiedades de los suelos de centros urbanos.

5 INVESTIGACIÓN Y EVALUACIÓN CON ACELEROGRAMAS

Los registros captados por acelerógrafos suelen aportar conocimientos sobre la atenuación o amplificación de las ondas sísmicas, internas y superficiales, la capacidad y efectividad de hacer daño, la forma de extensión del campo

macrosísmico, o designar ponderadamente una Intensidad Mercalli (MM) instrumental, dejando de ser subjetiva comparado a los sensores humanos tradicionales. Puede además indicar la directividad de radiación de la energía del plano de falla respecto a las estructuras sismo-tectónicas y efectos no previstos. Entre los resultados buscados más importantes están los espectros de respuesta estructural (al 5%), y de otros movimientos inducidos de traslación y rotación durante sismos en ejecución. Se enfocan esfuerzos por disponer de una red que posea capacidad de observación mediante configuración espacio-geométrica versátil. Esta actualmente posee forma de captación como una letra V.

Además, mediciones en las azoteas muestran efectos de pulsación y modulación de señales (Fig. 5), muy cercanas a la resonancia. Otros aportes de la instrumentación en edificios está la de rescatar males previos a un evento sísmico fuerte, y hacer correcciones antes que pueda exceder la capacidad de absorción de diseño vigente. Esta utilidad puede ser con sismos moderados y pequeños, así como con vibraciones débiles o microtemores que inducen a mover las estructuras. Además, se pueden descubrir aproximaciones básicas e interacciones con

comportamientos estructurales lineales. Se conserva la incertidumbre de un

comportamiento no-lineal, tanto de suelos y estructuras, durante terremotos intensos.

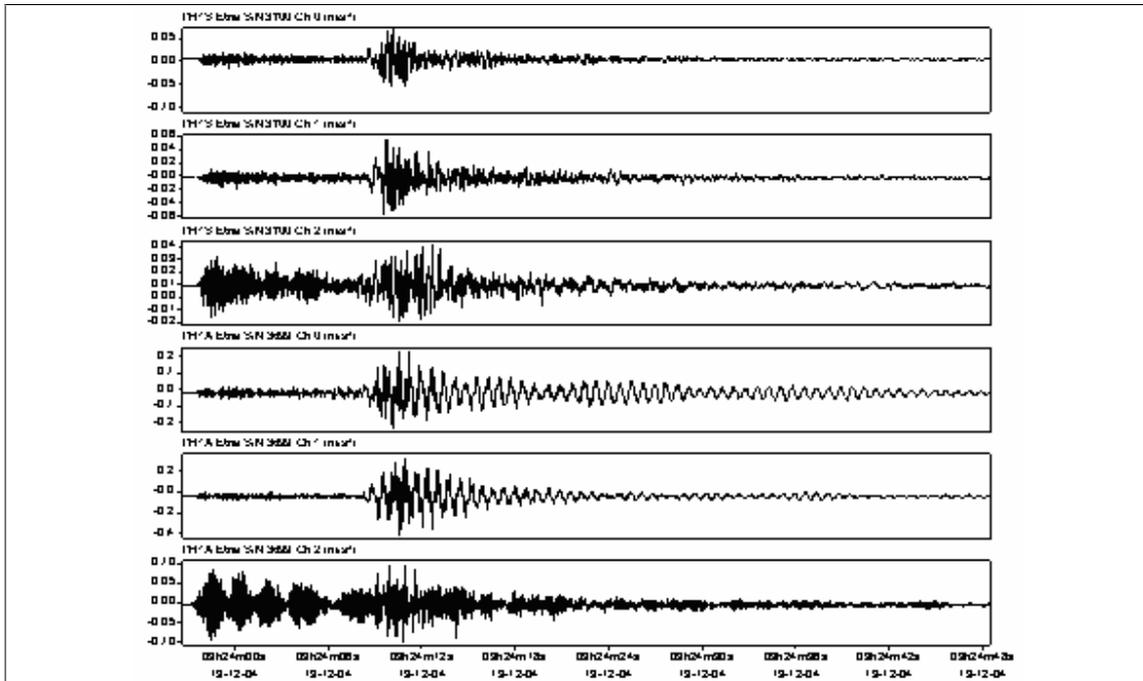


Figura 5- Registros 3 comp. del sótano y 3 azotea por sismo 19/12/04, San Blas Mw 5.5.

Por otra parte, muchos de edificios instrumentados logran registros de aceleración solo en la base o al último nivel (o ambos). Los superiores permiten conocer los desplazamientos totales de los edificios típicamente altos, logrando visualizar el comportamiento real al cambio de fases y trenes de ondas en las estructuras. Se ha iniciado evaluar la forma de orbitación y duración entre la base y la azotea (vea Fig. 6).

El aporte de estos acelerógrafos pioneros con datos en el interior de estructuras contribuye con investigación de vanguardia. Por ejemplo, el empleo selectivo con la transformación del registro al dominio de las frecuencias, con solo el ruido, ondas P, S, L y coda, o con de señal completa, es todo un compromiso de investigación.

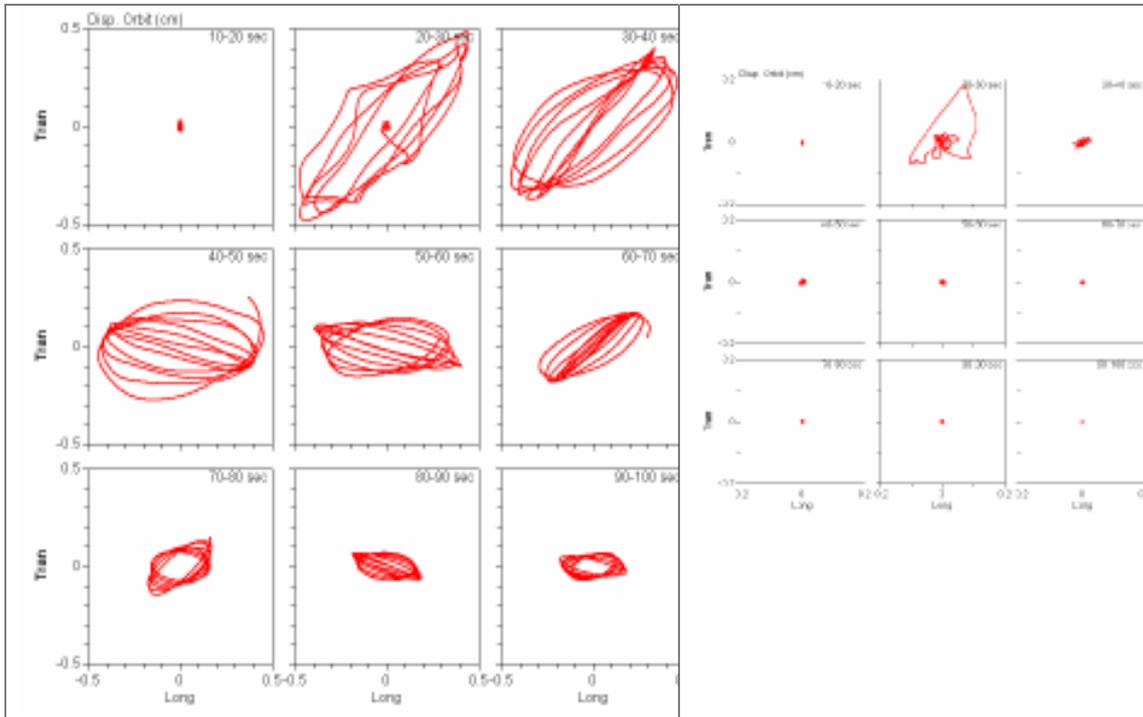


Figura 6 – Orbitación al desplazamientos en azotea (100s) y sótano (10s) de edificio alto

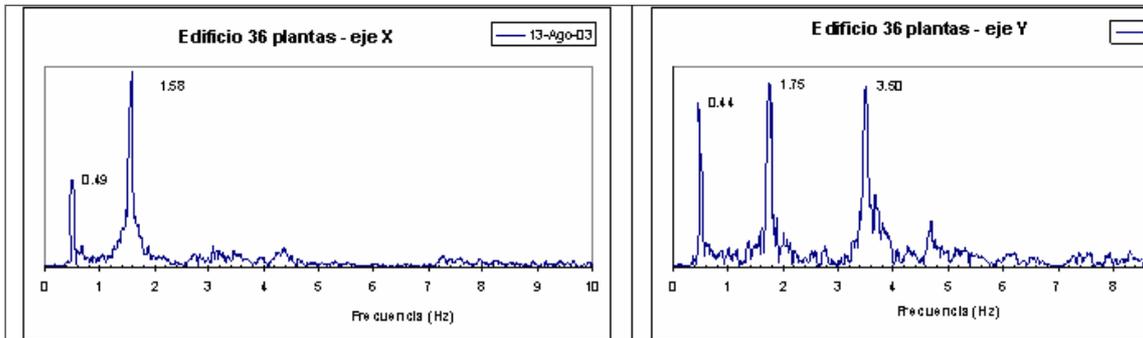


Figura 7- Amplitudes de Fourier por sismo detectado en la cima de edificio 36 Pisos.

También, los máximos de aceleración correlacionados con cuestionarios humanos aportados al USGS y con intensidad Mercalli Modificada (MM) ya asignada, no ha encontrando discrepancias. Un mapa de isosistas mezclando ambos tipos de

intensidades por un fuerte sismo reciente, Mw 6,0 (en junio pasado), al Occidente de Chiriquí [2] se aprecia en la Figura 8. La percepción en Panamá y Coronado (II MM) justifica amplificación de edificios altos.



Figura 8- Ubicación epicentral, mecanismo focal e isosistas de junio 30-05, VI a I MM

Otro resultado en David es que los periodos bajos no se aprecian entre dos instrumentos localizados en un intervalo de 800 m. No aparecen entre un edificio masivo (11 plantas) y otro punto cercano sobre suelo. Debe influenciar la remoción

de las capas someras además del peso de la estructura, que actúa como un filtro de las altas frecuencias. La amplitud entre 0,2-0,8 s se conserva similar, evidenciando el contenido de energía que arribó a la urbe.

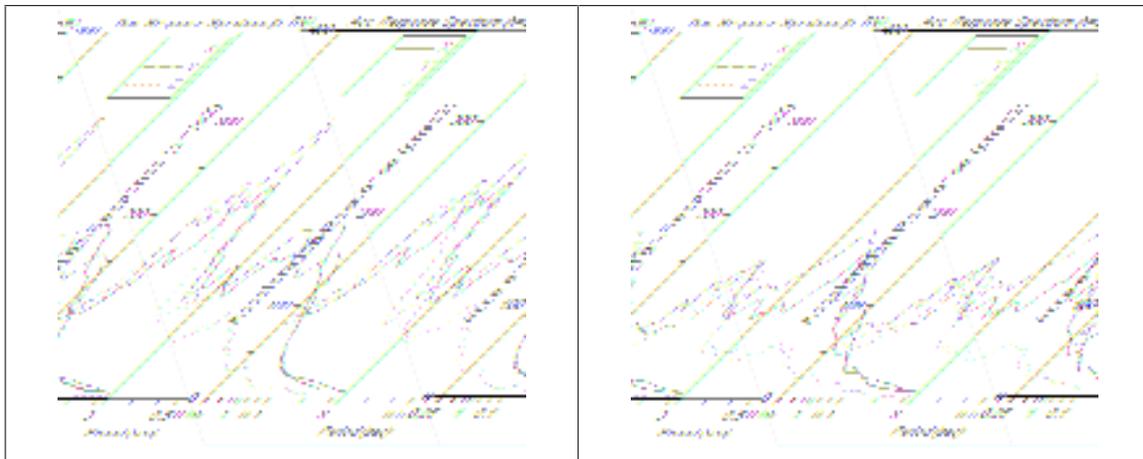


Figura 9- Espectros de Respuesta cercanos en a) suelo libre, y b) sótano bajo 11 plantas

Se han confeccionado mapas de iso-aceleración (vea Fig. 10) aunque no de forma ideal, por estar muchos sitios sobre

suelos, utilizaron lecturas de aceleración en cm/s^2 del canal horizontal, ubicados en los sótanos de los edificios y otros a una

planta. Esto manifiesta la necesidad de ampliar la cobertura instrumental preferiblemente en roca, para hacer análisis del régimen sísmico, trayectoria de

propagación, atenuación de la fuerza e inhomogeneidades de suelos en la Ciudad de Panamá, así como dimensiones internas de la corteza istmeña.

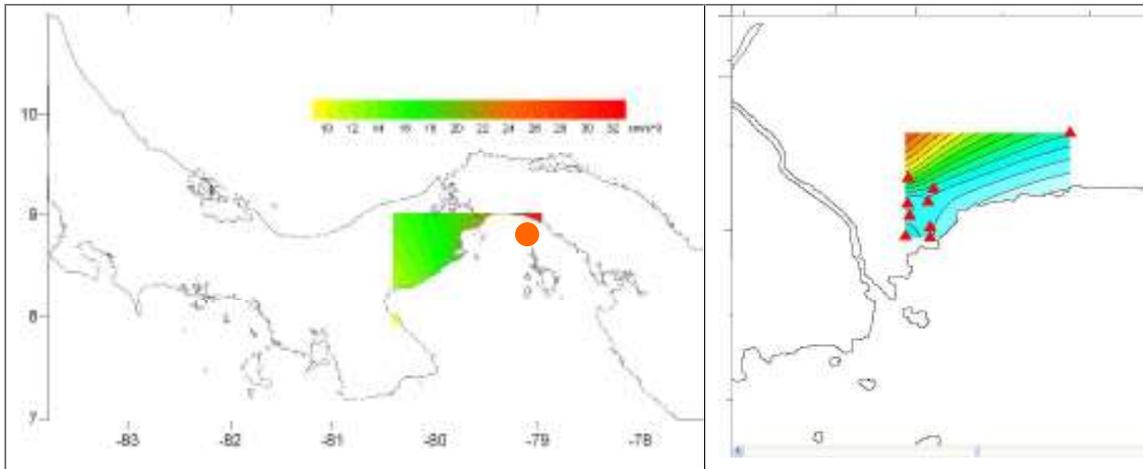


Figura 10- Mapas de isoaceleración por sismos de 19/12/04 (M 5.5), y 16/03/02 (M5.1).

Ensayos en la evaluación de los radios espectrales H/Z en donde esta emplazado el instrumento indica aspectos oscilatorios del subsuelo y elasticidad, mostrando los

periodos fundamentales según el material (y espesor), la amplificación sísmica (vea ejemplo Fig. 11).

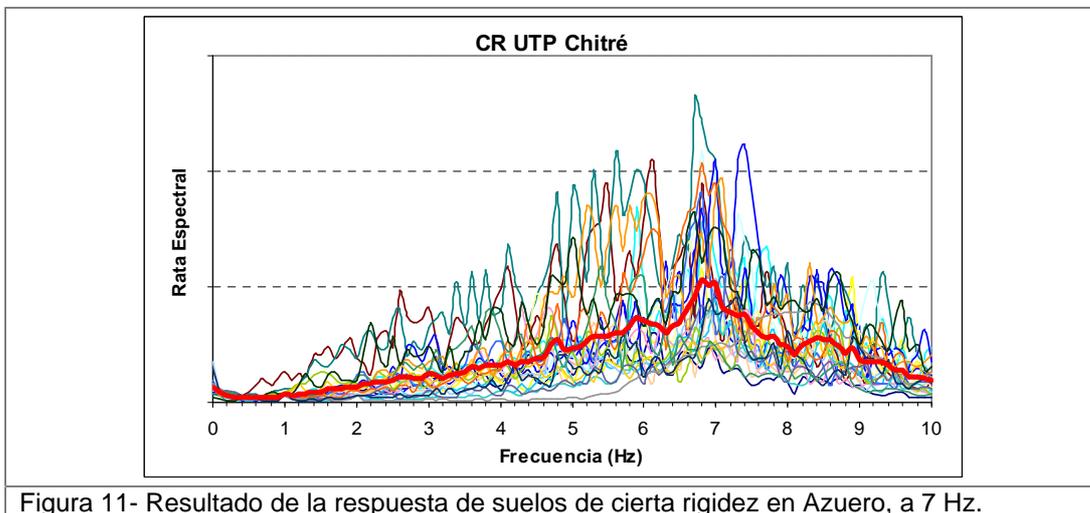


Figura 11- Resultado de la respuesta de suelos de cierta rigidez en Azuero, a 7 Hz.

7. CONCLUSIONES

La instrumentación en edificios (37) y a campo libre (7) permite identificar

propiedades dinámicas y la respuesta global de los distintos sistemas estructurales utilizados en Panamá, y confirmar coeficientes del Reglamento Estructural Panameño vigente. Así, la instrumentación actual permanecerá por algunos años con sus respectivos compromisos de sitio, en espera de resultados concluyentes, dada la baja tasa de actividad sísmica en Panamá.

La RNMF inicia contorneando áreas de Intensidad Mercalli Modificada instrumental y el potencial de daño a nivel nacional. Se propone evaluar post-terremoto según los acelerogramas y de manera inmediata, vía Internet, ciertos edificios de atención de emergencias y el estado de daño alcanzado. Además, con los sitios presentes en la geografía, aunque en suelo, y por la distribución en acimut y distancia entre ellos, se busca encontrar funciones de atenuación local (causas y particularidades).

El aporte de información de la instrumentación se conduce para: a) suministrar datos reales en el análisis de los edificios nacionales (p.e isoperiodos); b) conservar en memoria el historial evolutivo de la vida de cada edificio instrumentado; c) comprobar la capacidad destructiva según el subsuelo y por el tipo de fuente sísmica (p.e. acelerograma de entrada en simulaciones); e) modificar el código de diseño del REP; y g) verificar y obtener propiedades dinámicas de los suelos (p.e. radio y frecuencia de Nakamura).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oscar M. Ramírez; José m. Gallardo & Carlos Ho, 2003. Reporte del Sismo registrado el 13 de agosto de 2003. Informe No. CEI-07-002-2003, Centro Experimental de Ingeniería (CEI), Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), 16 pp.
- [2] Red Nacional de Movimientos Fuertes - CEI-UTP. Informe No. 1-05. Evento Sísmico Perceptible de junio 30 de 2005, 1 p.