

CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO SÍSMICO DE JULIO 4 DE 2009 REGISTRADO POR LA RED DE MOVIMIENTOS FUERTES DE LA UTP, PANAMÁ

Carlos A. Ho, Alexis Mojica, Jaime Toral y Nieves Bernal

*Laboratorio de Ingeniería Aplicada
Centro Experimental de Ingeniería
Universidad Tecnológica de Panamá*

Resumen

El objetivo de este trabajo se enfoca en presentar algunos resultados correspondientes a las características físicas del evento sísmológico sensible que tuvo lugar la madrugada del 4 de julio del 2009, a través del análisis de los datos de aceleración registrados por la red de acelerógrafos dentro de algunos edificios de la Ciudad de Panamá. De dicha red, se eligieron 4 edificios en base a su ubicación, tipo de suelo y la geología del área donde reposan. Para conocer algunas características físicas de estos edificios, los registros fueron sometidos a una serie de tratamientos que incluyen su representación en el dominio de las frecuencias y en uno de ellos, los desplazamientos en el plano $x - y$ para visualizar el movimiento orbital en la azotea; este mismo edificio es sometido a un análisis de Half – Power Bandwidth con el objetivo de obtener información referente a los modos de vibración del mismo. Finalmente, una comparación entre estos datos con la información suministrada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) fue realizada, encontrándose una fuerte analogía entre éstos.

Palabras claves: acelerogramas, ciudad de Panamá, sismo, transformada de Fourier, espectros de amplitud, movimiento orbital, Half – Power Bandwidth.

1. Introducción

Como bien lo menciona el documento administrativo gubernamental correspondiente a la Gaceta Oficial de 2000, a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) le corresponden las tareas de custodiar y operar a nivel nacional tales disposiciones obligatorias de la Norma de Instrumentación Sísmica de edificios, en cumplimiento a lo acordado en el Reglamento Estructural Panameño (REP – 94). Esta iniciativa a través del Centro Experimental de

Ingeniería (CEI) actualmente, conlleva la necesidad de conocer la respuesta dinámica de los edificios altos o voluminosos nuevos, ante la incidencia y eventualidad de darse un evento sísmico fuerte y de parámetros desconocidos (Torales y Ho, 2005).

Todo el Istmo de Panamá se encuentra ubicado sobre una sub-placa tectónica referida inicialmente con el nombre de Bloque de Panamá; su estructura geológica es el resultado de 4 placas litosféricas: la del Coco al Suroeste, la Caribe al Norte, la de Nazca del Norte al Sur y la de los Andes del Norte al Este (Viquez y Torales, 1987; Adamek *et al*, 1988; Moore y Sender, 1995; Kolarsky, 1995; Pratt *et al*, 2003). Este bloque tectónico rígido e independiente se especializa por generar sismos algo fuertes pero poco frecuentes, en los bordes oceánicos y los continentales entre países vecinos (vea Figura 1), hasta un máximo probable e histórico creíble de magnitud 7,8.

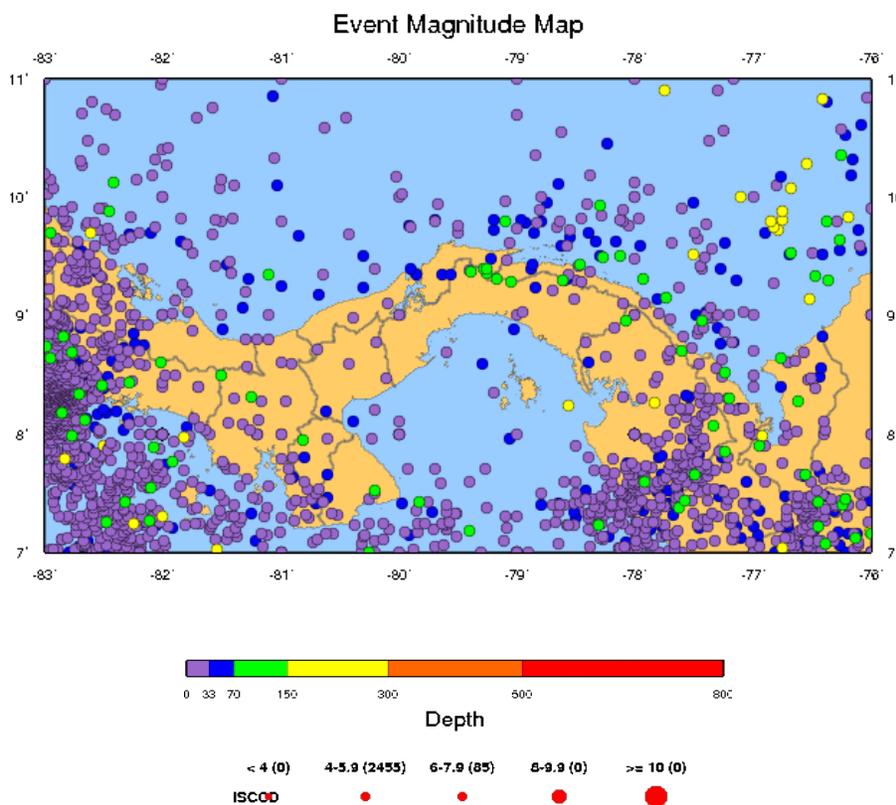


Figura 1 Epicentros soluciones del ISC en el Istmo de Panamá de 1960 a 2007 (6) de magnitud mayor a 4.

El 4 de Julio de 2009 (hora local 01:49:36 a.m.) se generó y sintió durante unos 10 segundos ($> 50 \text{ mm/s}^2$) un temblor de magnitud 6,0 Mw, con coordenadas geográficas epicentrales en 9,65 °N y 78,98 °W, al Este de la Provincia de Colón (ver Figura 2). El evento alcanzó una intensidad instrumental de V MM en Ciudad de Panamá, que concuerda

con el reporte de ningún efecto adverso ni daños notorios. El último evento con intensidad similar había acaecido en agosto 13 de 2003.

En este mismo mapa se aprecian principales características tectónicas de la República de Panamá: en la parte Norte se encuentra el Cinturón Deformado del Norte de Panamá; al Sur se encuentra el Cinturón Deformado del Sur de Panamá. Al Suroccidente se localizan un conjunto de varias fallas largas y paralelas de transformación: la Zona de Fractura de Coiba (ZFC), la Zona de Fractura de Balboa (ZFB) y la Zona de Fractura de Panamá (ZFP); y al Este la Zona de Sutura Panama – Colombia.

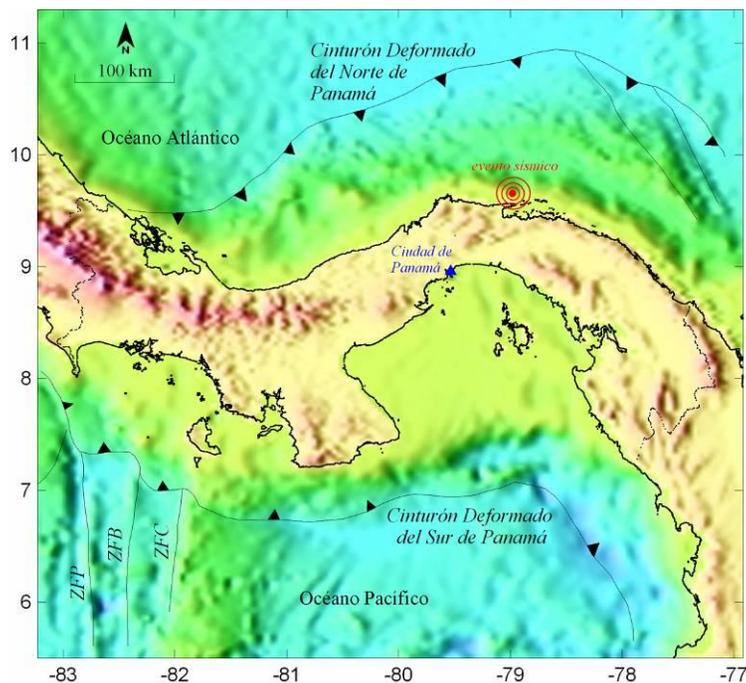


Figura 2 Panorama tectónico del Istmo de Panamá (ZFC – Zona de Fractura de Coiba, ZFB – Zona de Fractura de Balboa y ZFP – Zona de Fractura de Panamá) y ubicación del evento sísmico ocurrido el 4 de Julio de 2009.

El evento sísmico bajo estudio ocurrió a 43 km de profundidad, a una distancia de 95 km al NE de la Ciudad de Panamá. Esta zona muestra una incipiente subducción entre placas y con eventos algo similares de la misma fuente, energía liberada, mecanismo de falla y características de radiación, dados en años recientes y en febrero 26 de 2000.

Este trabajo tiene por objetivo específico presentar los resultados del evento principal, respecto a los señales sísmicas obtenidas en 4 edificios específicos que forman parte de la red de acelerógrafos en cuatro sectores seleccionados por su carácter geotécnico dentro la Ciudad de Panamá. Esto permitirá conocer algunas características sísmicas de estas zonas (nivel de amplificación) donde se concentra por razones de inversión y desarrollo constructivo la mayor cantidad de acelerógrafos de todo el territorio nacional.

2. Contexto geológico de la ciudad de Panamá

De acuerdo a los trabajos de [Hermansson y Landgren \(1998\)](#), las rocas profundas de la Ciudad de Panamá se encuentran influenciadas por la Formación Panamá, en ella se hacen presentes dos fases: la Volcánica y la Marina.

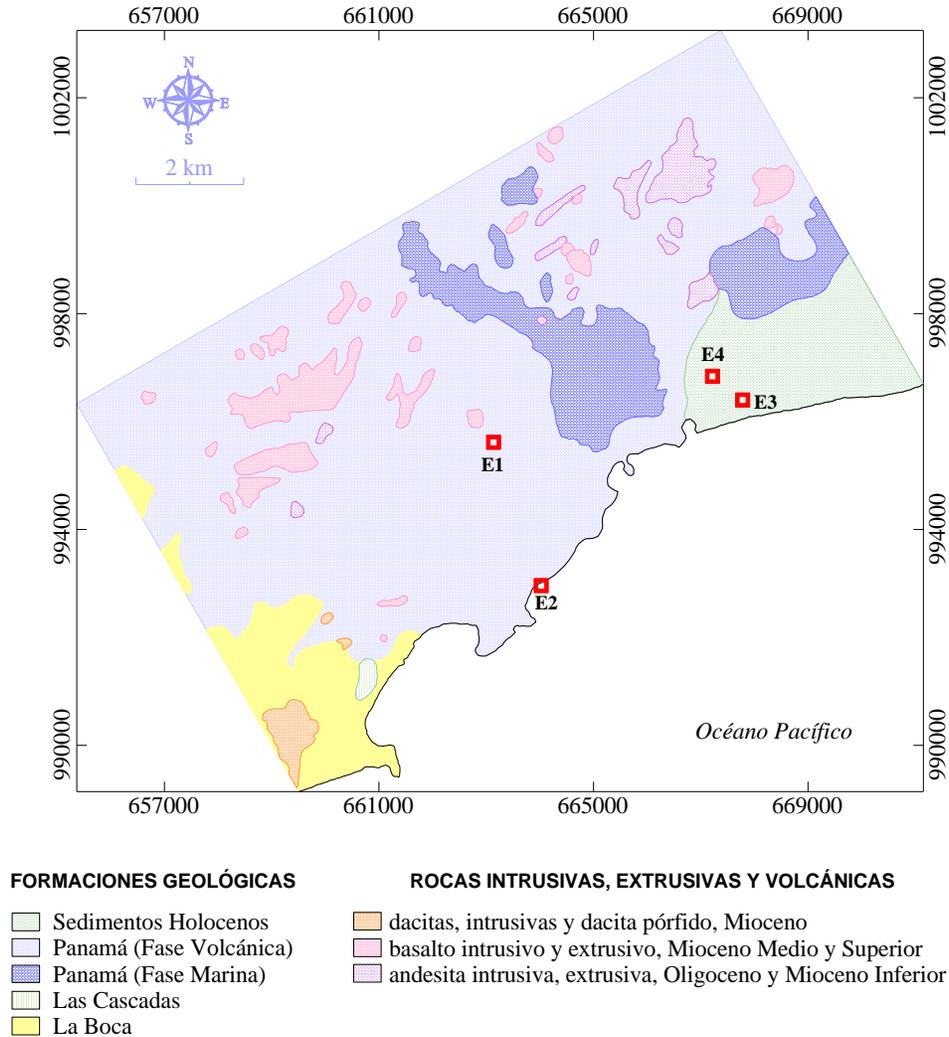


Figura 3 Mapa geológico generalizado de la ciudad de Panamá y ubicación de los 4 edificios de interés ([Stewart et al, 1980](#); [Hermansson y Landgren, 1998](#)).

La Formación Panamá – Fase Volcánica es la más predominante en la ciudad; la misma está compuesta de aglomerados formados cuando grandes cantidades de lava fueron expulsadas y encajaron en polvo y arena. La Figura 3 muestra las formaciones geológicas locales y la ubicación de los edificios instrumentados y seleccionados en este estudio. Esta Formación geológica es además consolidada. En este caso, se tiene andesita y grano fino de tobas; que incluye también corriente depositada de conglomerado. La formación tiene su

origen en el Oligoceno Temprano a Tardío. Por otro lado, la Formación Panamá – Fase Marina consiste de arenisca tobácea, sedimento tobáceo y roca caliza con fósiles. La arenisca es sedimento de arena que luego pasó a ser roca algo dura después del proceso de compactación y sedimentación. En el sector SW se pueden identificar: (i) los sedimentos Holocenos no diferenciados, como aluviones y rellenos formados durante el Holoceno, (ii) los esquistos arcillosos, lutitas, areniscas, tobas y calizas, típicos de la Formación La Boca del Mioceno Inferior y (iii) andesitas del Oligoceno y Mioceno Inferior. Existe además un conjunto de características geológicas distribuidas en menor escala como los basaltos intrusivos y extrusivos que datan del Mioceno Medio y Superior. En la sección NE la Formación Lajas sus componentes son aluviones y sedimentos consolidados. La Tabla 1 muestra las características geológicas y formación en donde se ubican los edificios seleccionados.

Tabla 1 Características geológicas de los edificios seleccionados en este estudio.

Edificio	Ubicación (UTM)	Formación	Elementos geológicos
E1	663137 mE, 995615 mN	Panamá - Fase Volcánica	Aglomerado andesítico en tobas de grano fino; conglomerados depositados por corrientes
E2	664025 mE, 992954 mN		
E3	667781 mE, 996399 mN	Sedimentos Holocenos (Lajas)	Sedimentos no diferenciados principalmente marinos, manglar, aluvión o relleno
E4	667218 mE, 996846 mN		

4. Metodología e instrumentación de los edificios seleccionados

Los acelerógrafos con que cuentan los edificios seleccionados en este estudio, tienen la capacidad de registrar señales en los tres ejes perpendiculares (x , y , z) y de esta información se puede obtener datos referentes a las velocidades y desplazamientos. De esto, dichos dispositivos se encuentran en la capacidad de registrar parámetros del historial de las aceleraciones por un sismo dentro de una estructura ingenieril (Toral y Ho, 2005). Gracias a las nuevas herramientas informáticas sobre tratamiento numérico de señales, es posible además conocer los desplazamientos orbitales en las azoteas de los edificios, y otras características físicas de las estructuras cuando se analizan las señales obtenidas en el dominio frecuencial (Transformada Rápida de Fourier). La Tabla 2 ilustra otras características de los edificios seleccionados y el tipo de instrumentos sísmicos que se instalaron.

Tabla 2 Características físicas e instrumentación sísmica de los edificios seleccionados en este estudio.

Edificio	Cantidad de Pisos	Cantidad de acelerógrafos	Instrumentación
E1	20	1	Syscom MR2002
E2	36	2	GeoSIG
E3	48	2	Syscom MR2002
E4	33	2	GeoSIG

En esta tabla el proyecto E1 presenta un solo acelerógrafo pues la Norma define dicha cantidad en términos del número de pisos de la estructura. Luego del evento sísmico que se hizo sentir el 4 de Julio de 2009, se procedió a recuperar la información almacenada dentro de estos edificios; posteriormente los datos fueron analizados de forma individual, tanto para la azotea como para la planta baja en alguno de ellos.

5. Resultados obtenidos

Los registros obtenidos en las azoteas de algunas de las estructuras seleccionadas en este trabajo pueden ofrecer información sobre los efectos de pulsación y modulación de la señal como respuesta dinámica de oscilación libre y excitada de la estructura. A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los edificios seleccionados:

Edificio E1

La Figura 4 ilustra los acelerogramas en las tres componentes (x , y , z) o canales (1, 2 y 3) registrados en la planta baja. Para el evento dado, los valores máximos de aceleración de entrada obtenidos fueron de: $a_x = 237 \text{ mm/s}^2$ (0,0242g), $a_y = 244 \text{ mm/s}^2$ (0,0249g) y $a_z = 156 \text{ mm/s}^2$ (0,0159g), o Intensidad Mercalli de IV. Apreciado esto en el dominio de las frecuencias, nos encontramos con las siguientes frecuencias dominantes: $f_x = 7,874 \text{ Hz}$, $f_y = 7,190 \text{ Hz}$ y $f_z = 6,750 \text{ Hz}$; la Figura 5 presenta tales espectros para cada uno de los canales (x , y , z) o (Ch 1, 2 y 3).

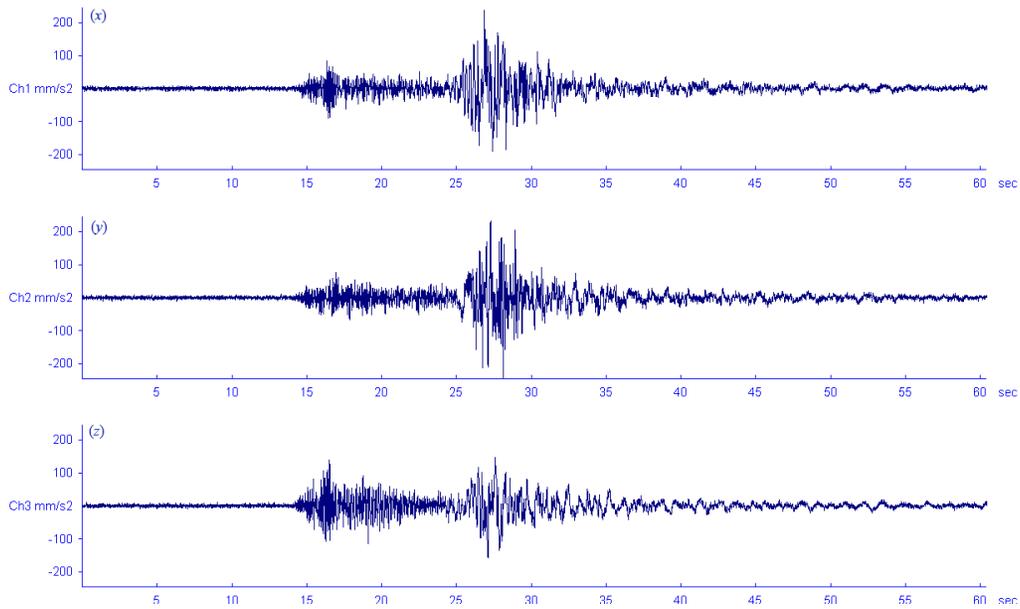


Figura 4 Acelerogramas en las 3 componentes obtenidos en la planta baja del Edificio E1 (20 pisos) correspondientes al evento de 4 de Julio de 2009 con magnitud 6,0; costa arriba de Colón.

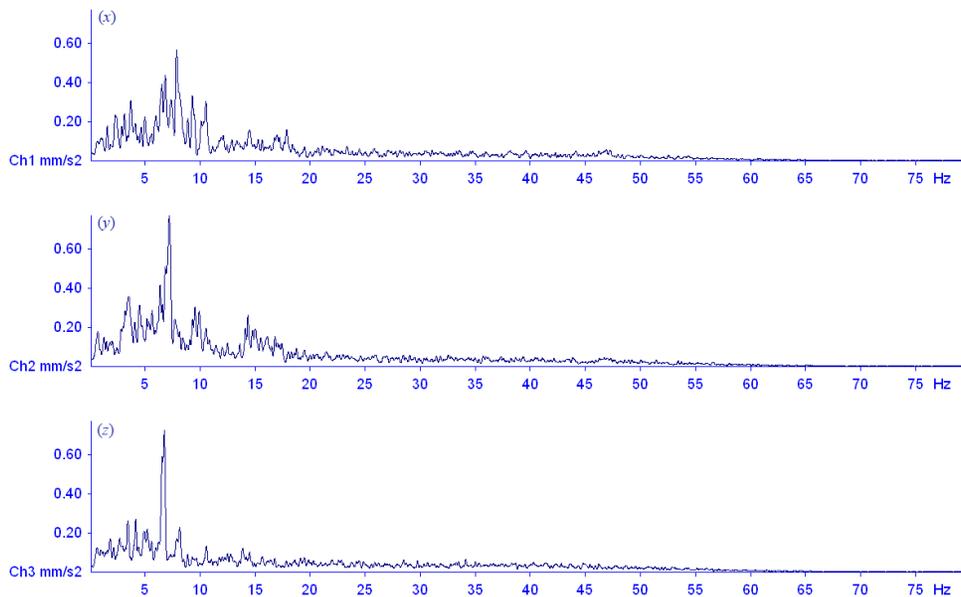


Figura 5 Amplitudes de Fourier debidas al sismo del 4 de Julio de 2009 en las 3 componentes (E1).

Edificio E2

Este edificio, con 36 pisos cuenta con un juego de 2 acelerógrafos (planta baja y azotea). La Figura 6 ilustra los acelerogramas en cada una de las componentes (x , y , z) registrados en la

azotea del edificio, mezcla de la interacción sismo, suelo y edificio, como respuesta del evento del día 4 de Julio de 2009.

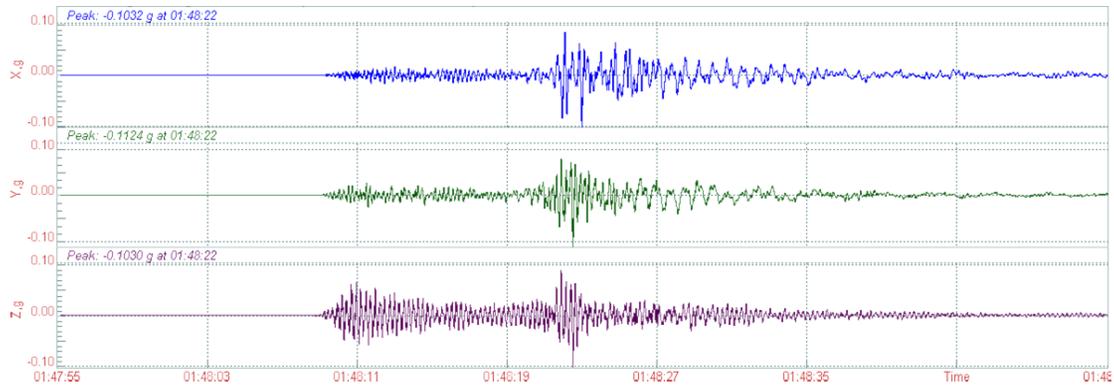


Figura 6 Acelerogramas de las 3 componentes obtenidos en la azotea del Edificio E2 (36 pisos) correspondientes al evento de 4 de Julio de 2009 con magnitud 6,0; costa arriba de Colón.

De acuerdo a estos resultados, los máximos valores de aceleración registrados en la azotea de E2 corresponden a $a_x = 1011 \text{ mm/s}^2$ (0,103g), $a_y = 1102 \text{ mm/s}^2$ (0,112g) y $a_z = 1009 \text{ mm/s}^2$ (0,103g). Por otra parte, las frecuencias fundamentales obtenidas a través del análisis de Fourier revelan valores bastante bajos: $f_x = 1,32 \text{ Hz}$, $f_y = 1,32 \text{ Hz}$ y $f_z = 3,96 \text{ Hz}$; la Figura 7 muestra los espectros en el dominio de las frecuencias para cada uno de los canales (x, y, z).

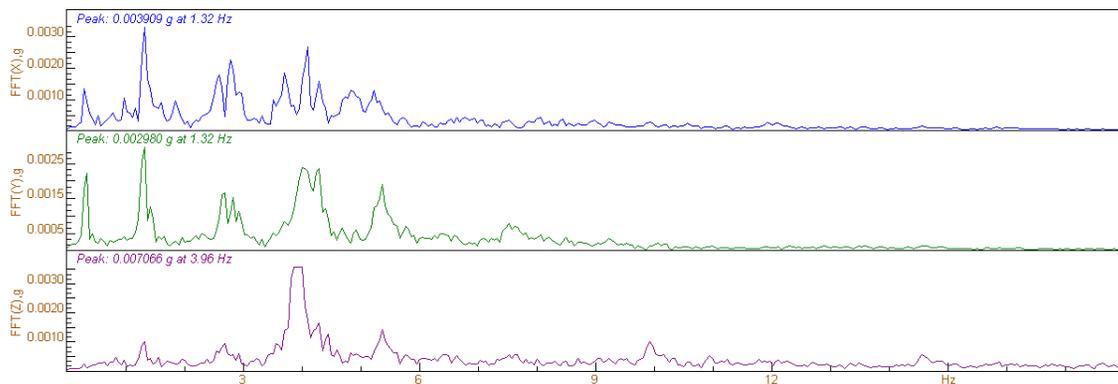


Figura 7 Amplitudes de Fourier debidas al sismo del 4 de Julio de 2009 en las 3 componentes (E2).

Gracias a esta información, es posible visualizar el movimiento orbital de la azotea, es decir, la manera en que se desplazó el edificio en un plano $x - y$. El conjunto de gráficos de la Figura 8 ilustra el comportamiento (desplazamiento) del Edificio E2 en este plano para diferentes intervalos de tiempo, mostrando cambios de fases según el dominio de trenes de ondas de diferente tipo o carácter (longitudinales P , de corte S y superficiales L).

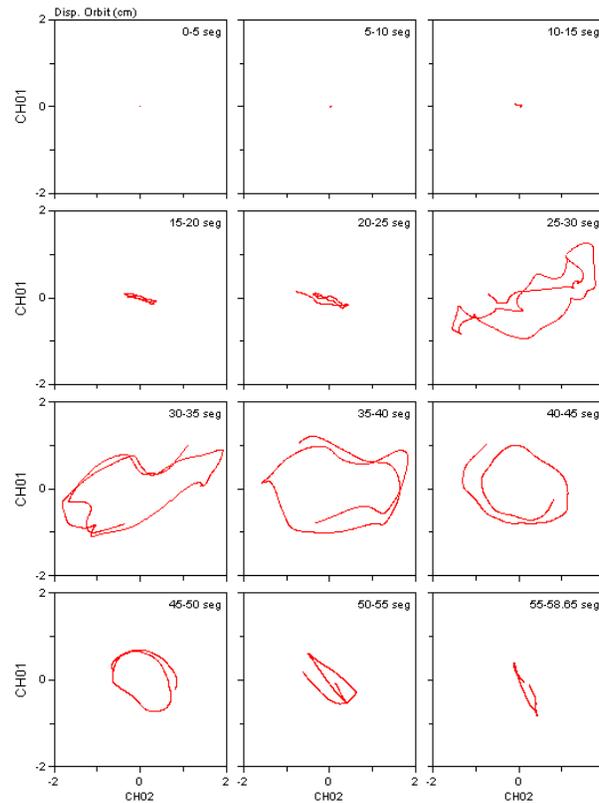


Figura 8 Movimiento orbital de desplazamiento que muestra cambios de fases en la azotea y para las componentes $x - y$ en E2 (intervalo temporal de 5 s).

Este resultado mostrado en Figura 8 es normal y lo esperado a desplazamientos elásticos por altura que experimentó en sus máximos el edificio en su parte más superior o azotea.

Con relación a los espectros registrados en la planta baja, en la Figura 9 se muestran los mismos para cada una de sus componentes (x, y, z). En este resultado, nos encontramos con valores máximos de aceleración en el siguiente orden de magnitud: $a_x = 252 \text{ mm/s}^2$ ($0,0257g$), $a_y = 246 \text{ mm/s}^2$ ($0,0251g$) y $a_z = 142 \text{ mm/s}^2$ ($0,0145g$). Para las frecuencias fundamentales y superiores obtenidas a través del análisis de Fourier, los espectros se ilustran en la Figura 10; ellas revelan valores de bajas frecuencias: $f_x = 4,74 \text{ Hz}$, $f_y = 4,00 \text{ Hz}$ y $f_z = 0,83 \text{ Hz}$.

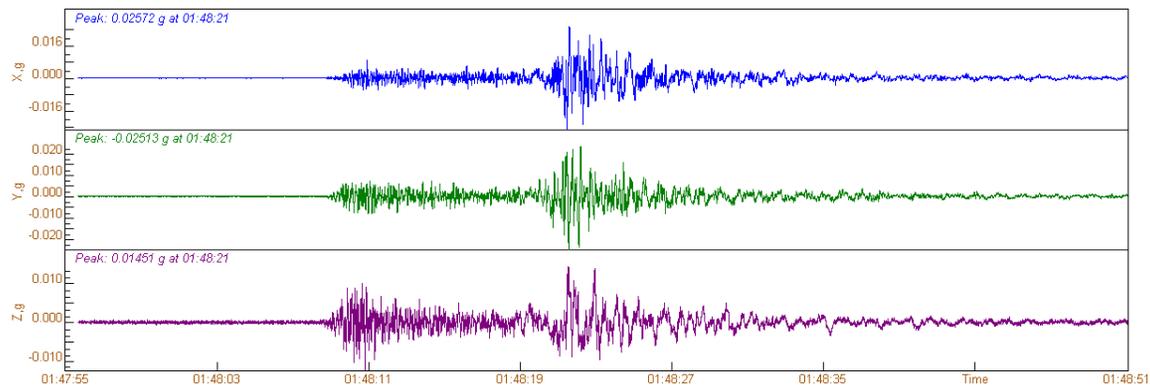


Figura 9 Acelerogramas de las 3 componentes obtenidos en la planta baja del edificio E2 (36 pisos) correspondientes al evento de 4 de Julio de 2009 con magnitud 6,0; costa arriba de Colón.

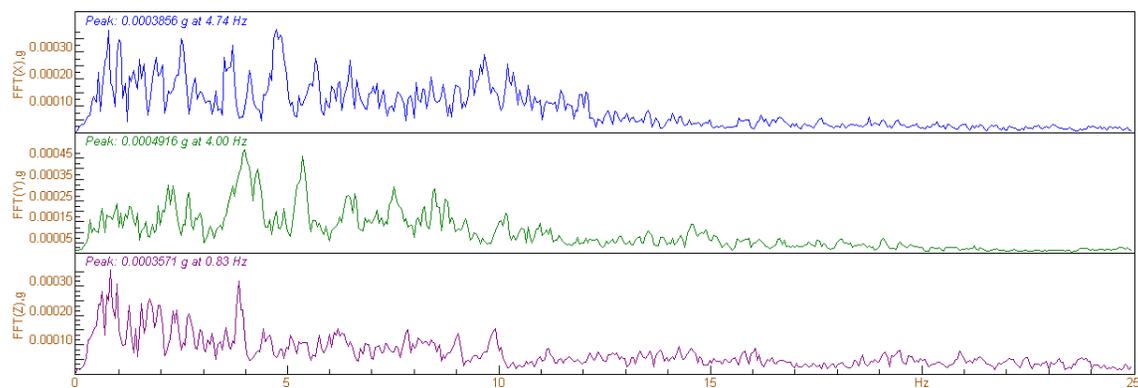


Figura 10 Amplitudes de Fourier debidas al sismo del 4 de Julio de 2009 en las 3 componentes (planta baja del E2).

Continuando con nuestro análisis de este Edificio, se ha procedido en calcular sus modos de vibración y con esto, su nivel de amortiguamiento. De acuerdo a (Chopra, 2001), los modos de vibración pueden ser obtenidos a través del Método Half – Power Bandwidth, el cual consiste en obtener los valores de las frecuencias f_a y f_b obtenidas a partir de la representación gráfica de la razón de las FFT obtenidas en el azotea y planta baja (para las componentes x , y) versus la frecuencia. Las frecuencias antes mencionadas se miden a partir del máximo de amplitud del primer armónico de este gráfico dividido entre $\sqrt{2}$. La frecuencia natural f_n se obtiene del valor máximo de amplitud para dicho armónico. El gráfico de la Figura 11 presenta la razón de la FFT de este Edificio en términos de la frecuencia para la componente x .

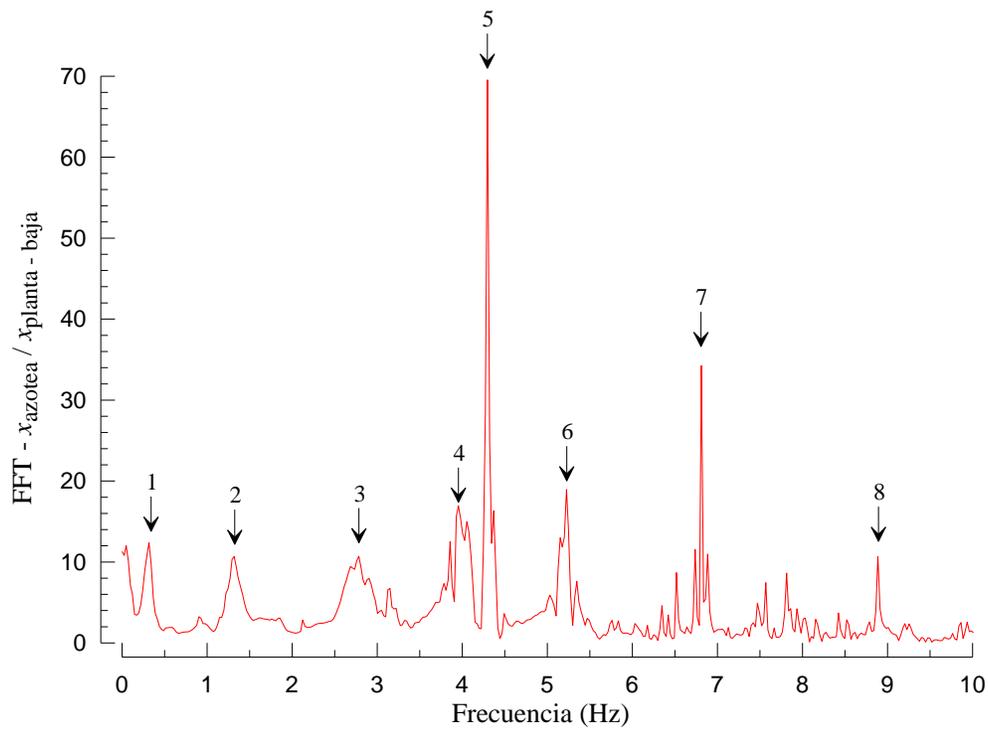


Figura 11 Razón de las amplitudes de Fourier FFT entre la azotea y la planta baja para la componente x del Edificio E2.

Como se observa en este gráfico, se pueden identificar un total de 8 modos de vibración (armónicos). La Tabla 3 presenta las características para esta componente.

Tabla 3 Características dinámicas del Edificio E2 para cada uno de los modos de vibración (componente x).

Modo de vibrac.	FFT ($x_{azotea}/x_{planta-baja}$)	Frecuencia (Hz)	Período (s)
1	12,40	0,317	3,155
2	10,67	1,318	0,759
3	10,70	2,783	0,359
4	16,92	3,955	0,253
5	69,55	4,297	0,233
6	18,95	5,224	0,191
7	34,24	6,811	0,147
8	10,68	8,887	0,113

La función de amortiguamiento ζ queda representada por la expresión:

$$\zeta = \frac{f_b - fa}{2f_n}$$

De aquí que el amortiguamiento obtenido en esta componente es de:

$$\zeta = \frac{0,343 - 0,262}{2 \cdot 0,317} = 0,128$$

Lo que representa un amortiguamiento del 12,8% lo cual es favorable para este tipo de edificaciones ya que el valor mínimo permitido es de 5%.

Para la componente y, la razón de FFT de la azotea y la planta baja, en función de la frecuencia, dio como resultado el gráfico de la Figura 12.

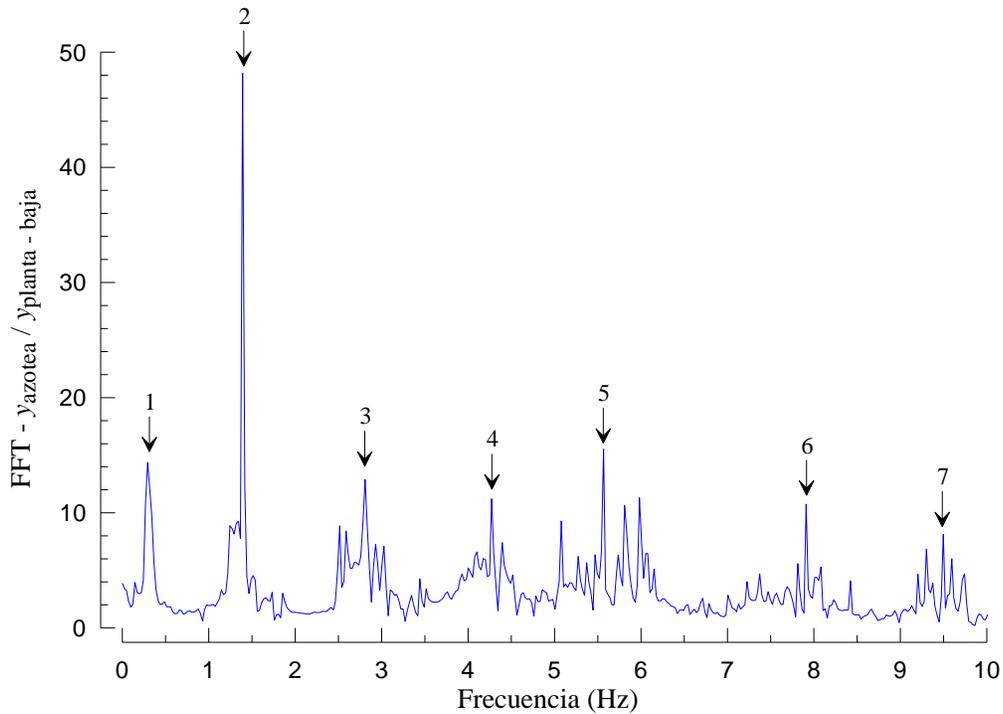


Figura 12 Razón de las amplitudes de Fourier FFT entre la azotea y la planta baja para la componente y del Edificio E2.

Como en el análisis anterior, en este resultado es posible identificar un total de 7 modos de vibración (armónicos). Las características físicas de estos modos de vibración se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Características dinámicas del Edificio E2 para cada uno de los modos de vibración (componente y).

Modo de vibrac.	FFT ($y_{azotea}/y_{planta-baja}$)	Frecuencia (Hz)	Período (s)
1	14,353	0,293	3,412
2	48,182	1,391	0,719
3	12,883	2,808	0,356
4	11,208	4,272	0,234

5	15,524	5,566	0,180
6	10,744	7,910	0,126
7	8,121	9,497	0,105

El cálculo del amortiguamiento se realiza de igual forma para el primer modo de vibración (componente y):

$$\zeta = \frac{0,328 - 0,263}{2 \cdot 0,293} = 0,111$$

Este resultado representa un 11,1% lo que indica un buen porcentaje en términos de amortiguamiento.

Edificio E3

Este edificio se ubica en la parte más oriental de todo el conjunto de edificios seleccionados en este estudio. La información que se presenta a continuación corresponde a los datos registrados en la azotea. La Figura 13 presenta los acelerogramas obtenidos en esa parte del edificio.

Como puede observarse, los valores máximos de aceleración corresponden a: $a_x = 1050 \text{ mm/s}^2$ (0,107g), $a_y = 680 \text{ mm/s}^2$ (0,0694g) y $a_z = 756 \text{ mm/s}^2$ (0,0771g). Por otro lado, una representación en el dominio de las frecuencias hecho a través de la Transformada Rápida de Fourier ofrece información referente a los picos fundamentales para cada componente registrada en la azotea; estos resultados son: $f_x = 1,270 \text{ Hz}$, $f_y = 1,294 \text{ Hz}$ y $f_z = 3,479 \text{ Hz}$. La Figura 14 presenta los espectros de amplitud para cada una de las componentes (x, y, z) obtenidas en este edificio.

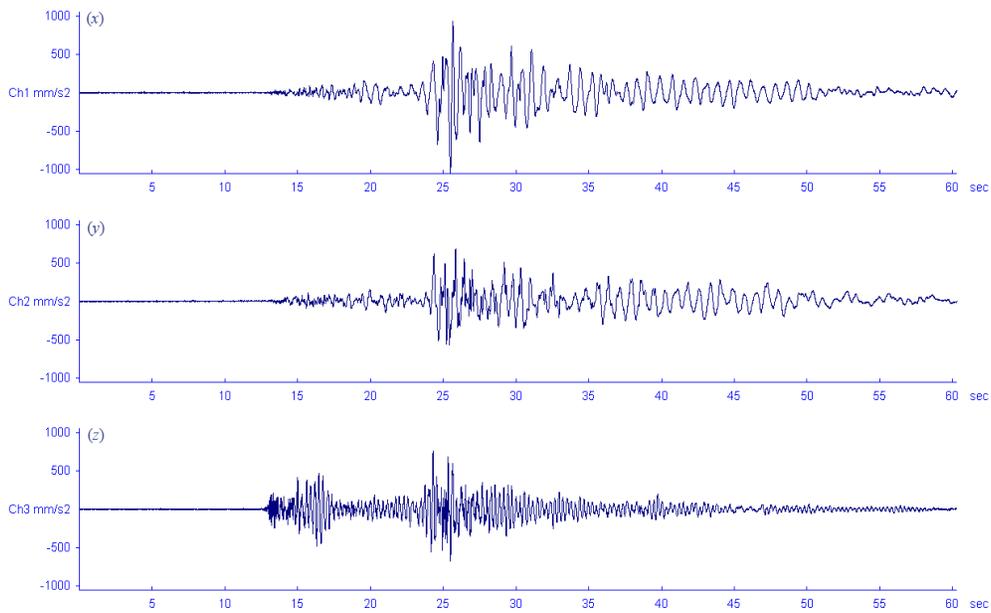


Figura 13 Acelerogramas de las 3 componentes obtenidos en la planta baja del Edificio E3 (48 pisos) correspondientes al evento de 4 de Julio de 2009 con magnitud 6,0; costa arriba de Colón.

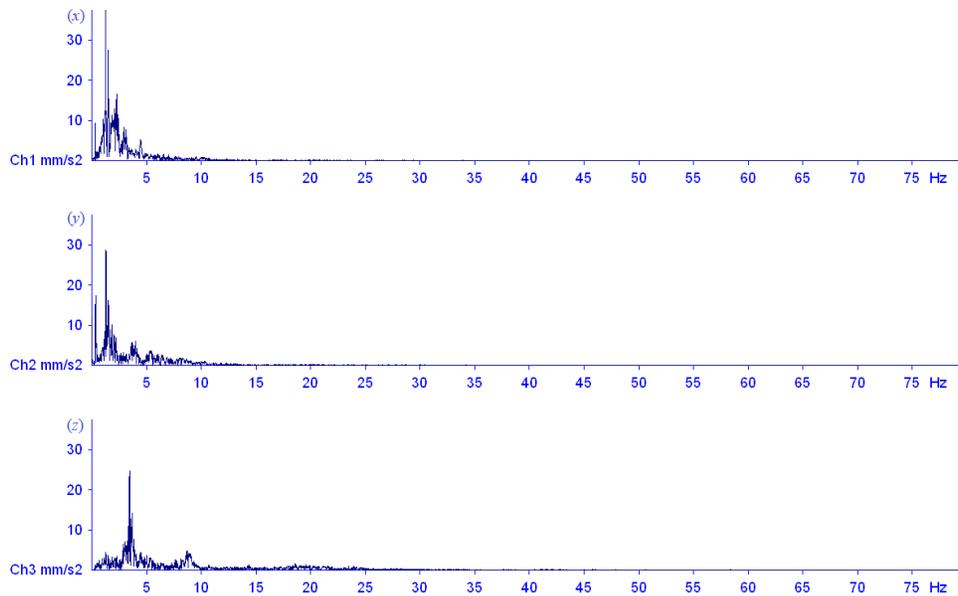


Figura 14 Espectro de amplitudes debidas al sismo del 4 de Julio de 2009 (azotea del E3).

El conjunto de gráficos de la Figura 15 representa el movimiento orbital generado en la azotea del edificio bajo estudio.

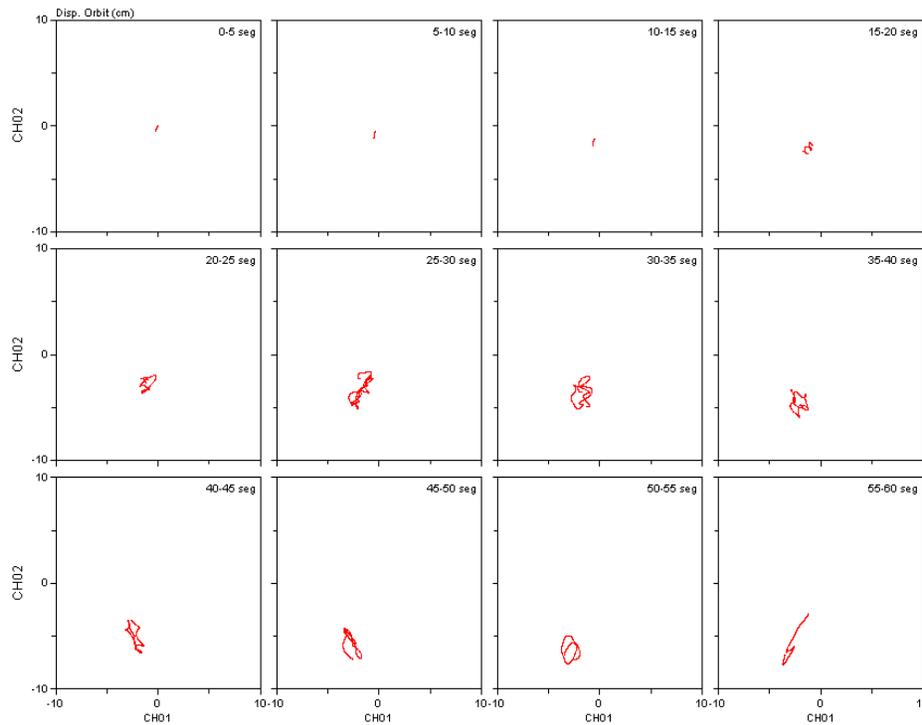


Figura 15 Movimiento orbital de desplazamiento en la azotea para las componentes $x - y$ en el Edificio E3 (intervalo temporal de 5 s).

Edificio E4

Este proyecto consta de 33 pisos, y por problemas técnicos solamente se tuvo acceso a la información de la planta baja. La Figura 16 muestra los acelerogramas para cada una de las componentes (x, y, z) del evento sísmico del 4 de Julio de 2009; en ella se puede apreciar los máximos valores de aceleración en cada componente: $a_x = 905 \text{ mm/s}^2$ (0,0923g), $a_y = 461 \text{ mm/s}^2$ (0,04708g) y $a_z = 301 \text{ mm/s}^2$ (0,03075g).

Con respecto a la representación en el dominio de las frecuencias, los valores de las frecuencias fundamentales para cada componente son las siguientes: $f_x = 2,78 \text{ Hz}$, $f_y = 2,78 \text{ Hz}$ y $f_z = 4,30 \text{ Hz}$. En la Figura 17 se presenta los espectros de amplitud para cada una de las componentes (x, y, z) obtenidas en este proyecto.

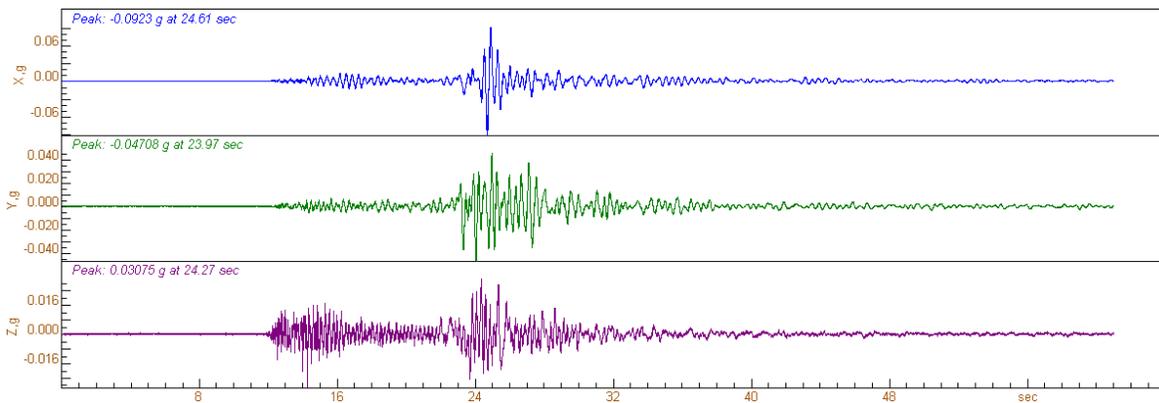


Figura 16 Acelerogramas de las 3 componentes obtenidos en la planta baja del edificio Sol del Este (33 pisos) correspondientes al evento de 4 de Julio de 2009 con magnitud 6,0; costa arriba de Colón.

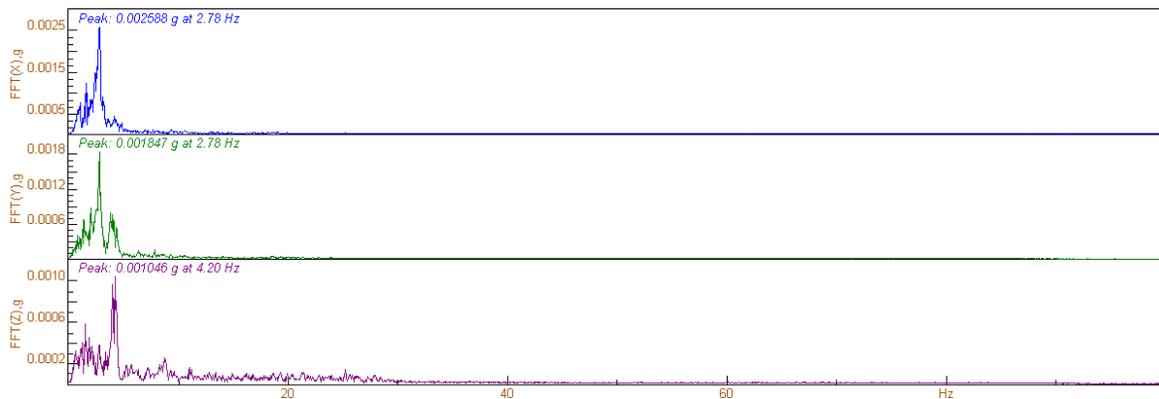
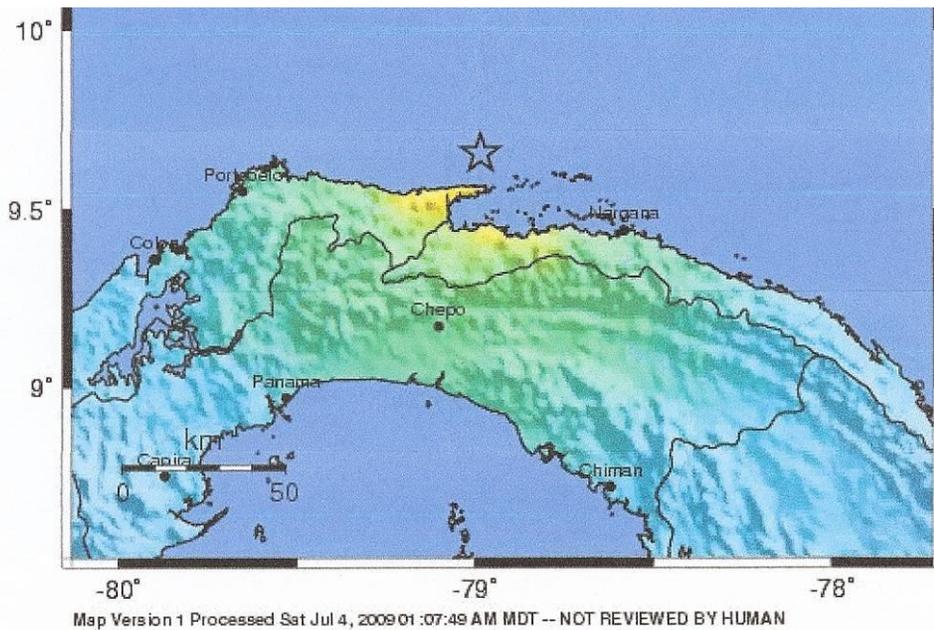


Figura 17 Espectro de amplitudes debidas al sismo del 4 de Julio de 2009 (planta baja del proyecto *Sol del Este*).

6. Discusión y conclusiones

Tomando en consideración los registros obtenidos en la planta baja de los edificios analizados en este estudio, el proyecto E4 ubicado al Este de la ciudad (ver Figura 3), y con un suelo constituido de sedimentos recientes no diferenciados, presentó un máximo de aceleración de $0,0923g$ en la componente x (ver Figura 14). Los suelos que caracterizan a este proyecto incluyen sedimentos marinos (limos y arcillas grises oscuras), lama (arcilla orgánica en manglares), fluidos aluviales y relleno. En este mismo aspecto, el Edificio E2 posee el valor mínimo de aceleración obtenido en la planta baja, dicho proyecto lo caracteriza la Formación Panamá (Fase Volcánica), en donde los suelos corresponden a sedimentos que son el producto de: (i) la meteorización química de los minerales de hierro, magnesio y limonita, (ii) el vulcanismo. Este hecho parece indicar que la zona de relleno que caracteriza al sector Este de la ciudad de Panamá, ofrece cierta amplificación de los eventos sismológicos que se dan lugar en sus alrededores. Los parámetros de amortiguamiento obtenidos en el Edificio E2 demuestran un considerable nivel de atenuación en las componentes x y y .



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-18	18-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Figura 18 Mapa procesado por la USGS con el software shake map sobre las características del campo de aceleraciones generadas por el sismo del 4 de Julio de 2009 que se ubico al Este de la Provincia de Colón.

Al comparar estos resultados con los del Servicio Geológico de EEUU (USGS), podemos observar que dentro de la Ciudad de Panamá se experimento una Intensidad Mercalli instrumental promedio entre IV a V (ver Figura 18), lo que revela un rango de máximas aceleración comprendido entre 1,4g y 9,2g. Dicho rango concuerda con los resultados sobre las máximas aceleraciones obtenidas en las plantas bajas de los edificios estudiados por nosotros, entre 1,45g a 9,23g.

En cuanto a las frecuencias fundamentales registradas en la azotea de los edificios seleccionados, los Edificios E2 y E3 mostraron valores muy parecidos en las componentes (x, y, z).

7. Referencia bibliográfica

Adamek, S.; Frohlich, C. y Pennington, W. 1988. Seismicity of the Caribbean – Nazca boundary: constraints on microplate tectonics of the Panama region. *Journal of Geophysical Research*. 93, 2053 – 2075.

- Chopra, A. K. 2001. *Dinamics of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Hermansson, L. y Landgren, A. 1998. *Microzonation in eastern Panama City, Panama*. M.Sc. Tesis, Royal Institute of Technology, Suecia.
- Kolarsky, R. A. 1995. Structure and neotectonics of an oblique – subduction margin, southwestern Panama. *Geological Society of America*. 295, 132 – 157.
- Moore, F. y Sender, K. L. 1995. Fracture zone collision along the South Panama margin. *Geological Society of America*. 295, 201 – 213.
- Pratt, T. L.; Holmes, M.; Schweig, E. S. ; Gomberg, J. y Cowan, H. 2003. High resolution seismic imaging of faults beneath Limón Bay, northern Panama Canal, Republic of Panama. *Tectonophysics*. 368, 211 – 227.
- Stewart, R. H.; Stewart, J. L. y Woodring, W. P. 1980. *Geologic Map of Panama Canal and Vecinity, Republic of Panama*. Department of the Interior United States Geological Survey.
- Toral, J. y Ho, C. A. 2005. Red Nacional de Movimientos Fuertes (RNMF) UTP: Acelerógrafos dentro de edificios y a campo abierto en Panamá. *Revista de I + D Tecnológico*. 4 (1 y 2), 45 – 58.
- Viquez, V. y Toral, J. 1987. Sismicidad histórica Sentida en el Istmo de Panamá. *Rev. Geofísica*. 27, 135 – 152.