

## **NOTA INFORMATIVA**

# **“ESTUDIO DE VIBRACIÓN PARA UN EDIFICIO (SFP) UBICADO EN LA AV. INSURGENTES SUR NO.1735, CDMX”**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

CENAPRED

COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL MÉXICO

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

**Elaboró:**

**Emmanuel Ramírez Álvarez**  
**Subdirección de Riesgos Sísmicos**

**Colaboró:**

**Subdirección de Riesgos Estructurales**  
**Dirección de Instrumentación y Cómputo**

**Ciudad de México, Abril 2018**

# ÍNDICE

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>                        | <b>3</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                 | <b>3</b>  |
| 1.1 Antecedentes .....                      | 3         |
| 1.2 Objetivos .....                         | 4         |
| 1.3 Alcances.....                           | 4         |
| 1.4 Localización del proyecto .....         | 4         |
| <b>2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.....</b>    | <b>5</b>  |
| 2.1 Puntos Medidos.....                     | 5         |
| 2.2 Metodología de medición y análisis..... | 5         |
| <b>3. RESULTADOS .....</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>4. CONCLUSIONES .....</b>                | <b>14</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>                     | <b>14</b> |

## RESUMEN

Después del sismo del 19 de septiembre de 2017, de magnitud 7.1 y, que afectó a las 16 delegaciones de la Ciudad de México y, como parte de las medidas post-sismo implementadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), se desarrolló el análisis de los registros de vibración ambiental, tomados en un edificio ubicado sobre la Av. Insurgentes Sur No. 1735 en la Ciudad de México.

En dicho edificio, se realizó una medición similar en el año 2015. La metodología empleada en ambos casos; fue realizar mediciones en puntos específicos en distintos niveles y en diferentes tiempos dentro de la estructura, con un equipo BASALT el cual mide aceleración.

La determinación experimental de los periodos fundamentales de vibrar del edificio, siempre que se realicen con los métodos y equipos adecuados, son de utilidad para la evaluación de la salud estructural, permite hacer evaluaciones cuantitativas de las excitaciones impuestas por los sismos a las estructuras y de las respuestas de las mismas. Con estos valores se puede calibrar el modelo estructural y se puede tener una buena idea, de las condiciones de flexibilidad o rigidez.

En el capítulo 2, se presentan los procedimientos y la distribución de los puntos durante la adquisición de datos de vibración ambiental en el edificio.

En el capítulo 3, se presentan los resultados obtenidos del análisis de las señales para cada punto y su comparación respecto a la medición realizada en el año 2015.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El diseño de edificios requiere el uso de modelos matemáticos para predecir el comportamiento dinámico que pueden experimentar durante su vida útil; comúnmente, en ellos se consideran ciertas hipótesis de algunos aspectos estructurales, en los cuales existen grandes incertidumbres de su comportamiento real ante excitaciones dinámicas, entre los que destacan los efectos de interacción suelo-estructura, los efectos de torsión, la flexibilidad del diafragma de piso, la efectividad de las juntas constructivas y la participación de los elementos no estructurales (CENAPRED, 1999).

La importancia de la instrumentación sísmica de edificios, se sustenta en que permite hacer evaluaciones cuantitativas de las excitaciones impuestas por los sismos a las estructuras y de las respuestas de las mismas. El objetivo del estudio de edificios es contribuir a la comprensión de su respuesta dinámica ante sismos de gran intensidad, que es precisamente para estos casos donde subsisten las mayores controversias, y ello conducirá a mejorar los criterios de diseño y evaluación estructurales (Alcántara *et al.*, 2002).

Actualmente existen tres tipos de pruebas experimentales para determinar las características dinámicas de las estructuras en escala real. Una de ellas basada en vibración utilizando el ruido del tránsito de vehicular, del empuje del viento y del uso de la estructura, denominada prueba de

*vibración ambiental*. La segunda metodología es la prueba de *vibración forzada*, en la cual la estructura es excitada por una vibración constante con uno o más motores de vibración que tienen un control de velocidad preciso. Finalmente, la *prueba con registros sísmicos*, consiste en registrar por medio de acelerógrafos los movimientos provocados por los sismos.

## 1.2 Objetivos

Para este estudio se realizó la toma de registros de vibración ambiental, en un edificio de 11 niveles y dos sótanos ubicado en la Ciudad de México, con la finalidad de estimar sus periodos estructurales.

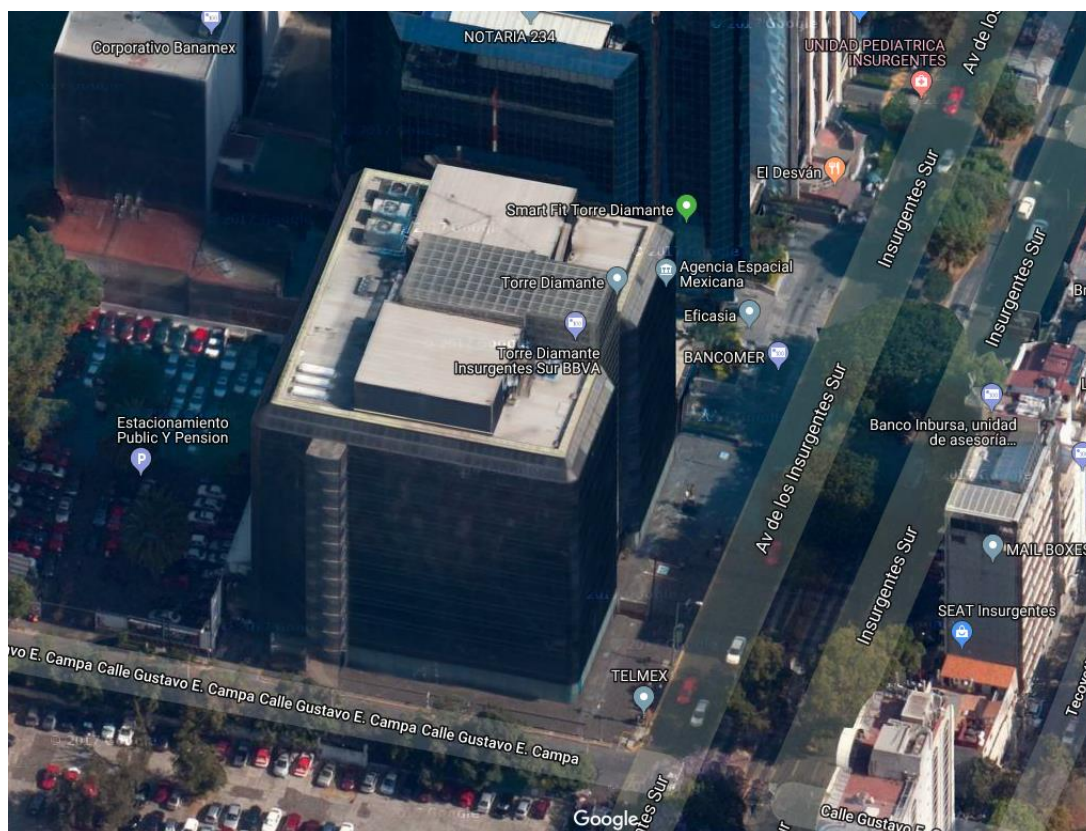
## 1.3 Alcances

Los alcances de este estudio se resumen en los siguientes párrafos:

- 1) Análisis de las señales de vibración ambiental para la determinación experimental de los periodos estructurales de vibrar del edificio, para obtener, de las condiciones de flexibilidad o rigidez que se presentan.

## 1.4 Localización del proyecto

La ubicación del edificio en análisis en la Ciudad de México se muestra en la Figura 1.1. Las coordenadas geográficas de la ubicación del edificio son: Long 99.183645°W, Lat 19.360588° N.



**Figura 1.1** Ubicación del edificio en estudio dentro de la Cd de México.

## 2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Las mediciones fueron realizadas el día 03 de abril de 2018 con un acelerómetro, marca Kinematics de la serie BASALT, el cual contienen sensores que registran directamente los movimientos vibratorios en tres direcciones ortogonales en los puntos de medición seleccionados

### 2.1 Puntos Medidos

Para llevar a cabo el registro de las señales se seleccionaron 4 entresijos del edificio, los cuales fueron: Sótano, Planta baja (PB), Piso 6 y Azotea. En el nivel de azotea se midieron 5 ubicaciones: una al centro, una en la esquina Noreste (NE), una en la esquina Noroeste (NO), una en la esquina Sureste (SE) y una en la esquina Suroeste (SO), en los demás niveles se realizaron mediciones solo en el centro.

En las Figuras 2.1 y 2.2 se muestran el edificio y la ubicación de los puntos medidos por cada nivel. La orientación elegida del acelerómetro fue: canal  $x$  (longitudinal L, NS) coincide con la dirección longitudinal del edificio; mientras que el canal  $y$  (transversal T, EW) se orientó con la dirección transversal al del edificio.

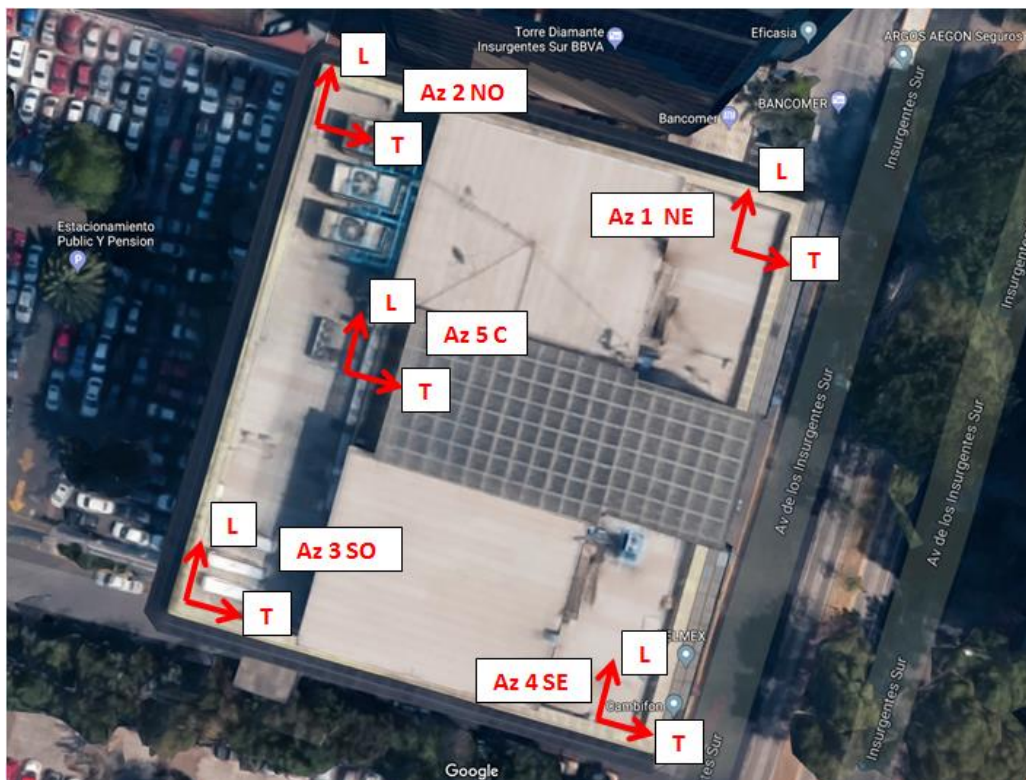
### 2.2 Metodología de medición y análisis

Para el registro de las señales se colocó el equipo BASALT, las diferentes ubicaciones de los niveles: Sótano (Sot), Planta Baja (PB), Piso 6 (P6) y Azotea (Az).

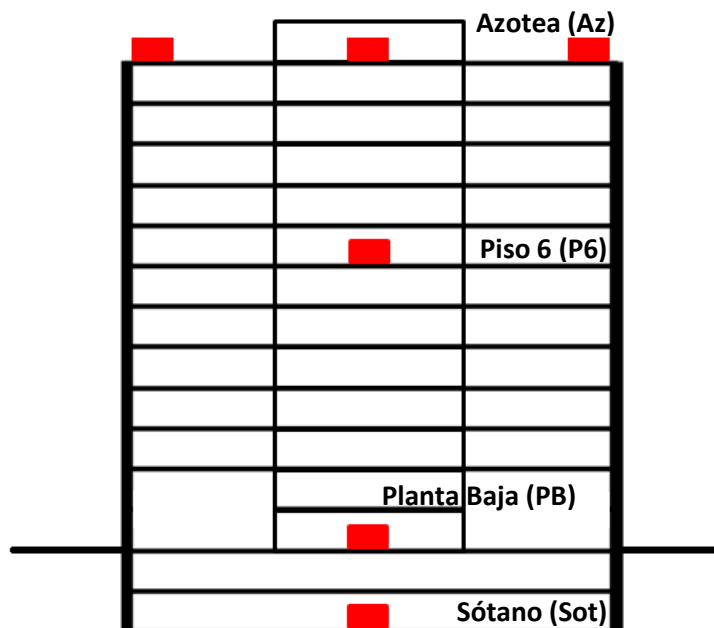
Para cada ubicación se tomó tres registros de cinco minutos de duración. Cada señal registrada fue dividida en ventanas con duraciones de 20 s para calcular el espectro de Fourier de cada una de ellas. Esto se hizo tanto para la dirección longitudinal como para la dirección transversal, según la orientación seleccionada.

De acuerdo con este análisis, los picos máximos de amplificación definidos en los espectros de Fourier, corresponden a las frecuencias naturales en el punto donde se tomó el registro dentro del entresijo y para la dirección estudiada y no pueden ser tomadas como los periodos fundamentales de la estructura.

Para la determinación de las características dinámicas (periodo fundamental de vibración y formas modales) del edificio es necesario realizar mediciones simultáneas de vibración ambiental entre distintos entresijos y el sótano del edificio, tal y como lo recomiendan estudios recientes de análisis dinámico-estructurales con registros de ruido ambiental.



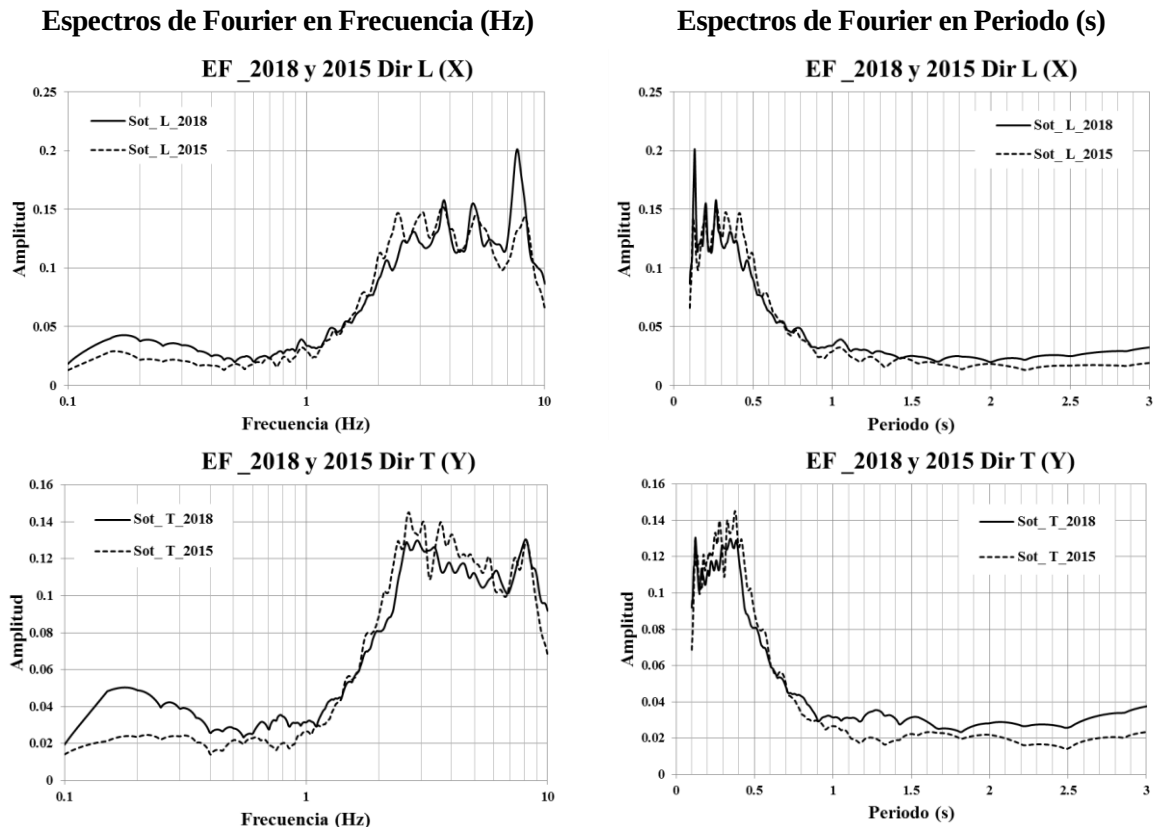
**Figura 2.1.** Ubicación en planta de los puntos en donde se tomaron registros de vibración ambiental.



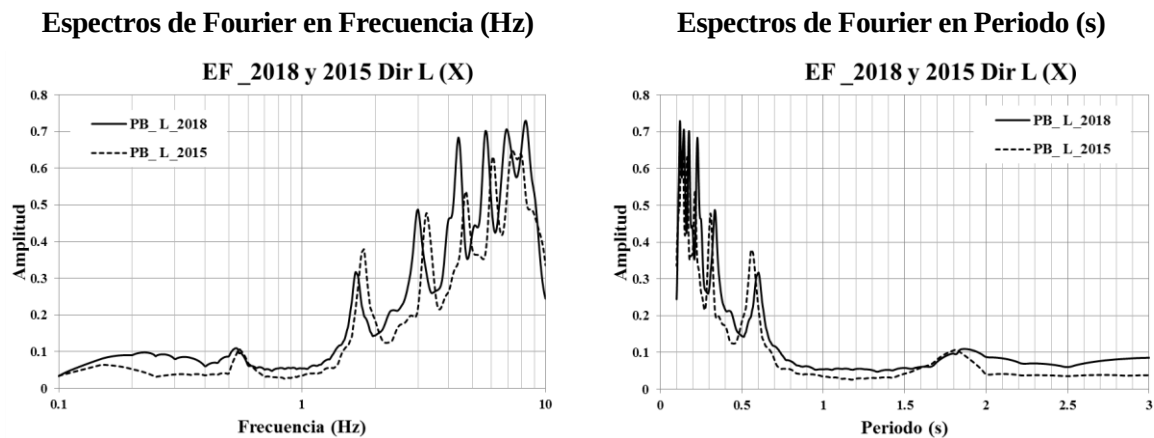
**Figura 2.2.** Croquis en planta del edificio y la ubicación de los puntos medidos por cada nivel.

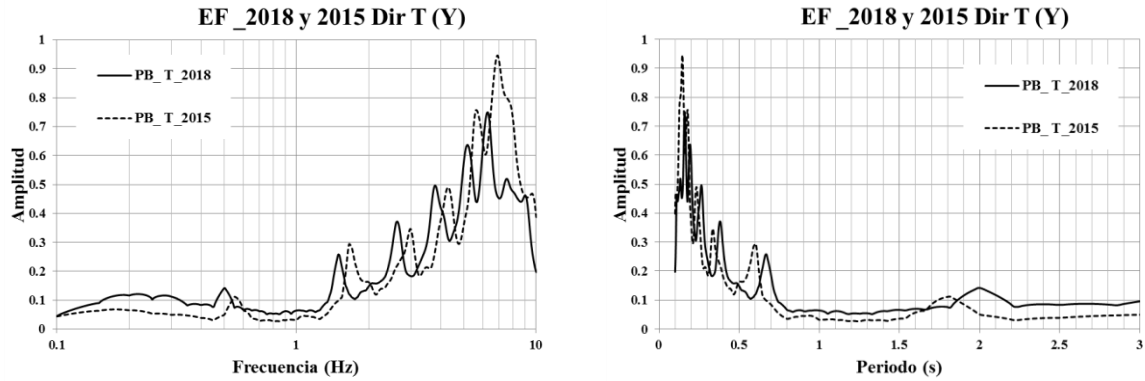
### 3. RESULTADOS

Utilizando el procedimiento explicado en el capítulo anterior se obtuvieron los resultados que se muestran en las Figuras 3.1 a 3.9. En estas figuras se muestran los Espectros de Fourier tanto en frecuencia (Hz, izquierda) y periodo (s, derecha), para cada punto de medición en cada entepiso en las direcciones longitudinal (L) y transversal (T), de los registros obtenidos en 2015 (línea punteada) y los obtenidos en 2018 (línea continua).

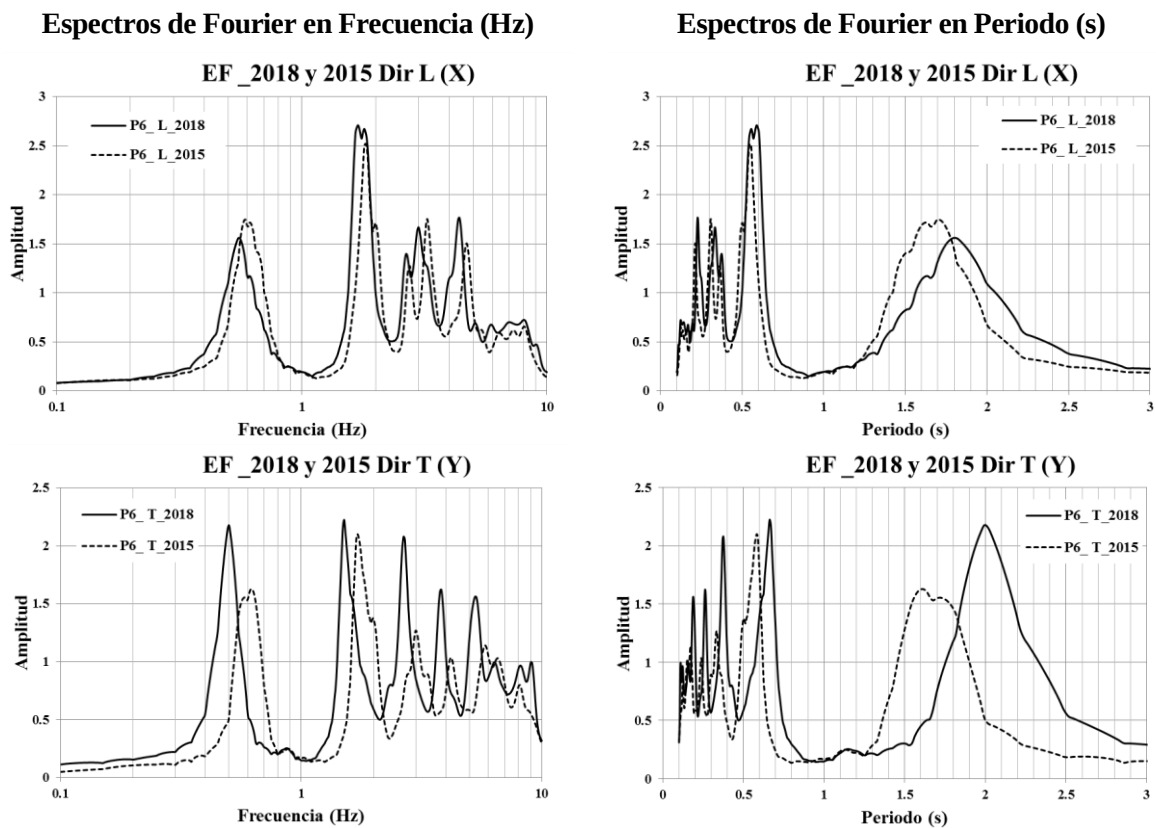


**Figura 3.1** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros del Sótano (Sot).





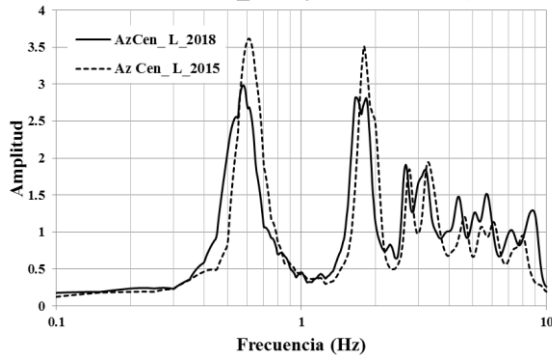
**Figura 3.2** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros de la Planta Baja (PB).



**Figura 3.3** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros del Piso 6 (P6).

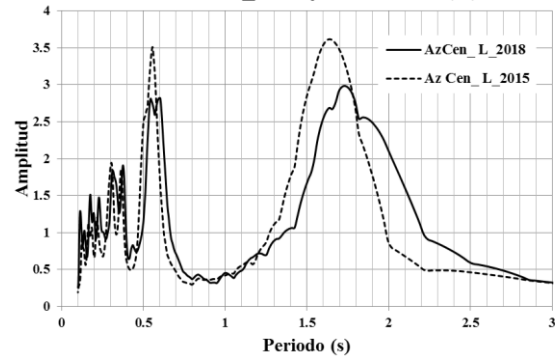
### Espectros de Fourier en Frecuencia (Hz)

EF\_2018 y 2015 Dir L (X)

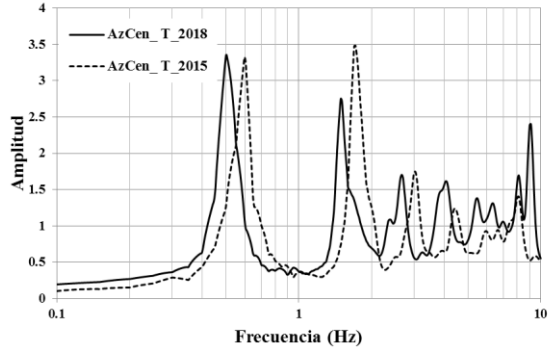


### Espectros de Fourier en Periodo (s)

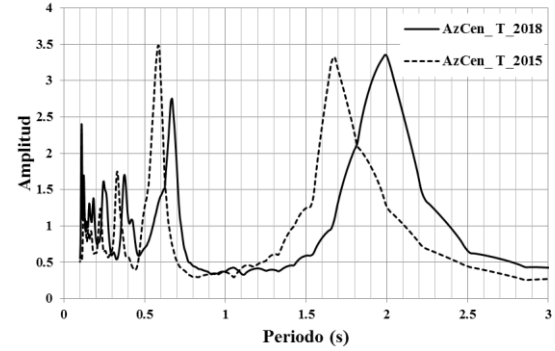
EF\_2018 y 2015 Dir L (X)



EF\_2018 y 2015 Dir T (Y)



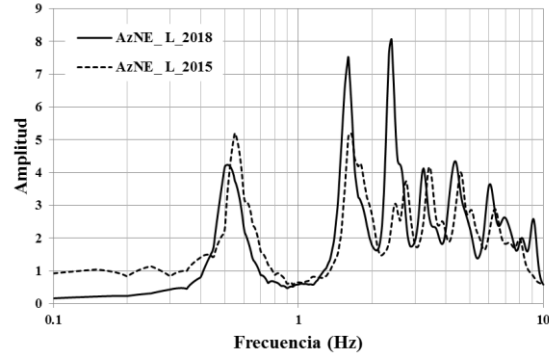
EF\_2018 y 2015 Dir T (Y)



**Figura 3.4** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros de la Azotea Centro (Az C).

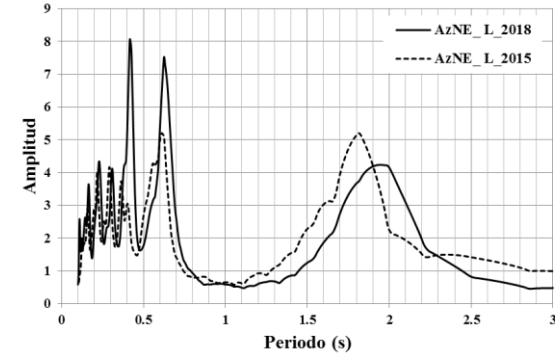
### Espectros de Fourier en Frecuencia (Hz)

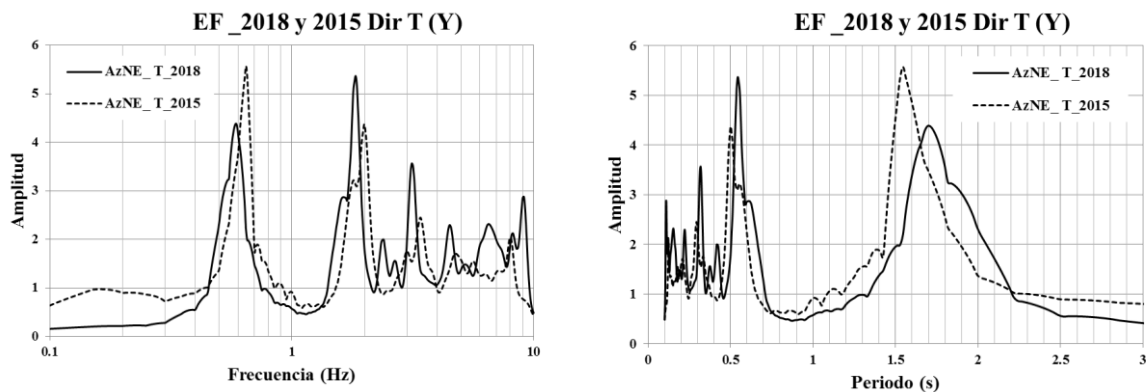
EF\_2018 y 2015 Dir L (X)



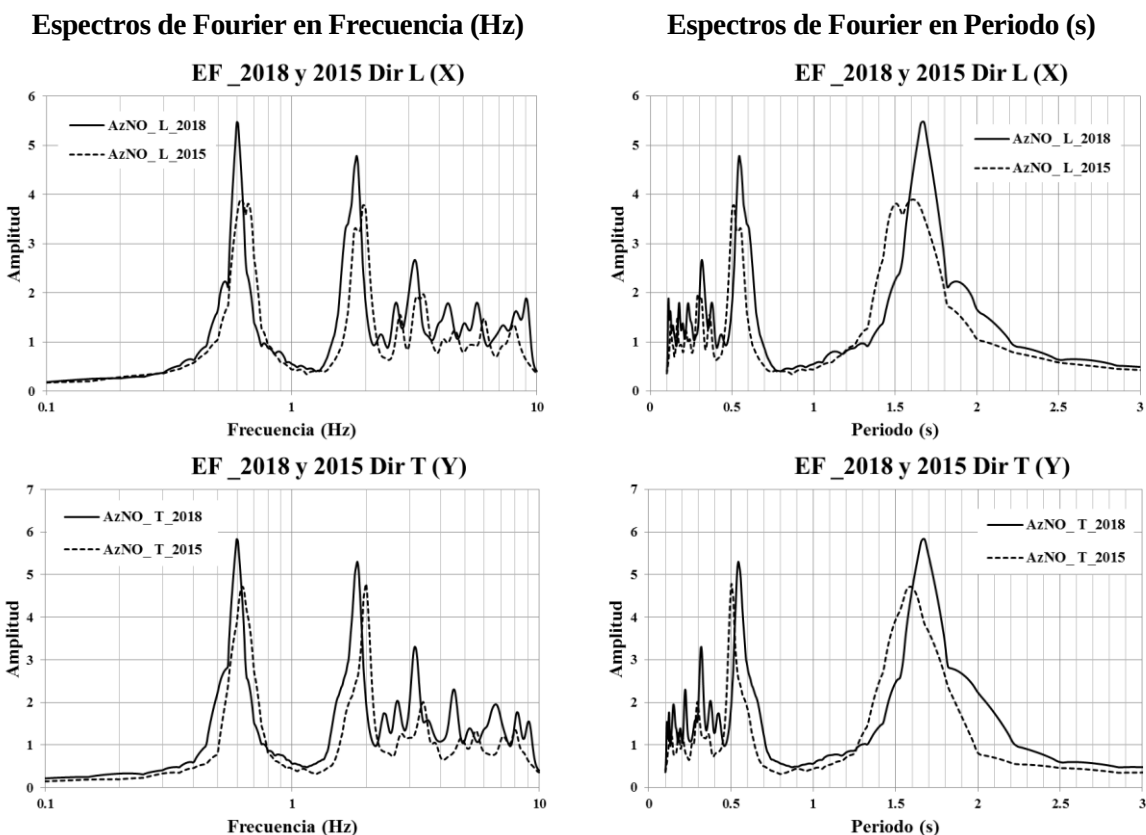
### Espectros de Fourier en Periodo (s)

EF\_2018 y 2015 Dir L (X)





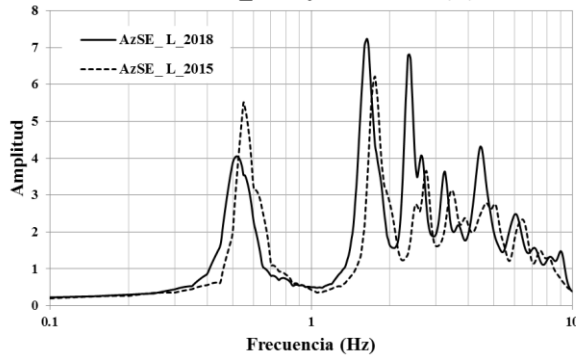
**Figura 3.5** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros de la Azotea Noreste (Az NE).



**Figura 3.6** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros de la Azotea Noroeste (Az NO).

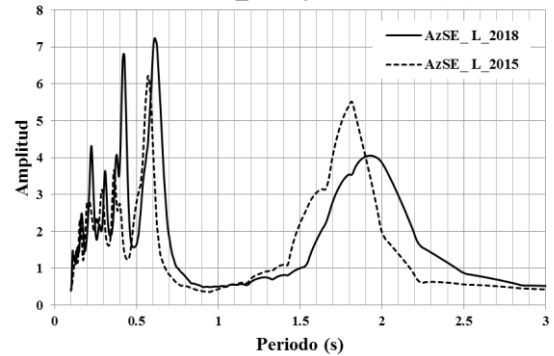
### Espectros de Fourier en Frecuencia (Hz)

EF\_2018 y 2015 Dir L (X)

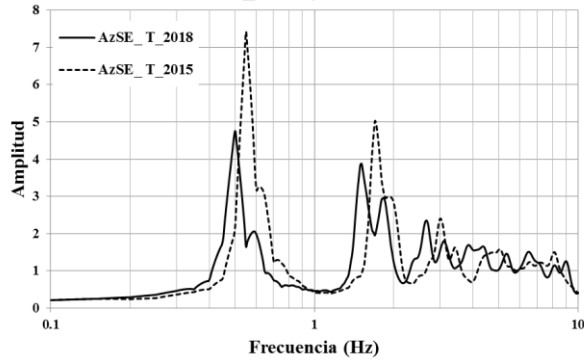


### Espectros de Fourier en Periodo (s)

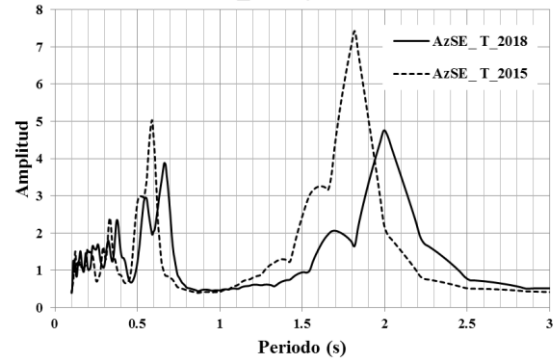
EF\_2018 y 2015 Dir L (X)



EF\_2018 y 2015 Dir T (Y)



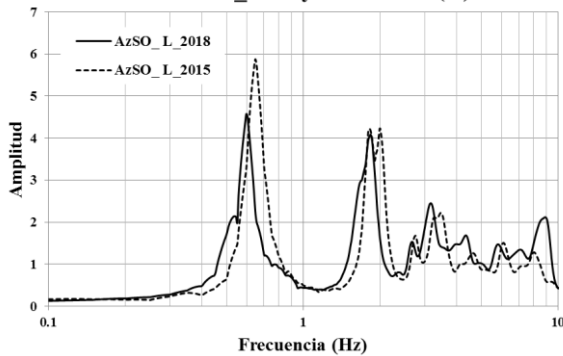
EF\_2018 y 2015 Dir T (Y)



**Figura 3.7** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros de la Azotea Sureste (Az SE).

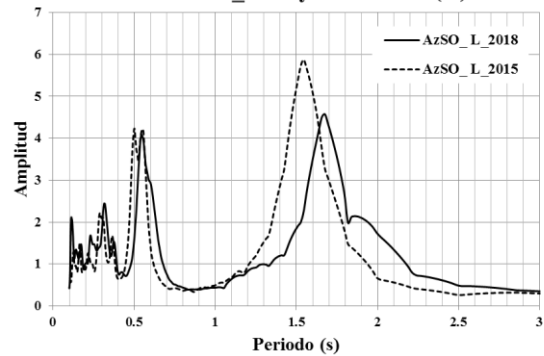
### Espectros de Fourier en Frecuencia (Hz)

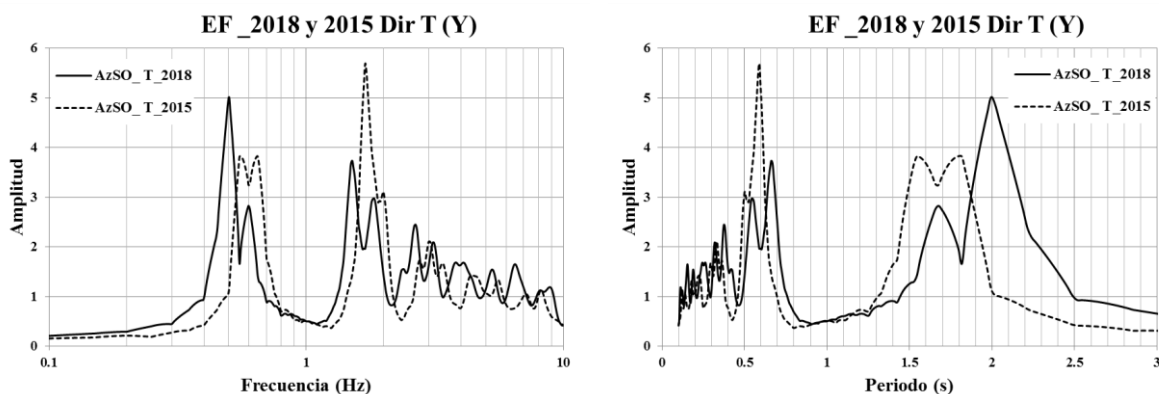
EF\_2018 y 2015 Dir L (X)



### Espectros de Fourier en Periodo (s)

EF\_2018 y 2015 Dir L (X)



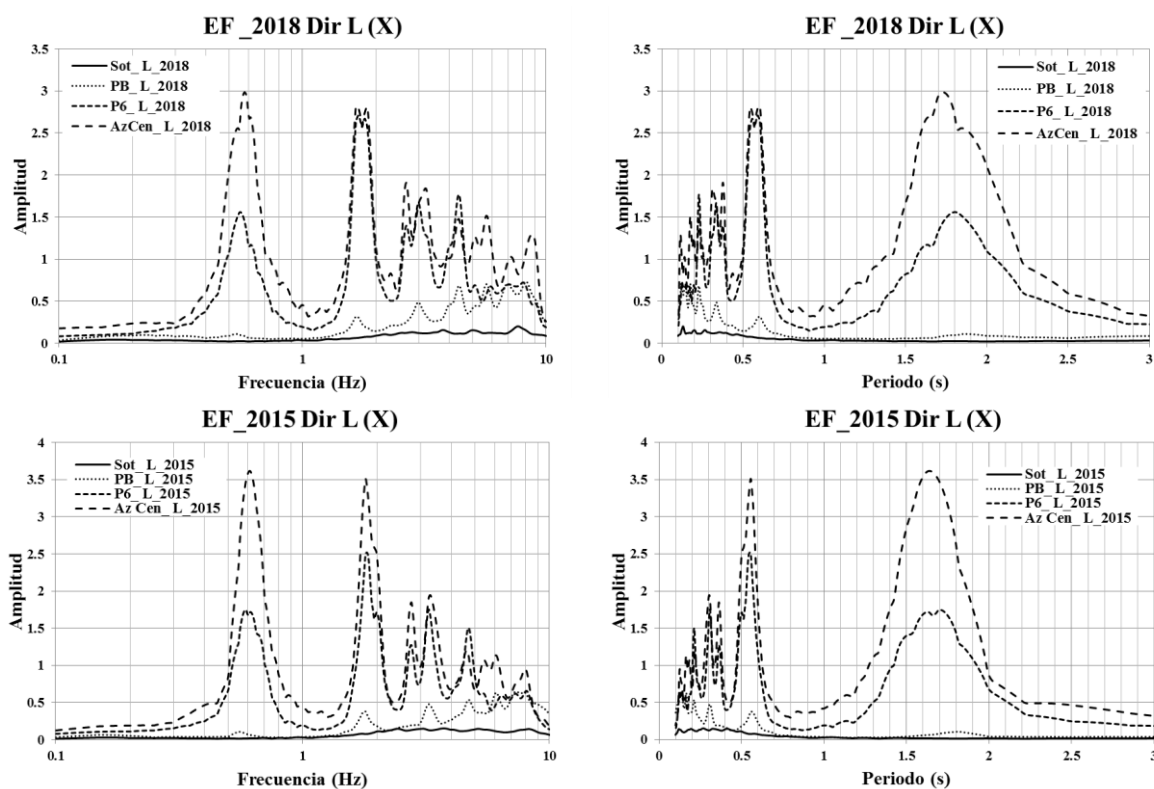


**Figura 3.8** Espectros de Fourier de las direcciones NS (T) y EW (L), obtenidos con los registros de la Azotea Suroeste (Az SO).

En la Fig. 3.9 y 3.10 se muestra una comparación de los espectros de Fourier (EF) de los puntos medidos en los diferentes entresijos y que coinciden entre sí (Centro), de las mediciones realizadas en 2015 y 2018.

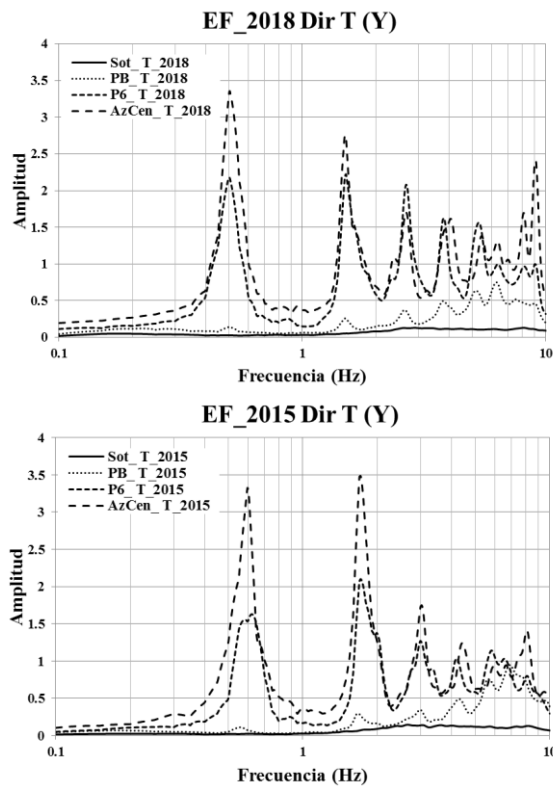
#### Comparación de EF en Frecuencia (Hz) Dir L

#### Comparación de EF en Periodo (s) Dir L

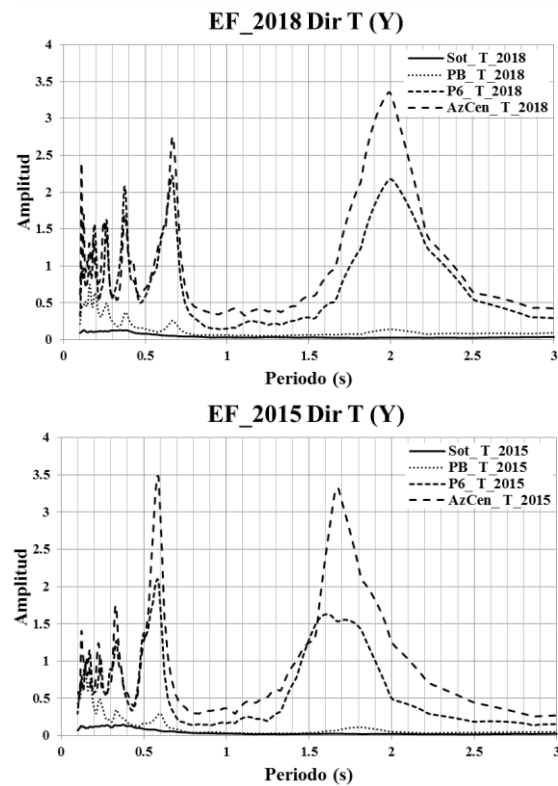


**Figura 3.9** Comparación de Espectros de Fourier de la dirección longitudinal (L) (Centro, 2015 y 2018).

### Comparación de EF en Frecuencia (Hz) Dir T

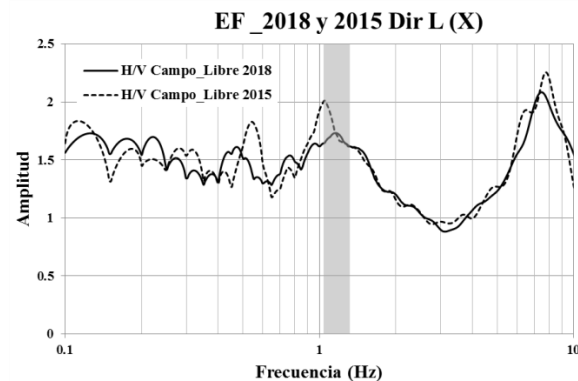


### Comparación de EF en Periodo (s) Dir T



**Figura 3.10** Comparación de Espectros de Fourier de la dirección transversal (T) (Centro, 2015 y 2018).

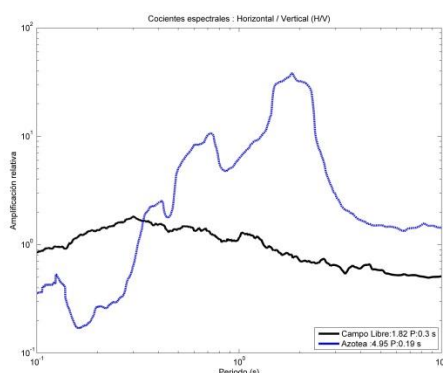
Finalmente en la Fig. 3.11 se muestra el cociente espectral promedio H/V, del punto tomado en campo libre, donde se puede observar que la frecuencia fundamental del suelo es de 1.15 Hz (0.86 s). Este periodo del suelo parecido a los de la Zona II (Transición), de la microzonificación sísmica del RCDF 04.



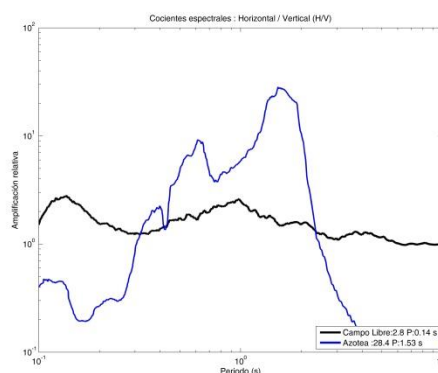
**Figura 3.11** Cociente espectral promedio H/V, del punto con registros en campo libre.

En la figura 3.12 se muestran los cocientes espectrales en la azotea del edificio, de los registros del 2015 y 2018, utilizando el método implementado por MCRE en 2014.

### Resultados 2018



### Resultados 2015



## 4. CONCLUSIONES

Se determinaron las frecuencias presentes en las direcciones longitudinal y transversal en 6 entresijos de un edificio de 11 niveles y dos sótanos (Sótano, Planta Baja, Piso 6 y Azotea), ubicado en Av. Insurgentes Sur 1735, de la Ciudad de México.

De acuerdo con este análisis, se observa que las frecuencias o periodos donde aparecen picos con amplitudes definidas, corresponden a las frecuencias naturales del punto donde se tomó el registro dentro del entresijo y para la dirección estudiada, las cuales pueden tener un origen variado, tales como; uso de la estructura, viento, paso vehicular, efecto de sitio y el mismo periodo de oscilar de la estructura. Sin embargo, estas frecuencias no se pueden tomar como los periodos fundamentales de la estructura, debido a que los registros fueron obtenidos en distintos tiempos.

También, se observa que el corrimiento de los Espectros de Fourier obtenidos hacia frecuencias más pequeñas o periodos más grandes, 17% como máximo y 5% el mínimo, utilizando los registros de 2015 respecto a los de 2018.

Si se desea conocer las características dinámicas (periodo fundamental de vibración y formas modales) del edificio es necesario realizar mediciones simultáneas de vibración ambiental entre distintos entresijos y el sótano del edificio, tal y como lo recomiendan las investigaciones recientes sobre el tema.

## REFERENCIAS

**Alcántara, L., Muriá, D., Almora, D., Velasco, J.M., Torres, M., Vázquez, R., Vázquez, E., y Macías, M.** (2002), "Sistema de monitoreo remoto en un edificio localizado en una ciudad expuesta a un peligro sísmico mayor", Octavas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Valparaíso, Chile.

**CENAPRED (1999),** *“Curso sobre Diseño y Construcción Sismorresistente de Estructuras”*.

**Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal RCDF (2004).** *“Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo”*. Gaceta oficial del Distrito Federal, 6 de octubre de 2004.