



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE EDIFICIO ANTÍGONA SOMETIDO A SISMOS DE MEDIANA INTENSIDAD

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MATÍAS GABRIEL COSTA MERINO

PROFESOR GUÍA:  
FRANCISCO HERNÁNDEZ PRADO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
FABIÁN ROJAS BARRALES  
RODRIGO ASTROZA EULUFÍ

SANTIAGO DE CHILE  
2019

## **RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL**

**TITULO DE:** Ingeniero Civil con mención en Estructuras, Construcción y Geotecnia.

**ESTUDIANTE:** Matías Gabriel Costa Merino

**FECHA:** Abril 2019

**PROFESOR GUÍA:** Francisco Hernández Prado

### **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO ANTIGONA SOMETIDO A SISMOS DE MEDIANA INTENSIDAD”**

El presente trabajo tiene como objetivo generar un informe automatizado de la respuesta sísmica registrada del edificio Antígona en Viña del Mar sujeto a diversos eventos sísmicos. El edificio Antígona tiene una instrumentación permanente perteneciente a RENADIC desde 2017 que consiste de 12 acelerómetros ubicados en diversos niveles de la estructura (subterráneo -2, primer piso, octavo piso y quinceavo piso) y es sujeto a sismos de diversa intensidad en forma frecuente. De esta forma, el presente trabajo pretende generar una herramienta que permita estudiar las características dinámicas de la estructura y de su respuesta ante múltiples eventos sísmicos ocurridos entre fechas señaladas. La finalidad de las rutinas generadas es que permitan generar informes periódicos de RENADIC que tengan una información más detallada en comparación a lo que se realiza actualmente en forma manual. Además, la herramienta puede ser utilizada para generar un informe en forma rápida y rigurosa de lo que pudiese acontecer cuando ocurra un terremoto fuerte.

En el informe se incluye la siguiente información: a) una descripción general de la estructura y de su instrumentación, b) una descripción de los sismos registrados durante las fechas señaladas, c) resúmenes generales de la respuesta del edificio como aceleraciones, velocidades y desplazamientos registrados para cada evento en cada canal, d) se generan los espectros elásticos de respuesta para las señales registradas, e) se generan los espectros de potencia y funciones de transferencia asociadas a movimientos globales de la estructura en sus sentidos longitudinal, transversal y torsional, f) se identifican las propiedades dinámicas de la estructura (frecuencias naturales, formas modales y razones de amortiguamiento) utilizando el método DSI, g) se incluyen resultados de un modelo de elementos finitos “calibrado” en ETABS de manera de obtener los cortes y derivas de entre piso, h) se incluyen datos generales del sismo reportados por el CSN.

Dentro de los resultados obtenidos fue posible identificar al menos seis modos fundamentales de la estructura, observándose una importante participación torsional en la mayoría de estos.

A partir de los resultados obtenidos, se genera una rutina en Matlab la cual confecciona un informe automático en pdf, a partir de un código en Latex, el cual presenta los resultados de los registros que el usuario selecciones de la base de registros v1 de RENADIC.

# Agradecimientos

Aprovechando este espacio me gustaría agradecer en primera instancia a mi Mamá y Papá, por el gran esfuerzo que han hecho desde mi crianza, por estar en las buenas y en las malas y por apoyarme siempre en todo momento. A mi hermana, por su disposición a ayudar, el apoyo incondicional y por siempre adicionar una cuota de inmadurez en la casa para sacar una sonrisa. A la Tita y a mi familia en general, por siempre preocuparse de mi avance y tenerme fe de que terminaría este proceso de buena manera.

A Natalia, mi polola, por siempre estar al lado mío, y ser un apoyo incondicional en este proceso. Por la capacidad de soportarme en este periodo en que varias veces no pudimos vernos a causa del trabajo. Sin su apoyo la carga hubiera sido aún más difícil de llevar. Amor infinito para ella.

A los cabros de sección, más conocidos como los Larrys, por haber compartido conmigo desde el comienzo de esta etapa tantas pichangas, carretes, y momentos de ocio imborrables.

Al grupo de la pecera, que si bien nos conocimos hace poco tiempo, no es menos importante. Por el apoyo, las risas y por compartir el intelecto, el cual varias veces solucionó varios problemas que se iban generando en el camino.

Una mención especial a mi profesor guía, Francisco Hernández por siempre tener disposición para ayudar y resolver dudas y problemas, algunas veces hasta sacrificando de su tiempo libre y de trabajo para atender los requerimientos que surgían. Agradecerle por su vocación y por sobre todo por cómo es como persona. A los profesores de la comisión, muchas gracias por su disponibilidad ante consultas que surgían durante el trabajo y por la orientación que brindaron.

Imposible dejar afuera de estas palabras a personas como el Edu y la Sami, que aportaron a este trabajo de manera directa. Gracias por la disposición y la ayuda, su grano de arena fue fundamental para que este trabajo pudiera desarrollarse de buena forma.

Para finalizar me gustaría agradecer a cada profesor que aportó en mi formación como profesional dentro de este proceso en esta carrera tan linda como es la Ingeniería Civil.

# Tabla de contenido

1. Introducción .....	1
1.1. Introducción y Motivación.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo General .....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. Metodología.....	3
1.3.1. Recopilación Bibliográfica.....	3
1.3.2. Procesamiento de Datos y Espectro Elásticos de Respuesta.....	3
1.3.3. Obtención de Espectros de Potencia y Funciones Transferencia .....	3
1.3.4. Definición Inputs y Outputs.....	3
1.3.5. Aplicación del Método DSI para Determinar Propiedades Dinámicas de la Estructura.....	4
1.3.6. Modelación de Elementos Finitos .....	4
1.3.7. Generación de informe.....	5
2. Marco teórico.....	6
2.1. Espectro Elástico de Respuesta .....	6
2.1.1. Método Beta de Newmark .....	7
2.2. Métodos de Identificación en el Espacio de la Frecuencia.....	9
2.2.1. Espectro de densidad de Potencia (PSD) .....	10
2.2.2. Función de Transferencia .....	10
2.2.3. Ventanas de Datos .....	11
2.3. Método de Identificación de Propiedades Dinámicas DSI.....	12
2.3.1. Algoritmo .....	13
2.3.2. Criterios de estabilidad en la determinación de propiedades dinámicas.....	15
3. Descripción de la estructura en estudio .....	18
3.1. Información general .....	18
3.2. Antecedentes geotécnicos de la zona.....	26
3.3. Daños estructurales producto del terremoto del 2010.....	27
3.3.1. Daños en muros estructurales.....	31
3.3.2. Agrietamientos en losas.....	32
3.3.3. Daños en machones y dinteles .....	34
3.4. Rehabilitación estructural.....	35
3.5. Instrumentación.....	37
3.5.1. Disposición de instrumentos .....	39
3.5.2. Datos registrados.....	40
4. Resultados y Análisis de datos .....	42
4.1. Procesamiento de datos .....	42
4.1.1. Determinación de Propiedades del Sismo .....	44
4.1.2. Registros de Aceleraciones.....	44
4.1.3. Cálculo de Respuestas Máximas.....	46
4.2. Determinación de Espectros Elásticos .....	46
4.3. Determinación de Espectros de Potencia y relaciones Espectrales.....	47

4.4. Identificación de Propiedades Dinámicas Aplicando Método DSI.....	49
4.4.1. Determinación de Inputs y Outputs de la Estructura.....	49
4.4.2. Identificación de Propiedades Dinámicas.....	51
4.4.3. Formas Modales .....	53
5. Modelación de Elementos Finitos de la Estructura.....	55
5.1. Calibración de Modelo.....	56
5.2. Resultados del modelo .....	59
5.2.1. Corte por piso.....	60
5.2.2. Deformaciones relativas de entrepiso (DRIFT) .....	61
6. Generación de Informe.....	62
6.1. Organización de información .....	62
6.2. Funcionamiento y uso del programa.....	63
6.2.1. Generación de informe para nuevo registro .....	63
6.2.2. Generación de informe para eventos pasados.....	68
7. Conclusiones y Comentarios .....	69
8. Bibliografía .....	71
9. Anexos.....	73
9.1. Anexo A: Informe automatizado generado para todos los eventos sísmicos registrados a la fecha.....	73

## Índice de tablas

Tabla 2-1 Métodos de la aceleración promedio y la aceleración lineal, (Chopra, 2006) ....	8
Tabla 2-2 Proceso de obtención de respuesta por el método de Newmark para sistemas lineales, (Chopra, 2006).....	9
Tabla 3-1 Características de los acelerómetros EpiSensor de Kinematics.....	37
El primer registro válido que tuvo a todos los sensores funcionando correctamente corresponde al evento que se originó el día 26 de Noviembre del 2017 a 9 [km] al Oeste de Petorca y a 141 [km] del edificio en estudio como se especifica en la (Figura 3.28), con una magnitud de momento Mw=5.1. A partir de este evento se han registrado 13 eventos válidos (indicados en la Tabla 3-2) que se han utilizado para un análisis del edificio que se desarrolla en el presente estudio.....	40
Tabla 4-1 Tabla resumen de las propiedades de los sismos registrados con datos válidos en la estructura .....	43
Tabla 4-2 Componentes máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento de cada canal del sismo del 10 de Abril del 2018. ....	46
Tabla 4-3 Criterios de similitud empleados para obtención de diagrama de estabilidad.	51
Tabla 4-4 Tabla con resultados de los 6 primeros modos identificados por el método DSI asociado al evento del 10 de Abril del 2018.....	52
Tabla 5-1 Resumen de cargas distribuidas por área (Suquillo, 2017).....	56
Tabla 5-2 Frecuencias y periodos fundamentales de la estructura extraídos del programa ETABS correspondiente al modelo original.....	56
Tabla 5-3 Frecuencias y periodos fundamentales de la estructura obtenidos a partir de los resultados del método DSI.....	56
Tabla 5-4 Frecuencias y periodos fundamentales de la estructura obtenidas del programa ETABS después de aplicar los criterios de calibración. ....	57
Tabla 5-5 Participación modal de masa en los 10 primeros modos.....	57
Tabla 5-6 Error asociado a las aceleraciones máximas obtenidas como resultado del modelo y de los instrumentos instalados en el edificio para el evento del 05/12/2018 .....	59
Tabla 5-7 Error asociado a las aceleraciones máximas obtenidas como resultado del modelo y de los instrumentos instalados en el edificio para el evento del 04/01/2018.....	59

# Índice de Ilustraciones

Figura 1.1 Mayores terremotos presentes en territorio chileno entre los años 1835 y 2015 (Modificado de Toledo, 2017).	1
Figura 1.2 Esquema representativo de sistema de “input” y “output” del caso descrito en el punto anterior.	4
Figura 1.3 Modelo de elementos finitos correspondiente al edificio Antígona, (Suquillo, 2017).	5
Figura 2.1 Esquematación de la elaboración de un espectro de respuesta conformado por la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad sometidos a una misma aceleración.	6
Figura 2.2 Funciones de ventanas comúnmente usadas en estimación de espectros de potencia (Press et al., 1986)	11
Figura 2.3 Esquema de un sistema lineal invariante en el tiempo para el caso estocástico-determinístico con entradas $u_k$ , respuestas $y_k$ y estados $x_k$ , descritos por matrices $A, B, C, D$ y matrices de covarianza $Q, S, R$ .	13
Figura 2.4 Diagrama de estabilidad donde se presentan los resultados del método DSI (Balsebre, 2019).	17
Figura.3.1 Zona en la que se encuentra el edificio Antígona en la comuna de Viña del Mar	18
Figura 3.2 Ubicación específica del edificio en estudio.	19
Figura 3.3 Planta nivel subterráneo -2, donde se encuentran las bodegas del edificio	20
Figura 3.4 Planta nivel subterráneo 1 en donde se muestra achurado en azul el área de la planta tipo correspondientes a los otros niveles del edificio.	21
Figura 3.5 Planta segundo nivel del edificio Antígona.	22
Figura 3.6 Planta segundo nivel del edificio Antígona.	23
Figura 3.7 Planta piso tipo del tercer a quinto nivel del edificio Antígona.	24
Figura 3.8 Planta piso tipo del séptimo a décimo sexto nivel del edificio Antígona.	25
Figura 3.9 Geología de la superficie de Viña del Mar mostrando traza de falla Margamarga (Álvarez, 1964).	26
Figura 3.10 Curvas de isoperíodos en la ciudad de Viña del Mar, (Carrasco & Núñez, 2013).	27
Figura 3.11 Registro de aceleraciones del terremoto del 27 de Febrero del 2010 registrado por la estación de campo libre VINA de la RENADIC ubicada en Viña del Mar.	28
Figura 3.12 Espectro de respuesta de aceleraciones en la dirección EO y NS obtenidos a partir de los registros de aceleraciones del terremoto del 27F presentados en la Figura 3.11.	28
Figura 3.13 Ubicación de estación VINA en campo libre de la RENADIC donde se obtuvieron los registros de la Figura 3.11	29
Figura 3.14 Intensidades sísmicas e isosistas producto del terremoto del 27 de Febrero del 2010 por región, (Maximiliano Astroza et al., 2010).	30
Figura 3.15 Ubicación del muro dañado en la fachada oriente del primer piso (RCP Ingeniería Ltda., 2011).	31
Figura 3.16 Daño estructural del muro de la fachada oriente (Leiva, Bravo, Matus, & Riquelme, 2010).	32
Figura 3.17 Ubicación general del daño producto del agrietamiento de losas (Leiva et al., 2010).	33

Figura 3.18 Grietas por acoplamiento de losas sobre dinteles de las puertas de acceso a los departamentos (Leiva et al., 2010). .....	33
Figura 3.19 Desprendimiento del revestimiento exterior de machones en fachada norte (Leiva et al., 2010). .....	34
Figura 3.20 Falla de machón por corte vista desde el interior de un departamento del edificio (Leiva et al., 2010). .....	35
Figura 3.21 Colocación de horquilla horizontal para reforzar armaduras pandeadas (RCP Ingeniería Ltda., 2011). .....	36
Figura 3.22 Detalle en corte de la armadura de refuerzo cabezal aplicada en el muro dañado (RCP Ingeniería Ltda., 2011). .....	36
Figura 3.23 Acelerómetro uniaxial EpiSensor Modelo ES-U2, marca Kinometrics.....	37
Figura 3.24 Instalación de los instrumentos en el edificio: a) 2 acelerómetros, uno en dirección NS y el otro en dirección EO en el shaft de redes húmedas. b) Un acelerómetro en dirección NS en el shaft de redes eléctricas. ....	38
Figura 3.25 Acelerómetros instalados en el subterráneo -2, uno en cada dirección de interés (NS, EO y vertical). .....	39
Figura 3.26 Ubicación y orientación de los instrumentos en las plantas correspondientes. ....	39
Figura 3.27 Ubicación del primer sismo registrado por la instrumentación del edificio Antígona el día 09/08/2017 de Mw=4.8. (Fuente: <a href="http://www.sismologia.cl">www.sismologia.cl</a> ).....	40
Figura 3.28 Ubicación del primer sismo registrado por la instrumentación del edificio Antígona con datos válidos el día 26/11/2017 de Mw=4.8. (Fuente: <a href="http://www.sismologia.cl">www.sismologia.cl</a> ) .....	41
Figura 4.1 Registro de aceleraciones de los 12 canales dispuestos en el edificio Antígona para el sismo generado el 10/04/2018. ....	45
Figura 4.2 Espectros elásticos considerando registro de entrada la respuesta de cada canal dispuestos en los diferentes pisos de la estructura para el sismo del 10/04/2018. ....	47
Figura 4.3 Espectros de potencia y funciones de transferencia para identificar frecuencias fundamentales de la estructura utilizando registros del sismo del 10/04/2018. ....	48
Figura 4.4 Registro de aceleraciones del canal 1, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el subterráneo -2 y en sentido NS para el sismo del 10 de Abril del 2018. ....	49
Figura 4.5 Registro de aceleraciones del canal 2, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el subterráneo -2 y en sentido EO para el sismo del 10 de Abril del 2018. ....	50
Figura 4.6 Registro de aceleraciones del canal 4, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el nivel 1 y en sentido NS para el sismo del 10 de Abril del 2018. ....	51
Figura 4.7 Registro de aceleraciones del canal 5, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el nivel 1 y en sentido EO para el sismo del 10 de Abril del 2018. ....	51
Figura 4.8 Diagrama de estabilidad considerando el primer caso de “input” y “output” descrito en la sección anterior asociado al evento del 10 de Abril del 2018. ....	52
Figura 4.9 Formas modales identificadas mediante el método DSI asociadas al sismo del 10 de Abril del 2018. ....	53
Figura 4.10 Método de comparación de identificación de formas modales. ....	54
Figura 5.1 Modelo original utilizado en el trabajo de tesis de Betzabeth Suquillo (Suquillo, 2017). El eje Y corresponde a la dirección NS. ....	55
Figura 5.2 Formas modales de los 3 primeros modos obtenidos del modelo de ETABS. a) Primer modo torsional con traslación en Y, b) segundo modo traslacional en Y, c) tercer modo torsional con componente traslacional en X. ....	58

Figura 5.3 Corte por piso de la estructura producto de la solicitud de aceleraciones correspondiente al sismo del 10 de Abril del 2018 .....	60
Figura 5.4 Deformaciones relativas de entrepiso para el sismo del 10 de Abril del 2018 en ambas direcciones de estudio .....	61
Figura 6.1 Esquema de organización de carpetas donde se trabaja y genera la información. ....	62
Figura 6.2 Directorio donde se debe copiar la carpeta del nuevo sismo registrado. ....	64
Figura 6.3 Información de cada sismo que tiene que ser ingresada. ....	65
Figura 6.4 Modificaciones en el código principal para generar un informe de un registro nuevo. ....	66
Figura 6.5 Activación de parámetros para cálculos de nuevos eventos. ....	67
Figura 6.6 Compilación y generación de informe en TexMaker. ....	67

# 1. Introducción

## 1.1. Introducción y Motivación

Chile, a lo largo de su historia, ha sido azotado por terremotos de grandes magnitudes producto de la ubicación geotectónica en donde se encuentra, en donde la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana ha generado grandes movimientos a lo largo de su historia (Figura 1.1). Esta alta actividad sísmica, produce grandes terremotos cada 15 años en Chile en forma aproximada, ubicándonos dentro de los países con mayor actividad sísmica del mundo, por lo que se debe tener un especial cuidado en el diseño de estructuras que están sometidas a estos movimientos, de manera que puedan presentar un buen desempeño ante estas acciones.

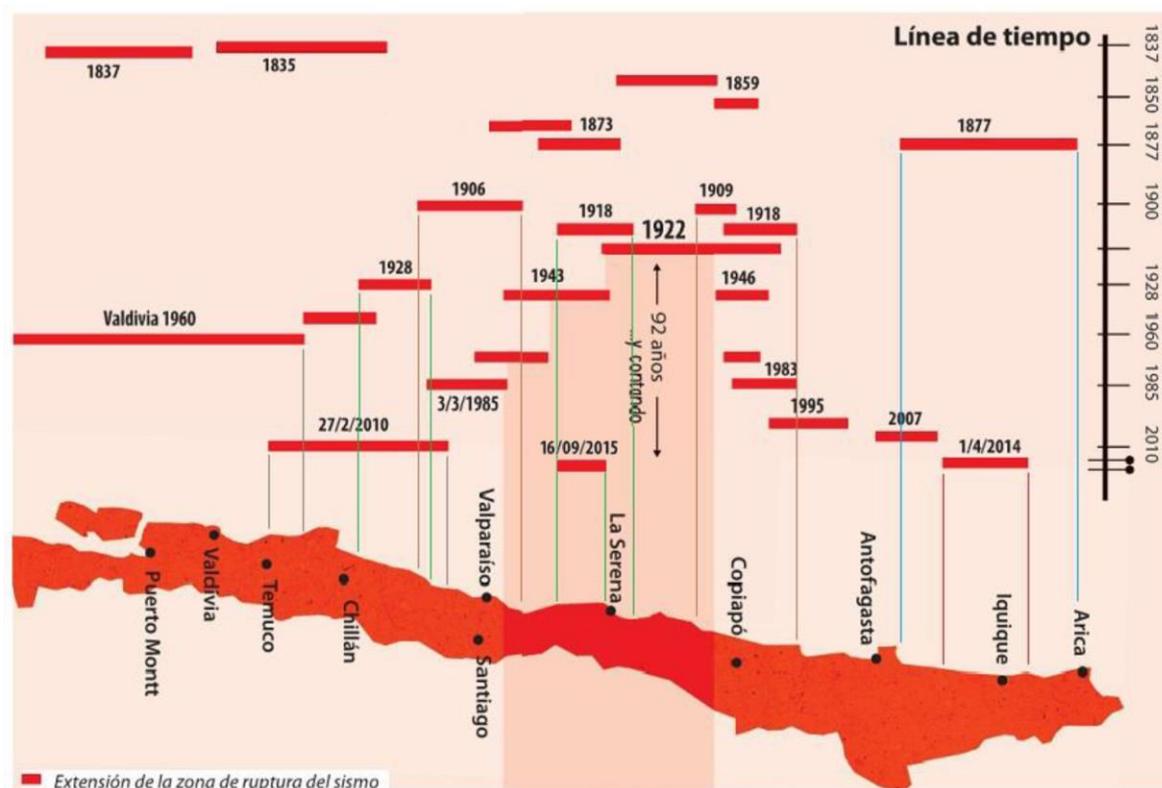


Figura 1.1 Mayores terremotos presentes en territorio chileno entre los años 1835 y 2015 (Modificado de Toledo, 2017).

Debido a la alta actividad sísmica presente en nuestro país, es importante mantener un monitoreo permanente, el cual tiene por principal objetivo mejorar la comprensión del comportamiento y el potencial daño que pudiesen experimentar estructuras sometidas a cargas dinámicas generadas por terremotos. Como resultado de este entendimiento, las prácticas de diseño y construcción pudiesen ser mejoradas para minimizar los daños futuros producto de grandes sismos (Çelebi, 2000). De igual manera, una estructura instrumentada proporciona información que permite explicar las razones de cualquier daño de la

estructura y/o para identificar posibles daños que no se pueden determinar con inspecciones visuales (Çelebi, 2013).

En la actualidad, la división de Estructuras y Geotecnia del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, a través de su red de cobertura nacional de acelerógrafos (RENADIC), cuenta con instrumentos tanto en campo libre como en estructuras.

Dentro de las estructuras instrumentadas por RENADIC, existen 6 edificios en Chile, los cuales permiten registrar la respuesta sísmica para fines de investigación.

Los edificios instrumentados por el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, con su respectiva ubicación y año de instrumentación, son los siguientes:

- Edificio Cámara Chilena de la Construcción (Providencia, 1989)
- Torre Central Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (Santiago, 2008)
- Edificios Comunidad Andalucía (Santiago, instrumentado desde 1995)
- Edificio Velamar (Iquique, 2014)
- Edificio Antígona (Viña del Mar, 2017)

Como es posible observar, durante el terremoto de Febrero del 2010 solo se encontraban 3 edificio instrumentados por parte de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, cifra que está muy por lo bajo de lo esperado, considerando la cada vez más alta densidad de edificación presente en las ciudades.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

El objetivo a desarrollar en este trabajo es generar un informe automatizado de la respuesta sísmica y de las propiedades dinámicas del edificio Antígona en Viña del Mar a partir de la respuesta sísmica registrada para diversos eventos sísmicos acontecidos desde su instrumentación.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Procesar datos entregados por los acelerómetros instalados en el edificio Antígona.
- Calcular propiedades intrínsecas del sismo y espectros elásticos a partir de los registros de aceleraciones.
- Obtener frecuencias fundamentales de la estructura mediante espectros de potencia y funciones transferencia.
- Estudiar, comprender y aplicar el método DSI para la identificación de las propiedades dinámicas de una estructura a partir de los registros sísmicos de ella.
- Calibrar modelo de elementos finitos de la estructura en estudio con los resultados obtenidos con el método DSI para obtener resultados detallados del edificio.
- Generación de informe automatizado donde se presenten de manera ordenada información específica de cada sismo que afecta a la estructura.

## 1.3. Metodología

### 1.3.1. Recopilación Bibliográfica

En una primera instancia, se busca información relevante. La información que se recopila corresponde a:

- Artículos en revistas, documentos, memorias de pregrado y tesis de magister que hayan trabajado con identificación de propiedades dinámicas tanto por el método DSI a aplicar en el presente trabajo, como otros métodos.
- Informes técnicos de los daños presentados en el edificio Antígona generados por el terremoto del 27 de Febrero del 2010.
- Documentos normativos de diseño de estructuras.

### 1.3.2. Procesamiento de Datos y Espectro Elásticos de Respuesta

Se obtienen los registros de aceleraciones identificados por los instrumentos instalados en el edificio, a partir de los cuales, se trabaja para obtener los diversos resultados que se exponen en el informe.

Mediante la función “espectroelastico” de MATLAB y a partir de los registros de aceleraciones, se obtienen los espectros elásticos de respuesta correspondientes a cada canal presente en la estructura.

### 1.3.3. Obtención de Espectros de Potencia y Funciones Transferencia

Al igual que para el espectro elástico, se utilizan funciones para obtener espectros de potencia y funciones transferencia, que permiten dilucidar cuáles son las frecuencias fundamentales de la estructura a partir de los peaks de los gráficos.

### 1.3.4. Definición Inputs y Outputs

De modo de tener una buena estimación de resultados para la identificación de propiedades dinámicas, es preciso establecer los “input”, que corresponden a las aceleraciones solicitantes que afectarán a la estructura, y los “output”, que son la respuesta de la estructura. En el presente estudio se consideran los siguientes casos:

- Se consideran “input” los sensores instalados en el subterráneo -2 y “output” los instrumentos dispuestos en los pisos 1, 8 y 15.
- Se consideran “input” los sensores instalados en el nivel 1 y “output” los instrumentos dispuestos en los pisos 8 y 15.

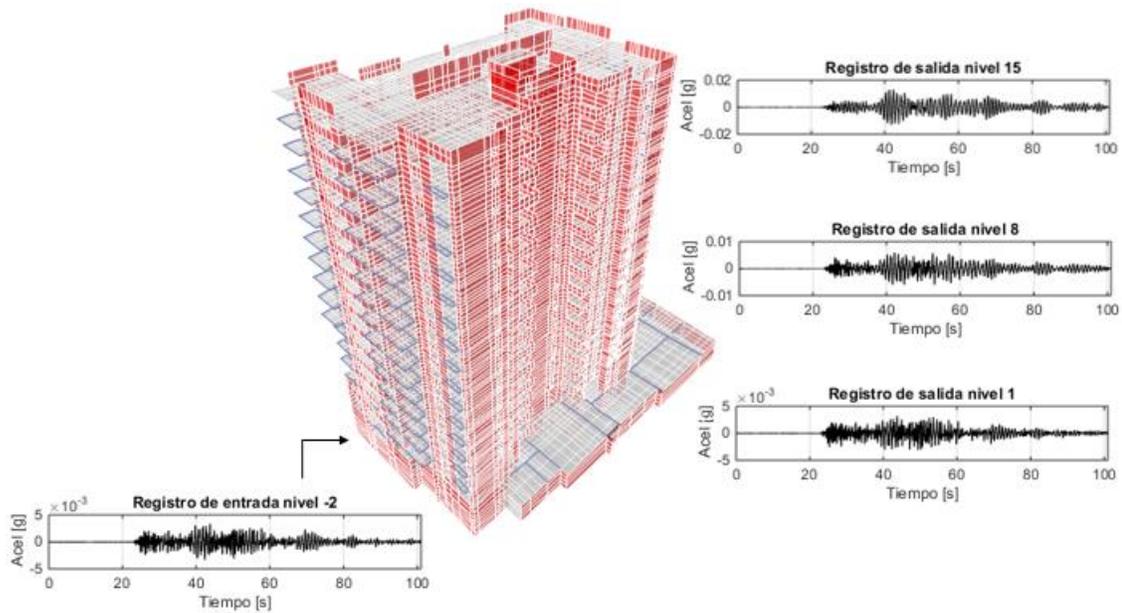


Figura 1.2 Esquema representativo de sistema de “input” y “output” del caso descrito en el punto anterior.

### 1.3.5. Aplicación del Método DSI para Determinar Propiedades Dinámicas de la Estructura

Con el propósito de obtener las propiedades dinámicas de la estructura (frecuencias, razones de amortiguamiento y formas modales), a partir de los registros de aceleraciones, se utiliza el método de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO (Multiple-input Multiple-output), específicamente el algoritmo correspondiente al método DSI (Deterministic-Stochastic Identification) implementados por Van Overschee & De Moor (1996).

Los resultados entregan diagramas de estabilidad, que presentan un resumen de las coincidencias de las propiedades dinámicas identificadas para diversos órdenes del modelo conforme a ciertos criterios de similitud, con lo que es posible inferir las frecuencias, formas modales y razones de amortiguamiento crítico que presenta la estructura para cada evento sísmico.

### 1.3.6. Modelación de Elementos Finitos

Se trabaja con el modelo de elementos finitos del edificio Antígona elaborado y modificado en el programa ETABS 2016 v.16.2.1 (Figura 1.3), que se desarrolló en el trabajo de Suquillo (2017), al cual se le realizan variaciones para efectos del presente estudio.

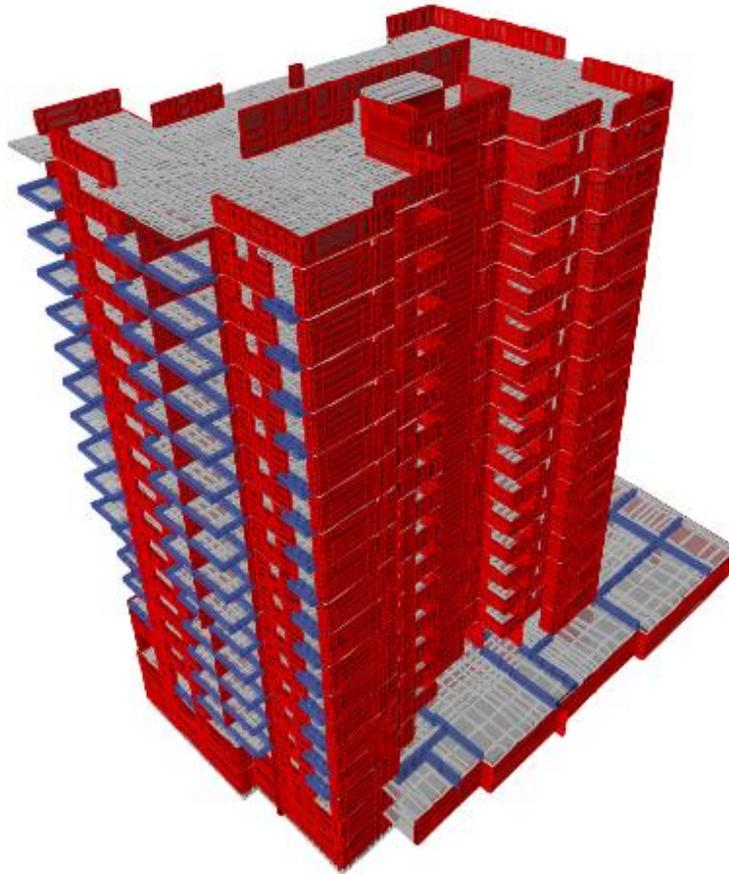


Figura 1.3 Modelo de elementos finitos correspondiente al edificio Antígona, (Suquillo, 2017)

El modelo se calibra para lograr un ajuste de los períodos y formas modales con los resultados estimados a partir de los diagramas de estabilidad del método DSI. Luego de la calibración, se impone la razón de amortiguamiento crítico obtenido con el método DSI y se saca información del programa para luego ser presentada en el informe automatizado.

### 1.3.7. Generación de informe

Este trabajo busca recopilar todos los resultados obtenidos para ser presentados en un informe que se genere automáticamente.

Se desarrolla una rutina en MATLAB que se encarga de generar el informe automáticamente después de tener la información recibida de los sensores una vez ocurrido un evento.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Espectro Elástico de Respuesta

Propuesto formalmente en 1932 por Maurice Anthony Biot en su trabajo de tesis doctoral, el Espectro de respuesta es definido como un gráfico representativo de respuestas máximas (que puede ser aceleración, velocidad, o desplazamiento) vs periodos producto de una aceleración basal solicitante.

Conceptualmente, el espectro se conforma al considerar una serie de estructuras u osciladores de un grado de libertad con distinto periodo de vibración e igual tasa de amortiguamiento crítico. Al solicitar estas estructuras con la aceleración a estudiar, se rescatan los valores máximos de la respuesta que dan forma al espectro como se muestra en la Figura 2.1 (Crisafulli & Villafañe, 2002)

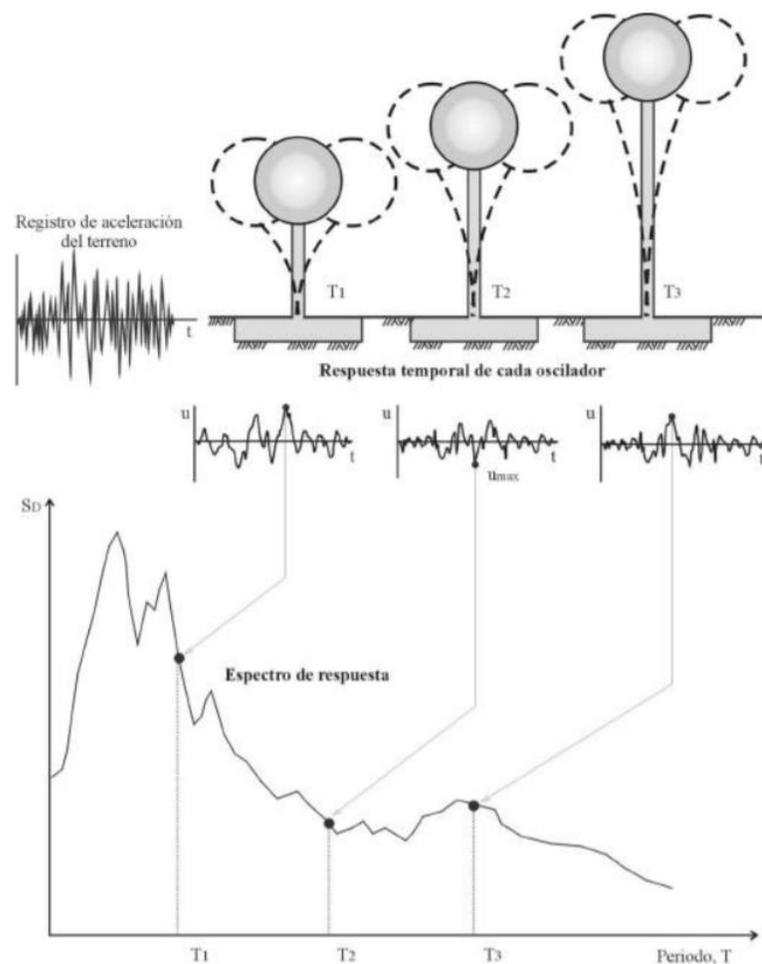


Figura 2.1 Esquematación de la elaboración de un espectro de respuesta conformado por la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad sometidos a una misma aceleración.

Existen diferentes métodos numéricos para resolver la ecuación diferencial ordinaria de segundo orden de equilibrio dinámico para un sistema de un grado de libertad, elástico y

lineal, con amortiguamiento y ante excitaciones dinámicas arbitrarias provenientes de un sismo (Ecuación 2.1).

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = -m \cdot \ddot{u}_g(t) \quad (2.1)$$

Con condiciones iniciales

$$u_0 = u(0) \quad \dot{u}_0 = \dot{u}(0)$$

La respuesta se discretiza en intervalos de tiempo  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ , por lo que los valores de desplazamiento, velocidad y aceleración en el tiempo  $i$  satisfacen la Ecuación 2.1,

$$m \cdot \ddot{u}_i + c \cdot \dot{u}_i + k \cdot u_i = -m \cdot \ddot{u}_g(t_i) \quad (2.2)$$

Los métodos paso a paso en el tiempo permiten determinar la respuesta  $u_{i+1}$ ,  $\dot{u}_{i+1}$  y  $\ddot{u}_{i+1}$  en el instante  $i + 1$  de los sistemas de 1 GDL, tal que satisfacen la Ecuación 2.1,

$$m \cdot \ddot{u}_{i+1} + c \cdot \dot{u}_{i+1} + k \cdot u_{i+1} = -m \cdot \ddot{u}_g(t_{i+1}) \quad (2.3)$$

Algunos de estos métodos son el de Nigam & Jennings, Newton-Raphson, Newmark beta, Wilson, entre otros. En el trabajo que se presenta a continuación, se implementa el método de Newmark beta (Newmark, 1959) ya que es uno de los métodos más utilizados entregando buenos resultados y con menor error.

### 2.1.1. Método Beta de Newmark

Para obtener la respuesta de los osciladores de un grado de libertad, y así poder generar el espectro de respuesta, se utiliza el método paso a paso desarrollado por Newmark en 1959 a partir de las siguientes ecuaciones (Chopra, 2006):

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma) \cdot \Delta t] \cdot \ddot{u}_i + (\gamma \cdot \Delta t) \cdot \ddot{u}_{i+1} \quad (2.4)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t) \cdot \dot{u}_i + [(0.5 - \beta) \cdot (\Delta t)^2] \cdot \ddot{u}_i + [\beta \cdot (\Delta t)^2] \cdot \ddot{u}_{i+1} \quad (2.5)$$

Los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$  definen la variación de la aceleración durante el paso del tiempo y determinan las características de estabilidad y precisión del método. La selección típica de  $\gamma$  es de  $1/2$ , y el valor de  $\beta$  varía entre  $1/6$  y  $1/4$  dependiendo del método de aceleración utilizado, descritos en la Tabla 2-1.

Combinando las ecuaciones (2.4) y (2.5) con la ecuación de equilibrio (2.3) se puede obtener  $u_{i+1}$ ,  $\dot{u}_{i+1}$  y  $\ddot{u}_{i+1}$  para un tiempo  $i + 1$  a partir de  $u_i$ ,  $\dot{u}_i$  y  $\ddot{u}_i$  conocidos en el tiempo  $i$ . Para implementar estos cálculos, es necesario iterar debido a que la aceleración  $\ddot{u}_{i+1}$  es desconocida.

Tabla 2-1 Métodos de la aceleración promedio y la aceleración lineal, (Chopra, 2006)

Aceleración promedio constante	Aceleración lineal
$\ddot{u}(\tau) = \frac{1}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\ddot{u}(\tau) = \ddot{u}_i + \frac{\tau}{\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (2.6)$
$\dot{u}(\tau) = \dot{u}_i + \frac{\tau}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\dot{u}(\tau) = \dot{u}_i + \ddot{u}_i\tau + \frac{\tau^2}{2\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (2.7)$
$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i) \quad (2.8)$
$u(\tau) = u_i + \dot{u}_i\tau + \frac{\tau^2}{4}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$u(\tau) = u_i + \dot{u}_i\tau + \ddot{u}_i\frac{\tau^2}{2} + \frac{\tau^3}{6\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (2.9)$
$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i\Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{4}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i\Delta t + (\Delta t)^2\left(\frac{1}{6}\ddot{u}_{i+1} + \frac{1}{3}\ddot{u}_i\right) \quad (2.10)$

Para aplicar el método de aceleración promedio constante se consideran los valores de  $\gamma = 1/2$  y  $\beta = 1/4$ . En el caso de considerar el método de aceleración lineal, se ocupan los valores  $\gamma = 1/2$  y  $\beta = 1/6$ . Al reemplazar estos valores en las ecuaciones ( 2.4 ) y ( 2.5 ) se obtienen las ecuaciones ( 2.8 ) y ( 2.10 ) respectivamente.

La metodología de aplicación para el método beta de Newmark para sistemas lineales se describe en la siguiente tabla (Chopra, 2006).

Tabla 2-2 Proceso de obtención de respuesta por el método de Newmark para sistemas lineales, (Chopra, 2006).

<p>1. Definición de casos</p> <p>1.1. Método de aceleración promedio constante (<math>\gamma = 1/2, \beta = 1/4</math>)</p> <p>1.2. Método de la aceleración lineal (<math>\gamma = 1/2, \beta = 1/6</math>)</p>
<p>2. Cálculos iniciales</p> <p>2.1. <math>\ddot{u}_0 = \frac{p_0 - c\dot{u}_0 - ku_0}{m}</math></p> <p>2.2. Seleccionar <math>\Delta t</math></p> <p>2.3. <math>a_1 = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} m + \frac{\gamma}{\beta\Delta t} c; \quad a_2 = \frac{1}{\beta\Delta t} + \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1\right) c \quad y \quad a_3 = \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right) m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1\right) c</math></p> <p>2.4. <math>\hat{k} = k + a_1</math></p>
<p>3. Cálculos para cada paso de tiempo, <math>i=0,1,2, \dots</math></p> <p>3.1. <math>\hat{p}_{i+1} = p_{i+1} + a_1 u_i + a_2 \dot{u}_i + a_3 \ddot{u}_i</math></p> <p>3.2. <math>u_{i+1} = \frac{\hat{p}_{i+1}}{\hat{k}}</math></p> <p>3.3. <math>\dot{u}_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t} (u_{i+1} - u_i) + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right) \dot{u}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right) \ddot{u}_i</math></p> <p>3.4. <math>\ddot{u}_{i+1} = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} (u_{i+1} - u_i) - \frac{1}{\beta\Delta t} \dot{u}_i - \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right) \ddot{u}_i</math></p>
<p>4. Repetición para el siguiente paso de tiempo. Reemplazar <math>i</math> por <math>i+1</math> ya aplicar los pasos 3.1 a 3.4 para el siguiente paso de tiempo.</p>

Si se trabaja con solicitaciones de aceleración del terreno  $\ddot{u}_g$ , se reemplaza el término de  $p_i$  por  $-m \cdot \ddot{u}_{gi}$  en la Tabla 2-2.

## 2.2. Métodos de Identificación en el Espacio de la Frecuencia

Los métodos de análisis en frecuencias han sido ampliamente utilizados para determinar las propiedades dinámicas de las estructuras ya que son capaces de determinar las frecuencias fundamentales a partir de registros, que se relacionan con las componentes modales.

### 2.2.1. Espectro de densidad de Potencia (PSD)

Para determinar frecuencias fundamentales de una estructura se utilizan métodos de identificación en el espacio de la frecuencia. A partir de registros se puede implementar el espectro de densidad de potencia (PSD por sus siglas en inglés). Con la aplicación del PSD es posible observar la energía que posee cada frecuencia de una señal, de esta forma las señales poseerán energías preponderantes en los ‘peaks’ de estos gráficos que se suelen relacionar a las componentes modales. Es importante mencionar que estos gráficos pueden ser presentados en amplitud vs frecuencia o decibeles (dB) vs frecuencias. El objetivo de presentar los resultados en decibeles es que permite una mejor interpretación de los resultados para modos de frecuencias altas en caso de que existan componentes de bajo aporte energético.

El espectro de densidad de potencia se define como el valor cuadrático de la transformada de Fourier del promedio de varias ventanas de tiempo del registro.

El espectro de densidad de potencia de cada canal se obtiene a partir del método de Welch (Welch, 1967) empleando ventanas de Hanning para seleccionar segmentos del registros y promediar el espectro de potencia de varias ventanas de tiempo de manera de reducir la incertidumbre del espectro asociado a una señal estacionaria. Matemáticamente, el espectro de potencia se describe con la siguiente ecuación:

$$P_{SP}(t, \omega) = |S_t(\omega)|^2 = \sum_{i=1}^{N_{ventanas}} \left| \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int s(\tau) \cdot h(\tau - t) \cdot e^{-i\omega t} d\tau \right|^2 / N_{ventanas} \quad (2.11)$$

Donde:

- $s(t)$  = la señal en el tiempo
- $h(t)$  = corresponde a la ventana de tiempo utilizada

### 2.2.2. Función de Transferencia

La función transferencia considera la relación espectral entre un determinado registro de entrada y un registro de salida. Con esta relación es posible identificar cuanto se amplifica los registros de salida dado un registro de entrada.

La función de transferencia se describe como:

$$H_{\ddot{U}_g - \ddot{U}_g}(j\omega) = \frac{S_{\ddot{U}_g \ddot{U}_g}(j\omega)}{S_{\ddot{U}_g}(\omega)} \quad (2.12)$$

Donde:

- $H_{\ddot{U}_g - \ddot{U}_g}(j\omega)$ : Función de Transferencia.
- $S_{\ddot{U}_g \ddot{U}_g}(j\omega) = \ddot{U}_g(j\omega)^* \cdot \ddot{U}_g(j\omega)$  : Espectro de potencia cruzado.

- $S_{\ddot{U}_g}(\omega) = \ddot{U}_g(j\omega)^* \cdot \ddot{U}_g(j\omega)$  : Espectro de potencia de la señal de entrada.

### 2.2.3. Ventanas de Datos

En general, el espectro de potencia o el espectro de potencia cruzado aplicado sobre un registro contiene incertidumbre teniendo un error de un 100% en caso de emplear una única ventana. Es por esto por lo que se emplea la promediación del espectro de varias ventanas. En este contexto, se debe escoger ventanas que en lo posible tengan un valor nulo al comienzo y al final de manera que no se genere el efecto de desdoblamiento y dispersión de datos (Leakage) (Hernández, 2009).

Para la estimación de espectros de potencia usando la transformada discreta de Fourier, y por ende de la función de transferencia también, existen una serie de funciones de ventanas de discretización de datos. Prácticamente todas estas funciones, que aumentan desde cero a un peak y luego vuelven a caer, han sido nombradas en honor a su autor. Una de las funciones más comunes son (Press, Flannery, Teukolsky, & Vetterling, 1986):

- Bartlett window
- Hann window
- Welch window
- Square window

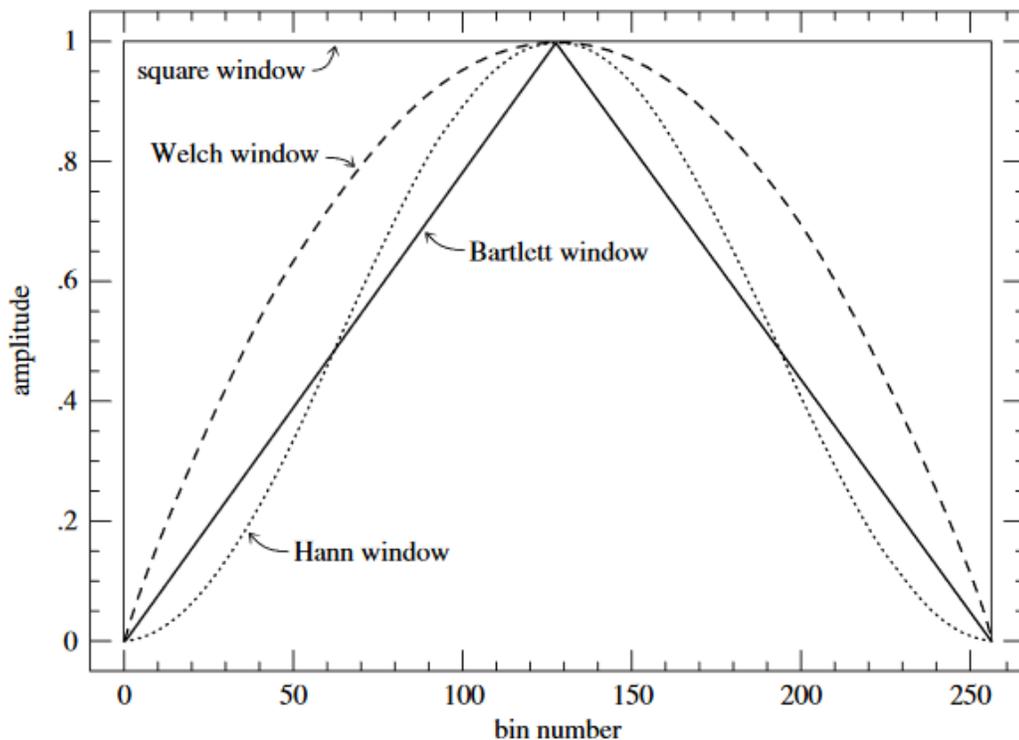


Figura 2.2 Funciones de ventanas comúnmente usadas en estimación de espectros de potencia (Press et al., 1986)

## 2.3. Método de Identificación de Propiedades Dinámicas DSI

Descrito por Van Overschee & De Moor (1996), el método DSI (Deterministic-Stochastic Subspace Identification) es un método en tiempo discreto y espacio-estado que permite determinar las propiedades dinámicas (frecuencias fundamentales, razones de amortiguamientos y formas modales) de una estructura en particular, a partir de registros de entrada (solicitud o Inputs) y de salida (respuesta u Outputs). Para la implementación del método, es necesario trabajar con registros sísmicos en la base de la estructura que se consideran como solicitudes al sistema. El método supone un comportamiento lineal-elástico, es decir, supone que los parámetros dinámicos permanecen invariantes durante el tiempo, despreciando variaciones de la estructura asociada a efectos no-lineales.

El método se presenta por el siguiente sistema de ecuaciones (Van Overschee & De Moor, 1996):

$$x_{k+1} = A_d \cdot x_k + B_d \cdot u_k + w_k \quad (2.13)$$

$$y_k = C_d \cdot x_k + D_d \cdot u_k + v_k \quad (2.14)$$

Con  $w_k$  y  $v_k$  media cero, secuencias de vectores blancos con matriz de covarianza:

$$E \left[ \begin{pmatrix} w_p \\ v_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_q^T & v_q^T \end{pmatrix} \right] = \begin{bmatrix} Q & S \\ S^T & R \end{bmatrix} \delta_{pq} \quad (2.15)$$

Donde:

- $u_k$ : Vector de inputs para el instante discreto k.  $u_k \in \mathbb{R}^m$
- $y_k$ : Vector de outputs para el instante discreto k.  $y_k \in \mathbb{R}^l$
- $x_k$ : Vector de estado para el instante discreto k.  $x_k \in \mathbb{R}^n$
- $w_k$ : Vector de ruido que excita al sistema para el instante discreto k.  $w_k \in \mathbb{R}^n$
- $v_k$ : Vector de ruido presente en las mediciones para el instante discreto k.  $v_k \in \mathbb{R}^l$
- $A_d$ : Matriz de estado.  $A_d \in \mathbb{R}^{n \times n}$
- $B_d$ : Matriz de entrada (input).  $B_d \in \mathbb{R}^{n \times m}$
- $C_d$ : Matriz de salida (output).  $C_d \in \mathbb{R}^{l \times n}$
- $D_d$ : Matriz de transmisión directa.  $D_d \in \mathbb{R}^{l \times m}$
- $Q, R, S$ : Matrices de covarianza asociadas a  $w_k$  y  $v_k$ .  $Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $R \in \mathbb{R}^{l \times l}$ ,  $S \in \mathbb{R}^{n \times l}$

Luego de definir las ecuaciones ( 2.13 ), ( 2.14 ) y ( 2.15 ) dado  $s$ , mediciones de entradas  $u_k$  y salidas  $y_k$ , el método DSI obtiene las propiedades dinámicas de la estructura a partir de la determinación del orden  $n$  desconocido del sistema y de las matrices  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $D$ .

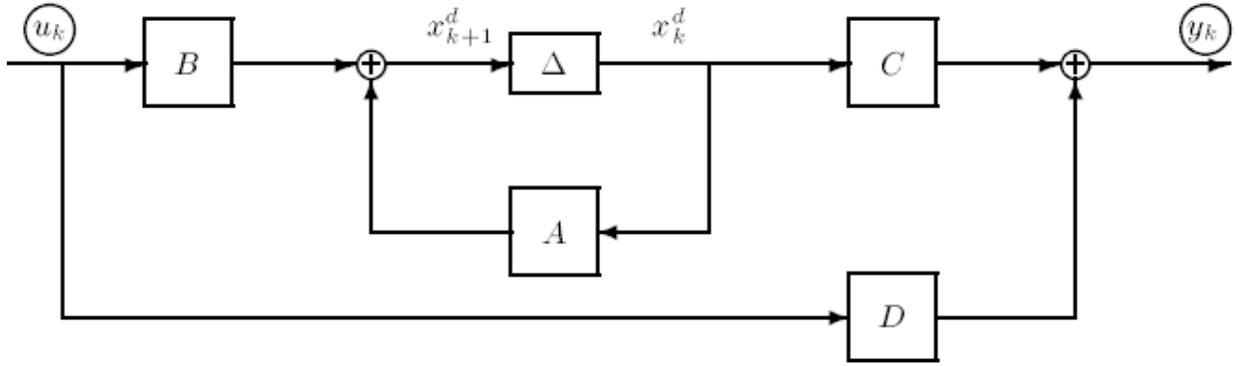


Figura 2.3 Esquema de un sistema lineal invariante en el tiempo para el caso estocástico-determinístico con entradas  $u_k$ , respuestas  $y_k$  y estados  $x_k$ , descritos por matrices  $A, B, C, D$  y matrices de covarianza  $Q, S, R$ .

### 2.3.1. Algoritmo

A continuación, se presenta una traducción del documento presentado por (Thai et al., 2007) en donde se expone el algoritmo DSI de espacio-estado:

Las matrices de Hankel pueden ser construidas a partir de los registros de entradas y salidas. La matriz de Hankel de entrada es descrita en la ecuación ( 2.16 ), donde cada elemento es una columna del registro de entrada.

$$U_{0|2i-1} = \begin{bmatrix} u(0) & u(1) & u(2) & \dots & u(j-1) \\ u(1) & u(2) & u(3) & \dots & u(j) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u(i-1) & u(i) & u(i+1) & \dots & u(i+j-2) \\ u(i) & u(i+1) & u(i+2) & \dots & u(i+j-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u(2i-1) & u(2i) & u(2i+1) & \dots & u(2i+j-2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{0|i-1} \\ U_{i|2i-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_p \\ U_f \end{bmatrix} \quad ( 2.16 )$$

El valor de  $i$  debe ser mayor que el máximo orden del sistema que se quiere identificar. La matriz de entrada de Hankel puede ser dividida en dos partes,  $U_p$  y  $U_f$ , las cuales denotan pasado y futuro respectivamente. La matriz de salida de Hankel se deriva de manera similar. Hay que tener en cuenta que se debe elegir  $j$  de modo que  $2i+j-2$  esté dentro de las secuencias de entrada y salida. El número de columnas  $j$  también debe ser más extenso que el número de filas  $i$  para que el algoritmo funcione con precisión.

Una combinación de matrices de entrada y salida puede ser definida:

$$W_p = [U_p | Y_p]^T \quad ( 2.17 )$$

Una proyección oblicua  $Ob_i$  del espacio de la fila de  $Y_f$  a lo largo de  $U_f$  en  $W_p$  se calcula como en ( 2.18 )

$$Ob_i = Y_f /_{U_f} W_p = Y_f \left[ W_C^T \quad U_f^T \right] \left( \left[ \begin{array}{cc} W_p W_c^T & W_p U_f^T \\ U_f W_C^T & U_f U_f^T \end{array} \right]^\dagger \right)_{\text{primera columna}} \cdot W_p \quad (2.18)$$

Donde  $\dagger$  denota el pseudo-inverso de Moore-Penrose discutido por Ben-Israel (2002). El principal teorema de identificación del subespacio determinístico-estocástico establece que la proyección oblicua  $Ob_i$  es igual al producto de la matriz de observabilidad extendida  $\Gamma_i$  y la secuencia de estados  $X_i$ , es decir,

$$Ob_i = \Gamma_i X_i = \left[ C \quad CA \quad \dots \quad CA^{i-1} \right]^T \left[ x(i) \quad x(i+1) \quad \dots \quad x(i+j-1) \right] \quad (2.19)$$

La matriz de observabilidad extendida y la secuencia de estados se pueden extraer utilizando la descomposición de valores singulares de  $Ob_i$ ,

$$Ob_i = USV^T = U_1 \quad U_2 \quad \begin{pmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1^T \\ V_2^T \end{pmatrix} = U_1 S_1 V_1^T \quad (2.20)$$

$U$  y  $V$  son matrices unitarias, mientras que  $S$  es una matriz diagonal;  $U_1$ ,  $V_1$  y  $S_1$  son similares a  $U$ ,  $V$  y  $S$  sin sus valores singulares ceros.

La matriz de observabilidad extendida  $\Gamma_i$  se obtiene de la siguiente manera:

$$\Gamma_i = U_1 S_1^{1/2} \quad (2.21)$$

La secuencia de estados  $X_i$  es la otra mitad de la descomposición o se puede calcular como se muestra en la ecuación ( 2.22 ),

$$X_i = S_1^{1/2} V_1^T \quad (2.22)$$

Las primeras filas de las matrices de Hankel del bloque futuro se pueden mover a las matrices de Hankel del bloque anterior para obtener las matrices de Hankel  $U_p^+$ ,  $U_f^-$ ,  $Y_p^+$ ,  $Y_f^-$  y la matriz de entrada-salida  $W_p^+$ .

Otra proyección oblicua es definida

$$Ob_{i-1} = Y_f^- /_{U_f^-} W_p^+ \quad (2.23)$$

El teorema principal también es válido para la nueva proyección oblicua.

$$Ob_{i-1} = \Gamma_{i-1} X_{i+1} \quad (2.24)$$

La secuencia de estados  $X_i$  puede ser definida por la nueva proyección oblicua.

$$X_{i+1} = \Gamma_i^\dagger Ob_{i-1} \quad (2.25)$$

El sistema de matrices  $(A, B, C, D)$  pueden ser determinadas con un análisis de mínimos cuadrados en el siguiente sistema de ecuaciones,

$$\begin{pmatrix} X_{i+1} \\ Y_{i|i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \\ U_{i|i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \rho_\omega \\ \rho_v \end{pmatrix} \quad (2.26)$$

Se calculan los valores propios ( $\mu$ ) y vectores propios ( $\Psi$ ) de la matriz  $A$  y, a partir de ellos, se determinan las propiedades dinámicas como se describe a continuación (R. Astroza, Gutiérrez, Repenning, & Hernández, 2018):

$$f_r = \frac{\sqrt{\lambda_r \lambda_r^*}}{2\pi} \quad (2.27)$$

$$\xi_r = \frac{-\text{Re}(\lambda_r)}{|\lambda_r|} \quad (2.28)$$

$$\Phi = C\Psi \quad (2.29)$$

Con

$$\lambda_r = \frac{\ln(\mu_r)}{\Delta t} \quad (2.30)$$

### 2.3.2. Criterios de estabilidad en la determinación de propiedades dinámicas

La aplicación del método DSI para la obtención de parámetros dinámicos de una estructura, es función de una serie de parámetros fijados por el usuario, además de los datos de entrada (input) y salida (output):

- El índice  $i$  que establece el número de retardos o bloques filas para construir la matriz expandida.
- Las matrices de peso ( $[W_1]$  y  $[W_2]$ ) utilizadas para ponderar la proyección ortogonal.
- El orden del sistema ( $n$ ).

Hernández (2009) menciona que los parámetros dinámicos estimados tienden a estabilizarse para un alto número de retardos ( $i$  grande) generando resultados poco variados con la modificación de este parámetro.

Una apropiada elección de las funciones de peso permite filtrar la base del sistema y con ellos una solución más balanceada (similar a incrementar  $i$ ).

“El orden del sistema se puede estimar a partir de una revisión gráfica de los valores singulares, descartando los valores singulares más bajos, denominando a este valor como el orden efectivo del sistema ( $n^{ef}$ ). La inclusión de un número mayor de valores singulares no afecta de gran forma a los modos predominantes ( $n > n^{ef}$ )” (Díaz, 2017)

Los resultados del método DSI son presentados en diagramas de estabilidad como se muestra en la Figura 2.4, los cuales muestran la estabilidad de los parámetros dinámicos al variar el orden del sistema ( $n = i - 1$ ) o equivalentemente el número de retardos ( $i$ ). Los

diagramas comparan estas propiedades entre un orden y el subsiguiente, considerando ciertos criterios de similitud que se presentan a continuación:

$$\frac{f^{(p)} - f^{(p-1)}}{f^p} \leq cf\% \quad (2.31)$$

$$\frac{\beta^{(p)} - \beta^{(p-1)}}{\beta^{(p)}} \leq cam\% . \quad (2.32)$$

$$100\% \cdot \left(1 - MAC\left(\{\phi_p\}, \{\phi_{p+1}\}\right)\right) \leq cm\% \quad (2.33)$$

$$MAC\left(\{\phi_p\}, \{\phi_{p+1}\}\right) = \frac{\left|\{\phi_p\}^H \cdot \{\phi_{p+1}\}\right|^2}{\left(\{\phi_p\}^H \cdot \{\phi_p\}\right) \cdot \left(\{\phi_{p+1}\}^H \cdot \{\phi_{p+1}\}\right)} \quad (2.34)$$

Donde  $p$  denota el orden escogido definido por el usuario y  $p+1$  corresponde al orden siguiente. Con  $p \in \{1-Q\}$  donde  $Q$  es el orden mayor del sistema empleado para las identificaciones con  $Q > M$  ó  $n^{ef}$ .

Estos criterios pueden cambiar dependiendo del estudio realizado.

En los diagramas de estabilidad (Figura 2.4) se presentan tres tipos de coincidencias, las cuales se representan con símbolos predefinidos:

- Coincidencia en frecuencia y razón de amortiguamiento ( $\nabla$ )
- Coincidencia en frecuencia y forma modal ( $MAC$ ) ( $\Delta$ )
- Coincidencia en frecuencia, razón de amortiguamiento y forma modal ( $\oplus$ )

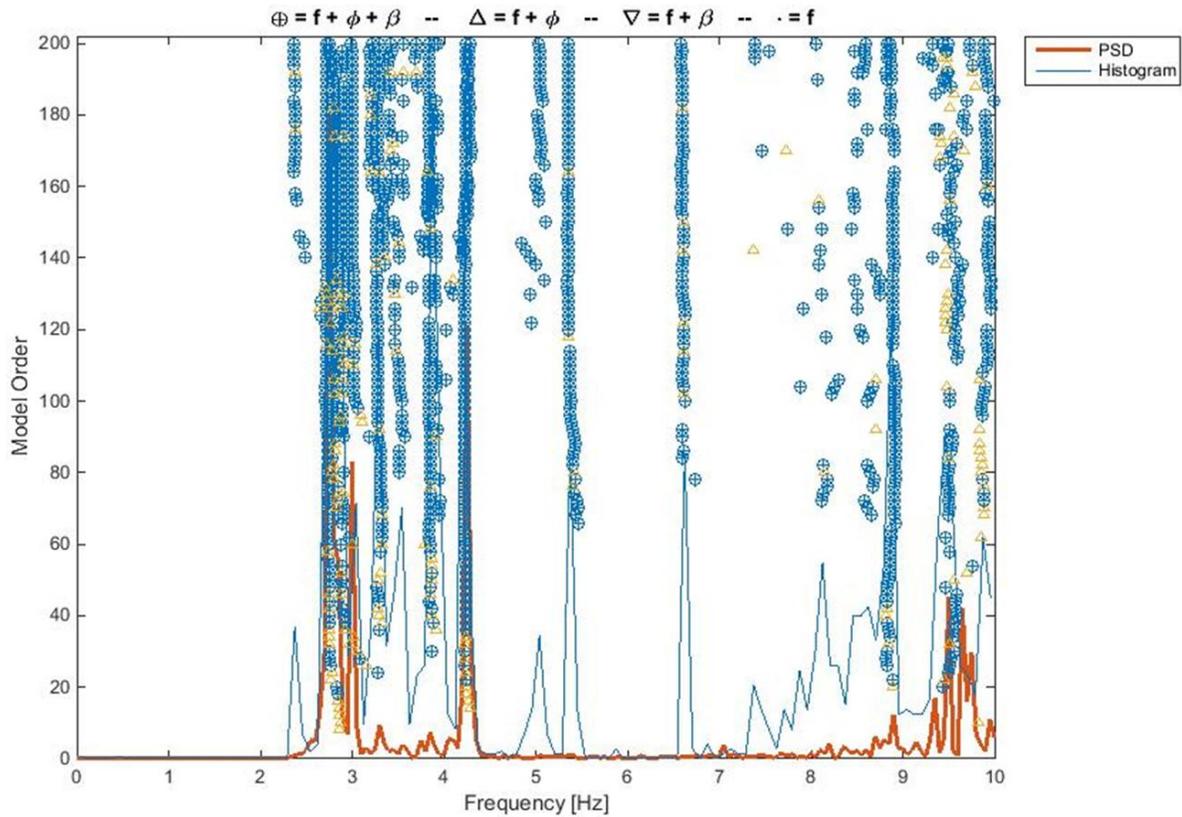


Figura 2.4 Diagrama de estabilidad donde se presentan los resultados del método DSI (Balsebre, 2019)

En el momento en que la triple coincidencia de parámetros dinámicos comienza a repetirse para una frecuencia determinada, a medida que aumenta el orden del sistema, se puede suponer que las propiedades dinámicas en dicha frecuencia son estables para los modos identificados y por tanto corresponderían a un modo del sistema.

La función del MAC (Modal Assurance Criterion) es proporcionar una medida de consistencia entre las estimaciones de dos vectores modales. Los resultados del método entregan valores entre 0 y 1. Cuando dos formas modales de ordenes consecutivos presentan una semejanza considerable establecida por el usuario, el MAC entrega un valor igual a 1 (Allemang & Brown, 1982).

“Otros elementos importantes dentro del diagrama de estabilidad corresponden al Histograma y el Espectro de potencia: el primero indica la cantidad de coincidencias en torno a una cierta frecuencia, mientras que el segundo se utiliza como contraste en el dominio de las frecuencias” (Núñez, 2009).

### 3. Descripción de la estructura en estudio

#### 3.1. Información general

El edificio Antígona, fue diseñado por RDZI Ingeniería Estructural y construido por la empresa constructora TECSA en el año 2004 con propósito habitacional. La estructura cuenta con 16 pisos y 2 subterráneos destinados a estacionamientos y bodegas, y está conformado por un sistema estructural en base a muros de hormigón armado en las direcciones longitudinal y transversal de su planta.

La ubicación del edificio es en la comuna de Viña del Mar, con dirección en la calle 5 Oriente numeral 260, entre las calles 3 Norte y 4 Norte (LAT  $-33.021^{\circ}$  LONG  $-71.544^{\circ}$ ). En la Figura.3.1 se muestra una imagen satelital de la zona en que se encuentra el edificio dentro de la ciudad y la Figura 3.2 muestra la ubicación específica.



Figura.3.1 Zona en la que se encuentra el edificio Antígona en la comuna de Viña del Mar

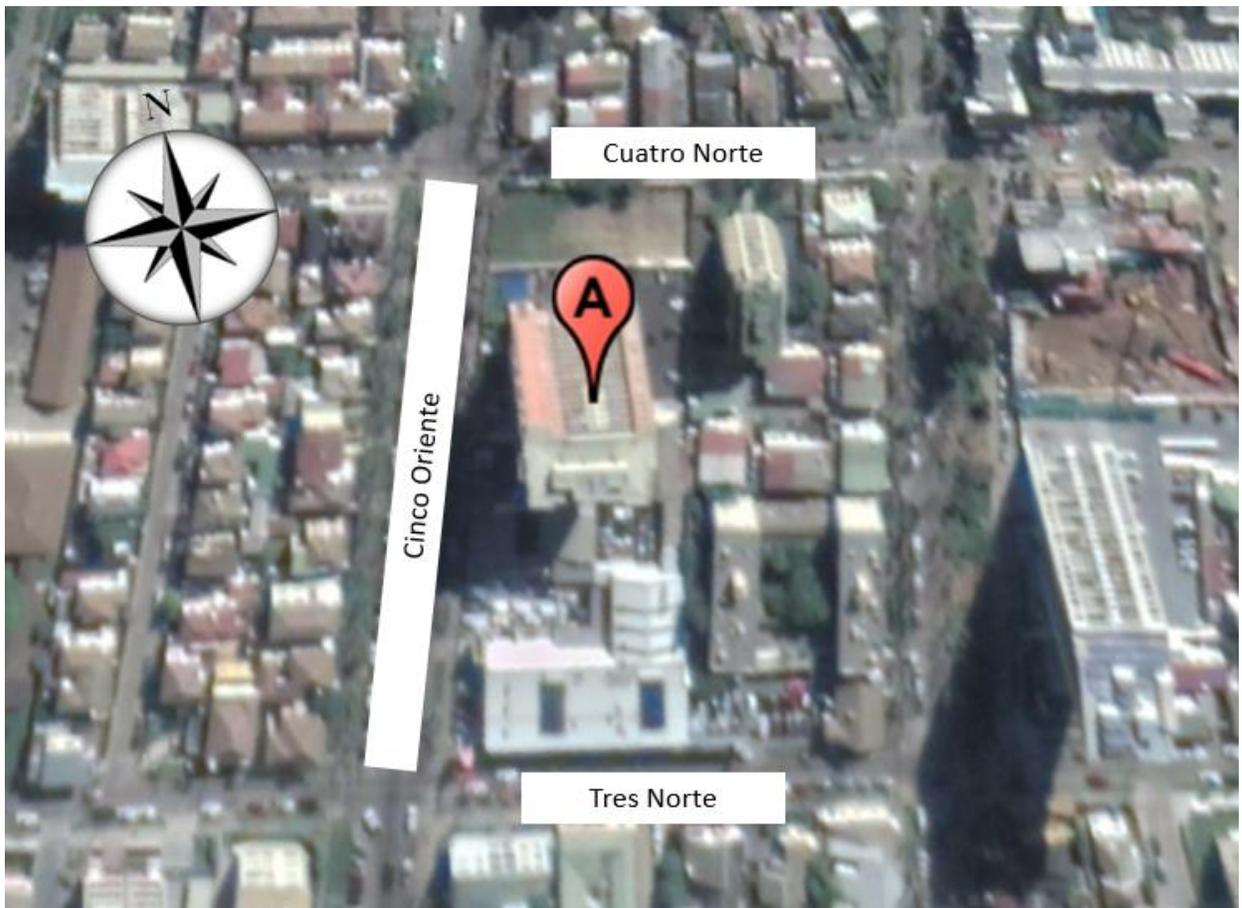


Figura 3.2 Ubicación específica del edificio en estudio

Las dimensiones de la planta tipo corresponden aproximadamente a 29.4 [m] en la dirección N-S y 20.7 [m] en la dirección E-W, dando como resultado un área típica de planta de 608.6 [m<sup>2</sup>]. Estas dimensiones se repiten en todos los pisos, pero la densidad de muros y distribución de muros en cada planta varía con la altura. Entre los pisos 3 y 6, al igual que entre los pisos 7 y 16 se considera una planta tipo, mientras que los pisos 1 y 2 tienen plantas individualizadas. En cuanto a los subterráneos, el nivel -2, en donde se encuentran las bodegas (Figura 3.3), cuenta con las dimensiones descritas anteriormente, mientras que en el nivel -1 se presenta un aumento en la longitud de aproximadamente de 16.5 [m] en la dirección Norte-Sur y 12 [m] en la dirección Este-Oeste debido a que en este nivel se encuentran un área adicional destinada a estacionamientos (Figura 3.4). El edificio es en términos generales regular en planta como en elevación y tiene una altura total de 47.5 [m], de los cuales 42.5 [m] están sobre el nivel de terreno. La altura típica de piso es de 2.55 [m].

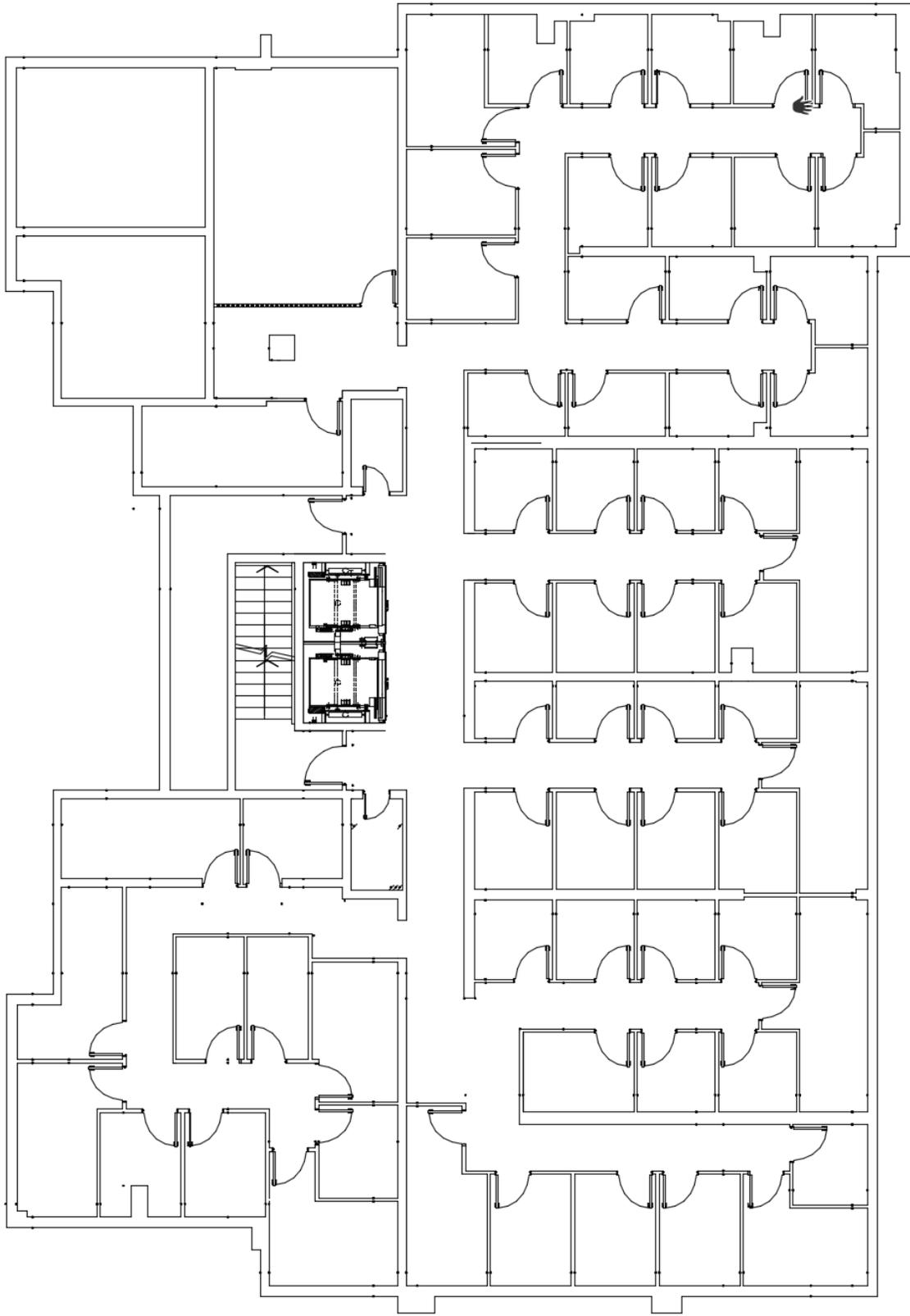


Figura 3.3 Planta nivel subterráneo -2, donde se encuentran las bodegas del edificio

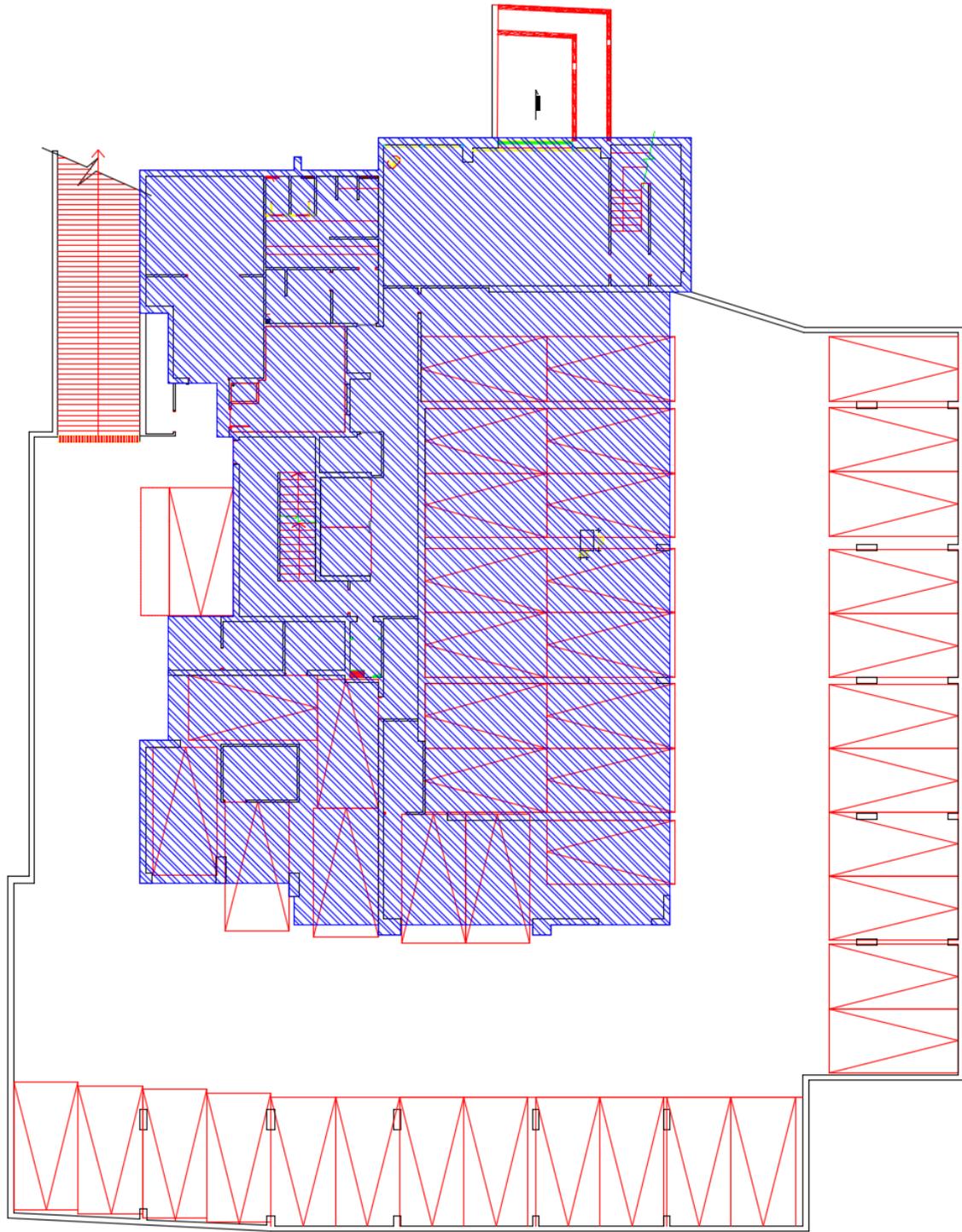


Figura 3.4 Planta nivel subterráneo 1 en donde se muestra achurado en azul el área de la planta tipo correspondientes a los otros niveles del edificio.

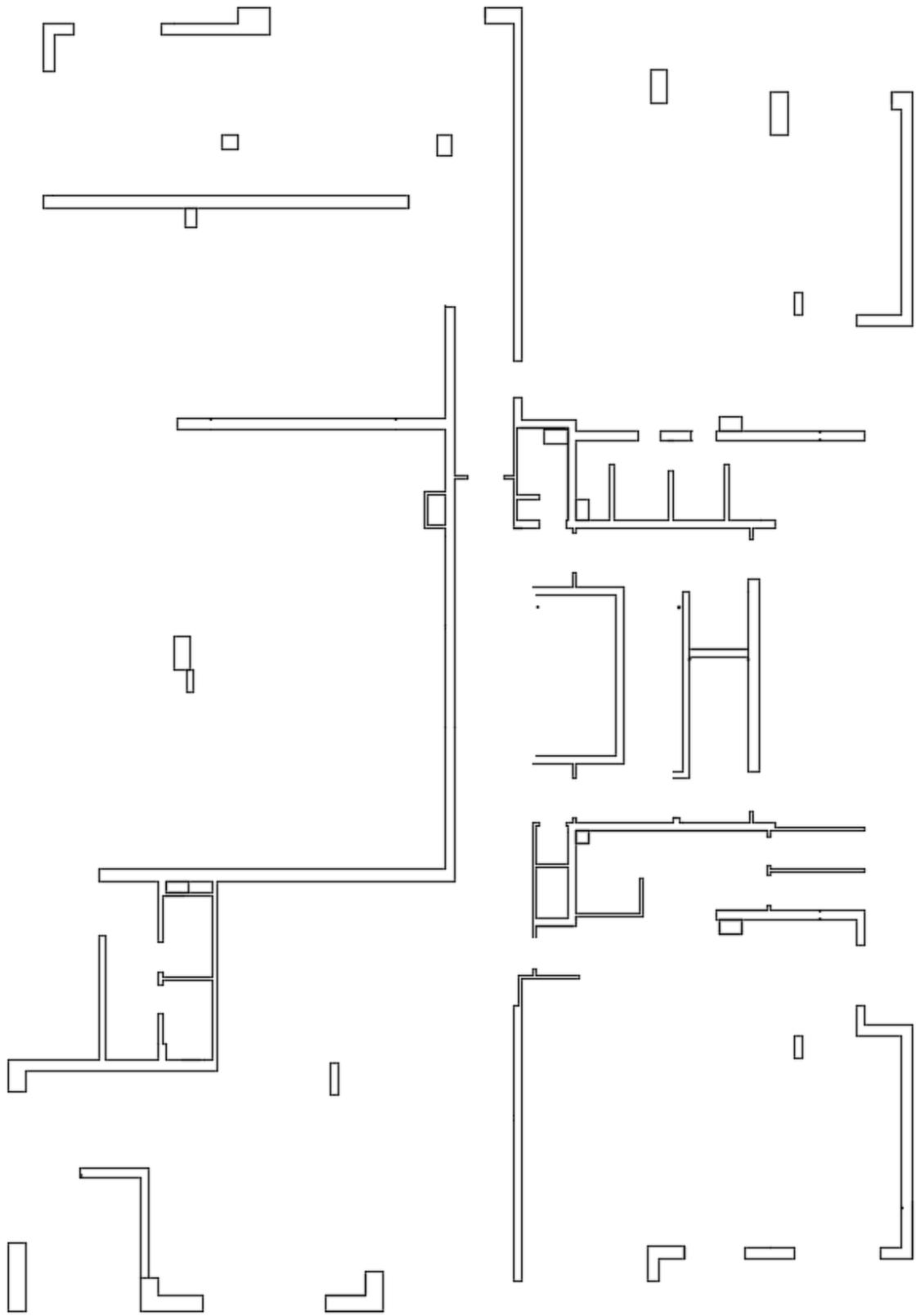


Figura 3.5 Planta segundo nivel del edificio Antigona.

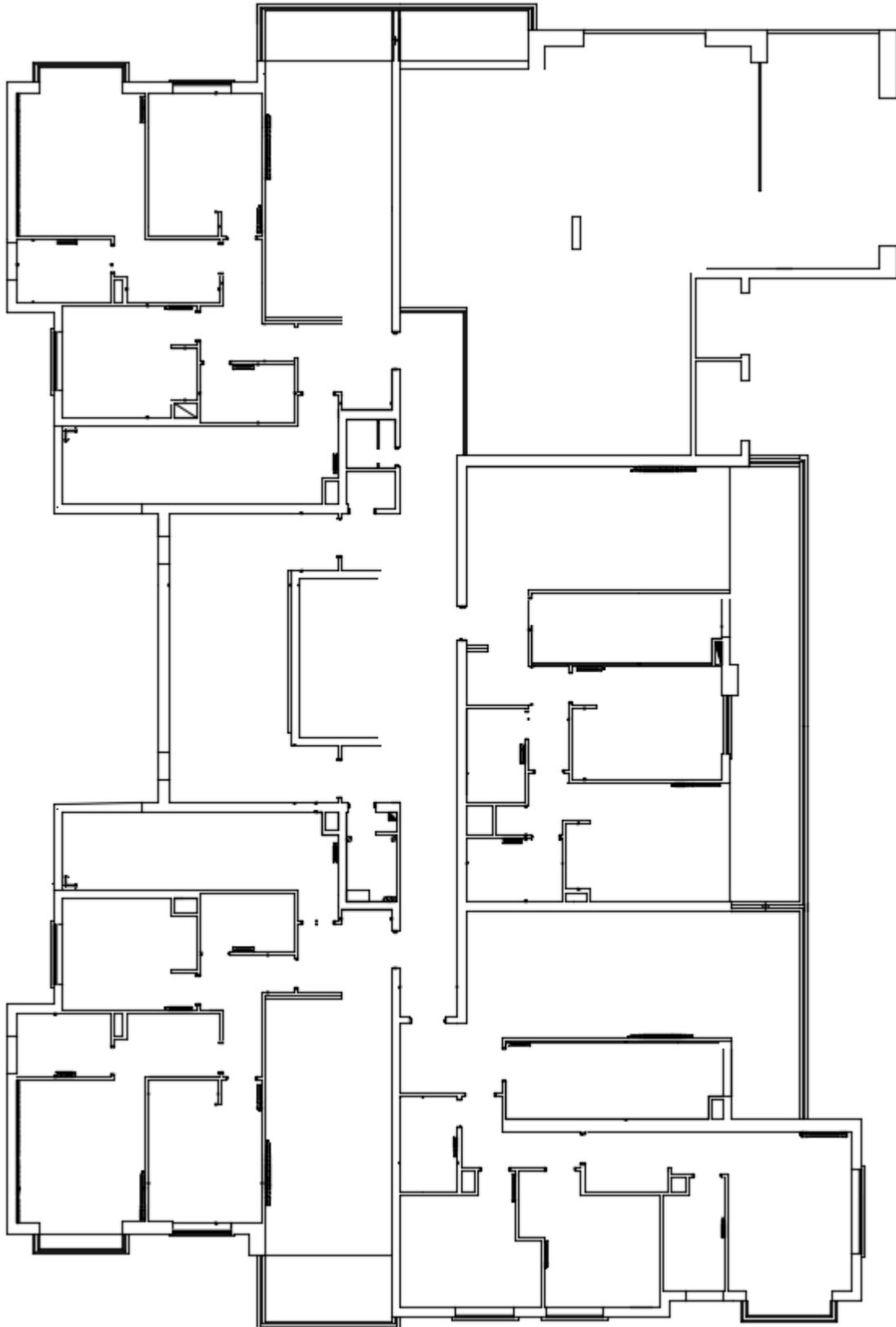


Figura 3.6 Planta segundo nivel del edificio Antígona.

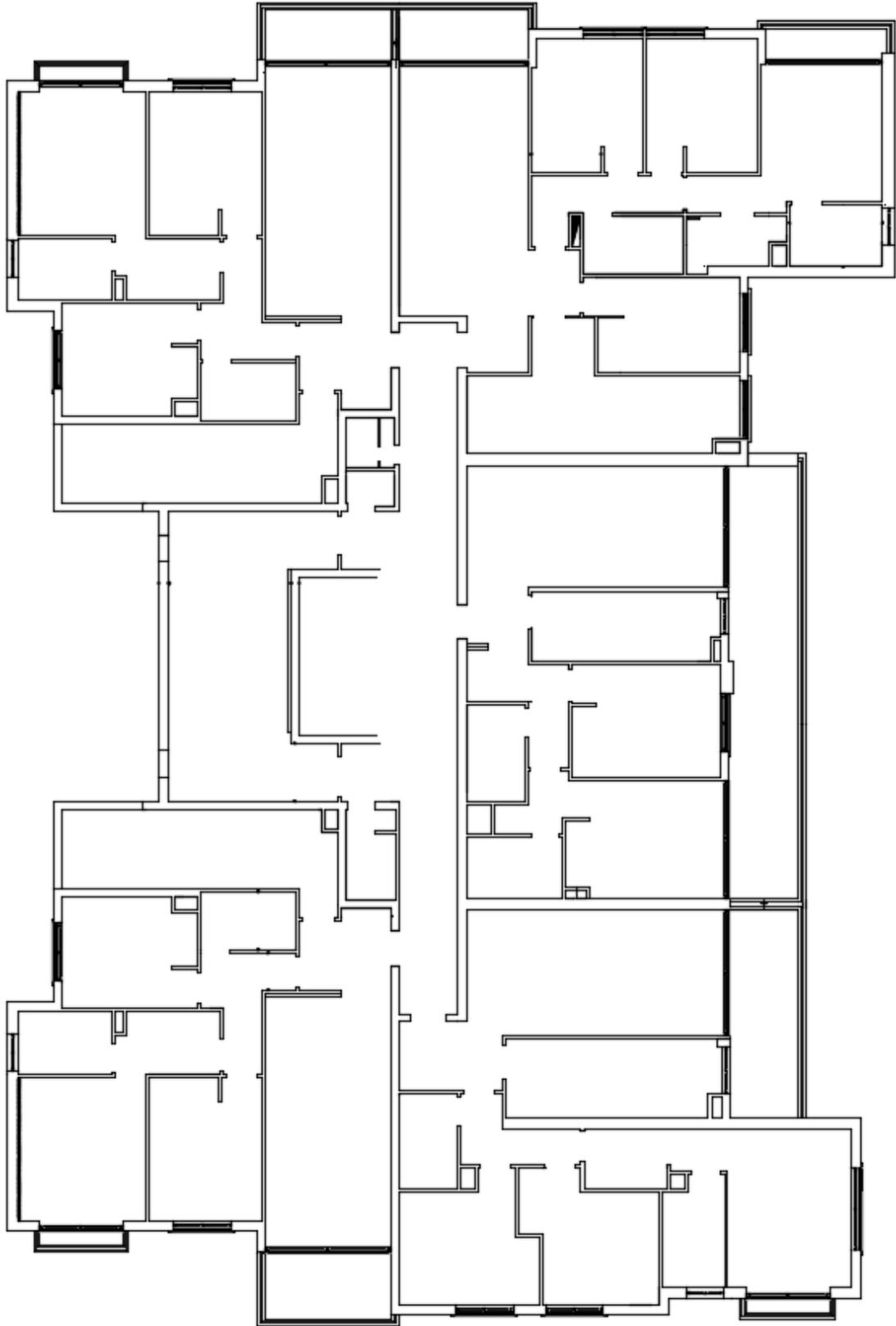


Figura 3.7 Planta piso tipo del tercer a quinto nivel del edificio Antigona.

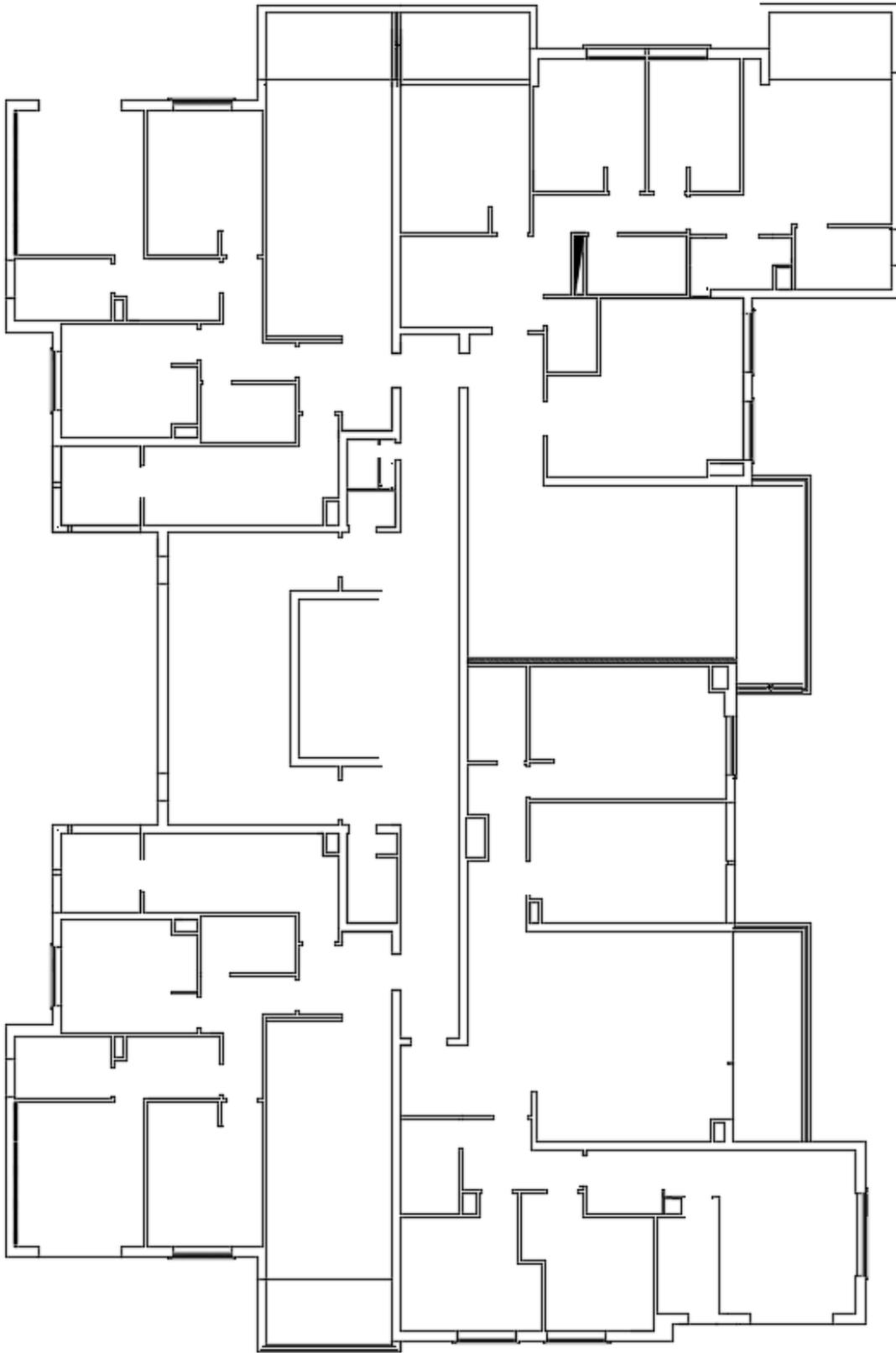


Figura 3.8 Planta piso tipo del séptimo a décimo sexto nivel del edificio Antigona.

### 3.2. Antecedentes geotécnicos de la zona

Durante los terremotos del último tiempo se han generado severos daños en edificios ubicados en la ciudad de Viña del Mar. Por consiguiente, varios autores han puesto énfasis en estudios del suelo de la ciudad y sobre todo en la cuenca del Marga-Marga, que se cree que puede ser un factor importante que afecte a las estructuras.

El suelo de las áreas planas de la ciudad de Viña del Mar es el resultado de depósitos sedimentarios de la cuenca del río Marga-Marga, reconociéndose principalmente sedimentos fluviales en toda la superficie, alternados con depósitos marinos y algunos lacustres (Muñoz, 2013). En consecuencia, los movimientos del terreno registrados en estas áreas son normalmente más severos que el movimiento del terreno en las colinas de la ciudad donde el lecho rocoso está cerca de la superficie del terreno (Aguirre & Perez, 2004).

Además, se ha indicado que cercano a la zona de emplazamiento del edificio existe un sistema de fallas del Marga-Marga (Figuroa & Portal, 1997) que sigue el trazado general del valle en dirección sureste-noroeste, con rumbo N 40° W y N 60° W y una longitud de 50 Km (Figura 3.9).

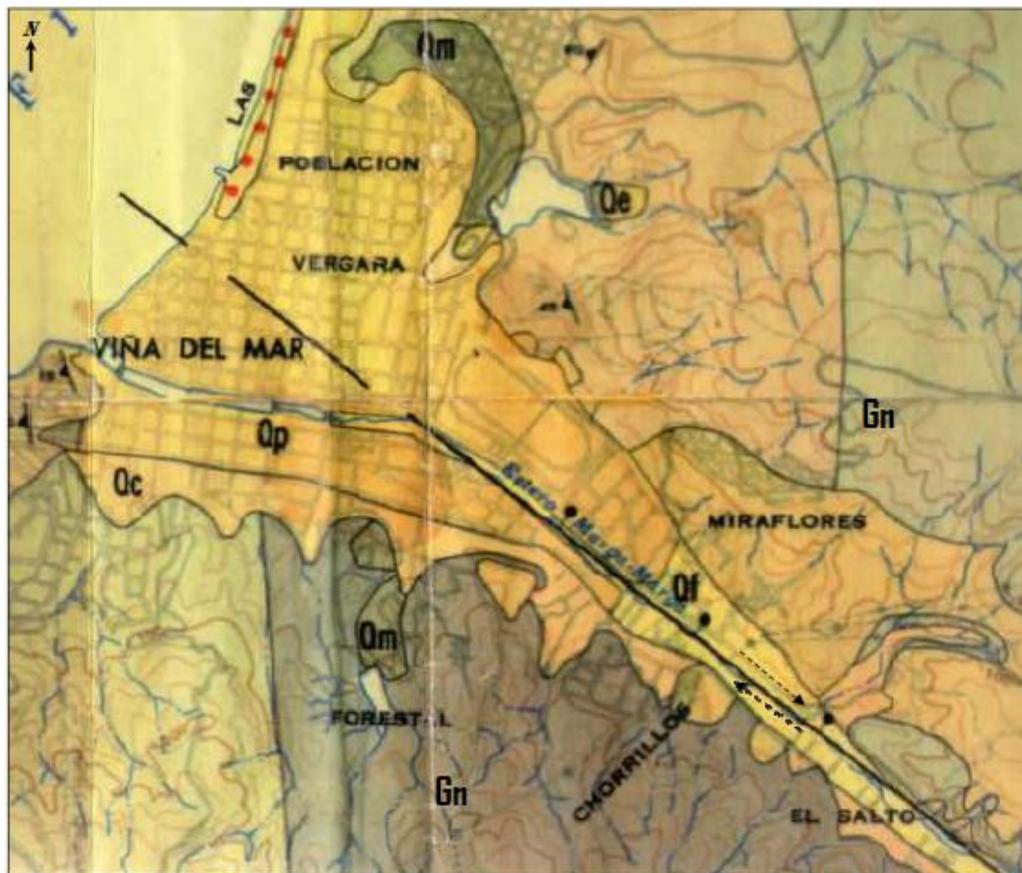


Figura 3.9 Geología de la superficie de Viña del Mar mostrando traza de falla Marga-Marga (Álvarez, 1964).

La falla Marga-Marga ha sido estudiada y/o mencionada por diversos autores, tanto en trabajos de interés geológico, sismológico, geográfico, obras civiles, entre otros, y tanto su

traza definitiva, así como posibles movimientos recientes o amplificación ante eventos sísmicos, son temas de permanente interés (Muñoz, 2013).

En el estudio realizado por Carrasco & Núñez (2013) en su memoria de pregrado, se obtuvieron curvas de isoperíodos en la ciudad de Viña del Mar. Estas curvas fueron obtenidas utilizando el método de Nakamura, con el cual se determinó el período fundamental del suelo en distintos puntos de la ciudad, en este contexto, el edificio Antígona se emplazaría en un suelo con un período fundamental entre 0.4 a 0.6 segundos.



Figura 3.10 Curvas de isoperíodos en la ciudad de Viña del Mar, (Carrasco & Núñez, 2013).

### 3.3. Daños estructurales producto del terremoto del 2010

La madrugada del 27 de Febrero del año 2010, un terremoto de magnitud de momento 8.8 azotó el territorio chileno, convirtiéndose en el segundo de mayor magnitud que ha afectado a Chile. El terremoto, cuyo epicentro estuvo aproximadamente a 44 [km] al Oeste de la comuna de Cobquecura (LAT -36.41 LONG -73.18) y a una profundidad de 26 [km], afectó desde la península de Arauco por el sur hasta el norte de Pichilemu, cubriendo 450 [km] de longitud en dirección norte-sur y un ancho de 160 [km] (Barrientos, 2012). El terremoto afectó a estructuras de más regiones que las involucradas en la zona de ruptura. En un estudio de daños, realizado por Maximiliano Astroza et al. (Maximiliano Astroza et al., 2010), se presenta un esquema (Figura 3.14) con las intensidades sísmicas y las isosistas del área de estudio del respectivo trabajo.

Aunque el edificio en estudio no se encontraba sobre la zona de ruptura del mega-terremoto del 27F, este afectó fuertemente a la comuna de Viña del Mar, alcanzando una intensidad sísmica IMSK-64 de VI (Maximiliano Astroza, Ruiz, Astroza, & Molina, 2012). En este contexto se puede señalar que RENADIC tiene una estación sísmica de campo libre (VINA) en la cercanía del edificio Antígona (a 926 mts) que registro una aceleración máxima de 0.34 [g] en dirección EW y 0.22 [g] en dirección NS (Figura 3.11). Cabe mencionar que el edificio Antígona se ubica en la cuenca del estero Marga-Marga donde se observa un importante efecto de sitio, siendo no necesariamente comparables las aceleraciones registradas en la estación VINA con las que pudieron ser observadas durante el terremoto del 27F en el emplazamiento del edificio (Figura 3.11).

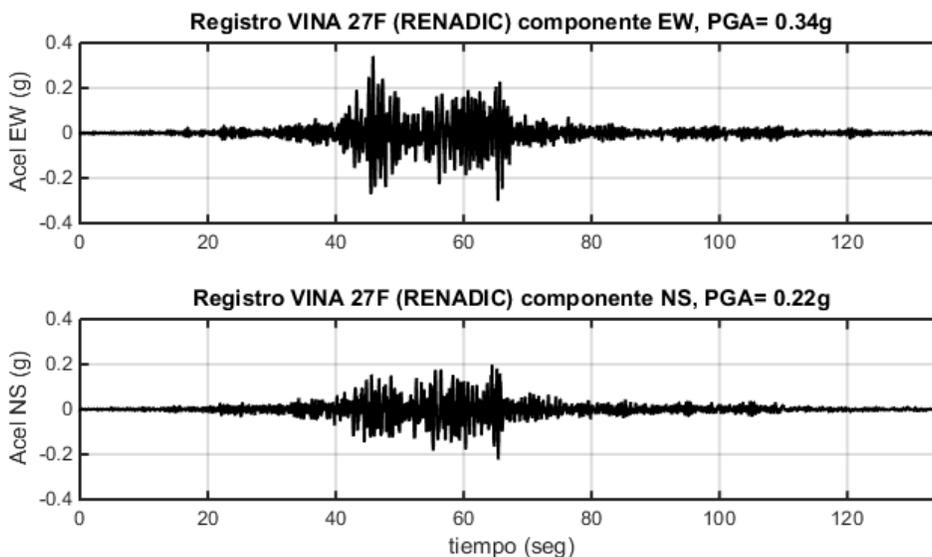


Figura 3.11 Registro de aceleraciones del terremoto del 27 de Febrero del 2010 registrado por la estación de campo libre VINA de la RENADIC ubicada en Viña del Mar.

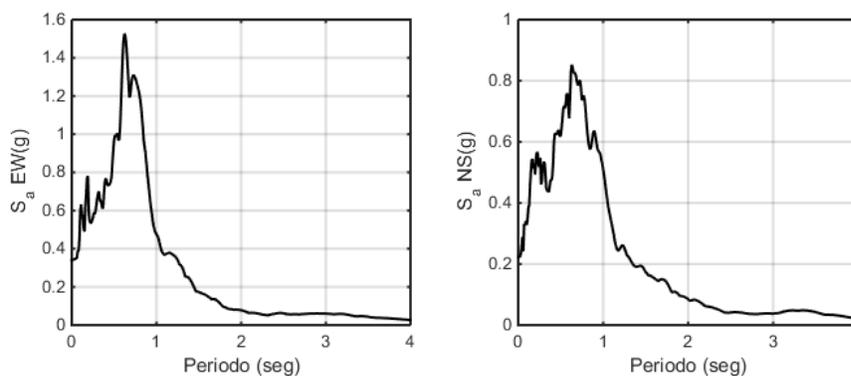


Figura 3.12 Espectro de respuesta de aceleraciones en la dirección EO y NS obtenidos a partir de los registros de aceleraciones del terremoto del 27F presentados en la Figura 3.11.

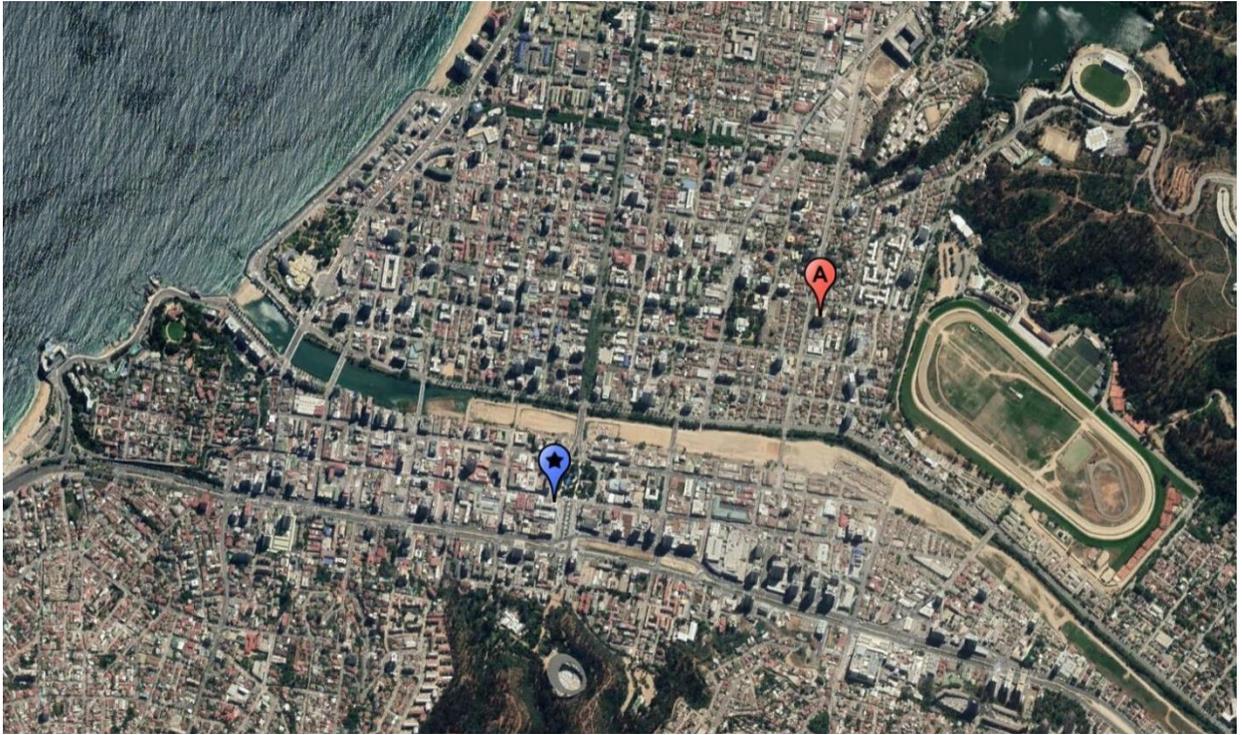
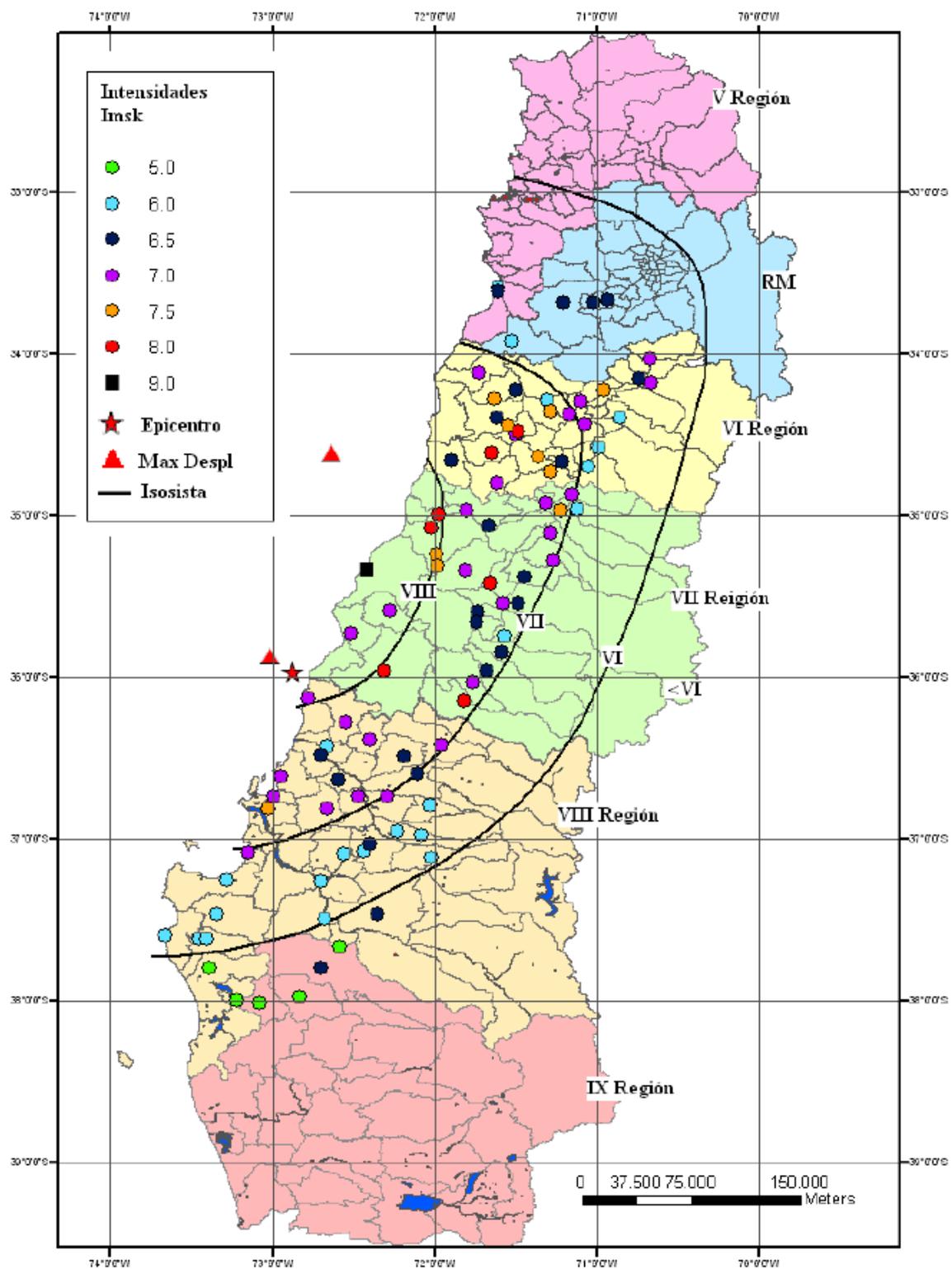


Figura 3.13 Ubicación de estación VINA en campo libre de la RENADIC donde se obtuvieron los registros de la Figura 3.11



Universidad de Chile  
M. Astroza - S. Ruiz

Figura 3.14 Intensidades sísmicas e isosistas producto del terremoto del 27 de Febrero del 2010 por región, (Maximiliano Astroza et al., 2010).

A raíz del terremoto del 27 de Febrero, el edificio Antígona sufrió severos daños en algunos de sus elementos estructurales, principalmente en el nivel del subterráneo -1 y en el primer piso. Producto de esto, se consideró apropiado desalojar la estructura para su posterior análisis y reparación.

A continuación, se presentan los principales daños que se evidenciaron en el edificio Antígona, los cuales coinciden con el patrón de los deterioros presentados en la mayoría de las estructuras afectadas por el terremoto del 27 de Febrero (Massone & Rojas, 2012).

### 3.3.1. Daños en muros estructurales

Los daños que se presentaron en los muros del edificio fueron principalmente producto de las cargas cíclicas de tracción y compresión que generó el terremoto, generando fallas por flexo-compresión en algunos elementos estructurales. Estos presentaron desprendimiento de hormigón, pandeo de la armadura longitudinal y fractura de la armadura transversal.

En el primer piso se vio afectada la base el muro de la fachada oriente, cuya ubicación se especifica en la planta de la Figura 3.15. Se observa que los elementos de borde del muro no fueron propiamente confinados gatillando el pandeo de las barras longitudinales por efectos de flexo-compresión (Figura 3.16).

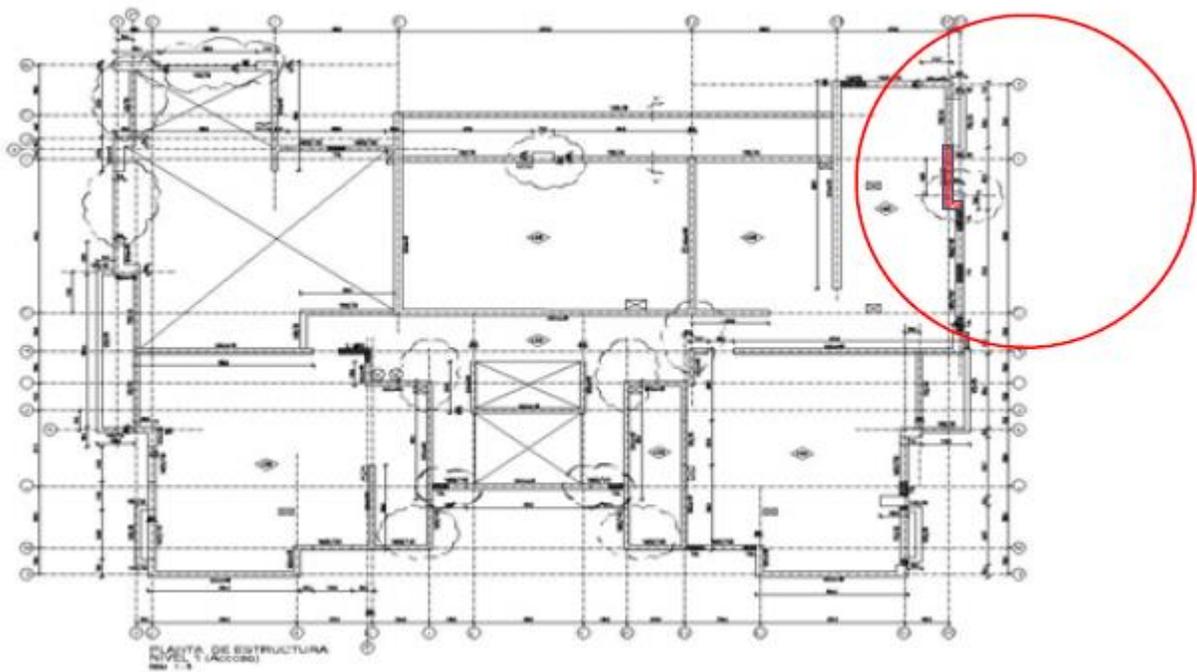


Figura 3.15 Ubicación del muro dañado en la fachada oriente del primer piso (RCP Ingeniería Ltda., 2011)



Figura 3.16 Daño estructural del muro de la fachada oriente (Leiva, Bravo, Matus, & Riquelme, 2010).

### 3.3.2. Agrietamientos en losas

Algunas losas de la estructura también sufrieron daños puntuales en varias localizaciones que se podían apreciar a simple vista. Las grietas más importantes se produjeron en el pasillo de acceso a los departamentos, en donde se produjo desprendimiento del hormigón y tanto la armadura como tuberías de otras especialidades quedaron al descubierto.

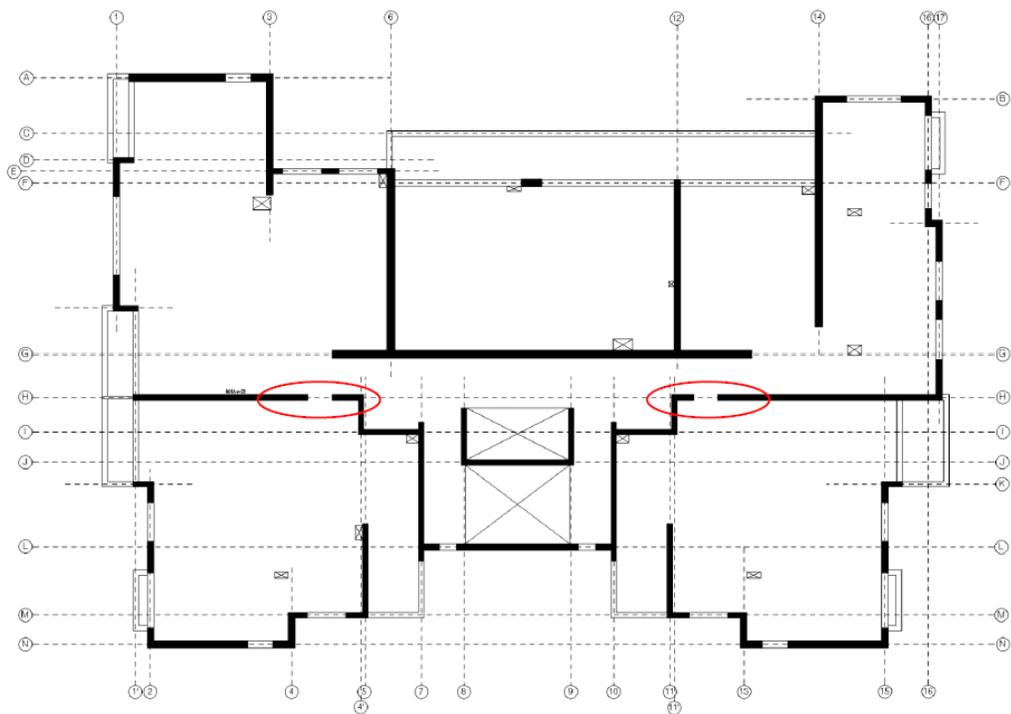


Figura 3.17 Ubicación general del daño producto del agrietamiento de losas (Leiva et al., 2010).



Figura 3.18 Grietas por acoplamiento de losas sobre dinteles de las puertas de acceso a los departamentos (Leiva et al., 2010).

### 3.3.3. Daños en machones y dinteles

Otro tipo de daño que se generó en el edificio fueron los producidos por fallas de corte en machones de hormigón armado en los niveles bajos. Los elementos que sufrieron estos daños fueron principalmente machones cortos generándose el efecto de columna corta en los pisos superiores.

Las fallas de estos elementos se generaron en altura, como se puede observar en la Figura 3.19, en donde los daños fueron desde desprendimiento del recubrimiento exterior, hasta la falla del elemento estructural (Figura 3.20)



Figura 3.19 Desprendimiento del revestimiento exterior de machones en fachada norte (Leiva et al., 2010).



Figura 3.20 Falla de machón por corte vista desde el interior de un departamento del edificio (Leiva et al., 2010).

### 3.4. Rehabilitación estructural

Producto de los daños presentados en la estructura, los cuales se presentan en la sección anterior, se le solicitó a la empresa RCP Ingeniería Ltda. llevar a cabo una inspección de los daños para luego hacer una rehabilitación de los elementos estructurales afectados. En el informe técnico que desarrolla la empresa, se presentan las reparaciones realizadas de cada elemento.

Las etapas que se desarrollan para la reparación del muro estructural dañado presentado en la Figura 3.16 se describe a continuación:

- Alzaprimado
- Demolición
- Reforzamiento de armaduras pandeadas (Figura 3.21)
- Colocación de armaduras de refuerzo (Figura 3.22).

- Hormigonado
- Reparación zona de armadura distribuida.

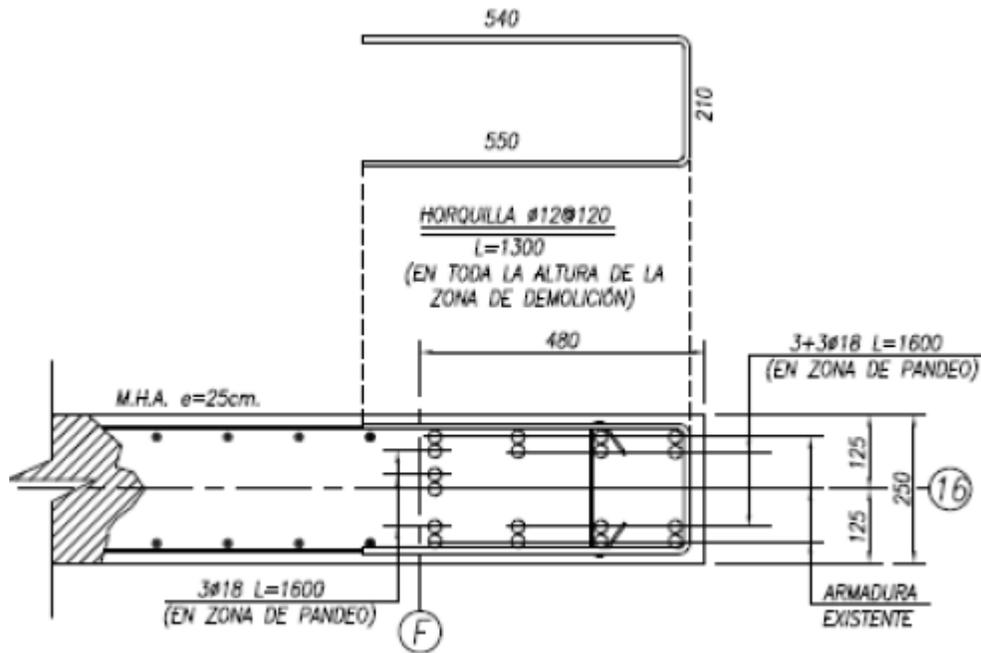


Figura 3.21 Colocación de horquilla horizontal para reforzar armaduras pandeadas (RCP Ingeniería Ltda., 2011).

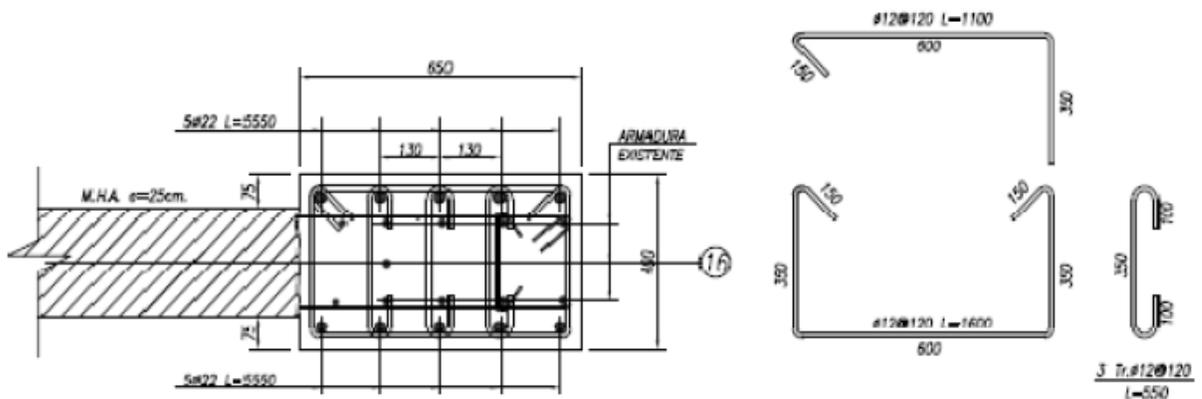


Figura 3.22 Detalle en corte de la armadura de refuerzo cabezal aplicada en el muro dañado (RCP Ingeniería Ltda., 2011).

En el informe técnico se especifica con mayor detalle cada una de las etapas anteriormente descritas y las reparaciones que se hicieron para los diferentes elementos estructurales (machones, dinteles y losas).

### 3.5. Instrumentación

El edificio Antígona corresponde a uno de los últimos edificios que han sido instrumentados por RENADIC desde el año 2017, con el objetivo de obtener registros para determinar propiedades dinámicas de vibración y entender su comportamiento sísmico.

La instrumentación consta de 12 acelerómetros del tipo EpiSensor ES-U2 (Figura 3.23) de Kinematics con un rango dinámico de 155dB+ y un ancho de banda DC a 200 Hz, configurados a un rango medible de +/- 2g y configurados para que el sistema registre la respuesta sísmica cuando alguno de los sensores sobrepase el umbral de 0.01 [g]. Los acelerómetros son conectados a una central de registro sísmico de 12 canales del tipo Dolomite+ de Kinematics de 24 bit la cual está configurada para registrar a una tasa de muestreo de 200 Hz (DC a 80 Hz).



Figura 3.23 Acelerómetro uniaxial EpiSensor Modelo ES-U2, marca Kinematics.

La central Dolomite+ se encuentra en la planta del nivel 17, específicamente en la zona de calderas. Desde ahí, se distribuyen 12 cables a través de tuberías conduit de PVC y molduras Legrand a los pisos 15, 8, 1 y al subterráneo -2, donde se encuentran los acelerómetros.

Las características de cada acelerómetro instalado en la estructura se especifican en la Tabla 3-1

Tabla 3-1 Características de los acelerómetros EpiSensor de Kinematics

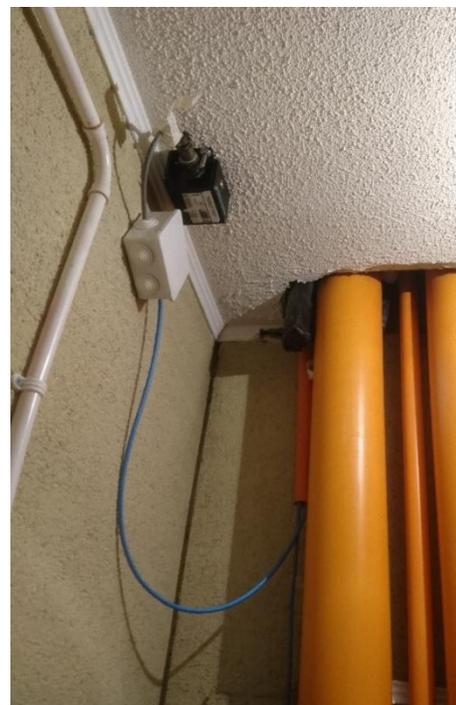
Canal	$f_n$ [Hz]	$\beta$	Sensibilidad (VDC/g)
1	210.0	0.70	9.982
2	212.0	0.70	9.981
3	200.0	0.70	9.995
4	204.0	0.70	9.994
5	206.0	0.70	9.957

6	204.0	0.70	10.008
7	200.0	0.70	9.991
8	210.0	0.70	9.982
9	208.0	0.70	9.983
10	206.0	0.70	9.993
11	206.0	0.70	9.977
12	202.0	0.70	9.997

Se disponen 3 acelerómetros por nivel instrumentado, los cuales se instalaron en los shaft de redes húmedas y redes eléctricas para los niveles 1, 8 y 15 (Figura 3.24 a) y b)). En el caso del subterráneo -2 se disponen los 3 acelerómetros en el shaft de redes eléctricas (Figura 3.25).



a)



b)

Figura 3.24 Instalación de los instrumentos en el edificio: a) 2 acelerómetros, uno en dirección NS y el otro en dirección EO en el shaft de redes húmedas. b) Un acelerómetro en dirección NS en el shaft de redes eléctricas.



Figura 3.25 Acelerómetros instalados en el subterráneo -2, uno en cada dirección de interés (NS, EO y vertical).

### 3.5.1. Disposición de instrumentos

Como se mencionó en el punto anterior, los 12 acelerómetros se instalan en los pisos 15, 8, 1 y subterráneo -2. La orientación de los instrumentos y su ubicación específica se especifica en las plantas de la Figura 3.26. La característica de cada uno de ellos se presenta en la Tabla 3-1.

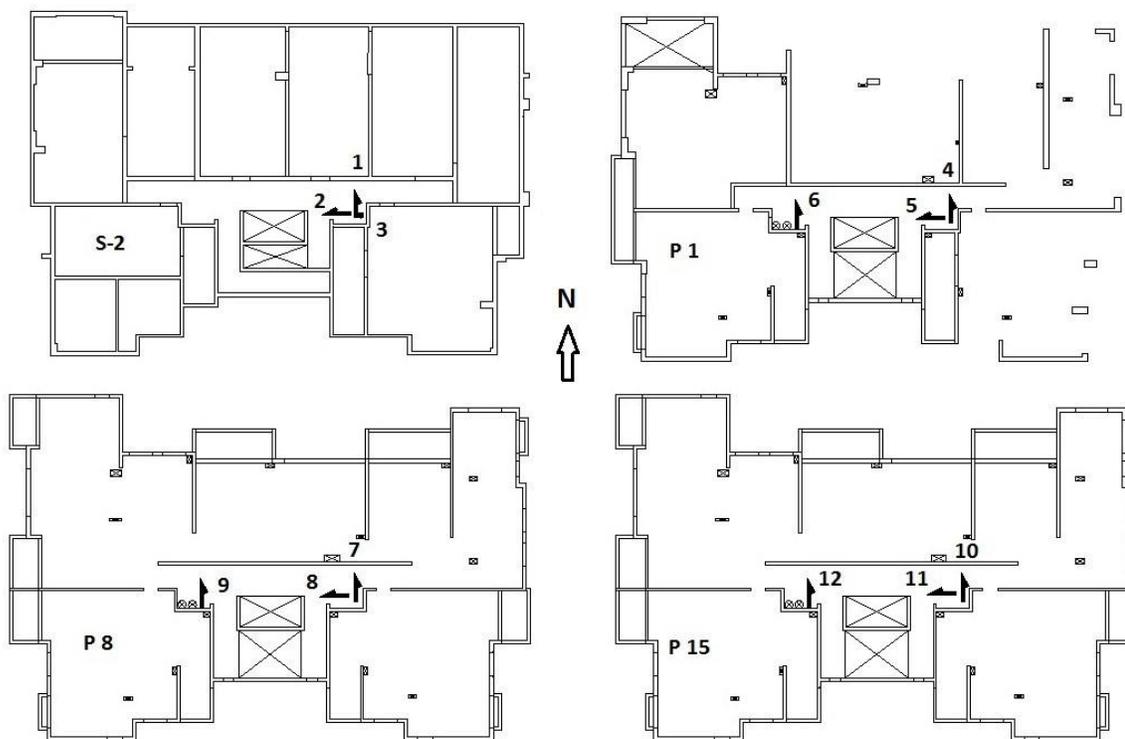


Figura 3.26 Ubicación y orientación de los instrumentos en las plantas correspondientes.

### 3.5.2. Datos registrados

A partir de la instrumentación instalada en el edificio Antígona, se han obtenido registros de mediana intensidad desde Agosto del 2017. El primer evento registrado corresponde al sismo originado a 43 km al sureste de Vichuquén el día 09 de Agosto del 2017, con una magnitud de momento de 4.8 Mw (Figura 3.27).

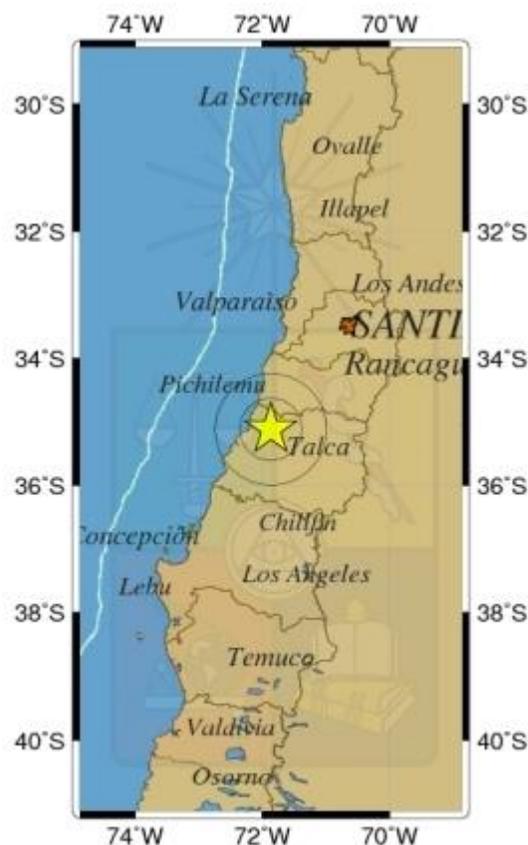


Figura 3.27 Ubicación del primer sismo registrado por la instrumentación del edificio Antígona el día 09/08/2017 de Mw=4.8. (Fuente: [www.sismologia.cl](http://www.sismologia.cl))

Lamentablemente, los instrumentos entregaron registros alterados por una falta de calibración y problemas de instalación de estos. Durante cuatro meses se registraron datos alterados, correspondiente a 19 sismos que afectaron a la estructura en dicho período y que no pudieron ser procesados cabalmente en este estudio.

El primer registro válido que tuvo a todos los sensores funcionando correctamente corresponde al evento que se originó el día 26 de Noviembre del 2017 a 9 [km] al Oeste de Petorca y a 141 [km] del edificio en estudio como se especifica en la (Figura 3.28), con una magnitud de momento Mw=5.1. A partir de este evento se han registrado 13 eventos válidos (indicados en la Tabla 3-2) que se han utilizado para un análisis del edificio que se desarrolla en el presente estudio.



Figura 3.28 Ubicación del primer sismo registrado por la instrumentación del edificio Antígona con datos válidos el día 26/11/2017 de  $M_w=4.8$ . (Fuente: [www.sismologia.cl](http://www.sismologia.cl))

## 4. Resultados y Análisis de datos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de uno de los diferentes eventos sísmicos que afectó al edificio Antígona de los que se tiene registros. El sismo escogido para ser presentado corresponde al que ocurrió el día 10 de Abril del 2018, con una magnitud de momento  $M_w=6.2$ , con epicentro ubicado a 33 [km] al Suroeste de Punitaqui (IV región de Chile) y con una distancia entre el edificio es estudio y el epicentro de 316.6 [km]. Este sismo es escogido debido a que presentó un mayor índice en los valores de aceleración del suelo, intensidad de Arias y potencial destructivo en comparación con los demás registros con los que se trabaja como se puede apreciar en la Tabla 4-1. Cabe destacar que el presente estudio trabaja con resultados de 13 eventos sísmicos registrados por los acelerómetros instalados en la estructura. Estos resultados son presentados en los ANEXOS.

### 4.1. Procesamiento de datos

Desde el 26 de Noviembre hasta la fecha, los acelerómetros del Edificio Antígona han estado registrando datos válidos para ser procesados. Estos se encuentran en la base de datos de la RENADIC y son con los que se trabaja en este estudio.

Cada evento está separado por carpeta, en donde se almacena el archivo “\*.evt” que corresponde a los datos entregados por los acelerómetros. Estos archivos se procesan en el software SMA (Strong Motion Analysis de Kinematics) para poder obtener los registros de aceleraciones, a partir de los cuales se trabaja. Como resultado de ese procesamiento se obtiene un archivo (.v1) que contiene las aceleraciones registradas por cada canal dispuesto en la estructura y que puede ser abierto en un documento texto y que tienen un formato específico generado por el software SMA. (Se observa que el programa SMA puede generar archivos v2 y v3 que corresponden a los datos de aceleración, velocidad y desplazamientos filtrados en el archivo v2 y al de espectros elásticos de respuesta de los sensores en el formato v3). El resumen de la metodología a seguir para adquirir los registros de aceleración se describe a continuación:

- Abrir archivo “\*.evt” en el Software SMA de Kinematics.
- Generar registro de aceleraciones en formato “\*.v1” utilizando el programa SMA de Kinematics. Este archivo contiene información de los instrumentos y las aceleraciones registradas en un archivo de texto.
- En MATLAB se generó una rutina “Deproce\_Antigonas” que lee el archivo \*.v1 para ser posteriormente procesados en el software.

A partir de estos datos se trabaja para obtener gráficos con los registros de aceleraciones de cada canal, especificando el valor máximo registrado por los instrumentos que esquematizan de mejor manera los datos del registro (Figura 4.1).

También se trabaja con una función de MATLAB la cual se encarga de integrar las aceleraciones para obtener velocidades y desplazamientos. Esta función obtiene resultados similares a los obtenidos por el Software de Kinematics SMA en su versión v2 por lo que se considera válida. Los resultados se muestran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-1 Tabla resumen de las propiedades de los sismos registrados con datos válidos en la estructura

Fecha	Hora Local	M <sub>w</sub>	Prof [km]	Lat	Long	D <sub>epi</sub> [km]	PGA [g]	I <sub>a</sub> [cm/s]	Pd [cm·s]
26-11-2017	19:15:13	5.1	66.5	-32.235	-71.025	141.4	0.006	0.171	0.003
06-12-2017	17:46:31	4.7	45.1	-32.279	-71.356	119.3	0.005	0.050	0.000
04-01-2018	03:01:27	4.4	26.7	-32.718	-71.658	50.0	0.011	0.165	0.002
10-04-2018	07:19:33	6.2	75.1	-31.008	-71.552	316.6	0.015	2.091	0.108
05-05-2018	23:44:20	5.1	34.6	-34.288	-71.261	220.2	0.003	0.042	0.001
11-05-2018	18:57:42	4.5	29.3	-32.793	-71.746	44.7	0.006	0.086	0.001
19-05-2018	02:43:40	4.7	36.8	-32.207	-71.373	130.0	0.008	0.235	0.004
16-07-2018	05:44:54	4.3	29.0	-32.634	-71.635	62.0	0.005	0.043	0.001
30-08-2018	18:43:39	4.8	56.0	-32.401	-71.229	106.0	0.008	0.139	0.002
01-12-2018	20:55:24	5.4	36.4	-33.926	-72.472	187.3	0.004	0.168	0.009
05-12-2018	14:12:14	5.2	39.1	-33.692	-71.495	105.7	0.003	3.818	0.081
19-01-2019	22:32:50	6.7	70	-30.1	-71.3	460.5	0.018	2.635	0.094
02-03-2019	17:21:53	5.5	16	-33.67	-72.497	161.5	0.006	0.221	0.014

I<sub>a</sub>, y Pd corresponden a la intensidad de Arias y potencial destructivo horizontal obtenidos como la suma de las componentes horizontales observadas en el subterráneo -2, PGA corresponde al máximo de los canales horizontales del subterráneo -2.

#### 4.1.1. Determinación de Propiedades del Sismo

Para complementar la información de los eventos sísmicos registrados se recopila información de estos desde la página del Centro Sismológico Nacional, [www.sismologia.cl](http://www.sismologia.cl), tales como: la magnitud de momento, ubicación del epicentro (latitud y longitud), profundidad hipocentral y hora local del sismo. En este contexto, se genera un archivo en Excel que recopila toda esta información y que es empleada por las rutinas del informe automatizado. Adicionalmente, en caso de ser posible se genera un archivo en pdf con la información del CSN en la carpeta asociada al evento de manera de ser agregada al informe.

Con toda esta información se genera la tabla resumen (Tabla 4-1) con las características de cada evento registrado se determina información adicional como la distancia entre el epicentro del sismo y el edificio, la aceleración máxima del suelo (que se obtiene de los registros de los canales que se encuentran en el nivel subterráneo -2), la intensidad de Arias y el potencial destructivo, que nos permite tener una mayor noción de la intensidad del movimiento sísmico en sí y como pudo haber demandado a la estructura en términos generales.

La Tabla 4-1, muestra el resumen de estas características de los eventos que han sido registrados con datos válidos desde Noviembre del 2017 hasta Marzo del 2019.

#### 4.1.2. Registros de Aceleraciones

Teniendo los datos de aceleraciones disponibles para ser procesados en Matlab, se generan los gráficos de aceleración (g) vs tiempo (s) de los 12 canales especificando la máxima aceleración registrada por cada instrumento. Además, en el título de la imagen se especifican las características del sismo que afecta a la estructura, que se obtiene de la Tabla 4-1. En la Figura 4.1 se muestran los registros correspondientes al sismo originado el 10 de Abril del 2018.

EDIFICIO ANTIGONA, 10-04-2018 HORA 07:19:33  
 $M_w = 6.2$  LAT -31.008 LONG -71.552 PROF 75.1 km ( $D_{epi}$  316.6 km)

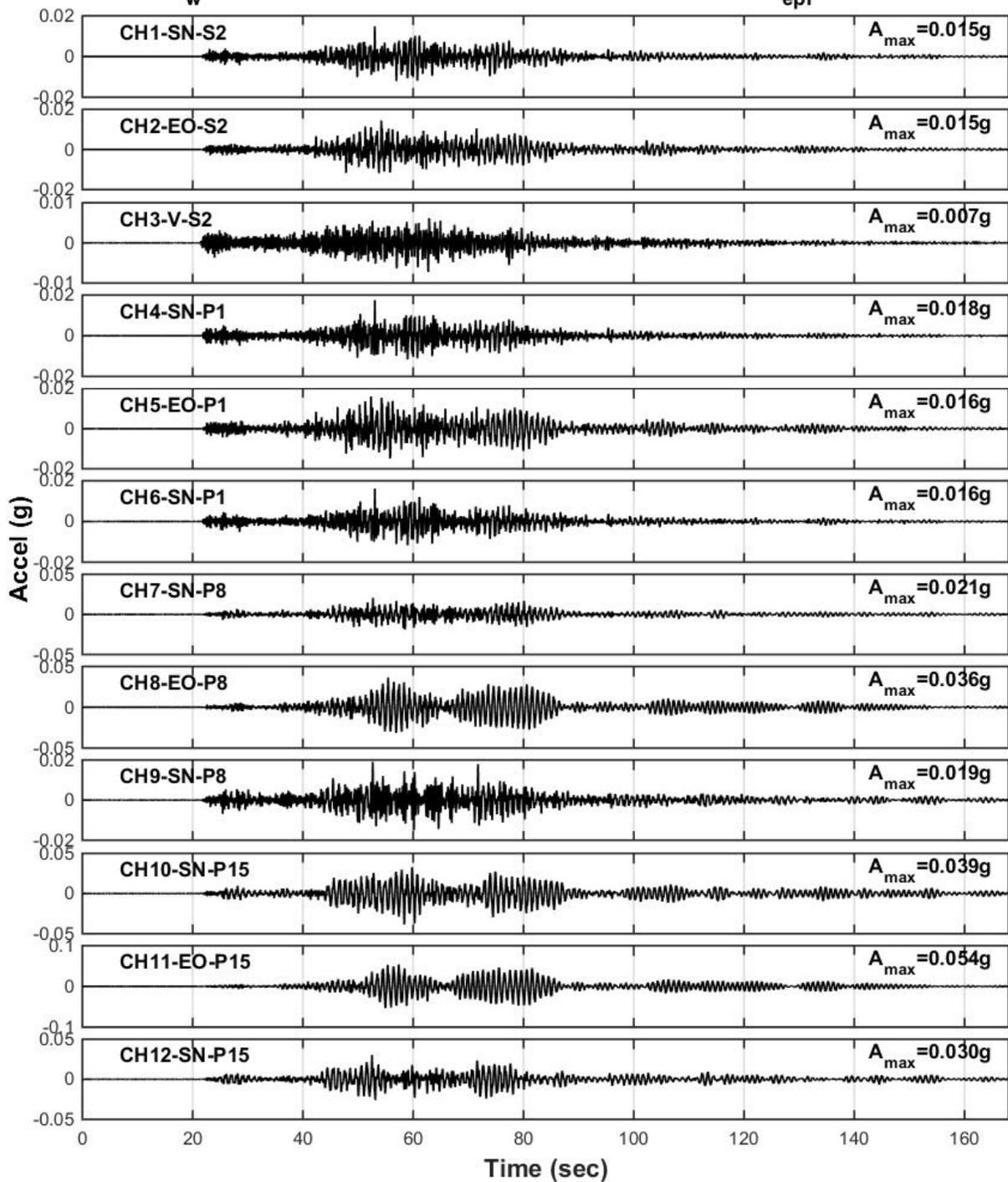


Figura 4.1 Registro de aceleraciones de los 12 canales dispuestos en el edificio Antígona para el sismo generado el 10/04/2018.

### 4.1.3. Cálculo de Respuestas Máximas

Como se menciona en la sección de metodología (punto 1.4) se utiliza una función de MATLAB para determinar los registros de velocidades y desplazamientos de cada canal a partir de la integración numérica del registro de aceleraciones. La rutina básicamente realiza integración y derivación numérica del registro de aceleraciones utilizando filtros para obtener las componentes de velocidad y desplazamiento, cabe mencionar que los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos en el archivo \*.v2 del programa SMA de Kinometrics (el cual usa el método de corrección de Shakal & Ragsdale).

A modo de ejemplo, se presenta la Tabla 4-2 los valores de las aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos de cada canal producto del evento del 10 de Abril de 2018,

Tabla 4-2 Componentes máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento de cada canal del sismo del 10 de Abril del 2018.

Canal	Localización	Sentido	$A_{\max}$ (cm/seg <sup>2</sup> )	$V_{\max}$ (cm/s)	$D_{\max}$ (cm)
1	Subterráneo -2	NS	14.507	1.394	0.174
2	Subterráneo -2	EW	14.311	1.375	0.206
3	Subterráneo -2	V	7.156	0.558	0.060
4	Piso 1	NS1	17.154	1.092	0.140
5	Piso 1	EW	15.879	1.694	0.241
6	Piso 1	NS2	15.781	1.292	0.160
7	Piso 8	NS1	20.192	1.915	0.250
8	Piso 8	EW	35.777	4.279	0.658
9	Piso 8	NS2	18.723	1.603	0.170
10	Piso 15	NS1	38.326	4.036	0.625
11	Piso 15	EW	53.127	7.110	1.101
12	Piso 15	NS2	29.797	3.178	0.510

## 4.2. Determinación de Espectros Elásticos

Se calculan los espectros elásticos de respuesta correspondientes a cada canal. Para obtener los registros de respuesta de los sistemas de un grado de libertad se utiliza el método de Newmark descrito en la sección 2.1 considerando una tasa de amortiguamiento de 5%. Para ello, se considera el método de aceleración lineal descrito en la Figura 4.2, al cual le corresponde un valor de  $\beta = 1/6$ .

Los espectros de aceleraciones se presentan para cada canal, especificando el número del instrumento (según la definición de la figura 3.13), la dirección en la que se dispuso y el piso donde se ubica el instrumento.

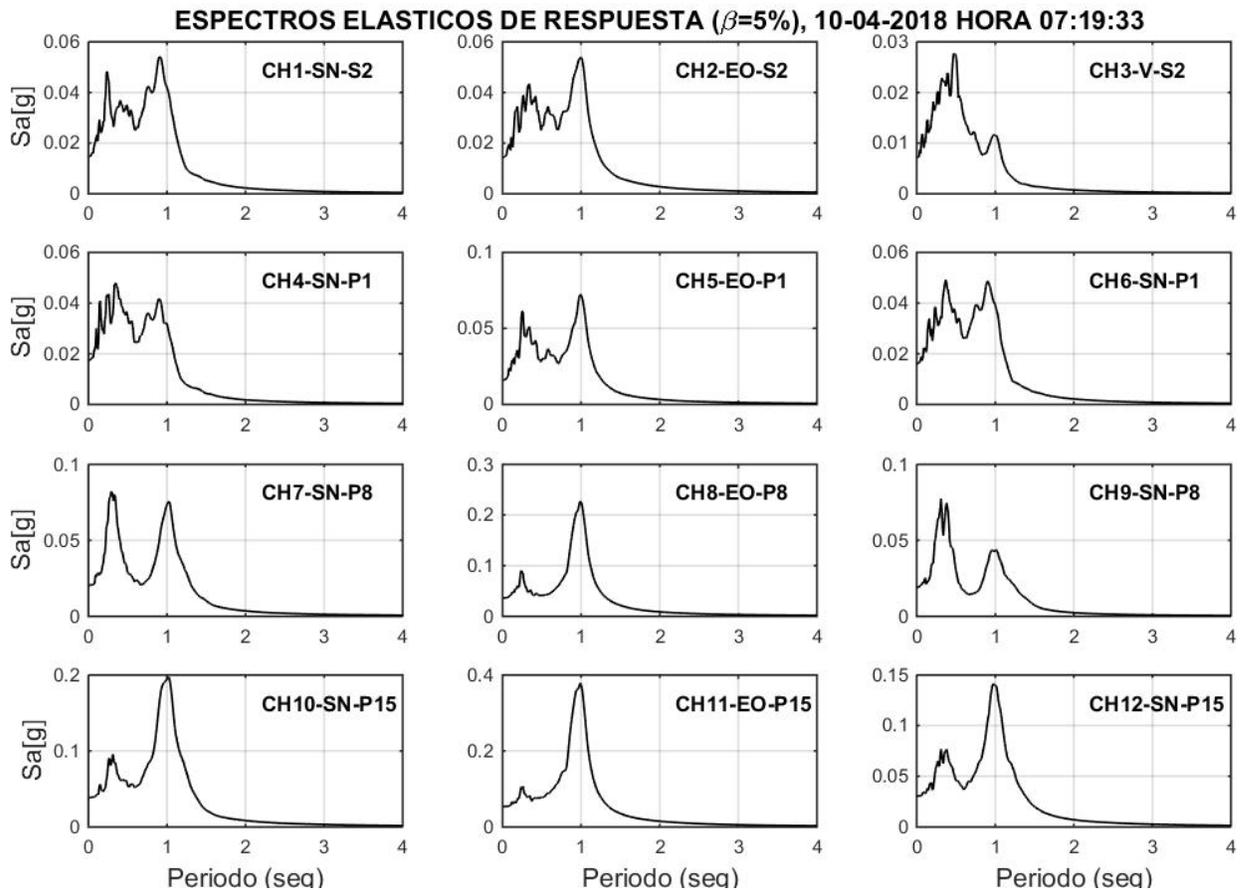


Figura 4.2 Espectros elásticos considerando registro de entrada la respuesta de cada canal dispuestos en los diferentes pisos de la estructura para el sismo del 10/04/2018.

Los espectros del canal 1, 2 y 3 corresponderían a las solicitaciones del suelo sobre la estructura pudiéndose apreciar que presenta un peak marcado cercano a 1 [s] que se asocia al efecto de la estructura (como se observa en los canales superiores); sin embargo, es posible apreciar (en particular en el canal vertical, CH3) que el suelo en el emplazamiento podría tener un período característico entre 0.30-0,60 [s]. Los espectros de los canales dispuestos en los pisos 1, 8 y 15 representan la amplificación de aceleraciones a medida que la altura es mayor.

### 4.3. Determinación de Espectros de Potencia y relaciones Espectrales

Una forma de identificación de frecuencias fundamentales de estructuras es analizando la energía de cada canal que se presentan en los espectros de potencia. A continuación, se presentan los espectros de potencia de los canales orientados en sentido Norte-Sur, Este-Oeste y torsional. Este último se calcula a partir de la diferencia de energía entre los canales orientados en el mismo sentido (en el caso particular del edificio Antígona, en la dirección NS) de los pisos 1, 8 y 15.

Los resultados se presentan en gráficos de frecuencia (Hz) vs Magnitud en decibeles (dB). Si la componente de las abscisas hubiera sido presentada en magnitud de amplitud, se habrían notado claramente el primer y según modo sin poder observar los siguientes modos. La ventaja de la magnitud en decibeles es que trabaja con escala logarítmica y hace posible la identificación de más peaks que corresponden a los siguientes modos de la estructura.

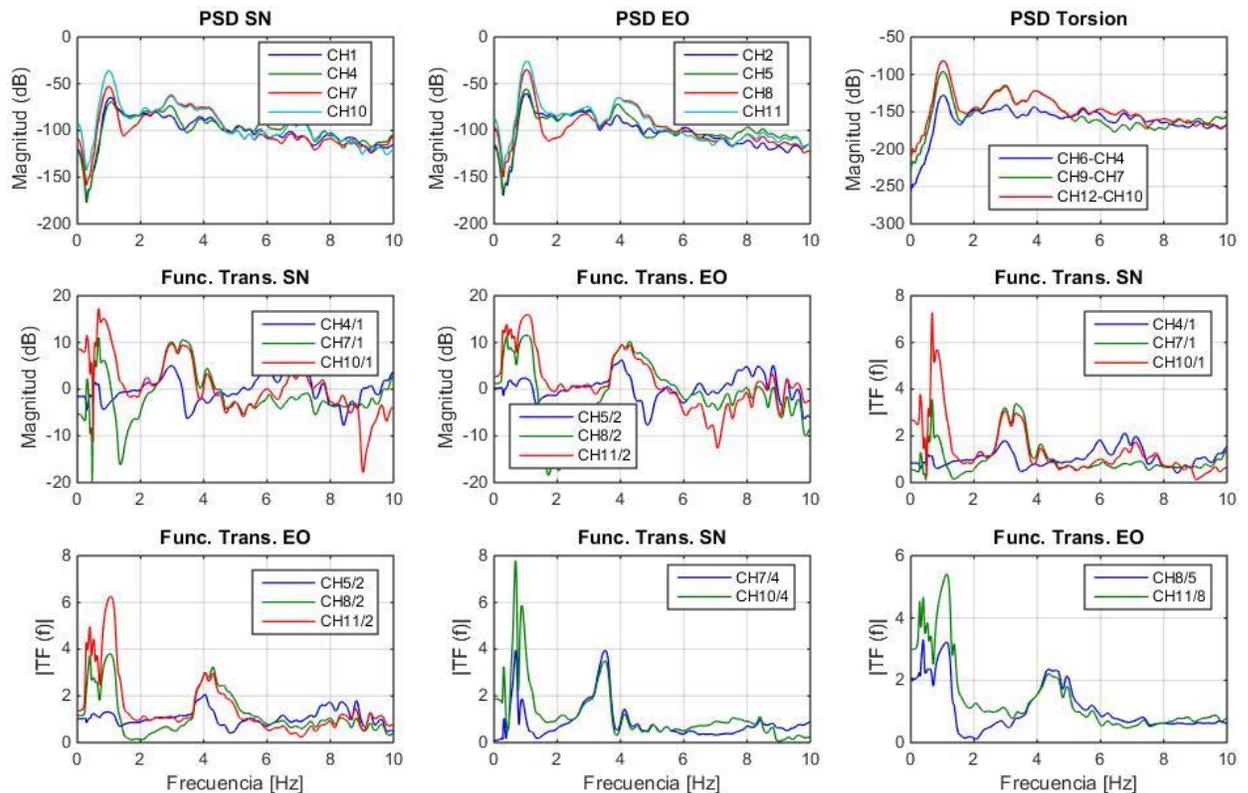


Figura 4.3 Espectros de potencia y funciones de transferencia para identificar frecuencias fundamentales de la estructura utilizando registros del sismo del 10/04/2018.

Se presentan también el valor absoluto de las funciones de transferencia con el fin de identificar las frecuencias fundamentales de la estructura. En una primera instancia se presentan la función de transferencia de los canales en sentido NS con respecto al canal 1 que contiene la fuente de entrada. De igual manera, se presenta la función de transferencia para la dirección EO de los canales instalados en dicha dirección del piso 1, 8 y 15, con respecto al canal de entrada instalado en el subterráneo -2.

Los gráficos de la función de transferencia se presentan en dos escalas distintas. Primero, se presentan en magnitud de decibeles (dB) en ambas direcciones, y luego, las mismas relaciones se presentan en términos de amplitud. De igual manera que con el espectro de potencia, se presentan los gráficos en magnitud de decibeles para poder notar de mejor manera los peaks que en la escala de Amplitud no serían tan identificables y podrían corresponder a una frecuencia fundamental de la estructura.

Tanto los espectros de potencia como las funciones de transferencia son obtenidos al emplear ventanas del tipo Hanning de 7 segundos de duración y un traslapo entre ventanas de 3,5 segundos.

#### 4.4. Identificación de Propiedades Dinámicas Aplicando Método DSI

El presente estudio tiene como objetivo determinar las propiedades dinámicas empleando el método DSI con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) a partir de registros sísmicos que han identificado los instrumentos instalados en la estructura.

La metodología empleada para la obtención de resultados del siguiente estudio es la siguiente:

- Definición de Inputs y Outputs.
- Obtención de propiedades dinámicas (frecuencias, razones de amortiguamiento y formas modales) mediante la aplicación del método DSI.
- Graficar las formas modales a partir de los resultados obtenidos con el método recién empleado.

##### 4.4.1. Determinación de Inputs y Outputs de la Estructura

De acuerdo a la instrumentación instalada en la estructura (Figura 3.13), se consideran 2 alternativas de sollicitaciones a la estructura. La primera considera como “inputs” los registros de aceleraciones medidas por los canales en sentido longitudinal y transversal instalados en el nivel subterráneo -2, que se presenta en la Figura 4.4 y Figura 4.5.

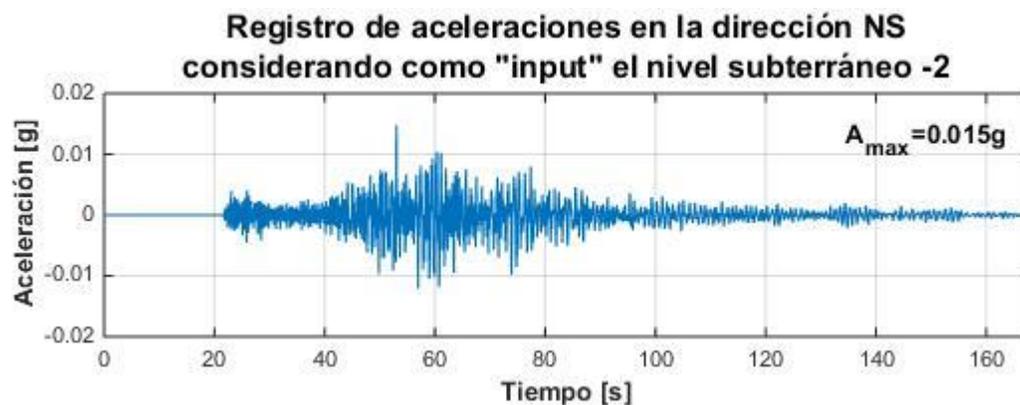


Figura 4.4 Registro de aceleraciones del canal 1, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el subterráneo -2 y en sentido NS para el sismo del 10 de Abril del 2018.

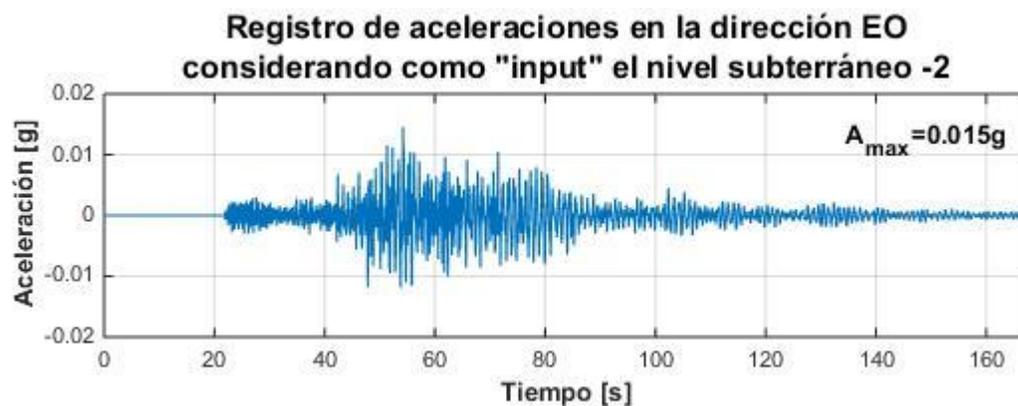


Figura 4.5 Registro de aceleraciones del canal 2, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el subterráneo -2 y en sentido EO para el sismo del 10 de Abril del 2018.

En este caso, los “outputs” o registros de aceleraciones de respuesta de la estructura corresponden a los canales dispuestos en el piso 1 (CH4, CH5, CH6), piso 8 (CH7, CH8, CH9) y piso 15 (CH10, CH11, CH12). Los registros de respuesta de estos canales se especifican en la Figura 4.1.

Se considera también como sollicitación de la estructura los registros de aceleraciones de los canales ubicados en el piso 1 dispuestos en sentido longitudinal y transversal. Como en este nivel existen 2 acelerómetros en sentido Norte-Sur (CH4 y CH6) y uno en sentido Este-Oeste (CH5), se consideran como sollicitación los 3 registros correspondientes a estos canales. Los registros de aceleraciones considerando como “input” los canales en el nivel 1 se muestran en la Figura 4.6 y Figura 4.7

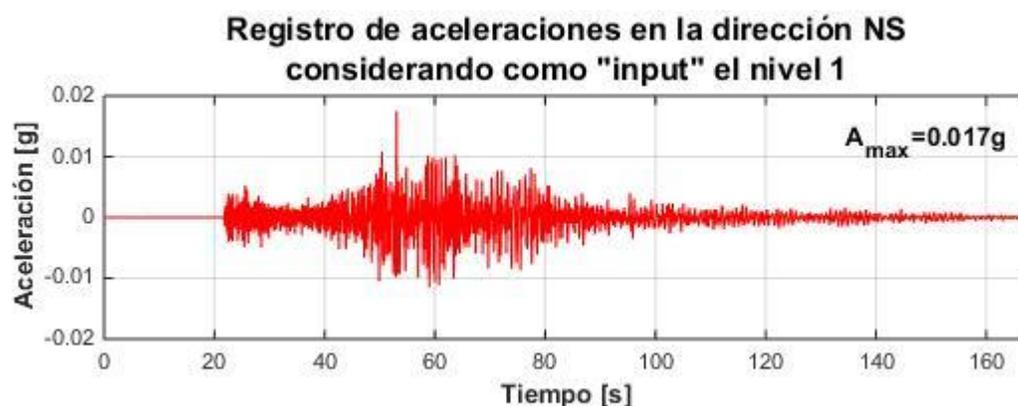


Figura 4.6 Registro de aceleraciones del canal 4, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el nivel 1 y en sentido NS para el sismo del 10 de Abril del 2018.

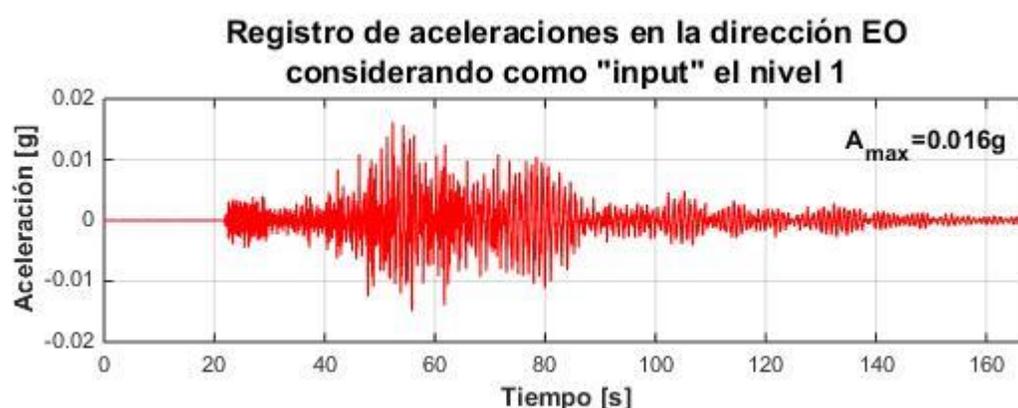


Figura 4.7 Registro de aceleraciones del canal 5, correspondiente a la sollicitación de la estructura en el nivel 1 y en sentido EO para el sismo del 10 de Abril del 2018.

Los registros de salida o “outputs” correspondientes a este caso, son los datos registrados por los canales dispuestos en los pisos 8 (CH7, CH8, CH9) y 15 (CH10, CH11, CH12).

#### 4.4.2. Identificación de Propiedades Dinámicas

Luego de establecer los “inputs” y “outputs” se procede a aplicar el método DSI para los dos casos antes descritos. Los resultados se presentan en diagramas de estabilidad, los que resumen las coincidencias de las propiedades a identificar para modelos de diversos órdenes del sistema espacio-estado discreto empleado por el método DSI. Los resultados específicos (frecuencias y razones amortiguamientos) se presentan en una tabla a continuación del gráfico. Para la obtención de los diagramas de estabilidad se consideran los siguientes criterios de similitud con el fin de determinar cada uno de los parámetros dinámicos.

Tabla 4-3 Criterios de similitud empleados para obtención de diagrama de estabilidad.

Parámetros	Tolerancia
Frecuencia	2%
Razón de Amortiguamiento	5%
Formas Modales	5%

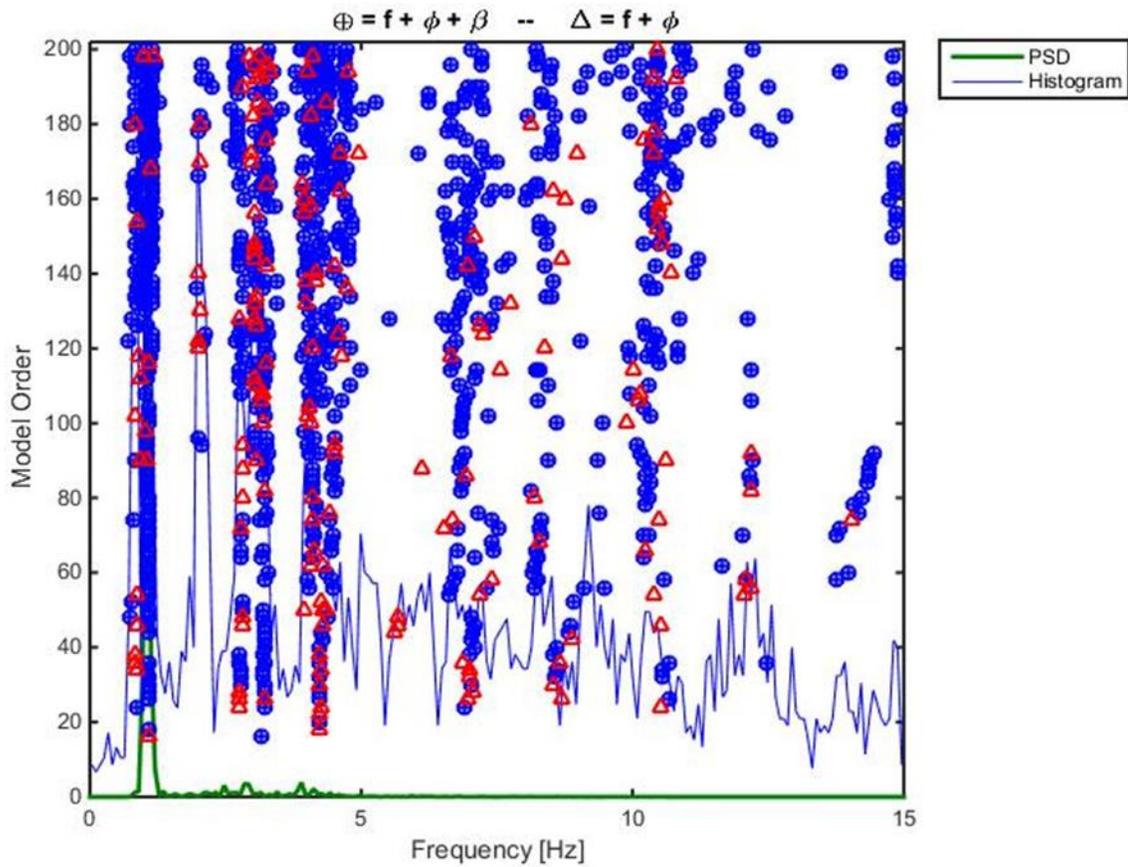


Figura 4.8 Diagrama de estabilidad considerando el primer caso de “input” y “output” descrito en la sección anterior asociado al evento del 10 de Abril del 2018.

Tabla 4-4 Tabla con resultados de los 6 primeros modos identificados por el método DSI asociado al evento del 10 de Abril del 2018

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.771	0.94	9.6	0.28	5
0.997	1.51	5.49	0.17	6
1.072	0.91	4.66	0.14	17
2.791	3.25	4.24	0.14	14
3.218	3.00	5.69	0.17	18
4.252	6.84	4.00	0.11	10

### 4.4.3. Formas Modales

Con los resultados entregados por el método, se trabaja con una rutina de Matlab que trabaja con la geometría de la planta del edificio y dibuja las formas modales identificadas. Para ello se buscan en los resultados de los diagramas las frecuencias identificadas, comparándolas mediante el MAC (Figura 4.10) para corroborar si se trata de una frecuencia que corresponda a un mismo modo, tomando como base los modos identificados para el registro 10/04/2018. En la Figura 4.9 se presentan las formas modales identificadas por el método DSI.

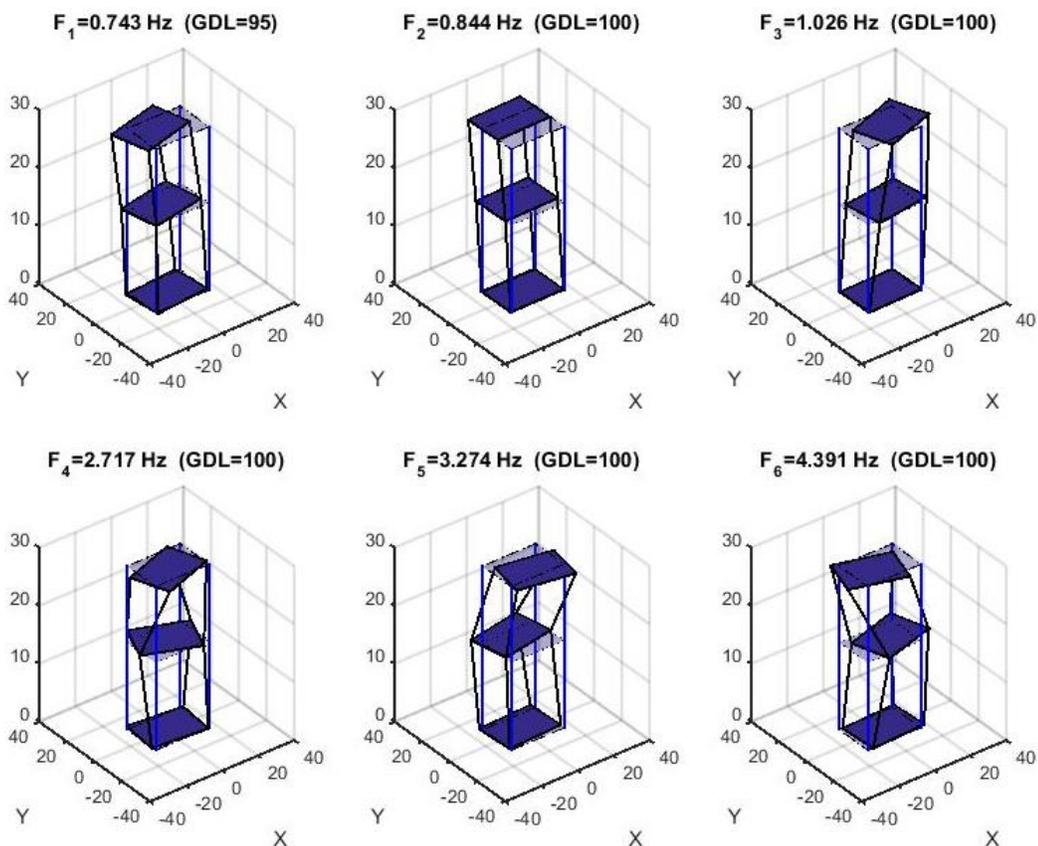


Figura 4.9 Formas modales identificadas mediante el método DSI asociadas al sismo del 10 de Abril del 2018.

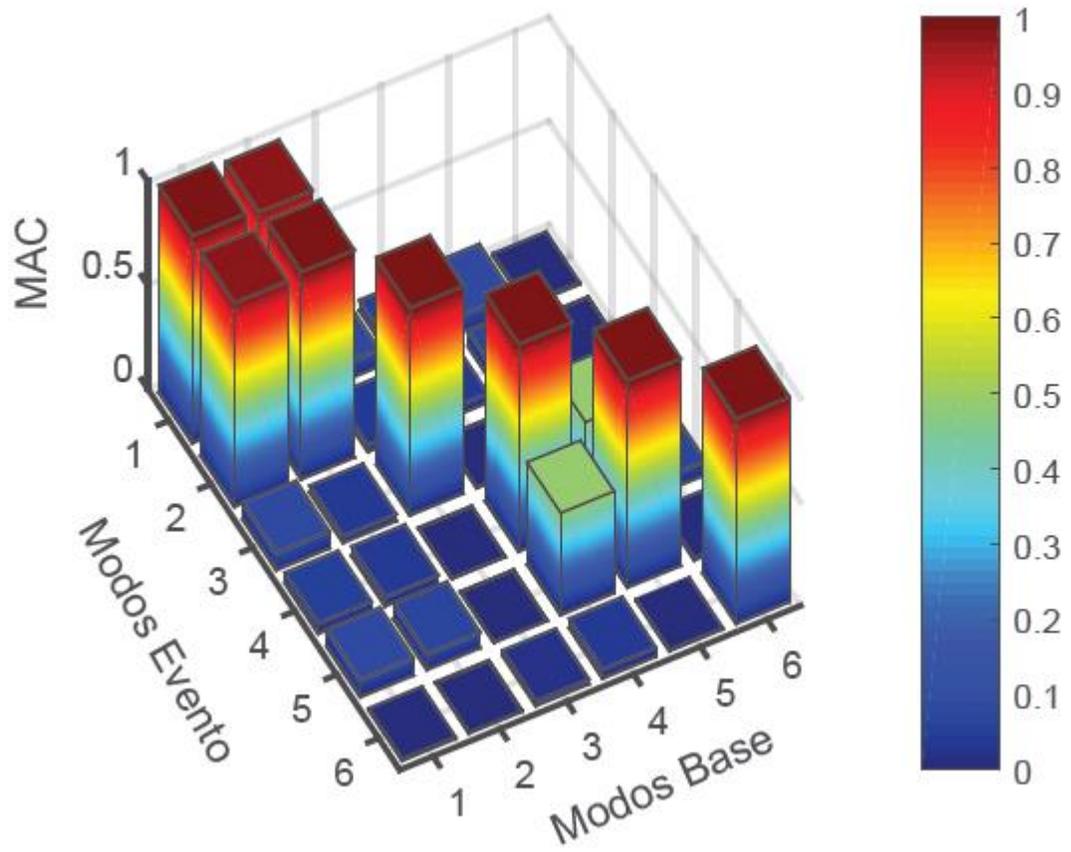


Figura 4.10 Método de comparación de identificación de formas modales

## 5. Modelación de Elementos Finitos de la Estructura

Como se mencionó en la metodología, se trabaja con el modelo de elementos finitos del edificio Antígona confeccionado por Betzabeth Suquillo en su tesis de Magíster, con el objetivo de obtener resultados de corte y desplazamiento de la estructura para cada sismo analizado.



Figura 5.1 Modelo original utilizado en el trabajo de tesis de Betzabeth Suquillo (Suquillo, 2017). El eje Y corresponde a la dirección NS.

El modelo se confecciona en el programa ETABS v16.2.1 con un hormigón de resistencia H30 ( $f_c' = 25$  MPa) y a partir de elementos tipo barra (frame) y placas (Shell). La estructura cuenta con muros de diferentes espesores que varían entre los 20 [cm] y los 40[cm] distribuidos en 20 niveles considerando los 16 pisos de la torre, 2 subterráneos y techumbre. La losa, cuenta con un espesor de 18 [cm] en todos los niveles.

Las solicitaciones gravitacionales (Ver Tabla 5-1) consideradas para el análisis son el peso propio y las sobrecargas de uso de acuerdo a la norma NCh 1537 y a los informes de rehabilitación estructural (Suquillo, 2017). Para en análisis del modelo se considera un 25% de la sobrecarga.

Tabla 5-1 Resumen de cargas distribuidas por área (Suquillo, 2017).

<b>Resumen de carga viva distribuida para el modelo numérico</b>			
Zona estacionamientos	SC_est=	500	[kgf/m <sup>2</sup> ]
Departamentos y pasillos	SC_dep=	200	[kgf/m <sup>2</sup> ]
Balcones	SC_balc=	250	[kgf/m <sup>2</sup> ]
<b>Resumen de carga muerta distribuida para el modelo numérico</b>			
Tabiquería	CM_tab	100	[kgf/m <sup>2</sup> ]
Sobrelosa	CM_sobre	100	[kgf/m <sup>2</sup> ]

## 5.1. Calibración de Modelo

Con el propósito de obtener resultados reales de la estructura para cada evento sísmico en particular, se calibra el modelo de elementos finitos con los resultados obtenidos por el método DSI. Los parámetros más importantes por ajustar son las frecuencias y formas modales en lo que se refiere al ajuste de distribución de masas y rigideces. Para poder lograr el ajuste, se suponen ciertas condiciones que se aplican al modelo. En la Tabla 5-2 se presentan las frecuencias de los seis primeros modos obtenidas por el modelo original, y en la Tabla 5-3 se muestran las frecuencias fundamentales obtenidas por el método DSI.

Tabla 5-2 Frecuencias y periodos fundamentales de la estructura extraídos del programa ETABS correspondiente al modelo original.

Modelo de Elementos Finitos Original		
Modo	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]
1-To-EO	1,245	0,803
2-NS	1,531	0,653
3-To-EO	2,257	0,443
4-To	4,525	0,221
5-To-NS	5,348	0,187
6-To-EO	7,463	0,134

Tabla 5-3 Frecuencias y periodos fundamentales de la estructura obtenidos a partir de los resultados del método DSI.

Resultados Método DSI		
Modo	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]
1-To-EO	0,804	1,244
2-NS	0,882	1,134
3-To-EO	1,175	0,851
4-To	2,855	0,350
5-To-NS	3,347	0,299
6-To-EO	4,446	0,225

Como se puede apreciar, el modelo representa una estructura más rígida que la estructura real con los datos obtenidos de los registros. Para flexibilizar el modelo original, se realizan las siguientes modificaciones:

- Reducción de rigidez de las losas (75%).
- Reducción del módulo de elasticidad del hormigón considerado en los elementos del modelo (50%).

Se desarrollan una serie de pruebas para realizar la calibración (Reducción de la inercia de los elementos, reducción de módulo de elasticidad e interacción suelo-estructura a partir de resortes en la base de la estructura). De igual forma, se debió reducir de manera exagerada las rigideces. Se debe mencionar que se sospecha que ciertas características de elementos no estructurales no fueron modeladas como la existencia de estanques de líquidos en los pisos superiores o la interacción de ciertos elementos no-estructurales. Cabe mencionar que los modos 4 a 6 indican de la existencia de interacción suelo-estructura.

Con estos ajustes, es posible llegar a una aceptable calibración del modelo del cual se pueden sacar resultados relevantes para la estructura

Tabla 5-4 Frecuencias y periodos fundamentales de la estructura obtenidas del programa ETABS después de aplicar los criterios de calibración.

Resultados Método ETABS calibrado			
Modo-Dirección	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]	Error [%]
1-To-EO	0,722	1,346	8
2-NS	0,934	1,029	9
3-To-EO	1,379	0,688	19
4-To	2,833	0,336	4
5-To-NS	3,390	0,275	8
6-To-EO	4,739	0,196	12

Tabla 5-5 Participación modal de masa en los 10 primeros modos.

Modo	Periodo [s]	UX	UY	RZ
1	1,346	0,105	0,211	0,246
2	1,029	0,067	0,365	0,095
3	0,688	0,440	0,000	0,170
4	0,336	0,024	0,060	0,063
5	0,275	0,027	0,105	0,017
6	0,196	0,105	0,002	0,036
7	0,183	0,000	0,000	0,000
8	0,153	0,007	0,019	0,026
9	0,133	0,002	0,007	0,003
10	0,126	0,005	0,036	0,004

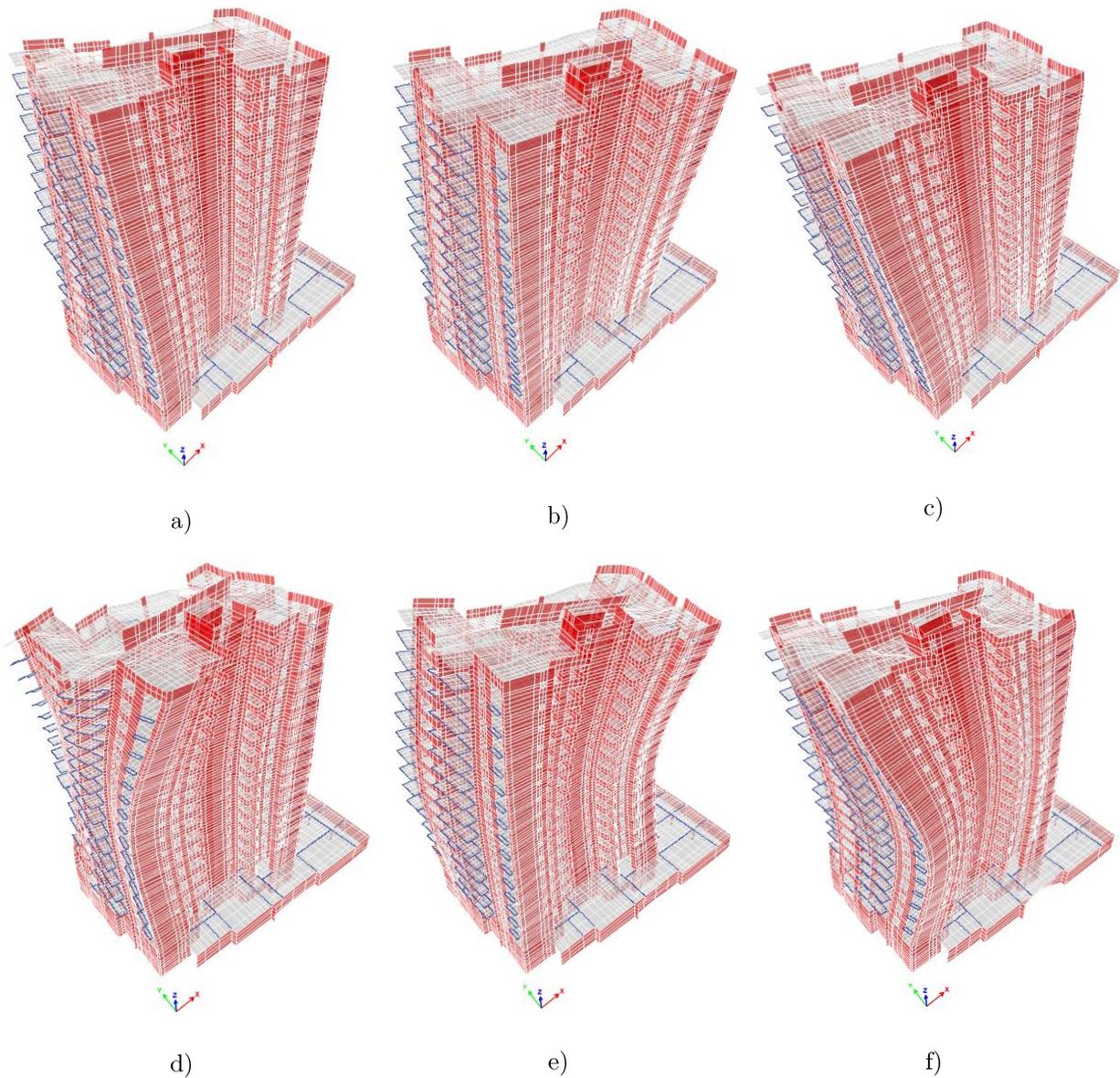


Figura 5.2 Formas modales de los 3 primeros modos obtenidos del modelo de ETABS. a) Primer modo torsional con traslación en Y, b) segundo modo traslacional en Y, c) tercer modo torsional con componente traslacional en X.

En la Tabla 5-6 y Tabla 5-7, se muestran dos casos de los errores asociados a las aceleraciones máximas obtenidas por cada canal que se encuentra instrumentado en el edificio, con las aceleraciones máximas que se obtienen como resultado del modelo al ejecutar un análisis tiempo historia lineal elástico. Los dos casos presentados corresponden a los eventos que presentaron mayor y menor diferencia de aceleraciones entre registros y resultados del modelo.

Tabla 5-6 Error asociado a las aceleraciones máximas obtenidas como resultado del modelo y de los instrumentos instalados en el edificio para el evento del 05/12/2018

Piso	Dirección	Aceleración Máxima [cm/s <sup>2</sup> ]		
		Registro	Modelo	Error
S-2	NS	51,95	51,95	0%
S-2	EW	35,58	35,58	0%
P1	NS	54,99	64,22	17%
P1	EW	38,72	37,15	4%
P8	NS	47,05	117,1	149%
P8	EW	36,76	93,04	153%
P15	NS	84,79	185,13	118%
P15	EW	44,5	107,78	142%

Tabla 5-7 Error asociado a las aceleraciones máximas obtenidas como resultado del modelo y de los instrumentos instalados en el edificio para el evento del 04/01/2018

Piso	Dirección	Aceleración Máxima [cm/s <sup>2</sup> ]		
		Registro	Modelo	Error
S-2	NS	10,69	10,69	0%
S-2	EW	8,72	8,72	0%
P1	NS	10,88	11,26	3%
P1	EW	10,59	9,27	12%
P8	NS	16,57	25,33	53%
P8	EW	14,21	14,26	0%
P15	NS	16,96	23,5	39%
P15	EW	16,17	16,29	1%

## 5.2. Resultados del modelo

Una vez “calibrado” el modelo, en el programa de ETABS, se ingresan los registros medidos en los subterráneos como inputs de manera de realizar un análisis tiempo historia lineal elástico correspondiente a los diferentes registros de aceleraciones con los que se trabaja en el presente estudio. Estos registros son obtenidos a partir de una rutina de Matlab, la que genera un archivo .txt compatible para ser leído por el software.

Los registros que se definen en el software corresponden a los datos de los canales 1 y 2 (dirección NS y EO respectivamente) instalados en la estructura. Estas aceleraciones son las que solicitan a la estructura desde el subterráneo -2.

Adicionalmente, se ingresan los valores de las razones de amortiguamiento asociadas a los primeros seis modos de la estructura identificadas con el método DSI para cada modo y sismo a evaluar. Al resto de los modos se les asigna una tasa de amortiguamiento de un 5%.

Luego de ingresar los datos de cada sismo, se ejecuta el modelo y se le solicita al software exportar tablas de resultados específicas en archivo .xml. Las tablas que se extraen corresponden a “Diaphragm Center of Mass Displacements”, Diaphragm Max/Avg Drifts” y “Story Forces”.

Estos archivos .xml son importados por una rutina de Matlab, la que se encarga de extraer la información y procesarla, para así, poder entregar los resultados en forma de gráficos.

### 5.2.1. Corte por piso

Luego de procesar el archivo .xml correspondiente a los resultados del sismo del 10 de Abril del 2018, entregados por el programa ETABS, se presentan estos en gráficos como se muestra en la Figura 5.3.

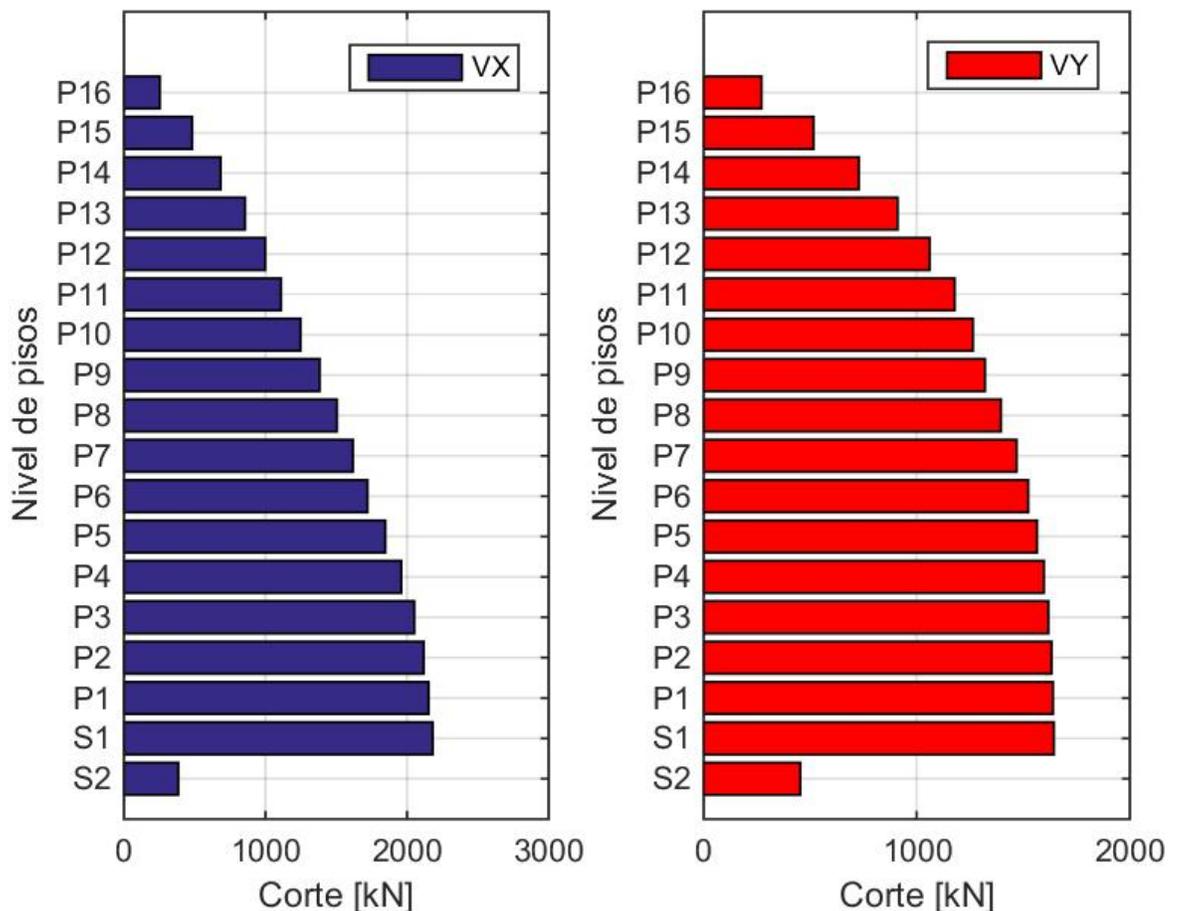


Figura 5.3 Corte por piso de la estructura producto de la sollicitación de aceleraciones correspondiente al sismo del 10 de Abril del 2018



## 6. Generación de Informe

Actualmente, la RENADIC genera reportes cuando ocurre un evento lo suficientemente fuerte, tal que los instrumentos dispuestos en la estructura en estudio alcanzan a registrarlo; es decir, cuando alguno de los canales supere el umbral de 0,01g. En general cuando se registra un sismo de mediana o gran intensidad se genera un reporte manual por parte de los encargados de RENADIC que posee información general como una tabla con las aceleraciones máximas registradas por cada acelerómetro, un esquema de las plantas con la ubicación de los 12 sensores instalados en el edificio y una imagen con los registros de aceleraciones en gráficos de aceleración vs tiempo de cada canal. De esta forma, uno de los objetivos de este trabajo es que las rutinas implementadas permitan generar un informe más completo de la respuesta sísmica del edificio en forma rápida y automática, eliminando de esta forma posibles errores asociados a la manipulación manual.

### 6.1. Organización de información

Durante el trabajo, se desarrolla una rutina en Matlab (genera\_informe\_antigonas.mat), la cual se encarga de calcular los diferentes resultados y presentarlos de manera automática en un informe en archivo pdf generado en LaTeX.

La rutina generada trabaja en un conjunto de carpetas relacionadas a los registros, a los resultados de sismos calculados conforme a los métodos empleados para la generación del informe que se esquematiza en la Figura 6.1.

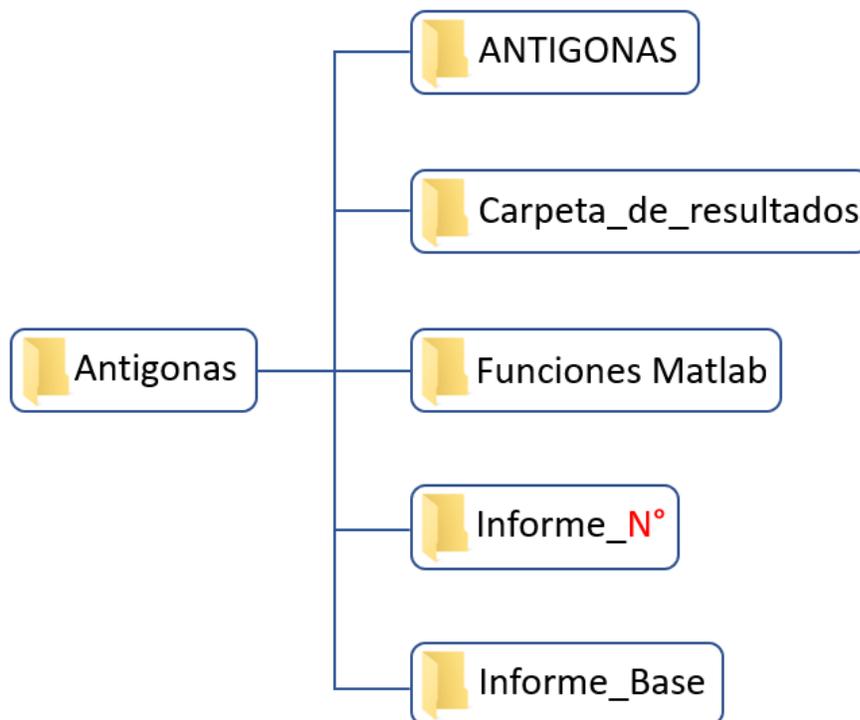


Figura 6.1 Esquema de organización de carpetas donde se trabaja y genera la información.

En la Figura 6.1 se muestra la organización en la que se dispuso la información para generar informes de eventos sísmicos que percibe la estructura. La rutina de Matlab,

llamada “genera\_informe\_antigonas.mat”, es la encargada de la generación del código de Latex, el cual se compila a partir del software TexMaker dando como resultado un informe en archivo pdf.

El programa de generación se encuentra en la carpeta “Antígona”, presentado en el esquema de la Figura 6.1, y contiene una serie de carpetas y funciones que se encargan de los cálculos de registros de aceleraciones, espectros, diagramas de estabilidad, y de todos los resultados expuestos en el informe. Todas las funciones que se emplean para el cómputo se encuentran en la carpeta “Funciones Matlab” que debe ser incorporada al “Set Path” de Matlab para su uso.

La carpeta “ANTIGONAS” contiene la información de cada sismo registrado por año conforme a la estructura y el orden de la base de datos de la RENADIC, teniendo en cuenta que cada evento sísmico se presenta en una carpeta donde debe estar el archivo v1 y en lo posible el archivo pdf del evento que es obtenido de la página web del CSN.

Una vez que se obtienen gráficos de resultados, el programa guarda automáticamente las imágenes en el directorio “Carpeta\_de\_resultados” en subcarpetas ordenadas según el tipo de resultado a incluir en el informe (DSI, DSI2, Espectro, PSD, Modelo).

La carpeta “Informe\_Base” contiene un archivo base de texto (.tex) con el código de latex correspondiente a la información general que contiene el informe y que no varía con los resultados obtenidos (portada, introducción, etc). Luego, al archivo base se le agregan ciertas palabras “marcadas” que son posteriormente reemplazadas por los resultados obtenidos en el programa principal, permitiendo así, que el programa decida qué resultados exponer en el informe según los requerimientos del operador.

Una vez que el programa se ejecuta, se genera una carpeta con número (“Informe\_N°” especificada en la Figura 6.1) a definir por el usuario. El nombre de esta carpeta se modifica y especifica en el código del programa. En esta carpeta se genera el archivo \*.tex y se adhieren todas las figuras del informe, para ser posteriormente abierta en el programa TexMaker para luego compilar el archivo \*.pdf.

## 6.2. Funcionamiento y uso del programa

El uso de la rutina de MATLAB tiene como objetivo el generar un informe de algún evento nuevo que se haya registrado por los instrumentos de la estructura, también como la generación de un documento de una serie de eventos de fechas ya procesada por el programa. De esta forma en la sección 6.2.1 se define como emplear el programa para un nuevo registro sísmico, en cambio la sección 6.2.2 muestra cómo generar un informe a partir de datos ya generados.

### 6.2.1. Generación de informe para nuevo registro

- 1) En primer lugar, se debe copiar la carpeta correspondiente al nuevo registro de la base de datos de la RENADIC a la carpeta correspondiente dentro del directorio “ANTIGONAS” en su año correspondiente (según formato de almacenamiento de RENADIC). Esta carpeta tiene como nombre la fecha del evento correspondiente. Se espera que esta carpeta tenga el archivo \*.v1

para su posterior procesamiento y en caso de existir el archivo reporte de sismo del CSN (para ser incluido en el informe).

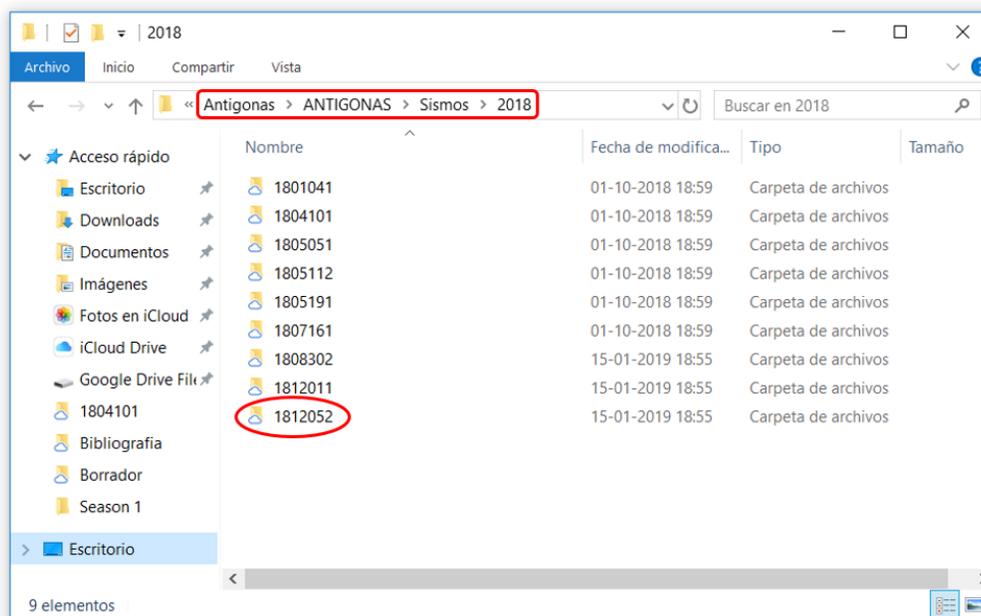


Figura 6.2 Directorio donde se debe copiar la carpeta del nuevo sismo registrado.

- 2) Completar información manualmente del sismo en el archivo Excel ubicado en la siguiente dirección: Antígona/ANTIGONAS/Sismos. Es decir, se debe incluir información como la magnitud, la latitud y longitud del epicentro, profundidad y hora local (En caso de desconocer estos datos completar con signo de interrogación). Esta información se encuentra generalmente en la carpeta correspondiente a cada sismo, en un pdf adquirido de la página del Centro Sismológico Nacional.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		<b>Carpeta</b>	<b>Mw</b>	<b>Lat</b>	<b>Long</b>	<b>Prof</b>	<b>Hora</b>	
22	20	<b>1711263c</b>	5,1	-32,235	-71,025	66,5	19:15:13	
23	21	<b>1712063</b>	4,7	-32,279	-71,356	45,1	17:46:31	
24	1	<b>1801041</b>	4,4	-32,718	-71,658	26,7	3:01:27	
25	2	<b>1804101</b>	6,2	-31,008	-71,552	75,1	7:19:33	
26	3	<b>1805051</b>	5,1	-34,288	-72,261	34,6	23:44:20	
27	4	<b>1805112</b>	4,5	-32,793	-71,746	29,3	18:57:42	
28	5	<b>1805191</b>	4,7	-32,207	-71,373	36,8	2:43:40	
29	6	<b>1807161</b>	4,3	-32,634	-71,635	29	5:44:54	
30	7	<b>1808302</b>	4,8	-32,401	-71,229	56	18:43:39	
31	8	<b>1812011</b>	5,4	-33,926	-72,472	36,4	20:55:24	
32	9	<b>1812052</b>	5,2	-33,692	-71,495	39,1	14:12:14	
33								
34								

Figura 6.3 Información de cada sismo que tiene que ser ingresada.

- 3) Ya entrando en el programa principal (`genera_informe_antigonas.mat`), se debe modificar la carpeta donde se guardarán los resultados y donde se genera el archivo de texto con el código de latex para ser compilado. También, se debe especificar el rango de fechas en donde ocurrió el sismo ingresado y especificar la ubicación del directorio. Estos tres puntos se especifican en la Figura 6.4.

```

1 - clearvars
2 - clc
3 - close all
4
5 - plotbn(0.5,0.5)
6
7 % tamanopantalla=get( groot, 'Screensize' );
8 % groot.ScreenSize=[1 1 1920 1080];
9
10 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
11
12 - carpeta_jpg='Informe_1'; % nombre de carpeta donde se guarda y
13 % genera informe
14
15 - carpeta_informe='G:\Mi unidad\Memoria\Antigonas'; %ubicación de directorio
16
17 - fechaini='2018-12-05'; %'aaaa-mm-dd'
18 - fechafin='2018-12-31'; % rango de fechas de informe

```

Figura 6.4 Modificaciones en el código principal para generar un informe de un registro nuevo

- 4) Al tratarse de un evento nuevo, se debe activar (pone con valor “1”) todas las variables mostradas en la Figura 6.5 para que el programa calcule todos los resultados explicitados y los incluya o no en el informe y también los guarde en la carpeta de resultados (de manera de no ser procesados nuevamente). Donde si\_espectro se relaciona a incluir los espectros elásticos, si\_PSD se refiere a los resultados de análisis en frecuencia, si\_DSI se refiere a un análisis DSI considerando como inputs las señales del subterráneo, si\_DSI2 se refiere al método DSI considerando como inputs las señales del primer piso, si\_CSN se refiere a incluir el reporte del sismo del CSN, si\_modelo se refiere a incluir los resultados obtenidos por el modelo de elementos finitos desarrollado en ETABS. (Cabe mencionar que, si los resultados no han sido calculados anteriormente, el programa por sí solo reconoce que los resultados no han sido calculados con anterioridad y los calcula). En caso de que se active calcula\_todo se hacen nuevamente los cálculos ya sea que estén en o no en la carpeta de resultados. En este contexto, se señala que la eliminación de un resultado dentro de la carpeta de resultados hace que el programa automáticamente recalculé el resultado y lo guarde en la carpeta de resultados, de esta forma este enfoque permite también hacer cálculos nuevamente simplemente eliminando el archivo de resultado asociado a un cálculo que se desee rehacer (sin tener que colocar calcula\_todo=1).

```

18 - calcula_todo=0; % si se activa se recalcula todo lo activo (en caso de no
19 % existir en la carpeta de resultados, si NO existe se
20 % calcula igual y se agrega a la carpeta de resultados)
21 % si se desea recalcular algo, se aconseja desactivar
22 % todos los demas calculos y seleccionar las fechas (luego
23 % de hacer el calculo, se pueden activar los otros
24 % calculos colocando calcula_todo=0. Otra opcion es borrar
25 % los graficos jpg de las carpetas para obligar al
26 % calculo. NOTA: en caso que el calculo ya este hecho, el
27 % calculo no se hace aunque se cambien los parametros de
28 % identificación cuando calcula_todo=0
29 -
30 - si_espectro=0;
31 - si_PSD=0; %En 1 para que muestre los resultados
32 - si_DSI=0; %respectivos en el informe
33 - si_DSI2=0;
34 - si_CSN=0;

```

Figura 6.5 Activación de parámetros para cálculos de nuevos eventos

- 5) Luego de realizar todos los pasos anteriores, se procede a ejecutar el programa principal. Al término del proceso, y a partir del informe base especificado en la sección 6.1, se genera un archivo .tex llamado “Informe\_Base\_Antigona\_v2.tex” que contiene todos los resultados en código de latex. Este archivo se ubica en la carpeta de generación del informe (determinada en el punto 3) anterior) es abierto y compilado en el programa TexMaker, generando el archivo pdf con el informe.



Figura 6.6 Compilación y generación de informe en TexMaker.

### 6.2.2. Generación de informe para eventos pasados

En el caso de que el usuario quiera generar un informe específico, con resultados ya calculados y guardados en el directorio “Carpeta\_de\_resultados”, se repite el paso 3) de la sección anterior, 6.2.1, especificando la fecha del o los eventos de los que se quiera obtener información. En el paso 4), y tal como se describe en la Figura 6.5, para generar un informe con resultados ya calculados, la variable “calcula\_todo” se le asigna el valor “0”, mientras que las variables de resultados se activan o desactivan dependiendo de la información que se desea mostrar en el informe.

## 7. Conclusiones y Comentarios

El trabajo que se desarrolla en la presente memoria busca aprovechar la instrumentación que se encuentra actualmente en el edificio Antígona de Viña del mar, y trabajar a partir de los datos sísmicos registrados por los acelerómetros para ser presentados en un informe automático que queda a disposición del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile. A partir de esto, es posible concluir lo siguiente:

- Fue posible identificar una importante participación torsional en los primeros seis modos de vibrar. El primero modo es traslacional en la dirección NS con un considerable aporte torsional. El segundo modo (periodo fundamental en dirección longitudinal 1.14 [s]) es puramente traslacional en dirección NS, mientras que el tercer modo (periodo fundamental en dirección transversal 0.855 [s]) corresponde a un movimiento torsional acoplado con desplazamiento en la dirección transversal (Figura 4.9).
- De acuerdo a los resultados expresados en los espectros elásticos de respuesta de los canales 1 y 2 ubicados en el subterráneo -2, se observa un peak en periodos cercanos a un segundo en ambas direcciones que se asocia al comportamiento de la estructura, pero se observa otro peak entre 0.4 a 0.6 segundos que podría relacionarse al periodo natural del suelo en la zona de emplazamiento del edificio.
- Los valores de las frecuencias fundamentales identificadas por el método DSI concuerdan con las que se obtienen a partir del espectro de potencia y función transferencia, debido a que se trabajan con los mismos registros y corroborando la aplicación de los métodos. Además, se observan valores similares para los registros observándose una variación normal relacionada al uso y condiciones ambientales que son variables en el tiempo y/o la estación del año.
- Si bien los resultados de los distintos métodos de identificación son similares y consistentes, se concluye que el método de múltiples entradas y múltiples salidas DSI entrega una mayor cantidad de frecuencias fundamentales que el método de espectro de potencia y función transferencia. Esto hace que el método DSI sea más completo a la hora de identificar propiedades dinámicas de una estructura en particular.
- El método de identificación DSI no logra identificar ciertas frecuencias fundamentales para sismos de menor intensidad en especial para modos que son torsionales.
- Los parámetros dinámicos identificados por el método DSI muestran una estructura más flexible (periodos más altos en sus modos) que lo obtenido con el modelo de elementos finitos elaborado en el programa ETABS, implicando que la estructura es más flexible que la modelada numéricamente.
- La calibración del modelo fue insuficiente en términos de ajustar las frecuencias naturales y formas modales. Esta calibración se basó en la reducción grotesca de rigidez de la estructura sin ser esta reducción justificada dentro de un rango razonable. Los parámetros modales dependen de muchos factores como la interacción suelo-estructura,

la degradación de materiales, daños en elementos, reparaciones post terremoto, inconsistencias entre el modelo y la realidad, inconsistencias entre lo modelado y lo proyectado, entre otros efectos. Por lo tanto, no es trivial llevar a cabo una correcta calibración. En este trabajo se decidió utilizar un modelo en que supone que el módulo de elasticidad es reducido en un 50%, en donde desafortunadamente no se logra una calibración muy precisa, pero se considera representativa para la obtención de resultados del modelo conforme a los alcances de este trabajo. La justificación detallada de la variación de parámetros está fuera de los alcances de esta memoria y se propone realizar un estudio más específico de la estructura para lograr una mejor calibración. En este contexto, se sugiere analizar como incluir el efecto de interacción suelo-estructura que es notoria en los modos superiores que posiblemente hace que la estructura sea globalmente más flexible a lo esperado. Otros aspectos que pudieron afectar a la correcta calibración corresponden a ciertos efectos no considerados en la modelación como el hecho que en el techo de la estructura existen estanques de aguas que pudiesen modificar las propiedades de la estructura.

- Se trabajó con código API para poder utilizar ETABS en forma remota y automatizada desde MATLAB, y así generar los gráficos de corte por piso y drift en el informe. Lamentablemente el programa API no permite abrir archivos “.e2k” para automatizar el proceso de cálculo de los resultados que el programa entrega, de igual forma no existe una función API que permita modificar las razones de amortiguamiento por modo, lo cual inhibe la idea de automatización de resultados a partir ETABS (conforme a las opciones actuales). En consecuencia, se propone para futuros trabajos, confeccionar un modelo de la estructura en programas como Opensees o SAP2000 los cuales se pueden trabajar a partir de un comando más modificable, con el fin de automatizar el proceso de cálculos.
- Se estima conveniente realizar un estudio más detallado del suelo que se encuentra en la zona cercana al edificio, debido a que la interacción suelo-estructura podría estar afectando la respuesta de la estructura. Además, no se conoce con exactitud cuál sería el periodo predominante del suelo de la zona de emplazamiento del edificio.
- Se destaca el aprovechamiento de los avances en la tecnología de transmisión de datos y computación, que hace posible implementar un sistema de monitoreo sísmico para un edificio específico para obtener y evaluar rápidamente datos de respuesta.
- La generación automática de reportes de eventos sísmicos registrados implica un gran aporte para el monitoreo de estructuras instrumentadas por parte de la RENADIC. Se sugiere modificar e implementar la rutina utilizada en este trabajo para otras estructuras para así ampliar la calidad de los informes de RENADIC en un mayor número de estructuras que son parte de RENADIC del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

## 8. Bibliografía

- Aguirre, C., & Perez, P. (2004). Seismic microzoning based on earthquake records amplification. *13 Th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada*.
- Allemang, R. J., & Brown, D. L. (1982). A Correlation Coefficient for Modal Vector Analysis. In *1st International Modal Analysis Conference (IMAC I)*.
- Álvarez, A. (1964). Geología del área Valparaíso - Curacaví. *Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG), Chile, 16*, 28–60.
- Astroza, M., Cabezas, F., Moroni, M. O., Massone, L., Ruiz, S., Parra, E., ... Mottadelli, A. (2010). Intensidades sísmicas en el área de daños del terremoto del 27 de Febrero de 2010. *Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile*.
- Astroza, M., Ruiz, S., Astroza, R., & Molina, J. (2012). Capítulo 5. Intensidades Sísmicas. In *Mw=8.8 Terremoto en Chile, 27 de Febrero 2010*.
- Astroza, R., Gutiérrez, G., Repenning, C., & Hernández, F. (2018). Time-variant modal parameters and response behavior of a base-isolated building tested on a shake table. *Earthquake Spectra, 34*(1), 121–143. <https://doi.org/10.1193/032817EQS054M>
- Balsebre, M. (2019). Comparación de propiedades dinámicas pre y post terremotos del 27F usando análisis de microvibraciones. *Memoria Para Optar Al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.
- Barrientos, S. (2012). Capítulo 2. Terremoto (Mw=8.8) y maremoto del 27 de Febrero de 2010 en Chile central. In *Mw=8.8 Terremoto en Chile, 27 de Febrero 2010*.
- Ben-Israel, A. (2002). The Moore of the Moore-Penrose inverse. *Electronic Journal of Linear Algebra, 9*(April), 150–157.
- Carrasco, O., & Núñez, C. (2013). Microzonificación sísmica de la ciudad de Viña del Mar. *Memoria Para Optar Al Título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María*.
- Çelebi, M. (2000). Seismic Instrumentation of Buildings.
- Çelebi, M. (2013). Seismic Monitoring of Structures and New Developments. In *Earthquakes and Health Monitoring of Civil Structures*.
- Chopra, A. K. (2006). *Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering*.
- Crisafulli, F., & Villafañe, E. (2002). Espectros de Respuesta y de Diseño.
- Díaz, P. (2017). Análisis de Estructuras Aisladas con el Método de Múltiples Sub-Estructuras. *Memoria Para Optar Al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.
- Figuroa, H., & Portal, M. (1997). Geomorfología de los riesgos naturales en la cuenca del estero Margamarga Viña del Mar. *Revista Geográfica de Valparaíso, 28*, 77–108.
- Hernández, F. (2009). Análisis de Métodos de Identificación de Variación de Propiedades Dinámicas. *Tesis Para Optar Al Grado de Magíster En Ciencias, Mención Ingeniería Sísmica. Memoria Para Optar Al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.
- Leiva, G., Bravo, M., Matus, F., & Riquelme, J. (2010). *Informe Técnico: Estudio de Diagnóstico Estructural Edificio Antígona*.

- Massone, L., & Rojas, F. (2012). Capítulo 8. Comportamiento de edificios de hormigón armado. In *Mw=8.8 Terremoto en Chile, 27 de Febrero 2010*.
- Muñoz, E. (2013). Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del Mar, V región. *Tesis Para Optar Al Grado de Magíster En Ciencias Mención Geología, Universidad de Chile*.
- Newmark, N. M. (1959). A Method of Computation for Structural Dynamics. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 85, 67–94.
- Núñez, T. (2009). “ Variación Debido a Cambios De Masa Y Una Estructura En Proceso Constructivo .” *Tesis Para Optar Al Grado de Magíster En Ciencias, Mención Ingeniería Sísmica. Memoria Para Optar Al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.
- Press, W., Flannery, B., Teukolsky, S., & Vetterling, W. (1986). *Numerical Recipes: The art of scientific computing* (Third Edit). Cambridge.
- RCP Ingeniería Ltda. (2011). *Informe Técnico: Rehabilitación Estructural Edificio Antígona*.
- Suquillo, B. (2017). Validación de los Límites para Distintos Niveles de Desempeño en Edificios con Muros de Hormigón Armado (Typical Chilean RC Building). *Tesis Para Optar Al Grado de Magíster En Ciencias, Mención Ingeniería Sísmica*.
- Thai, H., DeBrunner, V., DeBrunner, L. S., Havlicek, J. P., Mish, K., Ford, K., & Medda, A. (2007). Deterministic - Stochastic subspace identification for bridges. *IEEE Workshop on Statistical Signal Processing Proceedings*, 749–753. <https://doi.org/10.1109/SSP.2007.4301359>
- Toledo, G. (2017). Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la amplificación sísmica en la cuenca del Marga-Marga. *Memoria Para Optar Al Título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María*.
- Van Overschee, P., & De Moor, B. (1996). *Subspace Identification for Linear Systems*.
- Welch, P. D. (1967). The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, Vol. AU-15, 70–73.

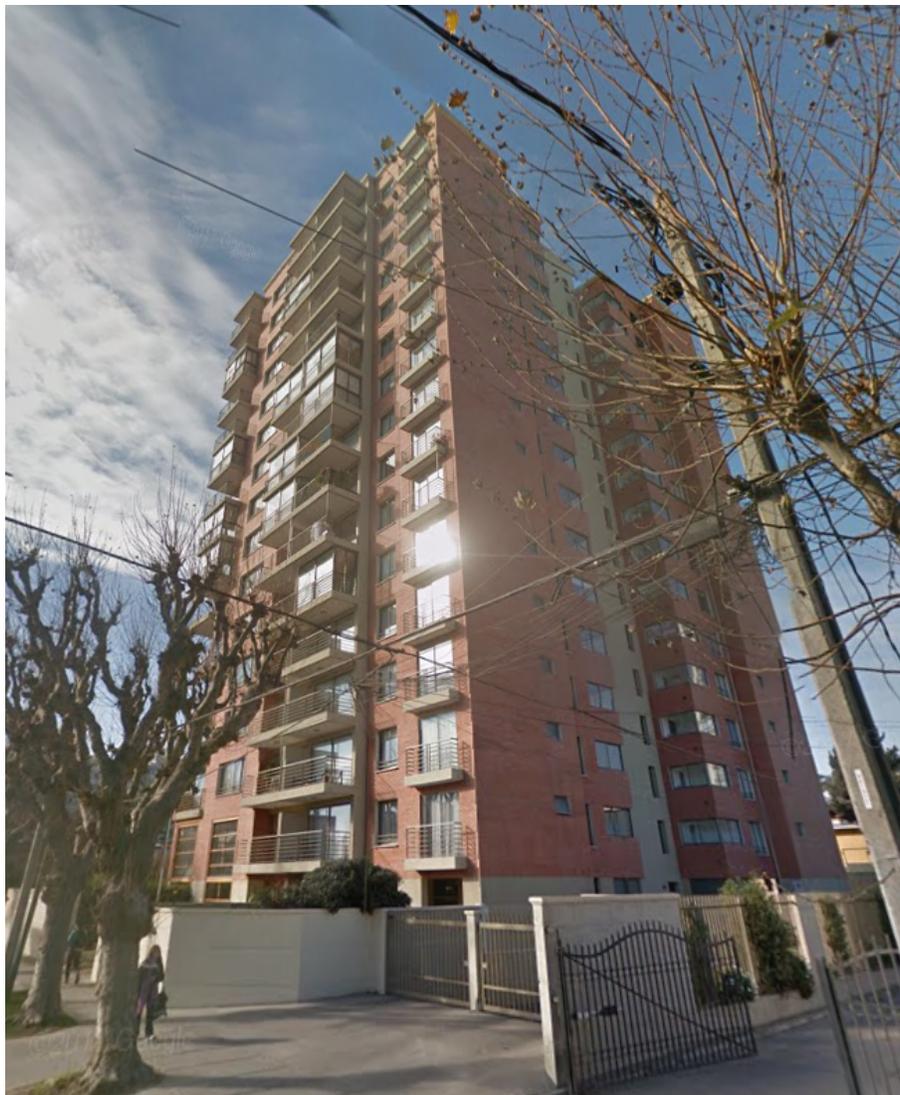
## 9. Anexos

9.1. Anexo A: Informe automatizado generado para todos los eventos sísmicos registrados a la fecha

# RED DE COBERTURA NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS

REPORTE DE EVENTOS REGISTRADOS  
ENTRE 01-11-2017 al 31-03-2019

## EDIFICIO ANTÍGONA



Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile  
25 de abril de 2019

## Índice

1. Instrumentación	1
2. Resumen de Eventos Sísmicos Registrados durante 01-11-2017 al 31-03-2019	2
3. Resumen de Respuestas Máximas Medidas	4
4. Evento del 26-11-2017	11
5. Evento del 06-12-2017	20
6. Evento del 04-01-2018	28
7. Evento del 10-04-2018	36
8. Evento del 05-05-2018	45
9. Evento del 11-05-2018	53
10. Evento del 19-05-2018	61
11. Evento del 16-07-2018	69
12. Evento del 30-08-2018	77
13. Evento del 01-12-2018	85
14. Evento del 05-12-2018	93
15. Evento del 19-01-2019	101
16. Evento del 02-03-2019	108

# EDIFICIO ANTÍGONA

## Reporte de eventos registrados entre 01-11-2017 al 31-03-2019

La Red de Cobertura Nacional de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile (RENADIC) ha instalado un sistema para registrar movimientos sísmicos del Edificio Antígona en Viña del Mar, el cual se ubica en la dirección calle 5 Oriente numeral 260 (LAT 33.021S LONG 71.544 W). El sistema de monitoreo sísmico se constituye por 12 acelerómetros Episensor ES-U2 ubicados en diversas posiciones de la estructura (según detalla la Figura 2) conectados a una central de monitoreo dispuesta en la sala de calderas, la cual registra y almacena la respuesta sísmica del edificio cuando la aceleración de alguno de los canales supera  $0.01 [g]$  (ó  $1 [m/seg^2]$ ).

Este reporte presenta los eventos registrados por el sistema durante el período comprendido entre el 01-11-2017 al 31-03-2019, los datos recopilados son utilizados para diversos estudios entre los cuales está evaluar el estado estructural del edificio y llevar a cabo análisis detallados de la respuesta sísmica de edificios emplazados en una zona de alta demanda sísmica (Zona III) y sobre un suelo que genera una alta amplificación sísmica.

Durante el período analizado (01-11-2017 al 31-03-2019) se registraron 13 eventos sensibles resumidos en la Tabla 2. En la Tabla 2 se indica la fecha de ocurrencia del evento sísmico y las características principales reportadas por el Centro Sismológico Nacional (Magnitud, Profundidad, epicentro, etc). Mayor información relacionada a cada evento sísmico puede ser revisada en mayor detalle en la página web del CSN ([www.sismologia.cl](http://www.sismologia.cl)).

La revisión preliminar de los eventos, revela que el evento de Magnitud  $M_w = 5.2$  del 05-12-2018 generó las mayores aceleraciones horizontales del techo (iguales a  $0.087 [g]$  (NS) y  $0.045 [g]$  (EO)) durante el período considerado en este informe. Aceleraciones que se encuentran dentro de los niveles esperados para un evento de esas características. En los registros también se observa que el edificio es forzado a moverse y responde en forma diferente en cada sismo, algo normal en toda estructura.

## 1. Instrumentación

El edificio Antígona está instrumentado con 12 acelerómetros del tipo EpiSensor ES-U2 (Figura 1) de Kinematics con un rango dinámico de  $155dB+$  y un ancho de banda DC a 200 Hz, configurados a un rango medible de  $\pm 2g$  y configurados para que el sistema registre la respuesta sísmica cuando alguno de los sensores sobrepase el umbral de  $0.01 [g]$ . Los acelerómetros son conectados a una central de registro sísmico de 12 canales del tipo Dolomite de Kinematics de 24 bit, la cual está configurada para registrar a una tasa de muestreo de 200 Hz (DC a 80 Hz).

Tabla 1: Características de los acelerómetros Episensor de Kinematics

Canal	$f_n$ [Hz]	$\beta$	sensibilidad (VDC/g)
1	210.0	0.70	9.982
2	212.0	0.70	9.981
3	200.0	0.70	9.995
4	204.0	0.70	9.994
5	206.0	0.70	9.957
6	204.0	0.70	10.008
7	200.0	0.70	9.991
8	210.0	0.70	9.982
9	208.0	0.70	9.983
10	206.0	0.70	9.993
11	206.0	0.70	9.977
12	202.0	0.70	9.997

## 2. Resumen de Eventos Sísmicos Registrados durante 01-11-2017 al 31-03-2019

Tabla 2: Características de Eventos sísmicos registrados

Fecha	Hora	$M_w$	Prof [km]	Lat	Lon	$D_{epi}$ [km]	PGA [g]	$I_a$ [cm/seg]	$P_d$ [cm · seg]
26-11-2017	19:15:13	5.1	66.5	-32.235	-71.025	141.4	0.006	0.171	0.003
06-12-2017	17:46:31	4.7	45.1	-32.279	-71.356	119.3	0.005	0.050	0.000
04-01-2018	03:01:27	4.4	26.7	-32.718	-71.658	50.0	0.011	0.165	0.002
10-04-2018	07:19:33	6.2	75.1	-31.008	-71.552	316.6	0.015	2.091	0.108
05-05-2018	23:44:20	5.1	34.6	-34.288	-72.261	220.2	0.003	0.042	0.001
11-05-2018	18:57:42	4.5	29.3	-32.793	-71.746	44.7	0.006	0.086	0.001
19-05-2018	02:43:40	4.7	36.8	-32.207	-71.373	130.0	0.008	0.235	0.004
16-07-2018	05:44:54	4.3	29.0	-32.634	-71.635	62.0	0.005	0.043	0.001
30-08-2018	18:43:39	4.8	56.0	-32.401	-71.229	106.0	0.008	0.139	0.002
01-12-2018	20:55:24	5.4	59.0	-33.926	-72.472	187.3	0.004	0.168	0.009
05-12-2018	14:12:14	5.2	39.1	-33.692	-71.495	105.7	0.053	3.818	0.081
19-01-2019	22:32:50	6.7	70.0	-30.100	-71.300	460.5	0.018	2.635	0.094
02-03-2019	17:21:53	5.5	16.0	-33.670	-72.497	161.5	0.006	0.221	0.014

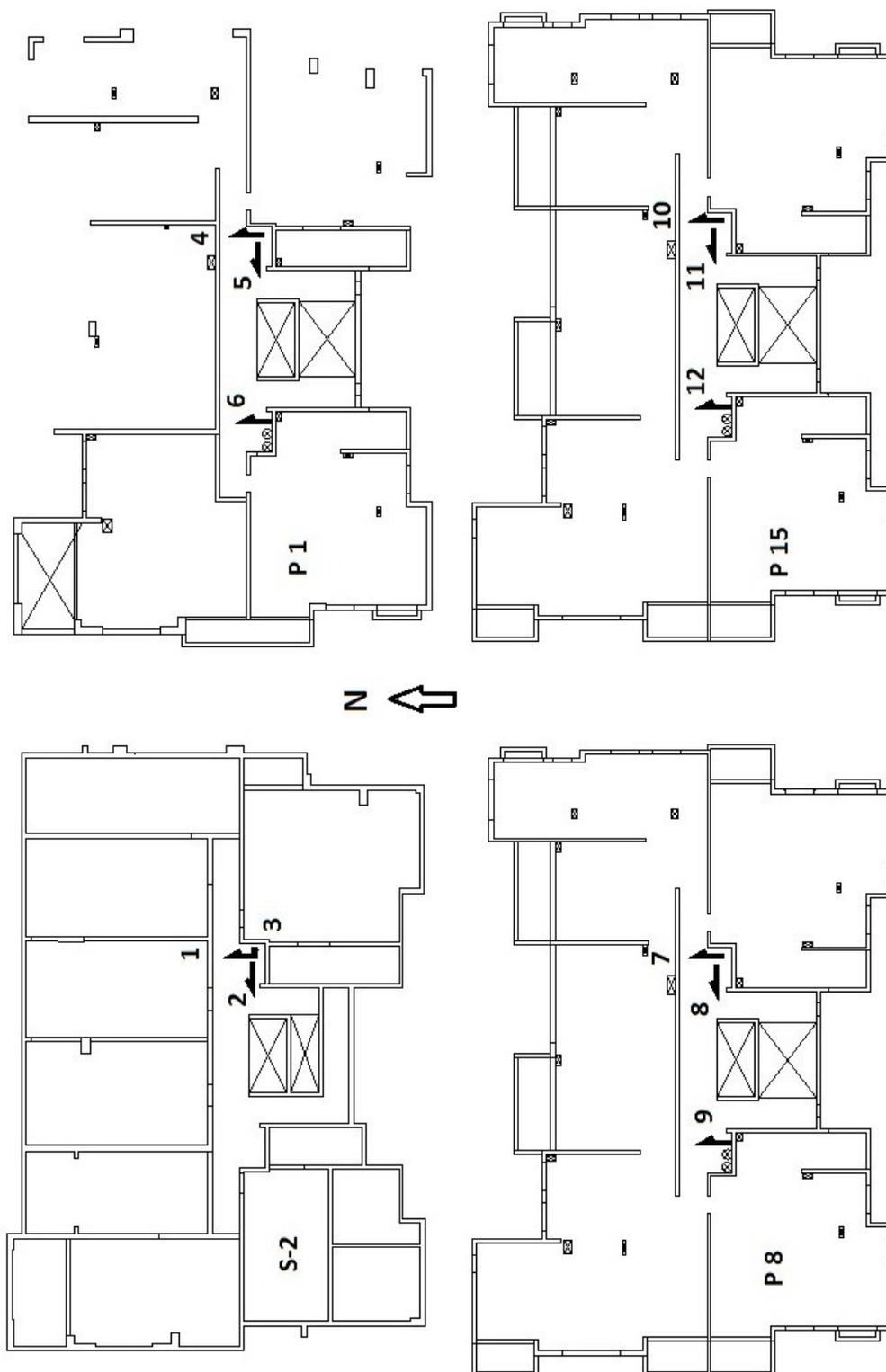


Figura 1: Ubicación de sensores

### 3. Resumen de Respuestas Máximas Medidas

Tabla 3: Aceleraciones máximas Evento del 26-11-2017 a las 19:15:13

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	5.391	0.309	0.032
2	Subterráneo -2	EW	5.979	0.403	0.040
3	Subterráneo -2	V	4.411	0.233	0.017
4	Piso 1	NS1	5.685	0.337	0.034
5	Piso 1	EW	6.470	0.446	0.046
6	Piso 1	NS2	6.077	0.331	0.033
7	Piso 8	NS1	10.880	0.580	0.085
8	Piso 8	EW	8.724	0.760	0.096
9	Piso 8	NS2	8.136	0.518	0.059
10	Piso 15	NS1	11.665	1.234	0.176
11	Piso 15	EW	14.115	1.237	0.164
12	Piso 15	NS2	9.116	0.907	0.135

Tabla 4: Aceleraciones máximas Evento del 06-12-2017 a las 17:46:31

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	4.607	0.374	0.045
2	Subterráneo -2	EW	3.235	0.249	0.033
3	Subterráneo -2	V	2.255	0.135	0.012
4	Piso 1	NS1	4.705	0.321	0.041
5	Piso 1	EW	2.744	0.283	0.039
6	Piso 1	NS2	5.000	0.300	0.040
7	Piso 8	NS1	5.783	0.657	0.091
8	Piso 8	EW	6.567	0.651	0.081
9	Piso 8	NS2	4.901	0.563	0.077
10	Piso 15	NS1	10.782	1.288	0.223
11	Piso 15	EW	9.508	1.004	0.135
12	Piso 15	NS2	9.997	1.287	0.210

Tabla 5: Aceleraciones máximas Evento del 04-01-2018 a las 03:01:27

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	10.685	0.360	0.026
2	Subterráneo -2	EW	8.724	0.432	0.033
3	Subterráneo -2	V	4.313	0.200	0.012
4	Piso 1	NS1	10.292	0.308	0.024
5	Piso 1	EW	10.586	0.535	0.030
6	Piso 1	NS2	10.880	0.419	0.025
7	Piso 8	NS1	16.565	0.787	0.061
8	Piso 8	EW	14.213	0.617	0.064
9	Piso 8	NS2	14.017	0.573	0.039
10	Piso 15	NS1	16.958	1.179	0.103
11	Piso 15	EW	16.173	0.923	0.100
12	Piso 15	NS2	15.193	0.695	0.069

Tabla 6: Aceleraciones máximas Evento del 10-04-2018 a las 07:19:33

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	14.507	1.394	0.174
2	Subterráneo -2	EW	14.311	1.375	0.206
3	Subterráneo -2	V	7.156	0.558	0.060
4	Piso 1	NS1	17.154	1.092	0.140
5	Piso 1	EW	15.879	1.694	0.241
6	Piso 1	NS2	15.781	1.292	0.160
7	Piso 8	NS1	20.192	1.915	0.250
8	Piso 8	EW	35.777	4.279	0.658
9	Piso 8	NS2	18.723	1.603	0.170
10	Piso 15	NS1	38.326	4.036	0.625
11	Piso 15	EW	53.127	7.110	1.101
12	Piso 15	NS2	29.797	3.178	0.510

Tabla 7: Aceleraciones máximas Evento del 05-05-2018 a las 23:44:20

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	2.843	0.274	0.034
2	Subterráneo -2	EW	2.646	0.213	0.030
3	Subterráneo -2	V	1.275	0.088	0.007
4	Piso 1	NS1	2.745	0.224	0.027
5	Piso 1	EW	2.843	0.229	0.033
6	Piso 1	NS2	2.843	0.230	0.027
7	Piso 8	NS1	5.294	0.693	0.092
8	Piso 8	EW	5.195	0.688	0.094
9	Piso 8	NS2	4.705	0.587	0.084
10	Piso 15	NS1	11.861	1.369	0.234
11	Piso 15	EW	9.017	1.126	0.159
12	Piso 15	NS2	10.880	1.280	0.216

Tabla 8: Aceleraciones máximas Evento del 11-05-2018 a las 18:57:42

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	5.587	0.300	0.030
2	Subterráneo -2	EW	5.587	0.419	0.060
3	Subterráneo -2	V	3.725	0.141	0.012
4	Piso 1	NS1	6.567	0.281	0.024
5	Piso 1	EW	7.547	0.468	0.063
6	Piso 1	NS2	5.587	0.312	0.027
7	Piso 8	NS1	8.723	0.702	0.092
8	Piso 8	EW	8.626	0.797	0.115
9	Piso 8	NS2	7.842	0.466	0.067
10	Piso 15	NS1	12.056	1.227	0.186
11	Piso 15	EW	10.684	1.253	0.176
12	Piso 15	NS2	8.626	1.020	0.169

Tabla 9: Aceleraciones máximas Evento del 19-05-2018 a las 02:43:40

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	8.037	0.403	0.049
2	Subterráneo -2	EW	8.234	0.507	0.062
3	Subterráneo -2	V	5.979	0.364	0.029
4	Piso 1	NS1	8.038	0.405	0.043
5	Piso 1	EW	9.802	0.525	0.059
6	Piso 1	NS2	8.331	0.390	0.045
7	Piso 8	NS1	14.115	0.937	0.106
8	Piso 8	EW	10.194	0.958	0.120
9	Piso 8	NS2	10.292	0.621	0.073
10	Piso 15	NS1	19.702	1.488	0.257
11	Piso 15	EW	17.937	1.707	0.208
12	Piso 15	NS2	13.037	1.335	0.146

Tabla 10: Aceleraciones máximas Evento del 16-07-2018 a las 05:44:54

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	5.195	0.258	0.013
2	Subterráneo -2	EW	4.019	0.196	0.020
3	Subterráneo -2	V	2.549	0.103	0.009
4	Piso 1	NS1	5.587	0.264	0.012
5	Piso 1	EW	5.489	0.252	0.025
6	Piso 1	NS2	6.077	0.296	0.015
7	Piso 8	NS1	10.782	0.443	0.040
8	Piso 8	EW	8.430	0.518	0.043
9	Piso 8	NS2	6.665	0.352	0.034
10	Piso 15	NS1	12.351	0.648	0.085
11	Piso 15	EW	9.606	0.550	0.067
12	Piso 15	NS2	8.822	0.622	0.064

Tabla 11: Aceleraciones máximas Evento del 30-08-2018 a las 18:43:39

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	7.940	0.309	0.025
2	Subterráneo -2	EW	5.881	0.420	0.040
3	Subterráneo -2	V	4.215	0.191	0.013
4	Piso 1	NS1	9.312	0.306	0.022
5	Piso 1	EW	7.156	0.462	0.046
6	Piso 1	NS2	7.254	0.328	0.020
7	Piso 8	NS1	11.272	0.461	0.048
8	Piso 8	EW	8.332	0.686	0.083
9	Piso 8	NS2	8.724	0.445	0.040
10	Piso 15	NS1	10.684	0.810	0.102
11	Piso 15	EW	11.664	1.068	0.129
12	Piso 15	NS2	7.842	0.740	0.107

Tabla 12: Aceleraciones máximas Evento del 01-12-2018 a las 20:55:24

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	3.333	0.464	0.061
2	Subterráneo -2	EW	4.019	0.381	0.056
3	Subterráneo -2	V	3.137	0.253	0.021
4	Piso 1	NS1	3.136	0.319	0.049
5	Piso 1	EW	4.509	0.503	0.074
6	Piso 1	NS2	3.725	0.383	0.048
7	Piso 8	NS1	6.175	0.776	0.121
8	Piso 8	EW	8.332	1.194	0.178
9	Piso 8	NS2	6.567	0.630	0.090
10	Piso 15	NS1	12.841	1.853	0.305
11	Piso 15	EW	14.017	1.931	0.286
12	Piso 15	NS2	11.370	1.514	0.243

Tabla 13: Aceleraciones máximas Evento del 05-12-2018 a las 14:12:14

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	51.951	3.584	0.501
2	Subterráneo -2	EW	35.582	1.842	0.228
3	Subterráneo -2	V	24.701	1.546	0.144
4	Piso 1	NS1	54.989	3.367	0.423
5	Piso 1	EW	38.718	2.006	0.178
6	Piso 1	NS2	41.168	3.323	0.436
7	Piso 8	NS1	47.050	4.532	0.480
8	Piso 8	EW	36.758	2.780	0.361
9	Piso 8	NS2	41.854	3.922	0.351
10	Piso 15	NS1	84.788	8.682	1.496
11	Piso 15	EW	44.501	4.310	0.628
12	Piso 15	NS2	76.162	7.314	1.266

Tabla 14: Aceleraciones máximas Evento del 19-01-2019 a las 22:32:50

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	13.134	1.354	0.174
2	Subterráneo -2	EW	17.154	1.467	0.208
3	Subterráneo -2	V	7.939	0.578	0.060
4	Piso 1	NS1	15.193	1.304	0.147
5	Piso 1	EW	17.937	1.502	0.232
6	Piso 1	NS2	14.311	1.181	0.141
7	Piso 8	NS1	23.525	2.037	0.284
8	Piso 8	EW	31.857	4.432	0.684
9	Piso 8	NS2	24.310	1.826	0.243
10	Piso 15	NS1	35.189	4.382	0.690
11	Piso 15	EW	53.029	7.798	1.208
12	Piso 15	NS2	32.151	3.379	0.591

Tabla 15: Aceleraciones máximas Evento del 02-03-2019 a las 17:21:53

Canal	Localización	Sentido	Amax( $cm/seg^2$ )	Vmax( $cm/s$ )	Dmax( $cm$ )
1	Subterráneo -2	NS	6.273	0.782	0.104
2	Subterráneo -2	EW	4.803	0.645	0.087
3	Subterráneo -2	V	3.529	0.327	0.032
4	Piso 1	NS1	6.077	0.714	0.095
5	Piso 1	EW	5.783	0.802	0.111
6	Piso 1	NS2	5.979	0.673	0.086
7	Piso 8	NS1	5.588	0.789	0.128
8	Piso 8	EW	11.665	1.676	0.250
9	Piso 8	NS2	6.176	0.951	0.128
10	Piso 15	NS1	12.154	1.855	0.306
11	Piso 15	EW	22.054	3.006	0.445
12	Piso 15	NS2	19.307	2.472	0.412

## 4. Evento del 26-11-2017

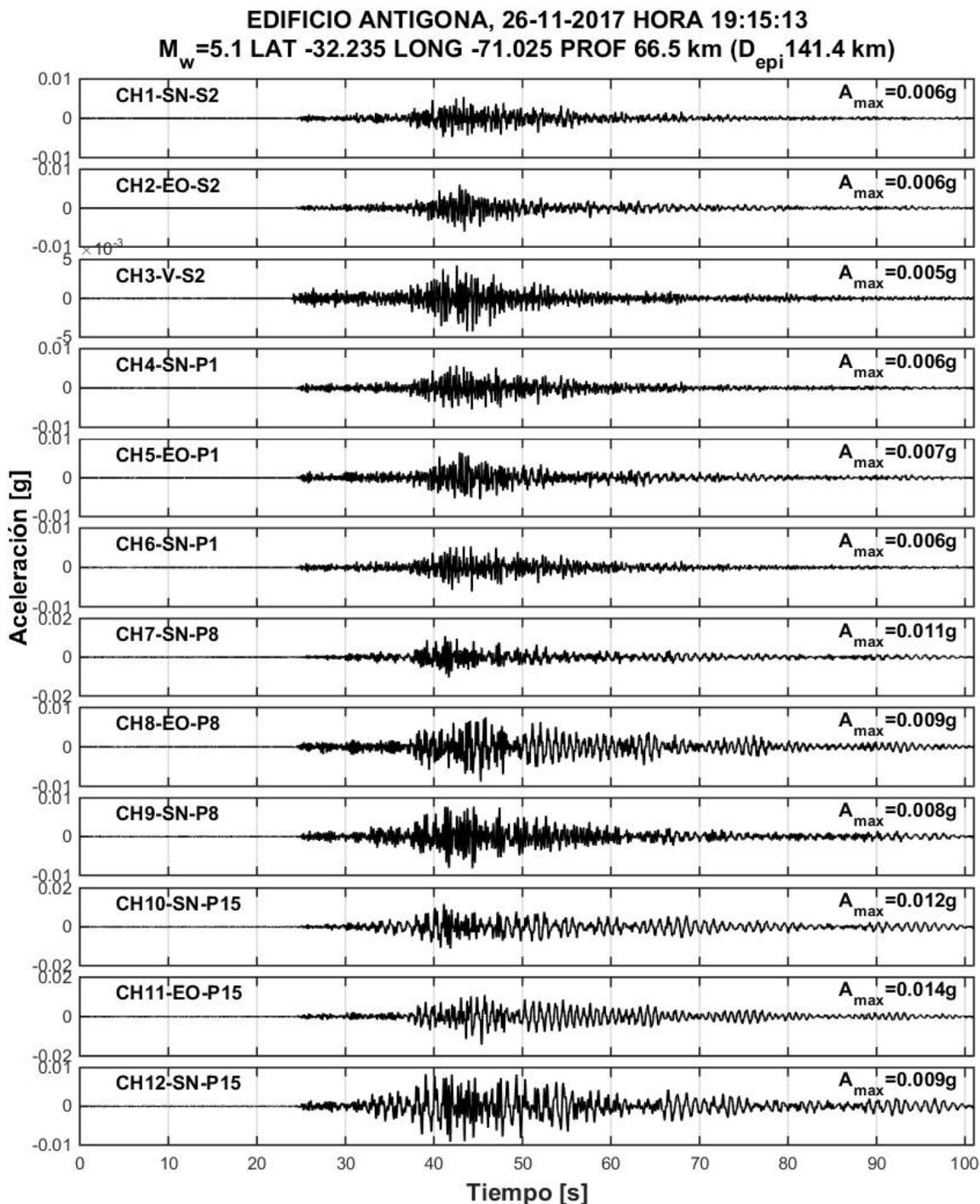


Figura 2: Registros del 26-11-2017

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

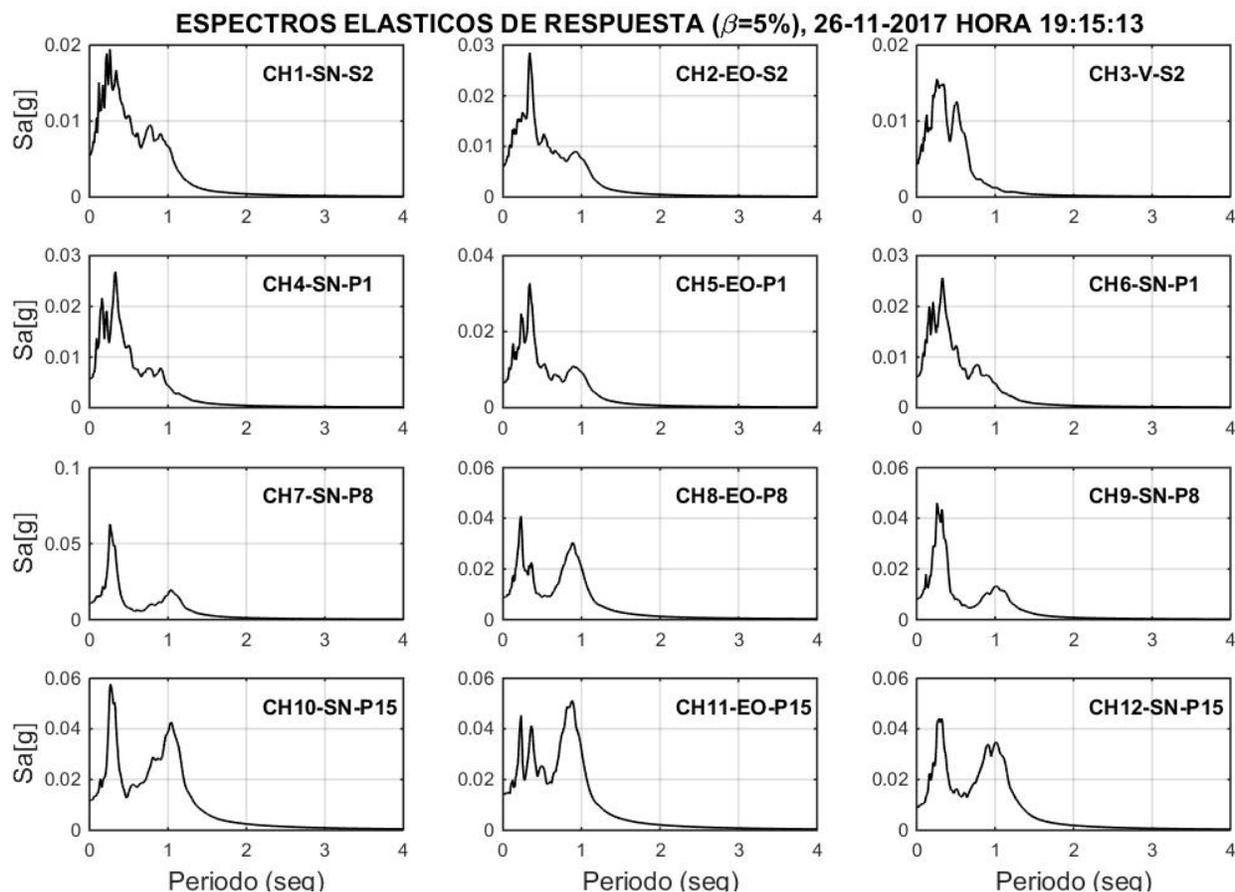


Figura 3: Espectro elástico asociado al evento del 26-11-2017

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

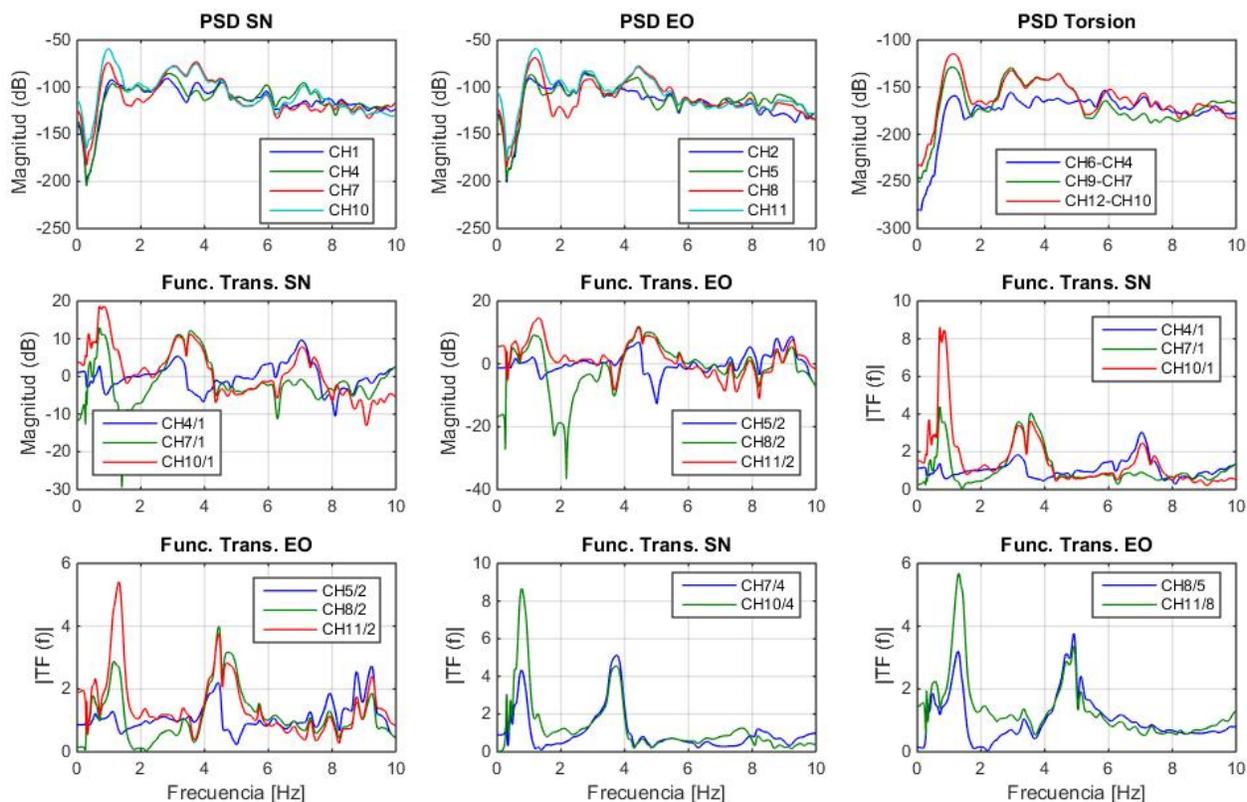


Figura 4: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 26-11-2017

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

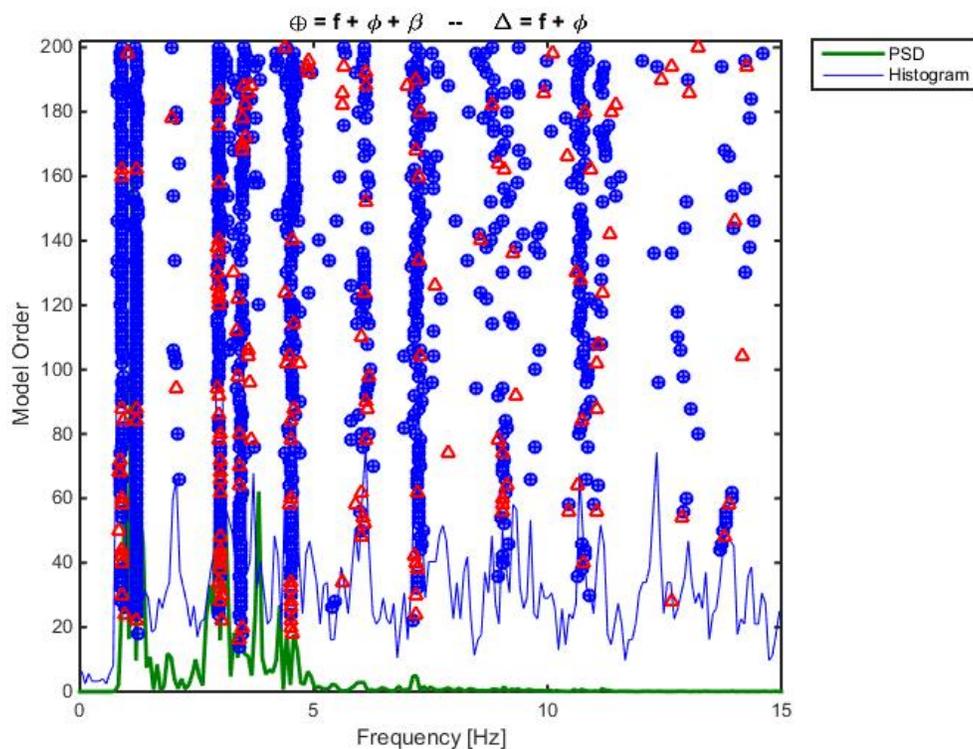


Figura 5: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 26-11-2017

Tabla 16: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.806	0.49	4.79	0.12	7
0.861	0.72	4.74	0.15	6
0.899	0.61	3.22	0.11	16
1.208	0.77	3.74	0.11	32
2.043	2.99	6.77	0.19	5
2.997	1.16	2.35	0.07	18
3.446	2.61	4.30	0.13	23
3.730	1.93	8.32	0.21	6
4.534	3.60	2.84	0.10	25
6.165	10.74	2.23	0.07	11
7.209	5.69	3.53	0.10	19
9.424	15.79	2.44	0.08	15
10.715	12.40	2.75	0.09	14
12.960	14.61	3.21	0.09	7
14.145	22.05	1.61	0.05	10
15.498	19.35	2.62	0.07	11
17.097	26.07	2.87	0.09	11

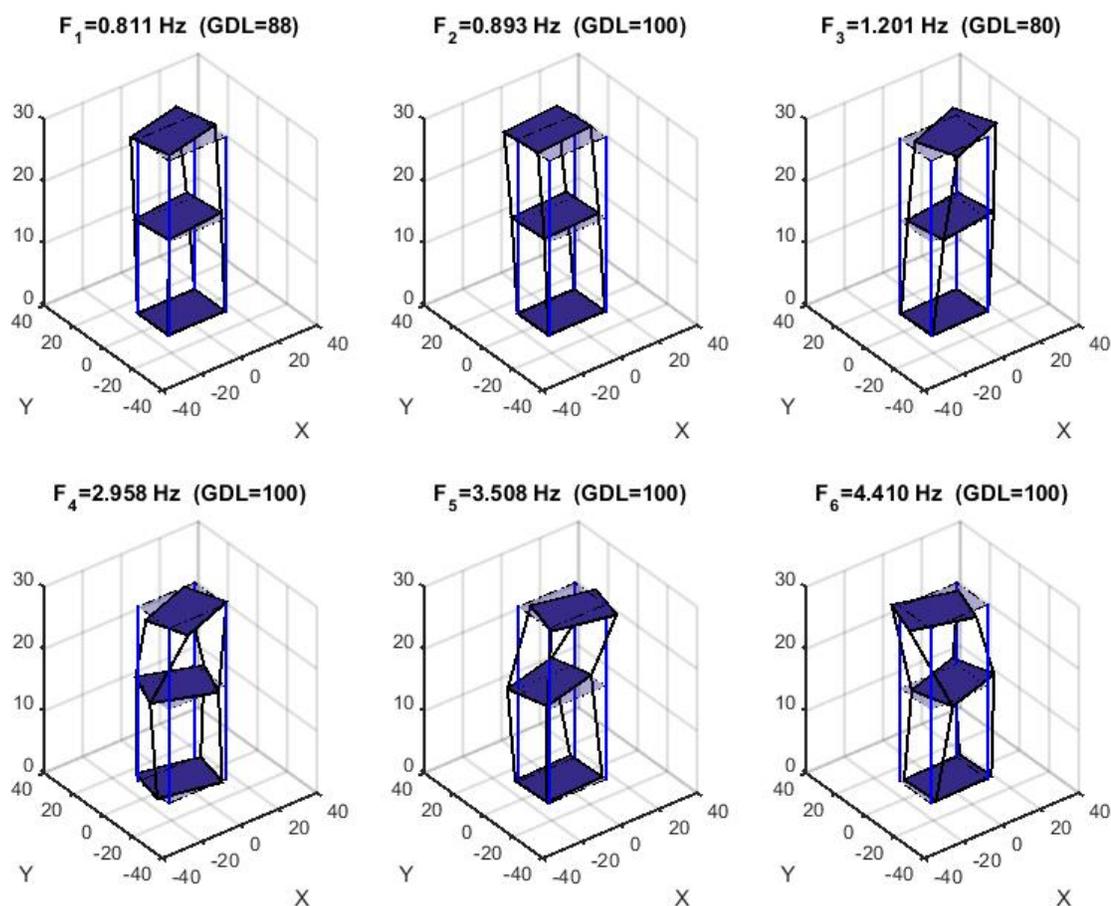


Figura 6: Formas Modales asociadas al evento del 26-11-2017

A partir del modelo de elementos finitos del edificio Antígona, se presentan gráficos con los resultados correspondientes a corte por piso y desplazamiento relativo de entrepiso

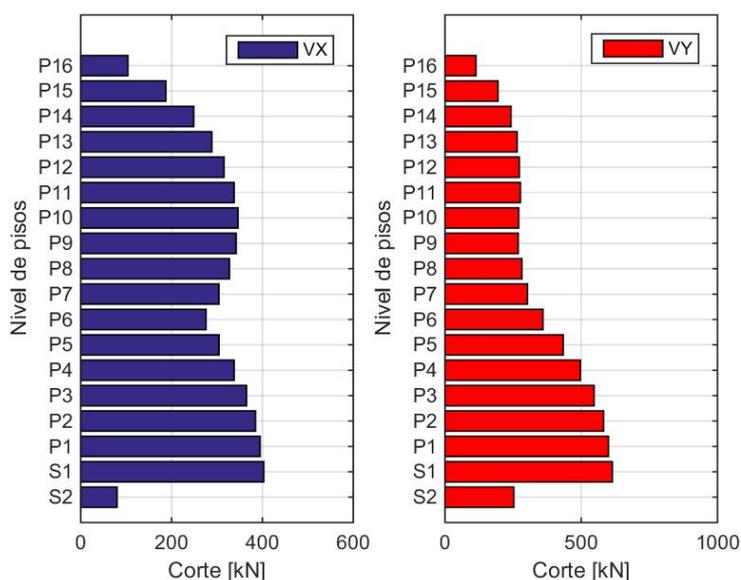


Figura 7: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 26-11-2017.

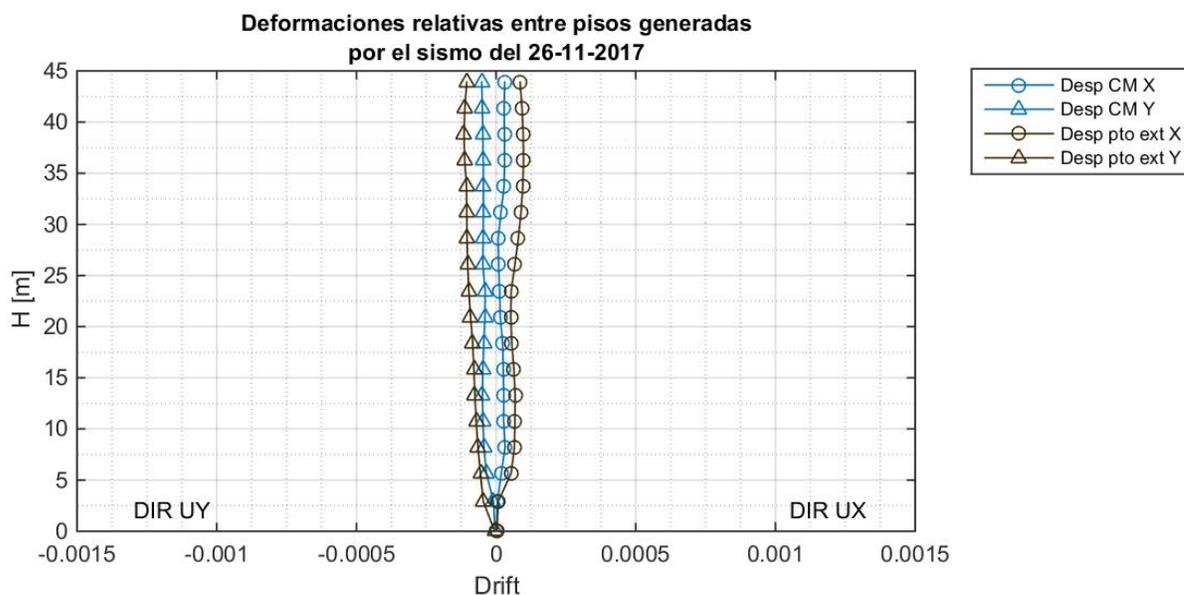


Figura 8: Desplazamiento relativo entrepiso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 26-11-2017.

# Informe de sismo percibido

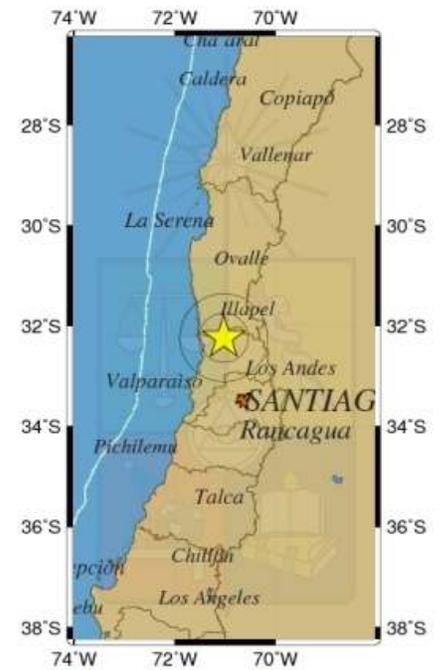
[← Volver](#)

## Hipocentro

Hora Local	19:15:13 26/11/2017
Hora UTC	22:15:13 26/11/2017
Latitud	-32.235
Longitud	-71.025
Profundidad	66.5 Km
Magnitud	5.1 Mw GUC
Referencia	9 km al O de Petorca

## Intensidades

Alto del Carmen	II
Copiapó	III
Freirina	III
Vallenar	II
Andacollo	III
Canela	IV
Combarbalá	IV
Coquimbo	IV
Illapel	V
La Higuera	III
La Serena	IV
Los Vilos	IV
Monte Patria	IV
Paiguano	III
Río Hurtado	IV
Salamanca	IV
Vicuña	III
Cartagena	III
Casablanca	IV
Llaillay	IV
Puchuncaví	IV
Putendo	V
Quillota	V
Quilpué	IV
Rinconada	V
San Felipe	IV
Santa María	IV
Santo Domingo	III



Viña del Mar	IV
Zapallar	VI
Curacaví	III
Peñaflor	III
Puente Alto	III
Santiago	III
Tiltil	III
Graneros	III
Mostazal	III
Navidad	II
Rancagua	III
Fuente	ONEMI Regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins

---

## ***Observaciones***

---

**Informe preparado por:** Oficina de Análisis 26/11/2017 a las 19:33 hrs

## 5. Evento del 06-12-2017

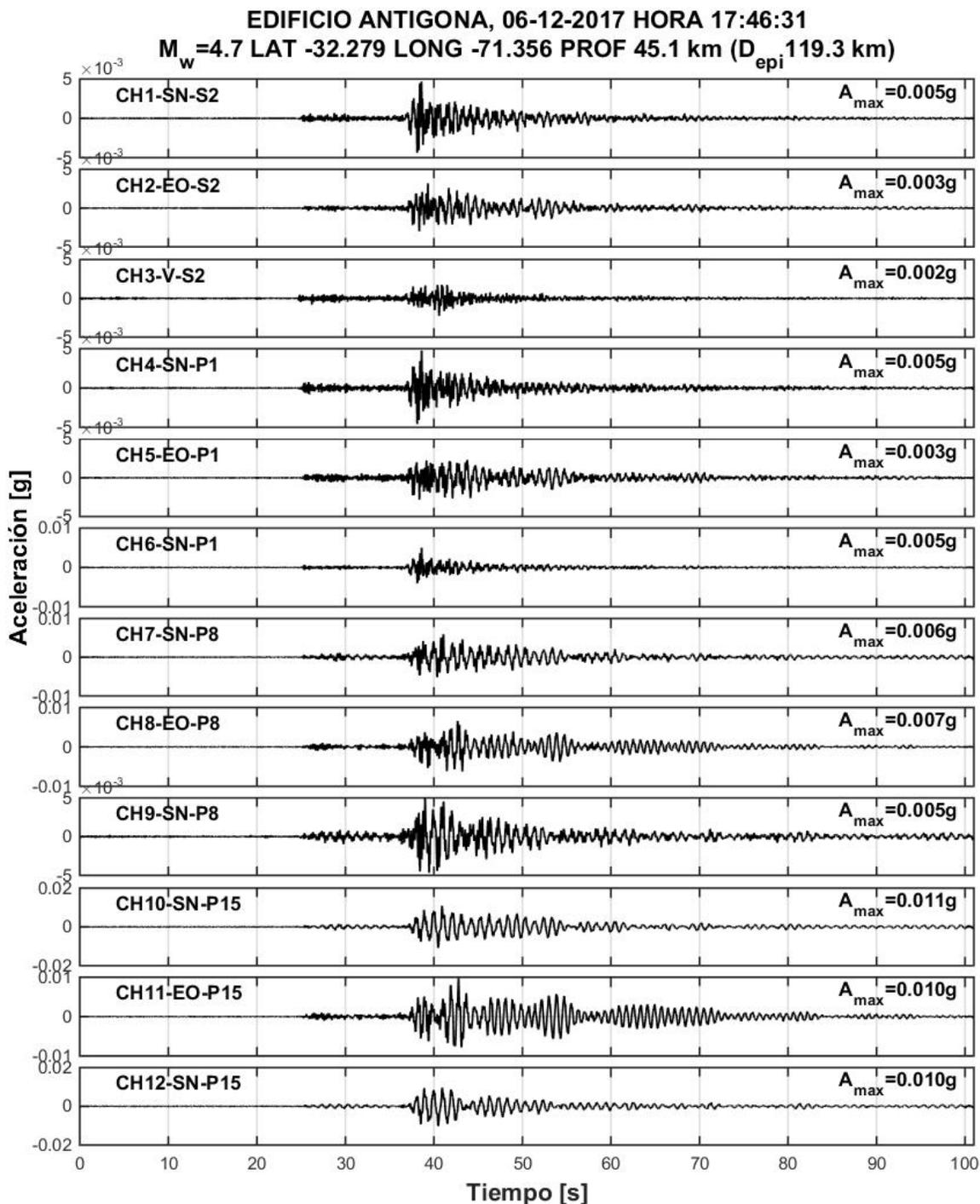


Figura 9: Registros del 06-12-2017

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

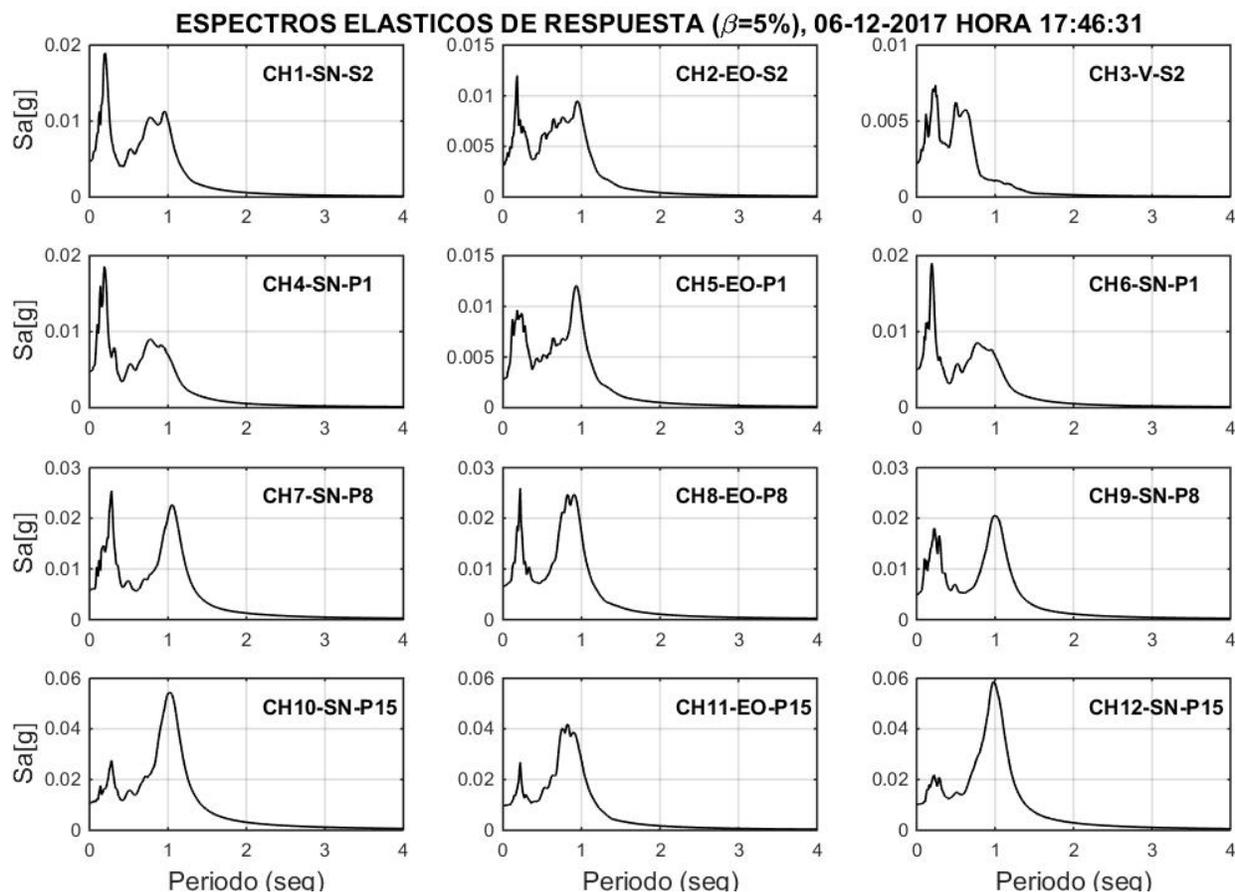


Figura 10: Espectro elástico asociado al evento del 06-12-2017

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

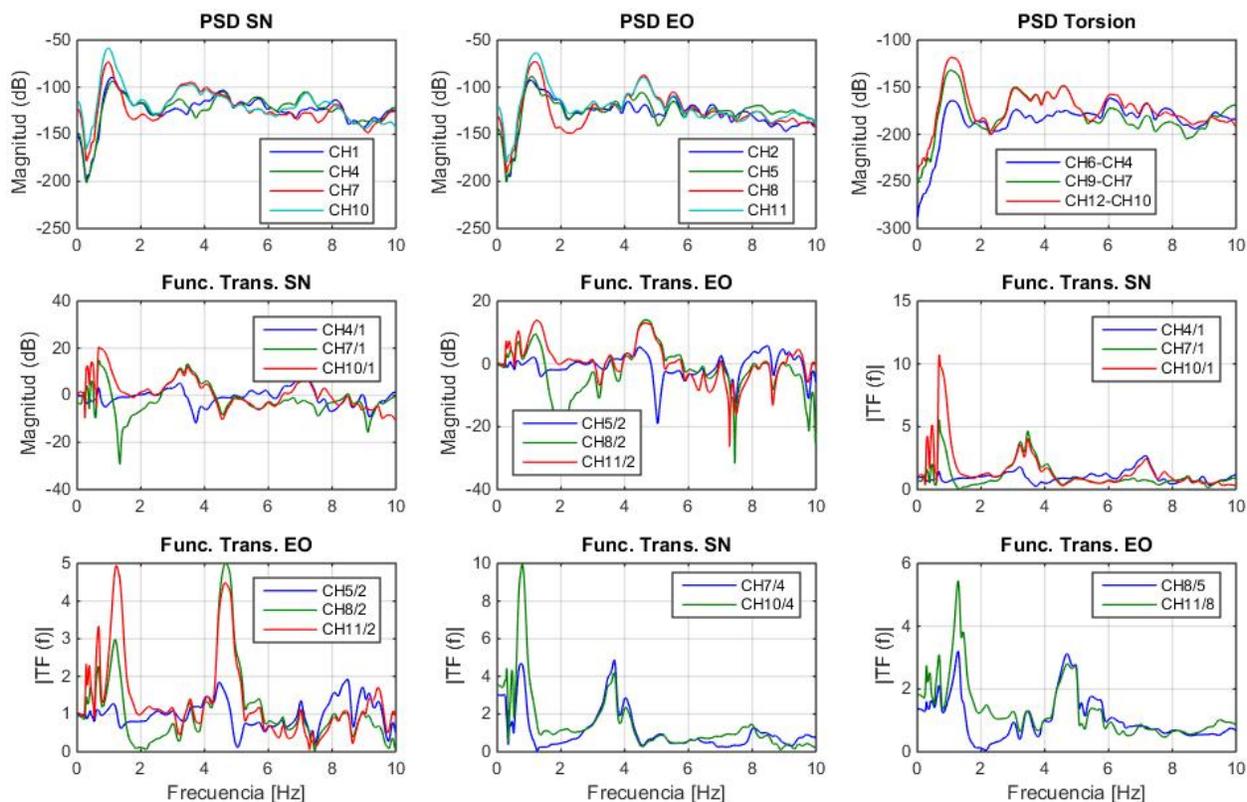


Figura 11: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 06-12-2017

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

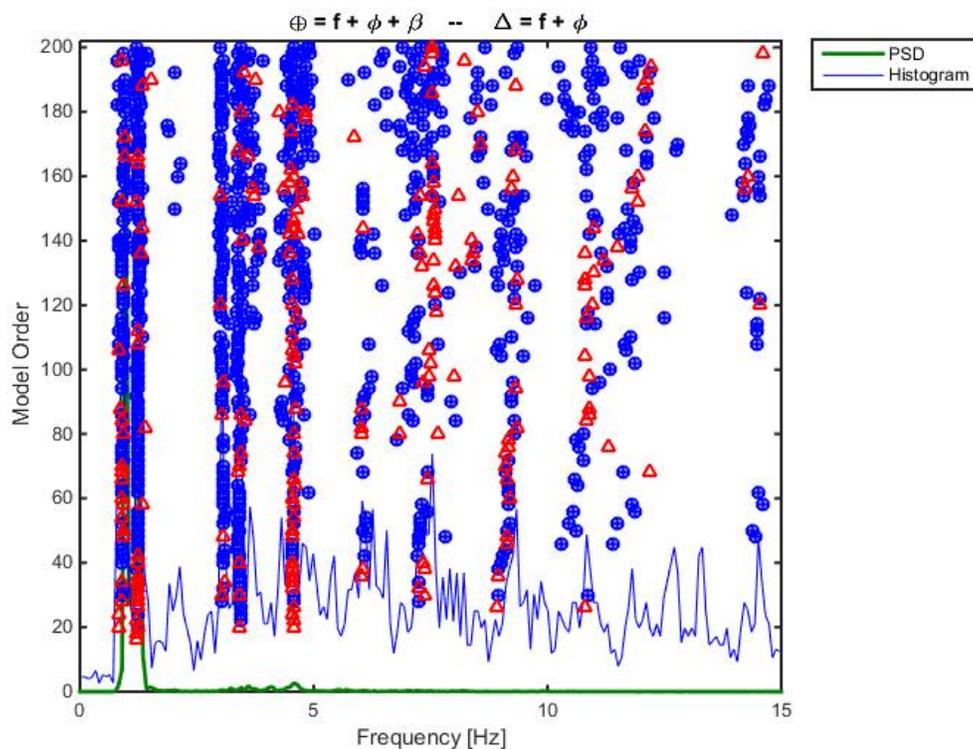


Figura 12: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 06-12-2017

Tabla 17: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.831	0.61	4.73	0.14	5
0.907	0.69	4.24	0.12	10
0.967	0.97	5.18	0.15	7
1.235	0.43	2.96	0.09	17
3.045	2.73	3.46	0.12	17
3.419	3.51	3.94	0.11	20
3.670	2.70	2.94	0.10	7
4.561	6.76	2.64	0.06	13
6.057	5.25	1.78	0.05	13
6.561	2.44	1.40	0.04	7
7.309	9.89	3.52	0.11	12
8.534	11.46	1.38	0.04	5
9.169	12.44	2.74	0.09	13
10.930	9.51	0.84	0.03	9
11.471	20.04	3.83	0.11	9
12.701	10.72	1.67	0.04	6
14.490	15.45	1.39	0.04	13
15.392	2.45	0.83	0.02	5
16.411	24.80	3.20	0.11	5
17.636	18.83	1.48	0.03	17
18.874	16.98	2.42	0.08	5
20.091	1.59	0.32	0.01	8

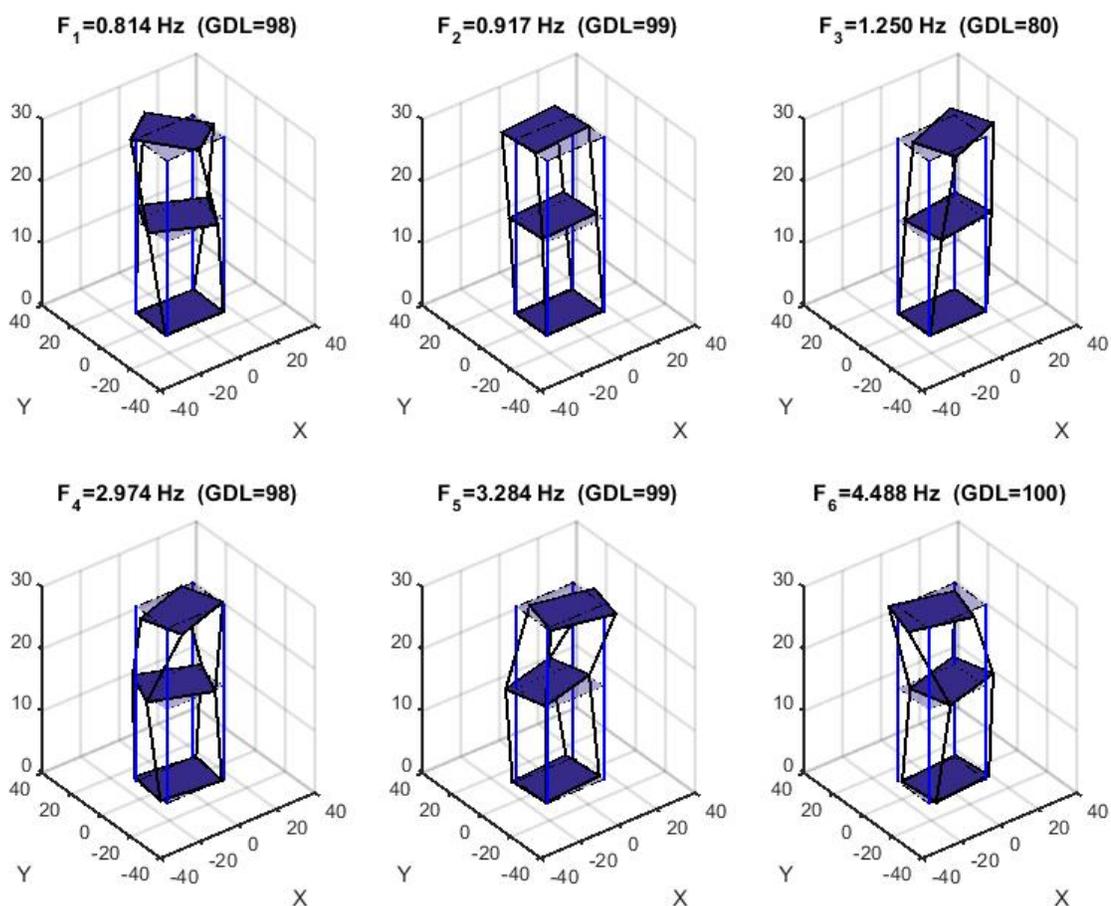


Figura 13: Formas Modales asociadas al evento del 06-12-2017

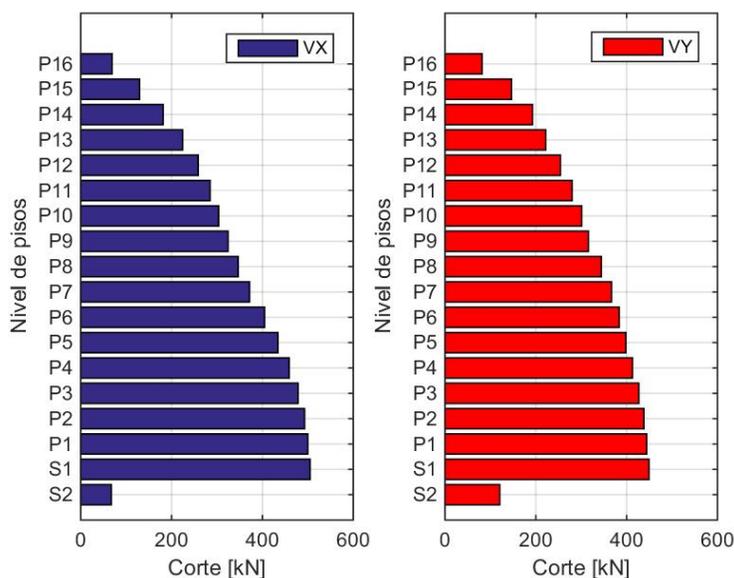


Figura 14: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 06-12-2017.

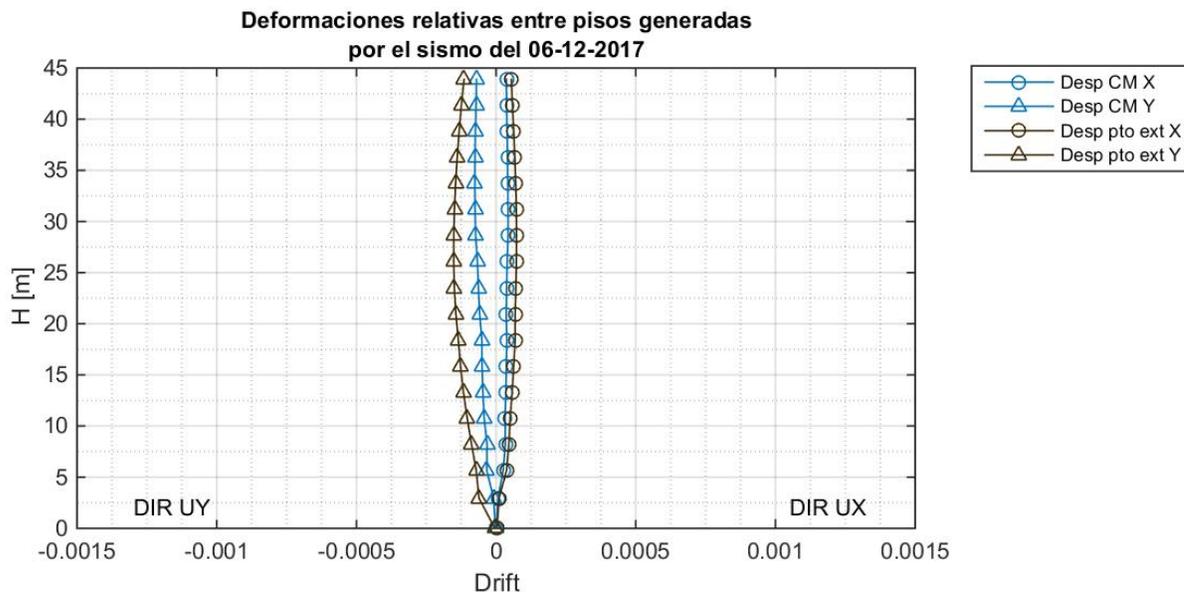


Figura 15: Desplazamiento relativo entrepiso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 06-12-2017.

# Informe de sismo percibido

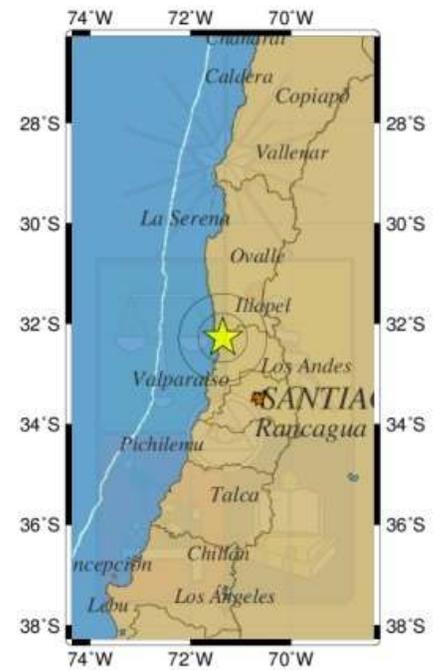
[← Volver](#)

## Hipocentro

Hora Local	17:46:31 06/12/2017
Hora UTC	20:46:31 06/12/2017
Latitud	-32.279
Longitud	-71.356
Profundidad	45.1 Km
Magnitud	4.7 Mw GUC
Referencia	22 km al NO de La Ligua

## Intensidades

Canela	IV
Combarbalá	IV
Illapel	IV
Los Vilos	IV
Salamanca	IV
La Ligua	IV
Papudo	IV
Rinconada	IV
San Felipe	V
Los Vilos	IV
Valparaiso	III
Viña del Mar	III
Zapallar	IV
Fuente	ONEMI Regiones de Coquimbo y Valparaiso



## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis 2017-12-06 18:02

## 6. Evento del 04-01-2018

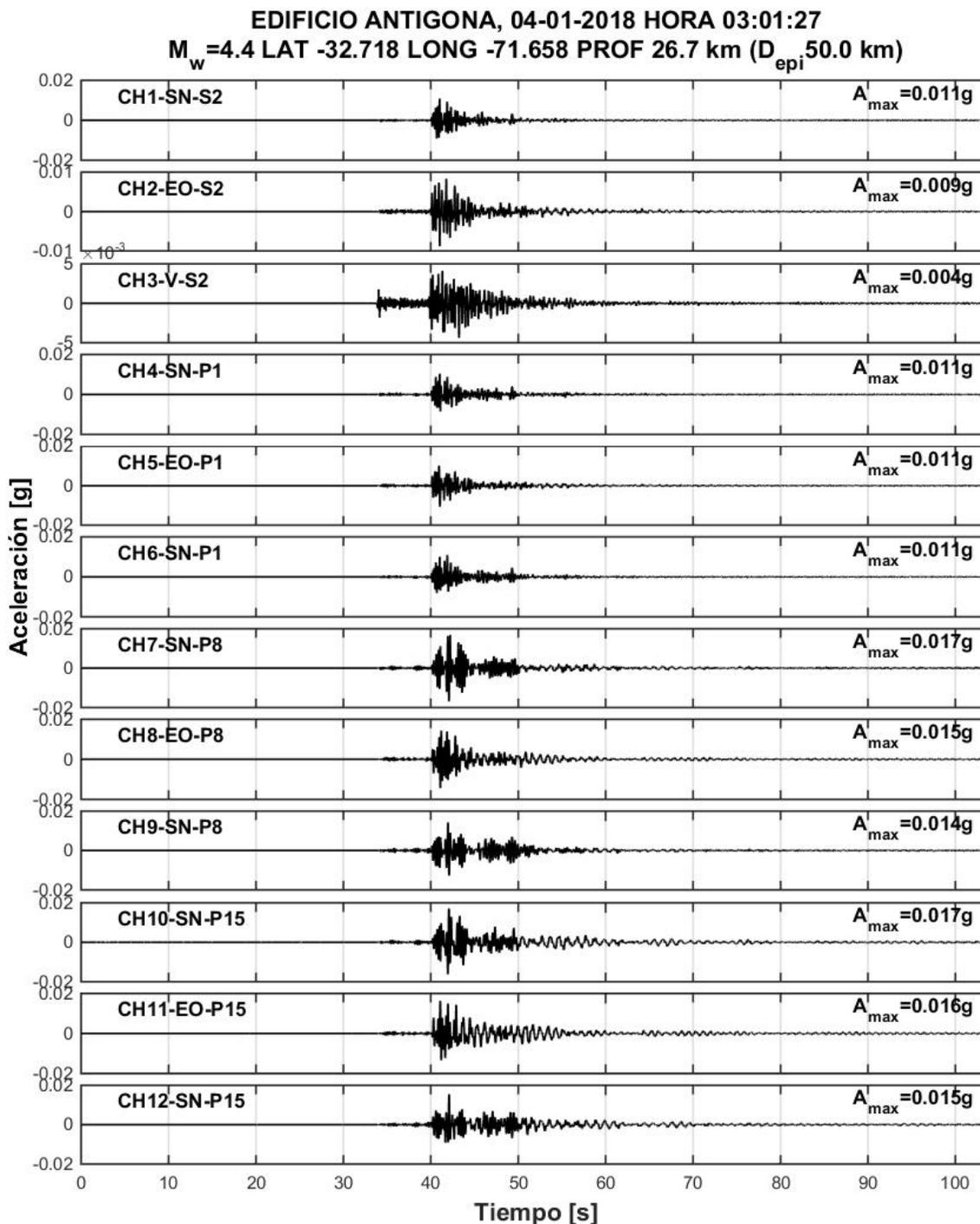


Figura 16: Registros del 04-01-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

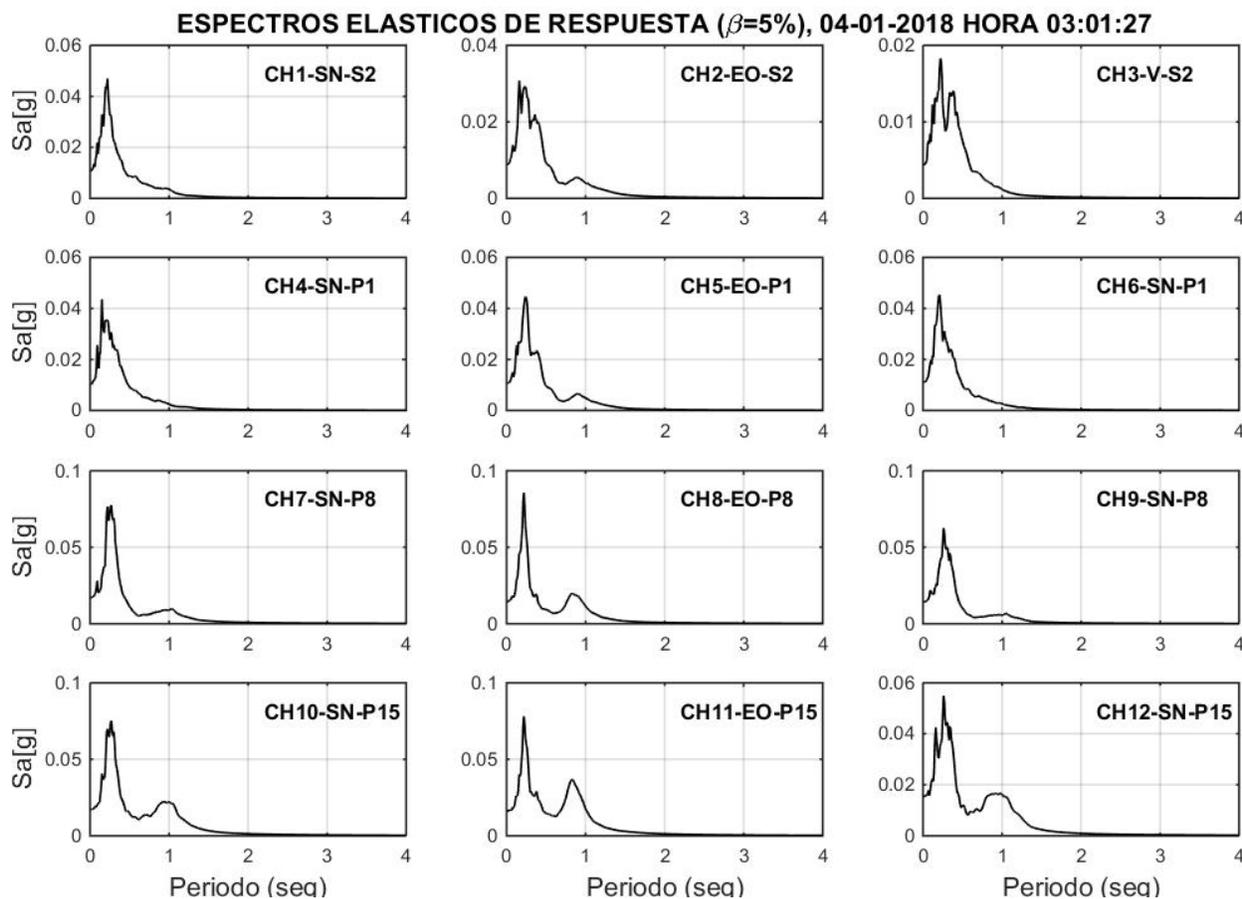


Figura 17: Espectro elástico asociado al evento del 04-01-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

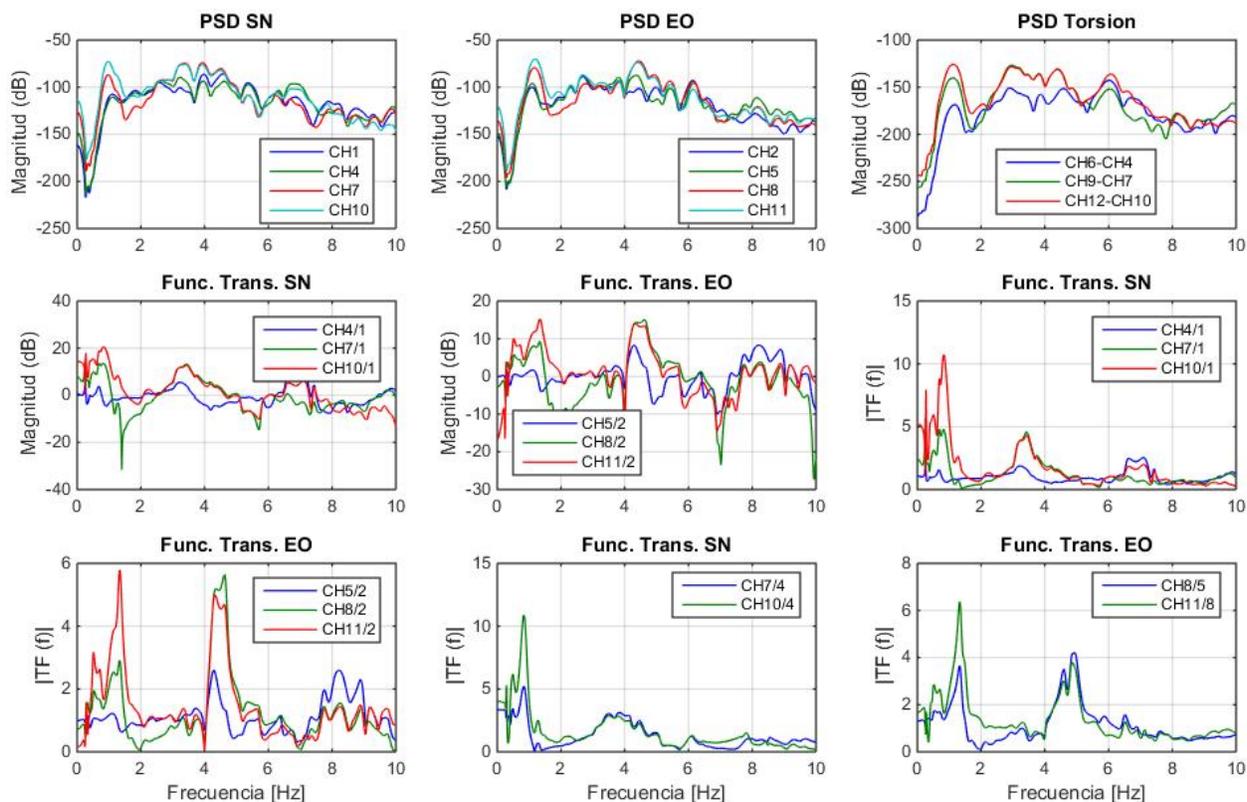


Figura 18: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 04-01-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

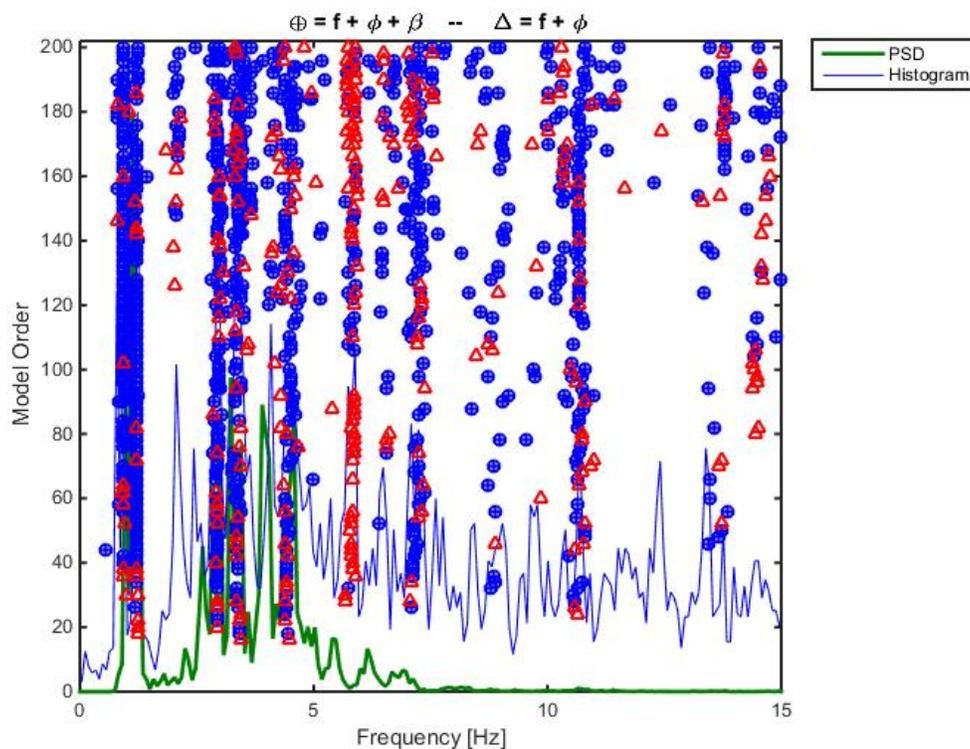


Figura 19: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 04-01-2018

Tabla 18: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

$f$ [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.813	0.69	4.27	0.12	5
0.931	0.80	3.49	0.09	15
1.215	0.67	3.03	0.08	27
2.948	2.42	3.37	0.10	14
3.423	5.17	5.26	0.17	15
4.061	4.66	2.05	0.07	5
4.171	6.19	3.46	0.11	5
4.486	5.53	4.12	0.10	19
5.846	6.75	-1.28	0.04	8
7.282	9.75	3.46	0.10	12
8.959	8.52	5.19	0.17	8
9.679	11.06	1.79	0.06	5
10.654	14.19	1.15	0.02	13
15.914	11.37	0.75	0.02	16
19.608	4.41	0.94	0.02	5

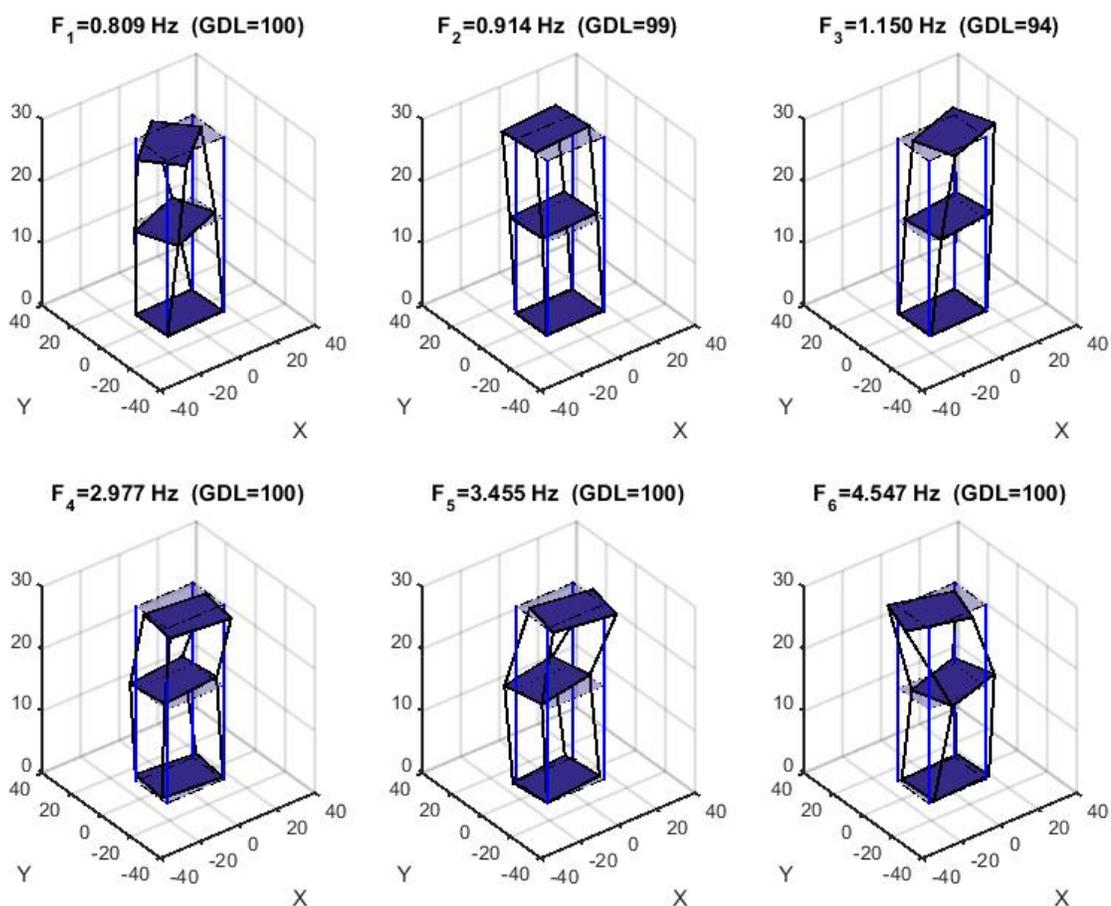


Figura 20: Formas Modales asociadas al evento del 04-01-2018

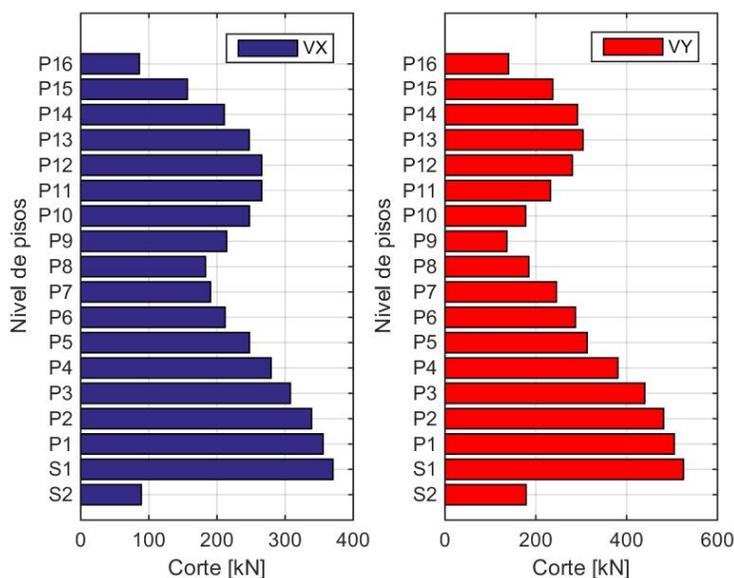


Figura 21: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 04-01-2018.

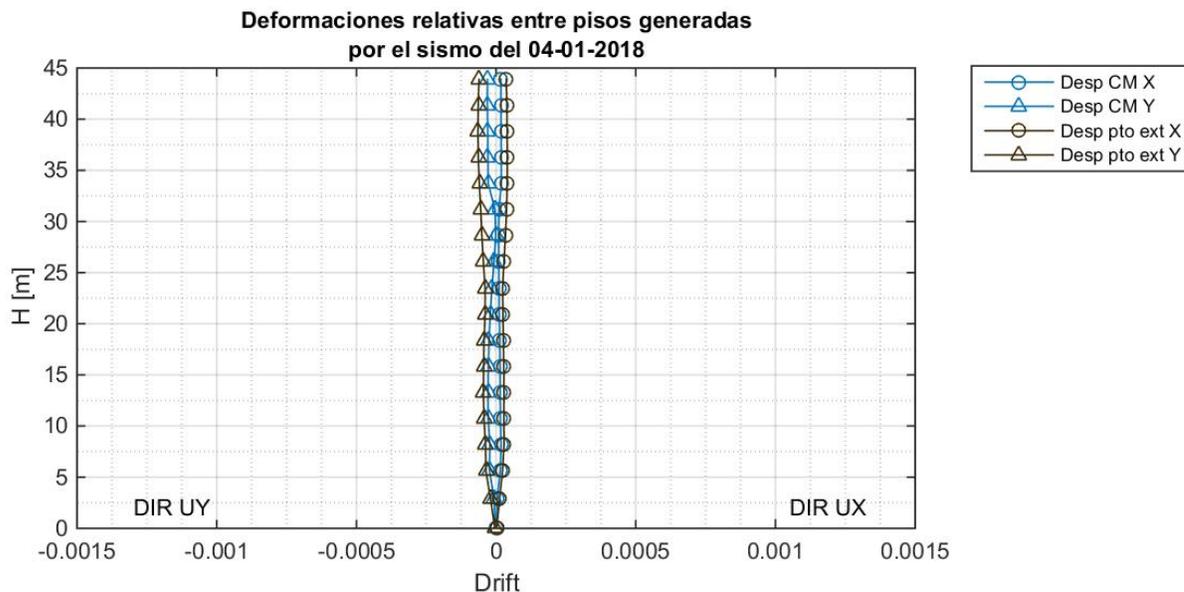


Figura 22: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 04-01-2018.

# Informe de sismo percibido

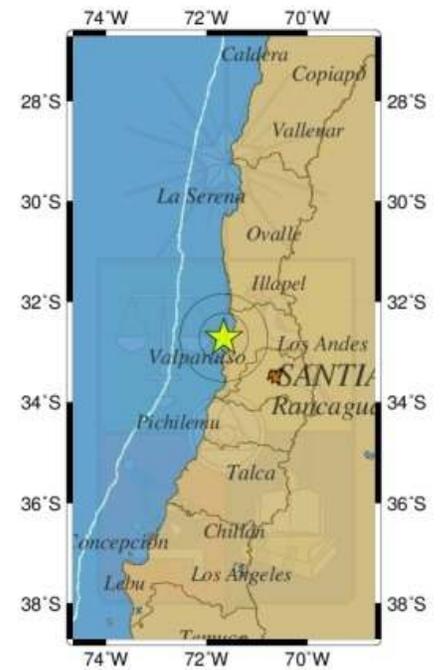
[← Volver](#)

## Hipocentro

Hora Local	03:01:27 04/01/2018
Hora UTC	06:01:27 04/01/2018
Latitud	-32.718
Longitud	-71.658
Profundidad	26.7 Km
Magnitud	4.4 MI GUC
Referencia	37 km al N de Valparaíso

## Intensidades

Salamanca	III
Valparaíso	IV
Rinconada	III
Quillota	V
Puchuncaví	IV
Fuente	ONEMI Regiones de Coquimbo y Valparaíso



## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis 03:18 04/01/2017

## 7. Evento del 10-04-2018

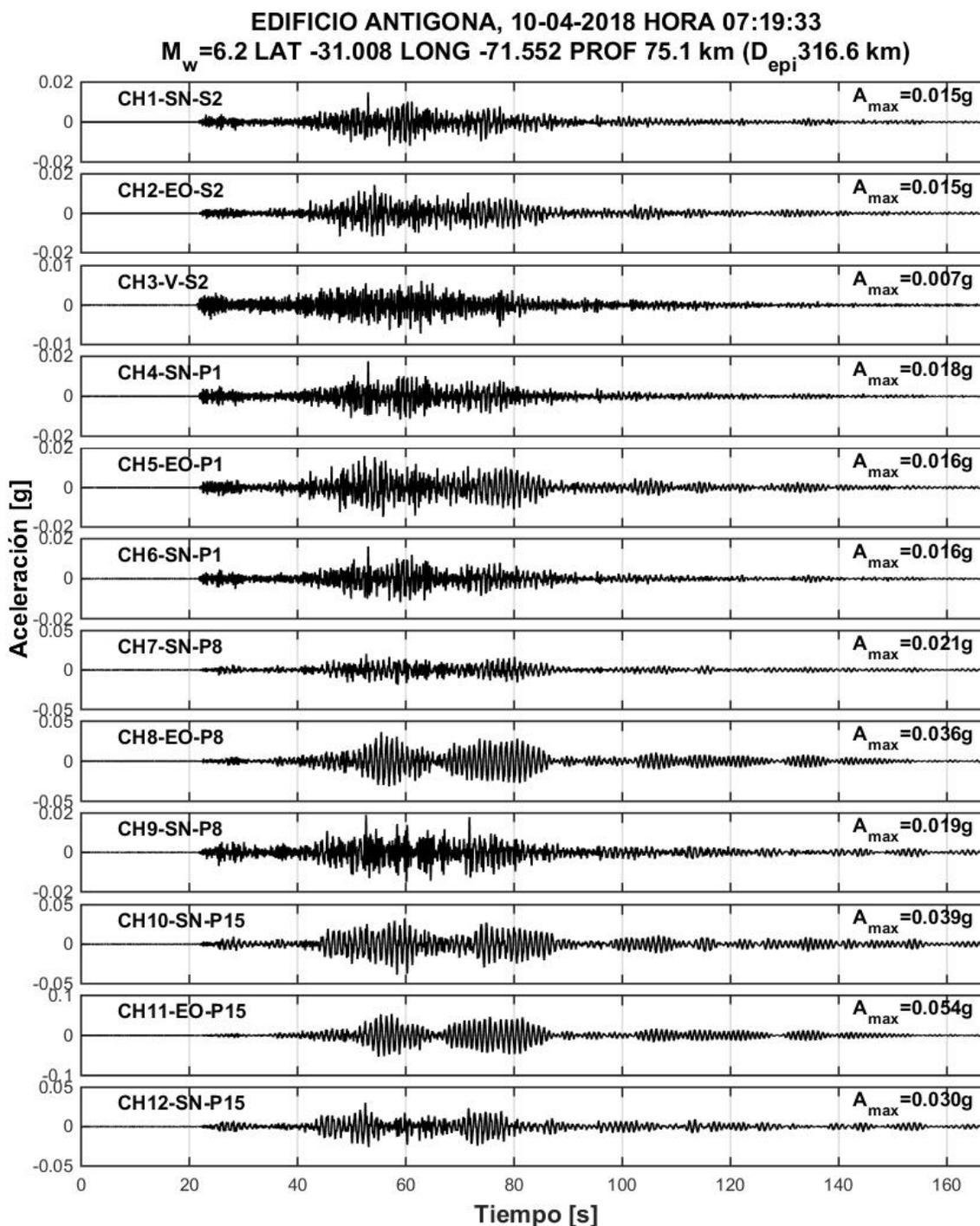


Figura 23: Registros del 10-04-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

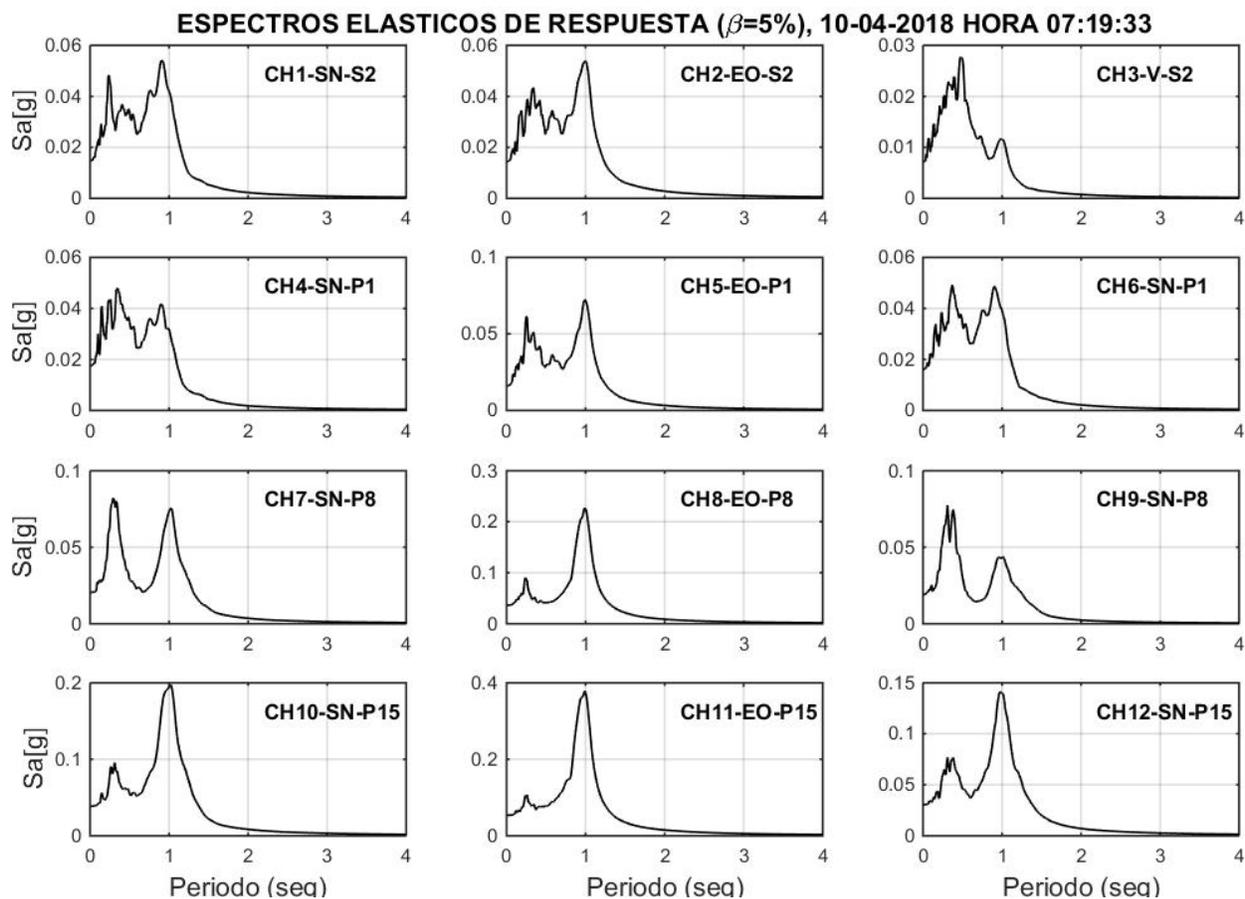


Figura 24: Espectro elástico asociado al evento del 10-04-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

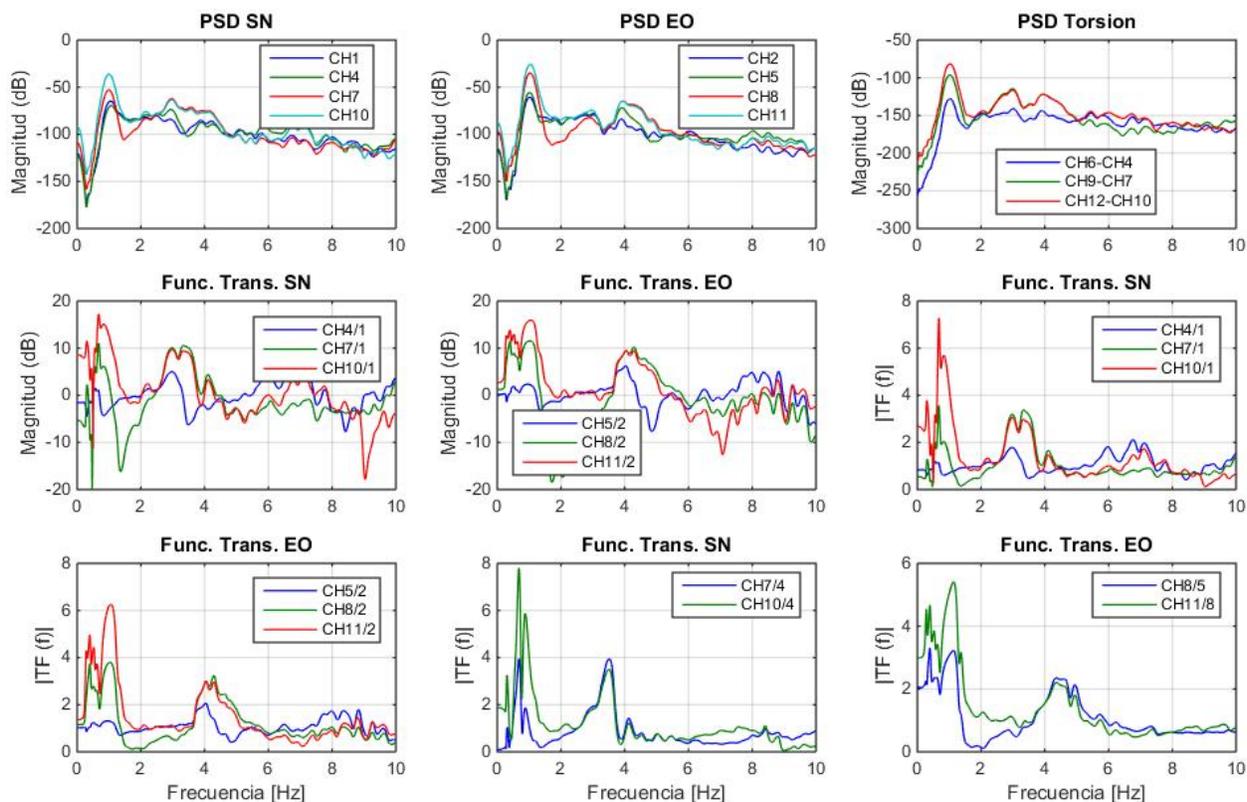


Figura 25: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 10-04-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

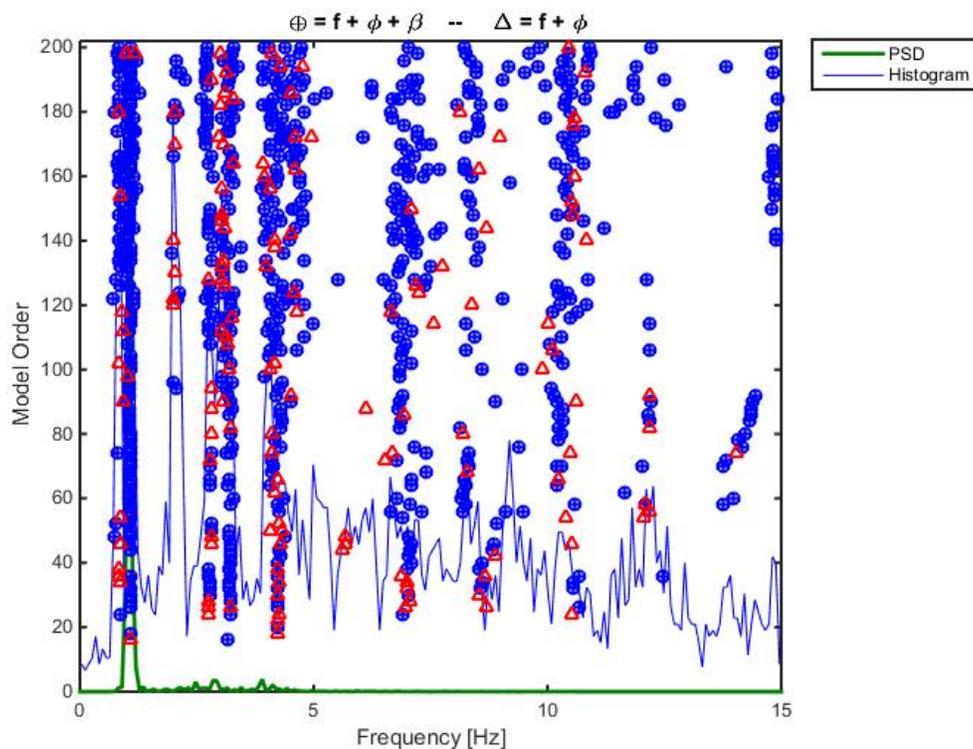


Figura 26: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 10-04-2018

Tabla 19: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.771	0.94	9.60	0.28	5
0.997	1.51	5.49	0.17	6
1.072	0.91	4.66	0.14	17
2.791	3.25	4.24	0.14	14
3.218	3.00	5.69	0.17	18
4.252	6.84	4.00	0.11	10
4.755	5.08	2.45	0.07	5
5.133	4.21	1.70	0.05	5
6.998	12.80	2.85	0.08	13
7.449	11.27	6.30	0.21	5
7.890	7.20	4.08	0.14	5
8.329	10.22	3.25	0.10	14
10.406	12.62	4.54	0.15	10
11.604	15.83	1.24	0.04	5
12.169	12.56	1.78	0.06	12
15.981	22.89	4.76	0.07	9
17.679	14.67	1.55	0.04	11

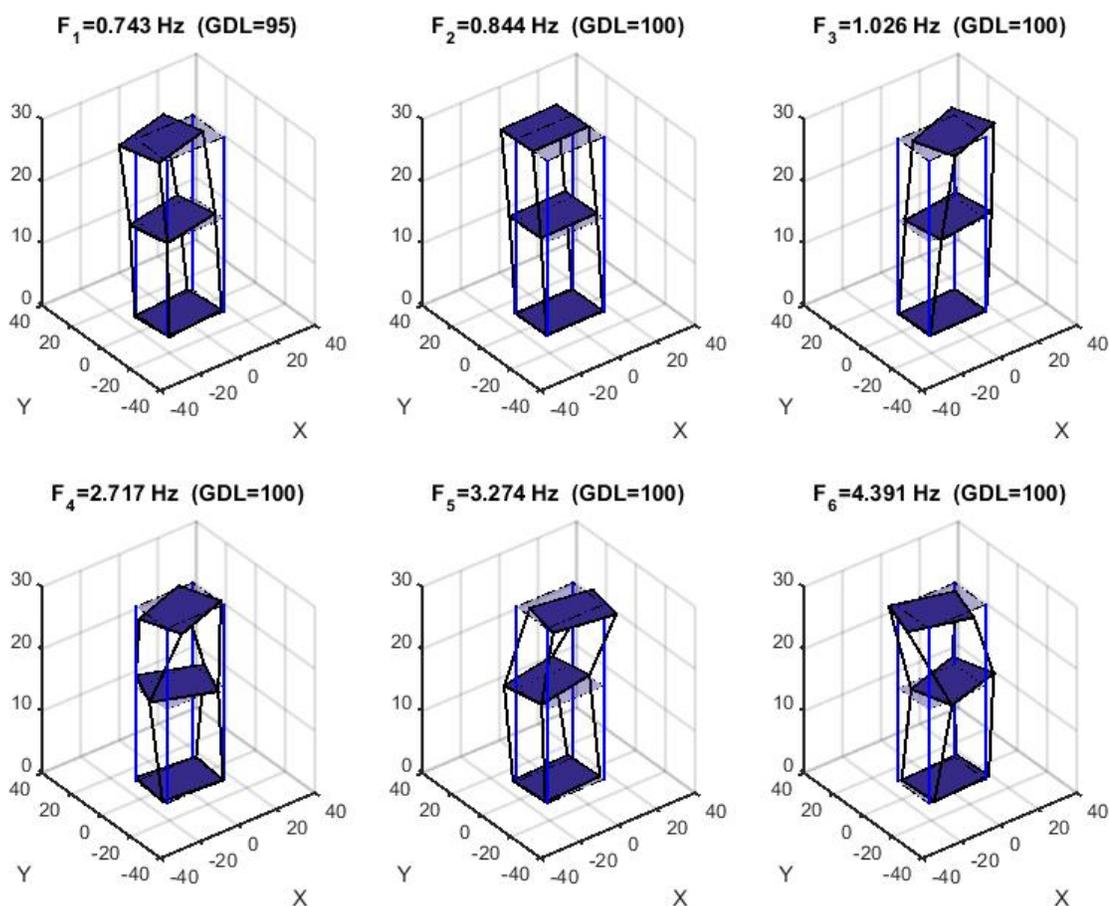


Figura 27: Formas Modales asociadas al evento del 10-04-2018

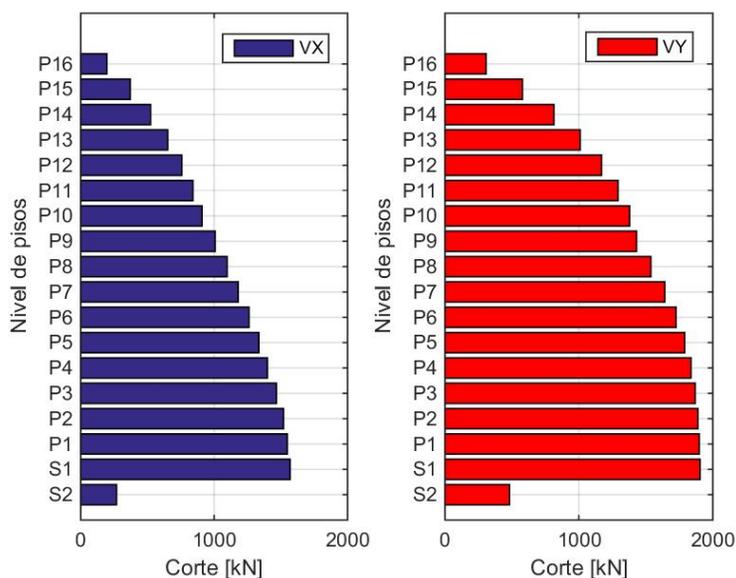


Figura 28: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 10-04-2018.

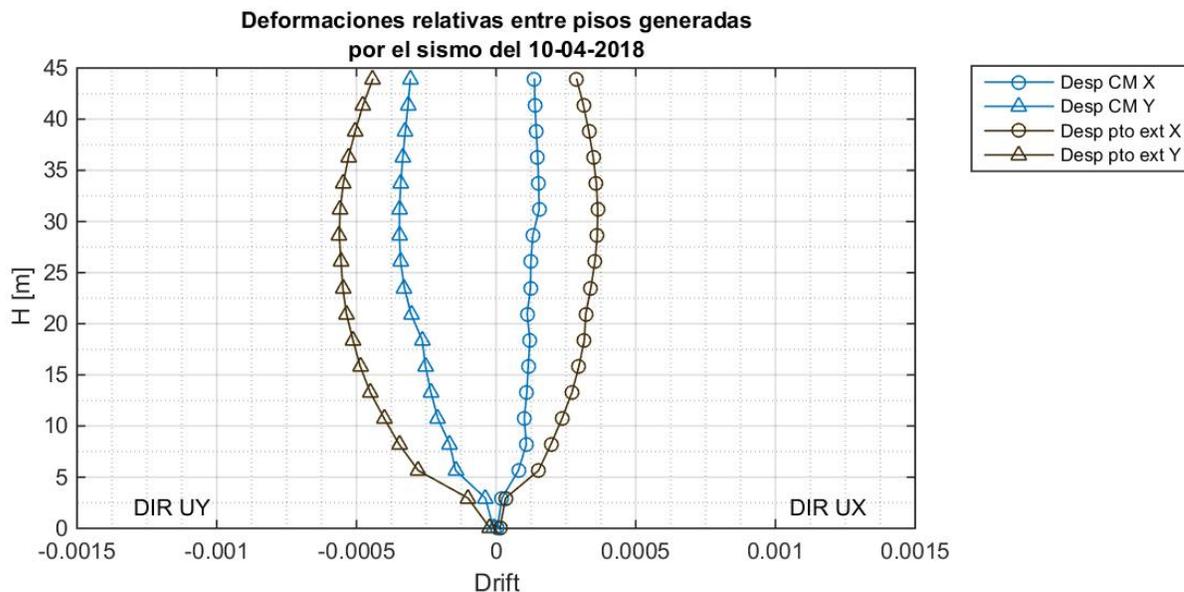


Figura 29: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 10-04-2018.

# Informe de sismo percibido

[← Volver](#)

## Hipocentro

Hora Local	07:19:33 10/04/2018
Hora UTC	10:19:33 10/04/2018
Latitud	-31.008
Longitud	-71.552
Profundidad	75.1 Km
Magnitud	6.2 Mww GUC
Referencia	34 km al SO de Punitaqui

## Intensidades

Alto del Carmen	V
Copiapó	IV
Huasco	V
Tierra Amarilla	IV
Vallenar	V
Andacollo	VI
Coquimbo	V
La Higuera	V
La Serena	VI
Los Vilos	V
Ovalle	V
Punitaqui	VI
Algarrobo	V
Cartagena	V
El Quisco	V
El Tabo	V
La Ligua	V
Limache	IV
Llaillay	V
Los Andes	V
Nogales	V
Olmué	IV
Quillota	V
Quilpué	IV
Rinconada	V
San Antonio	V
San Felipe	V
Santo Domingo	V



Valparaíso	V
Villa Alemana	V
Viña del Mar	V
Zapallar	VI
Colina	IV
El Monte	IV
Isla de Maipo	IV
Lampa	IV
Melipilla	III
Padre Hurtado	IV
Peñaflor	IV
Puente Alto	IV
Santiago	IV
Talagante	IV
Tiltil	IV
Mostazal	IV
Paredones	III
Rancagua	III
San Fernando	III
Curicó	II
Molina	III
Pencahue	II
Río Claro	III
Talca	III
Concepción	III
Fuente	ONEMI Regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Lib. Gral. Bernardo O'Higgins, Maule y Bío-bío

---

## **Observaciones**

Act. 08:13

---

**Informe preparado por:** Oficina de Análisis 07:39 10/04/2018

## 8. Evento del 05-05-2018

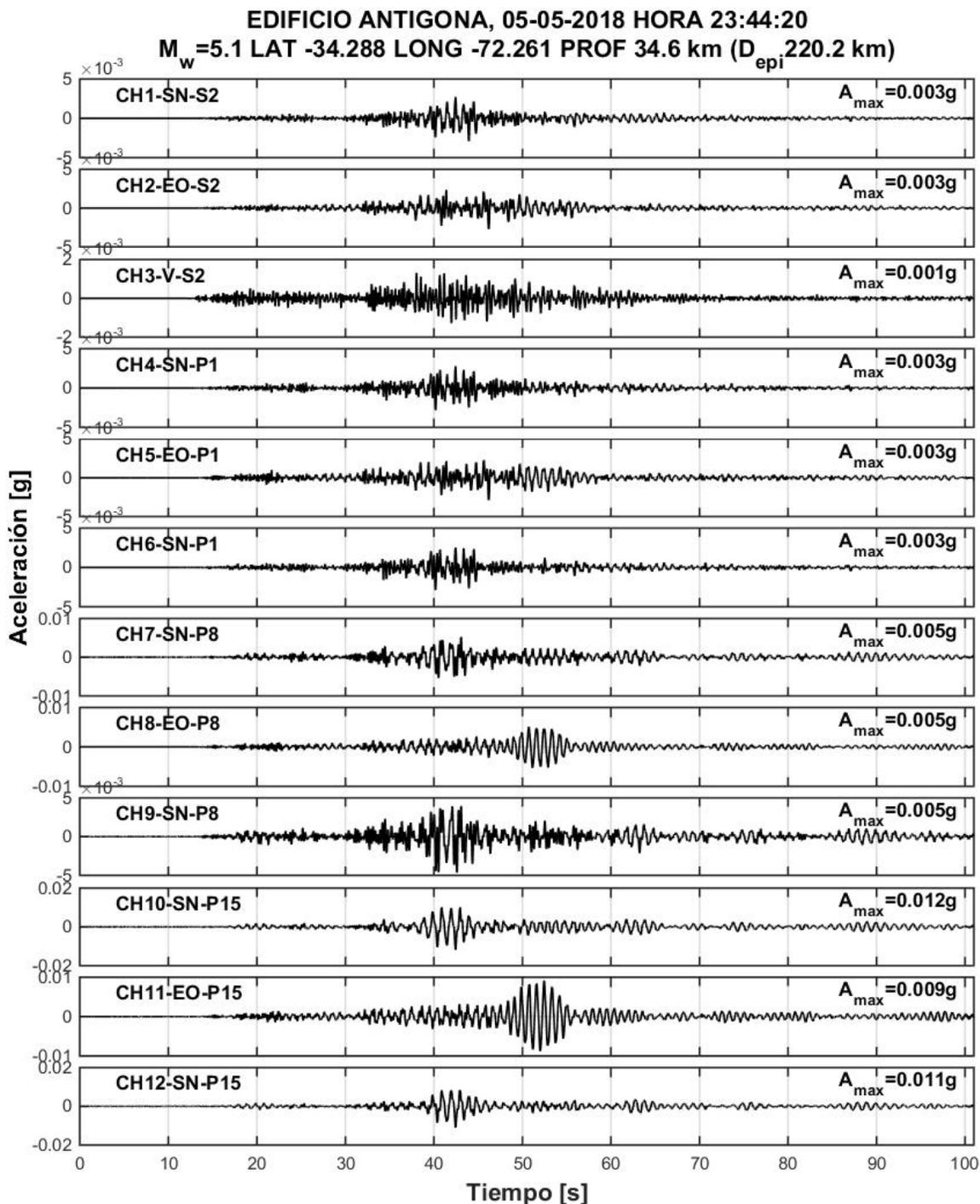


Figura 30: Registros del 05-05-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

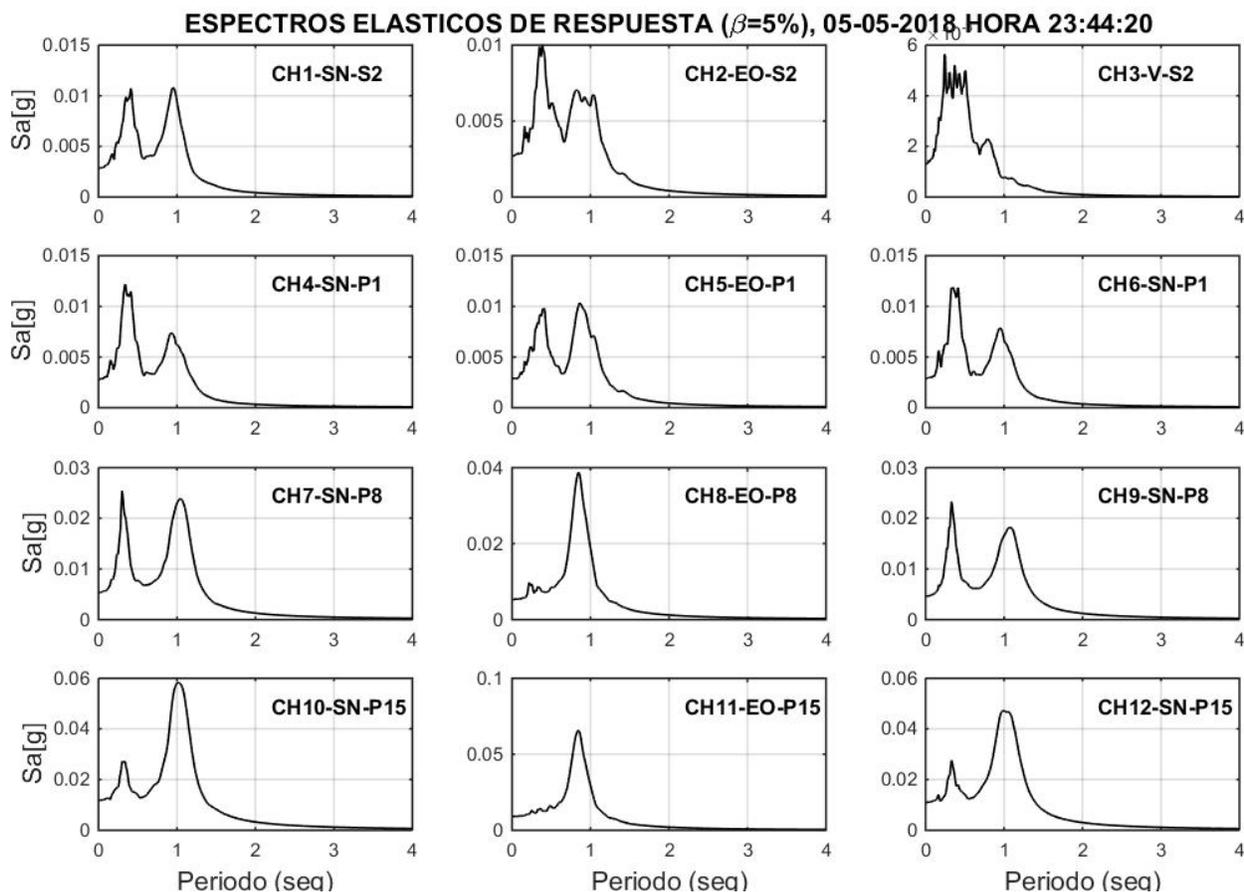


Figura 31: Espectro elástico asociado al evento del 05-05-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

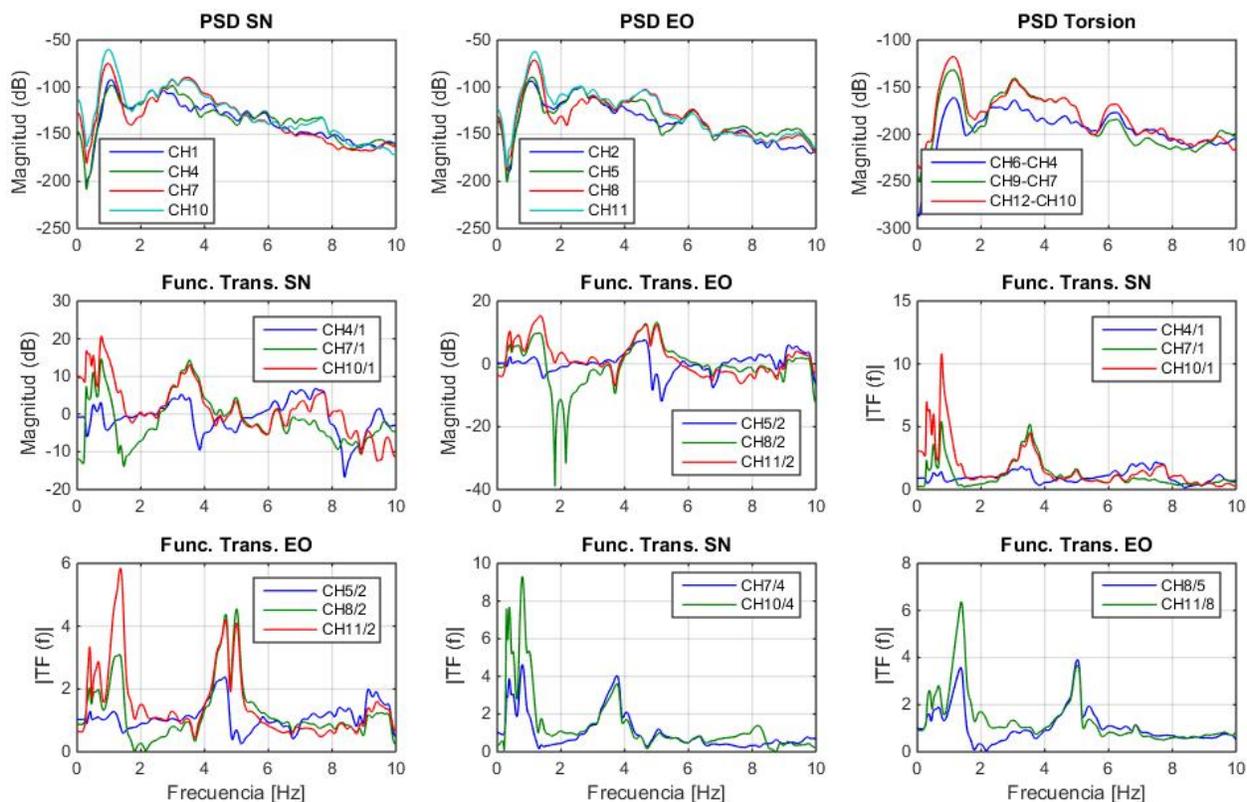


Figura 32: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 05-05-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

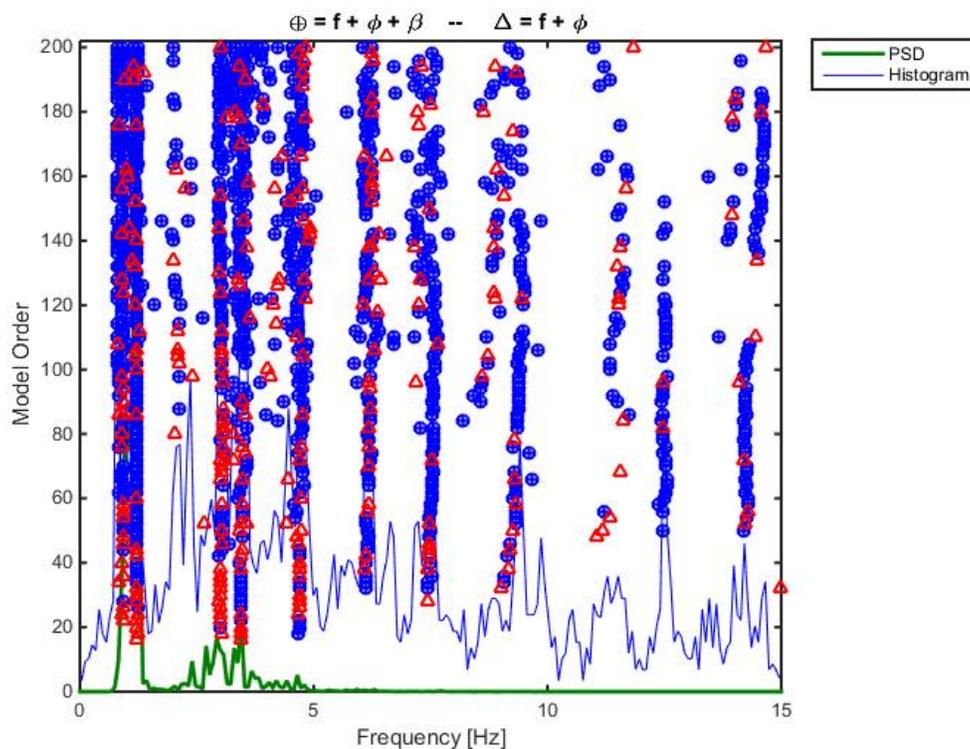


Figura 33: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 05-05-2018

Tabla 20: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

$f [Hz]$	$\sigma \%$	$\beta \%$	$\sigma \%$	N
0.813	0.61	3.48	0.11	18
0.916	1.34	3.35	0.11	9
1.206	0.92	3.79	0.11	20
2.125	1.72	3.37	0.10	5
3.022	3.45	2.01	0.06	18
3.463	4.59	3.97	0.13	18
4.153	5.21	5.03	0.16	7
4.691	3.95	2.16	0.07	17
6.166	6.77	3.04	0.07	16
6.596	7.96	1.03	0.03	7
7.537	3.93	3.74	0.11	23
9.248	12.53	4.01	0.11	17
9.931	10.65	3.64	0.10	5
11.573	8.46	1.26	0.03	10
12.509	6.02	2.68	0.09	18
14.266	12.39	3.08	0.11	14
15.591	8.84	0.16	0.00	9
20.412	0.33	0.14	0.00	13
23.445	15.95	4.07	0.14	5

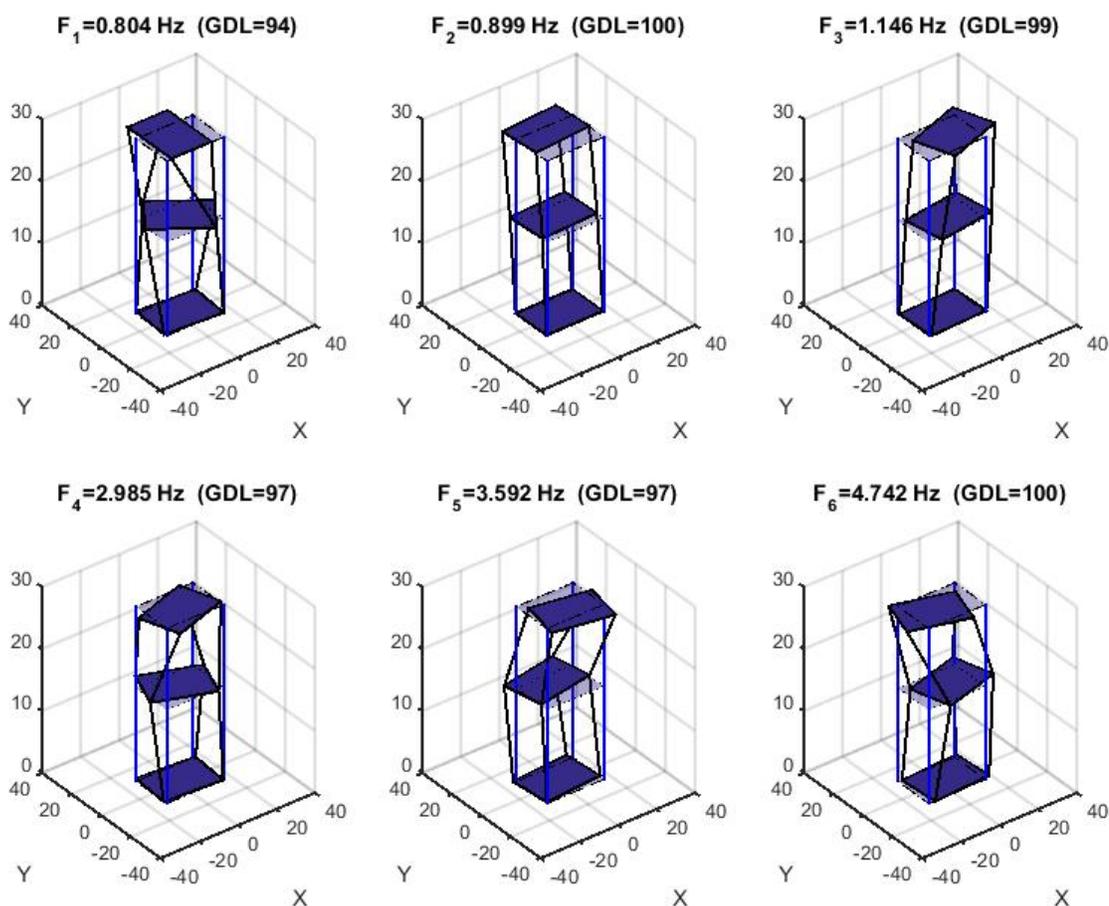


Figura 34: Formas Modales asociadas al evento del 05-05-2018

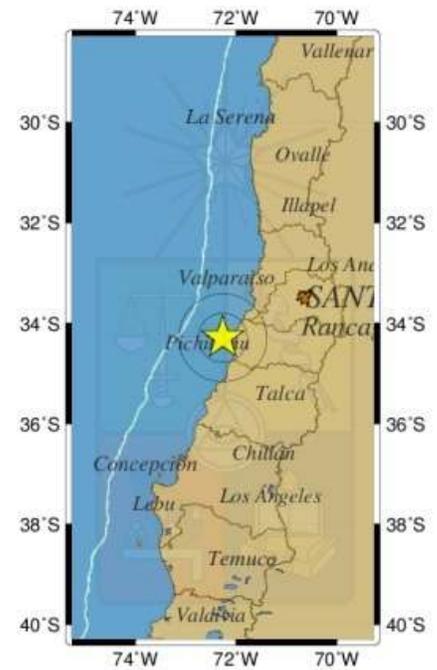


# Informe de sismo percibido

← Volver

## Hipocentro

Hora Local	23:44:20 05/05/2018
Hora UTC	02:44:20 06/05/2018
Latitud	-34.288
Longitud	-72.261
Profundidad	34.6 Km
Magnitud	5.1 Mw GUC
Referencia	25 km al O de Pichilemu



**[Reporte de intensidades \(http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-menor-intensidad-en-las-regiones-de-valparaiso-ohiggins-y-maule-4/\)](http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-menor-intensidad-en-las-regiones-de-valparaiso-ohiggins-y-maule-4/)**

## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis

## 9. Evento del 11-05-2018

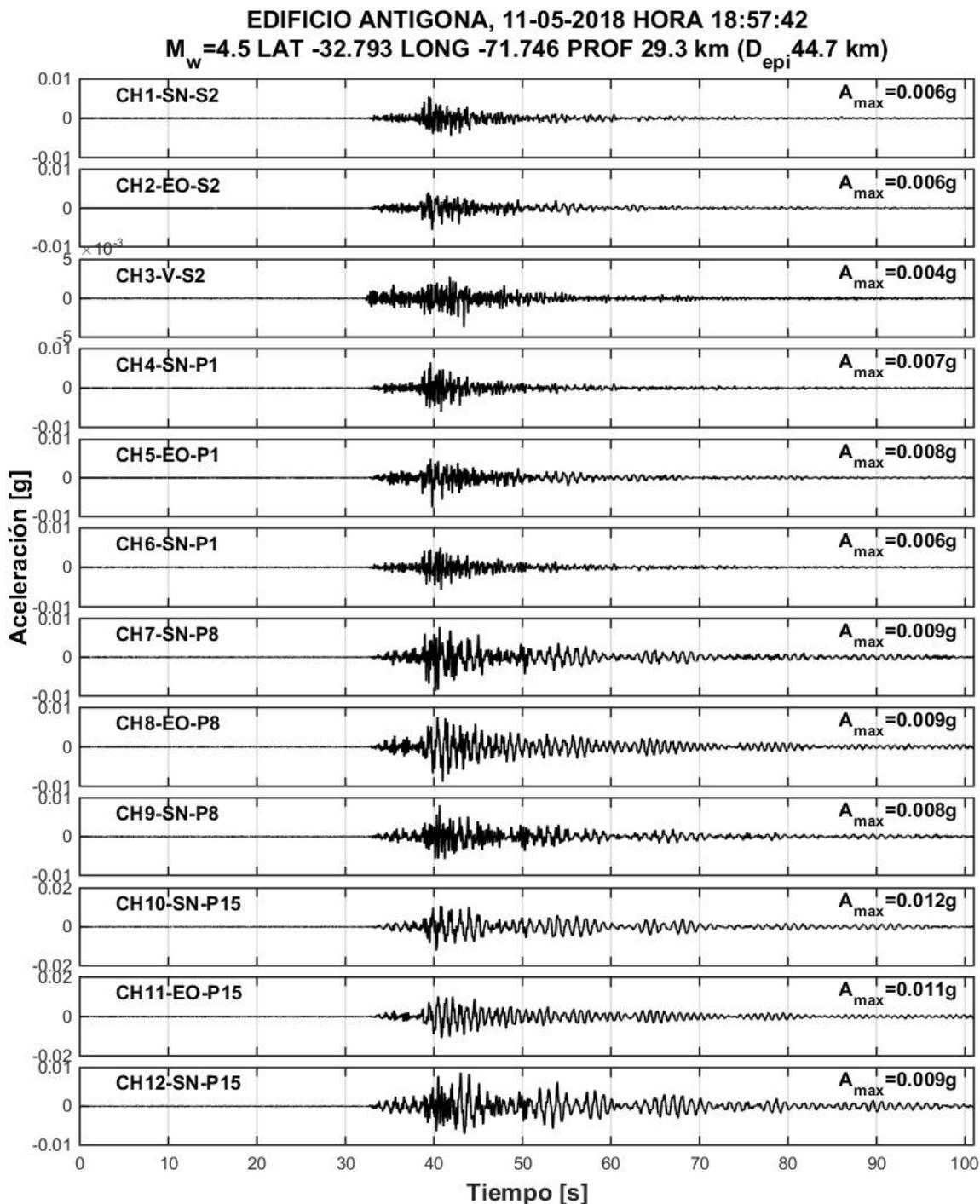


Figura 37: Registros del 11-05-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

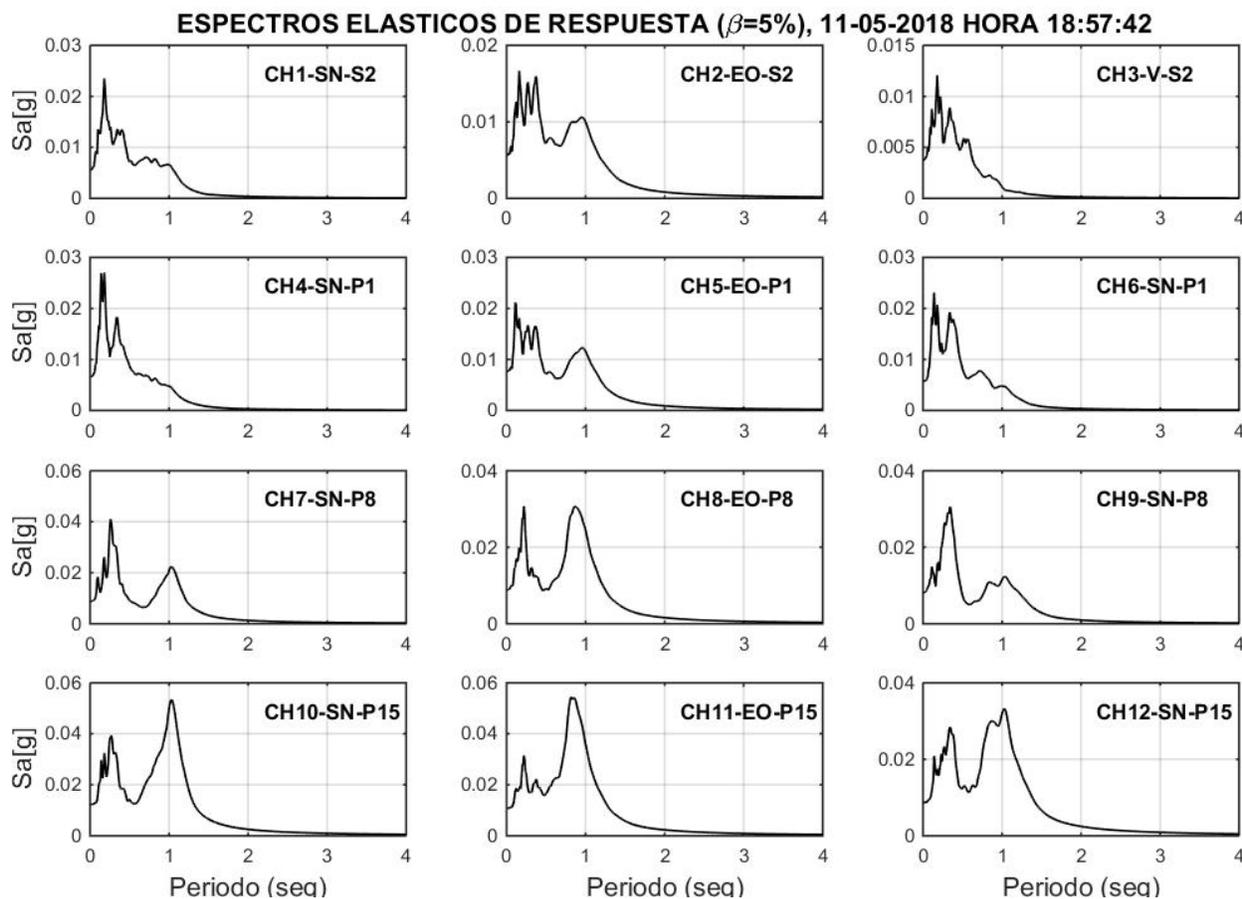


Figura 38: Espectro elástico asociado al evento del 11-05-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

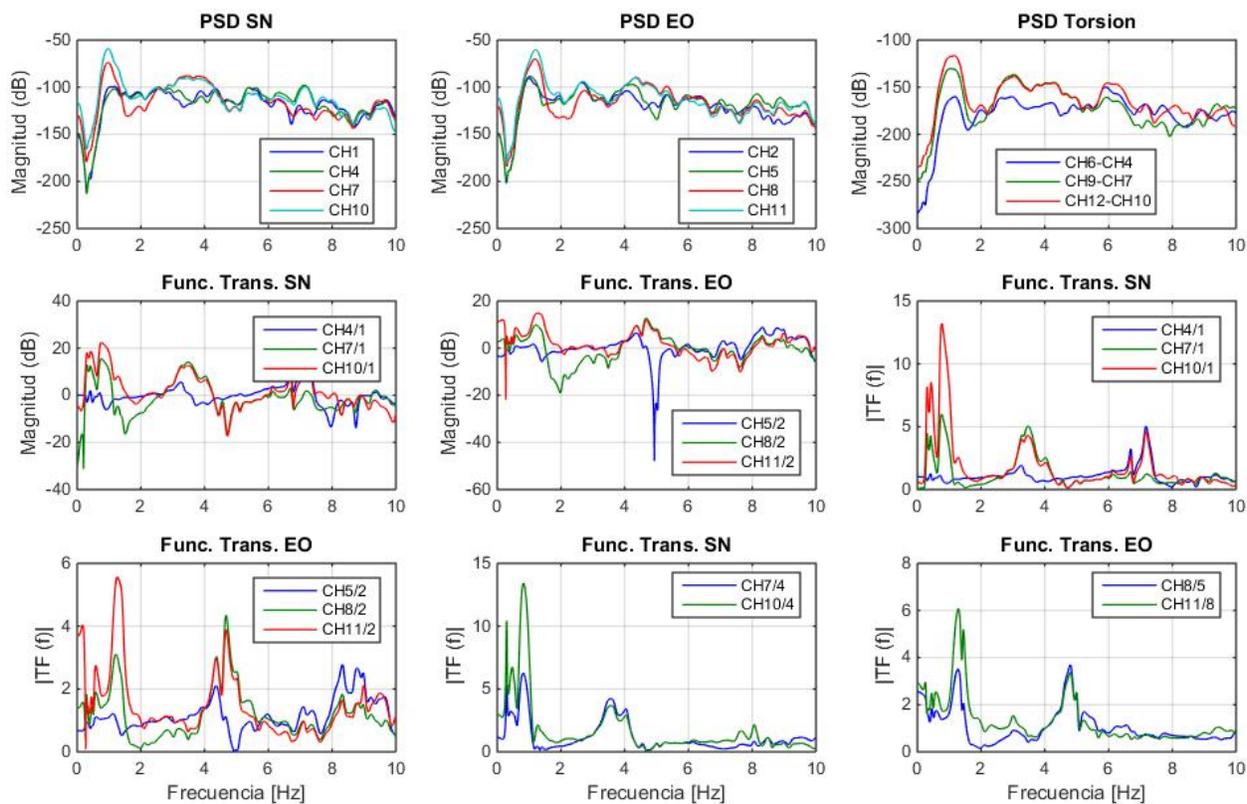


Figura 39: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 11-05-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

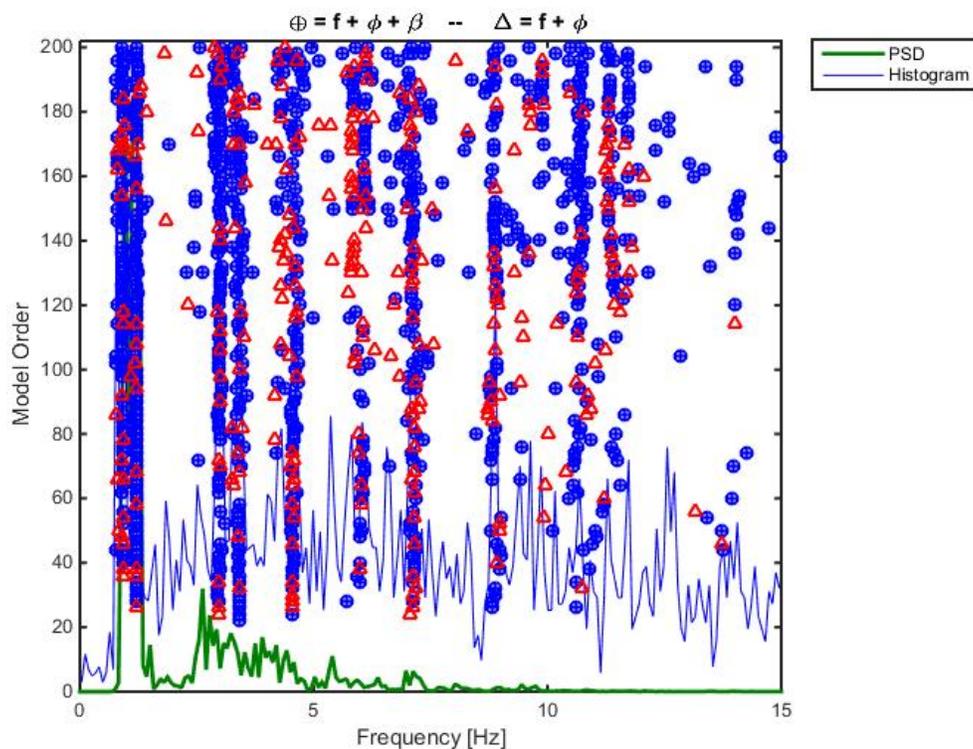


Figura 40: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 11-05-2018

Tabla 21: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

$f [Hz]$	$\sigma \%$	$\beta \%$	$\sigma \%$	N
0.795	0.68	3.92	0.13	11
0.917	0.82	3.52	0.09	11
1.209	1.03	3.76	0.10	21
2.977	3.71	3.63	0.10	17
3.425	3.60	4.19	0.13	15
4.220	4.41	1.92	0.04	5
4.340	7.80	1.30	0.04	5
4.629	7.41	2.69	0.08	14
6.023	2.51	2.21	0.07	10
7.195	8.04	2.21	0.06	11
8.302	6.36	1.04	0.03	6
9.600	12.59	1.26	0.03	11
10.704	11.93	1.23	0.04	10
13.974	12.87	0.59	0.02	7
14.956	14.16	1.72	0.04	5
15.724	20.88	4.52	0.14	7
16.843	18.36	1.90	0.06	6
18.190	26.42	2.13	0.06	8
20.133	6.64	0.92	0.03	7

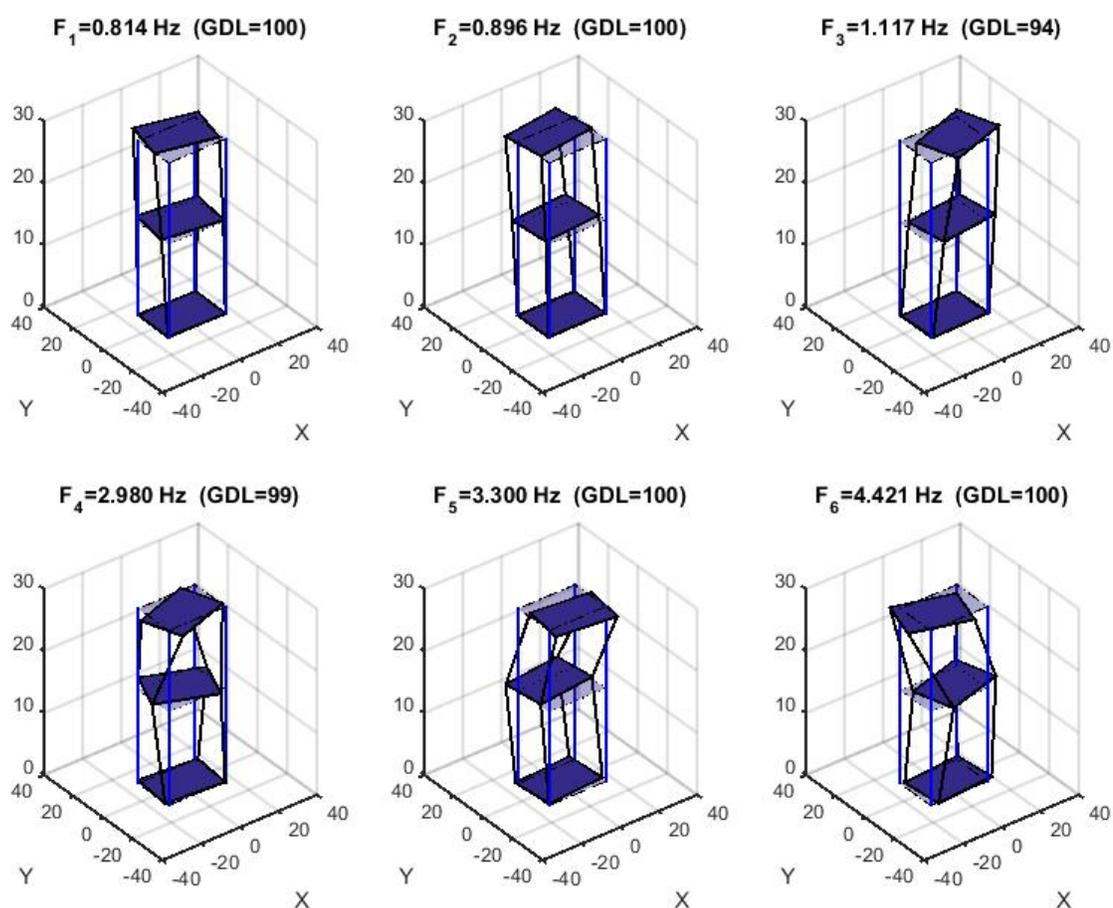


Figura 41: Formas Modales asociadas al evento del 11-05-2018

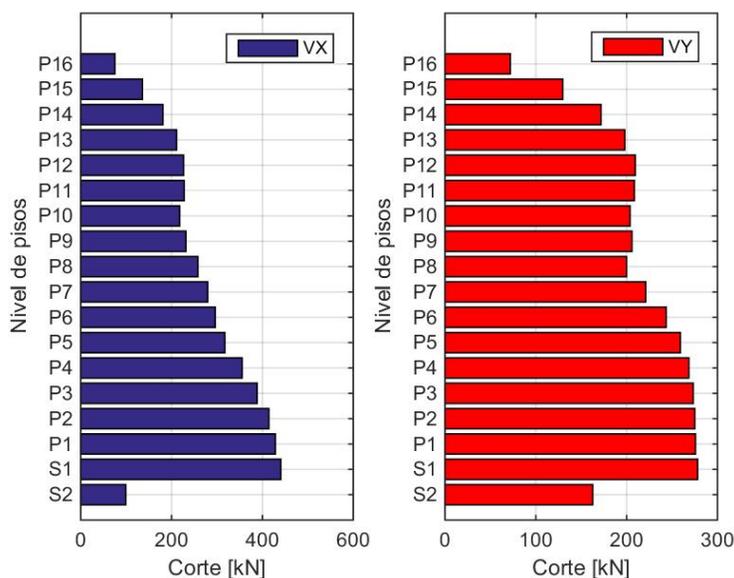


Figura 42: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 11-05-2018.

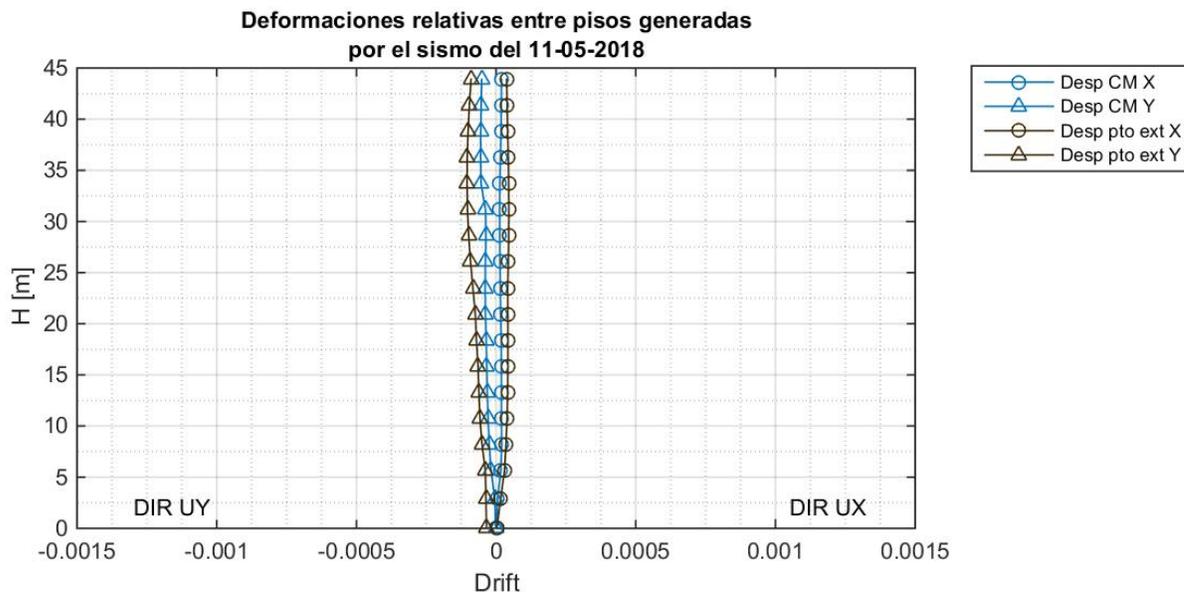


Figura 43: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 11-05-2018.

# Informe de sismo percibido

[← Volver](#)

## Hipocentro

Hora Local	18:57:42 11/05/2018
Hora UTC	21:57:42 11/05/2018
Latitud	-32.793
Longitud	-71.746
Profundidad	29.3 Km
Magnitud	4.5 Mw GUC
Referencia	31 km al NO de Valparaíso



**[Reporte de intensidades \(http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-menor-intensidad-en-la-region-de-valparaiso-286/\)](http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-menor-intensidad-en-la-region-de-valparaiso-286/)**

## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis 11/05/2018 19:14 Hrs

## 10. Evento del 19-05-2018

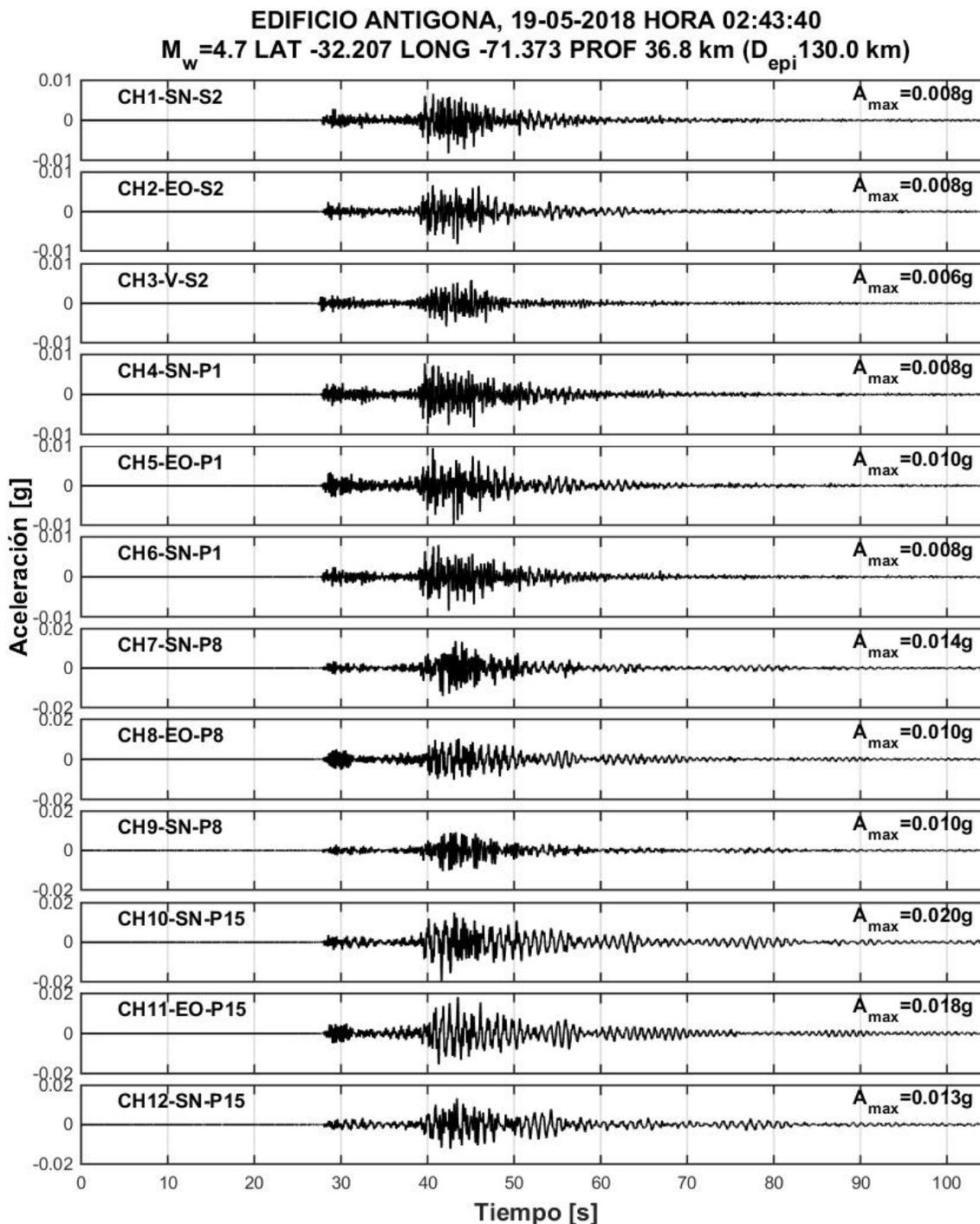


Figura 44: Registros del 19-05-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

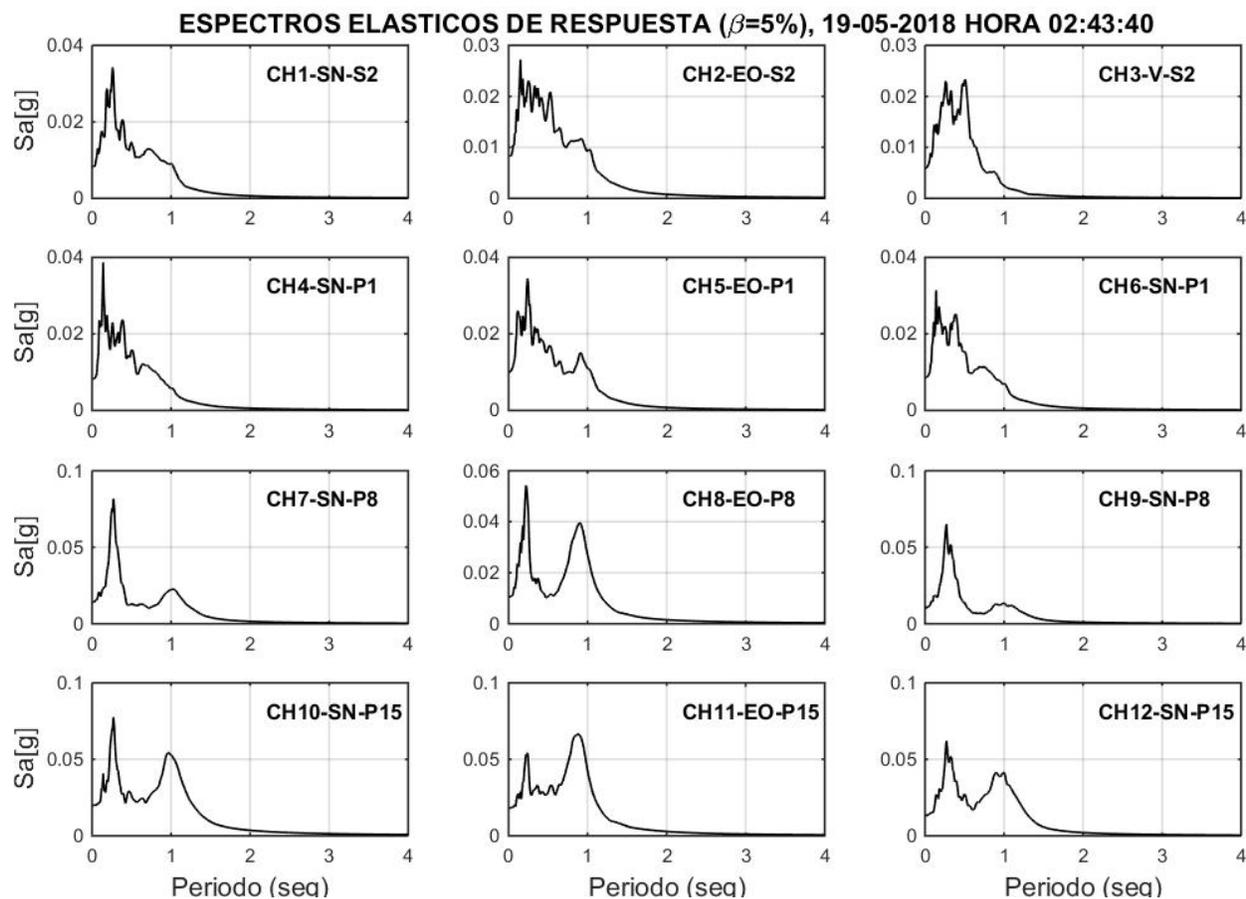


Figura 45: Espectro elástico asociado al evento del 19-05-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

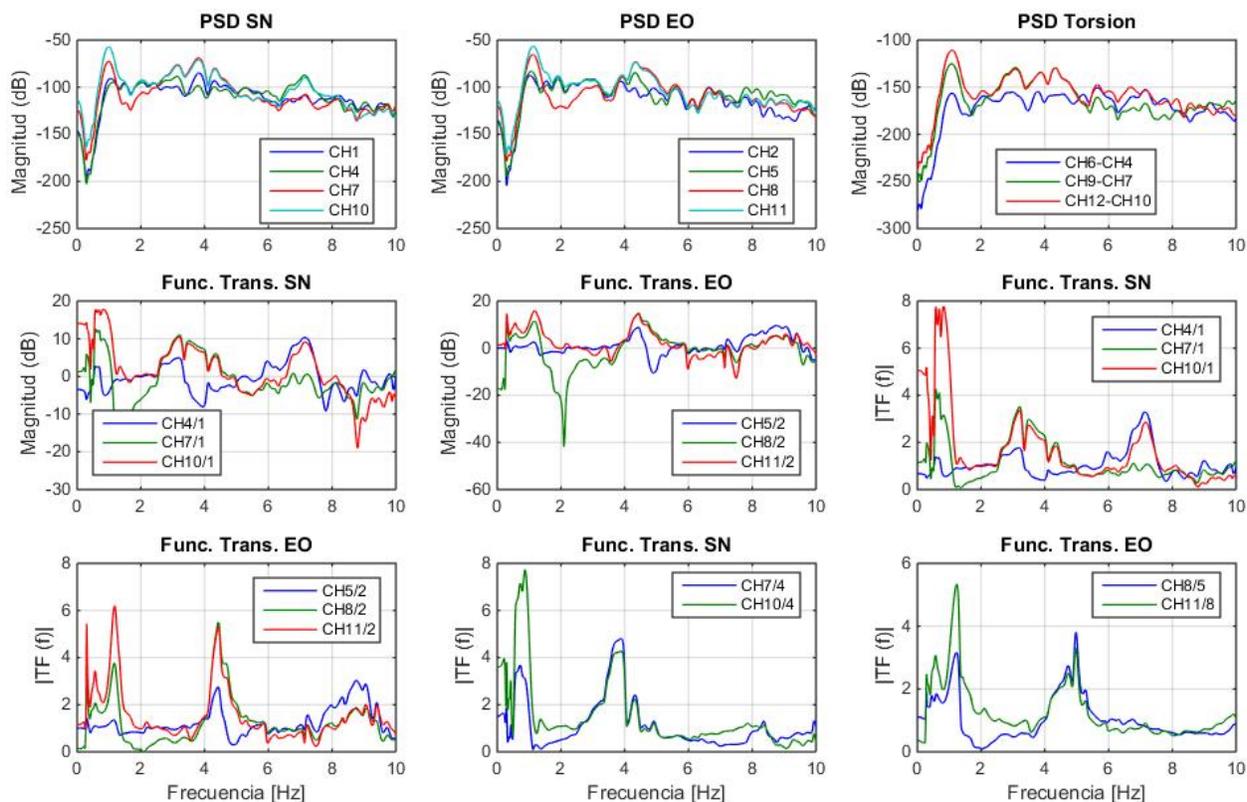


Figura 46: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 19-05-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

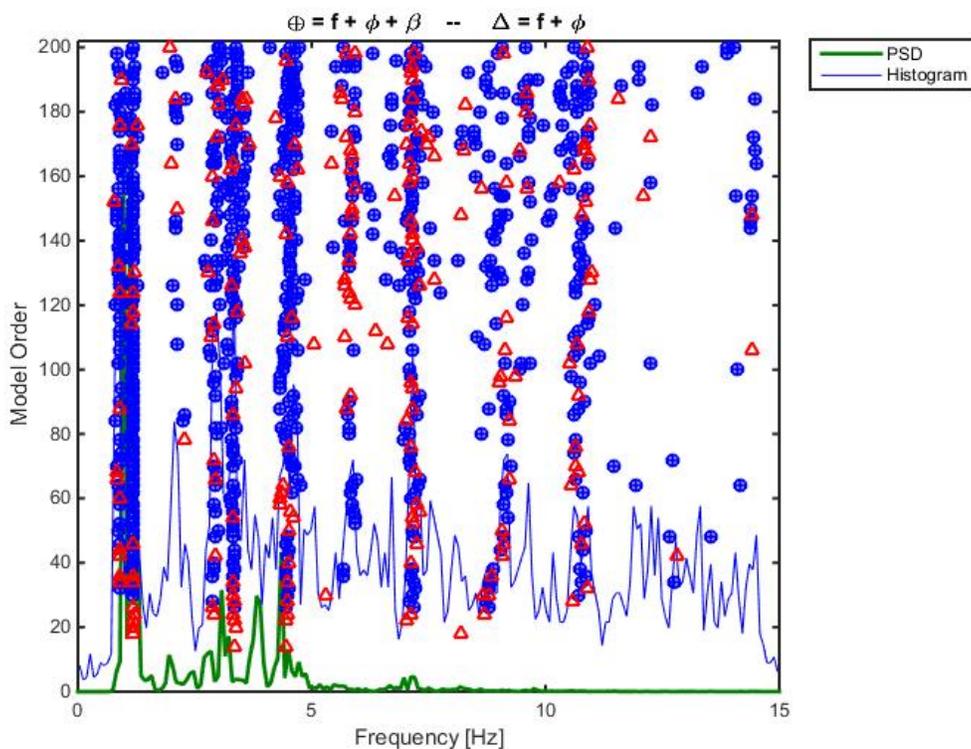


Figura 47: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 19-05-2018

Tabla 22: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

$f [Hz]$	$\sigma \%$	$\beta \%$	$\sigma \%$	N
0.889	1.14	5.48	0.13	5
1.175	1.28	4.13	0.13	17
2.113	1.91	2.47	0.06	8
2.934	3.44	4.56	0.14	15
3.348	3.51	3.72	0.11	13
4.554	5.64	4.08	0.13	13
5.891	7.35	1.13	0.03	9
6.204	7.86	3.86	0.11	6
6.869	12.97	4.55	0.11	6
7.198	10.61	3.63	0.11	11
9.135	11.49	2.94	0.10	11
10.624	14.76	2.88	0.08	12
13.155	21.43	1.99	0.02	6
14.226	21.57	0.97	0.02	9
15.469	22.42	1.71	0.06	7
16.096	8.83	3.85	0.10	6
16.946	24.81	1.05	0.02	7
17.801	10.94	1.62	0.05	9
18.778	8.48	1.03	0.04	7

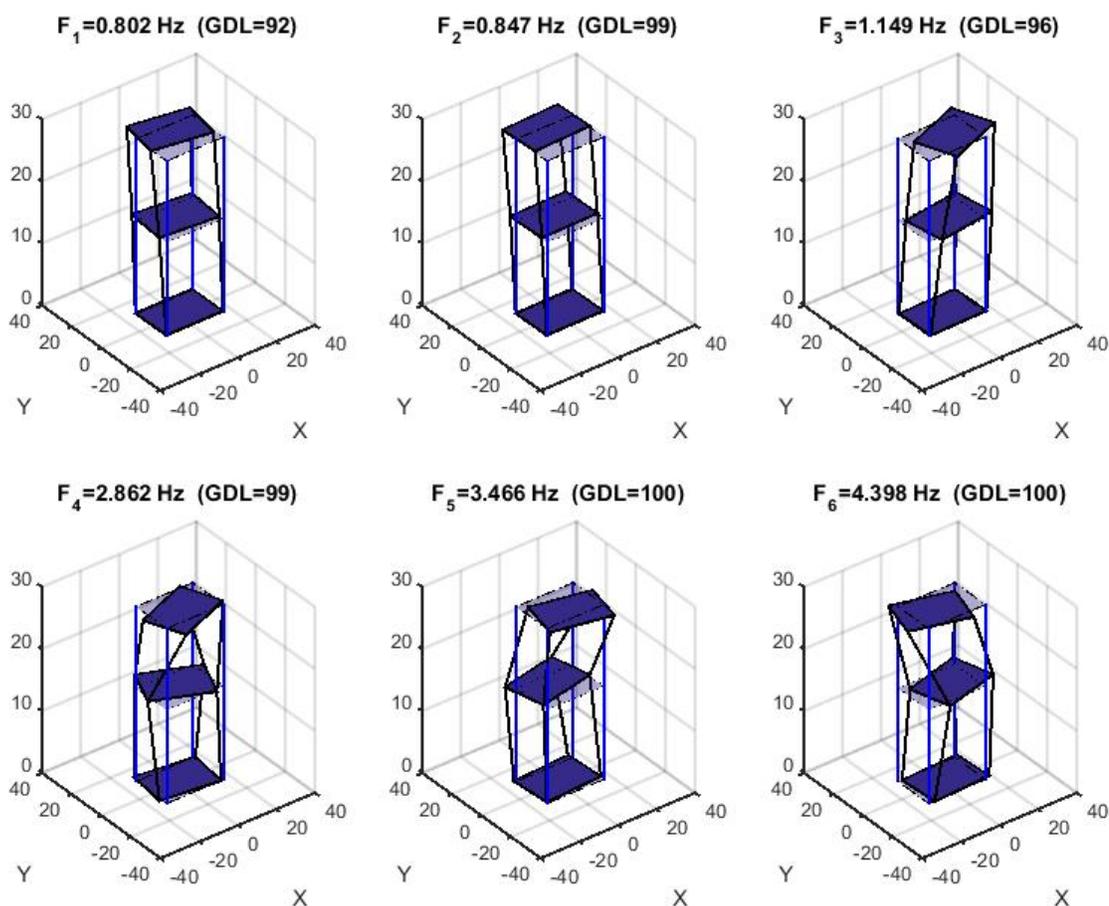


Figura 48: Formas Modales asociadas al evento del 19-05-2018

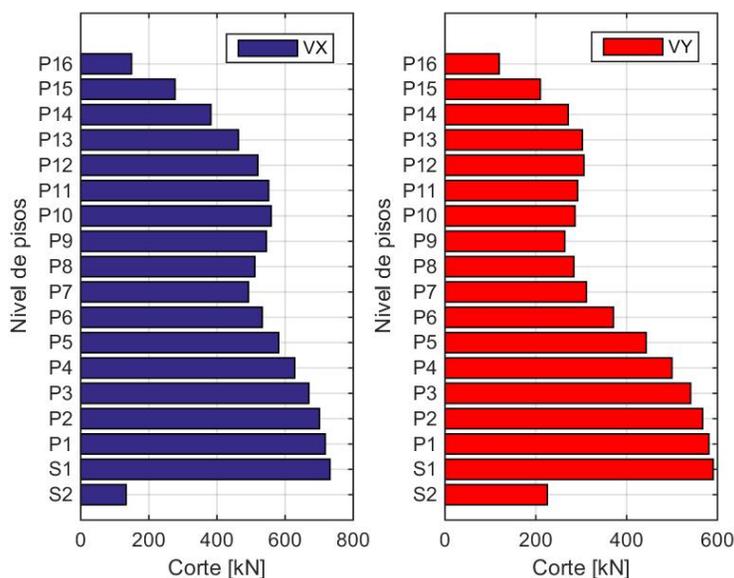


Figura 49: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 19-05-2018.

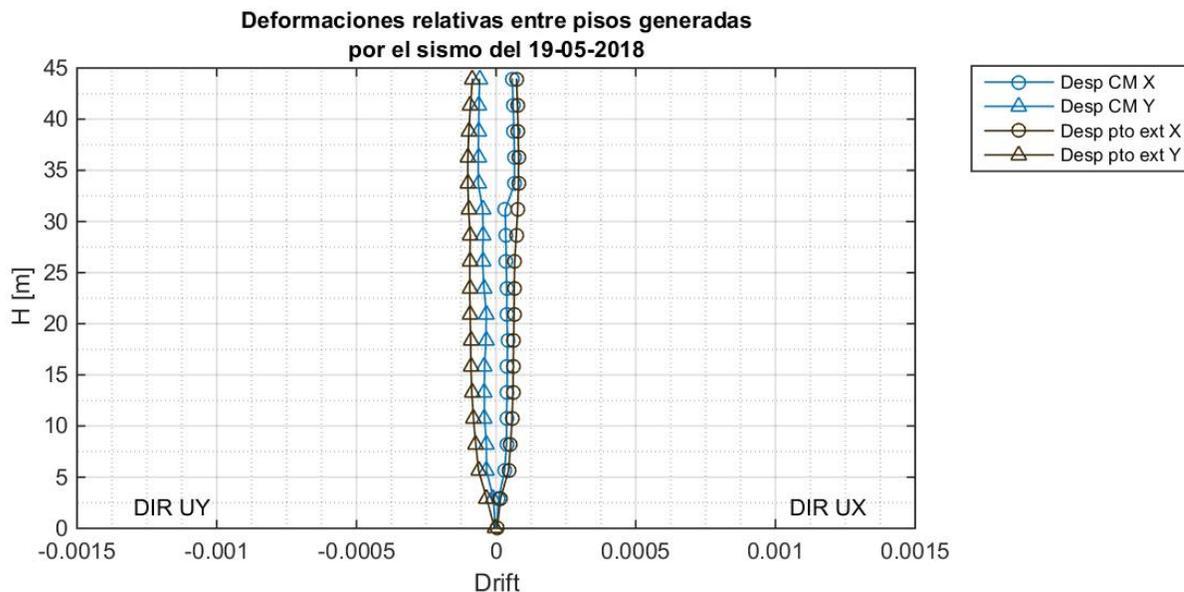


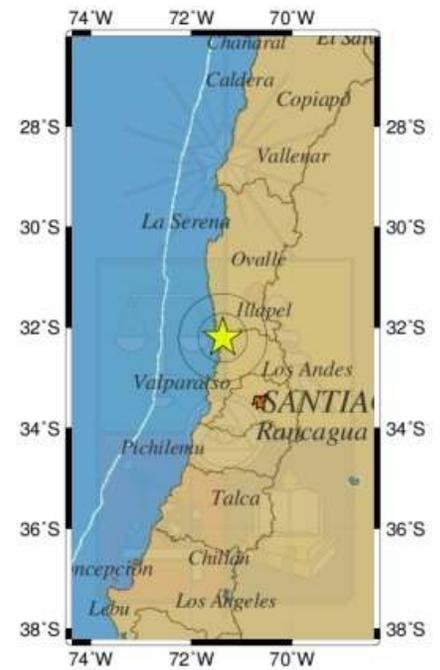
Figura 50: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 19-05-2018.

# Informe de sismo percibido

← Volver

## Hipocentro

Hora Local	02:43:40 19/05/2018
Hora UTC	06:43:40 19/05/2018
Latitud	-32.207
Longitud	-71.373
Profundidad	36.8 Km
Magnitud	4.7 Mw GUC
Referencia	30 km al NO de La Ligua



**Reporte de intensidades (<http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-menor-intensidad-en-la-region-de-valparaiso-287/>)**

## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis 02:57 Hrs. 19/05/2018

## 11. Evento del 16-07-2018

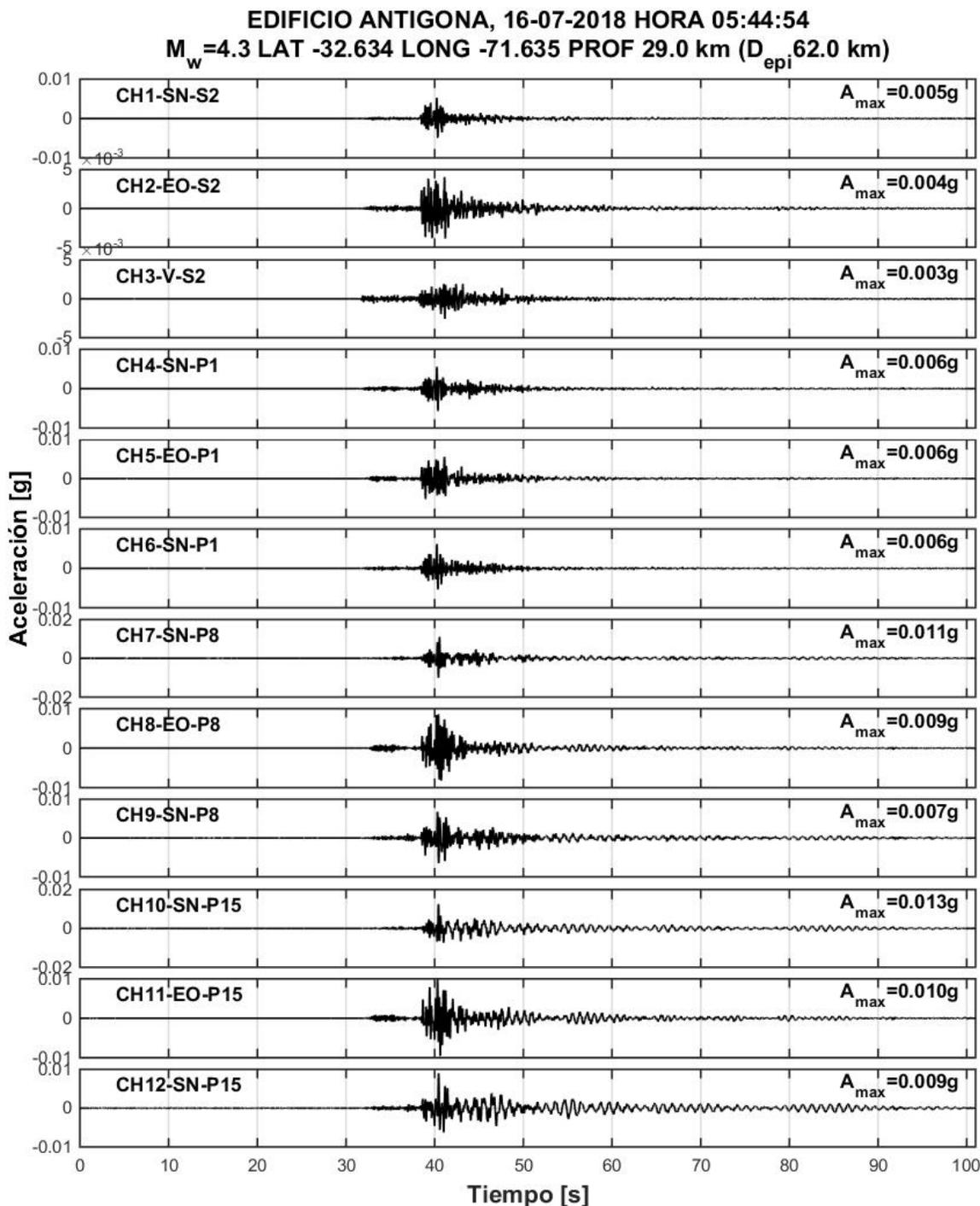


Figura 51: Registros del 16-07-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

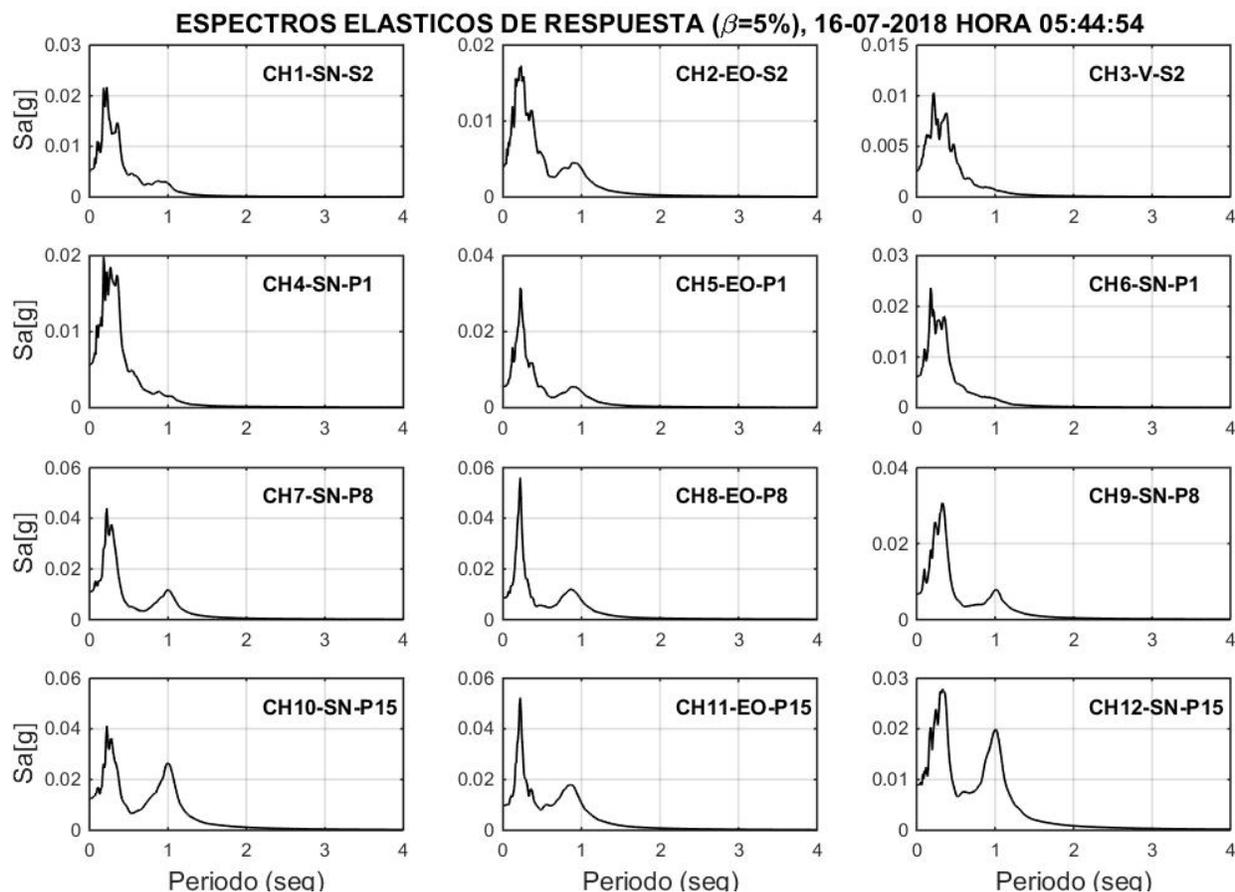


Figura 52: Espectro elástico asociado al evento del 16-07-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

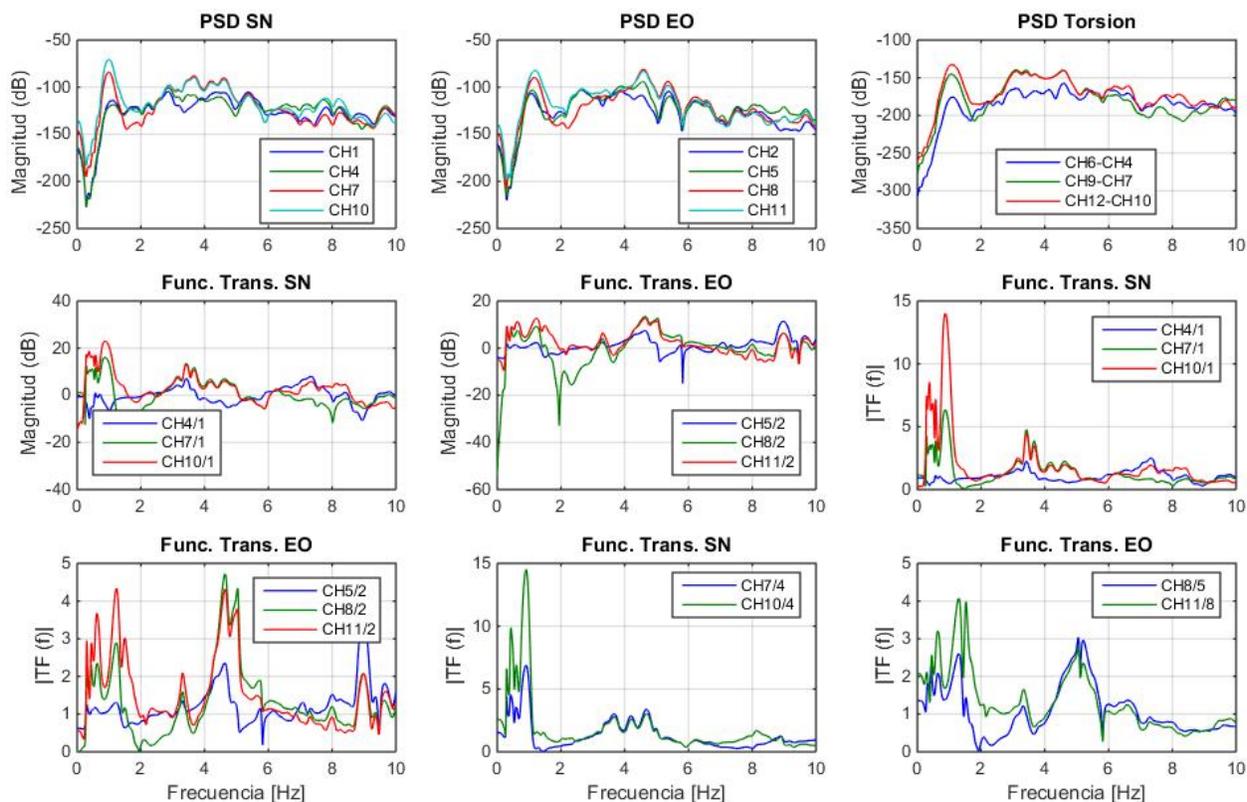


Figura 53: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 16-07-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

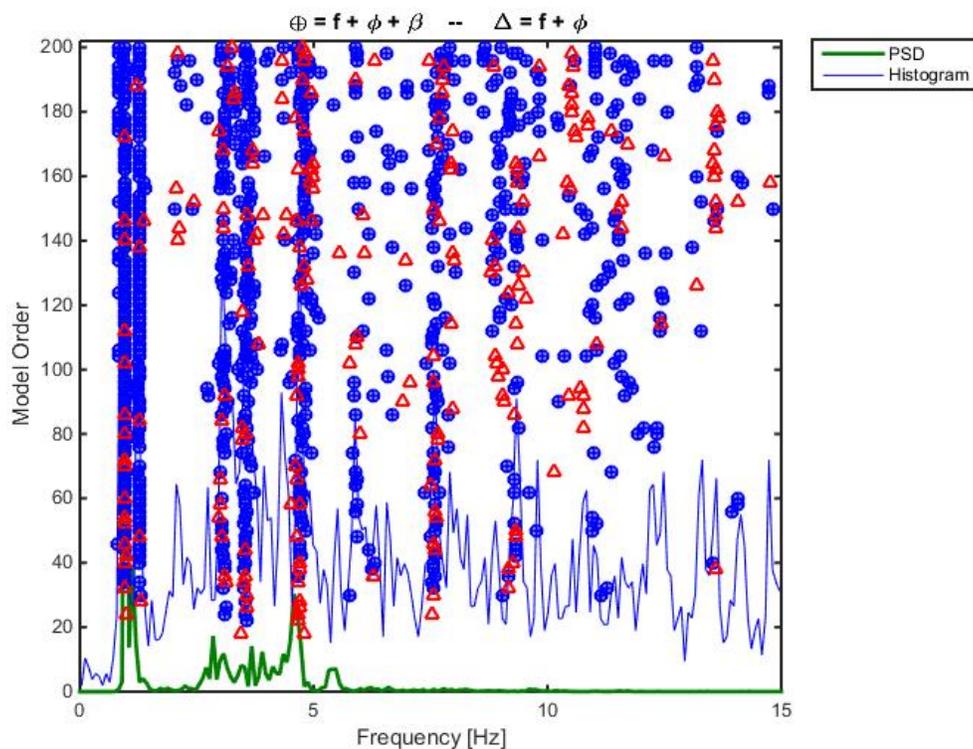


Figura 54: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 16-07-2018

Tabla 23: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.844	0.49	3.88	0.12	10
0.957	0.48	2.55	0.08	26
1.268	0.76	3.31	0.09	19
3.094	3.44	4.16	0.14	9
3.576	4.48	3.69	0.14	15
4.408	8.20	4.69	0.09	7
4.735	6.89	3.11	0.10	11
5.900	6.74	3.54	0.10	8
6.348	8.74	3.87	0.12	7
6.923	11.90	2.18	0.05	5
7.617	7.30	2.90	0.08	16
9.294	7.08	2.52	0.09	13
9.811	4.90	0.71	0.03	5
11.283	12.69	5.54	0.16	8
12.355	10.67	2.36	0.07	8
13.235	7.65	1.14	0.03	6
13.935	15.98	2.45	0.07	7
15.580	8.21	1.82	0.06	10
16.072	21.82	4.58	0.11	5
16.658	6.67	0.90	0.03	8
18.632	20.46	1.54	0.05	5
20.576	30.36	1.62	0.04	5

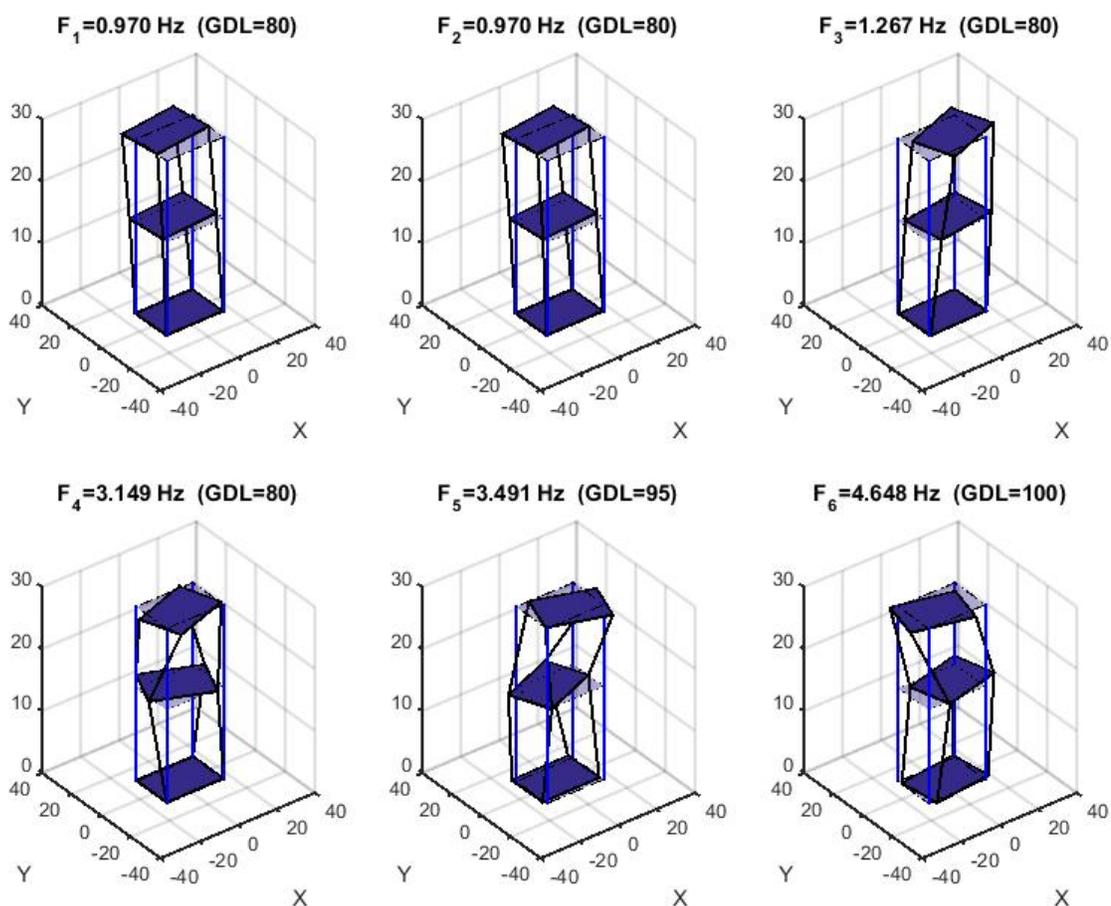


Figura 55: Formas Modales asociadas al evento del 16-07-2018

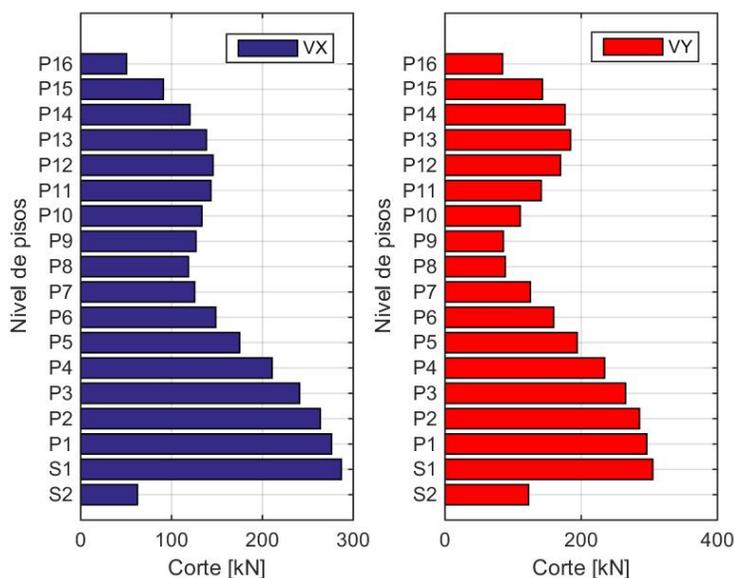


Figura 56: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 16-07-2018.

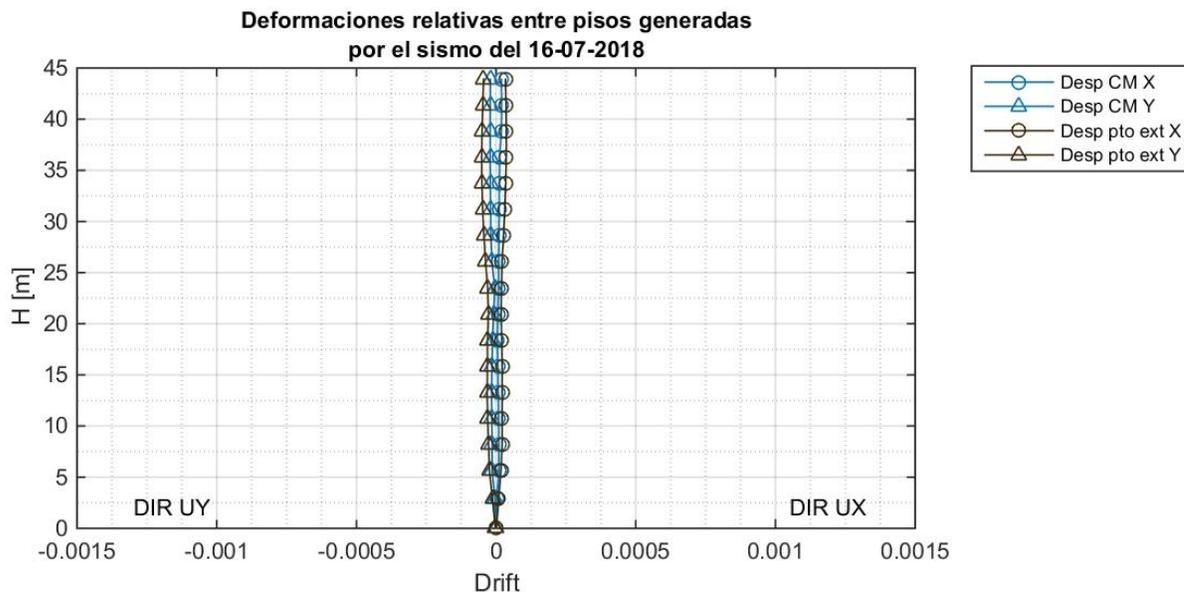


Figura 57: Desplazamiento relativo entrepiso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 16-07-2018.

# Informe de sismo percibido

← Volver

## Hipocentro

Hora Local	05:44:54 16/07/2018
Hora UTC	09:44:54 16/07/2018
Latitud	-32.634
Longitud	-71.635
Profundidad	29.0 Km
Magnitud	4.3 Mw GUC
Referencia	43 km al SO de La Ligua



**Reporte de intensidades (<http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-menor-intensidad-en-la-region-de-valparaiso-292/>)**

## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis 16/07/2018 06:00 hrs. Rev y Act.: 19/07/2018

## 12. Evento del 30-08-2018

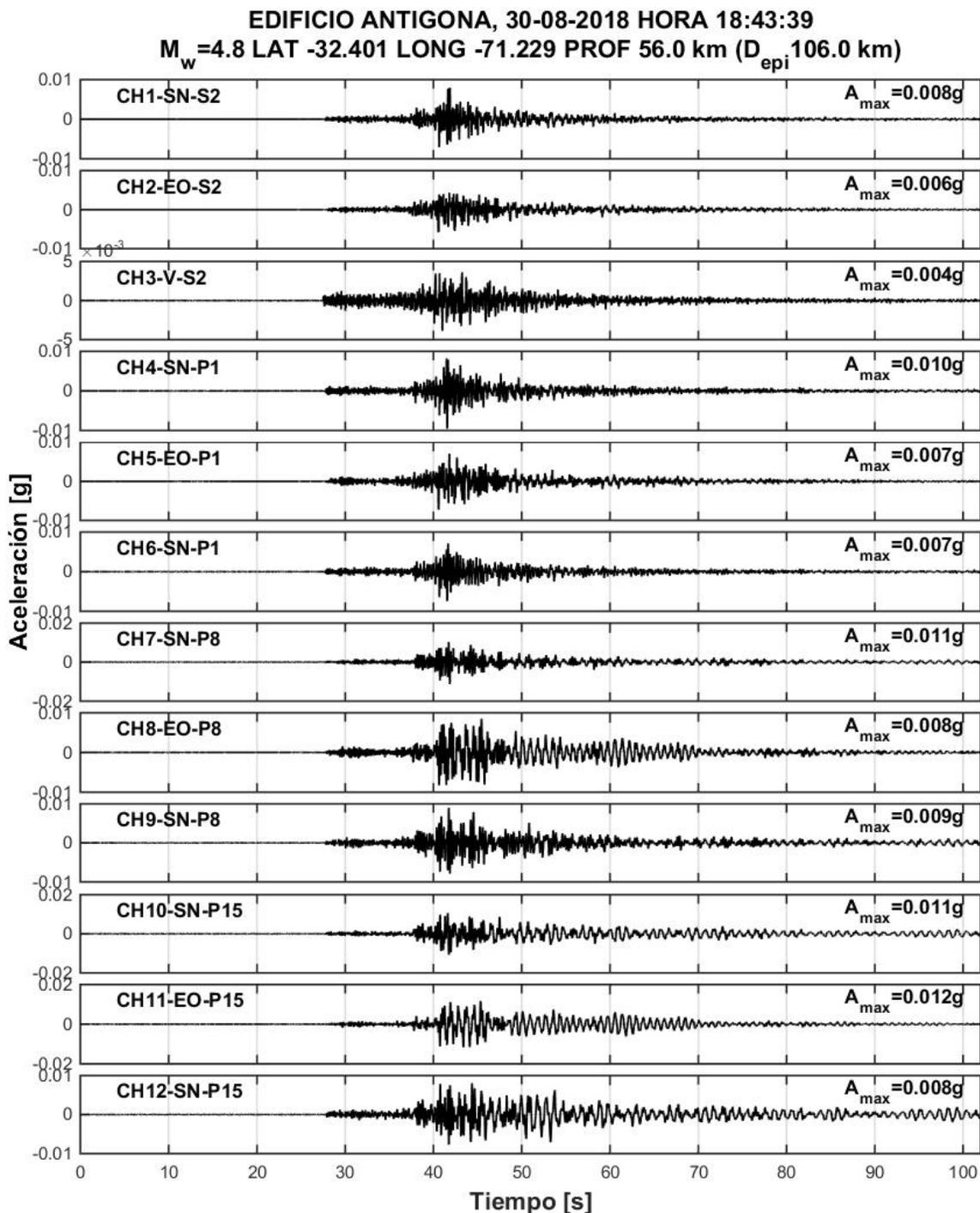


Figura 58: Registros del 30-08-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

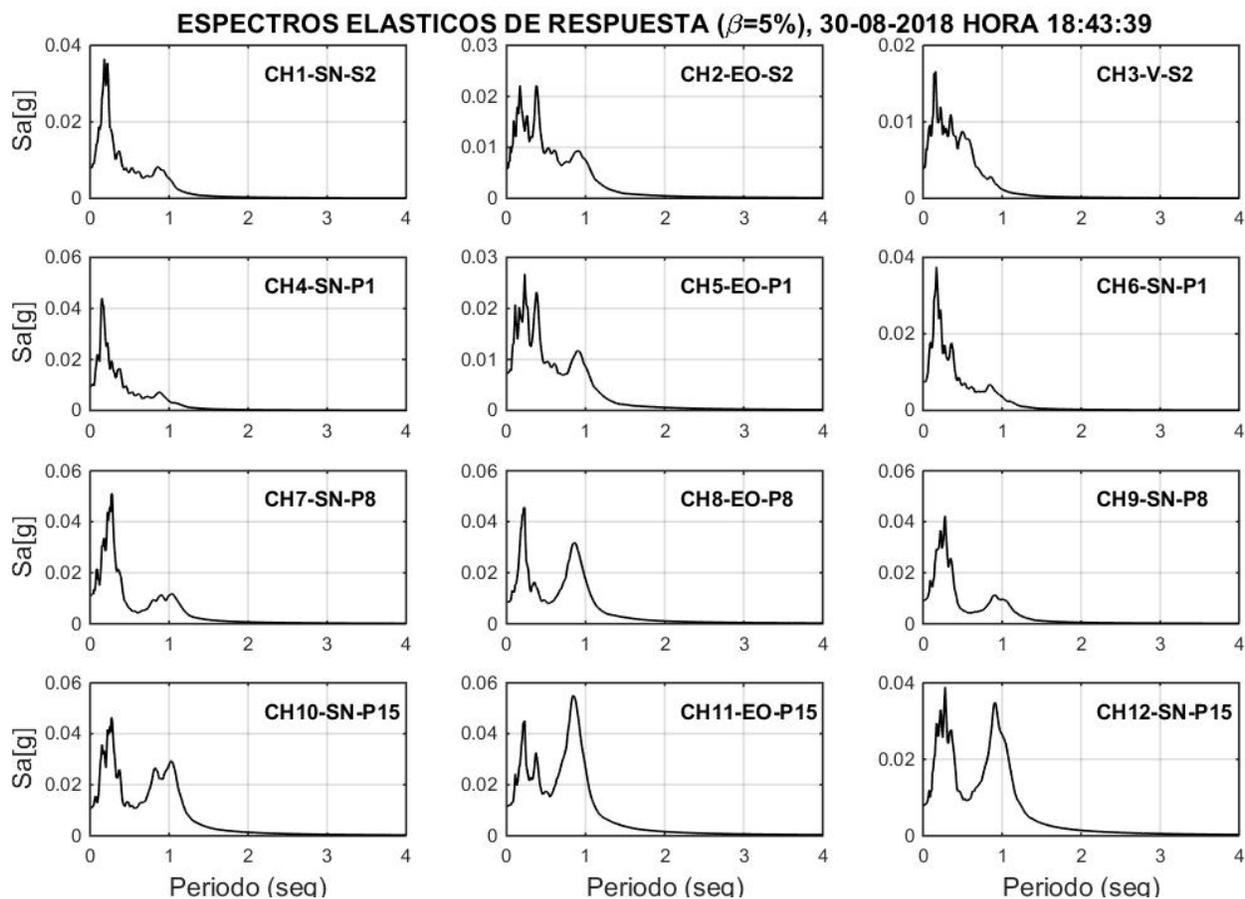


Figura 59: Espectro elástico asociado al evento del 30-08-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

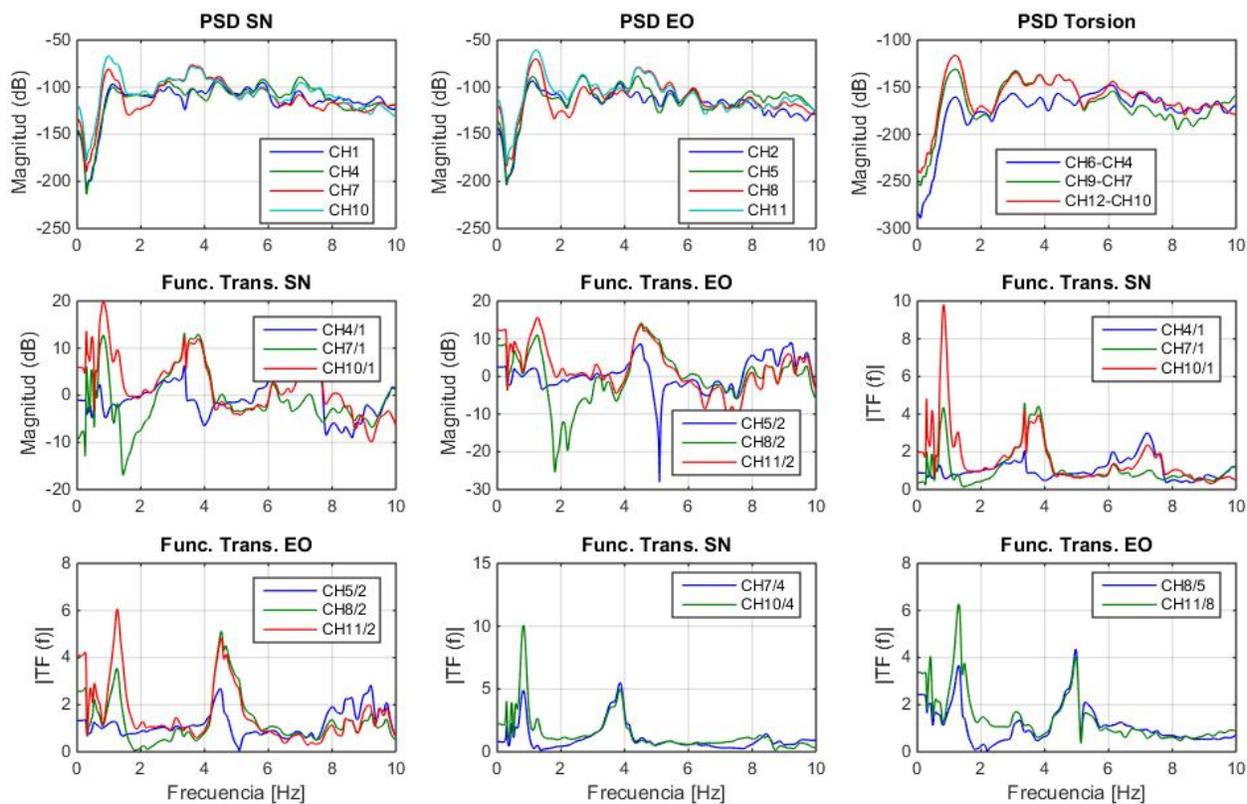


Figura 60: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 30-08-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

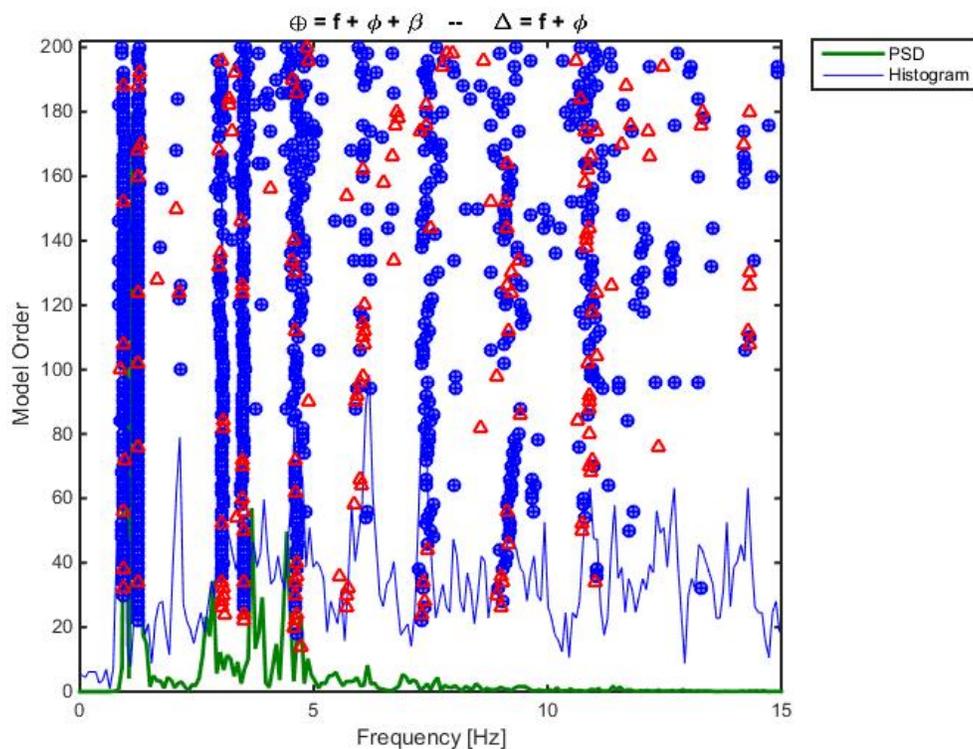


Figura 61: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 30-08-2018

Tabla 24: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.931	0.90	3.24	0.11	16
1.247	1.41	3.78	0.08	28
3.043	2.28	2.24	0.07	19
3.504	2.33	4.29	0.12	14
3.980	6.14	2.30	0.07	5
4.630	5.66	3.38	0.12	19
5.805	5.98	2.27	0.07	7
6.131	7.91	1.16	0.04	13
7.471	10.35	3.84	0.10	18
9.176	13.00	3.16	0.08	15
10.398	17.88	1.88	0.04	6
12.726	16.79	1.52	0.03	8
14.279	11.98	1.49	0.04	10
15.633	24.51	2.16	0.06	10
17.499	15.55	1.62	0.05	10
24.922	1.67	0.57	0.02	8

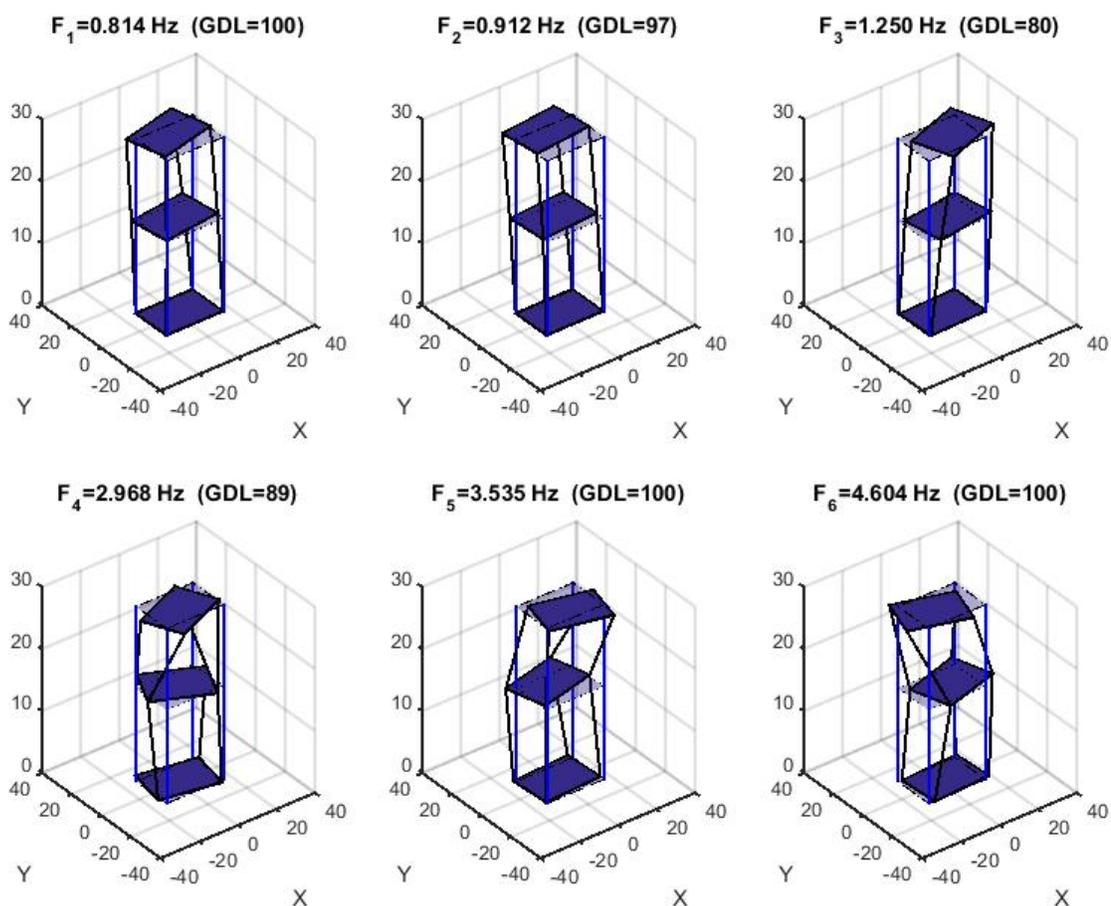


Figura 62: Formas Modales asociadas al evento del 30-08-2018

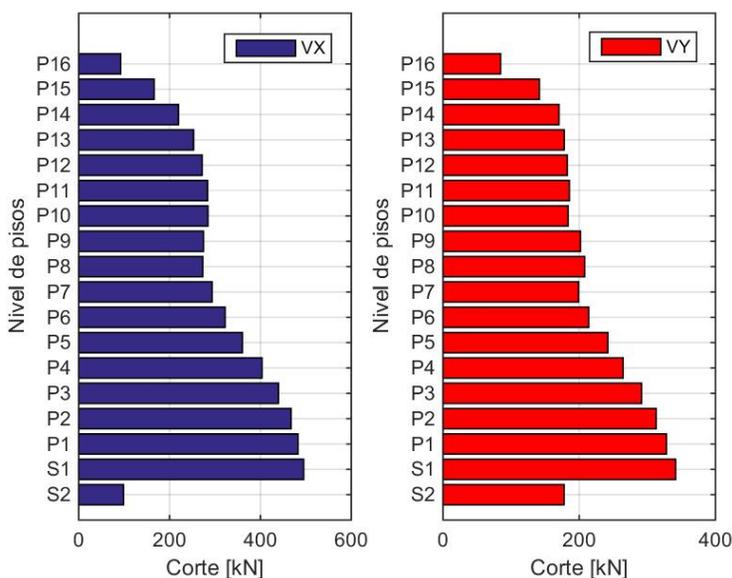


Figura 63: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 30-08-2018.

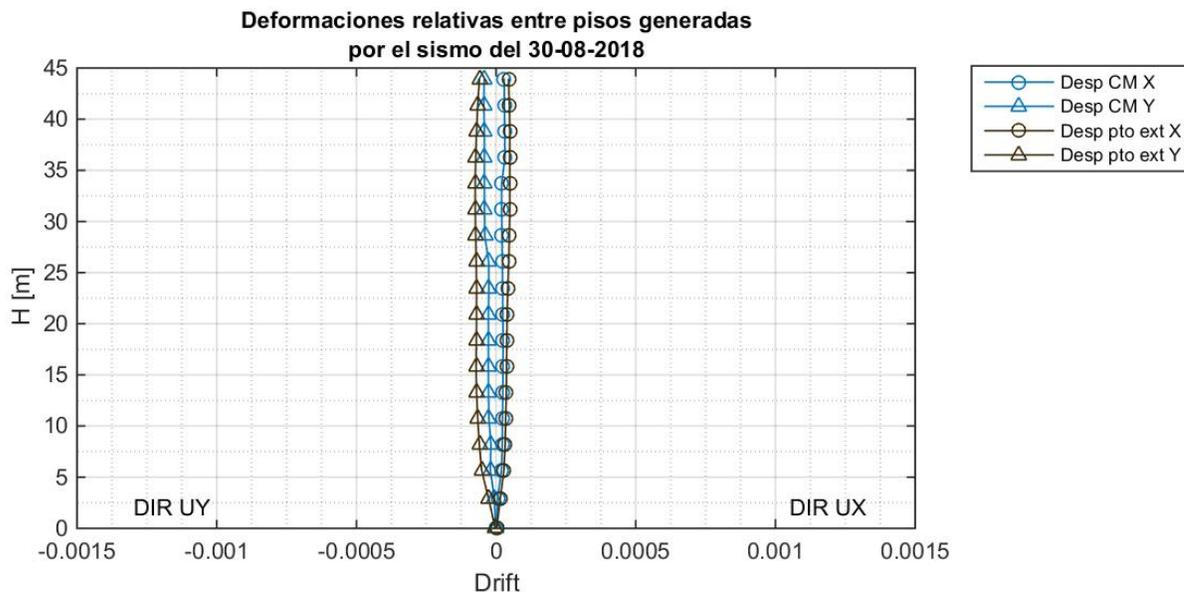


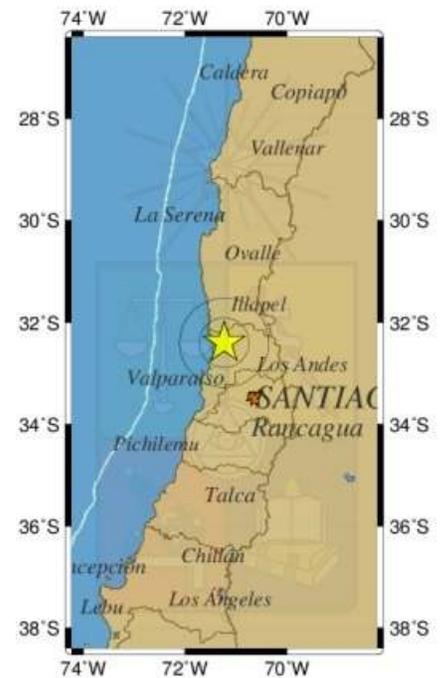
Figura 64: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 30-08-2018.

# Informe de sismo percibido

← Volver

## Hipocentro

Hora Local	18:43:39 30/08/2018
Hora UTC	21:43:39 30/08/2018
Latitud	-32.401
Longitud	-71.229
Profundidad	56.0 Km
Magnitud	4.8 Mw GUC
Referencia	5 km al N de La Ligua



**Reporte de intensidades (<http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-mediana-intensidad-en-las-regiones-de-coquimbo-valparaiso-y-metropolitana-5/>)**

## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis 19:00 Hrs. 30/08/2018 Act.(19:24)

### 13. Evento del 01-12-2018

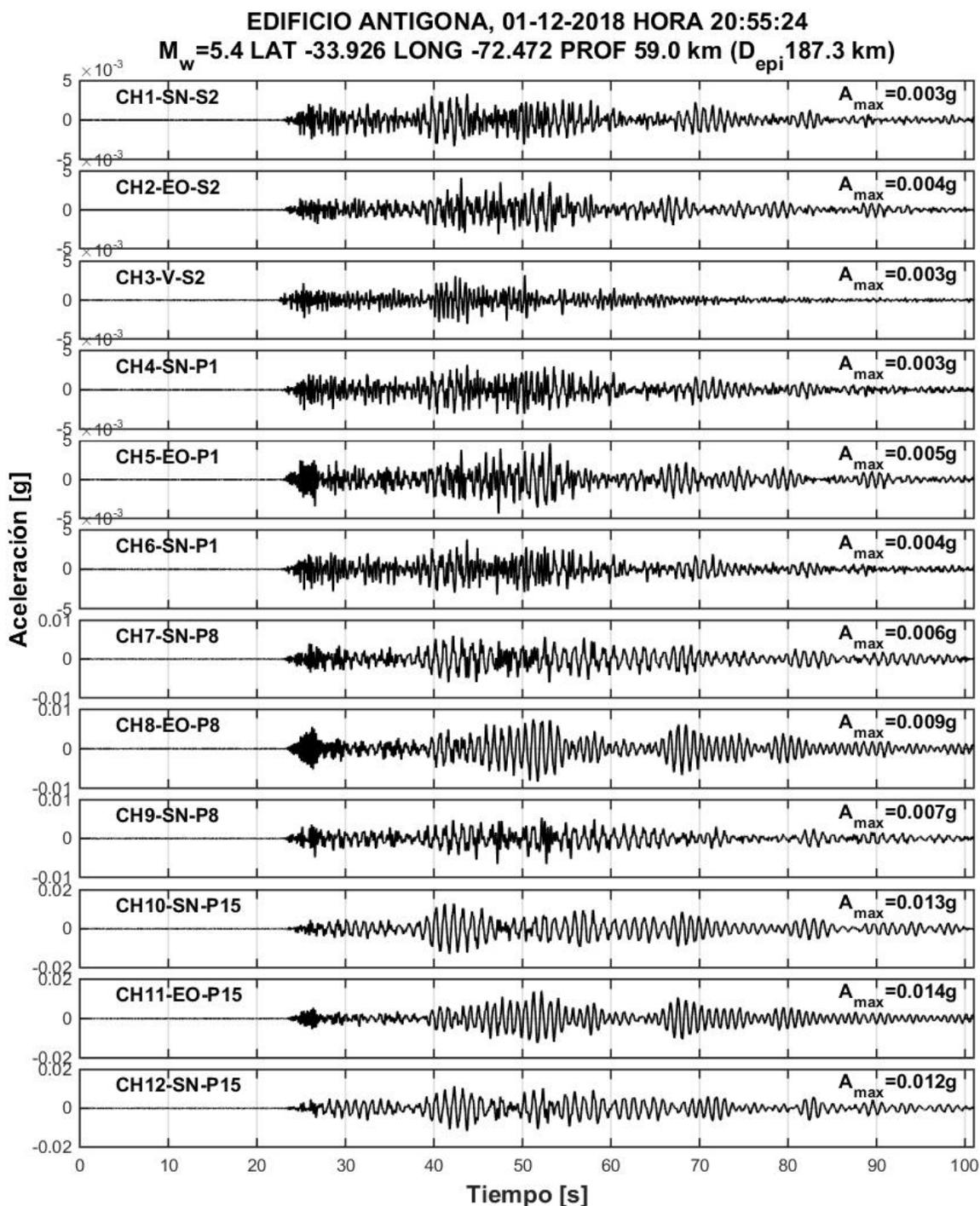


Figura 65: Registros del 01-12-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

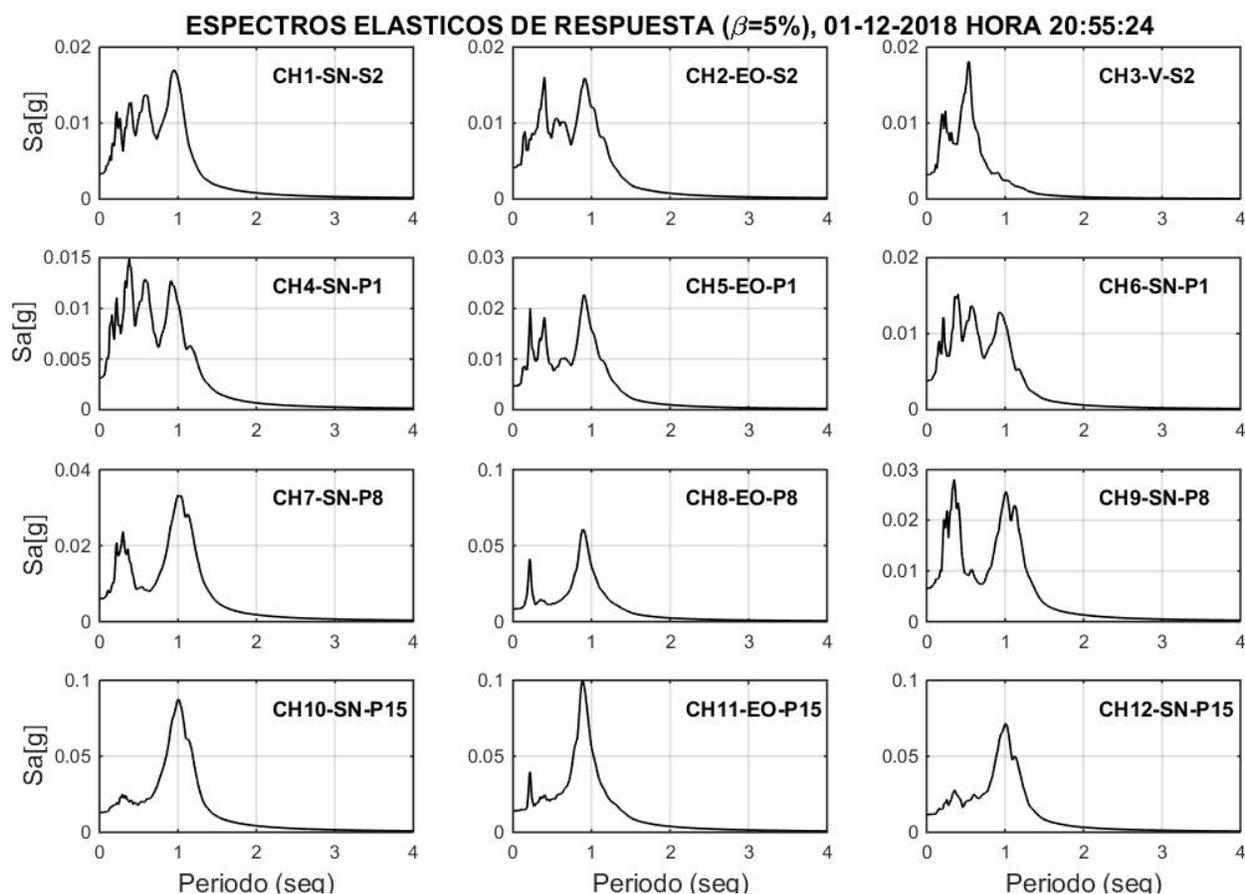


Figura 66: Espectro elástico asociado al evento del 01-12-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

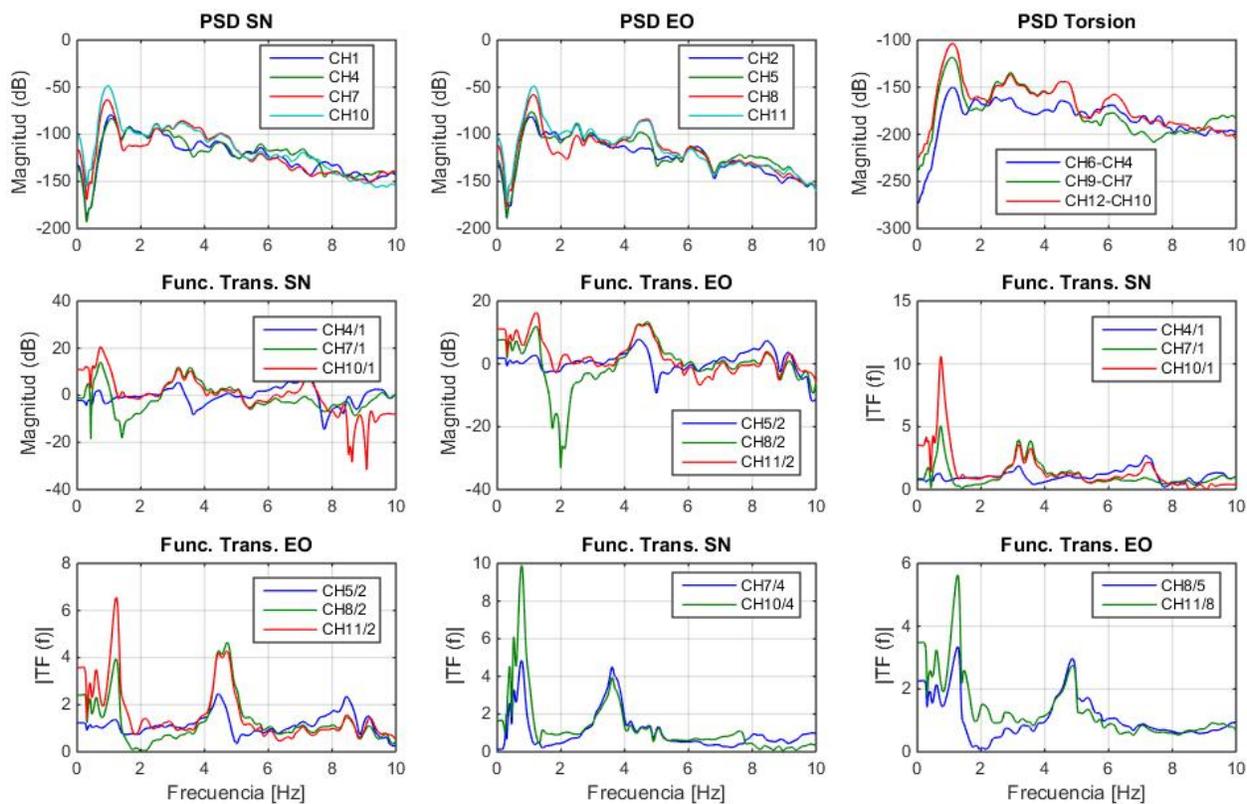


Figura 67: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 01-12-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

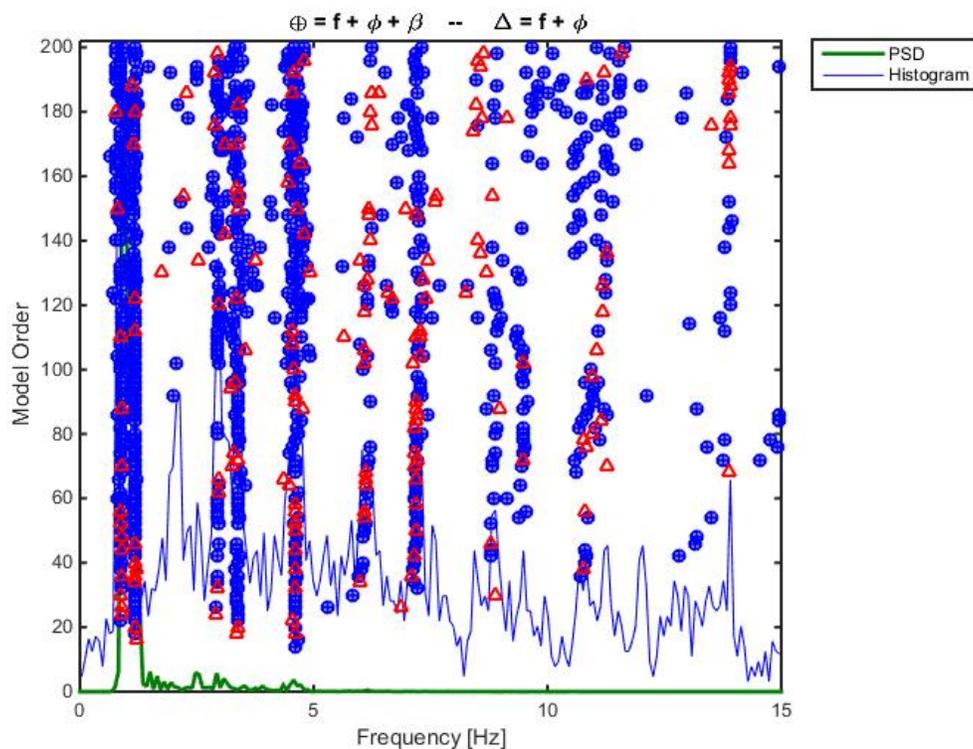


Figura 68: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 01-12-2018

Tabla 25: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.780	0.32	4.70	0.14	11
0.886	1.18	2.96	0.07	12
0.934	1.03	3.02	0.09	6
1.185	0.50	3.87	0.11	23
2.950	3.52	3.55	0.08	14
3.375	4.06	3.48	0.11	16
3.796	2.49	2.31	0.08	5
4.620	5.29	2.73	0.07	16
6.143	4.90	2.49	0.07	13
6.469	9.40	2.24	0.07	5
7.230	6.89	3.51	0.09	15
8.866	10.27	3.96	0.11	17
10.938	14.55	6.40	0.14	9
11.996	8.10	1.20	0.03	6
13.240	20.89	1.96	0.07	11
15.246	22.09	1.78	0.05	15
17.298	12.61	3.81	0.10	12

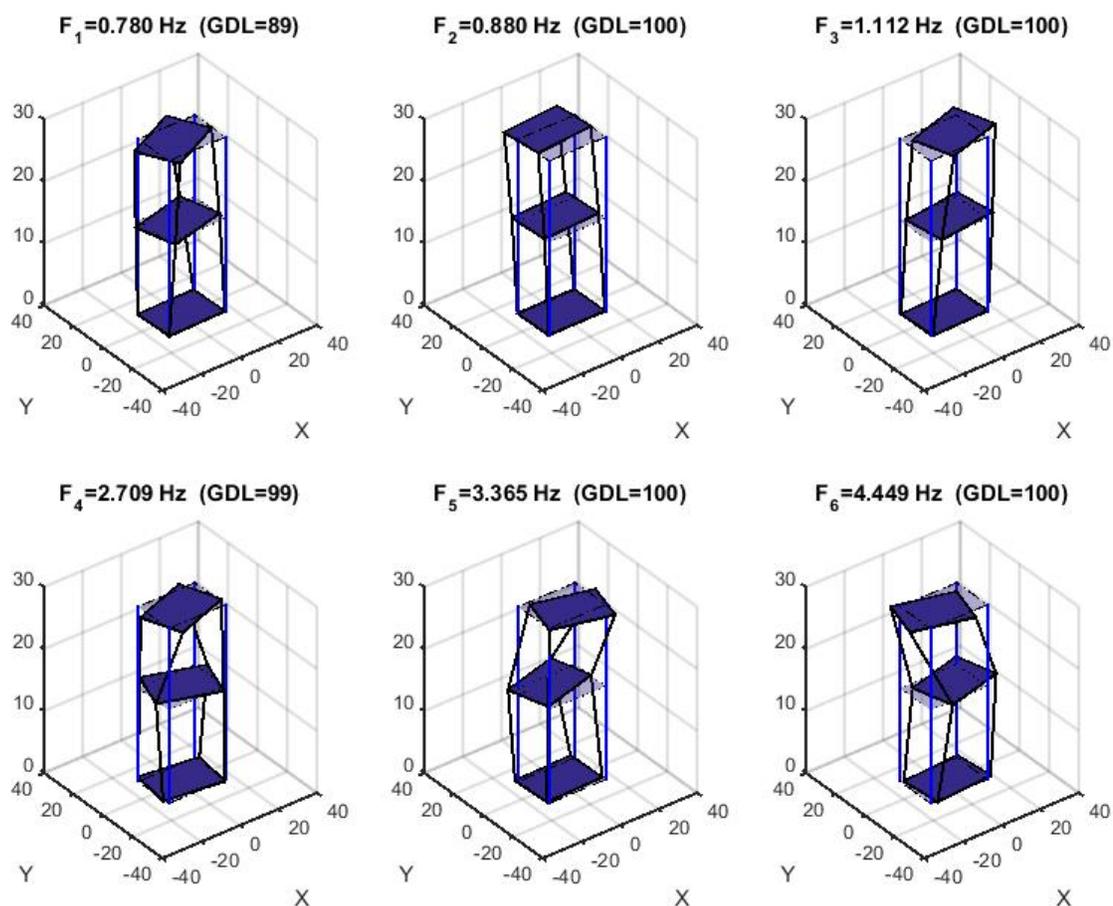


Figura 69: Formas Modales asociadas al evento del 01-12-2018

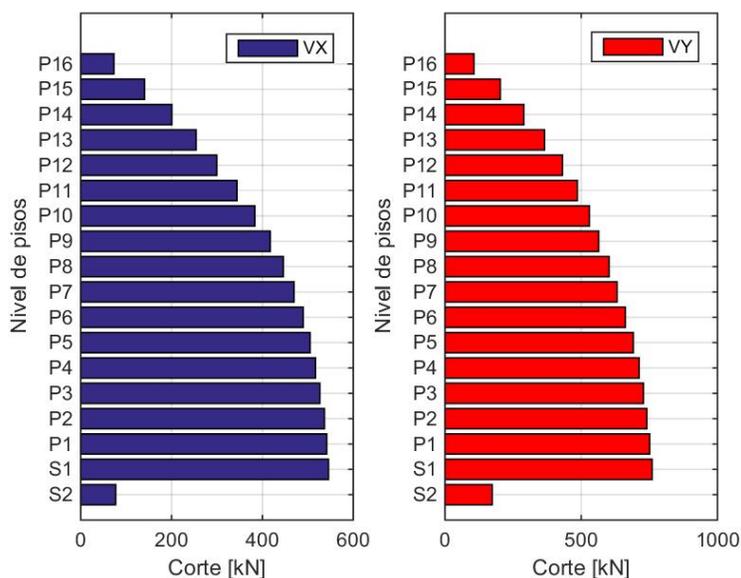


Figura 70: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 01-12-2018.

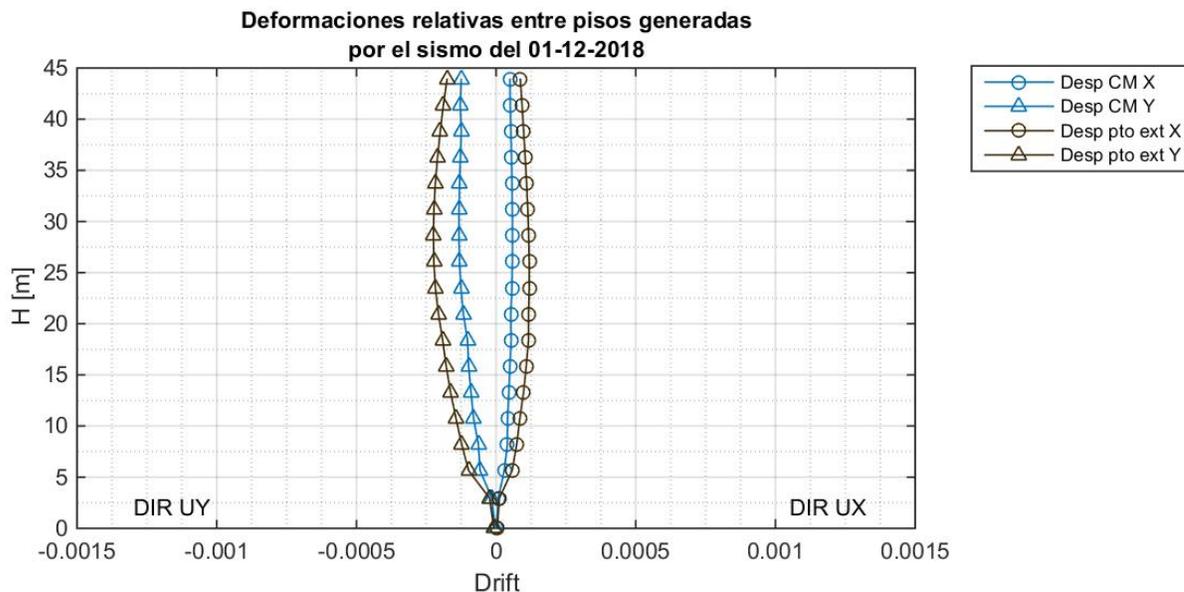


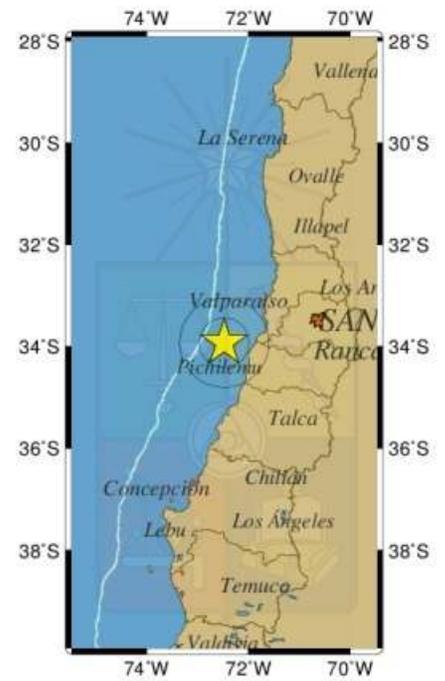
Figura 71: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 01-12-2018.

# Informe de sismo percibido

← Volver

## Hipocentro

Hora Local	20:55:24 01/12/2018
Hora UTC	23:55:24 01/12/2018
Latitud	-33.926
Longitud	-72.472
Profundidad	36.4 Km
Magnitud	5.4 Mww GUC
Referencia	59 km al O de Navidad



**[Reporte de intensidades \(http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-mediana-intensidad-en-la-region-de-ohiggins-2/\)](http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-mediana-intensidad-en-la-region-de-ohiggins-2/)**

## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis 01/12/2018 21:12 Hrs. Act(21:20 hrs)

## 14. Evento del 05-12-2018

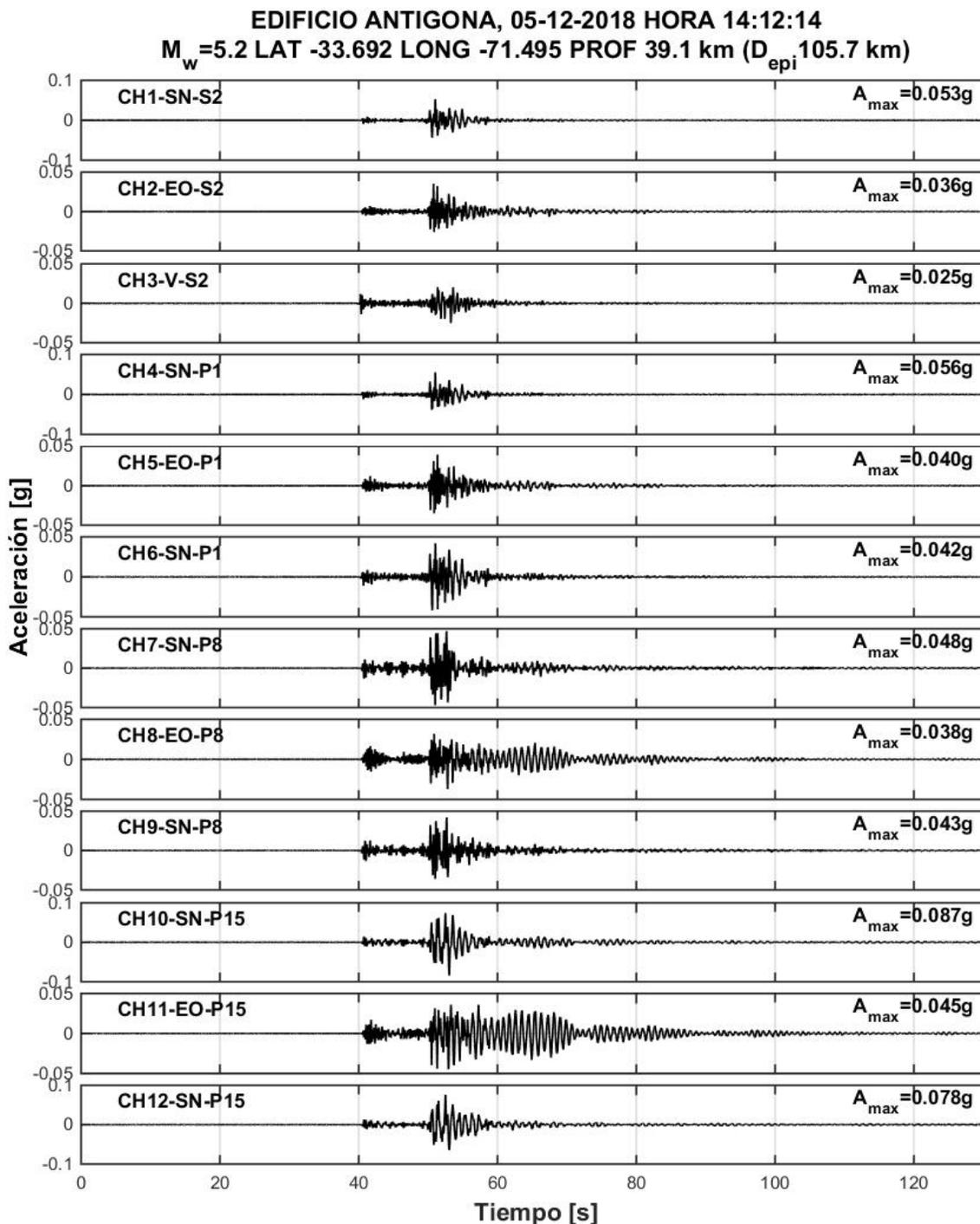


Figura 72: Registros del 05-12-2018

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

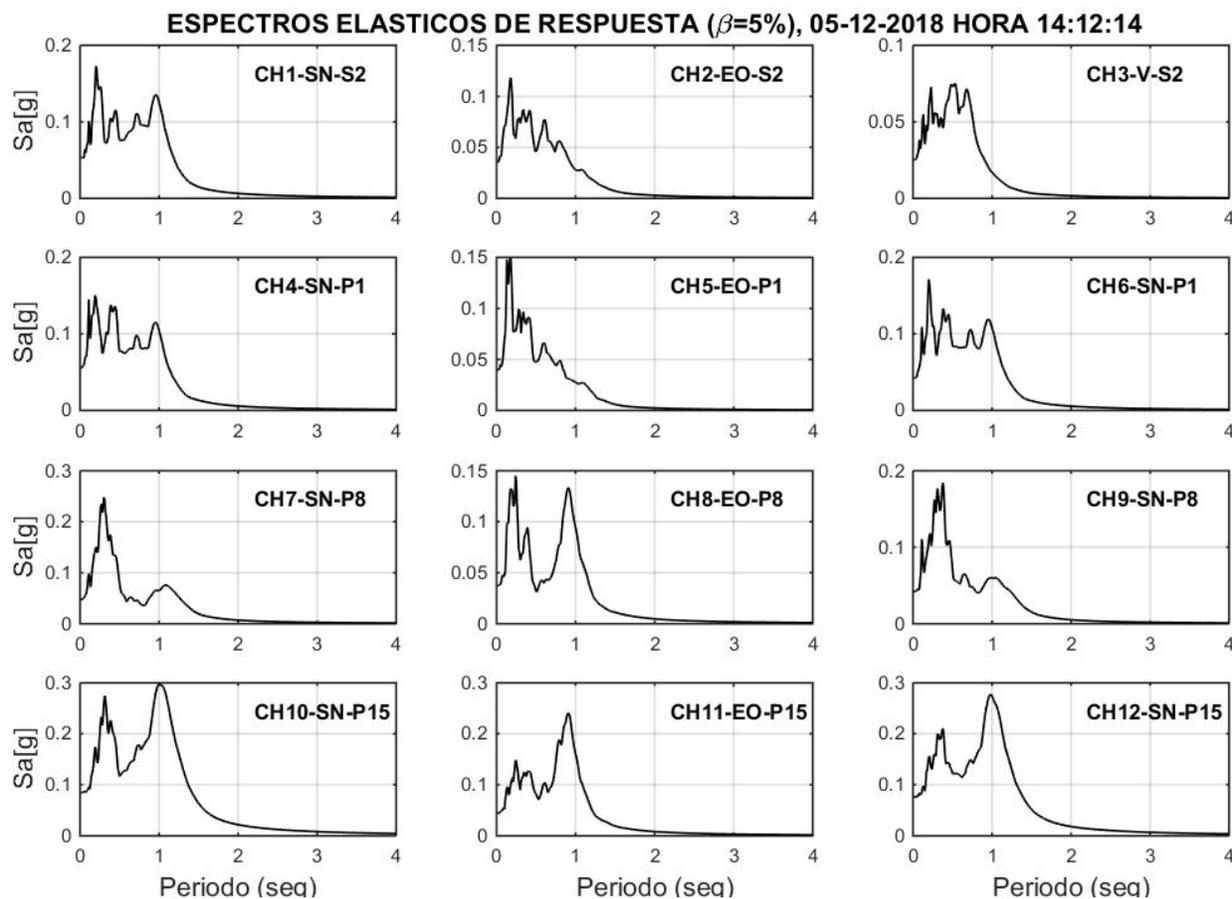


Figura 73: Espectro elástico asociado al evento del 05-12-2018

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

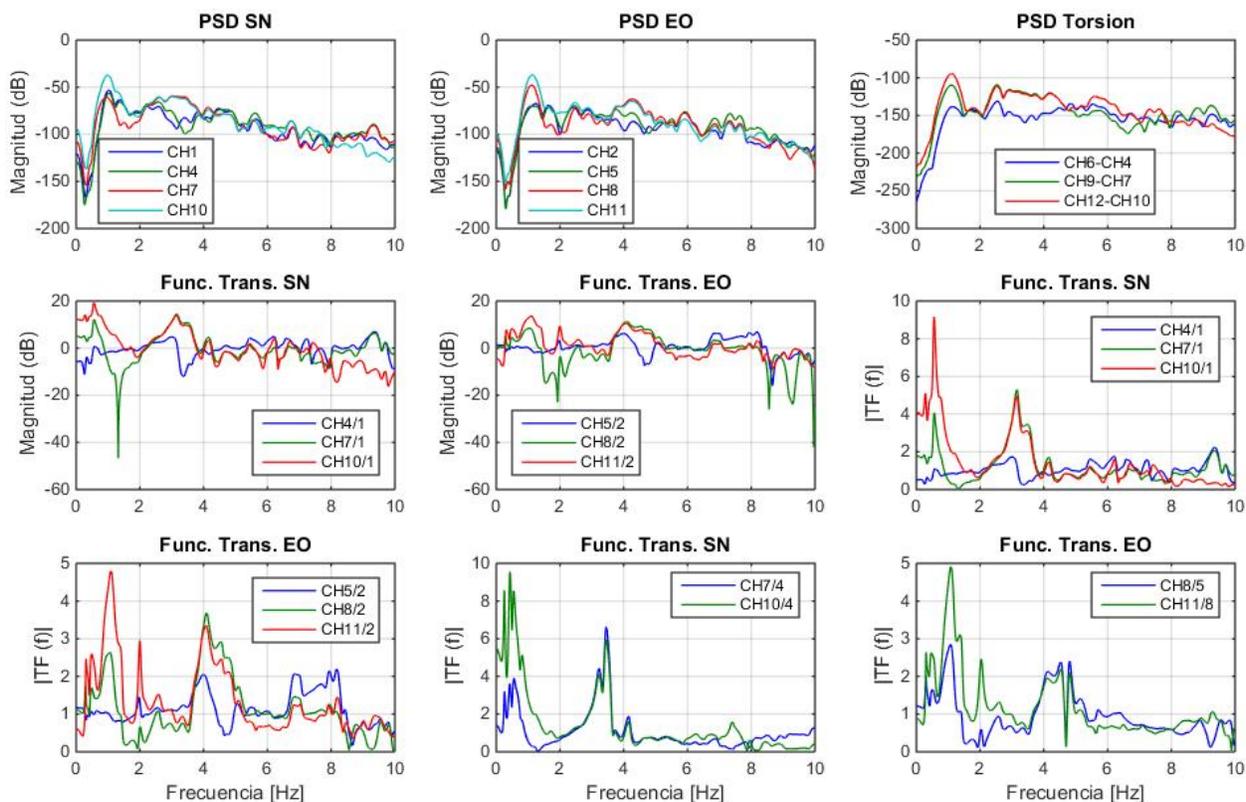


Figura 74: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 05-12-2018

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

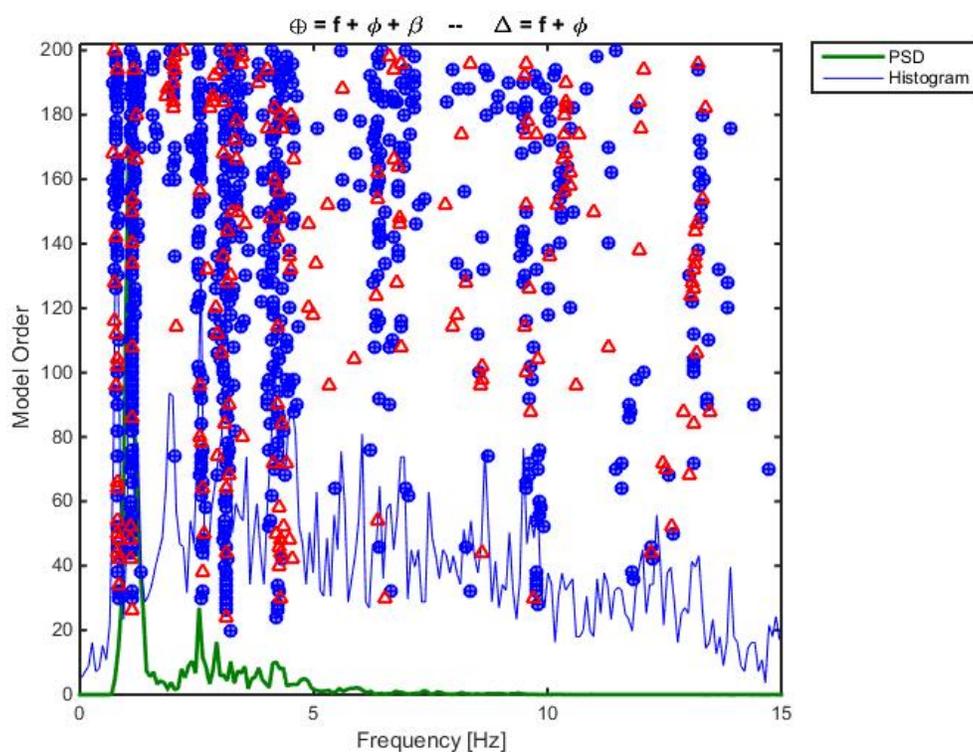


Figura 75: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 05-12-2018

Tabla 26: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

$f [Hz]$	$\sigma \%$	$\beta \%$	$\sigma \%$	N
0.801	0.81	3.35	0.13	7
1.107	1.12	4.73	0.12	13
2.604	3.38	5.44	0.16	18
2.849	3.07	5.80	0.13	6
2.944	1.53	4.04	0.11	6
3.106	4.55	5.53	0.16	11
3.262	6.04	6.58	0.06	5
3.481	3.05	5.85	0.19	5
4.507	6.00	2.57	0.06	9
5.599	10.56	2.41	0.03	5
6.298	4.00	1.67	0.05	8
8.108	7.85	2.12	0.06	7
8.731	9.84	1.61	0.04	7
10.285	16.58	1.01	0.03	10
11.215	12.27	2.13	0.07	6
11.907	15.71	3.70	0.08	7
13.166	20.38	1.85	0.07	8
15.282	23.34	0.96	0.02	6
17.280	27.14	1.67	0.05	9
18.184	2.33	0.41	0.01	6
19.880	13.30	1.72	0.05	5

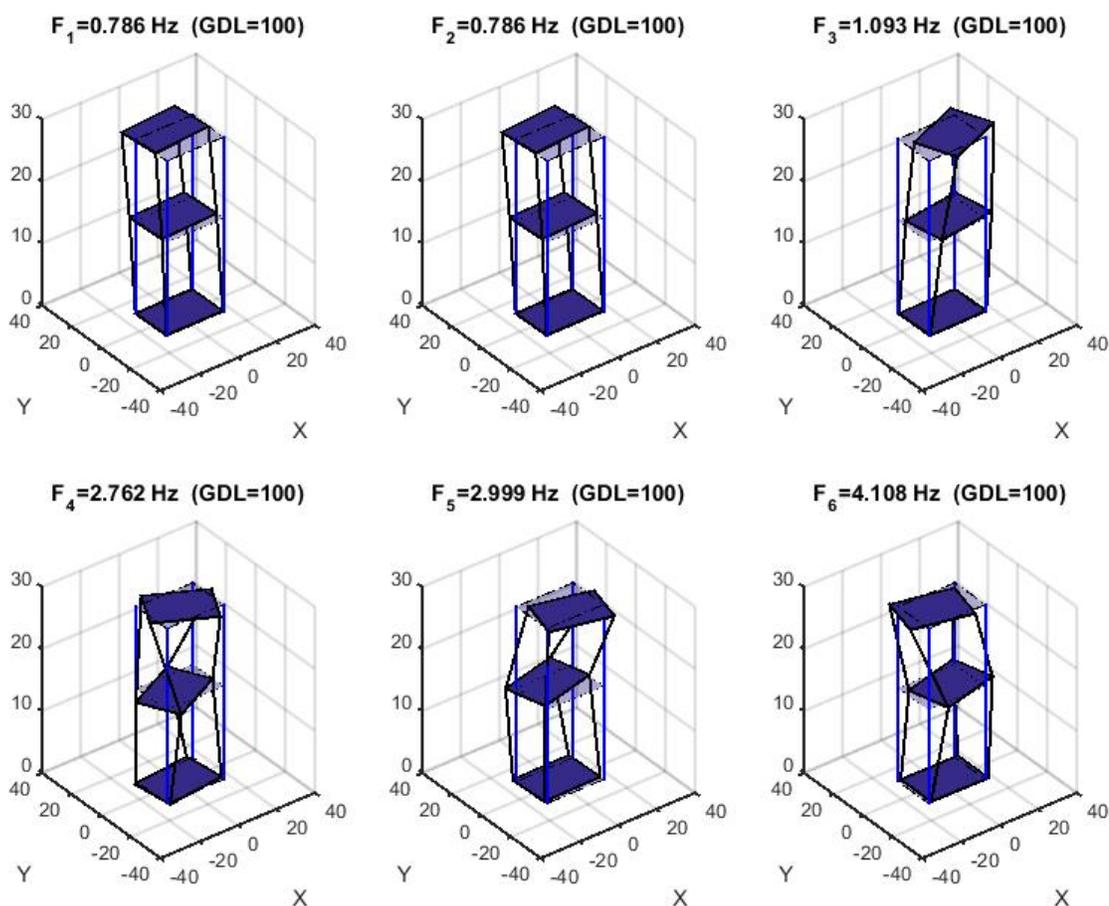


Figura 76: Formas Modales asociadas al evento del 05-12-2018

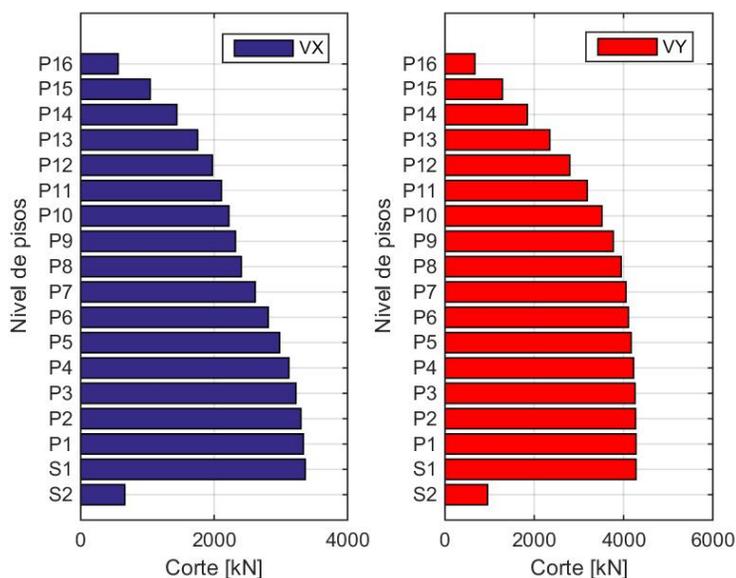


Figura 77: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 05-12-2018.

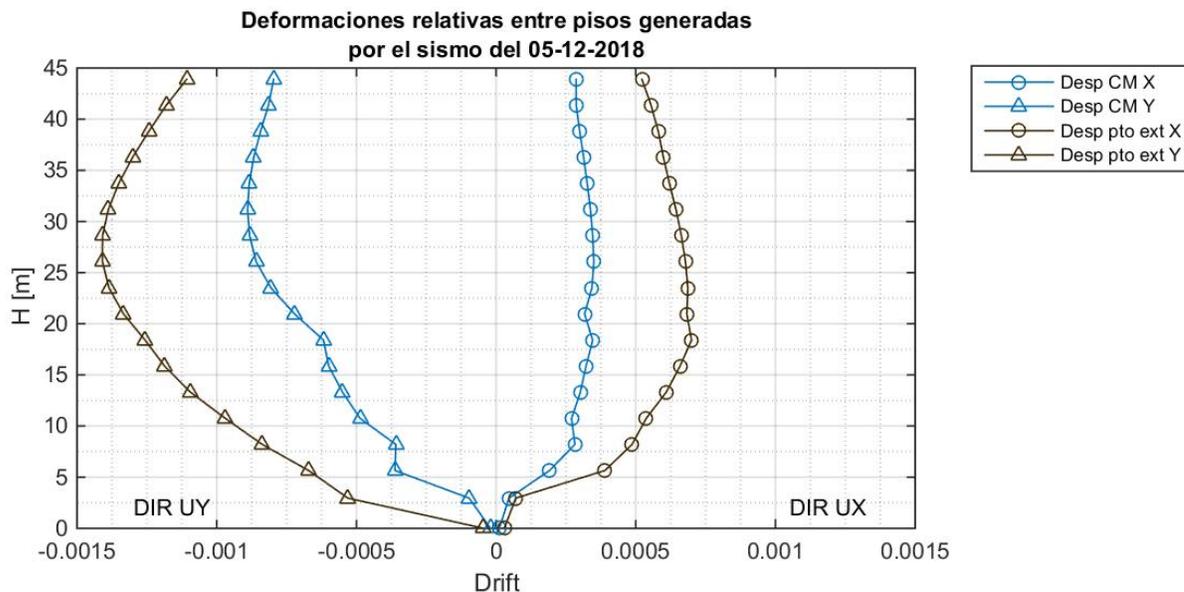


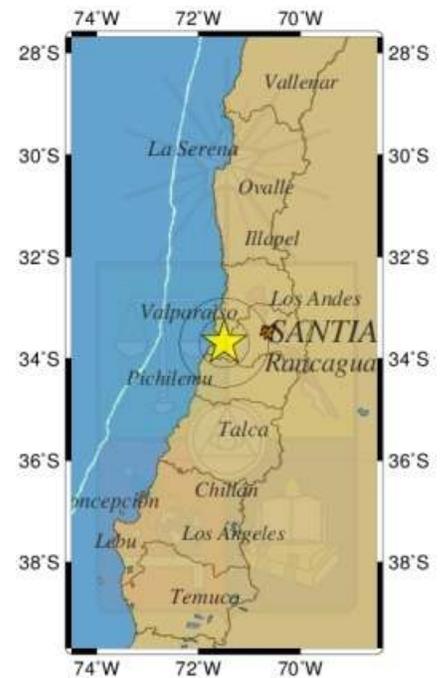
Figura 78: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 05-12-2018.

# Informe de sismo percibido

← Volver

## Hipocentro

Hora Local	14:12:14 05/12/2018
Hora UTC	17:12:14 05/12/2018
Latitud	-33.692
Longitud	-71.495
Profundidad	39.1 Km
Magnitud	5.2 Mww GUC
Referencia	17 km al SE de San Antonio

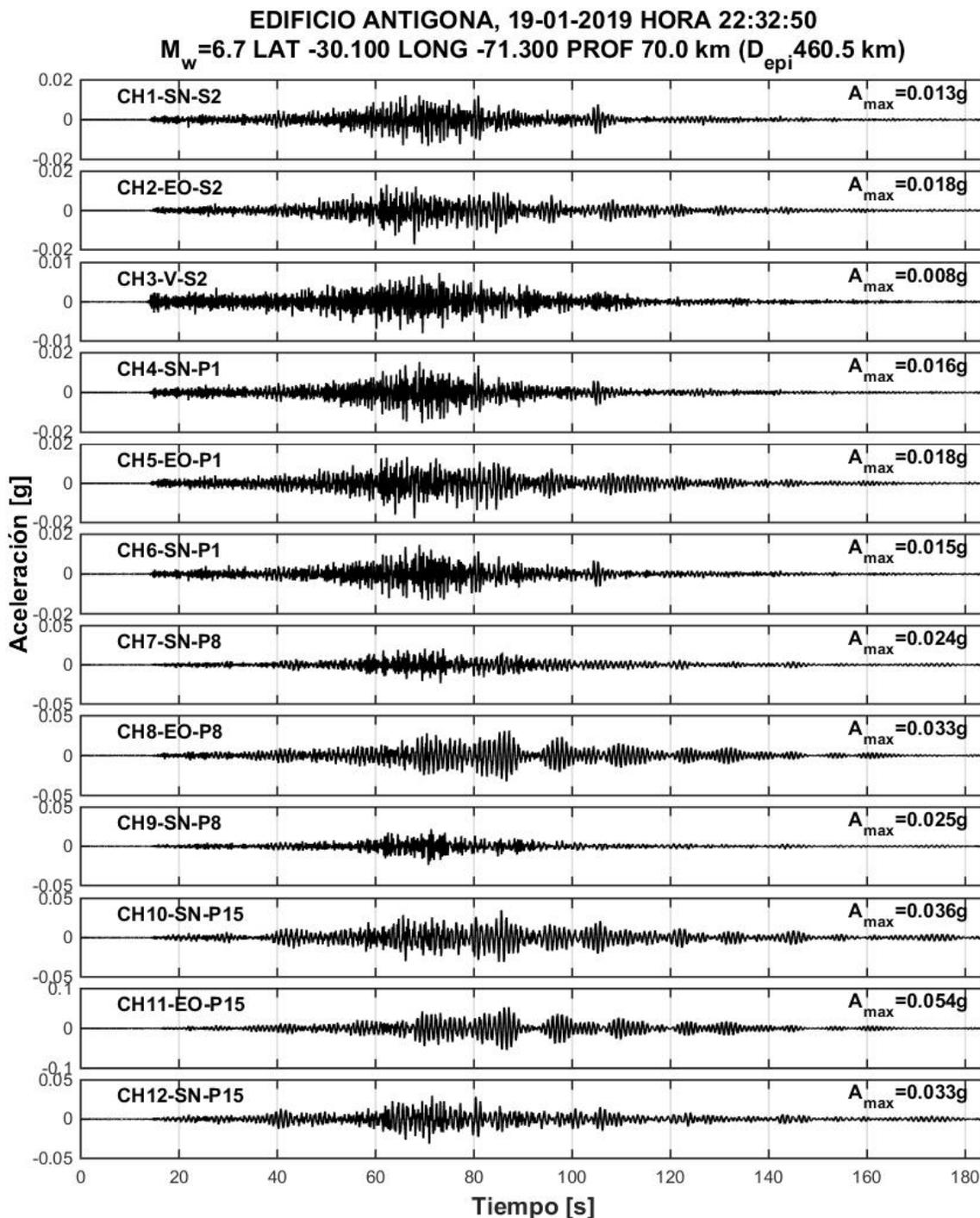


**Reporte de intensidades (<http://www.onemi.cl/informate/sismo-de-mediana-intensidad-en-las-regiones-metropolitana-ohiggins-y-maule/>)**

## Observaciones

Informe preparado por: Oficina de Análisis

## 15. Evento del 19-01-2019



Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

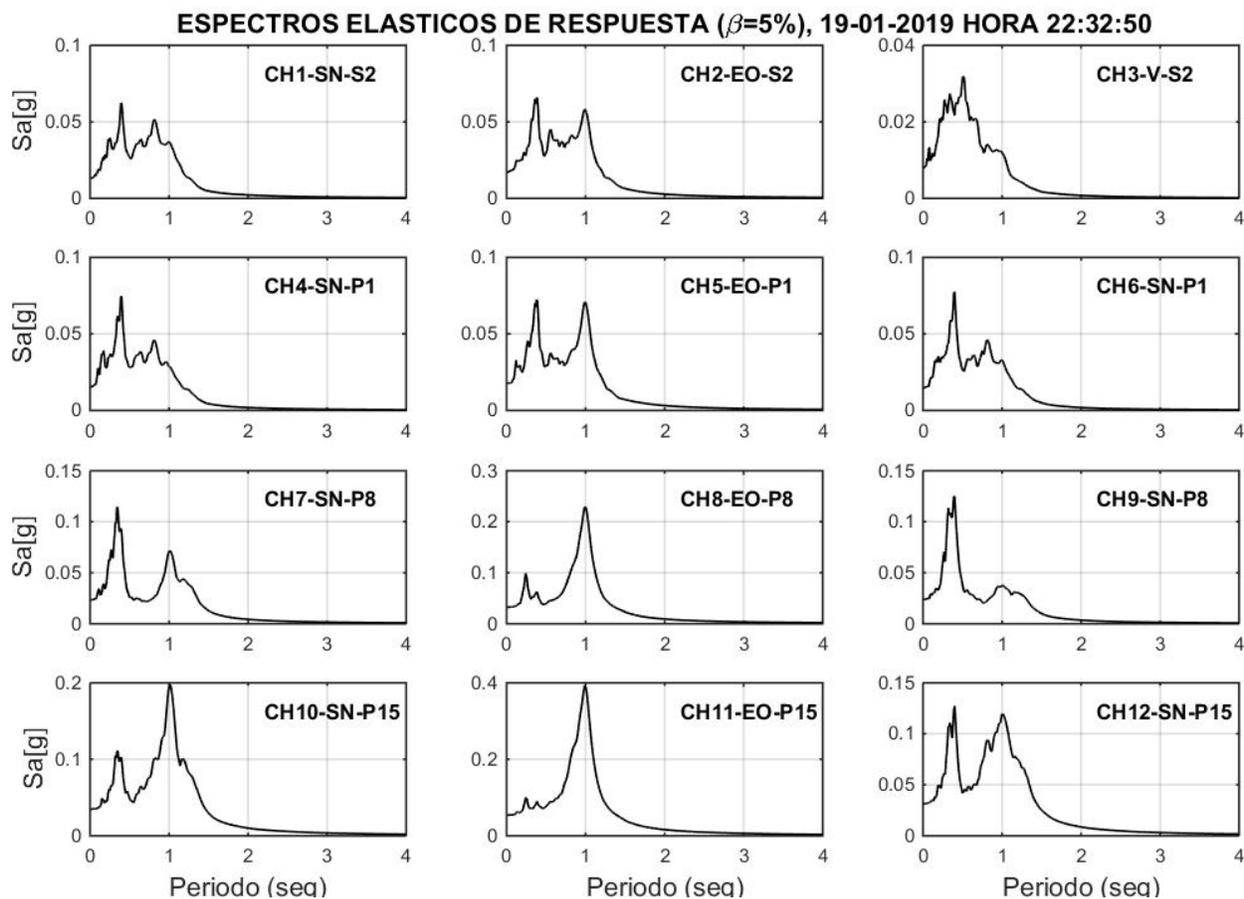


Figura 80: Espectro elástico asociado al evento del 19-01-2019

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

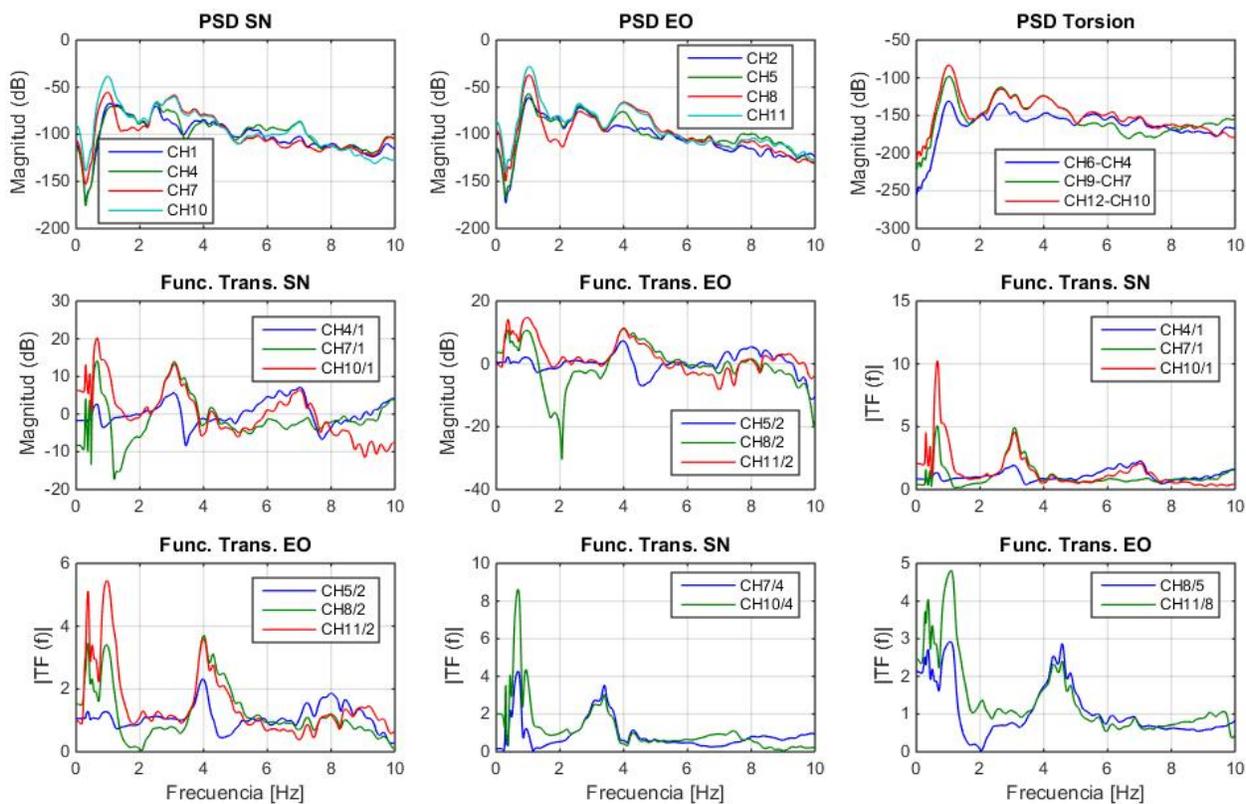


Figura 81: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 19-01-2019

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

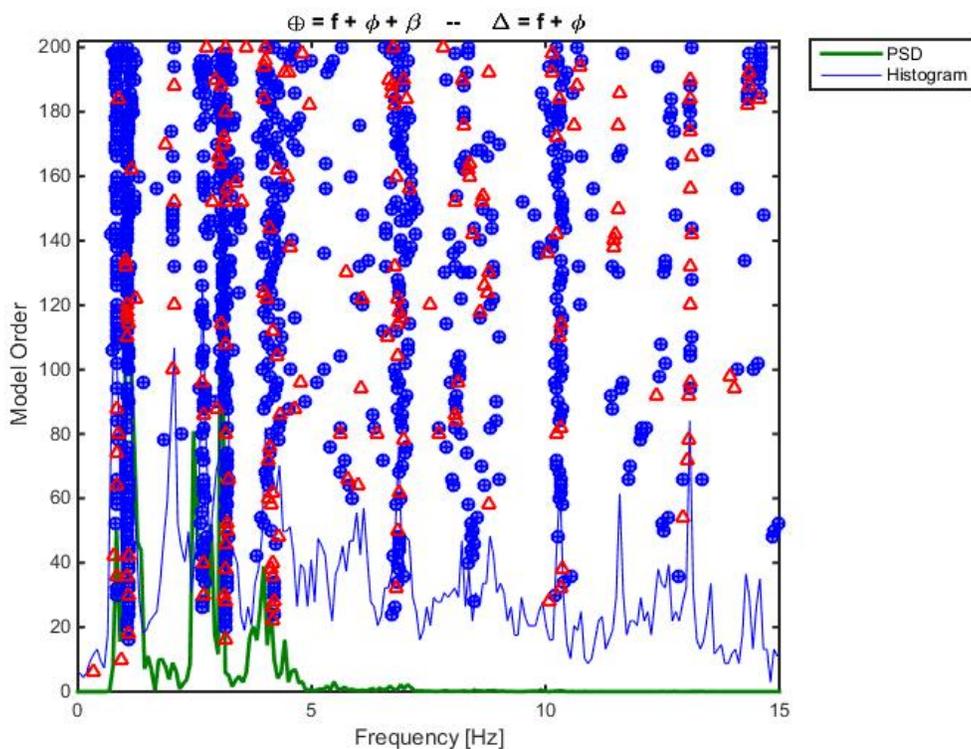


Figura 82: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 19-01-2019

Tabla 27: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.822	1.08	4.28	0.12	15
1.072	0.79	4.33	0.13	25
2.053	3.28	2.16	0.06	6
2.685	3.16	5.79	0.17	25
3.185	3.32	5.58	0.15	18
3.416	4.24	4.04	0.14	5
4.199	4.83	3.99	0.12	16
4.507	7.32	6.00	0.22	8
5.301	8.10	5.66	0.17	5
5.737	6.32	5.49	0.17	5
6.156	6.71	1.49	0.05	8
6.840	9.21	4.52	0.11	14
8.480	12.88	4.67	0.12	16
10.231	13.29	3.45	0.10	14
10.693	21.03	3.65	0.11	5
11.645	19.06	4.17	0.13	6
12.708	19.48	1.98	0.04	12
14.384	12.20	0.73	0.03	10
15.478	18.07	4.26	0.13	18
17.453	8.01	4.92	0.15	6

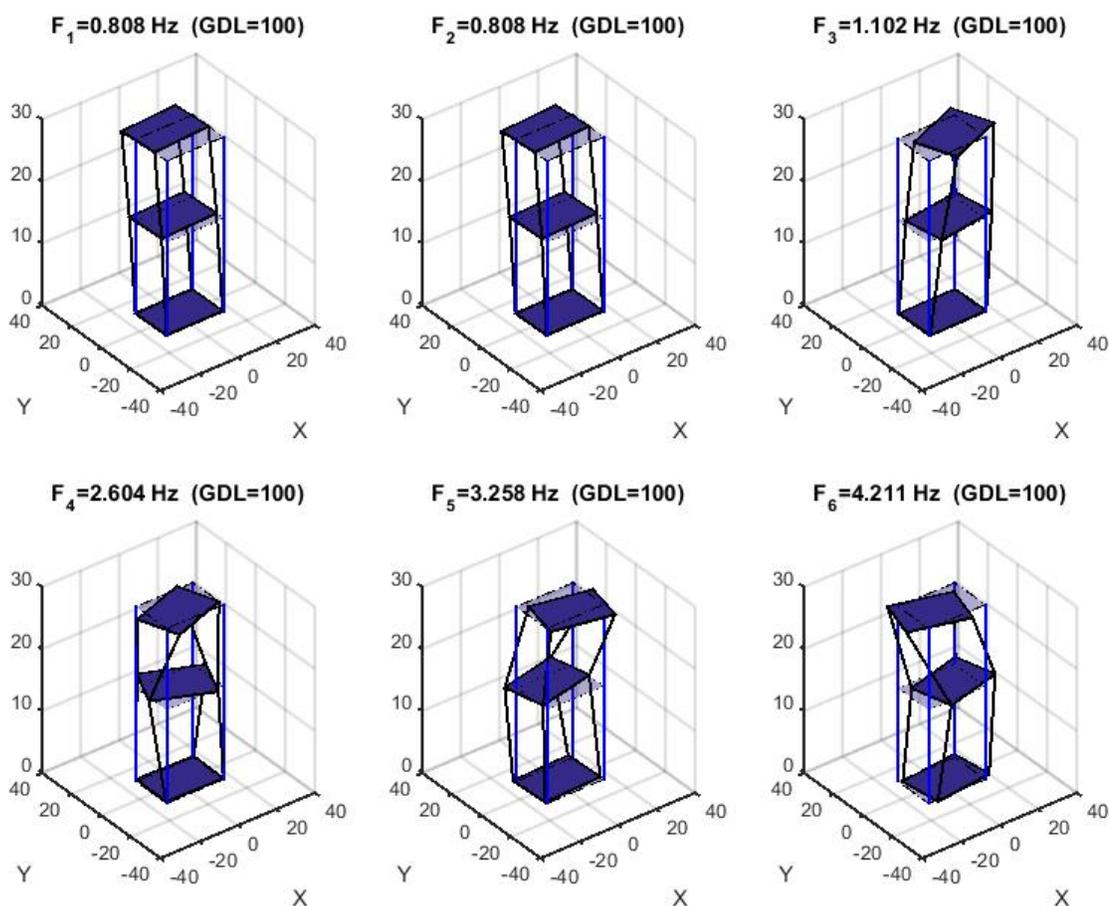


Figura 83: Formas Modales asociadas al evento del 19-01-2019

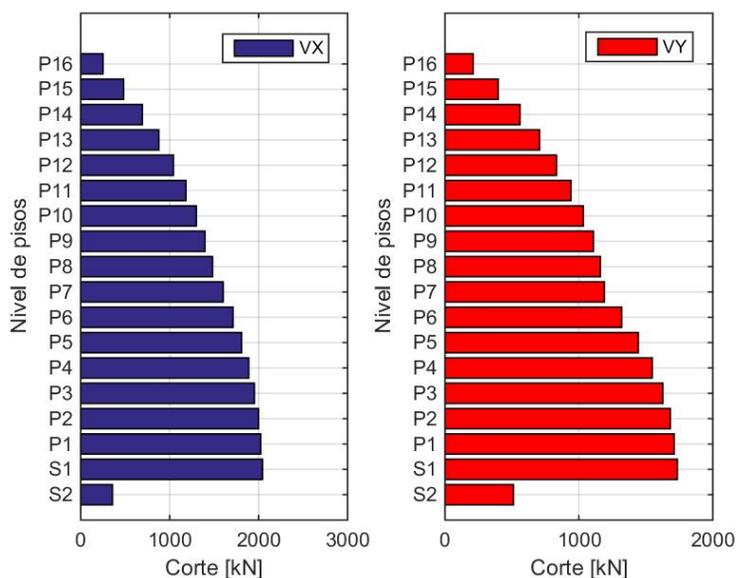


Figura 84: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 19-01-2019.

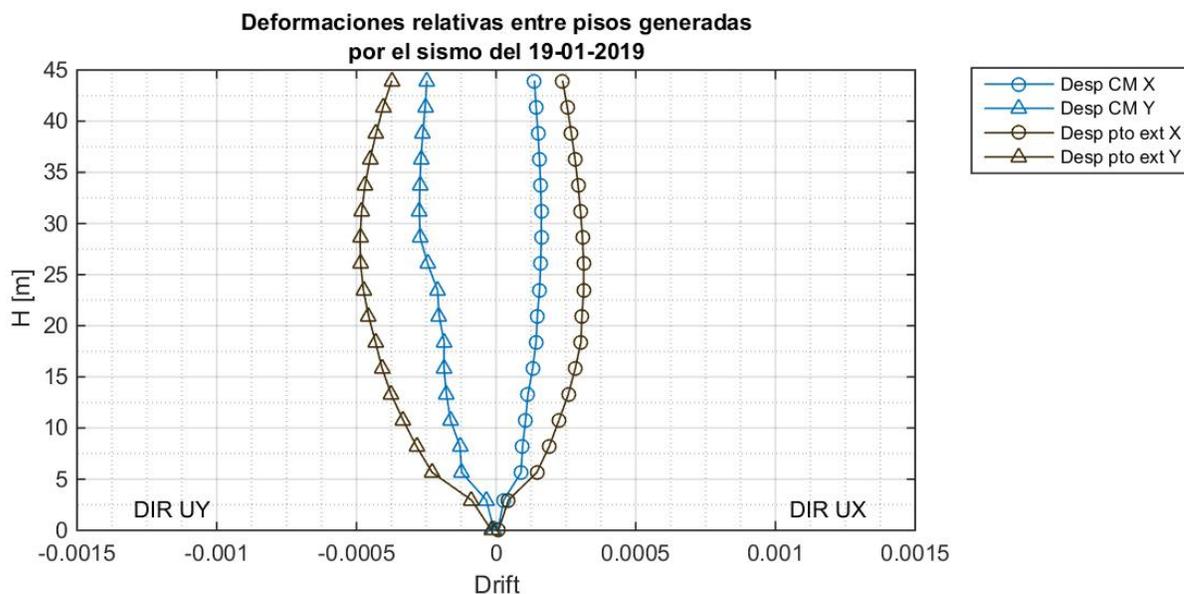


Figura 85: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 19-01-2019.

## 16. Evento del 02-03-2019

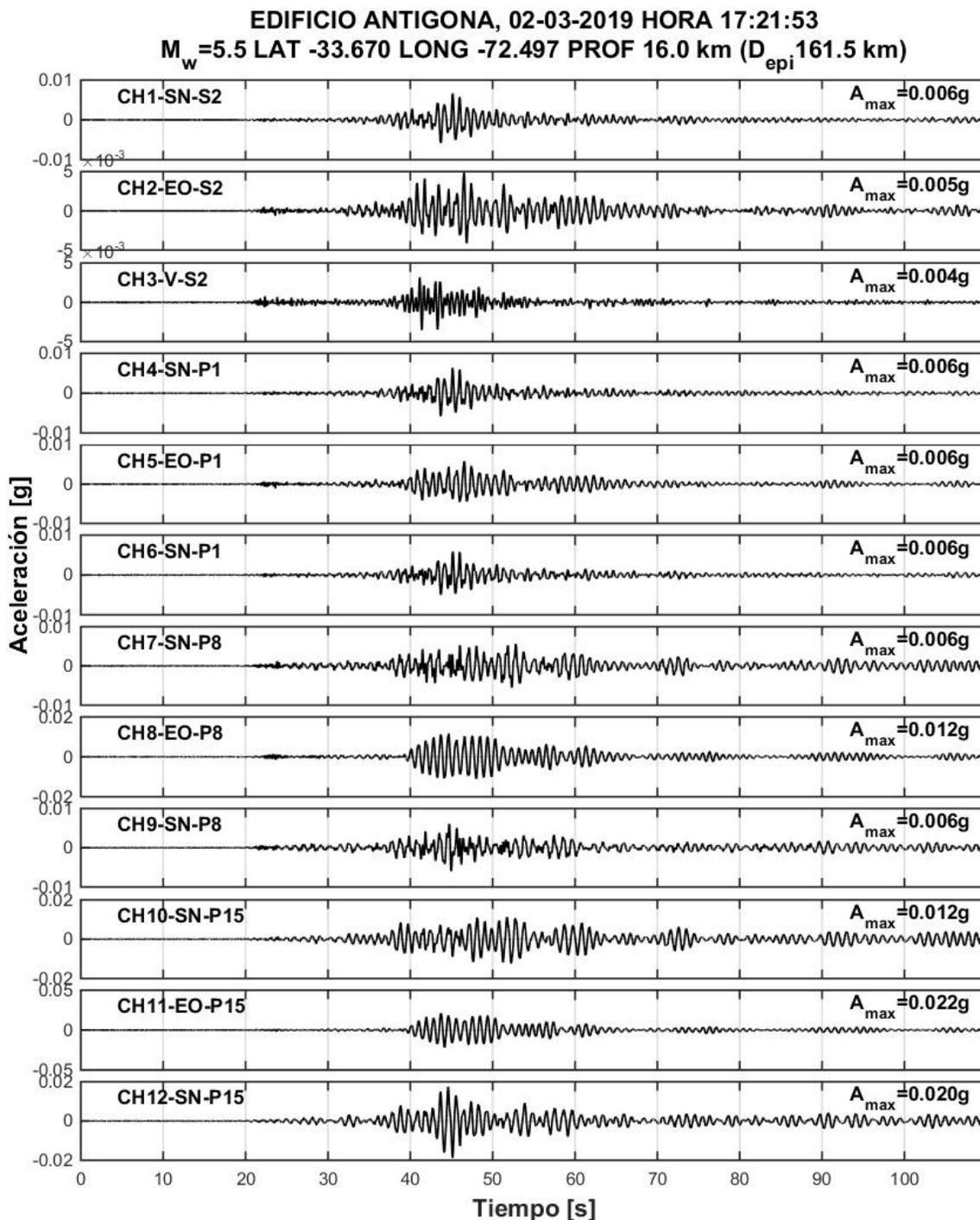


Figura 86: Registros del 02-03-2019

Espectros elásticos de respuesta computado con el método de Newmark (aceleración lineal) para una tasa de amortiguamiento del 5%.

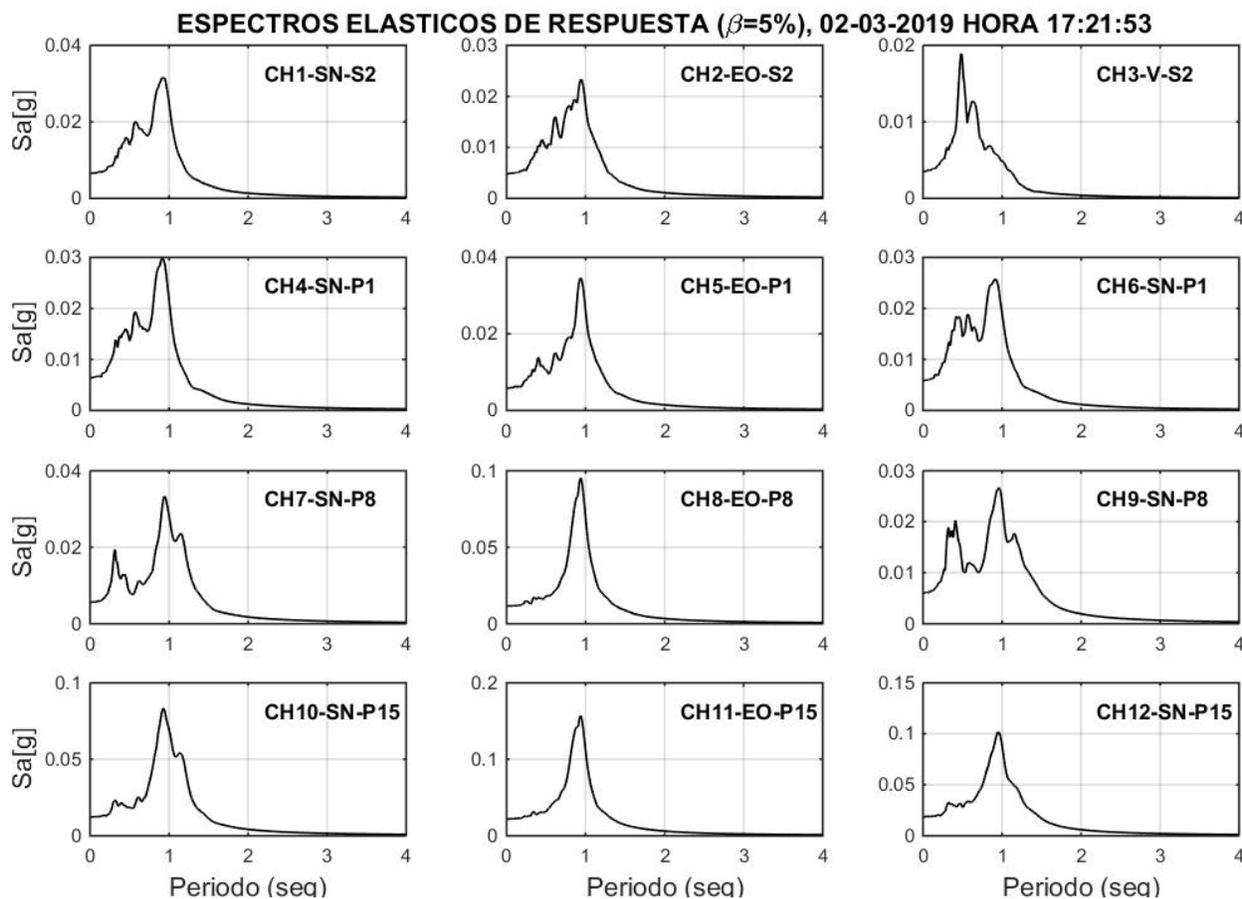


Figura 87: Espectro elástico asociado al evento del 02-03-2019

Los espectros de Potencia (PSD) y funciones de transferencia se calculan con el método de Welch empleando ventanas Hanning de 7 seg.

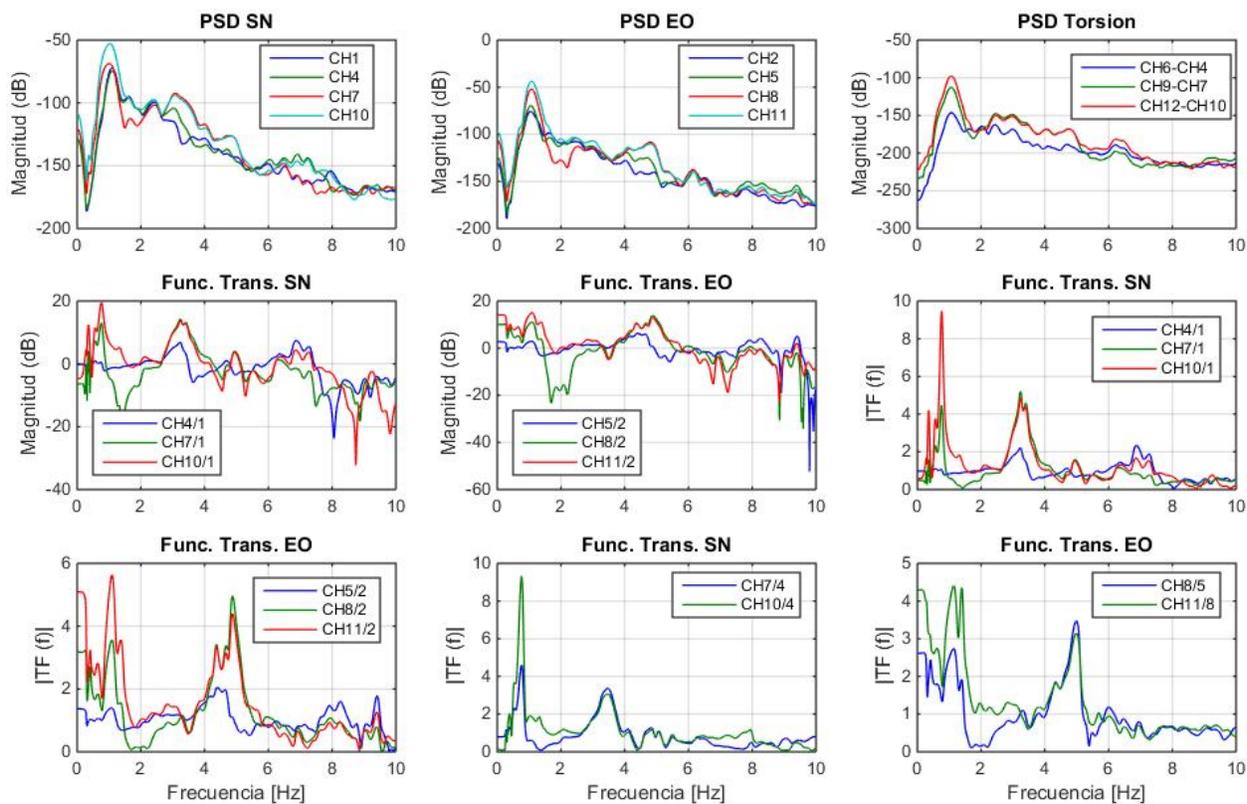


Figura 88: Espectros de Potencia y Funciones de Transferencia asociado al evento del 02-03-2019

La identificación es realizada con el método DSI (Deterministic Stochastic Identification), empleando matrices de peso CVA. Se utilizan como salidas los canales 4 a 12 (P1, P8 y P15) y como entradas los canales 1 y 2 (S-2).

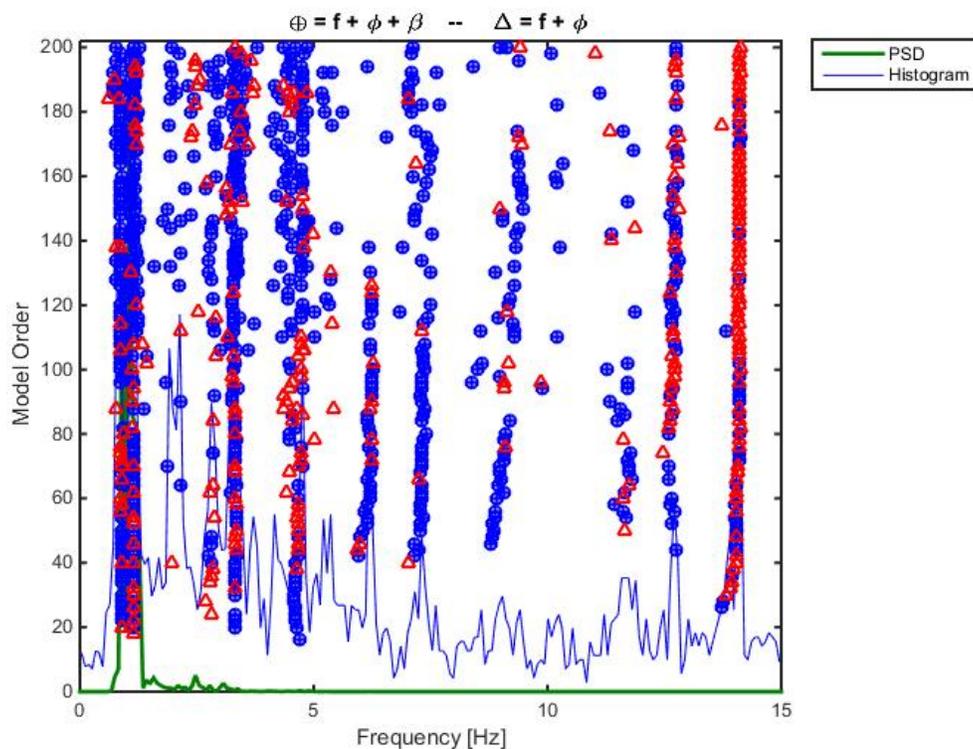


Figura 89: Diagrama de Estabilidad asociado al evento del 02-03-2019

Tabla 28: Parámetros Dinámicos Identificados por método DSI

f [Hz]	$\sigma$ %	$\beta$ %	$\sigma$ %	N
0.772	0.43	6.73	0.15	6
0.874	1.21	3.95	0.13	14
1.151	1.41	4.65	0.16	22
2.279	3.05	4.98	0.18	5
2.867	5.42	4.70	0.16	9
3.344	3.60	3.57	0.10	19
3.643	4.00	7.35	0.18	6
4.338	4.81	2.89	0.07	7
4.734	4.44	1.83	0.06	16
5.379	5.89	2.43	0.09	6
6.221	3.57	2.62	0.08	9
7.232	10.69	4.60	0.13	18
8.972	10.23	6.53	0.16	9
10.315	13.18	4.48	0.13	6
11.705	8.83	6.79	0.17	7
12.743	8.26	1.41	0.04	11
14.101	0.39	0.26	0.01	9
15.633	3.53	0.54	0.02	9
16.784	19.07	8.62	0.22	16
22.133	3.39	1.88	0.05	7

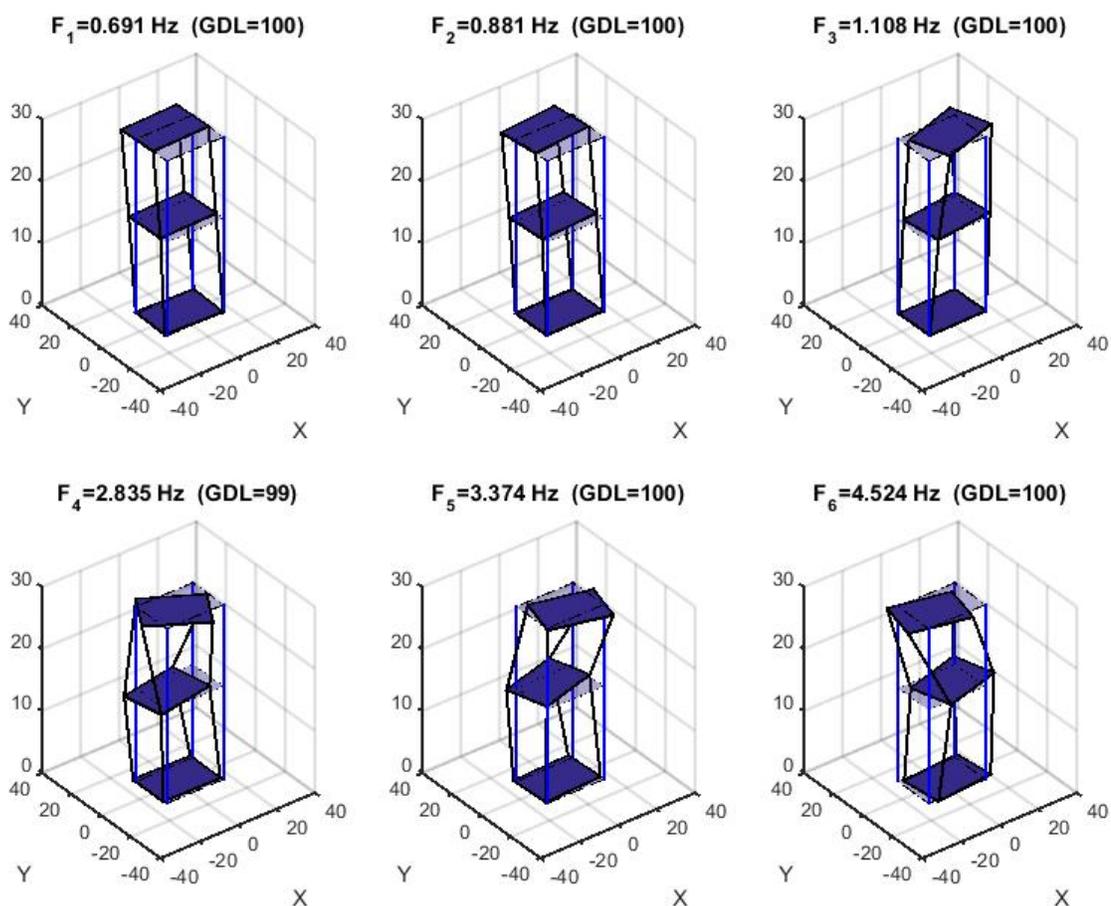


Figura 90: Formas Modales asociadas al evento del 02-03-2019

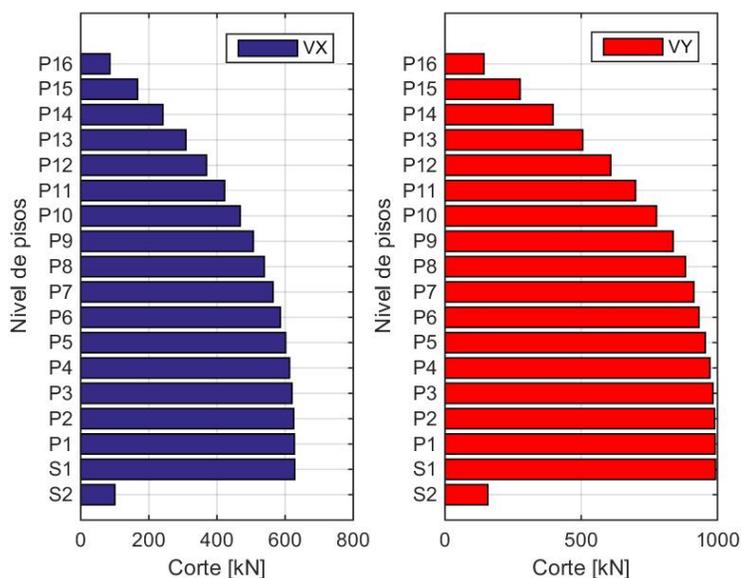


Figura 91: Corte por piso de la estructura en la dirección X e Y (EO y NS respectivamente) obtenido a partir de los registros correspondientes al evento del 02-03-2019.

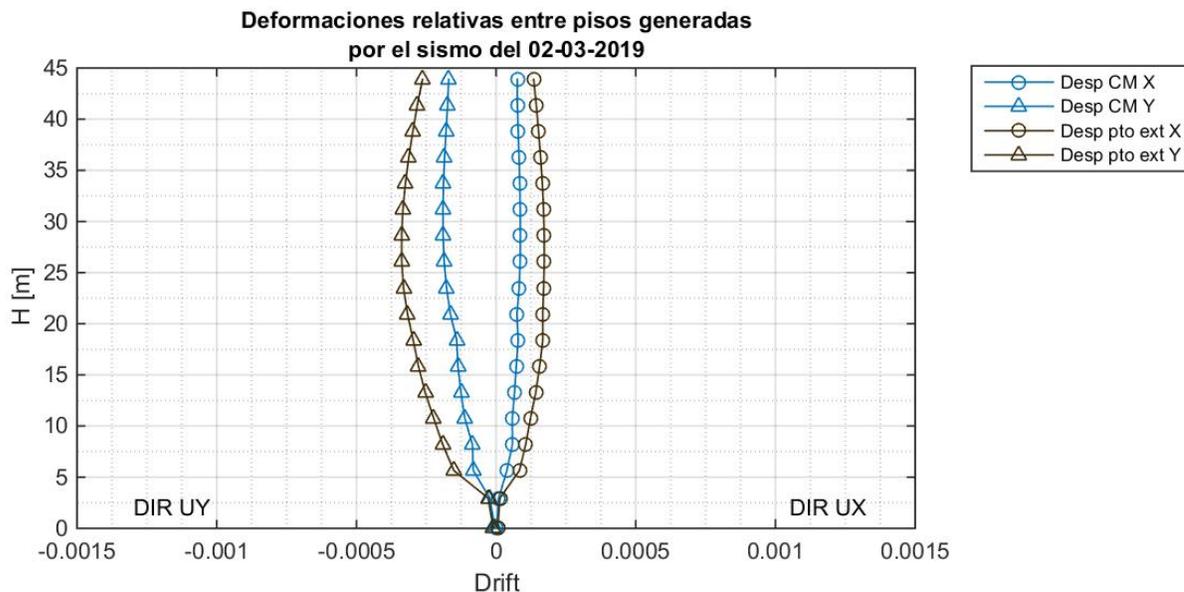


Figura 92: Desplazamiento relativo entre piso del centro de masa y punto extremo en las direcciones X e Y (EO y NS respectivamente), obtenidos a partir de los registros correspondientes al evento del 02-03-2019.