



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

# “ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS AISLADAS CON EL MÉTODO DE MÚLTIPLES SUB-ESTRUCTURAS”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PABLO ANDRÉS DÍAZ ALARCÓN

PROFESOR GUÍA:  
FRANCISCO HERNÁNDEZ PRADO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
RODRIGO ASTROZA EULUFÍ  
FELIPE OCHOA CORNEJO

SANTIAGO DE CHILE  
2018

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil con mención en  
Estructuras, Construcción y Geotecnia.  
**POR:** Pablo Andrés Díaz Alarcón  
**FECHA:** 19/01/2018  
**PROFESOR GUÍA:** Francisco Hernández Prado

## **“ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS AISLADAS CON EL MÉTODO DE MÚLTIPLES SUB-ESTRUCTURAS”**

El objetivo de esta memoria es emplear el método de múltiples sub-estructuras para estudiar la respuesta de edificios aislados desagregando la respuesta histerética del sistema de aislación y estudiar sus ventajas y desventajas.

Para estudiar la evolución temporal de las propiedades dinámicas (periodo, razones de amortiguamiento crítico y formas modales) de edificios con y sin aislación basal se emplea el método (DSI) por pequeñas ventanas de tiempo. Los resultados son validados a través de un método denominado Función de Transferencia por pequeñas ventanas (tfTF) propuesto e implementado en este trabajo de título. El análisis se lleva a cabo para tres estructuras: i) datos obtenidos de una simulación numérica de un edificio aislado en SAP2000, ii) datos experimentales obtenidos para un edificio (BNCS con y sin aislación) que fue ensayado a escala real en la mesa de vibrar de la Universidad de California, San Diego (Estados Unidos), y iii) datos de los edificios chilenos con y sin aislación de la “Comunidad Andalucía” sujetos a eventos sísmicos de mediana intensidad.

De los resultados de la identificación del modelo numérico realizado en SAP2000, se observó el comportamiento elástico-lineal de la superestructura, estudiando la respuesta de la estructura relativa al sistema de aislación; es decir, las propiedades dinámicas de la superestructura fueron invariantes en el tiempo. De igual forma, se observó que las propiedades dinámicas obtenidas para la superestructura coinciden con los valores obtenidos cuando la estructura es modelada con base fija. Por otra parte, el comportamiento histerético bi-lineal del sistema de aislación generó la variación de las propiedades dinámicas de todos los modos de la estructura cuando la identificación se realizó en relación a su movimiento basal. Adicionalmente, se comprueba que el método de múltiples sub-estructuras se puede emplear en estructuras aisladas sujetas a ensayos del tipo “pull-back”.

En el edificio BNCS, la superestructura presentó cambios de frecuencias durante la acción sísmica, comportándose de forma similar a la estructura con base fija. Sin embargo, la superestructura mostro un grado menor de cambios de frecuencias y no se observaron cambios residuales de sus propiedades dinámicas (a diferencia de lo observado para la estructura con base fija) indicando que la superestructura no sufrió daño durante los ensayos sísmicos (lo cual coincide con las observaciones en terreno).

Del análisis de las estructuras asociadas a la comunidad Andalucía se apreció que las frecuencias de la superestructura determinadas con el método de múltiples sub-estructuras, son similares a las identificadas para la estructura vecina (con base fija), identificándose el primer modo longitudinal y transversal. También fue posible identificar la evolución temporal de las frecuencias de la estructura aislada, a pesar de los pocos datos de salida disponibles, a la poca instrumentación y a la baja calidad de los equipos que se emplean en los edificios de la comunidad Andalucía.

Dedicado especialmente a  
mis padres y hermana  
por el constante apoyo siempre.  
Gracias!

## Agradecimientos

Deseo agradecer principalmente a mi papa y mama por todo el esfuerzo y preocupación por que nunca me faltara nada. A mi hermana, la cual siempre me ha ayudado sin importar que tan ocupada o complicada se encuentre. En general a mi familia, estando presentes siempre que los necesite y apoyándome en cada una de las decisiones que eh tomado. Lo cual me permitió terminar esta etapa y muchas otras más.

A mi mejor amigo Joako y mejor amiga Tamy, los cuales han estado conmigo desde la básica, en buenos y malos momentos, y que a pesar del tiempo, distancia, diferentes intereses y metas, siempre han estado junto a mi brindándome su apoyo, ayuda, consejo y cariño.

A mis amigos que encontré durante esta etapa universitaria, los cuales además de acompañarme y apoyarme en lo académico, me permitieron disfrutar el día a día en la universidad y hacer más amenos las arduas horas de trabajo. Al máquina (Carlos), al perro Loyola (Lucho), al abuelo (Diego), al rey de Talca (Gana), a la acidani (Dani), al maestro splinter (Santiago), al sensei de la conquista (Javier), a la compañera de trabajo (Isi) y al huaso Campos (Campos).

Un agradecimiento especial a mi profesor guía Francisco Hernández, por sus constante preocupación, dedicación y compromiso por el desarrollo de este trabajo de título. El cual siempre estuvo presente y con mucha disponibilidad ante cualquier duda o dificultad que surgiera, preocupado no solo de llevar a cabo este trabajo, sino que también de que aprendiera y aportara en mi desarrollo profesional. Además me gustaría valor su gran compromiso y entrega como docente del departamento de Ingeniería Civil.

A los profesores miembros de la comisión por su gran disponibilidad, seriedad y compromiso en el trabajo. A Rodrigo Astroza por aportar con la gran mayoría de los datos y tener la disponibilidad y voluntad de responder ante cualquier duda. A Felipe Ochoa por aportar una visión externa al tema.

A mis abuelos, tías y tíos, primas y primos por sus buenos deseos y alientos positivos a lo largo de esta etapa universitaria.

Y por último, a los diversos profesores y funcionarios del departamento de Ingeniería Civil que permitieron mi desarrollo integro como futuro profesional.

# Tabla de Contenido

1.	Introducción .....	1
1.1	Aspectos Generales.....	1
1.2	Objetivos.....	5
1.2.1	Objetivos Generales .....	5
1.2.2	Objetivos Específicos .....	5
1.3	Metodología.....	6
1.3.1	Revisión Bibliográfica.....	6
1.3.2	Implementar el Método DSI por Pequeñas Ventas de Tiempo.....	7
1.3.3	Implementar el Método Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (tfTF) .....	7
1.3.4	Modelo en Elementos Finitos.....	7
1.3.5	Definición de Inputs y Outputs (Figura 1.9) .....	8
1.3.6	Determinación de Parámetros Dinámicos (Figura 1.10) .....	9
1.3.7	Análisis de los Resultados (Figura 1.11) .....	10
2.	Método de Múltiples Sub-Estructuras en Estructuras Aisladas .....	11
3.	Método de Identificación de Propiedades Dinámicas DSI .....	14
3.1	Descripción del Método DSI Implementado .....	14
3.2	Criterios de Estabilidad en la Estimación de las Propiedades Dinámicas .....	18
3.3	Propiedades Dinámicas Invariantes y Variantes en el Tiempo.....	19
3.3.1	Propiedades Dinámicas Invariantes en el Tiempo .....	19
3.3.2	Propiedades Dinámicas Variantes en el Tiempo .....	20
3.4	Largo de la Ventana de Tiempo.....	21
4.	Métodos de Identificación de Tiempo-Frecuencia.....	22
4.1	Espectrograma.....	22
4.2	Función de Transferencia por Pequeñas Ventanas de Tiempo (tfTF) .....	23
5.	Análisis de Elementos Finitos .....	25
5.1	Descripción de la Estructura a Modelar.....	25
5.2	Modelamiento de la Estructura sin Aislación .....	27
5.3	Modelamiento de la Estructura con Aislación .....	31
5.4	Análisis Modal espectral de la Estructura no Aislada según NCh 433.Of96 Mod 2009	33

5.5	Diseño del Sistema de Aislación.....	37
5.6	Respuesta y Solicitación de la Estructura sin Aislación y Aislada.....	45
5.7	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura sin Aislación .....	49
5.7.1	Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes .....	49
5.7.2	Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes en el Tiempo .....	51
5.7.3	Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia	55
5.7.4	Resumen y Análisis de Propiedades Identificadas .....	59
5.8	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada .....	60
5.8.1	Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes .....	60
5.8.2	Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes .....	62
5.8.3	Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia	74
5.8.4	Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas .....	80
5.9	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada Aplicando el Método de Múltiples Sub-Estructuras.....	82
5.9.1	Respuesta y Solicitación de la Estructura Aislada Considerando el Método de Múltiples Sub-Estructuras .....	82
5.9.2	Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes .....	84
5.9.3	Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes .....	86
5.9.4	Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia	90
5.9.5	Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas .....	94
5.10	Descripción Modelo Estructura Aislada Sometida a un ensayo del tipo Pull-Back	96
5.10.1	Respuesta de la Estructura Aislada Sometida a Pull-Back.....	98
5.10.2	Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes .....	99
5.10.3	Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas .....	101
5.10.4	Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes Estructura Aislada Sometida a Pull-Back Considerando el Método de Múltiples Sub-Estructuras .....	102
5.10.5	Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas Considerando el Método de Múltiples Sub-Estructuras .....	104
6.	Análisis del Edificio BNCS – Universidad de California, San Diego .....	105
6.1	Descripción del Edificio BNCS e Instrumentación .....	105
6.2	Instrumentación.....	107
6.3	Protocolo de Ensayos.....	108

6.4	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada.....	110
6.4.1	Recopilación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada.....	110
6.4.2	Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI4-SP100.....	112
6.5	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras.....	134
6.5.1	Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI4-SP100.....	134
6.6	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS sin Aislación.....	154
6.6.1	Recopilación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS sin Aislación.....	154
6.6.2	Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento FB-CNP100.....	158
7.	Análisis de Edificios de la Comunidad Andalucía.....	177
7.1	Descripción de los Edificios de la Comunidad Andalucía.....	177
7.2	Instrumentación.....	180
7.3	Recopilación de Propiedades Dinámicas Identificadas.....	181
7.4	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada – Evento del 16/06/2000.....	182
7.4.1	Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada.....	182
7.4.2	Identificación de Propiedades Dinámicas.....	183
7.4.3	Análisis de Propiedades Identificadas.....	185
7.5	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras – Evento del 16/06/2000.....	187
7.5.1	Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras.....	187
7.5.2	Identificación de Propiedades Dinámicas.....	188
7.5.3	Análisis de Propiedades Identificadas.....	190
7.6	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura No Aislada – Evento del 16/06/2000.....	191
7.6.1	Inputs y Outputs sobre la Estructura No Aislada.....	191
7.6.2	Identificación de Propiedades Dinámicas.....	192
7.6.3	Análisis de Propiedades Identificadas.....	194
8.	Conclusiones.....	196
9.	Bibliografía.....	200
10.	Anexos.....	202
10.1	Anexo A: Detalle del Diseño Sísmico de Aisladores del Modelo en SAP2000..	202
10.2	Anexo B: Detalle de Outputs e Inputs de Estructuras Modeladas en SAP2000..	213

10.2.1	Estructura sin Aislación.....	213
10.2.2	Estructura Aislada.....	215
10.2.3	Estructura Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras .....	217
10.2.4	Estructura Aislada Ensayada con Pull-back .....	220
10.3	Anexo C: Identificación de Propiedades Dinámicas para los otros Eventos Sísmicos – Edificio BNCS .....	222
10.3.1	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada .....	222
10.3.2	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras .....	312
10.3.3	Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Base Fija .....	396



## Índice de Tablas

Tabla 3.1: Matrices de pesos utilizados en diferentes algoritmos, Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).....	16
Tabla 5.1: Parámetros sísmicos. ....	33
Tabla 5.2: Periodos y frecuencias con sus participaciones modales, estructura base fija. ...	34
Tabla 5.3: Verificación corte basal en ambas direcciones, (NCh433.Of96, 2009). ....	35
Tabla 5.4: Verificación de los desplazamientos en la dirección X, (NCh433.Of96, 2009). 36	
Tabla 5.5: Verificación de los desplazamientos en la dirección Y, (NCh433.Of96, 2009). 36	
Tabla 5.6: Parámetros para el cálculo de desplazamiento de diseño y máximos NCh2745.Of2003. ....	38
Tabla 5.7: Desplazamiento de diseño y máximos NCh2745.Of2003.....	38
Tabla 5.8: Propiedades lineal equivalentes de los aisladores. ....	41
Tabla 5.9: Composición y dimensiones de los aisladores. ....	41
Tabla 5.10: Verificación de desplazamientos máximos dirección X, NCh2745.Of2003.....	42
Tabla 5.11: Verificación de desplazamientos máximos dirección Y, NCh2745.Of2003.....	42
Tabla 5.12: Periodos y frecuencias con sus participaciones modales, estructura base aislada. ....	42
Tabla 5.13: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación. ....	49
Tabla 5.14: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aisladores. ....	51
Tabla 5.15: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación, Modelo SAP2000. ....	59
Tabla 5.16: Parámetros para la identificación de propiedades invariantes, estructura aislada. ....	60
Tabla 5.17: Parámetros para identificación de propiedades variantes, estructura aislada....	62
Tabla 5.18: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada. ....	80
Tabla 5.19: Variación de frecuencias para análisis de propiedades variantes, estructura aislada, Modelo SAP2000. ....	81
Tabla 5.20: Parámetros para la identificación de propiedades invariantes, estructura aislada. ....	84
Tabla 5.21: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	86
Tabla 5.22: Resumen de las propiedades dinámicas, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	94
Tabla 5.23: Comparación propiedades dinámicas identificadas entre estructura sin aislación y estructura aislada con método de múltiples sub-estructuras.....	94
Tabla 5.24: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada. ....	99
Tabla 5.25: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada, pull-back.....	101
Tabla 5.26: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada. ....	102
Tabla 5.27: Resumen de frecuencias identificadas, estructura aislada, pull-back, método de múltiples sub-estructuras. ....	104

Tabla 5.28: Resumen de amortiguamiento identificadas, estructura aislada, pull-back, método de múltiples sub-estructuras. ....	104
Tabla 6.1: Resumen de ensayos sísmicos realizados al edificio BNCS aislado y sin aislación. ....	109
Tabla 6.2: Estado de daño. ....	109
Tabla 6.3: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI4-SP100. ....	114
Tabla 6.4: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.....	116
Tabla 6.5: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	128
Tabla 6.6: Variación de las frecuencias identificadas en el tiempo, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	129
Tabla 6.7: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI4-SP100. ....	135
Tabla 6.8: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.....	137
Tabla 6.9: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, Vibraciones Ambientales (VA) y ruidos blancos (WN) para estructura en base fija antes de ensayos sísmicos. ....	148
Tabla 6.10: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	149
Tabla 6.11: Variación de las frecuencias identificadas en el tiempo, estructura aislada BNCS con método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	150
Tabla 6.12: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-CNP100.....	159
Tabla 6.13: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.....	161
Tabla 6.14: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100. ....	172
Tabla 6.15: Variación de las frecuencias identificadas en el tiempo, estructura base fija BNCS, registro FB-CNP100. ....	173
Tabla 7.1: Masas sísmicas y alturas del edificio aislado. Fuente: (Riveros Pérez, 1998). .	180
Tabla 7.2: Frecuencias identificadas por microvibraciones medidas el 1/06/97. Fuente: (Riveros Pérez, 1998). ....	181
Tabla 7.3: Frecuencias identificadas por microvibraciones medidas el 3/11/97. Fuente: (Riveros Pérez, 1998). ....	181
Tabla 7.4: Frecuencias identificadas por microvibraciones medidas en 1997 por C. Rojas. Fuente: (Andrade Trujillo, 2014) ....	181
Tabla 7.5: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada, registro 16/06/2000.....	185
Tabla 7.6: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.....	190
Tabla 7.7: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura no aislada, registro 16/06/2000.....	194
Tabla 7.8: Comparación de frecuencias identificadas para el caso no aislado (ET) con el caso aislado aplicando el método de múltiples sub-estructuras (MSE).....	195

Tabla 10.1: Cargas gravitacionales sobre aisladores – Diámetros mínimos. ....	202
Tabla 10.2: Distribución inicial de aisladores. ....	202
Tabla 10.3: Parámetros iniciales de los aisladores en función del periodo objetivo, para desplazamiento de diseño. ....	203
Tabla 10.4: Parámetros iniciales de los aisladores en función del periodo objetivo, para desplazamiento máximo. ....	203
Tabla 10.5: Propiedades lineales equivalentes iniciales de los aisladores para desplazamiento de diseño. ....	204
Tabla 10.6: Propiedades lineales equivalentes iniciales de los aisladores para desplazamiento máximo. ....	204
Tabla 10.7: Excentricidad, rigidez y amortiguamiento en planta – Configuración inicial de aisladores. ....	205
Tabla 10.8: Excentricidad, rigidez y amortiguamiento en planta – Configuración balanceada. ....	206
Tabla 10.9: Cortes sísmicos de diseño y máximos. ....	207
Tabla 10.10: Cortes por piso sobre el edificio. ....	207
Tabla 10.11: Cargas sobre los aisladores. ....	208
Tabla 10.12: Determinación del número de capas de gomas y su espesor. ....	209
Tabla 10.13: Determinación del espesor de las placas de acero. ....	209
Tabla 10.14: Verificación de la frecuencia de vibración vertical. ....	210
Tabla 10.15: Verificación de la estabilidad. ....	210
Tabla 10.16: Índice de comportamiento del sistema de aislación. ....	211
Tabla 10.17: Cargas sobre los aisladores para sismo de la NCh2745 Of2003. ....	212
Tabla 10.18: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI1-CNP100. ....	223
Tabla 10.19: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	225
Tabla 10.20: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	236
Tabla 10.21: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI2-LAC100. ....	238
Tabla 10.22: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100. ....	240
Tabla 10.23: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	251
Tabla 10.24: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI2-LAC100. ....	253
Tabla 10.25: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2. ....	255
Tabla 10.26: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC1002. ....	266
Tabla 10.27: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI5-ICA50. ....	268
Tabla 10.28: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50. ....	270
Tabla 10.29: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50. ....	281

Tabla 10.30: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI6-ICA100. ....	283
Tabla 10.31: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100. ....	285
Tabla 10.32: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100. ....	296
Tabla 10.33: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI7-ICA140. ....	298
Tabla 10.34: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140. ....	300
Tabla 10.35: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140. ....	311
Tabla 10.36: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI1-CNP100...	313
Tabla 10.37: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100. ....	315
Tabla 10.38: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100. ....	325
Tabla 10.39: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI2-LAC100. .	327
Tabla 10.40: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100. ....	329
Tabla 10.41: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100. ....	339
Tabla 10.42: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI3-LAC100 2. ....	341
Tabla 10.43: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2. ....	343
Tabla 10.44: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2. ....	353
Tabla 10.45: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS método de múltiples sub-estructuras. Registro BI5-ICA50. ....	355
Tabla 10.46: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50. ....	357
Tabla 10.47: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50. ....	367
Tabla 10.48: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI6-ICA100....	369
Tabla 10.49: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100. ....	371
Tabla 10.50: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100. ....	381
Tabla 10.51: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI7-ICA140....	383
Tabla 10.52: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140. ....	385

Tabla 10.53: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	395
Tabla 10.54: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-LAC100.....	397
Tabla 10.55: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100. ....	399
Tabla 10.56: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100. ....	409
Tabla 10.57: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-ICA50.....	411
Tabla 10.58: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50. ....	413
Tabla 10.59: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50. ....	423
Tabla 10.60: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-ICA100.....	425
Tabla 10.61: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100. ....	427
Tabla 10.62: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100. ....	437
Tabla 10.63: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-DEN67. ....	439
Tabla 10.64: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	441
Tabla 10.65: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.....	451
Tabla 10.66: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-DEN100. ....	453
Tabla 10.67: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	455
Tabla 10.68: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	465

## Índice de Ilustraciones

Figura 1.1: Concepto de aislación sísmica. Fuente: Protección sísmica de estructuras. Juan C. de la Llera (12/07/2010). .....	1
Figura 1.2: (a) Base Fija. (b) Base Aislada. Fuente: (K. Chopra, 1995). .....	2
Figura 1.3: (a) Estructura de un piso con base aislada. (b) Modos de vibrar y periodos naturales. Fuente: (K. Chopra, 1995). .....	2
Figura 1.4: Comparación de aceleraciones totales de la superestructura considerando un modelo de 1 y 2 GDL. ....	3
Figura 1.5: Diagrama de Estabilidad empleando método DSI-CVA empleando el método de subestructura. ....	3
Figura 1.6: Esquema metodológico del trabajo de título. ....	6
Figura 1.7: Esquema metodológico para el desarrollo del modelo en elementos finitos. ....	7
Figura 1.8: Ensayo Pull-back. ....	8
Figura 1.9: Esquema metodológico para definir inputs y outputs. ....	8
Figura 1.10: Esquema metodológico para realizar identificación de parámetros dinámicos de la estructura completa o la superestructura (método de sub-estructura). ....	9
Figura 1.11: Esquema metodológico para realizar comparación de resultados de.....	10
Figura 2.1: Estructura de M grados de libertad desagregada en estructura de N+1 grados de libertad. Con $M > N$ . ....	11
Figura 2.2: Estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras. ....	12
Figura 3.1: Representación gráfica del modelo espacio-estado en tiempo discreto, considerando un sistema lineal invariante en el tiempo, Fuente: (Van Overschee & De Moor, 1996). ....	15
Figura 3.2: Esquema resumen del método DSI de espacio-estado. Fuente: (Astroza, et al., 2015). ....	17
Figura 4.1: Esquema 3D de Espectrograma. Fuente: (Hernández Prado, 2009). ....	23
Figura 5.1: Elevación longitudinal de la estructura base fija. ....	26
Figura 5.2: Elevación transversal de la estructura base fija. ....	26
Figura 5.3: Plantas de la estructura base fija a modelar en SAP 2000. ....	26
Figura 5.4: Vista 3D del modelo de la estructura de base fija. ....	27
Figura 5.5: Segunda vista 3D del modelo de la estructura de base fija. ....	28
Figura 5.6: Planta rectangular del 1er y 2do piso y planta en L del 3er y 4to piso. ....	28
Figura 5.7: Elevación longitudinal con elementos estructurales. ....	29
Figura 5.8: Elevación transversal con elementos estructurales. ....	29
Figura 5.9: Elevación con amortiguamiento no-clásico. ....	30
Figura 5.10: Elevación transversal de estructura aislada con amortiguadores en su base....	31
Figura 5.11: Vista 3D del modelo de la estructura de base aislada. ....	32
Figura 5.12: Espectro de diseño elástico y reducido NCh433 (Suelo II, Zona sísmica 3). ...	33
Figura 5.13: (a) Tercer modo, torsional. (b) Sexto modo, torsional. ....	34
Figura 5.14: (a) Primer modo, traslacional, dirección transversal. (b) Segundo modo, traslacional, dirección longitudinal. (c) Cuarto modo, traslacional, dirección transversal. (d) Quinto modo, traslacional, dirección longitudinal. Estructura sin aislación. ....	35
Figura 5.15: Principios básicos del diseño sísmico. Fuente: (VULCO, 2017). ....	37
Figura 5.16: Espectro de aceleración de diseño, NCh2745 (Suelo II, Zona sísmica 3). ....	40
Figura 5.17: Constitutivas bilineales de los aisladores. ....	40

Figura 5.18: Geometría y composición de los aisladores.....	41
Figura 5.19: (a) Primer modo, traslacional, dirección transversal. (b) Segundo modo, traslacional, dirección longitudinal. (c) Cuarto modo, traslacional, dirección transversal. (d) Quinto modo, traslacional, dirección longitudinal. Estructura aislada.....	43
Figura 5.20: (a) Tercer modo, torsional. (b) Sexto modo, torsional. Estructura aislada. ....	44
Figura 5.21: Registro de aceleración Terremoto 27/02/10, Estación Constitución. Input modelo base fija y aislada.....	45
Figura 5.22: Vista 3D del modelo aislado con las columnas de las que se consideran los outputs. ....	46
Figura 5.23: Vista en planta con la numeración de las columnas seleccionadas.....	46
Figura 5.24: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura base fija.....	47
Figura 5.25: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura base fija.....	47
Figura 5.26: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura base aislada.....	48
Figura 5.27: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura base aislada.....	48
Figura 5.28: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación. ....	49
Figura 5.29: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación. ....	50
Figura 5.30: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base sin aisladores. ....	52
Figura 5.31: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base sin aisladores. ....	52
Figura 5.32: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base sin aisladores. ....	53
Figura 5.33: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación. ....	54
Figura 5.34: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación (dirección transversal). ....	55
Figura 5.35: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación (dirección longitudinal). ....	56
Figura 5.36: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación. ....	57
Figura 5.37: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura sin aislación. ....	58
Figura 5.38: Función de transferencia filtrada para el modo 7, Estructura sin aislación. ....	58
Figura 5.39: Diagrama de estabilidad propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada. ....	60
Figura 5.40: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada.....	61
Figura 5.41: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base aislada con outputs e input en la dirección longitudinal. ....	63
Figura 5.42: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base aislada con outputs e input en la dirección longitudinal. ....	63
Figura 5.43: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base aislada con outputs e input en la dirección longitudinal. ....	64
Figura 5.44: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección longitudinal. ....	65
Figura 5.45: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 5, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección longitudinal. ....	66
Figura 5.46: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 7, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección longitudinal. ....	67

Figura 5.47: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base aislada con outputs e input en la dirección transversal. ....	68
Figura 5.48: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base aislada con outputs e input en la dirección transversal. ....	68
Figura 5.49: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base aislada con outputs e input en la dirección transversal. ....	69
Figura 5.50: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección transversal. ....	70
Figura 5.51: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección transversal. ....	71
Figura 5.52: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 6, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección transversal. ....	72
Figura 5.53: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada. ....	73
Figura 5.54: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada (dirección longitudinal). ....	74
Figura 5.55: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada (dirección longitudinal). ....	75
Figura 5.56: Función de transferencia filtrada para el modo 5, Estructura aislada (dirección longitudinal). ....	76
Figura 5.57: Función de transferencia filtrada para el modo 7, Estructura aislada (dirección longitudinal). ....	76
Figura 5.58: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada (dirección transversal). ....	77
Figura 5.59: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada (dirección transversal). ....	78
Figura 5.60: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada (dirección transversal). ....	79
Figura 5.61: Función de transferencia filtrada para el modo 6, Estructura aislada (dirección transversal). ....	79
Figura 5.62: Input modelo base aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Dirección X. ....	82
Figura 5.63: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras. ....	83
Figura 5.64: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras. ....	83
Figura 5.65: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	84
Figura 5.66: Variación de propiedades dinámicas, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	85
Figura 5.67: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	87
Figura 5.68: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	87
Figura 5.69: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	88
Figura 5.70: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras. ....	89



Figura 5.71: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras (dirección transversal)..	90
Figura 5.72: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras (dirección longitudinal).	91
Figura 5.73: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras.	92
Figura 5.74: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras.	93
Figura 5.75: Función de transferencia filtrada para el modo 7, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras.	93
Figura 5.76: Modelo 3D estructura aislada, ensayo pull-back.	96
Figura 5.77: Elevación plano Y-Z, condición de carga para ensayo pull-back.	97
Figura 5.78: a) Función rampa que elimina carga inicial. b) Función rampa para condición cuasi estática.	97
Figura 5.79: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura aislada, Pull-back.	98
Figura 5.80: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura aislada, Pull-back.	98
Figura 5.81: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada, pull-back.	99
Figura 5.82: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada, pull-back.	100
Figura 5.83: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada, pull-back método de múltiples sub-estructuras.	102
Figura 5.84: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada, pull-back método de múltiples sub-estructuras.	103
Figura 6.1: (a) Edificio BNCS finalizado y (b) Sistema estructural del edificio BNCS. ...	105
Figura 6.2: (a) Vista en planta. (b) Vista en elevación. (Dimensiones en metros). Fuentes: (Astroza, et al., 2015).	106
Figura 6.3: Fundación durante la etapa de construcción: (a) armadura de refuerzo ductos de post-tensado. (b) vista sur de la fundación después de concretar. Fuente: (Chen, et al., 2016).	106
Figura 6.4: Propiedades de los aisladores sísmicos: (a) Dimensiones del aislador. (b) Aisladores instalados. (c) Curvas histeréticas de los aisladores. Fuente (Astroza, et al., 2017).	107
Figura 6.5: Canales de registros de aceleración en mesa de vibrar. Fuente: Astroza (información interna).	107
Figura 6.6: Canales de registros de aceleración en edificio BNCS. Fuente: Astroza (información interna).	108
Figura 6.7: Formas modales longitudinales identificadas para el edificio aislada. Fuente: (Astroza, et al., 2017).	110
Figura 6.8: Variación temporal de la frecuencia natural de los primeros cuatro modos longitudinales.	111
Figura 6.9: Variación temporal de la relación de amortiguamiento para los primeros cuatro modos longitudinales. Fuente: (Astroza, et al., 2017).	112
Figura 6.10: Input estructura aislada, Registro BI4-SP100.	113

Figura 6.11: Output estructura aislada, Registro BI4-SP100. ....	113
Figura 6.12: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.....	114
Figura 6.13: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	115
Figura 6.14: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	117
Figura 6.15: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	117
Figura 6.16: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	118
Figura 6.17: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	119
Figura 6.18: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	120
Figura 6.19: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	121
Figura 6.20: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	122
Figura 6.21: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	123
Figura 6.22: Formas modales asociadas a la primera ventana, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100. ....	124
Figura 6.23: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI4-SP100.....	125
Figura 6.24: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI4-SP100. ....	126
Figura 6.25: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI4-SP100. ....	126
Figura 6.26: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI4-SP100. ....	127
Figura 6.27: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI4-SP100. ....	127
Figura 6.28: Variación temporal de la frecuencia de vibración identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada. ....	131
Figura 6.29: Variación temporal de la razón de amortiguamiento identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada. ....	132
Figura 6.30: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada. ....	133
Figura 6.31: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100.....	134
Figura 6.32: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100.....	134
Figura 6.33: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.....	135
Figura 6.34: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	136

Figura 6.35: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	138
Figura 6.36: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	138
Figura 6.37: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	139
Figura 6.38: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	140
Figura 6.39: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	141
Figura 6.40: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	142
Figura 6.41: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	143
Figura 6.42: Formas modales asociadas a la primera ventana, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100. ....	144
Figura 6.43: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100. .	145
Figura 6.44: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100. ....	146
Figura 6.45: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100. ....	146
Figura 6.46: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100. ....	147
Figura 6.47: Variación temporal de la frecuencia de vibración identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras. ....	151
Figura 6.48: Variación temporal de la razón de amortiguamiento identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras. ....	152
Figura 6.49: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras. ....	153
Figura 6.50: Propiedades modales del edificio BNCS identificadas para el sismo FB-CNP100 considerando propiedades dinámicas invariantes en el tiempo. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016). ....	154
Figura 6.51: Diagrama de estabilización para la ventana “0” del sismo FB-CNP100. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016). ....	155
Figura 6.52: Formas modales longitudinales del edificio BNCS identificadas. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016). ....	155
Figura 6.53: Resultados de identificación para el sismo FB-CNP100 utilizando ventanas definidas por el largo mínimo con un 50[%] de traslape entre cada ventana. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016). ....	155
Figura 6.54: Variación temporal de las frecuencias identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016). ....	156
Figura 6.55: Variación temporal de los amortiguamientos identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016). ....	156

Figura 6.56: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).	157
Figura 6.57: Input estructura aislada, Registro FB-CNP100.	158
Figura 6.58: Output estructura aislada, Registro FB-CNP100.	158
Figura 6.59: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	159
Figura 6.60: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	160
Figura 6.61: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	162
Figura 6.62: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	162
Figura 6.63: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	163
Figura 6.64: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	164
Figura 6.65: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	165
Figura 6.66: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	166
Figura 6.67: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.	167
Figura 6.68: Formas modales asociadas a la primera ventana, estructura sin aislación BNCS, registro BI1-CNP100.	168
Figura 6.69: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.	169
Figura 6.70: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.	170
Figura 6.71: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.	170
Figura 6.72: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.	171
Figura 6.73: Variación temporal de la frecuencia de vibración identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura base fija.	174
Figura 6.74: Variación temporal de la razón de amortiguamiento identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura base fija.	175
Figura 6.75: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos para estructura base fija.	176
Figura 7.1: Edificio aislado Comunidad Andalucía. Fuente: ( <a href="http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/Andalucia.html">www.cec.uchile.cl/~dicesco/Andalucia.html</a> ).	177
Figura 7.2: Planta tipo de los edificios de la Comunidad Andalucía. Fuente: (Andrade Trujillo, 2014).	178
Figura 7.3: Elevaciones de los edificios de la Comunidad Andalucía. Fuente: (Andrade Trujillo, 2014).	179
Figura 7.4: Input estructura aislada, Registro 16/06/2000.	182
Figura 7.5: Output estructura aislada, Registro 16/06/2000.	182

Figura 7.6: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento inicial, estructura aislada, registro 16/06/2000.....	183
Figura 7.7: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento fuerte, estructura aislada, registro 16/06/2000.....	184
Figura 7.8: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento final, estructura aislada, registro 16/06/2000.....	184
Figura 7.9: Frecuencias identificadas, estructura aislada, registro 16/06/2000.....	185
Figura 7.10: Input estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, Registro 16/06/2000.....	187
Figura 7.11: Output estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, Registro 16/06/2000.....	187
Figura 7.12: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento inicial, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.....	188
Figura 7.13: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento fuerte, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.....	189
Figura 7.14: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento final, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.....	189
Figura 7.15: Frecuencias identificadas, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.....	190
Figura 7.16: Input estructura no aislada, Registro 16/06/2000.....	191
Figura 7.17: Output estructura no aislada, Registro 16/06/2000.....	191
Figura 7.18: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento inicial, estructura no aislada, registro 16/06/2000.....	192
Figura 7.19: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento fuerte, estructura no aislada, registro 16/06/2000.....	193
Figura 7.20: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento final, estructura no aislada, registro 16/06/2000.....	193
Figura 7.21: Frecuencias identificadas, estructura no aislada, registro 16/06/2000.....	194
Figura 10.1: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base fija.....	213
Figura 10.2: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base fija.....	213
Figura 10.3: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base fija.....	214
Figura 10.4: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base fija.....	214
Figura 10.5: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base aislada.....	215
Figura 10.6: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base aislada.....	215
Figura 10.7: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base aislada.....	216
Figura 10.8: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base aislada.....	216
Figura 10.9: Input modelo base aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Dirección Y.....	217

Figura 10.10: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.....	218
Figura 10.11: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.....	218
Figura 10.12: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.....	219
Figura 10.13: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.....	219
Figura 10.14: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base aislada, Pull-back.....	220
Figura 10.15: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base aislada, Pull-back.....	220
Figura 10.16: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base aislada, Pull-back.....	221
Figura 10.17: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base aislada, Pull-back.....	221
Figura 10.18: Input estructura aislada, Registro BI1-CNP100.....	222
Figura 10.19: Output estructura aislada, Registro BI1-CNP100.....	222
Figura 10.20: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	223
Figura 10.21: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.....	224
Figura 10.22: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.....	226
Figura 10.23: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.....	226
Figura 10.24: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.....	227
Figura 10.25: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.....	228
Figura 10.26: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	229
Figura 10.27: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	230
Figura 10.28: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	231
Figura 10.29: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100. ....	232
Figura 10.30: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100. ....	233
Figura 10.31: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.....	234
Figura 10.32: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.....	234
Figura 10.33: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.....	235

Figura 10.34: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.....	235
Figura 10.35: Input estructura aislada, Registro BI2-LAC100.....	237
Figura 10.36: Output estructura aislada, Registro BI2-LAC100.....	237
Figura 10.37: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	238
Figura 10.38: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	239
Figura 10.39: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	241
Figura 10.40: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	241
Figura 10.41: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	242
Figura 10.42: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	243
Figura 10.43: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	244
Figura 10.44: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	245
Figura 10.45: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	246
Figura 10.46: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.....	247
Figura 10.47: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.....	248
Figura 10.48: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.....	249
Figura 10.49: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.....	249
Figura 10.50: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.....	250
Figura 10.51: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.....	250
Figura 10.52: Input estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.....	252
Figura 10.53: Output estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.....	252
Figura 10.54: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	253
Figura 10.55: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	254
Figura 10.56: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	256
Figura 10.57: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	256
Figura 10.58: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	257

Figura 10.59: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	258
Figura 10.60: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	259
Figura 10.61: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	260
Figura 10.62: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	261
Figura 10.63: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.....	262
Figura 10.64: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.....	263
Figura 10.65: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.....	264
Figura 10.66: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.....	264
Figura 10.67: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.....	265
Figura 10.68: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.....	265
Figura 10.69: Input estructura aislada, Registro BI5-ICA50.....	267
Figura 10.70: Output estructura aislada, Registro BI5-ICA100.....	267
Figura 10.71: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	268
Figura 10.72: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	269
Figura 10.73: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	271
Figura 10.74: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	271
Figura 10.75: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA100.....	272
Figura 10.76: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	273
Figura 10.77: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	274
Figura 10.78: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	275
Figura 10.79: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	276
Figura 10.80: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.....	277
Figura 10.81: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.....	278
Figura 10.82: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.....	279



Figura 10.83: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.....	279
Figura 10.84: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.....	280
Figura 10.85: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.....	280
Figura 10.86: Input estructura aislada, Registro BI6-ICA100.....	282
Figura 10.87: Output estructura aislada, Registro BI6-ICA100.....	282
Figura 10.88: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100. ....	283
Figura 10.89: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.....	284
Figura 10.90: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.....	286
Figura 10.91: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.....	286
Figura 10.92: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.....	287
Figura 10.93: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.....	288
Figura 10.94: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100. ....	289
Figura 10.95: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100. ....	290
Figura 10.96: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100. ....	291
Figura 10.97: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100. ....	292
Figura 10.98: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100. ....	293
Figura 10.99: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.....	294
Figura 10.100: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.....	294
Figura 10.101: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.....	295
Figura 10.102: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.....	295
Figura 10.103: Input estructura aislada, Registro BI7-ICA140.....	297
Figura 10.104: Output estructura aislada, Registro BI7-ICA140.....	297
Figura 10.105: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140. ....	298
Figura 10.106: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	299
Figura 10.107: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	301

Figura 10.108: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	301
Figura 10.109: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	302
Figura 10.110: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	303
Figura 10.111: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	304
Figura 10.112: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	305
Figura 10.113: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	306
Figura 10.114: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.....	307
Figura 10.115: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.....	308
Figura 10.116: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.....	309
Figura 10.117: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.....	309
Figura 10.118: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.....	310
Figura 10.119: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.....	310
Figura 10.120: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100.....	312
Figura 10.121: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100.....	312
Figura 10.122: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	313
Figura 10.123: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	314
Figura 10.124: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	316
Figura 10.125: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	316
Figura 10.126: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	317
Figura 10.127: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	318
Figura 10.128: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	319
Figura 10.129: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	320
Figura 10.130: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.....	321

Figura 10.131: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100. ....	322
Figura 10.132: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100.....	323
Figura 10.133: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100.....	323
Figura 10.134: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100.....	324
Figura 10.135: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100. ....	326
Figura 10.136: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100. ....	326
Figura 10.137: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LCA100. ...	327
Figura 10.138: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LCA100.....	328
Figura 10.139: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100.....	330
Figura 10.140: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100.....	330
Figura 10.141: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100.....	331
Figura 10.142: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100.....	332
Figura 10.143: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100. ....	333
Figura 10.144: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100. ....	334
Figura 10.145: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100. ....	335
Figura 10.146: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100. ....	336
Figura 10.147: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100. ....	337
Figura 10.148: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100. ....	337
Figura 10.149: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100. ....	338
Figura 10.150: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2. ....	340
Figura 10.151: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2. ....	340
Figura 10.152: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LCA100. ...	341

Figura 10.153: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LCA100 2.....	342
Figura 10.154: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.....	344
Figura 10.155: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.....	344
Figura 10.156: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.....	345
Figura 10.157: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.....	346
Figura 10.158: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2. ....	347
Figura 10.159: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2. ....	348
Figura 10.160: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2. ....	349
Figura 10.161: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2. ....	350
Figura 10.162: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2. ....	351
Figura 10.163: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2. ....	351
Figura 10.164: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2. ....	352
Figura 10.165: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50. ....	354
Figura 10.166: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50. ....	354
Figura 10.167: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.....	355
Figura 10.168: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.....	356
Figura 10.169: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.....	358
Figura 10.170: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.....	358
Figura 10.171: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.....	359
Figura 10.172: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.....	360
Figura 10.173: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50. ....	361
Figura 10.174: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50. ....	362
Figura 10.175: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50. ....	363

Figura 10.176: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50. ....	364
Figura 10.177: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50. ....	365
Figura 10.178: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50. ....	365
Figura 10.179: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50. ....	366
Figura 10.180: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100. ....	368
Figura 10.181: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100. ....	368
Figura 10.182: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.....	369
Figura 10.183: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.....	370
Figura 10.184: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.....	372
Figura 10.185: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.....	372
Figura 10.186: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.....	373
Figura 10.187: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.....	374
Figura 10.188: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100. ....	375
Figura 10.189: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100. ....	376
Figura 10.190: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100. ....	377
Figura 10.191: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100. ....	378
Figura 10.192: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100. ....	379
Figura 10.193: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100. ....	379
Figura 10.194: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100. ....	380
Figura 10.195: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140. ....	382
Figura 10.196: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140. ....	382
Figura 10.197: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	383

Figura 10.198: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	384
Figura 10.199: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	386
Figura 10.200: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	386
Figura 10.201: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	387
Figura 10.202: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	388
Figura 10.203: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	389
Figura 10.204: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	390
Figura 10.205: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.....	391
Figura 10.206: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.....	392
Figura 10.207: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.....	393
Figura 10.208: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.....	393
Figura 10.209: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.....	394
Figura 10.210: Input estructura aislada, Registro FB-LAC100.....	396
Figura 10.211: Output estructura aislada, Registro FB-LAC100.....	396
Figura 10.212: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	397
Figura 10.213: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	398
Figura 10.214: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	400
Figura 10.215: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	400
Figura 10.216: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	401
Figura 10.217: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	402
Figura 10.218: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	403
Figura 10.219: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	404
Figura 10.220: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.....	405
Figura 10.221: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100.....	406

Figura 10.222: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100. ....	407
Figura 10.223: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100. ....	407
Figura 10.224: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100. ....	408
Figura 10.225: Input estructura aislada, Registro FB-ICA50.....	410
Figura 10.226: Output estructura aislada, Registro FB-ICA50.....	410
Figura 10.227: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.....	411
Figura 10.228: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50. ....	412
Figura 10.229: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.....	414
Figura 10.230: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.....	414
Figura 10.231: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.....	415
Figura 10.232: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.....	416
Figura 10.233: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50. ....	417
Figura 10.234: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50. ....	418
Figura 10.235: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50. ....	419
Figura 10.236: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50.....	420
Figura 10.237: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50. ....	421
Figura 10.238: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50. ....	421
Figura 10.239: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50. ....	422
Figura 10.240: Input estructura aislada, Registro FB-ICA100.....	424
Figura 10.241: Output estructura aislada, Registro FB-ICA100.....	424
Figura 10.242: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.....	425
Figura 10.243: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100. ....	426
Figura 10.244: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.....	428
Figura 10.245: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.....	428
Figura 10.246: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.....	429

Figura 10.247: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.....	430
Figura 10.248: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100. ....	431
Figura 10.249: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100. ....	432
Figura 10.250: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100. ....	433
Figura 10.251: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA100.....	434
Figura 10.252: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA100. ....	435
Figura 10.253: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA100. ....	435
Figura 10.254: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA100. ....	436
Figura 10.255: Input estructura aislada, Registro FB-DEN67. ....	438
Figura 10.256: Output estructura aislada, Registro FB-DEN67.....	438
Figura 10.257: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	439
Figura 10.258: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	440
Figura 10.259: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	442
Figura 10.260: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	442
Figura 10.261: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	443
Figura 10.262: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	444
Figura 10.263: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	445
Figura 10.264: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	446
Figura 10.265: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67. ....	447
Figura 10.266: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67.....	448
Figura 10.267: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67. ....	449
Figura 10.268: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67. ....	449
Figura 10.269: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67. ....	450
Figura 10.270: Input estructura aislada, Registro FB-DEN100. ....	452
Figura 10.271: Output estructura aislada, Registro FB-DEN100.....	452



Figura 10.272: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	453
Figura 10.273: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	454
Figura 10.274: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	456
Figura 10.275: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	456
Figura 10.276: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	457
Figura 10.277: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	458
Figura 10.278: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	459
Figura 10.279: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	460
Figura 10.280: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100. ....	461
Figura 10.281: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100. ....	462
Figura 10.282: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100. ....	463
Figura 10.283: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100. ....	463
Figura 10.284: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100. ....	464

# 1. Introducción

## 1.1 Aspectos Generales

Una estructura aislada (Figura 1.1) tiene un comportamiento sísmico que es altamente controlado por la respuesta del sistema de aislación. El sistema de aislación suele presentar una respuesta altamente no-lineal asociada a su comportamiento histerético. Mientras la respuesta dinámica de la estructura sea no lineal y se exprese en relación con su movimiento basal, se tiene que las propiedades modales son variables en el tiempo. Observándose que en la práctica y en la totalidad de los estudios de edificios aislados, el comportamiento dinámico de la estructura aislada se analiza en relación con su movimiento basal, implicando que las respuestas modales de la estructura son controladas, en algún grado, por la respuesta no-lineal del sistema de aislación.

Cuando se analizan estructuras aisladas en su base, se suele considerar la estructura completa considerando todos los grados de libertad y todos los modos globales de la estructura, considerando registros de aceleraciones y desplazamientos totales. Por ejemplo, un edificio plano que tiene  $N-1$  niveles es descrito por la respuesta de  $N$  modos de vibrar ( $N-1$  GDL asociados a la superestructura y 1 GDL asociado al nivel de aislación). Luego, si la estructura es estudiada en relación a su movimiento basal, el comportamiento de la estructura completa se describe por  $N$  modos de vibrar que dependen de la respuesta del sistema de aislación.

Por otra parte, la superestructura suele evidenciar muy poco daño, comportándose en forma elástica-lineal debido a que la deformación sísmica de un edificio aislado se concentra en su sistema de aislación. Por lo cual, para analizar correctamente la respuesta elástica de la superestructura se debe desagregar el efecto histerético del sistema de aislación.

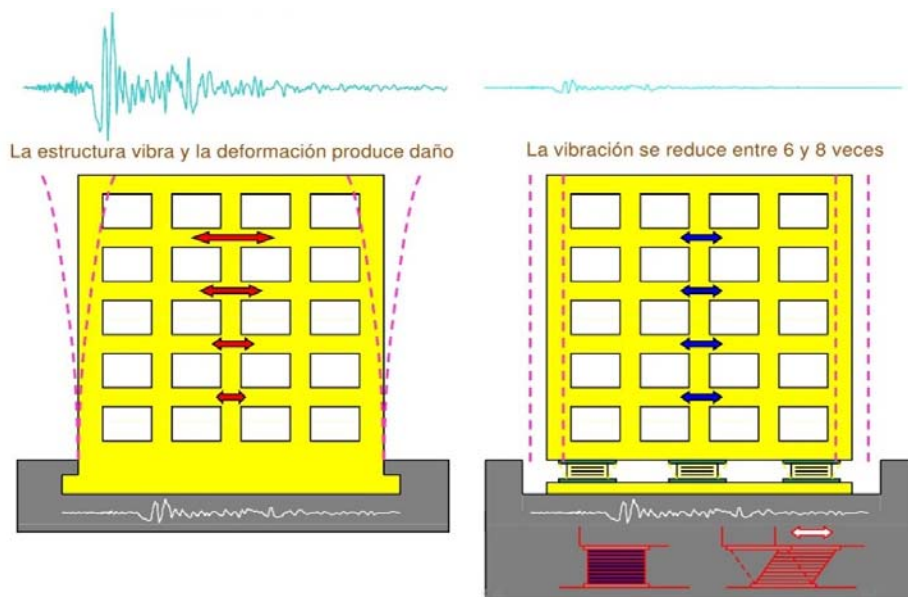


Figura 1.1: Concepto de aislación sísmica. Fuente: Protección sísmica de estructuras. Juan C. de la Llera (12/07/2010).

El método de múltiples sub-estructuras, permite entender la respuesta de la superestructura como la respuesta de un sistema de  $N-1$  grados de libertad sujeta ante una aceleración basal que corresponde a la aceleración total medida en el nivel de aislación (o base de la superestructura). De esta forma, la superestructura puede ser analizada como una estructura independiente montada sobre el nivel de aislación. Este enfoque permite estudiar la respuesta de la superestructura independiente del comportamiento no-lineal del sistema de aislación; más aún, permite obtener el comportamiento elástico-lineal de la superestructura.

Para esquematizar el concepto del método de sub-estructuras aplicado a estructuras con aislación en su base, en la Figura 1.2 se muestra una estructura representada como un oscilador de un grado de libertad de periodo natural igual a  $0,4 \text{ seg}$  y un amortiguamiento bajo ( $2\%$ , sin aislación) que se monta sobre un sistema de aislación ( $T_b = 2 \text{ seg}$  y  $\zeta_b = 10\%$ ). De esta forma, la estructura completa posee dos modos de periodos naturales de  $2,024 \text{ seg}$  y  $0,250 \text{ seg}$  (Figura 1.3) y que involucran la respuesta del sistema de aislación (ambos modos poseen altos amortiguamientos,  $\zeta_1 = 9.65\%$  y  $\zeta_2 = 5.06\%$ ) (K. Chopra, 1995).

Por otra parte, si se analiza la respuesta de la superestructura relativa a su nivel de aislación, permite estudiar la respuesta de la superestructura independiente de la respuesta del sistema de aislación. De esta forma, la superestructura se comporta como un sistema de un grado de libertad de periodo natural de  $0,4 \text{ seg}$  y una razón de amortiguamiento de  $2\%$  excitada por una aceleración basal igual a la aceleración total obtenida en el nivel de aislación (calculada considerando el sistema completo).

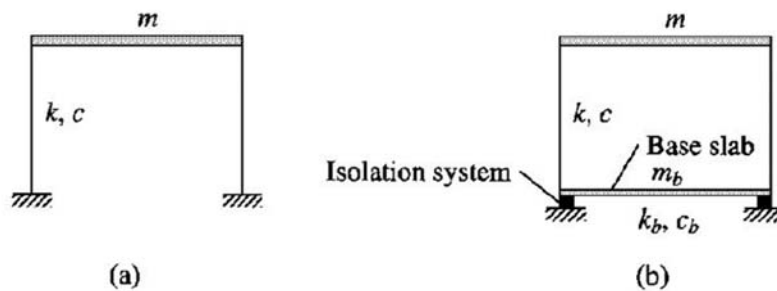


Figura 1.2: (a) Base Fija. (b) Base Aislada. Fuente: (K. Chopra, 1995).

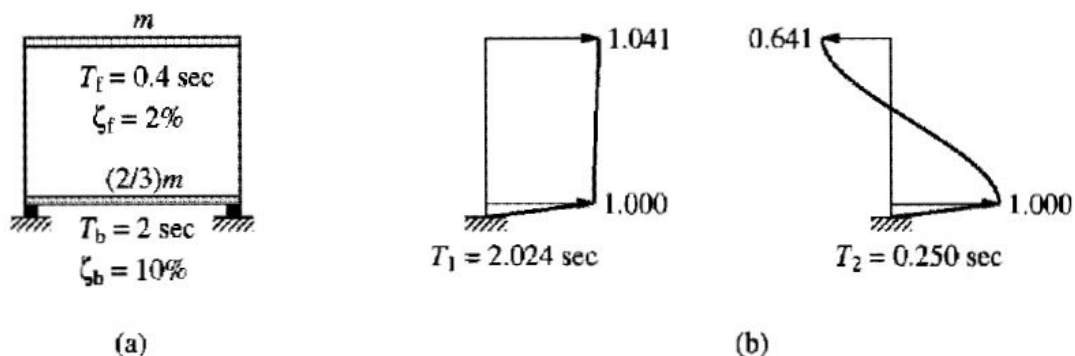


Figura 1.3: (a) Estructura de un piso con base aislada. (b) Modos de vibrar y periodos naturales. Fuente: (K. Chopra, 1995).

Para comprobar la viabilidad de la hipótesis del método de subestructuras se emplea como referencia la estructura de ejemplo de la Figura 1.3. De esta forma, se determina la aceleración total de la superestructura considerando el modelo de 2 GDL (Figura 1.3) sujeta al registro basal medido en Llole para el terremoto de Valparaíso de 1985 y se compara con la aceleración total que se obtiene para la superestructura de 1 GDL (Figura 1.2) sujeta a una aceleración basal igual a la obtenida en el sistema de aislación obtenida para el sistema de 2 GDL. La comparación de la aceleración total de ambos casos se muestra en la Figura 1.4 mostrando un factor de ajuste  $NRMSE=0.997$  (Normalized root mean-square), implicando respuestas idénticas.

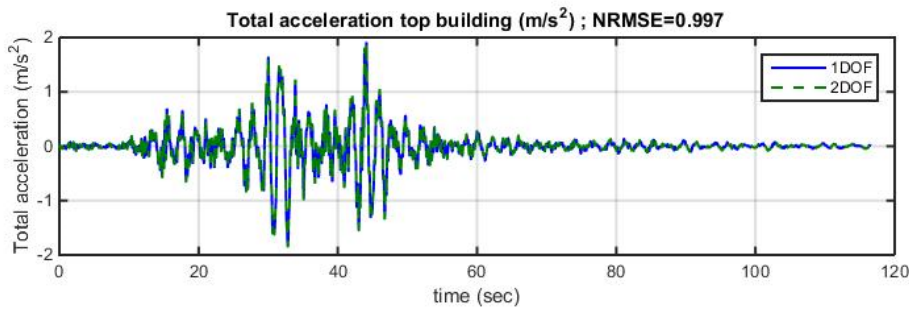


Figura 1.4: Comparación de aceleraciones totales de la superestructura considerando un modelo de 1 y 2 GDL.

Como una comprobación adicional se realiza la identificación de la superestructura empleando el método de subestructuras. Es decir, se considera como “output” la aceleración total de la superestructura y como “input” la aceleración total calculada para el nivel de aislación (empleando para input y output los resultados del modelo de 2GDL).

La Figura 1.5 muestra el diagrama de estabilidad empleando el método DSI (Sección 3.1), corroborándose que la frecuencia de la superestructura es  $2.497 \text{ Hz}$  ( $T_f=0.4 \text{ seg}$ ) y su razón de amortiguamiento es  $1.99\%$ . De esta forma se puede concluir que el método de subestructuras podría ser empleado para el estudio de la respuesta de superestructuras de estructuras aisladas al menos para el caso lineal.

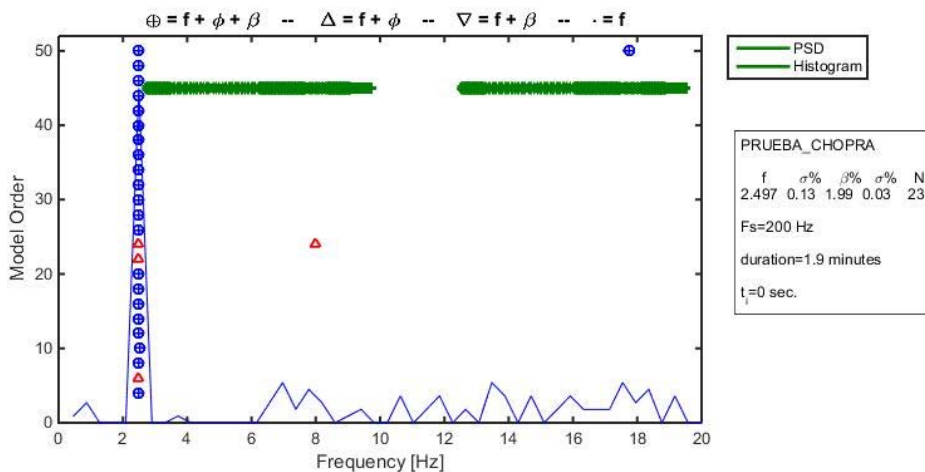


Figura 1.5: Diagrama de Estabilidad empleando método DSI-CVA empleando el método de subestructura.

De esta forma, el objetivo de esta memoria es emplear y estudiar las ventajas y desventajas del método de múltiples sub-estructuras en el análisis de la respuesta dinámica de la superestructura de un edificio con aislación en su base.

Con este objetivo, se estudiará y comparará la respuesta dinámica de edificios con y sin aislación empleando el método de sub-estructuras, lo cual permitirá: i) estudiar y comparar la evolución de las propiedades modales del edificio cuando su respuesta se plantea relativa a su nivel de aislación o relativa a su nivel basal, ii) comparar directamente la respuesta modal de edificios con y sin aislación.

Para analizar la evolución de las propiedades dinámicas en el tiempo se empleará el método Deterministic-Stochastic Subspace Identification (DSI) por pequeñas ventanas de tiempo (Sección 3) y a modo de complemento, las frecuencias identificadas con el método DSI por pequeñas ventanas serán comparadas con la Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (denominado en este trabajo como  $tTF$  –“Time Frequency Transfer Function”). El método  $tTF$  es un símil del espectrograma (Sección 4.2), pero tiene la ventaja de analizar la razón espectral de un output con un input; de esta forma se puede estudiar la respuesta relativa respecto a la aceleración basal o respecto a la aceleración del sistema de aislación (método de subestructura).

La evolución de las propiedades dinámicas será determinada para tres estructuras (con y sin aislación: i) Una estructura modelada numéricamente en SAP 2000 (Sección 5) con cargas sísmicas y ensayos del tipo pull-back, ii) un edificio “BNCS” (con y sin aislación) que fue ensayado a escala real en la mesa de vibrar de la Universidad de California, San Diego (UCSD) en los Estados Unidos (Sección 6), iii) los datos de los edificios chilenos con y sin aislación de la “Comunidad Andalucía” sujetos a eventos sísmicos de mediana intensidad (Sección 7).

Como primera parte del estudio, se modelará en SAP2000 (Sección 5) un edificio de cuatro niveles con un sistema de aislación diseñado en conformidad a la NCh2745.Of2003 y se obtendrá su respuesta dinámica no-lineal empleando elementos tipo “link” para modelar el sistema de aislación y elementos lineales para la superestructura.

Adicionalmente, se analizarán los datos experimentales obtenidos para un edificio a escala real con y sin aislación que fue ensayado en la mesa de vibrar de la Universidad de California, San Diego (La Jolla, Estados Unidos). Dicho edificio fue sujeto a acciones sísmicas de diversa intensidad, ruidos blancos (WN) y vibraciones ambientales (VA) incluyendo un sistema de aislación y posteriormente sin el sistema de aislación. Finalmente, se estudiarán los datos de los edificios con y sin aislación de la “Comunidad Andalucía” ubicados en la comuna de Santiago, los cuales han sido ampliamente analizados en diversas memorias desarrolladas en el departamento de ingeniería civil de la Universidad de Chile (Riveros Pérez, 1998). Los edificios de la Comunidad Andalucía fueron construidos e instrumentados en 1992, desde entonces se han registrado sus respuestas ante diversas acciones sísmicas (de baja, mediana y alta intensidad) y la respuesta del edificio aislado ante ensayos del tipo pull-back.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivos Generales

Demostrar que el método de sub-estructuras es más adecuado que el análisis tradicional, para el estudio del comportamiento de la superestructura de edificios con aislación sísmica basal.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Implementar el método DSI por pequeñas ventanas para realizar la identificación de la evolución temporal de las propiedades dinámicas de estructuras con propiedades dinámicas variables en el tiempo.
- Implementar el método Función de Transferencia por pequeñas ventanas, para realizar la identificación de las frecuencias de estructuras para tener una validación de los resultados obtenidos con el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo.
- Realizar un modelo en elementos finitos en el programa SAP 2000 de una estructura con aislación en su base en conformidad a los requerimientos de la normativa de aislación sísmica chilena NCh2745.Of2003 y la NCh433.Of 96 Mod 2009.
- Obtener la respuesta (lineal y no-lineal) de la estructura (con y sin aislación) para un registro en su base.
- Obtener la respuesta (lineal y no-lineal) de la estructura (con y sin aislación) cuando se considera un ensayo del tipo pull-back.
- Determinar cómo varían las propiedades dinámicas de las siguientes estructuras:
  - i) Una estructura (con y sin aislación) modelada en el programa SAP2000 (Sección 5) sujeta a un movimiento basal conocido o sujeta a un acción del tipo “pull-back”.
  - ii) Los edificios BNCS con y sin aislación en su base que fue ensayado en la mesa de vibrar de la Universidad de California, San Diego (UCSD) ante sismos de diversa intensidad y ruidos blancos en su base.
  - iii) Los edificios aislados y no aislados de la comunidad Andalucía (Santiago, Chile), que han registrado sus respuestas debido a movimientos sísmicos de diversa intensidad.
- Comparar los resultados de la evolución de las propiedades dinámicas en el tiempo cuando se utiliza el sistema de aislación empleando el enfoque tradicional (relativo a la base) y el de sub-estructuras (relativo al nivel de aislación).
- Comparar los resultados del cambio de las propiedades dinámicas en el tiempo entre las estructuras con aislación sísmica (método de sub-estructuras) y sin aislación.
- Validar el método de múltiples sub-estructuras y establecer sus ventajas y desventajas.

### 1.3 Metodología

Para la realización de la memoria de título, se seguirá la siguiente metodología:

#### 1.3.1 Revisión Bibliográfica

Se estudiará la bibliografía pertinente, recopilando antecedentes sobre:

- El diseño del sistema de aislación basal de un edificio en conformidad a los requerimientos de la normativa de aislación sísmica chilena (NCh2745.Of2003).
- La implementación de métodos de identificación de propiedades dinámicas como DSI por pequeñas ventanas de tiempo y Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo, que permitan determinar la evolución de los parámetros modales de una estructura en función de su movimiento modal (input) y la respuesta medida en diversos niveles de la estructura (outputs).
- Describir los registros de respuestas y los montajes experimentales, asociados a las estructuras en estudio.
- Llevar a cabo una revisión bibliográfica de los parámetros modales que han sido determinados para las estructuras y describir cuales métodos de identificación de propiedades dinámicas han sido empleados con este propósito.

En base a la revisión bibliográfica se define una metodología para cada uno de los casos en estudio (Figura 1.6), la cual se resume en el siguiente diagrama.

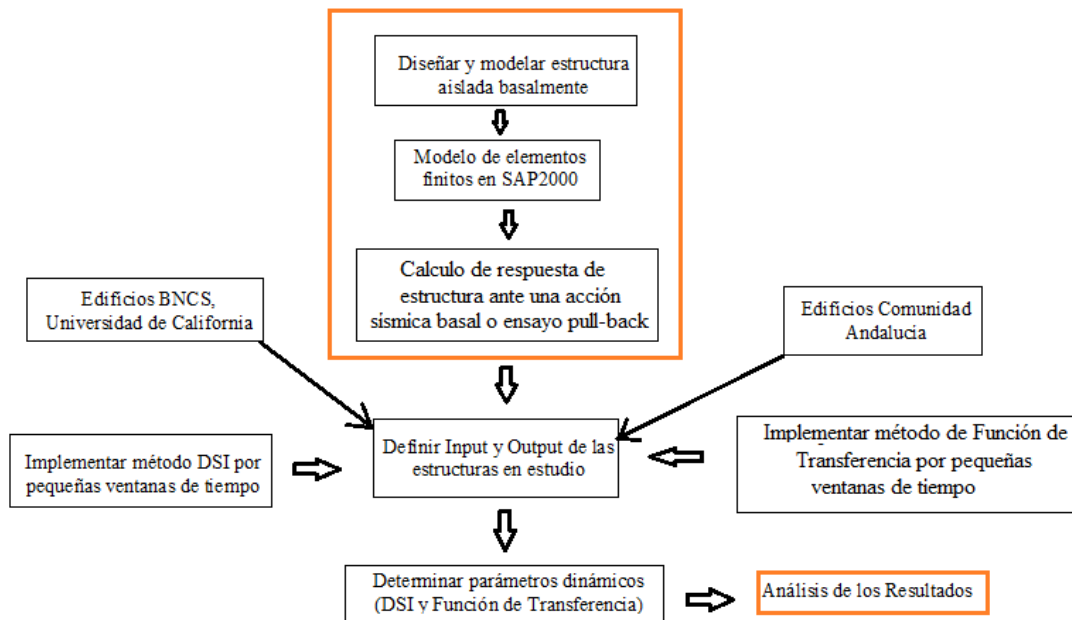


Figura 1.6: Esquema metodológico del trabajo de título.

### 1.3.2 Implementar el Método DSI por Pequeñas Ventas de Tiempo

Se modifican rutinas de MATLAB que permiten la identificación de propiedades dinámicas de estructuras elásticas lineales con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) a través el método Deterministic-Stochastic Subspace Identification (DSI) (Van Overschee & De Moor, 1996) de manera de estudiar la evolución en el tiempo de las propiedades dinámicas por pequeñas ventanas de tiempo (i.e., se supone que la estructura tiene propiedades invariantes durante pequeñas ventanas de tiempo).

### 1.3.3 Implementar el Método Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (tfTF)

Se implementa una rutina en MATLAB con el método Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (tfTF), el cual permite estudiar la variación temporal de las frecuencias modales de una estructura en función de un registro de salida (Output) y un registro de entrada (Input). La Función de transferencia por pequeñas ventanas de tiempo ofrece un gráfico tiempo-frecuencia de características similares a un espectrograma (sección 4), pero que permite determinar la respuesta independiente de la potencia de entrada y relativa a “inputs” de diversas características (i.e., permite el análisis con el método de subestructuras y la estructura completa).

### 1.3.4 Modelo en Elementos Finitos

Realizar un modelo en elementos finitos en el programa SAP2000 (Sección 5) de una estructura con aislación en su base en conformidad a los requerimientos de la normativa de aislación sísmica chilena (NCh2745.Of2003).

La modelación considerará un comportamiento histerético del sistema de aislación y uno elástico-lineal para la superestructura (Figura 1.7). La respuesta (no-lineal y lineal) de la estructura (con y sin aislación) será determinada para un registro en su base conocido (registro de estación Constitución del terremoto del 27 de febrero del 2010). De igual forma, se estudiará la respuesta suponiendo un ensayo tipo pull-back desplazando inicialmente el nivel de aislación, similar al de la Figura 1.8.

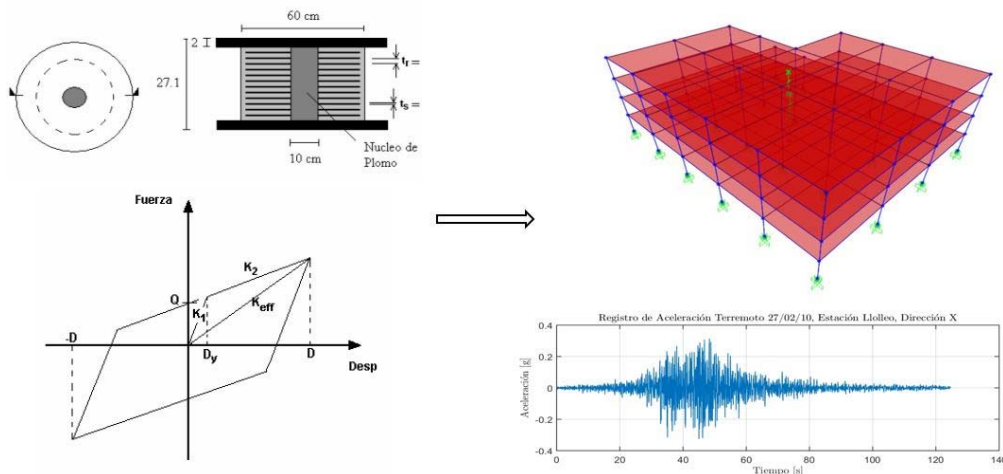


Figura 1.7: Esquema metodológico para el desarrollo del modelo en elementos finitos.



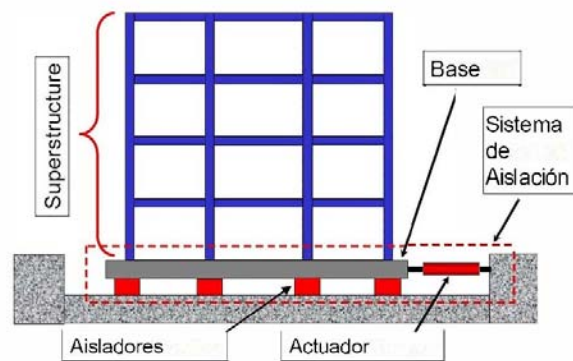


Figura 1.8: Ensayo Pull-back.

### 1.3.5 Definición de Inputs y Outputs (Figura 1.9)

Para los casos de los edificios BNCS de la Universidad de California y para los edificios de la Comunidad Andalucía, se emplean registros de aceleraciones que solicitaron a las estructuras (Inputs) (acelerómetros montados en la mesa vibradora del BNCS o registros basales de los edificios de la comunidad Andalucía); los “outputs” son las aceleraciones totales medidas en diversos niveles de las estructuras generados por dichas solicitaciones.

Por otra parte, para el modelo de elementos finitos, se impondrá en la base una acción sísmica caracterizada por el registro de la estación Constitución del mega-terremoto del 27 de febrero del 2010 (Inputs), y se determinará la respuesta estructural (Outputs) en tres puntos por nivel de manera de capturar los movimientos traslacionales y torsionales de la estructura.

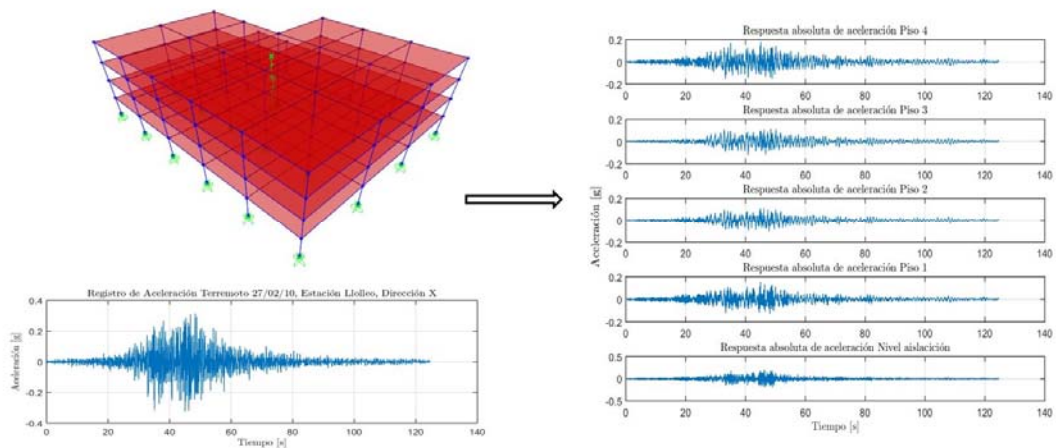


Figura 1.9: Esquema metodológico para definir inputs y outputs.

El análisis con el método de subestructuras consideraran como “Inputs” los registros de aceleraciones totales medidos (o calculados) en el sistema de aislación y como “Outputs” las aceleraciones totales medidas en sus niveles superiores.

Para el caso de ensayos del tipo pull-back, no se considerarán “inputs” cuando se analiza la estructura completa (el problema se refiere a un caso de condiciones iniciales); por otra parte, para el estudio de la superestructura se considerará como “inputs” las aceleraciones totales computadas en el nivel del sistema de aislación y como “outputs” las aceleraciones totales computadas en los niveles superiores de la superestructura.

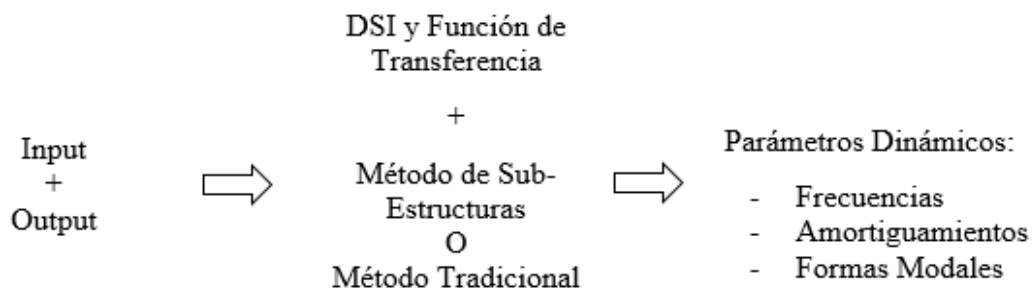
### 1.3.6 Determinación de Parámetros Dinámicos (Figura 1.10)

Para el caso de estructuras con aislación se identificarán las propiedades dinámicas a través del método tradicional tomando como “inputs” las aceleraciones totales registradas/impuestas en la base y como “outputs” las aceleraciones totales registradas/calculadas en todos los niveles de la superestructura (incluyendo el nivel del sistema de aislación).

Cuando se emplee el método de sub-estructuras se considera como “inputs” las aceleraciones totales registradas/calculadas en el nivel del sistema de aislación y como “outputs” las aceleraciones totales registradas/medidas en los niveles superiores de la superestructura.

Para la estructura sin aislación basal se estudiarán las propiedades modales considerando como “inputs” las aceleraciones registradas/impuestas en la base y como “outputs” las aceleraciones totales registradas/calculadas en los diversos niveles de la superestructura.

Para analizar la evolución temporal de las propiedades dinámicas de la estructura completa y de la superestructura (empleando el método de subestructuras) se utilizará el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo. Dichos resultados serán validados con el método de Función de transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (tfTF).



**Figura 1.10: Esquema metodológico para realizar identificación de parámetros dinámicos de la estructura completa o la superestructura (método de sub-estructura).**

### 1.3.7 Análisis de los Resultados (Figura 1.11)

Se analizarán los resultados, comparando los parámetros dinámicos obtenidos mediante la utilización del método de subestructura y los obtenidos de analizar la estructura completa con y sin aislación. En base a esto se analizarán las ventajas y desventajas, además, poder validar el método planteado.

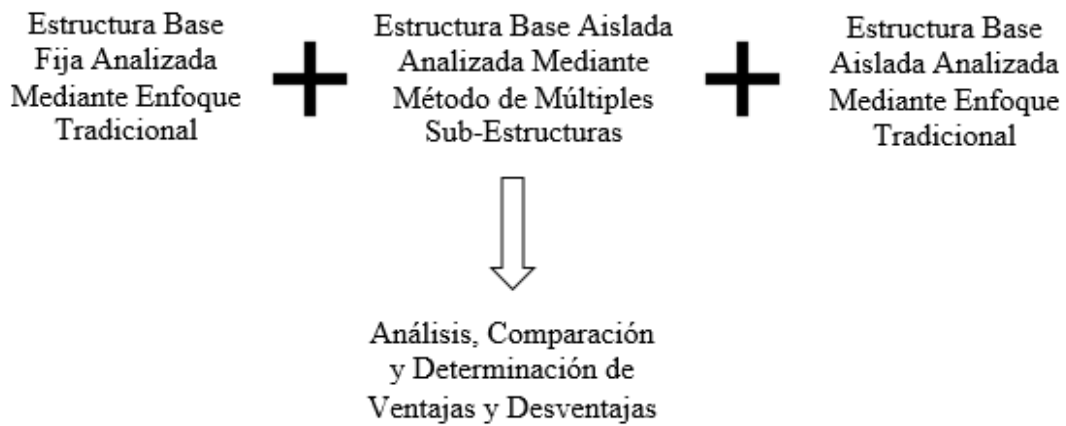


Figura 1.11: Esquema metodológico para realizar comparación de resultados de

## 2. Método de Múltiples Sub-Estructuras en Estructuras Aisladas

El método de Múltiples Sub-Estructuras, permite entender la respuesta de una sub-estructura de  $N$  grados de libertad sujeta a una aceleración basal, la cual corresponde a la aceleración del grado de libertad  $N+1$ , considerando que esta forma parte de una estructura de  $M$  grados de libertad ( $M > N$ ). De esta forma, es posible desagregar una estructura en múltiples sub-estructuras y analizar cada una de ellas de forma independiente (Figura 2.1).

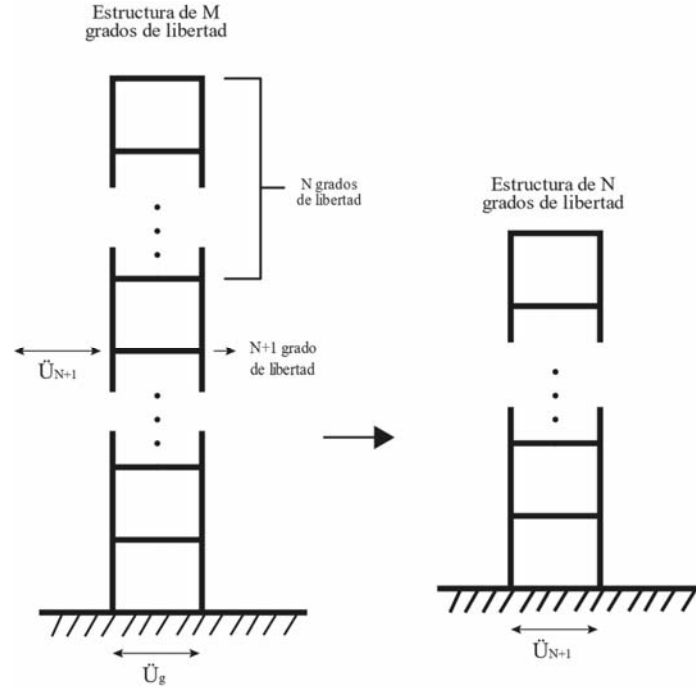


Figura 2.1: Estructura de  $M$  grados de libertad desagregada en estructura de  $N+1$  grados de libertad. Con  $M > N$ .

Lo anterior es posible al estudiar la respuesta de la estructura como un movimiento relativo al grado de libertad  $N+1$  y considerando que no existe giro entre pisos. Para lo cual, la ecuación de movimiento clásica se transforma en:

$$[\mathbf{M}] \cdot \{\ddot{\mathbf{U}}\} + [\mathbf{C}] \cdot \{\dot{\mathbf{U}}\} + [\mathbf{K}] \cdot \{\mathbf{U}\} = -[\mathbf{M}] \cdot \{\mathbf{r}\} \cdot \ddot{U}_{N+1} \quad (1)$$

$$\{\mathbf{U}\} = \begin{Bmatrix} U_M \\ \vdots \\ U_J \\ \vdots \\ U_N \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{U}_J = \mathbf{U}_J^{TOT} - \mathbf{U}_{N+1}^{TOT} \quad (3)$$

Donde:

- [M]: Matriz de masa.
- [C]: Matriz de amortiguamiento.
- [K]: Matriz de rigidez.
- {r}: Vector de influencia.
- $U_J$ : Desplazamiento relativo del grado de libertad J respecto al grado de libertad N+1.
- $U_J^{TOT}$ : Desplazamiento total del grado de libertad J.
- $U_{N+1}^{TOT}$ : Desplazamiento total del grado de libertad N+1.

En una estructura aislada con aislación basal la respuesta relativa de sus M grados de libertad en relación a su movimiento basal, presenta un comportamiento no-lineal con propiedades dinámicas variable en el tiempo debido al comportamiento histerético del sistema de aislación.

Por otra parte, la superestructura suele evidenciar muy poco daño, comportándose en forma prácticamente elástica-lineal debido a que la deformación sísmica de un edificio aislado se concentra en su sistema de aislación. Por lo cual, para analizar correctamente la respuesta elástica de la superestructura se debe desagregar el efecto histerético del sistema de aislación.

En base a lo anterior, es posible emplear el método de sub-estructuras (Figura 2.2) para estudiar el comportamiento de la superestructura. Es decir, la superestructura (de M-1 GDL) se puede analizar como una estructura independiente sujeta a una aceleración basal igual a la aceleración total observada en su nivel de aislación.

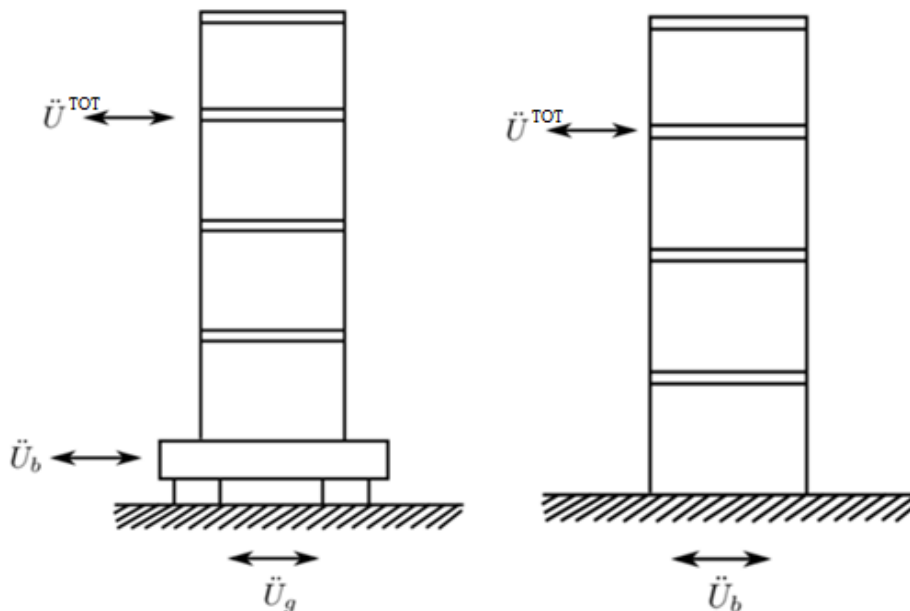


Figura 2.2: Estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras.

En otras palabras, el método de subestructuras puede ser aplicado para analizar el comportamiento de la superestructura, entendiéndose que la aceleración basal de la superestructura corresponde a la aceleración del nivel de aislación. Es decir, las ecuaciones (1) a (3) pueden ser empleadas para estudiar el comportamiento de la superestructura cuando  $U_{N+1} = U_b$ . Entendiéndose de esta forma que la aceleración relativa de la superestructura respecto a su nivel de aislación se describe como  $\{\ddot{U}\} = \{\ddot{U}^{TOT}\} - \{r\} \cdot \ddot{U}_b$  (donde,  $\{\ddot{U}^{TOT}\}$  = respuesta total de la estructura,  $\ddot{U}_b$ : aceleración del nivel de aislación,  $\{r\}$ : vector de influencia sísmica).

De esta forma, la superestructura puede ser analizada como una estructura independiente montada sobre el nivel de aislación. Este enfoque permite estudiar la superestructura independiente del comportamiento no-lineal del sistema de aislación; más aún, permite obtener el comportamiento elástico-lineal de la superestructura.

En conclusión, las propiedades dinámicas de la superestructura pueden ser analizadas a partir de métodos de identificación de propiedades dinámicas que relacionan entradas y salidas sísmicas como el método DSI (Sección 3). Es interesante notar que la ecuación de movimiento de la superestructura (1) puede expresarse en términos totales; por lo cual el output de la superestructura puede ser la aceleración total de los niveles de la superestructura, sin la necesidad de emplear aceleraciones relativas al nivel de aislación. Cabe mencionar que el método DSI permite trabajar ya sea con outputs relativos a la base o totales, teniendo en cuenta que los modos quasi-estáticos no cambian la identificación de las propiedades dinámicas y que se encuentran intrínsecamente en las matrices de estado empleadas por el método (Guerrero, 2018).

A pesar que la superestructura tiende a mostrar una respuesta cercana a la elástica-lineal, en la práctica las superestructuras muestran algún grado de variación de sus propiedades dinámicas, por lo cual las superestructuras de casos experimentales presentes en este estudio serán analizadas empleando DSI por pequeñas ventanas de tiempo de manera de analizar cómo cambian sus frecuencias, amortiguamiento y formas modales.

### 3. Método de Identificación de Propiedades Dinámicas DSI

#### 3.1 Descripción del Método DSI Implementado

Deterministic-Stochastic Subspace Identification (DSI) es un método espacio-estado, en tiempo discreto, desarrollado por Van Overschee & De Moor (1996). Este método permite determinar las propiedades dinámicas (frecuencias, amortiguamientos y formas modales) de una estructura a partir de datos de entrada (solicitud o input) y salida (respuesta u output) asumiendo un comportamiento lineal invariante en el tiempo, es decir, no se considera la degradación de rigidez de la estructura, asumiendo que durante el periodo de registro las propiedades dinámicas permanecen constantes.

El método queda descrito por el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_d \cdot \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_d \cdot \mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k \quad (4)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_d \cdot \mathbf{x}_k + \mathbf{D}_d \cdot \mathbf{u}_k + \mathbf{v}_k \quad (5)$$

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

$$E \left[ \begin{pmatrix} \mathbf{w}_p \\ \mathbf{v}_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{w}_q^T & \mathbf{v}_q^T \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{S} \\ \mathbf{S}^T & \mathbf{R} \end{pmatrix} \delta_{pq} \quad (6)$$

Donde:

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

En base al sistema de ecuaciones, el problema a resolver dadas las  $s$  mediciones consecutivas de input y output ( $k \in Z^+ | k < s$ ) es:

- Encontrar el orden del sistema ( $n$ ).
- Encontrar las matrices del sistema de ecuaciones ( $A_d, B_d, C_d, D_d, Q, R, S$ ).

El sistema de identificación se encuentra representado en la Figura 3.1, en la cual se puede apreciar un modelo de espacio-estado en tiempo discreto, considerando un sistema lineal invariante en el tiempo, con entradas o input  $u_k$ , salidas u output  $y_k$  y estados  $x_k$ , descrito por las matrices  $A_d$ ,  $B_d$ ,  $C_d$ ,  $D_d$  y las matrices de covarianza  $Q$ ,  $S$ ,  $R$ . En este sistema las señales de entrada y salida son conocidas. El estado no es conocido, pero se determina como resultado del algoritmo del modelo espacio-estado.

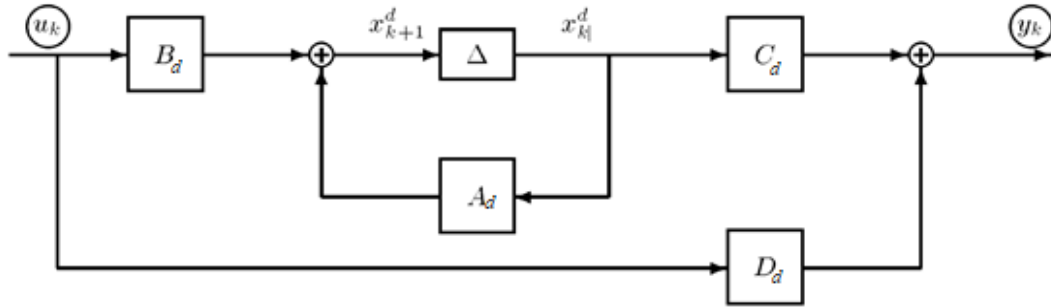


Figura 3.1: Representación gráfica del modelo espacio-estado en tiempo discreto, considerando un sistema lineal invariante en el tiempo, Fuente: (Van Overschee & De Moor, 1996).

La Figura 3.2 corresponde a un esquema que resume el proceso a través del cual el método DSI estima las propiedades dinámicas de la estructura a partir de los datos de entrada (inputs) y salida (outputs).

El parámetro  $i$  corresponde al número de bloques filas o número de retardos empleado para construir las matrices de Hankel, el cual al menos debiera ser mayor que el orden del sistema ( $n$ ). Para este caso se considera  $i-1 = 2n'$ . Donde  $n'$  representa a los GDL representativos del sistema, asociados a  $n'$  componentes principales entendidas como modos de vibrar reales de la estructura, de esta forma existen  $n = 2n'$  modos de vibrar complejos asociados al sistema espacio-estado.

El valor de  $j$  corresponde al número de columnas escogido para construir una matriz expandida con la totalidad de datos medidos ( $j = s - 2i + 1$ ), donde  $s$  corresponde a la cantidad de datos medidos.

Tanto las sub-matrices pasado ( $U_p$ ,  $Y_p$ ) como las sub-matrices futuras ( $U_f$ ,  $Y_f$ ) poseen dimensiones de  $(m \cdot i) \times j$ , donde  $m$  corresponde al número de outputs del sistema.

De la Figura 3.2, se tiene que  $^+$  denota pseudo-inversa y  $^T$  transpuesta de la matriz. Por otra parte,  $[O_i]$  corresponde a la proyección ortogonal de las respuestas pasadas proyectadas en las respuestas futuras condicionadas a sus respectivas entradas.

Las matrices de peso ( $W_1$ ,  $W_2$ ) pueden ser seleccionadas de tres formas, las cuales se definen en la Tabla 3.1. Donde  $[I]$  corresponde a la matriz identidad y  $\Phi^{-1/2} \begin{bmatrix} Y_f/U_1 \\ Y_f/U_1 \end{bmatrix}$  son las matrices

de correlación de las sub-matrices pasadas y futuras.



Tabla 3.1: Matrices de pesos utilizados en diferentes algoritmos, Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

Método	$W_1$	$W_2$
N4SID	$I_{li}$	$I_j$
MOESP	$I_{li}$	$\prod_{\bar{f}} U_{\bar{f}}$
CVA	$\Phi^{-1/2} \begin{bmatrix} Y_f/U_{\bar{f}}, Y_f/U_{\bar{f}} \end{bmatrix}$	$\prod_{\bar{f}} U_{\bar{f}}$

En este trabajo se ha seleccionado emplear las matrices de peso CVA (“Canonical Variate Analysis”) tomando como base las rutinas en MATLAB implementadas por Van Overschee & De Moor (1996).

El orden del sistema ( $n$ ) queda definido por el número de valores singulares diferentes de cero de la ecuación presente en el punto 3) de la Figura 3.2. Los modos asociados a valores singulares nulos serán interpretados como modos redundantes ( $i*m-2n$ ) proporcionados por utilizar una matriz expandida de un tamaño mayor a los modos participantes del sistema (Hernández Prado, 2009).

“En la práctica debido a errores aleatorios y presencia de ruido en los datos los modos redundantes ocasionan valores singulares no nulos, pero cercanos a ceros.” (Hernández Prado, 2009).

Hernández (2009) sostiene que la elección del orden del sistema se debería realizar por inspección del gráfico de los valores singulares de la matriz de proyección ortogonal ordenadas de mayor a menor. Una herramienta complementaría es analizar la razón de cambio de los valores singulares, ya que cuando se estabiliza (pendiente cero) se tienen valores singulares redundantes.

Detalles y deducción de los teoremas que explican la metodología se pueden encontrar en Hernández (2009), Van Overschee & De Moor (1996) y Gutierrez Lihn (2016).

<p>1. Definir Matrices de Hankel del Sistema:</p> $\mathbf{U}_{0 2i-1} = \begin{pmatrix} \mathbf{U}_{0 i-1} \\ \mathbf{U}_{i 2i-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{U}_p \\ \mathbf{U}_f \end{pmatrix} \quad ; \quad \mathbf{Y}_{0 2i-1} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{0 i-1} \\ \mathbf{Y}_{i 2i-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_p \\ \mathbf{Y}_f \end{pmatrix}$
<p>2. Calcular las proyecciones:</p> $\mathbf{O}_i = \mathbf{Y}_f /_{\mathbf{U}_f} \begin{pmatrix} \mathbf{U}_p \\ \mathbf{Y}_p \end{pmatrix} \quad ; \quad \mathbf{O}_{i+1} = \mathbf{Y}_f^- /_{\mathbf{U}_f^-} \begin{pmatrix} \mathbf{U}_p^+ \\ \mathbf{Y}_p^+ \end{pmatrix}$
<p>3. Calcular el orden del sistema mediante la descomposición de valores singulares:</p> $\mathbf{W}_1 \mathbf{O}_i \mathbf{W}_2 = (\mathbf{U}_1 \quad \mathbf{U}_2) \begin{pmatrix} \mathbf{S}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{V}_1^T \\ \mathbf{V}_2^T \end{pmatrix} = \mathbf{U}_1 \mathbf{S}_1 \mathbf{V}_1^T$ <p><math>\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2</math> : Matrices de peso</p>
<p>4. Calcular las matrices de observabilidad extendida <math>\Gamma_i</math> y <math>\Gamma_{i-1}</math>:</p> $\Gamma_i = \mathbf{W}_1^{-1} \mathbf{U}_1 \mathbf{S}_1^{1/2}$ <p><math>\Gamma_{i-1}</math> es definido por <math>\Gamma_i</math> sin las últimas <math>l</math> filas</p>
<p>5. Determinar los valores de <math>\tilde{\mathbf{X}}_i</math> y <math>\tilde{\mathbf{X}}_{i+1}</math>:</p> $\tilde{\mathbf{X}}_i = \Gamma_i^\dagger \mathbf{O}_i \quad ; \quad \tilde{\mathbf{X}}_{i+1} = \Gamma_{i-1}^\dagger \mathbf{O}_{i+1}$
<p>6. Resolver el sistema de ecuaciones lineales para <math>\mathbf{A}_d, \mathbf{B}_d, \mathbf{C}_d</math> and <math>\mathbf{D}_d</math>:</p> $\begin{pmatrix} \tilde{\mathbf{X}}_{i+1} \\ \mathbf{Y}_{i i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_d & \mathbf{B}_d \\ \mathbf{C}_d & \mathbf{D}_d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{\mathbf{X}}_i \\ \mathbf{U}_{i i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \boldsymbol{\rho}_w \\ \boldsymbol{\rho}_v \end{pmatrix}$
<p>7. Calcular los valores propios <math>\mu</math> y vectores propios (<math>\Psi</math>) de la matriz <math>\mathbf{A}_d</math>.</p>
<p>8. Determinar las propiedades dinámicas:</p> $f_r = \frac{\sqrt{\lambda_r \lambda_r^*}}{2\pi}$ $\xi_r = \frac{-\text{Re}(\lambda_r)}{ \lambda_r }$ $\Phi = \mathbf{C}_d \Psi$ <p>Con</p> $\lambda_r = \frac{\ln(\mu_r)}{\Delta t}$

Figura 3.2: Esquema resumen del método DSI de espacio-estado. Fuente: (Astroza, et al., 2015).

### 3.2 Criterios de Estabilidad en la Estimación de las Propiedades Dinámicas

La estimación de las propiedades dinámicas a partir del método DSI depende de una serie de parámetros, además de los datos de entrada (input) y salida (output), establecidos por el usuario. Es por esto que es importante poder determinar como la variación de estos parámetros afectan la estimación de las propiedades dinámicas.

Algunos de estos parámetros son:

- El orden del sistema ( $n$ ).
- El número de bloques filas o retardos ( $i$ ).
- El método que establece las matrices de peso ( $W_1$  y  $W_2$ ).

Hernández (2009) indica que los parámetros dinámicos estimados se tienden a estabilizar para valores altos de número de retardos ( $i$ ), pero que a mayor ( $i$ ) disminuye el índice ( $j$ ), aumentando el error estadístico.

Como mencionamos anteriormente, 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 ( $n > n^{ef}$ ).

Es por esto, que en la práctica se suele considerar el orden del sistema mayor tal que la matriz expandida utilizada sea realizable, es decir, que el orden del sistema sea igual al número de bloques filas ( $i$ ) menos uno ( $n = i-1$ ). Además, considerando que  $i > n^{ef}$  ó  $n \geq n^{ef}$ .

Para la estabilidad de las propiedades dinámicas se utilizan los diagramas de estabilidad, en los cuales se estudia la estabilidad de las propiedades estimadas al variar el orden del sistema ( $n = i-1$ ) o equivalentemente el número de retardos ( $i$ ). Estos diagramas comparan estas propiedades entre un orden y el subsiguiente, considerando los siguientes criterios de similitud, cuyos valores pueden variar dependiendo del caso en estudio:

$$\frac{\mathbf{f}^{(p)} - \mathbf{f}^{(p-1)}}{\mathbf{f}^{(p)}} \leq cf\% \quad (7)$$

$$\frac{\boldsymbol{\beta}^{(p)} - \boldsymbol{\beta}^{(p-1)}}{\boldsymbol{\beta}^{(p)}} \leq cam\% \quad (8)$$

$$100\% \cdot \left(1 - \mathbf{MAC}(\{\phi_p\}, \{\phi_{p+1}\})\right) \leq cm\% \quad (9)$$

$$\mathbf{MAC}(\{\phi_p\}, \{\phi_{p+1}\}) = \frac{\left| \{\phi_p\}^H \cdot \{\phi_{p+1}\} \right|^2}{\left( \{\phi_p\}^H \cdot \{\phi_p\} \right) \cdot \left( \{\phi_{p+1}\}^H \cdot \{\phi_{p+1}\} \right)} \quad (10)$$

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

En el gráfico de estabilidad se definen cuatro tipos de coincidencias:

- Coincidencia en solo frecuencia ( $\cdot$ ).
- 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 ( $\oplus$ ).

Cuando se comienza a repetir sucesivamente la triple coincidencia ( $\oplus$ ), a medida que aumenta el orden del sistema, se puede suponer que la identificación de parámetros dinámicos es estable para los modos identificados.

El MAC (Modal Assurance Criterion) (Allemang RJ, 1982) se utiliza para comparar dos vectores, entregando valores entre 0 y 1, donde si dos modos identificados son linealmente dependientes el MAC arroja un valor igual a 1. De esta forma el MAC entrega valores cercanos a uno para formas modales de mayor semejanza. Para este análisis el MAC se utiliza para discriminar qué tan similares son dos formas modales para órdenes consecutivos, no si son formas modales correctas.

Adicionalmente, el diagrama de estabilidad muestra el histograma, el cual contabiliza la cantidad de coincidencias (en frecuencias) en torno a una cierta frecuencia, y el espectro de potencia promedio de una de las señales.

### 3.3 Propiedades Dinámicas Invariantes y Variantes en el Tiempo

#### 3.3.1 Propiedades Dinámicas Invariantes en el Tiempo

De acuerdo a lo establecido por Gutiérrez Lihn (2016) al considerar que las propiedades dinámicas son invariantes en el tiempo, no se considera la degradación de la rigidez de la estructura durante la sollicitación, por lo cual se supone que durante el registro las propiedades dinámicas permanecen constantes. Lo anterior puede representar el comportamiento de una estructura sólo en determinados casos, en los cuales la demanda sísmica es baja o no sea capaz de generar degradación en la rigidez de la estructura (vibraciones ambientales o sismos de baja intensidad). Bajo tales condiciones la identificación de la estructura puede efectuarse empleando la totalidad de los registros de entrada y salida.

### 3.3.2 Propiedades Dinámicas Variantes en el Tiempo

Para representar de mejor forma la respuesta de una estructura no-lineal sometida a un sismo es conveniente considerar la variabilidad de las propiedades dinámicas en el tiempo. Por lo cual se suele analizar los datos divididos en pequeñas ventanas de tiempo, de tal forma que en cada ventana se tenga una variación limitada de propiedades dinámicas y se pueda utilizar métodos que suponen propiedades invariantes en el tiempo, teniendo en cuenta que los valores obtenidos tienden a ser los valores promedios observados durante la ventana en estudio.

Para la identificación de propiedades dinámicas variantes por pequeñas ventanas de tiempo se seleccionan tres ventanas para verificar si los modos pueden ser identificados empleando métodos lineales-elásticos tales como DSI. La ventana 1 o “inicial” corresponde a la primera ventana del registro; la ventana 2 corresponde a una ventana durante el movimiento fuerte del registro y la ventana 3 corresponde a una ventana durante el movimiento débil final del registro. En base a estas tres ventanas se verifica si los modos buscados pueden ser identificados además de tener una visión global de sus posibles variaciones. Además, en base a estas ventanas se define el orden del sistema para el cual la identificación de propiedades dinámicas se hace más estable.

Una vez seleccionado el orden del sistema ( $2Q$ ), se estiman las propiedades dinámicas para cada ventana de tiempo, asociadas a un número de retardos  $Q$  y a  $(Q-1)$ . Luego se realiza un primer filtro de similitud entre las propiedades dinámicas estimadas para estos números de retardo, entre iguales ventanas de tiempo, seleccionando solo aquellas que satisfagan los criterios de similitud. Los criterios de similitud son de frecuencias de un 85 [%] y un criterio de similitud de MAC de un 75 [%], entendiéndose que debido al alto comportamiento no-lineal de estructuras el criterio de amortiguamiento modal no es aplicable.

También se realiza un filtro de similitud entre ventanas consecutivas, restringiendo la diferencia entre frecuencias consecutivas y la similitud entre MAC. Este último filtro se realiza con valores distintos para cada modo que se pretende identificar y su finalidad es ir identificando la variación temporal de los modos seleccionados. Este criterio de similitud dependerá de cuan variable son las propiedades dinámicas del modo estudiado entre una ventana de tiempo y la siguiente.

### 3.4 Largo de la Ventana de Tiempo

Cuando se realiza la identificación de las propiedades dinámicas por pequeñas ventanas de tiempo, el largo de la ventana es de gran importancia. Si esta es seleccionada apropiadamente, se espera que entre ventanas consecutivas no exista una gran variación de las propiedades dinámicas.

Para establecer el largo de la ventana se considera la opción de ventanas de largo mínimo traslapadas establecida por Astroza, et al. (2017). Esta opción propone realizar una división de largo constante asociado al largo mínimo permitido por el método de identificación DSI y traslapar estas ventanas en un determinado porcentaje, con la finalidad de obtener el mayor número de ventanas posibles.

La restricción establecida por método DSI está asociada a restricciones en las dimensiones de la matriz de Hankel y el orden máximo de identificación permitido:

$$j = s - 2 \cdot i + 1 > 2 \cdot (l + m) \cdot i \quad (11)$$

$$2 \cdot l \cdot i > n \quad (12)$$

Donde:

- s: Número de datos asociado a la identificación o largo de la ventana de tiempo.
- j: Número de columnas escogido para construir una matriz expandida.
- i: Número de bloques filas o número de retardos.
- l: Número de outputs para cada instante de tiempo.
- m: Número de inputs para cada instante de tiempo.
- n: Orden del sistema.

En base a la restricción anterior se obtiene:

$$s_{min} > 2 \cdot (l + m) \cdot i + 2 \cdot i - 1 \quad (13)$$

De acuerdo a los estudios de Gutiérrez Lihn (2016), “Para casos donde las variaciones de energía son mayores, la mejor opción es tener una gran cantidad de ventanas de identificación, lo que proporciona mayor información sobre la respuesta dinámica de la estructura a pesar de que en algunas ocasiones no se encuentra resultados para ventanas específicas.”

Cabe mencionar que cuando se tiene un gran número de inputs y outputs ( $l+m$ ) se puede obtener un valor de  $s_{min}$  que puede ser bastante considerable entendiéndose que el ancho en tiempo de la ventana es igual a  $s_{min} \cdot Fs$  (donde  $Fs$  = frecuencia de muestreo de las señales), si la variación de las propiedades dinámicas es considerable durante este largo de ventana se dificulta la identificación y se tiene una baja resolución temporal de la variación de las propiedades dinámicas. Una forma simple de resolver este problema es re-muestrear las

señales a una frecuencia de muestreo mayor con lo cual se puede controlar el tamaño de la ventana de análisis a un valor definido arbitrariamente por el usuario.

## 4. Métodos de Identificación de Tiempo-Frecuencia

### 4.1 Espectrograma

El espectrograma es un método tiempo-frecuencia que permite analizar el contenido de frecuencia ( $\omega$ ) por pequeñas ventanas de tiempo ( $h(t)$ ).

El espectro de potencia se define como el valor cuadrático de la transformada de Fourier de una pequeña ventana de tiempo de la señal (STFT- Short Time Fourier Transform). La definición matemática se describe en la siguiente ecuación.

$$P_{SP}(t, \omega) = |S_t(\omega)|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int s(\tau) \cdot h(\tau - t) \cdot e^{-i\omega\tau} d\tau \right|^2 \quad (14)$$

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

Hernández (2009) analiza la relación de la resolución del espectrograma y la elección de una ventana óptima de manera de obtener resultados de propiedades locales de la señal. Mencionando que teóricamente los resultados de ventanas de menor duración describen de mejor forma la evolución temporal de las propiedades locales de la señal, sin embargo, cuando se trabajan con señales digitales y con implementaciones numéricas del espectrograma se tiene errores numéricos relevantes al emplear ventanas de muy corta duración. Además, recomienda como herramienta complementaria la utilización de filtros que permitan separar las componentes y estudiar las propiedades locales de cada componente.

En base a lo anterior se utilizarán filtros digitales del tipo Butterworth para aislar las diferentes componentes, de esta forma, poder utilizar ventanas de menor tamaño y con menor interferencia, posibilitando una estimación más local de la frecuencia instantánea (promedio ponderado en frecuencia para cada instante). Además, se debe considerar que la zona más confiable del espectrograma corresponde a las de mayor energía, ya que se genera mayor ruido y contaminación de otras componentes para baja energía.

Cabe mencionar que los espectrogramas son representaciones 3D de la amplitud del PSD presentado en decibeles ( $dB$ ) en función del tiempo y la frecuencia, permitiendo una mejor interpretación de los resultados, en especial cuando existen componentes de bajo aporte energético.

En los gráficos de espectrograma, se acompañan los resultados con el espectro de potencia (marginal en frecuencia) a la izquierda del espectrograma y en la parte superior la señal analizada.

El espectrograma es de fácil implementación y tiene un bajo costo computacional.

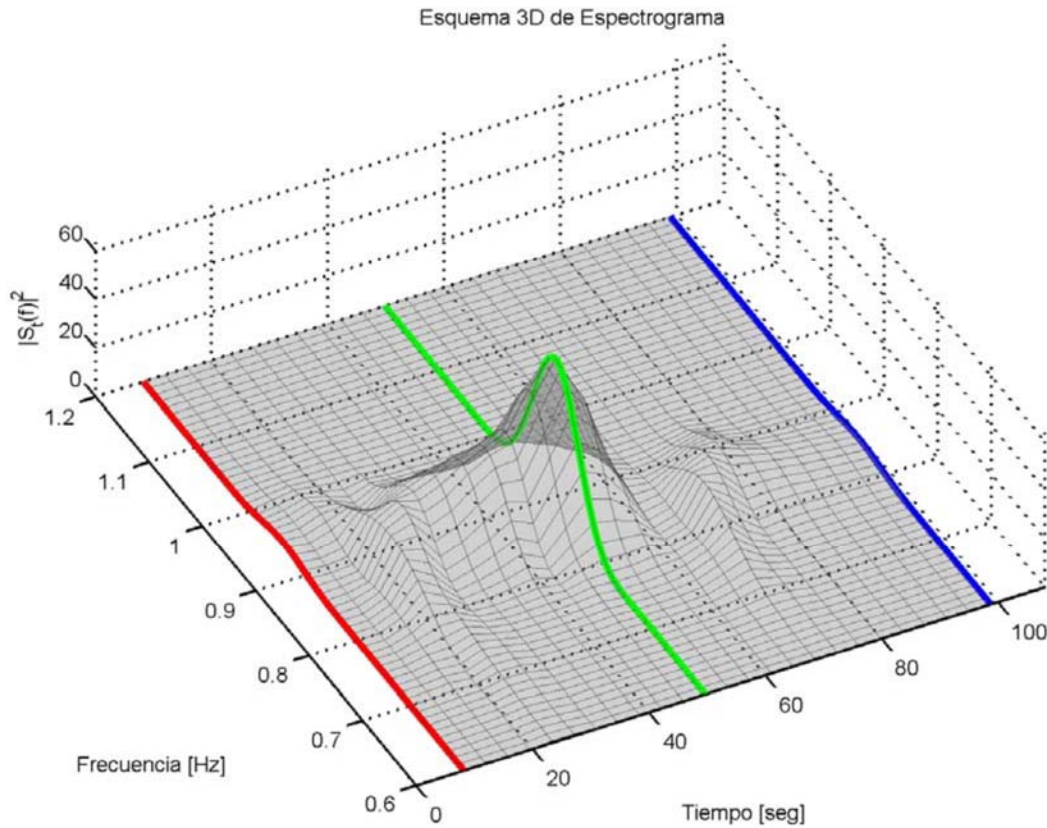


Figura 4.1: Esquema 3D de Espectrograma. Fuente: (Hernández Prado, 2009).

El esquema 3D de la Figura 4.1, se suele representar en un gráfico de tonalidades sobre el plano tiempo-frecuencia para visualizar la distribución conjunta de ambas propiedades.

#### 4.2 Función de Transferencia por Pequeñas Ventanas de Tiempo (tTF)

De forma similar al espectrograma, la función de transferencia por pequeñas ventanas de tiempo puede ser computada considerando la relación espectral entre una determinada señal de entrada y de una señal de salida. De esta forma la función de transferencia analiza cuanto se amplifican las señales de salida dado un determinado input en función de la frecuencia.

$$\mathbf{H}_{\ddot{U}_g - \ddot{U}_g}(j\omega) = \frac{\mathbf{S}_{\ddot{U}_g \ddot{U}_g}(j\omega)}{\mathbf{S}_{\ddot{U}_g}(\omega)} \quad (15)$$

Donde:

$\mathbf{H}_{\ddot{U}_g - \ddot{U}_g}$  : Función de Transferencia.

$\mathbf{S}_{\ddot{U}_g \ddot{U}_g}(j\omega)$  : Espectro de potencia cruzado.

$\mathbf{S}_{\ddot{U}_g}(\omega)$  : Espectro de potencia de la señal de entrada.



La ventaja de la función de transferencia por pequeñas ventanas en comparación con el espectrograma se resume en:

- 1) La función de transferencia es independiente de la amplitud del input o output. Es decir la función de transferencia es independiente de la potencia local de la señal de entrada. En otras palabras la función de transferencia se normaliza respecto a la potencia del input.
- 2) El registro de aceleraciones totales asociados a un canal dado se compone de la respuesta dinámica de la estructura y de la componente quasi-estática (señal de entrada). Por lo que el espectrograma está fuertemente influenciado por la señal de entrada que está siempre presente en las aceleraciones totales (al menos que se trabaje con aceleraciones relativas) que no guarda relación ninguna con la respuesta estructural.
- 3) La función de transferencia por pequeñas ventanas se puede relacionar a diversos inputs. De esta forma la función de transferencia permite analizar la variación de las frecuencias predominantes de la estructura relativas ya sea al nivel basal o al nivel del sistema de aislación. Es decir, la función de transferencia por pequeñas ventanas permite analizar las frecuencias predominantes de la estructura completa o de la superestructura (considerando el método de subestructuras).

Cabe destacar que para el cómputo de las funciones de transferencia por pequeñas ventanas se emplearon ventanas de corta duración del tipo Hanning (similar al cómputo del espectrograma) de manera de evitar problemas de Desdoblamiento (Alias) y dispersión (Leakage) (Hernández Prado, 2009). Adicionalmente se destaca que se seleccionaron outputs relacionados a aceleraciones totales debido a que las energías de los modos fundamentales se atenúan significativamente reduciendo sus efectos en modos de alta frecuencia (que poseen una menor participación modal), lo cual permite una mejor identificación de modos superiores.

En forma similar al espectrograma es conveniente en algunos casos filtrar las señales de salida en torno a las frecuencias de interés de manera de estudiar la evolución de modos superiores.

## 5. Análisis de Elementos Finitos

### 5.1 Descripción de la Estructura a Modelar

El modelo de elementos finitos utilizado para validar el método corresponde a un edificio de cuatro pisos, de 3 m de alto cada uno, ubicado en la localidad de Constitución de la región del Maule. El edificio posee una altura de 12 m, considerada desde el nivel de fundaciones, un área de superficie total de 2688 m<sup>2</sup> y un peso sísmico de 3118 tonf, esto en base a la norma sísmica NCh2745.Of2003. Los dos primeros niveles corresponden a una superficie rectangular de 24 m por 30 m, mientras que los dos niveles superiores poseen forma de L con una superficie de 624 m<sup>2</sup>, las losas de estos niveles se pueden apreciar en la Figura 5.3. En base a esto se obtiene un peso por piso de 1,16 tonf/m<sup>2</sup>.

Se consideran plantas de diferente forma para agregar el efecto de torsión a la estructura y obtener un modelo que represente de mejor manera una estructura real.

Los elementos de la estructura son modelados con hormigón armado H-30 ( $E=23500$  MPa), con dos direcciones resistentes principales, cuyos ejes resistentes son constituidos por marcos donde en la dirección longitudinal posee cinco vanos cada 6 m y tres vanos cada 8 m en la dirección transversal, como se puede apreciar en la Figura 5.1 y en la Figura 5.2. Sus marcos están constituidos por columnas de sección de 0,6 m x 0,6 m y vigas de 0,3 m de ancho x 0,6 m de alto. En todos sus niveles se consideran losas de hormigón armado de 20 cm de espesor que trabajan como diafragmas rígidos.

Se considera una carga muerta adicional de 0,25 tonf/m<sup>2</sup> y una sobrecarga de 0,25 tonf/m<sup>2</sup> para cada uno de los niveles. Estos valores corresponden a valores tipos para edificios de oficinas. Para el cálculo de las masas sísmicas se aplicó un factor de masa para la sobrecarga de un 60 %, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por NCh2745.Of2003.

Para análisis tiempo-historia (lineal o no-lineal) se incorpora al modelo amortiguadores visco-elásticos entre cada uno de sus niveles y aplicados entre los centros de masa de cada losa. De esta forma, el amortiguamiento de la sub-estructura se hace independiente de lo que ocurre en el sistema de aislación, a diferencia del amortiguamiento de tipo Rayleigh en el cual aparecen términos cruzados de amortiguamiento asociados al factor de masa y aparece un amortiguamiento ficticio asociado a la rigidez elástica del sistema de aislación. Por este motivo, se incorporan amortiguadores visco-elásticos entre pisos (links tipo lineal), con un amortiguamiento desacoplado de entre piso en la dirección transversal y longitudinal de 250 tonf\*s/m y un amortiguamiento torsional de 30000 tonf\*m/s. Estos valores se seleccionan de manera que los primeros modos longitudinal, transversal y torsional de la superestructura tengan una razón de amortiguamiento cercana a un 2 % (Figura 5.33).

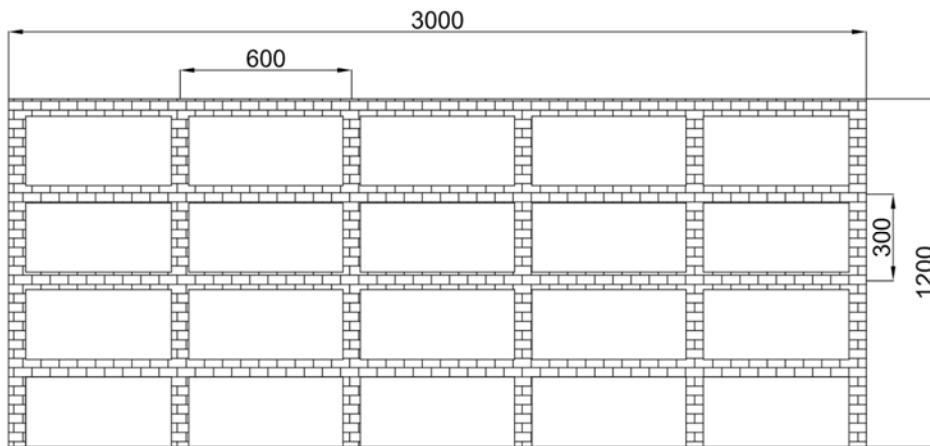


Figura 5.1: Elevación longitudinal de la estructura base fija.

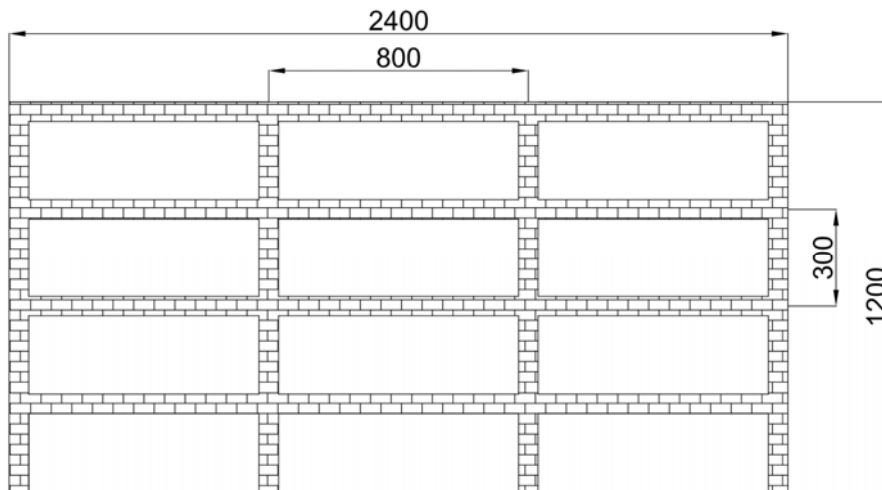


Figura 5.2: Elevación transversal de la estructura base fija.

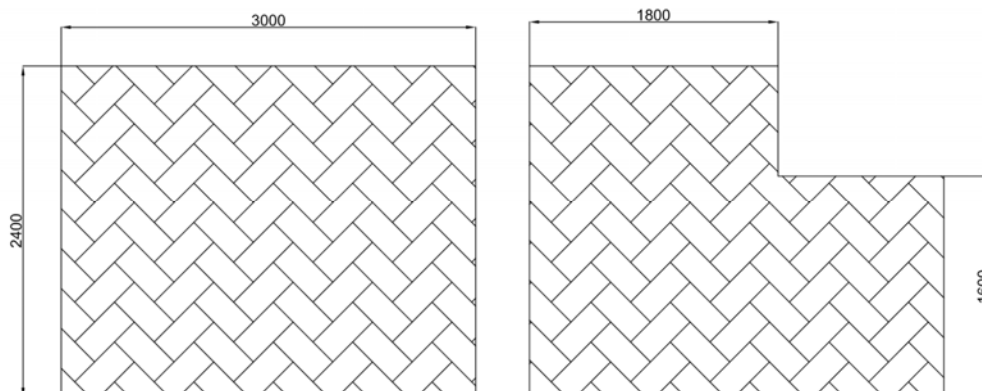


Figura 5.3: Plantas de la estructura base fija a modelar en SAP 2000.

## 5.2 Modelamiento de la Estructura sin Aislación

Se realizó el modelamiento de la estructura antes descrita a través del software SAP2000 (Sección 5.1). La base del edificio se modelo con apoyos simples en las bases de las columnas. Cabe mencionar que cuando se modela la estructura con aislación (Sección 5.3) se emplean aisladores elastómericos que son modelados con elementos tipo link que actúan en dos direcciones (aisladores circulares) y que no restringe el giro; por lo cual los aisladores generan una condición de apoyo fijo a la superestructura.

Modelaciones adicionales fueron realizadas suponiendo que los aisladores restringen completamente los giros perpendiculares a sus ejes principales, encontrándose que la superestructura presenta una condición de apoyo empotrado. Cabe mencionar además que el sistema de envigado del sistema aislación provee una cierta rigidez adicional (que debe ser modelada para reproducir apropiadamente la superestructura) que modifica la condición de apoyo de las columnas; por ejemplo para el edificio BNCS (Sección 6) el sistema de envigado al nivel de aislación provee una condición muy cercana a la de empotramiento perfecto<sup>1</sup>.

Para la carga sísmica de la estructura no aislada, se verifica la superestructura conforme al análisis modal espectral de la norma NCh433.Of96 Mod2009, realizando el análisis en las dos direcciones resistentes principales y ortogonales (Sección 5.4).

La Figura 5.4, Figura 5.5, Figura 5.6, Figura 5.7, Figura 5.8 y Figura 5.9 muestran la estructura sin aislación modelada en sus diferentes vistas y su estructuración.

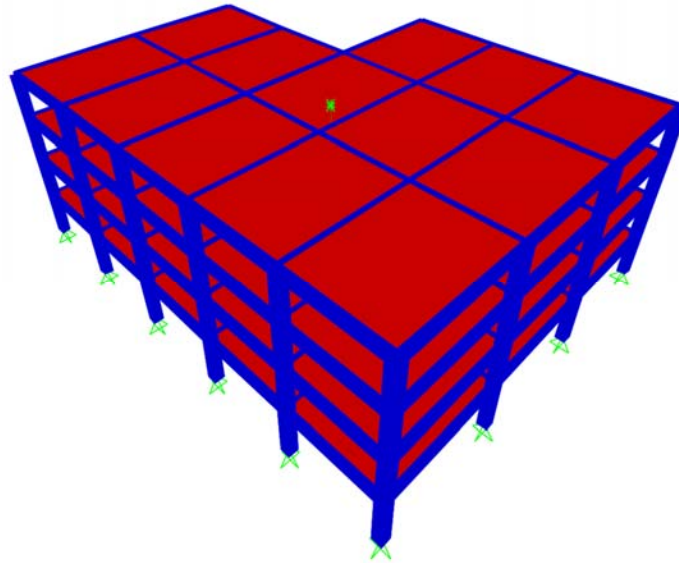


Figura 5.4: Vista 3D del modelo de la estructura de base fija.

---

<sup>1</sup> si las vigas fueran infinitamente rígidas, se tendría el caso de empotramiento perfecto.

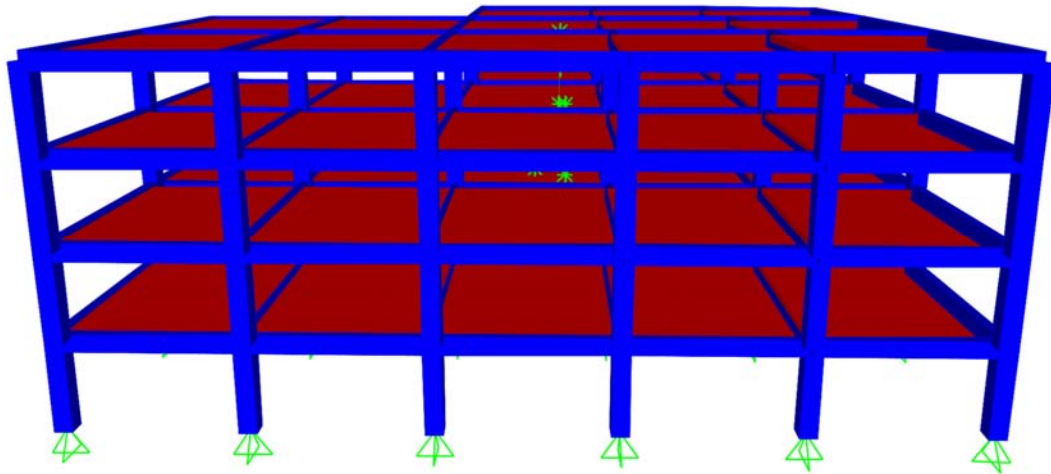


Figura 5.5: Segunda vista 3D del modelo de la estructura de base fija.

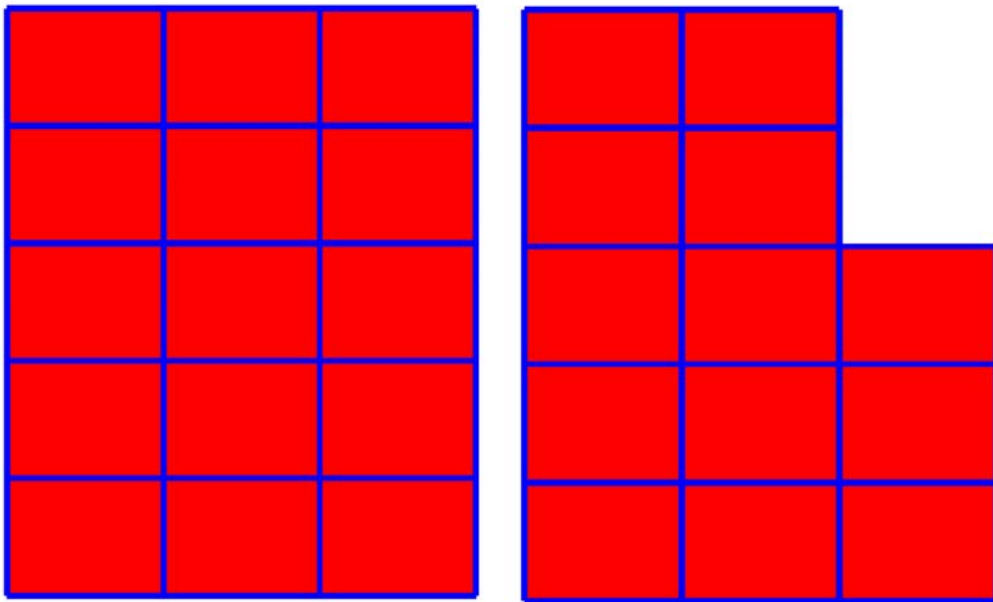


Figura 5.6: Planta rectangular del 1er y 2do piso y planta en L del 3er y 4to piso.

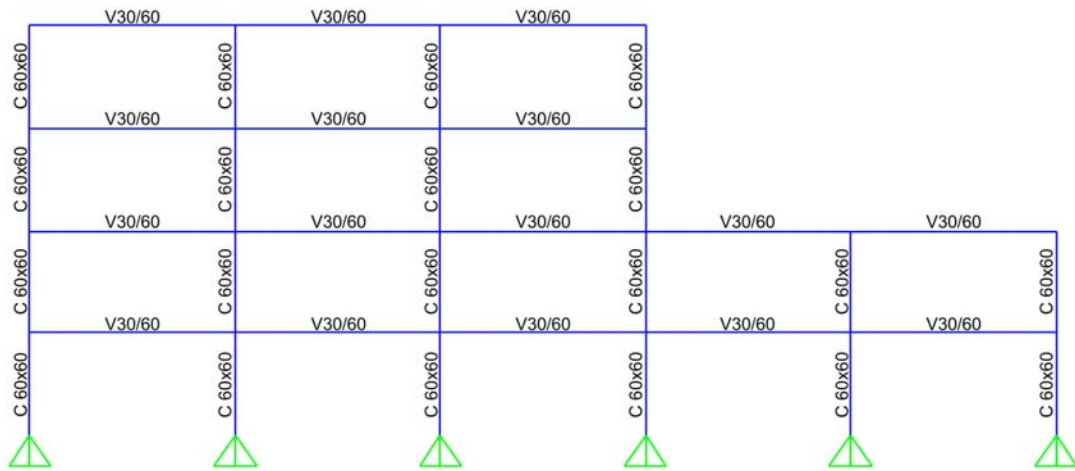


Figura 5.7: Elevación longitudinal con elementos estructurales.

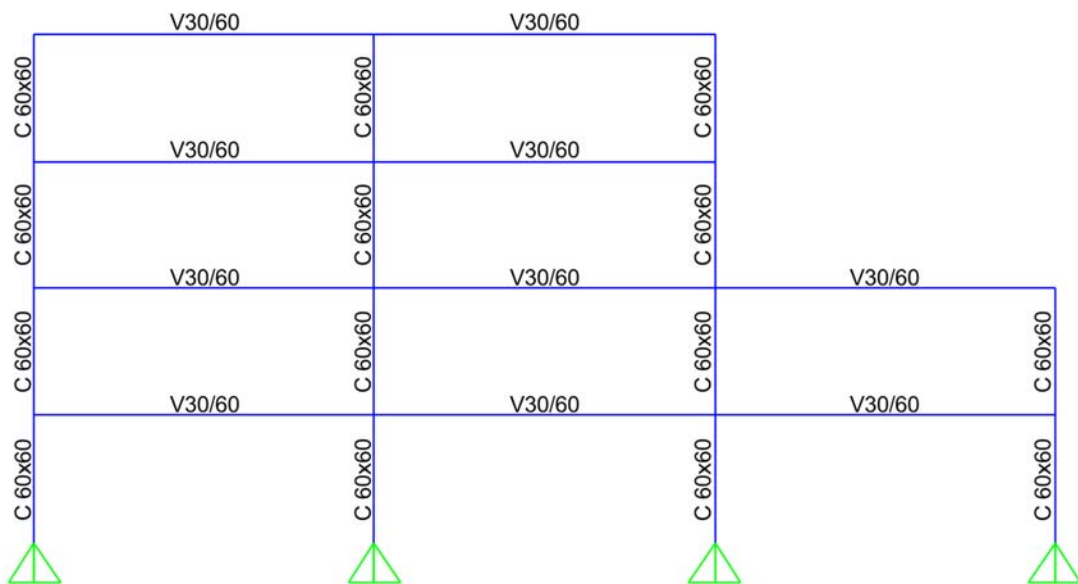


Figura 5.8: Elevación transversal con elementos estructurales.

En la Figura 5.9 se puede apreciar como los amortiguadores visco-elásticos se incorporan entre piso conectando los centros de masas de cada losa. La condición de apoyo en la base para el amortiguador del primer piso es una condición empotrada; de esta forma los movimientos transversal y longitudinal son idénticos a los apoyos fijos. El apoyo empotrado permite eliminar los grados de libertad de giro del nudo conectado de manera de eliminar errores en la solución, pero no tienen ninguna implicancia tacita del comportamiento de los amortiguadores.

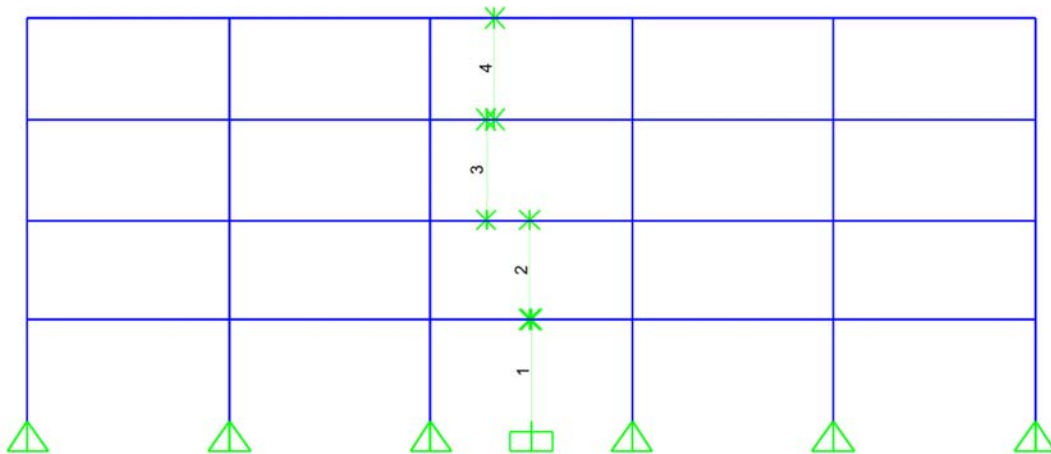


Figura 5.9: Elevación con amortiguamiento no-clásico.

La estructura se supuso elástica-lineal, el análisis numérico de la estructura sujeta al registro sísmico de la estación de Constitución del mega-terremoto de 2010 fue llevado a cabo con un análisis tiempo historia empleando integración directa a través del método de integración Hilbert-Hughes-Taylor (HHT) (Newmark- $\beta$ ). La integración directa es necesaria debido a que esta opción permite la utilización de amortiguamiento no-clásico de la estructura sin eliminar los términos cruzados de la matriz de amortiguamiento modal (CSi, 2016).

Detalles de los registros sísmicos, de los puntos donde se supuso mediciones de aceleraciones totales y de sus resultados son mostrados en la Sección 5.6.

### 5.3 Modelamiento de la Estructura con Aislación

Para el modelamiento de la estructura aislada (Figura 5.10 y Figura 5.11) se consideró como superestructura al mismo modelo de la estructura sin aislación y nuevamente se utilizó el software SAP2000 (Sección 5.1), teniendo en cuenta que la norma NCh2745.Of2003 recomienda a este software para el análisis y diseño de estructuras aisladas.

Se consideró un total de 24 aisladores a nivel basal de la estructura, uno en cada apoyo. El modelamiento de los aisladores se basó en la guía de diseño propuesta por Lafontaine (2013). Los aisladores dispuestos en el sistema de aislación consisten en dos tipos distintos (18 aisladores H8-50 y 6 aisladores H8-60). Detalles del diseño del sistema de aislación se detallan en el Anexo A (Sección 10.1).

Según la práctica habitual en SAP2000, los aisladores fueron modelados con elementos tipo “link Rubber Isolator”, los cuales consideran un comportamiento histerético bi-lineal para los grados de libertad asociados a desplazamientos longitudinal y transversal de los aisladores (Figura 5.17). La rigidez axial de los aisladores se supuso lineal, las rotaciones se supusieron completamente liberadas.

El amortiguador visco-elástico dispuesto en el primer piso se conectó a un diafragma rígido que conecta al nivel de aislación y se eliminó su apoyo empotrado, de manera que este trabaje relativo entre el nivel de aislación y el primer piso de la estructura.

Nuevamente la superestructura se supuso elástica-lineal, el análisis numérico de la estructura sujeta al registro sísmico de la estación de Constitución del mega-terremoto de 2010 fue llevado a cabo con un análisis tiempo historia no-lineal empleando integración directa a través del método de integración Hilbert-Hughes-Taylor (HHT) (Newmark- $\beta$ ).

Detalles de los registros sísmicos, de los puntos donde se supuso mediciones de aceleraciones totales y de sus resultados son mostrados en la Sección 5.6.

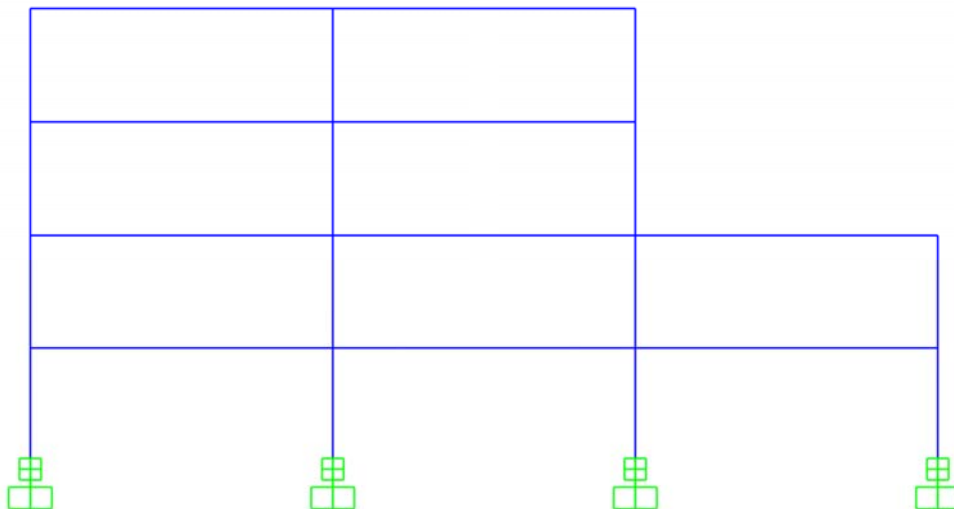
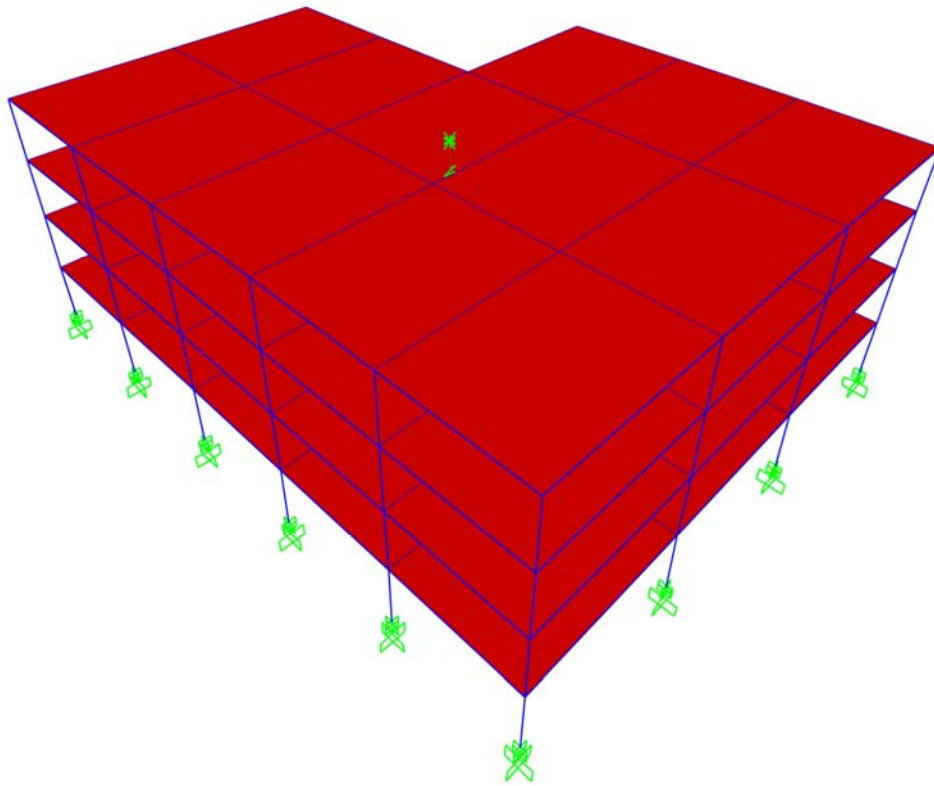


Figura 5.10: Elevación transversal de estructura aislada con amortiguadores en su base.





**Figura 5.11: Vista 3D del modelo de la estructura de base aislada.**

La finalidad del método subestructuras es poder demostrar que la superestructura puede ser analizada como una estructura independiente montada sobre el nivel de aislación; por lo tanto, se busca que su comportamiento sea comparable al de la estructura sin aislación. Es por este motivo que la estructura sin aislación tiene apoyos simples en la base de sus columnas. Observándose que en la modelación de la estructura se emplearon “links” entre dos puntos para modelar los aisladores, por lo cual se consideró un apoyo empotrado en los nodos inferiores de los aisladores.

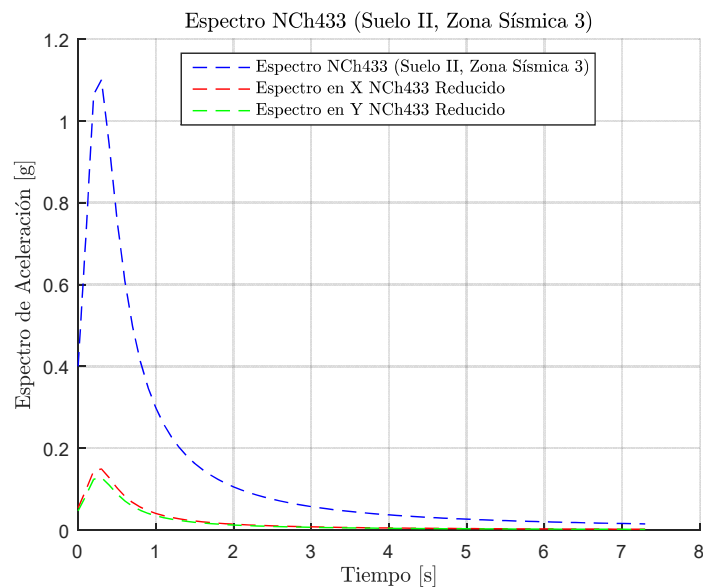
## 5.4 Análisis Modal espectral de la Estructura no Aislada según NCh 433.Of96 Mod 2009

Se realiza el análisis sísmico según la norma NCh433.Of96 Mod2009, considerando el análisis modal espectral debido a que es ampliamente utilizado en la práctica.

Los parámetros sísmicos en relación a la zona sísmica, tipo de suelo y tipo de estructura, se detallan en la Tabla 5.1. El espectro de diseño elástico y reducido para cada dirección se encuentran presentes en la Figura 5.12

**Tabla 5.1: Parámetros sísmicos.**

Parámetros de Diseño		
Zona tipo III	$A_o$ [g]	0,4
Factor Importancia tipo II	I [-]	1
Suelo Tipo II	S [-]	1
	$T_o$ [s]	0,3
	$T'$ [s]	0,35
	n [-]	1,33
	p [-]	1,5
Factores de Modificación de Respuesta (Marco sísmico especial de Hormigón Armado)	R [-]	7
	$R_o$ [-]	11
Peso Sísmico	P [Ton]	3117,6



**Figura 5.12: Espectro de diseño elástico y reducido NCh433 (Suelo II, Zona sísmica 3).**

Los periodos y su respectivos masas modales efectivas normalizadas obtenidas del modelo se presentan en la Tabla 5.2.

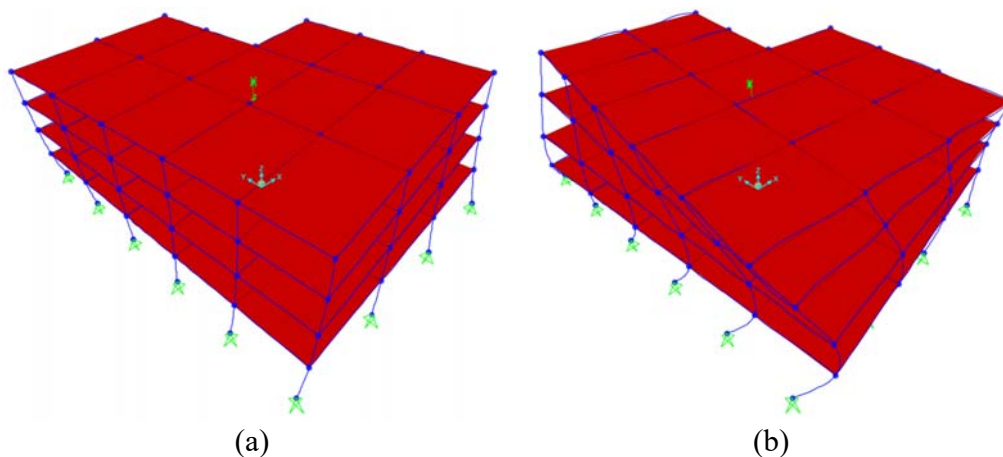
**Tabla 5.2: Periodos y frecuencias con sus participaciones modales, estructura base fija.**

Modo	Periodo [s]	Frecuencia [Hz]	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
1	0,726	1,377	0,904	0,001	0,000	0,000	0,013	0,028
2	0,639	1,564	0,012	0,732	0,000	0,007	0,000	0,200
3	0,599	1,670	0,017	0,210	0,000	0,001	0,000	0,704
4	0,202	4,945	0,053	0,000	0,000	0,000	0,141	0,001
5	0,182	5,488	0,000	0,037	0,000	0,087	0,000	0,013
6	0,176	5,679	0,000	0,009	0,000	0,025	0,001	0,041
7	0,095	10,543	0,012	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000
8	0,089	11,257	0,000	0,009	0,000	0,003	0,000	0,000
9	0,083	11,996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
10	0,065	15,384	0,000	0,000	0,379	0,009	0,006	0,000
11	0,064	15,553	0,000	0,000	0,001	0,126	0,055	0,000
12	0,064	15,679	0,000	0,000	0,014	0,037	0,024	0,000
Total	-	-	0,998	0,998	0,394	0,295	0,247	0,998

De la Tabla 5.2 se puede apreciar que el periodo fundamental de la estructura corresponde a 0,726 *seg*, asociado al modo 1 y corresponde a un movimiento principalmente traslacional en la dirección X (transversal). El segundo periodo mayor es de 0,639 *seg* y corresponde al modo 2, asociado a un movimiento principalmente traslacional en la dirección Y (longitudinal), el cual posee una componente torsional importante.

De la Tabla 5.2 se puede concluir que tanto en X como en Y se cumple con que la suma de las masas equivalentes es más del 90 % de la masa total.

En la Figura 5.13 se puede apreciar los dos primeros modos torsionales de la estructura base fija.



**Figura 5.13: (a) Tercer modo, torsional. (b) Sexto modo, torsional.**

Mientras que en la Figura 5.14, se observan las formas modales de las cuatro primeras formas de vibrar asociadas a modos traslacionales.

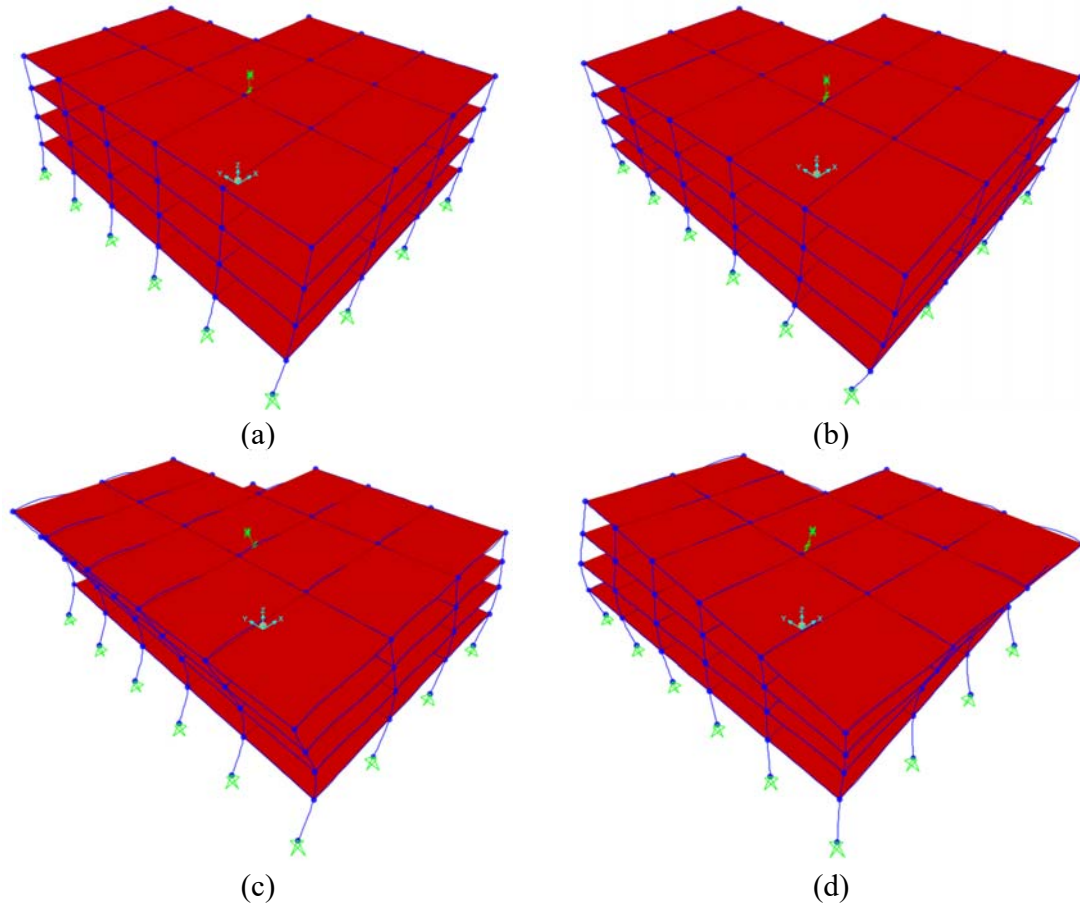


Figura 5.14: (a) Primer modo, traslacional, dirección transversal. (b) Segundo modo, traslacional, dirección longitudinal. (c) Cuarto modo, traslacional, dirección transversal. (d) Quinto modo, traslacional, dirección longitudinal. Estructura sin aislación.

En la Tabla 5.3 se pueden ver el corte basal mínimo, máximo y el de la estructura en ambas direcciones de análisis, de acuerdo a lo establecido por la norma NCh433.Of96 Mod2009.

Tabla 5.3: Verificación corte basal en ambas direcciones, (NCh433.Of96, 2009).

Variables	Eje X	Eje Y
$T^*$ [s]	0,726	0,639
$C_{\min}$ [-]	0,067	
$C_{\max}$ [-]	0,140	
$C$ [-]	0,059	0,071
$Q_o$ [tonf]	207,840	219,841
$Q_{\min}$ [tonf]	207,840	
$Q_{\max}$ [tonf]	436,464	

De acuerdo a la Tabla 5.3 se puede apreciar que el corte basal en X es menor que el corte mínimo, por lo cual, en base a la NCh433.Of96 Mod2009, los desplazamientos deben ser amplificados.

Para la verificación de desplazamiento, se tienen los desplazamientos y giros por pisos en la Tabla 5.4 y Tabla 5.5. Donde U1 y U2 representan los desplazamientos en X e Y respectivamente y D. Rel es el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos.

**Tabla 5.4: Verificación de los desplazamientos en la dirección X, (NCh433.Of96, 2009).**

Pisos	$\Delta h$ [mm]	$d_{\max CM}$ [mm]	Sismo X				
			U1 [mm]	D.Rel1 [mm]	Giro [rad]	Drift	Condición
4	3000	6,0	10,410	1,909	6,847E-11	0,00064	OK
3	3000	6,0	8,501	2,943	2,029E-11	0,00098	OK
2	3000	6,0	5,557	3,421	7,448E-11	0,00114	OK
1	3000	6,0	2,136	2,136	4,934E-11	0,00071	OK

**Tabla 5.5: Verificación de los desplazamientos en la dirección Y, (NCh433.Of96, 2009).**

Pisos	$\Delta h$ [mm]	$d_{\max CM}$ [mm]	Sismo Y				
			U2 [mm]	D.Rel2 [mm]	Giro [rad]	Drift	Condición
4	3000	6,0	9,439	1,613	8,796E-12	0,00054	OK
3	3000	6,0	7,827	2,614	1,288E-11	0,00087	OK
2	3000	6,0	5,212	3,139	4,926E-12	0,00105	OK
1	3000	6,0	2,074	2,074	1,188E-11	0,00069	OK

De la Tabla 5.4 y Tabla 5.5 se puede apreciar que en la dirección X como Y, la estructura satisface las condiciones de desplazamiento de acuerdo a la norma NCh433.Of96 Mod2009.

## 5.5 Diseño del Sistema de Aislación

El diseño de un sistema de aislación es una técnica que busca introducir un elemento de apoyo de alta flexibilidad horizontal, para poder independizar a la superestructura del movimiento que induce el suelo, evitando grandes deformaciones en la superestructura.

Los principios básicos de un aislador son: la flexibilización del sistema estructural, es decir, el aumento del periodo estructural hacia una zona espectral de menor energía, evitando generar un aumento de las deformaciones relativas de la superestructura; y aumentar el amortiguamiento interno de la estructura, con la finalidad de reducir deformaciones producto de las solicitaciones sísmicas.

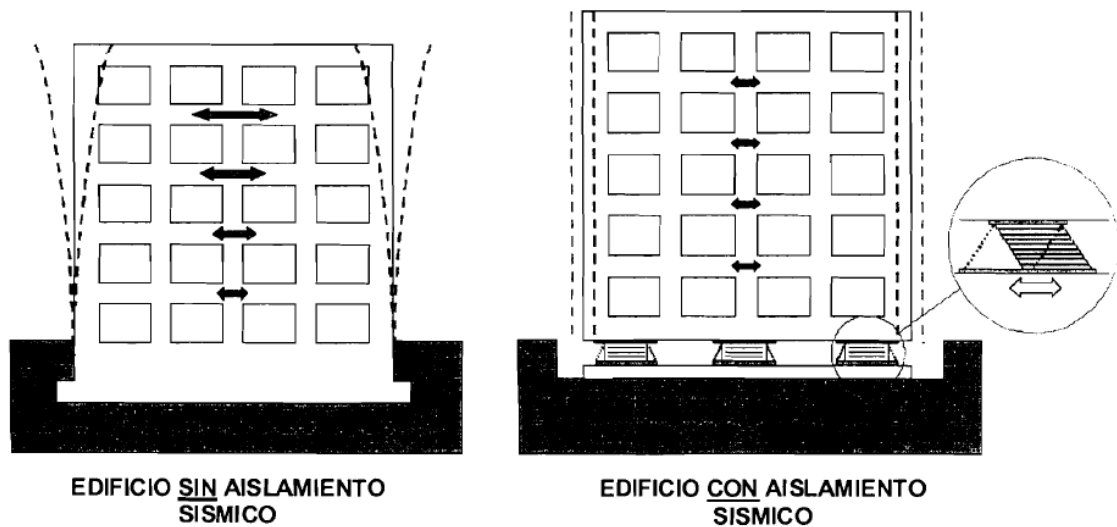


Figura 5.15: Principios básicos del diseño sísmico. Fuente: (VULCO, 2017).

El diseño de los aisladores se realizó en base al manual SIRVE (2003), teniendo en cuenta las siguientes restricciones en el diseño:

- Se aislará a nivel de fundación.
- Emplear un máximo de 3 tipos de aisladores de distinto tamaño.
- Considerar el compuesto de goma H8.
- Considerar una tensión admisible de compresión sobre la goma para cargas de largo plazo igual a  $100 \text{ kg/cm}^2$ .
- Considerar un periodo objetivo de 2,5 seg aproximadamente (considerando la rigidez secante de los aisladores, asociados a una alta demanda sísmica).
- Factor de seguridad a la estabilidad para aisladores igual o superior a 2.
- Factor de seguridad a la deformación máxima de corte de la goma de los aisladores igual o superior a 1,5.

- Frecuencia vertical de vibración de la estructura aislada igual o superior a 10 Hz.
- Tensión admisible de las placas de acero intermedias de los aisladores inferiores a  $0,75F_y$ .
- Diseñar bajo los criterios de la norma NCh2745.Of2003.
- Se debe reducir al máximo la respuesta torsional de la estructura.
- Proveer de un Amortiguamiento efectivo de aproximadamente 12% (para altas demandas sísmicas).

De acuerdo a la norma NCh2745.Of2003 y a las restricciones impuestas, los parámetros para el cálculo de los desplazamientos de diseño y máximos considerados se detallan en la Tabla 5.6.

**Tabla 5.6: Parámetros para el cálculo de desplazamiento de diseño y máximos NCh2745.Of2003.**

Condiciones	Parámetros	Valores
Zona sísmica: 3	Z (Tabla 5 – NCh 2745)	1,25
	$M_M$ (Tabla 3 – NCh2745)	1,2
B = 12%	$B_D=B_M$ (Tabla 2 – NCh2745)	1,49
Suelo II	$C_d$ [cm]	37,5
	$C_M$ [cm]	45

Los desplazamientos de diseño y máximos son:

**Tabla 5.7: Desplazamiento de diseño y máximos NCh2745.Of2003.**

Desplazamientos	Valores [cm]
$D_D$	25,2
$D_{TD}$	27,7
$D_M$	30,2
$D_{TM}$	33,2

El procedimiento utilizado para el diseño de los aisladores, a partir de los parámetros y restricciones establecidos se resume a continuación. Esta metodología considera las restricciones de la norma NCh2745.Of2003 y diferentes bibliografías sobre el diseño de aisladores (Naeim & M. Kelly, 1999), (Lafontaine R., 2013), (VULCO, 2017), (Arriaga Rosas, 2005) y (SIRVE, 2003).

- Se determinan los diámetros mínimos de los aisladores basándose en la descarga estática del edificio y en la tensión admisible de compresión ante cargas de largo plazo. Se considera como diámetro interno de los aisladores  $D_i=10$  cm. Estos resultados se pueden apreciar en la Tabla 10.1 y Tabla 10.2 del Anexo A.

- Se determina la altura de goma de los aisladores en base al periodo objetivo, considerando el módulo de corte en función de la deformación angular a partir de expresiones experimentales propuestas por VULCO (VULCO, 2017). Esto se determina para el desplazamiento de diseño como para el desplazamiento máximo. Los resultados se detallan en la Tabla 10.3 y Tabla 10.4 del Anexo A.
- Se realiza el balance torsional del sistema, modificando la distribución de los aisladores, con la finalidad de reducir la excentricidad del sistema. Para esto se determinan las propiedades lineales equivalentes de los aisladores (rigidez secante y amortiguamiento), presentes en la Tabla 10.5 y Tabla 10.6 del Anexo A. Luego se determina la situación existente para la configuración inicial de aisladores y a partir de esto se realiza el balance torsional. En la Tabla 10.7 y Tabla 10.8 del Anexo A se pueden apreciar los resultados.
- Se calculan las solicitaciones sísmicas sobre los aisladores para la condición de sismo máximo. Para esto se introducen la rigideces secantes de los aisladores para desplazamiento máximo (DM) presentes en la Tabla 10.9 del Anexo A, y se aplican en los centros de masa de cada nivel las fuerzas correspondientes, presentes en la Tabla 10.10 del Anexo A, según NCh2745.Of2003. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 10.11 del Anexo A.
- Se determina la altura de una capa de goma y el número de capas de goma que conforman el aislador en función de un factor de seguridad asociado a la deformación angular máxima. Se pueden ver los resultados en la Tabla 10.12 del Anexo A.
- Se determina el espesor de las placas de acero intermedias tal que la tensión por tracción sea menor a la admisible. Resultados presentes en la Tabla 10.13 del Anexo A.
- Se verificó que la frecuencia de vibración vertical del sistema sea lo suficientemente alta. Resultados presentes en la Tabla 10.14 del Anexo A.
- Se calculan los factores de seguridad asociado a la deformación y estabilidad de cada aislador. Resultados presentes en la Tabla 10.15 y Tabla 10.16 del Anexo A.
- Finalmente se realiza una verificación sísmica a través del espectro sísmico correspondiente de acuerdo a la norma NCh2745.Of2003 (suelo II, zona sísmica 3), presente en la Figura 5.16, y se recalculan las cargas sobre los aisladores producto de las solicitaciones sísmicas. Los resultados de las propiedades lineales equivalentes finales de los aisladores, se encuentran presentes en la Tabla 5.8. Para determinar  $K_1$  se utiliza una fórmula propuesta en el libro de Kelly ( $K_1=6K_2$ ) (Naeim & M. Kelly, 1999).

Cabe mencionar que los datos presentados en la Tabla 5.8 y Tabla 5.9 se obtienen de un proceso iterativo, tal que se cumplan todos los requerimientos previamente especificados.



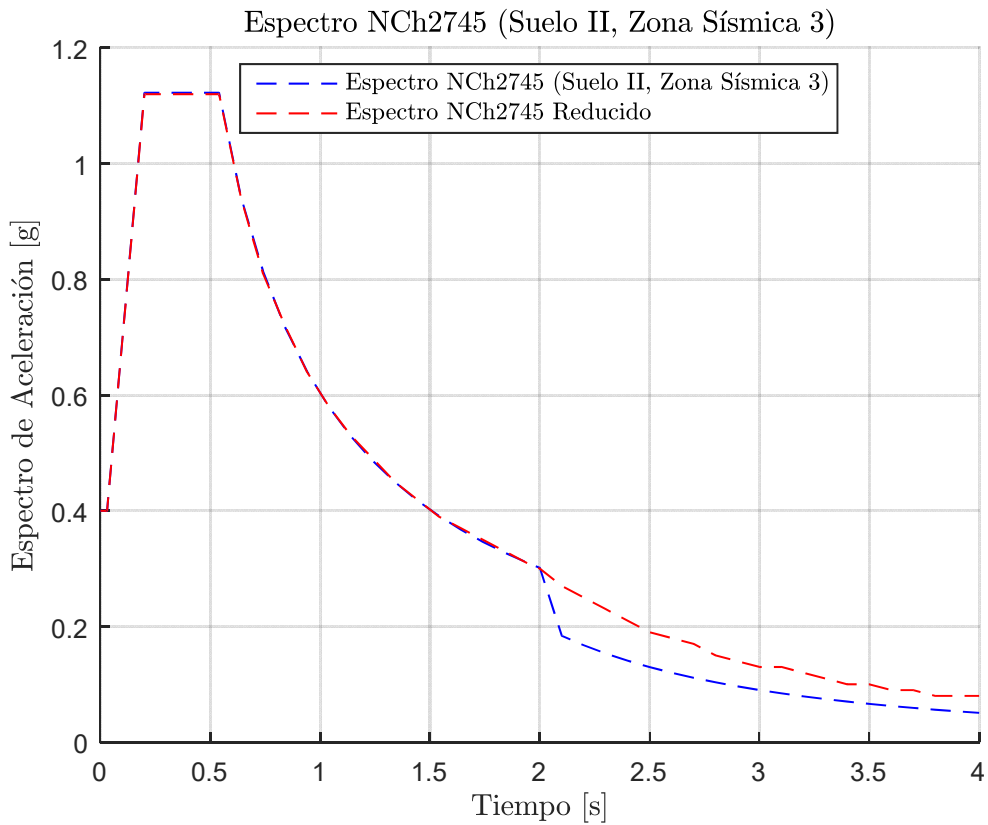


Figura 5.16: Espectro de aceleración de diseño, NCh2745 (Suelo II, Zona sísmica 3).

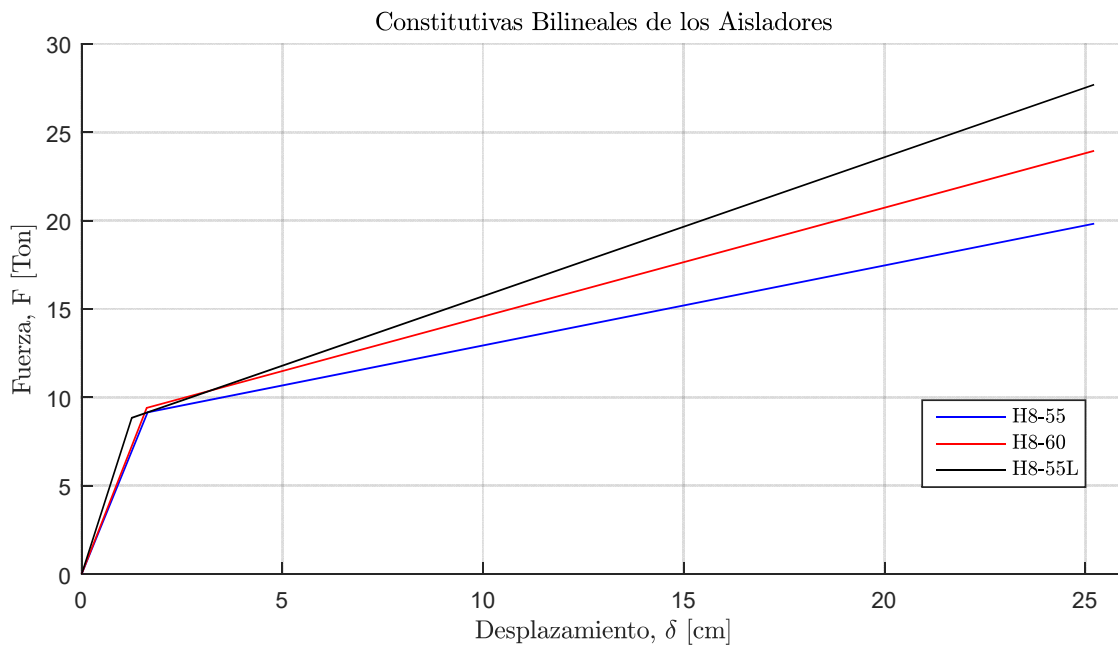


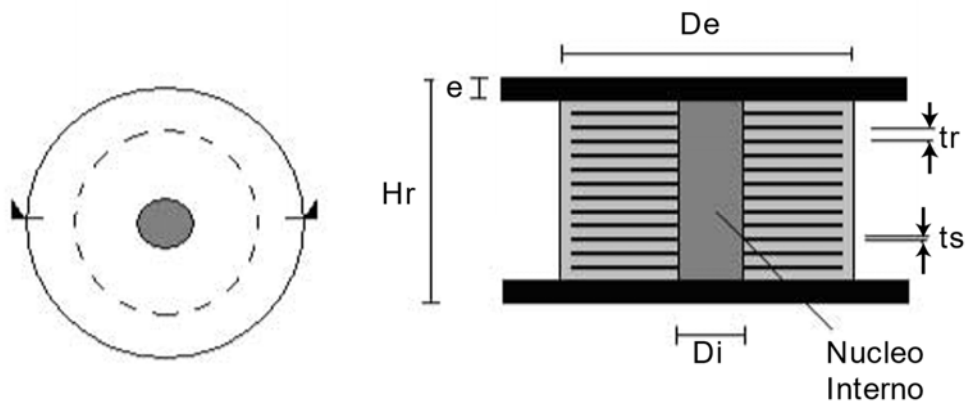
Figura 5.17: Constitutivas bilineales de los aisladores.

**Tabla 5.8: Propiedades lineal equivalentes de los aisladores.**

Tipo	K1 [ton/m]	K2 [ton/m]	Fy [ton]	Keff [Ton/m]	H [m]	H/2 [m]	K2/K1	Kv [ton/m]
H8-55	471,93	78,66	9,42	78,66	0,383	0,1915	0,167	103056,676
H8-60	570,10	95,02	9,42	95,02	0,344	0,172	0,167	94742,93
H8-55L	1651,76	78,66	8,25	109,82	0,383	0,1915	0,048	103056,676

**Tabla 5.9: Composición y dimensiones de los aisladores.**

Aisladores	H8-55	H8-55L	H8-60
Diámetro interior, Di [cm]	10	10	10
Diámetro exterior, De [cm]	55	55	60
N° de capas de goma, nr	47	47	29
Espesor capa de goma, tr [cm]	0,5	0,5	0,8
N° de láminas de acero, ns	46	46	28
Espesor placas de acero, ts [cm]	0,2	0,2	0,2
Altura del aislador, Hr [cm]	38,3	38,3	34,4



**Figura 5.18: Geometría y composición de los aisladores.**

El desplazamiento máximo entre piso se verifica en relación a lo establecido en la norma NCh2745.Of2003, la cual establece que este no debe ser superior a  $0,0025 \cdot h$  para un análisis espectral. Los valores obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 5.10 y Tabla 5.11.

**Tabla 5.10: Verificación de desplazamientos máximos dirección X, NCh2745.Of2003.**

Pisos	$\Delta h$ [mm]	$d_{\max CM}$ [mm]	Sismo X				
			U1 [mm]	D.Rel1 [mm]	Giro [rad]	Drift	Condición
4	3000	7,5	124,78	1,30	0,0024	0,0004	OK
3	3000	7,5	123,48	2,26	0,0023	0,0008	OK
2	3000	7,5	121,22	3,69	0,0023	0,0012	OK
1	3000	7,5	117,53	6,77	0,0022	0,0023	OK
base	3000	7,5	110,76		0,0021		

**Tabla 5.11: Verificación de desplazamientos máximos dirección Y, NCh2745.Of2003.**

Pisos	$\Delta h$ [mm]	$d_{\max CM}$ [mm]	Sismo y				
			U2 [mm]	D.Rel2 [mm]	Giro [rad]	Drift	Condición
4	3000	7,5	130,69	1,01	0,0024	0,0003	OK
3	3000	7,5	129,68	1,84	0,0022	0,0006	OK
2	3000	7,5	127,85	3,09	0,0023	0,0010	OK
1	3000	7,5	124,76	6,21	0,0022	0,0021	OK
base	3000	7,5	118,55		0,0021		

Los periodos y su respectiva participación modal obtenidos del modelo se encuentran presentes en la Tabla 5.12 (para lo cual se utilizó la rigidez tangente del sistema de aislación de 12%).

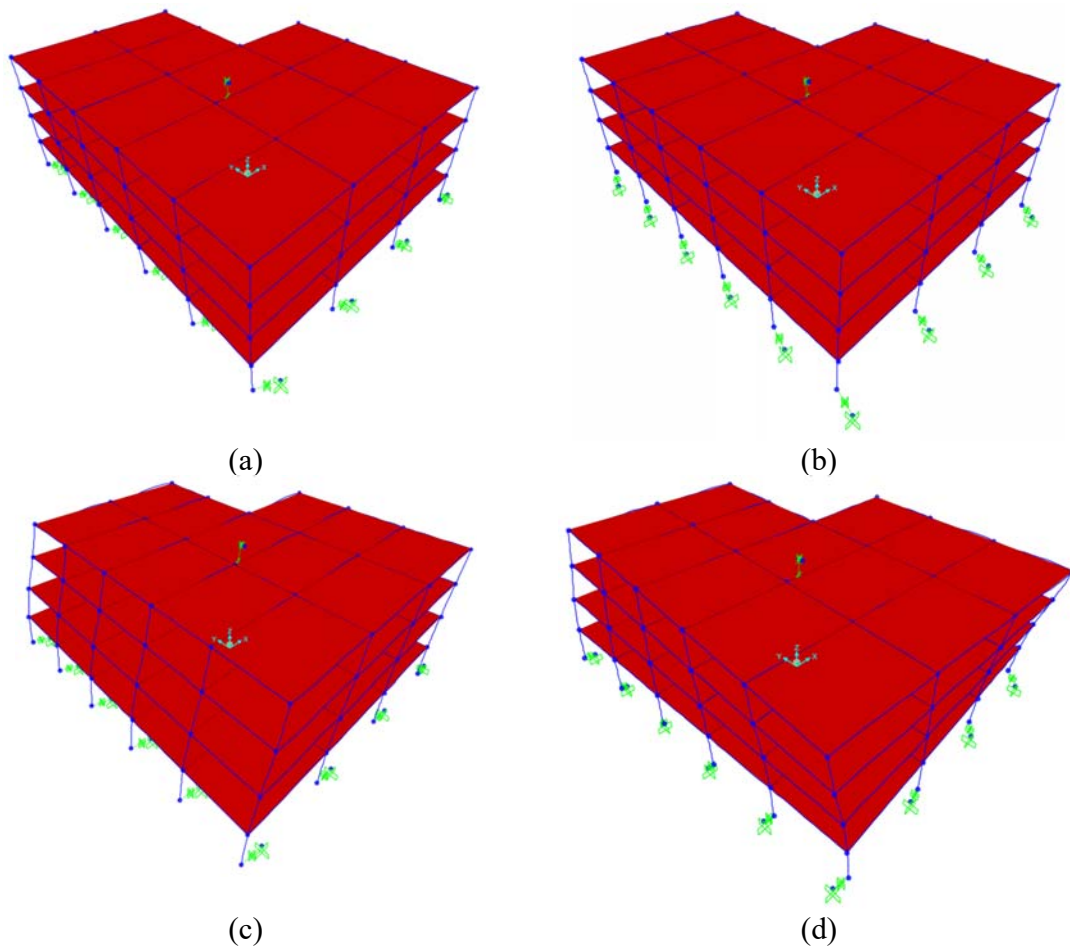
**Tabla 5.12: Periodos y frecuencias con sus participaciones modales, estructura base aislada.**

Modo	Periodo [s]	Frecuencia [Hz]	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
1	2,54	0,39	0,866	0,095	0,000	0,000	0,000	0,038
2	2,51	0,40	0,109	0,883	0,000	0,000	0,000	0,008
3	2,18	0,46	0,024	0,022	0,000	0,000	0,000	0,954
4	0,27	3,77	0,000	0,000	0,000	0,000	0,188	0,000
5	0,23	4,34	0,000	0,000	0,000	0,035	0,000	0,000
6	0,23	4,39	0,000	0,000	0,000	0,113	0,000	0,000
7	0,11	8,74	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
8	0,11	9,14	0,000	0,000	0,498	0,007	0,002	0,000
9	0,11	9,43	0,000	0,000	0,000	0,160	0,078	0,000
10	0,10	9,60	0,000	0,000	0,012	0,079	0,045	0,000
11	0,10	9,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,10	9,91	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Total	-	-	0,999	1	0,511	0,395	0,313	1

De la Tabla 5.12 se puede apreciar que el periodo fundamental de la estructura corresponde a 2,54 *seg*, asociado al modo 1 y corresponde a un movimiento principalmente traslacional en la dirección X (transversal). El segundo periodo mayor es de 2,51 *seg* y corresponde al modo 2, asociado a un movimiento principalmente traslacional en la dirección Y (longitudinal). Además, se puede apreciar que ambos periodos son aproximadamente el periodo establecido para el diseño de los aisladores.

De la Tabla 5.12 se puede concluir que tanto en X como en Y se cumple con que la suma de las masas equivalentes es más del 90 % de la masa total.

En la Figura 5.19 se observan las formas modales de las cuatro primeras formas de vibrar asociadas a modos traslacionales.



**Figura 5.19: (a) Primer modo, traslacional, dirección transversal. (b) Segundo modo, traslacional, dirección longitudinal. (c) Cuarto modo, traslacional, dirección transversal. (d) Quinto modo, traslacional, dirección longitudinal. Estructura aislada.**

En la Figura 5.20 se puede apreciar los dos primeros modos torsionales de la estructura base aislada.

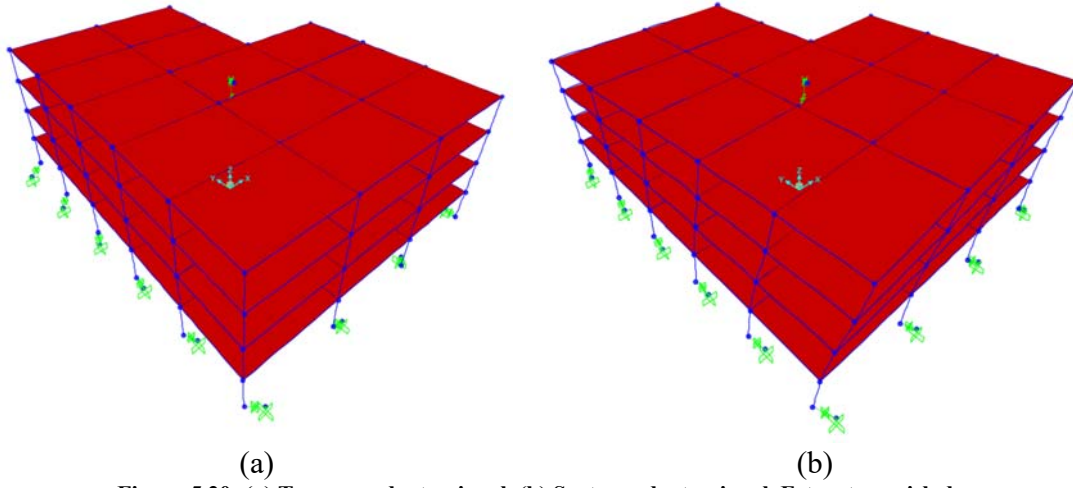
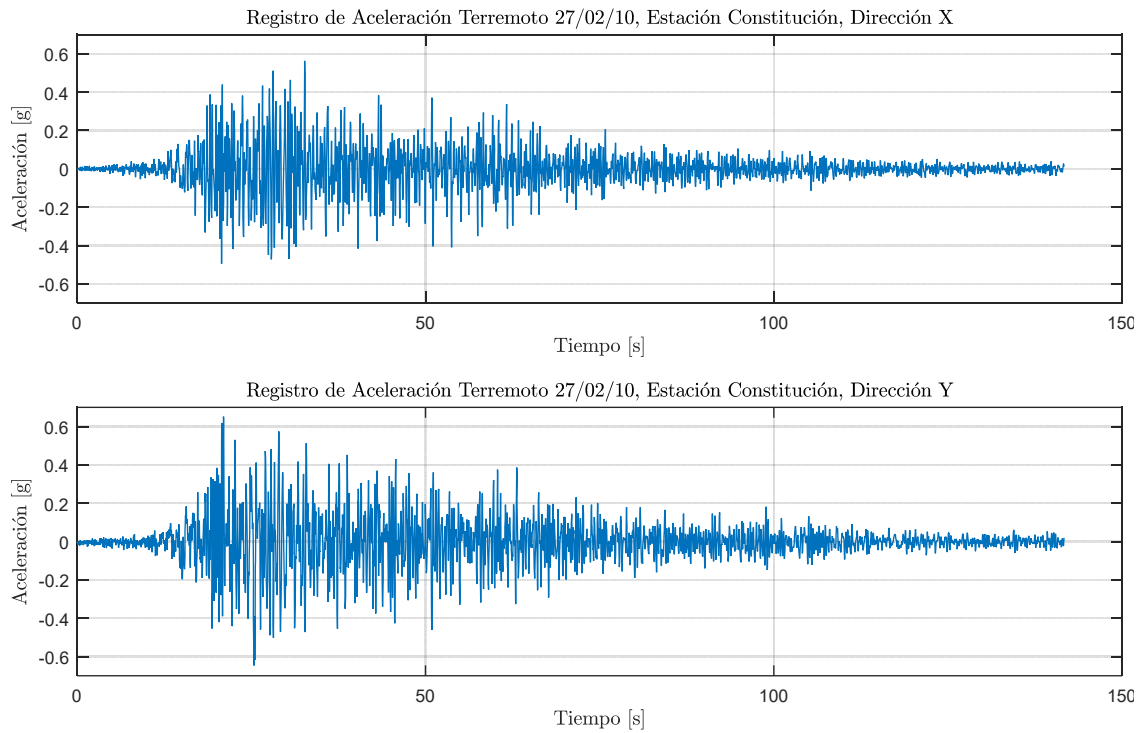


Figura 5.20: (a) Tercer modo, torsional. (b) Sexto modo, torsional. Estructura aislada.

## 5.6 Respuesta y Solicitación de la Estructura sin Aislación y Aislada

La estructura aislada y la con base fija son solicitadas por el registro sísmico del mega-terremoto del 27 de febrero del 2010  $M_w=8.8$  (para la dirección longitudinal  $PGA=0.540g$ ,  $I_a=2.023 g*s$ ,  $P_d=43.872 cm*s$ ; para la dirección transversal  $PGA=0.632g$ ,  $I_a=2.679 g*s$ ,  $P_d=67.107 cm*s$ ), medido en la estación sísmológica de Constitución. El registro de aceleración en sus dos direcciones perpendiculares, se puede apreciar en la Figura 5.21.



**Figura 5.21: Registro de aceleración Terremoto 27/02/10, Estación Constitución. Input modelo base fija y aislada.**

Para seleccionar los outputs del modelo de base fija y de base aislada, se escogieron los nodos en las losas coincidentes con tres columnas, de las cuales se consideró como output, la aceleración absoluta en la dirección X e Y en cada uno de los niveles. Las columnas seleccionadas se pueden apreciar en la Figura 5.22 de color amarillo. También se pueden apreciar en la Figura 5.25.

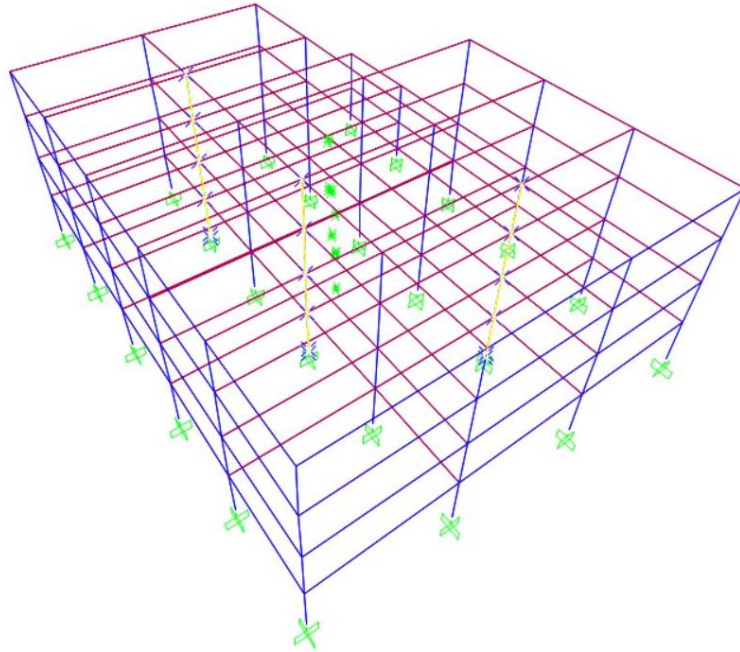


Figura 5.22: Vista 3D del modelo aislado con las columnas de las que se consideran los outputs.

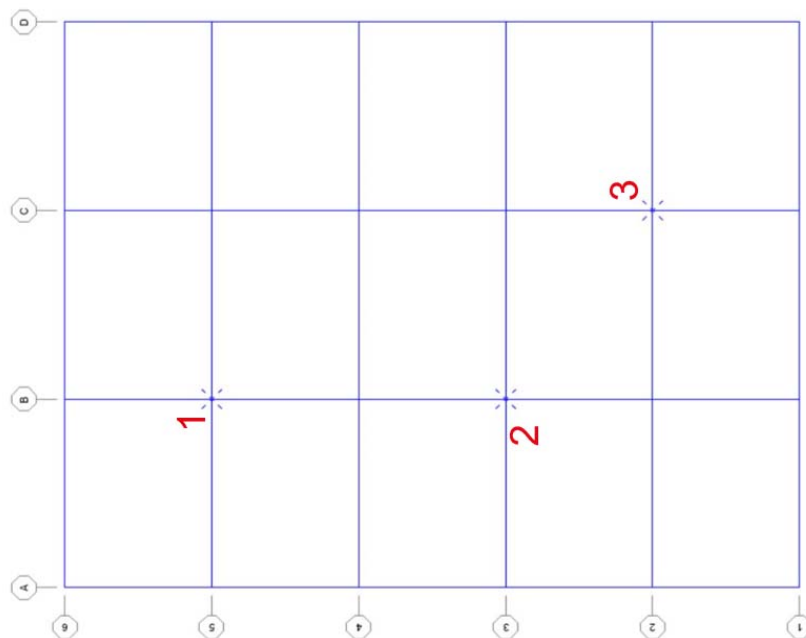
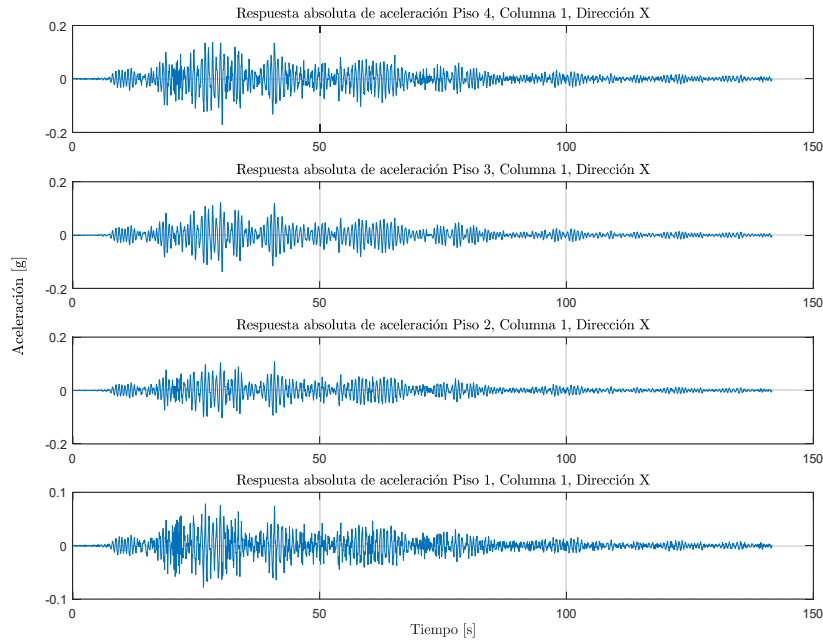
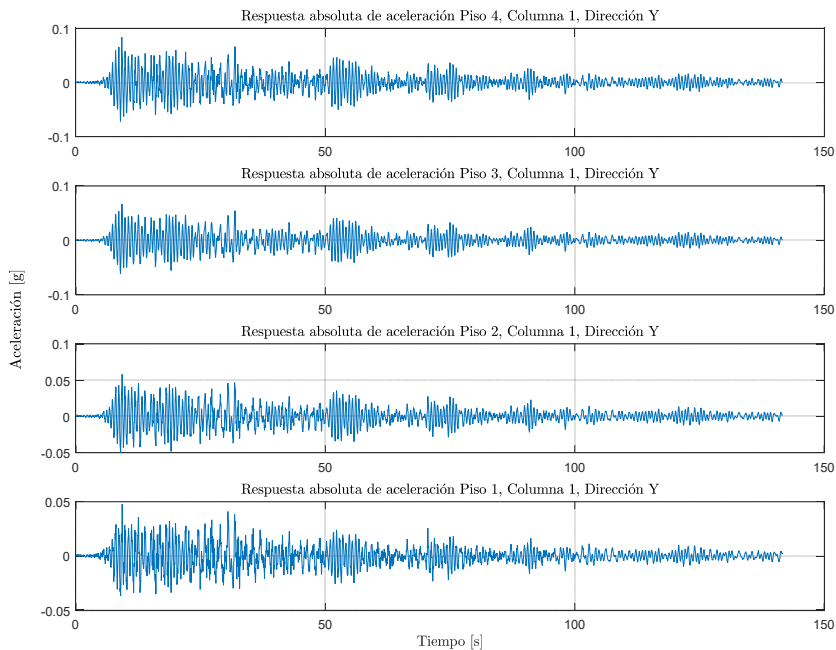


Figura 5.23: Vista en planta con la numeración de las columnas seleccionadas.

Considerando las columnas antes mencionadas se obtuvieron 24 datos de salida (outputs) para la estructura sin aislación y 30 datos de salida para la estructura aislada. En la Figura 5.24 y Figura 5.25 se puede apreciar la respuesta de aceleración absoluta en ambas direcciones, de la estructura sin aislación, asociada a la columna 1. La de las otras columnas se pueden apreciar desde la Figura 10.1 hasta la Figura 10.4, presentes en el Anexo B.



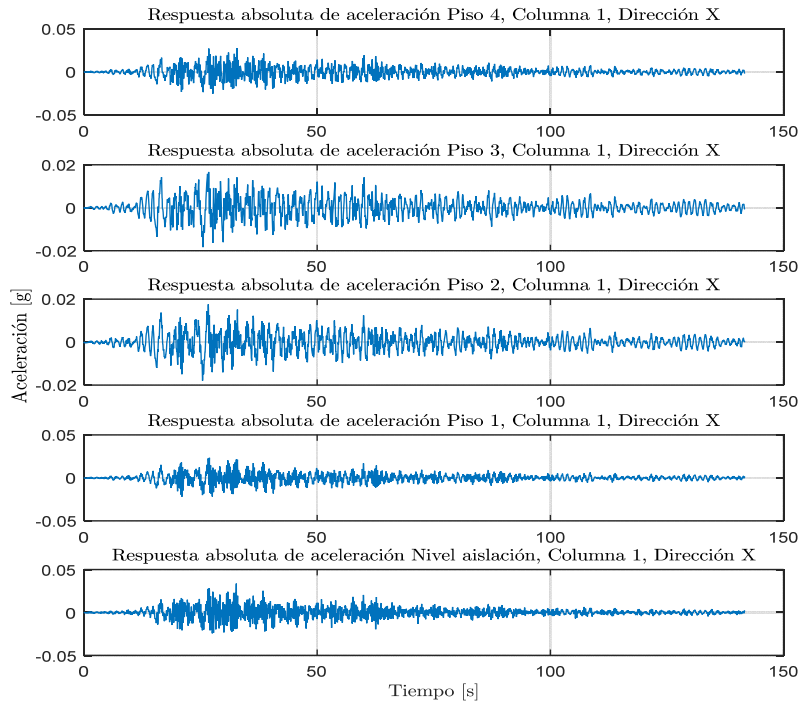
**Figura 5.24: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura base fija.**



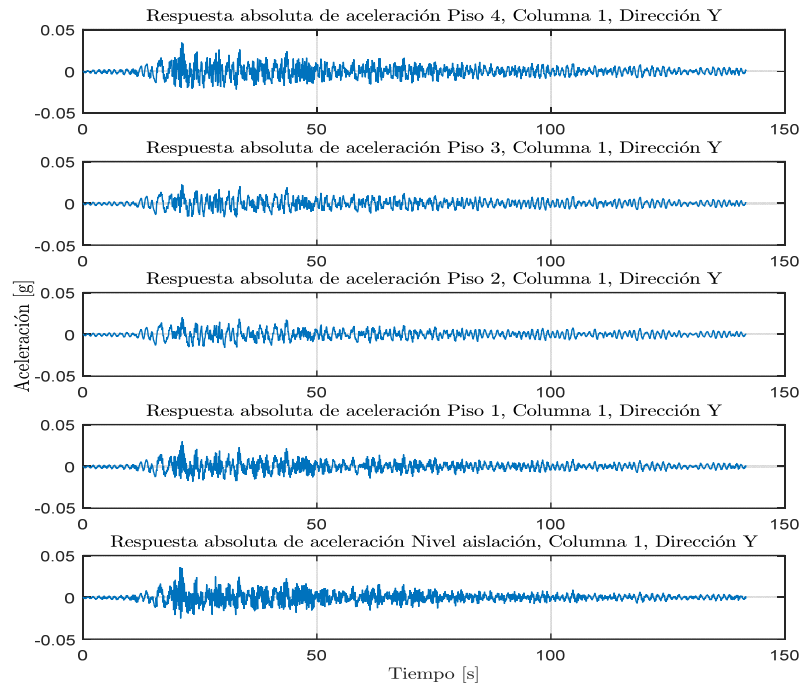
**Figura 5.25: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura base fija.**



En la Figura 5.26 y Figura 5.27 se puede apreciar la respuesta de aceleración absoluta en ambas direcciones, de la estructura aislada, asociada a la columna 1. La de las otras columnas se pueden apreciar desde la Figura 10.5 hasta la Figura 10.8, presentes en el Anexo B.



**Figura 5.26: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura base aislada.**



**Figura 5.27: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura base aislada.**

## 5.7 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura sin Aislación

### 5.7.1 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Inicialmente se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante el sismo; es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual es cierto para el caso de la estructura sin aislación ya que solo existen elementos lineal-elásticos.

Se debe tener en cuenta que, al ser un modelo analítico, las respuestas utilizadas no poseen ningún tipo de ruido, por lo cual no son filtradas.

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los parámetros detallados en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación.

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	30

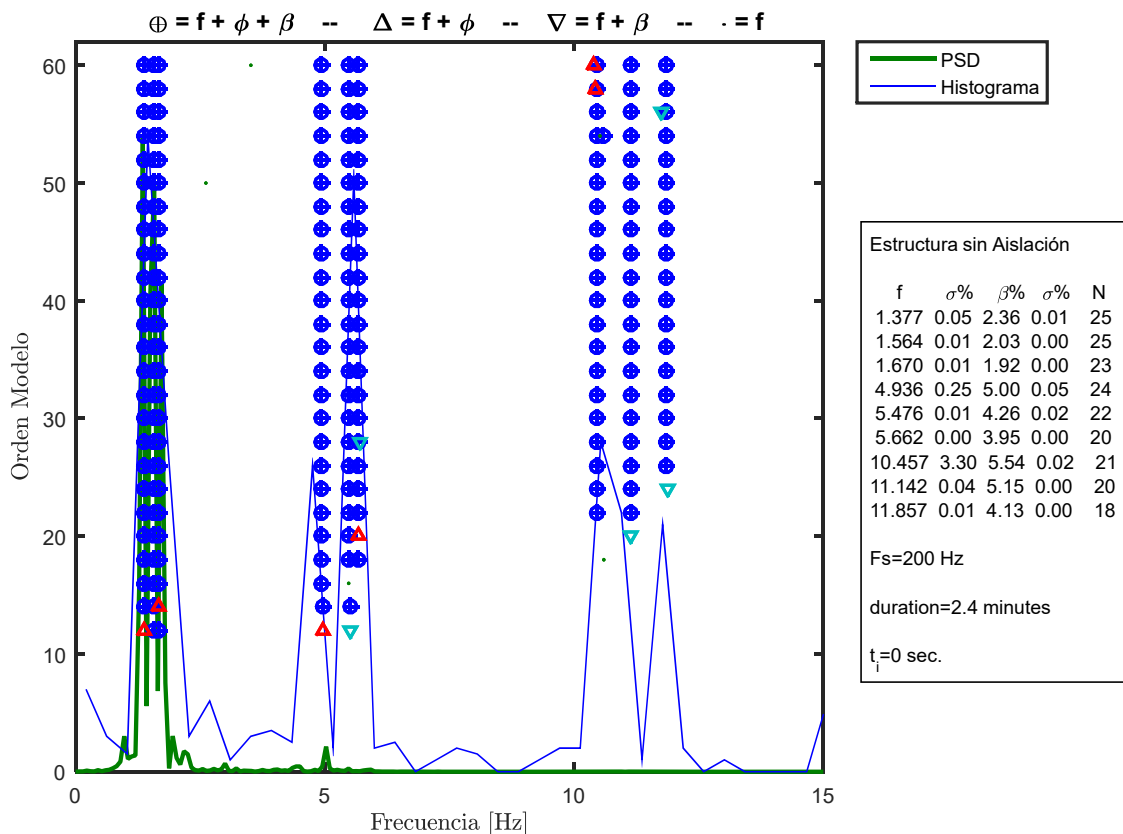


Figura 5.28: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación.

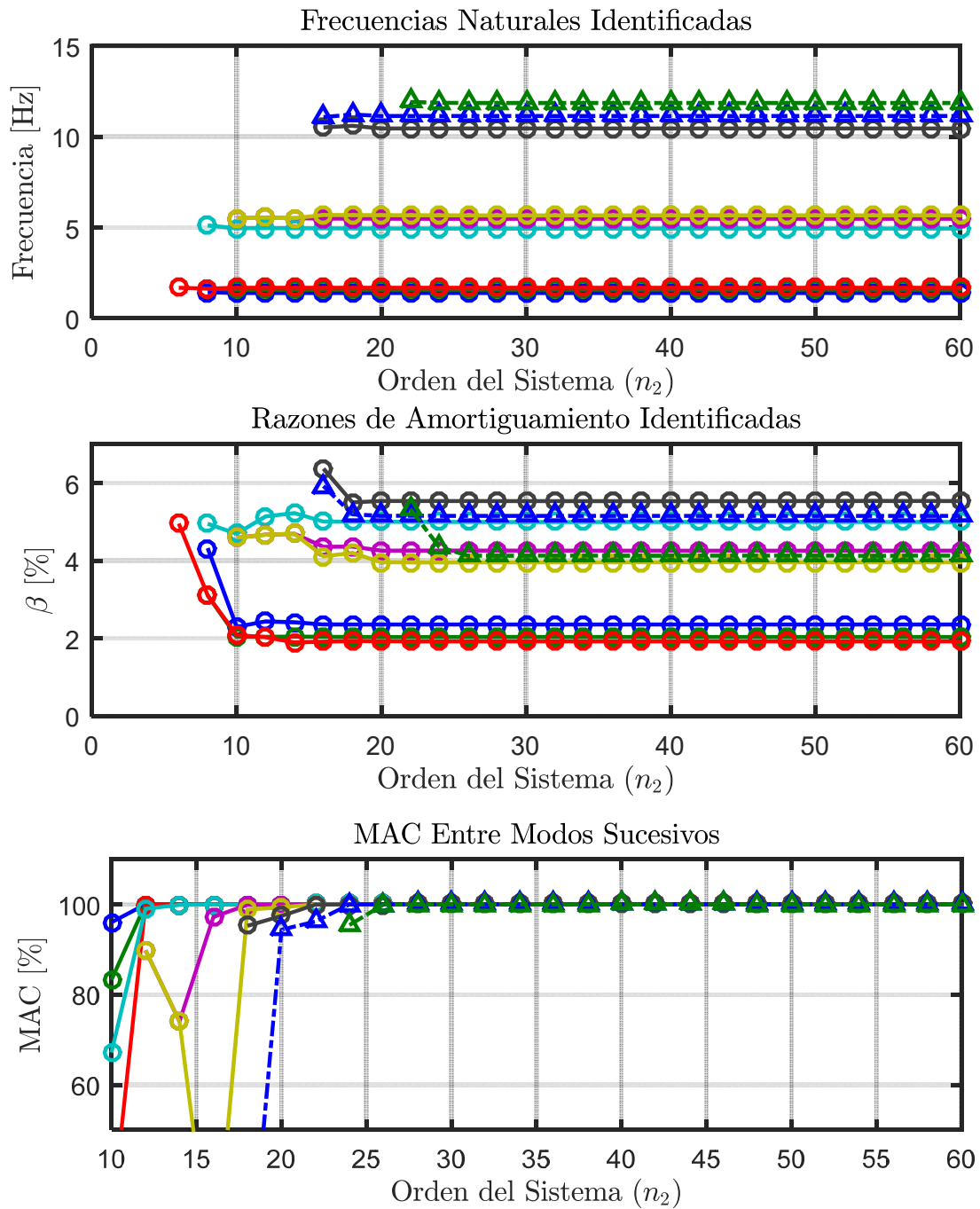


Figura 5.29: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación.

Las frecuencias identificadas coinciden con los valores de la Tabla 5.2. Las razones de amortiguamiento de los primeros tres modos (traslacional, longitudinal y torsional) son cercanas al 2%, observándose que los valores de los amortiguadores visco-elásticos de entre piso fueron ajustados para que cumplieran esta condición.

### 5.7.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes en el Tiempo

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal-elástica por pequeñas ventana de tiempo. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 5.14.

**Tabla 5.14: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aisladores.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	30
Smin	3303
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	16,515
Cantidad de ventanas	76
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	4
Ventana 2	9
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	18
Ventana 3	66
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	120
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	5
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90

En la Figura 5.30, Figura 5.31 y Figura 5.32 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a las ventanas 1, 2 y 3.

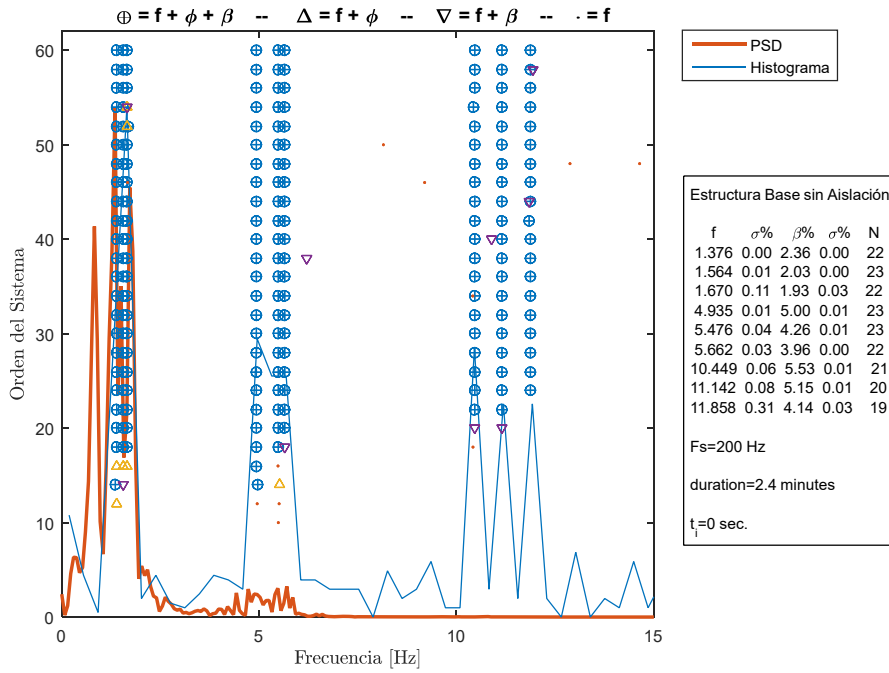


Figura 5.30: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base sin aisladores.

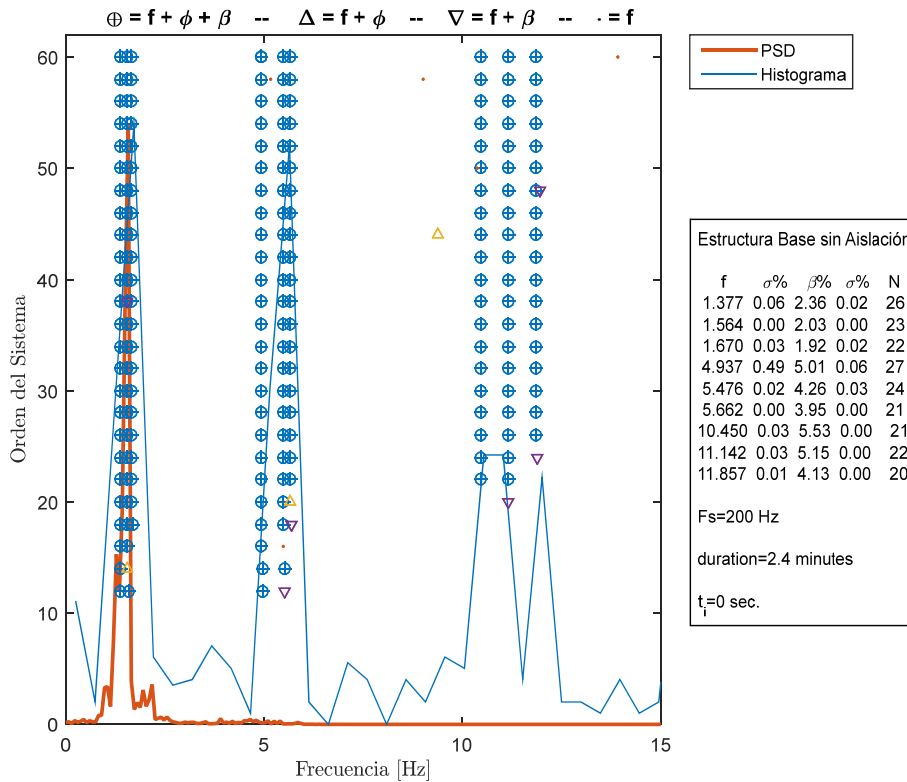
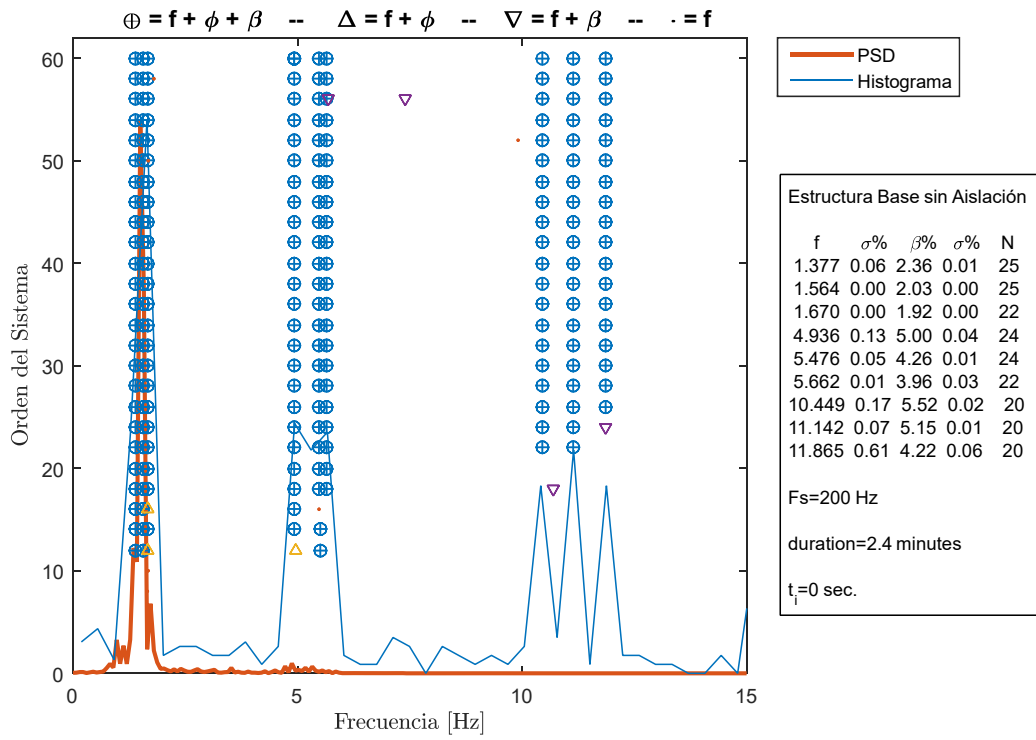


Figura 5.31: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base sin aisladores.



**Figura 5.32: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base sin aisladores.**

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se muestran en la Figura 5.33.

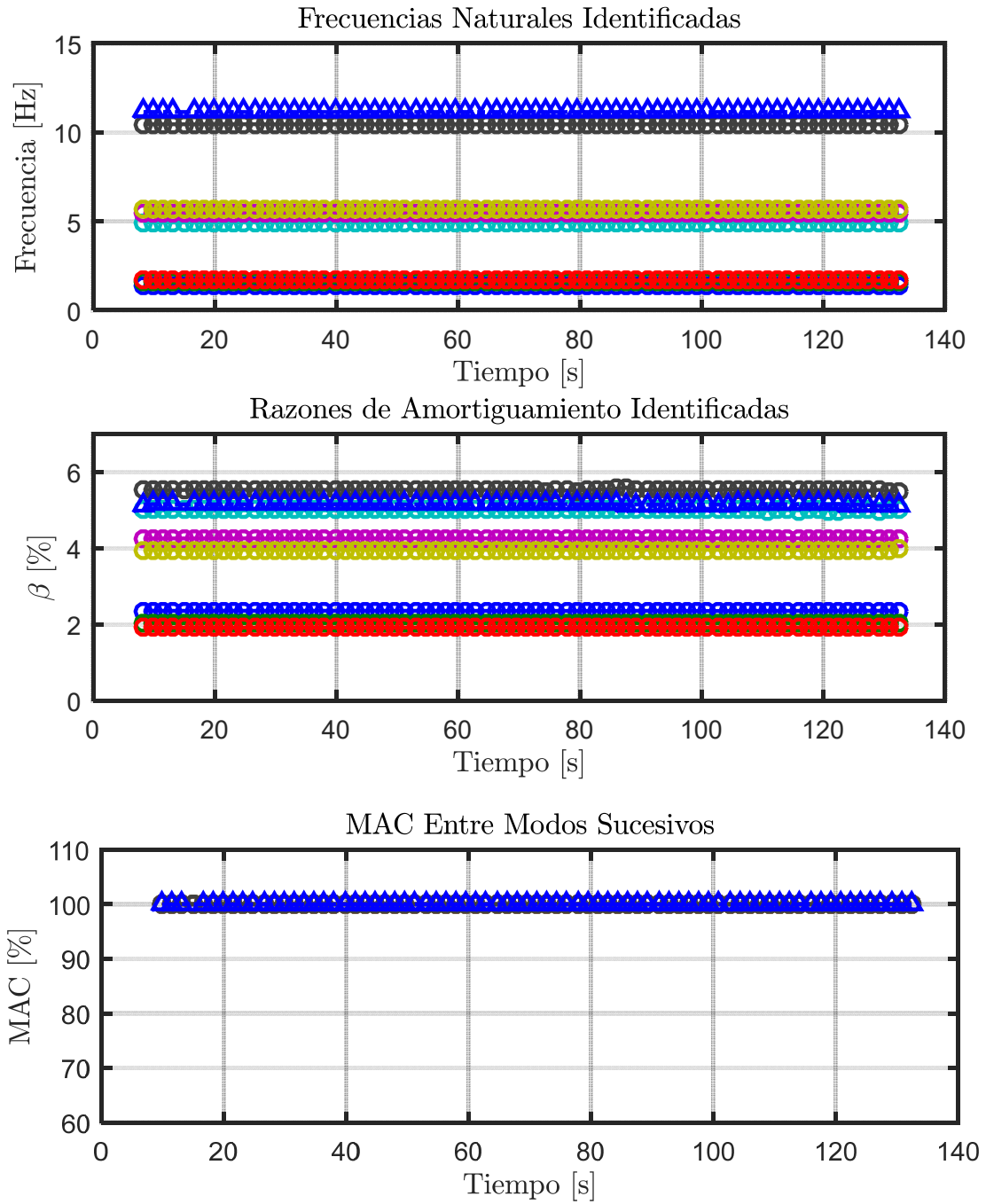


Figura 5.33: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación.

Como es de esperarse los resultados para este caso muestran que las propiedades dinámicas de la estructura son invariantes en el tiempo al tratarse de una estructura lineal-elástica.

### 5.7.3 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

Para poder comparar las frecuencias modales obtenidas por el método DSI, se realiza un estudio de la evolución temporal de las frecuencias modales identificadas a través de la función de transferencias por pequeñas ventanas (tTF).

Cabe mencionar que como los modos torsionales y traslacionales en X (transversales) e Y (longitudinales) poseen frecuencias modales muy cercanas entre sí, se comparan las frecuencias determinadas para los modos traslacionales en X e Y por separado.

Además, sobre la Función de Transferencia se grafican las frecuencias modales identificadas por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo.

Para este análisis y para el de los otros casos se consideran ventanas de 10 [s] con un traslapeo cada 1 [s]. Donde los datos de entrada y salida corresponden a aceleraciones totales. Esto último con la finalidad de poder observar de mejor forma los modos superiores.

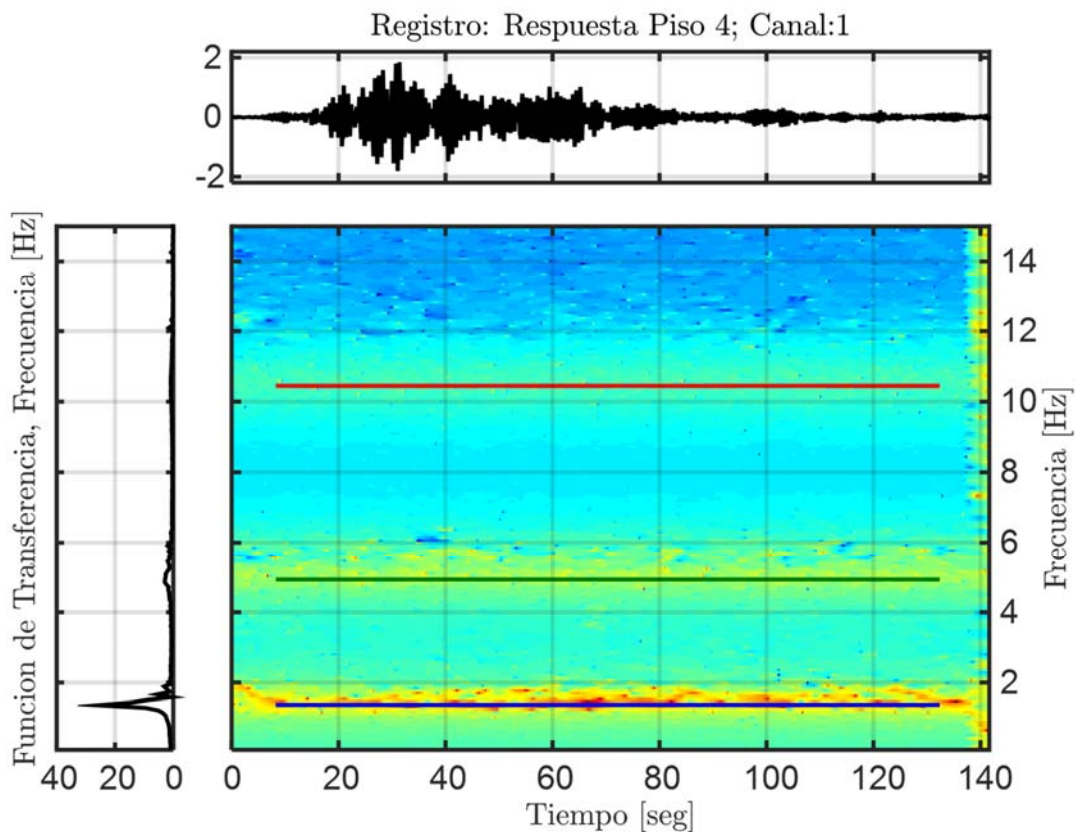
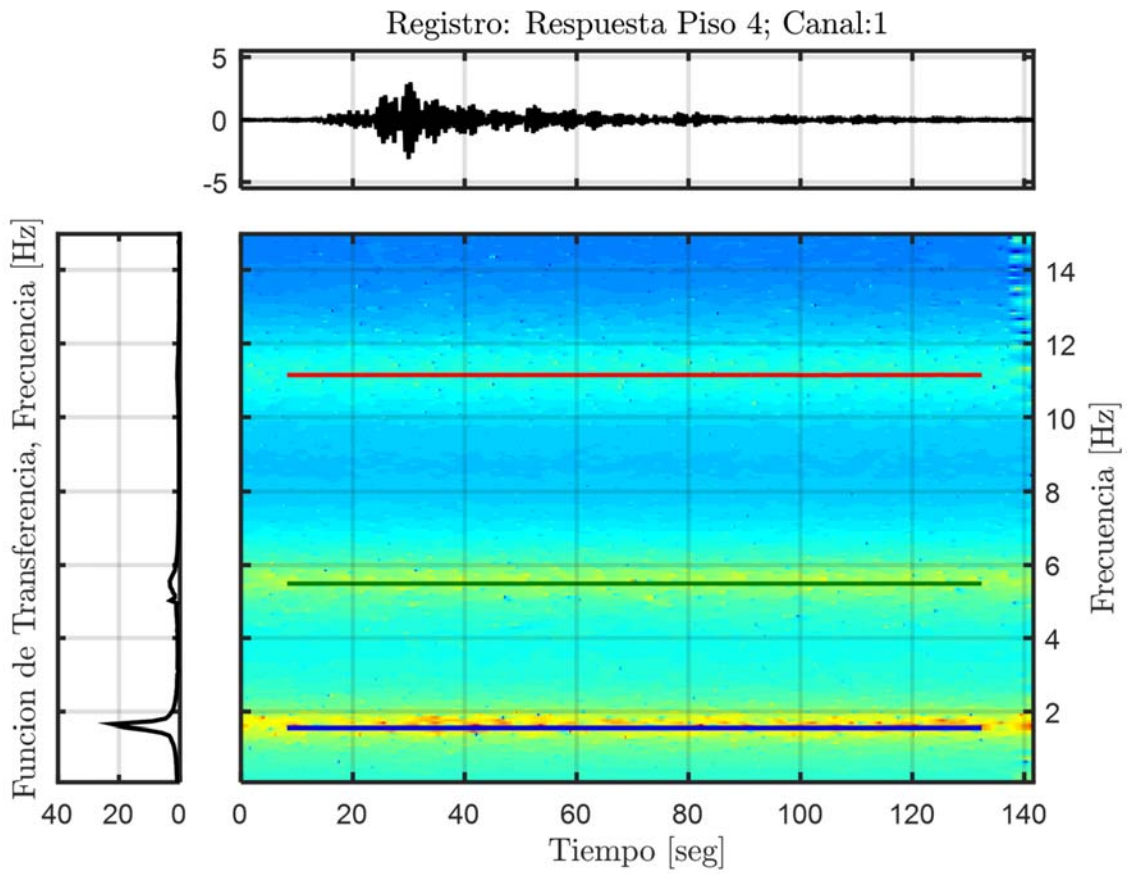


Figura 5.34: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación (dirección transversal).





**Figura 5.35: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación (dirección longitudinal).**

Se utilizarán filtros digitales del tipo Butterworth para aislar las diferentes componentes, de esta forma, poder utilizar ventanas de menor tamaño y con menor interferencia, posibilitando una estimación más local de la frecuencia instantánea (promedio ponderado en frecuencia para cada instante).

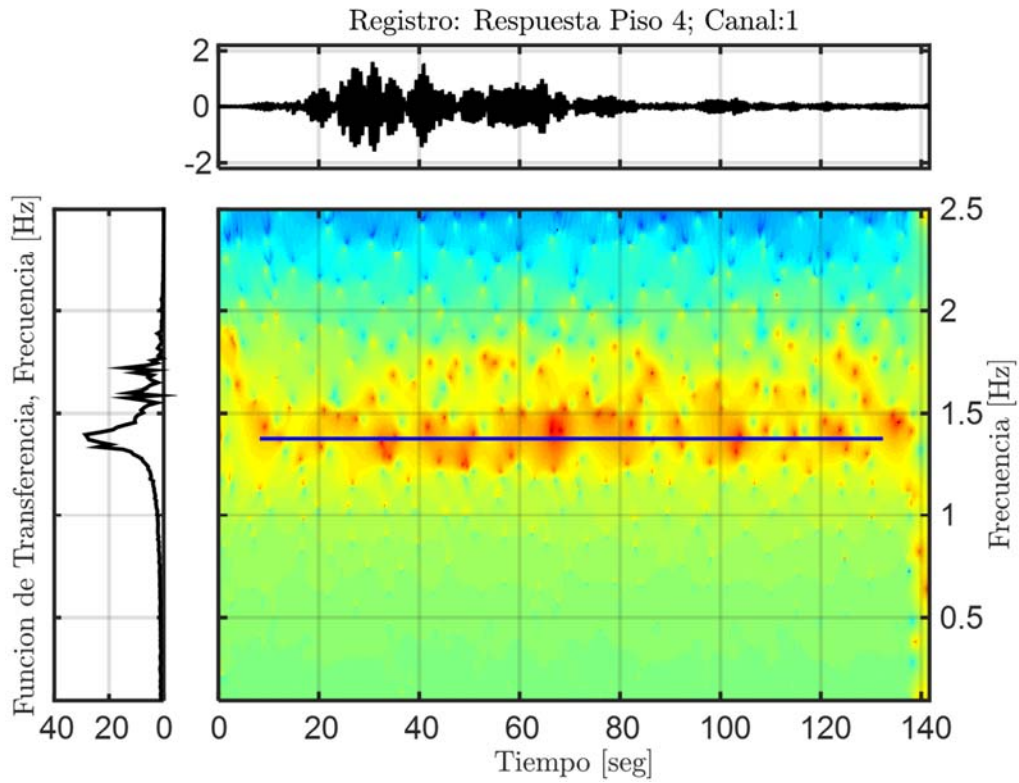


Figura 5.36: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación.

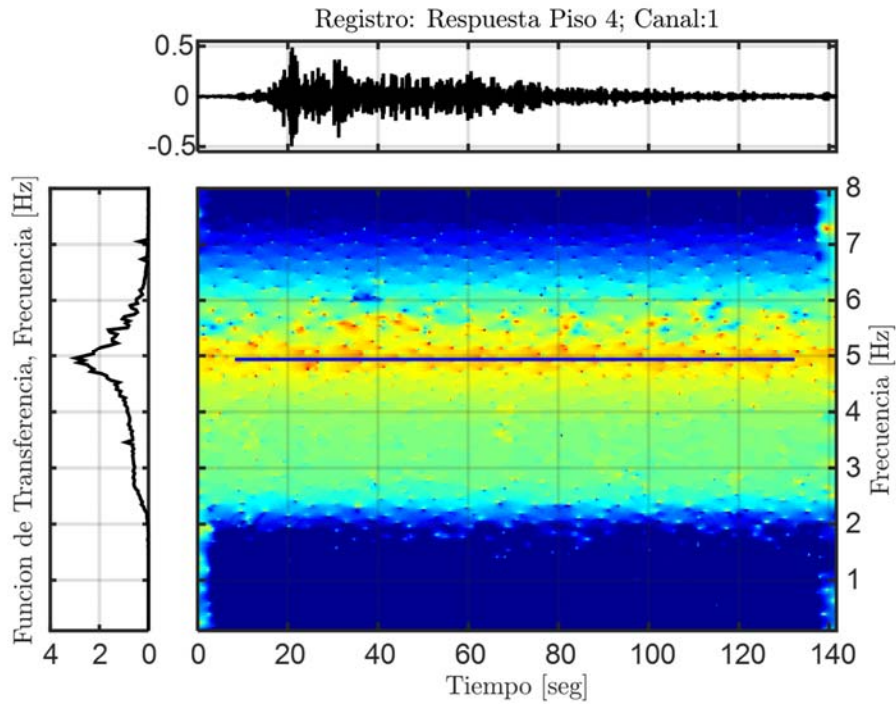


Figura 5.37: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura sin aislación.

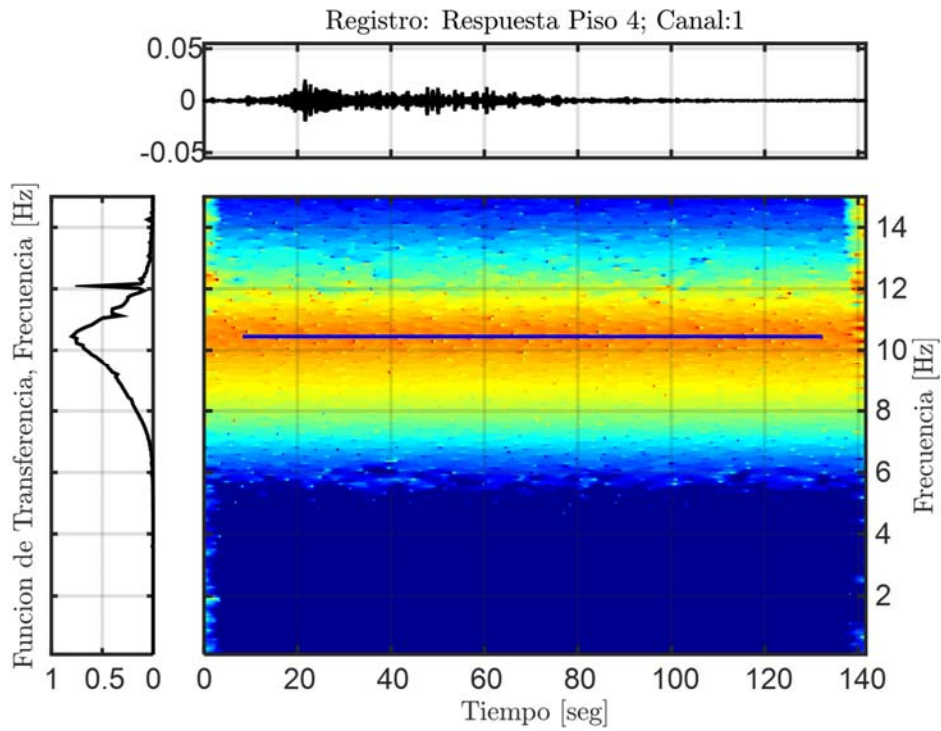


Figura 5.38: Función de transferencia filtrada para el modo 7, Estructura sin aislación.

#### 5.7.4 Resumen y Análisis de Propiedades Identificadas

**Tabla 5.15: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación, Modelo SAP2000.**

Modos	$f_{\text{Modelo SAP2000}}$ [Hz]	$f_{\text{AI}}$ [Hz]	$f_{\text{AV}}$ [Hz]	Error [%]	$\beta_{\text{AI}}$ [%]	$\beta_{\text{AV}}$ [%]
1	1,377	1,377	1,376	0,07	2,36	2,36
2	1,564	1,564	1,564	0,00	2,03	2,03
3	1,670	1,670	1,670	0,00	1,92	1,92
4	4,945	4,936	4,935	0,20	4,99	4,99
5	5,488	5,476	5,476	0,22	4,26	4,26
6	5,679	5,662	5,663	0,28	3,95	3,95
7	10,543	10,457	10,450	0,88	5,53	5,53
8	11,257	11,142	11,140	1,04	5,15	5,15
9	11,996	11,857	11,860	1,13	4,14	4,14

Los valores presentes en la Tabla 5.15 corresponden a las frecuencias y amortiguamientos determinados por diferentes análisis realizados a la estructura sin aislación. Donde  $f_{\text{Modelo SAP2000}}$  corresponde a las frecuencias modales determinadas mediante el software SAP2000,  $f_{\text{AI}}$  corresponde a las frecuencias modales determinadas por el método DSI realizando un análisis invariante en el tiempo para el registro completo,  $f_{\text{AV}}$  corresponde a las frecuencias modales determinadas por el método el DSI por pequeñas ventanas de tiempo,  $\beta_{\text{AI}}$  corresponde a los amortiguamientos determinadas por el método DSI realizando un análisis invariante en el tiempo para el registro completo y  $\beta_{\text{AV}}$  corresponden al promedio de los amortiguamientos determinados por el método el DSI por pequeñas ventanas de tiempo.

Cabe mencionar que el Error, presenten en la Tabla 5.15, está asociado a la diferencia entre las frecuencias del modelo en SAP2000 y las obtenidas mediante el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo. En base a estos valores, se puede apreciar como el método DSI permite determinar de forma correcta las frecuencias modales. Se debe tener en cuenta que el modelo corresponde a un ejemplo analítico, el cual no presenta ruido en la medición de los datos de entrada y salida. Pero, por otra parte, a pesar de que sus modos traslacionales y torsionales posean frecuencias modales muy cercanas entre sí, el método DSI es capaz de identificarlas en forma efectiva.

De la Tabla 5.15 se puede apreciar que el modelo estructural sin aislación posee una respuesta lineal-elástica, ya que las frecuencias y amortiguamiento de la identificación invariante como de la variante son prácticamente idénticos. Esto valida el hecho de considerar un largo de ventana de tiempo de gran tamaño, respetando el criterio de largo mínimo sin ser necesario resamplear los datos de entrada y salida.

Las frecuencias modales identificadas por pequeñas ventanas de tiempo por el método Función de Transferencia, presentes desde la Figura 5.34 hasta la Figura 5.38, coinciden de buena forma con las determinadas por el método DSI.

Se observa que la razón de amortiguamiento de los primeros tres modos son del orden del 2 %, por lo cual se puede considerar que los valores de amortiguamiento no-clásico considerados en el modelo satisface el diseño.

## 5.8 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada

### 5.8.1 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Se debe tener en cuenta que, al ser un modelo analítico, las respuestas utilizadas no poseen ningún tipo de ruido, por lo cual no son filtradas.

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16: Parámetros para la identificación de propiedades invariantes, estructura aislada.

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	10
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	15
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	30

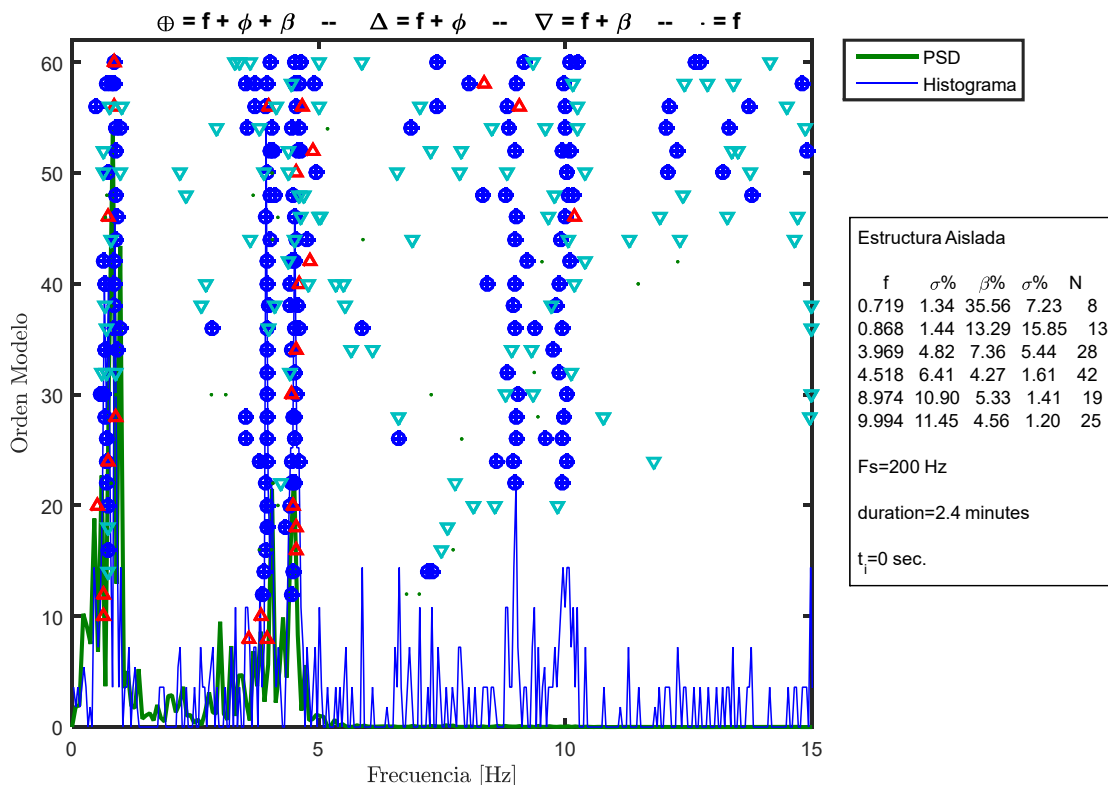


Figura 5.39: Diagrama de estabilidad propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada.

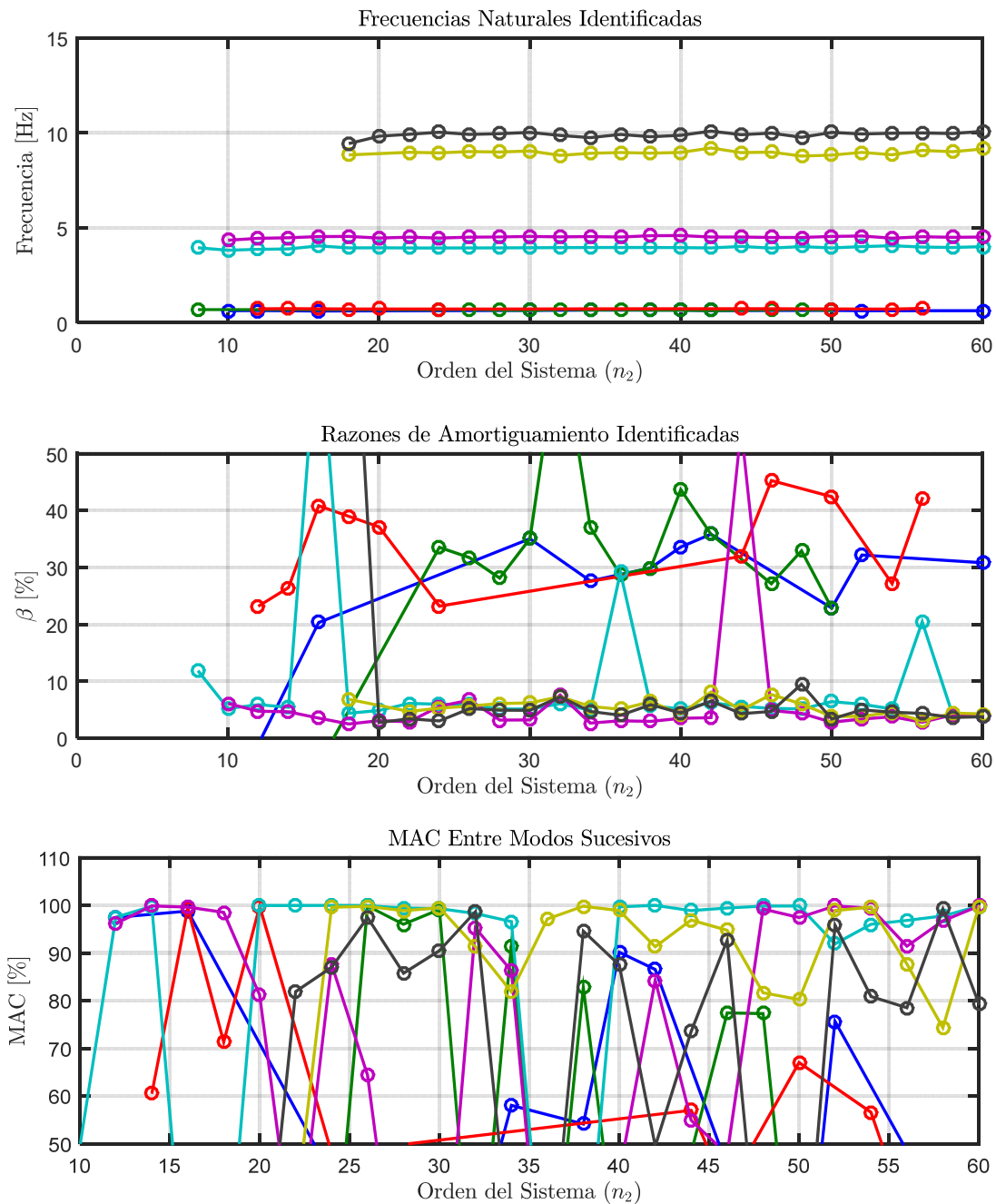


Figura 5.40: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada.

Las propiedades invariantes determinadas no tienen un sentido físico real. Sin embargo representan a nivel global el comportamiento promedio de los modos. Se puede apreciar que las frecuencias identificadas son mayores a los de la Tabla 5.12 dado que estos valores consideran un promedio asociado al movimiento fuerte y cuando la excitación es atenuada (inicio y fin del registro).

## 5.8.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo y representar de mejor forma el comportamiento de la estructura aislada. Sin embargo, al considerar todos los inputs y outputs, no se logra una correcta identificación de las propiedades dinámicas, por lo cual se realiza una identificación considerando input y outputs asociados a la dirección Y (longitudinal) y otra identificación considerando input y outputs asociados a la dirección X transversal).

Los parámetros considerados para realizar las identificaciones son los presentes en la Tabla 5.17.

Para lograr obtener ventanas de tiempo de aproximadamente 3 [s] y cumplir con el criterio de largo mínimo de ventana, se re-muestrearon los datos de entrada y salida a una frecuencia de muestreo de 600 [Hz] (3 veces más alta que la frecuencia de muestreo original).

**Tabla 5.17: Parámetros para identificación de propiedades variantes, estructura aislada.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	15
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	30
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	50
GDL o n'	30
Smin	2083
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	3,471
Cantidad de ventanas	397
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	1,7
Ventana 2	73
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	25
Ventana 3	376
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	120
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	5
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 5.41, Figura 5.42 y Figura 5.43 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3 considerando input y outputs correspondientes a la dirección Y (longitudinal).

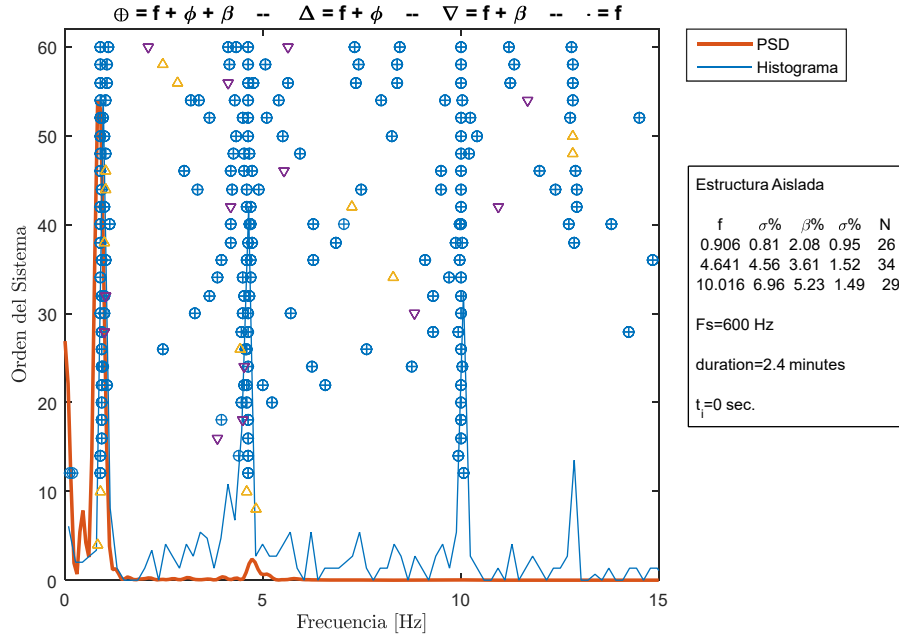


Figura 5.41: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base aislada con outputs e input en la dirección longitudinal.

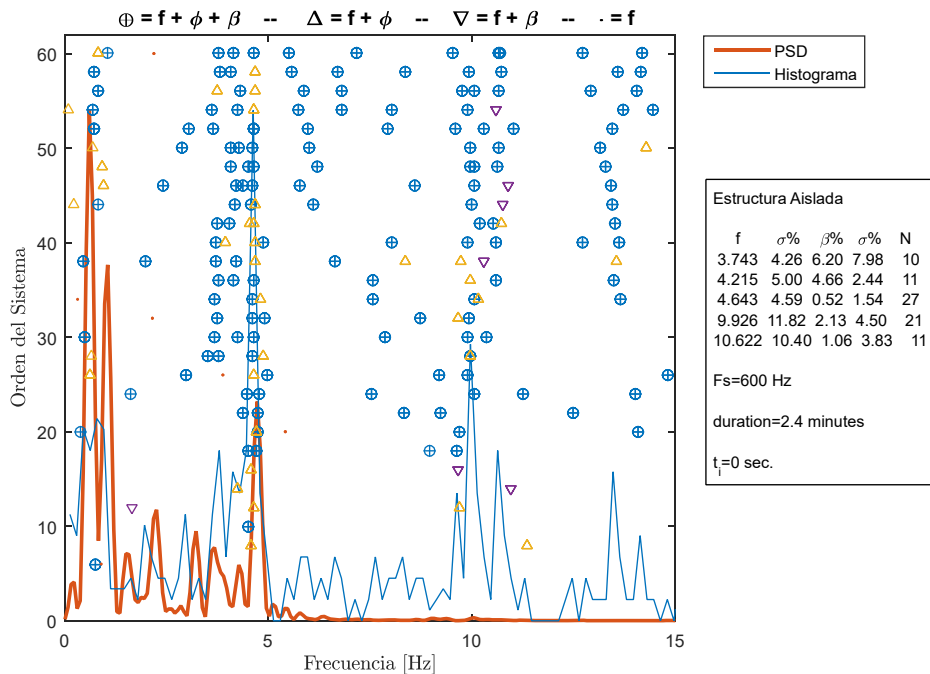
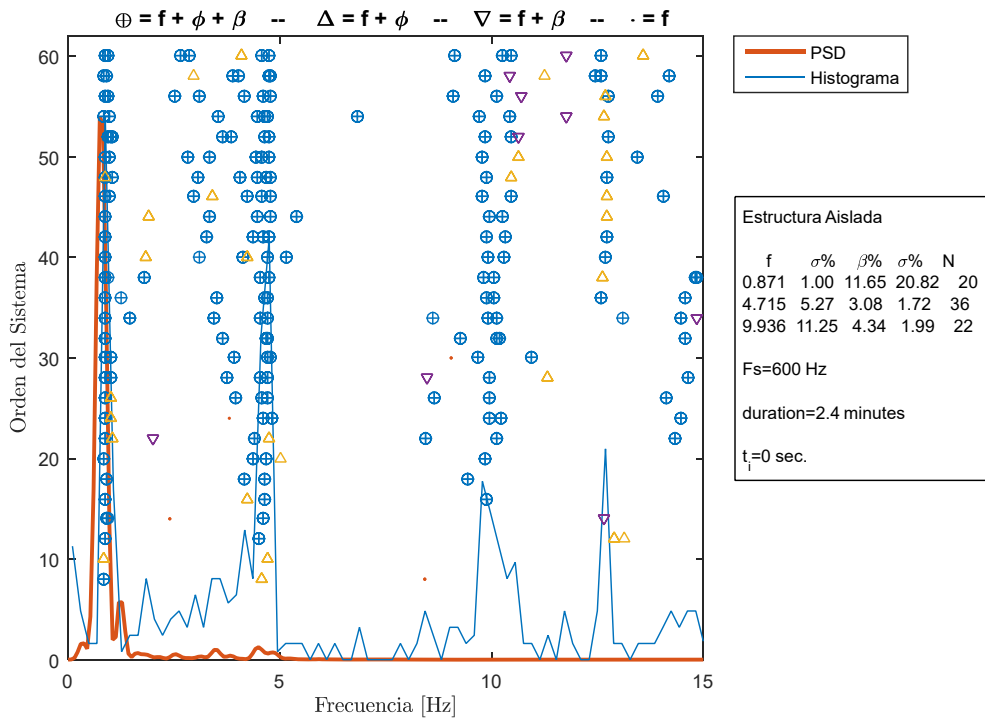


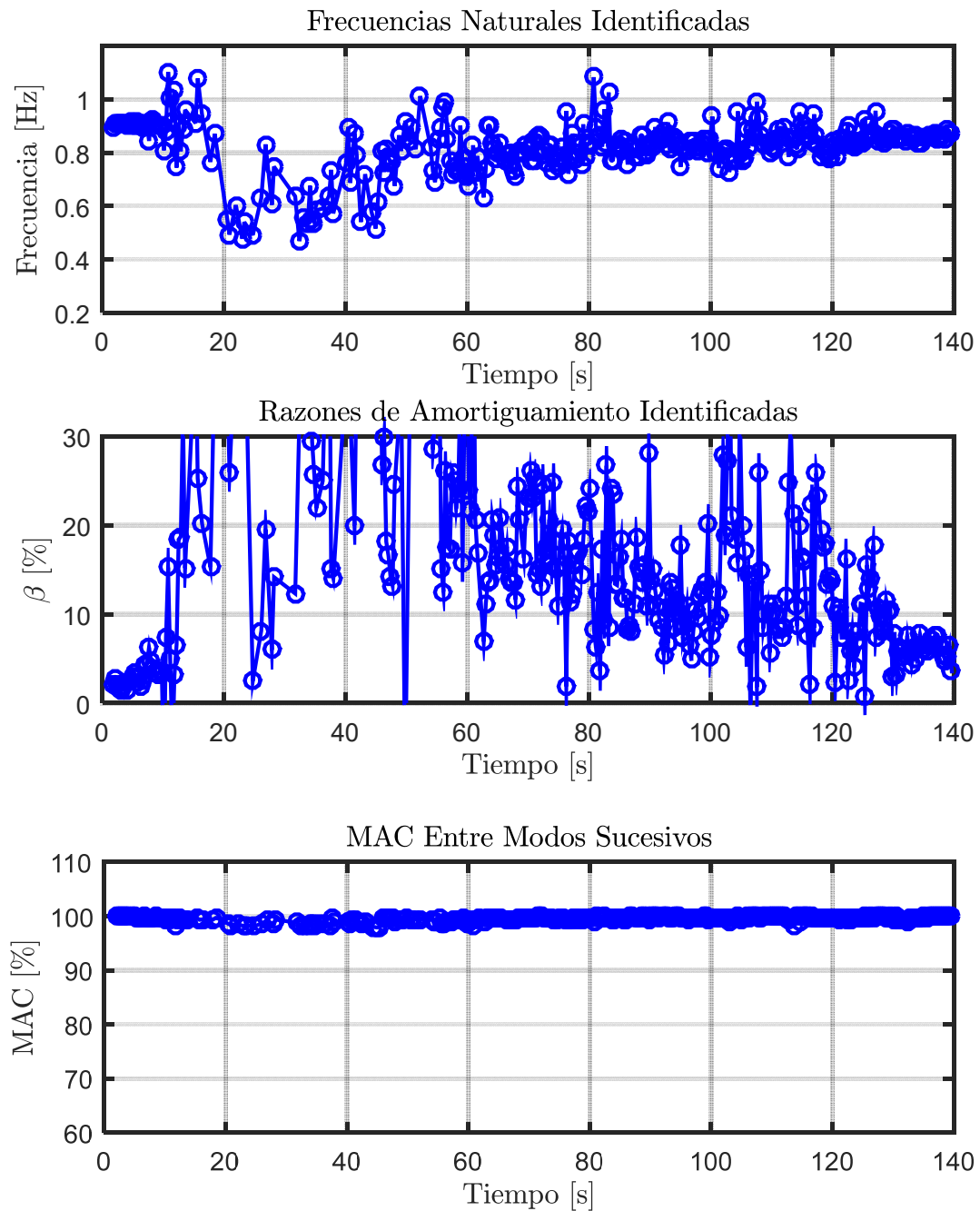
Figura 5.42: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base aislada con outputs e input en la dirección longitudinal.



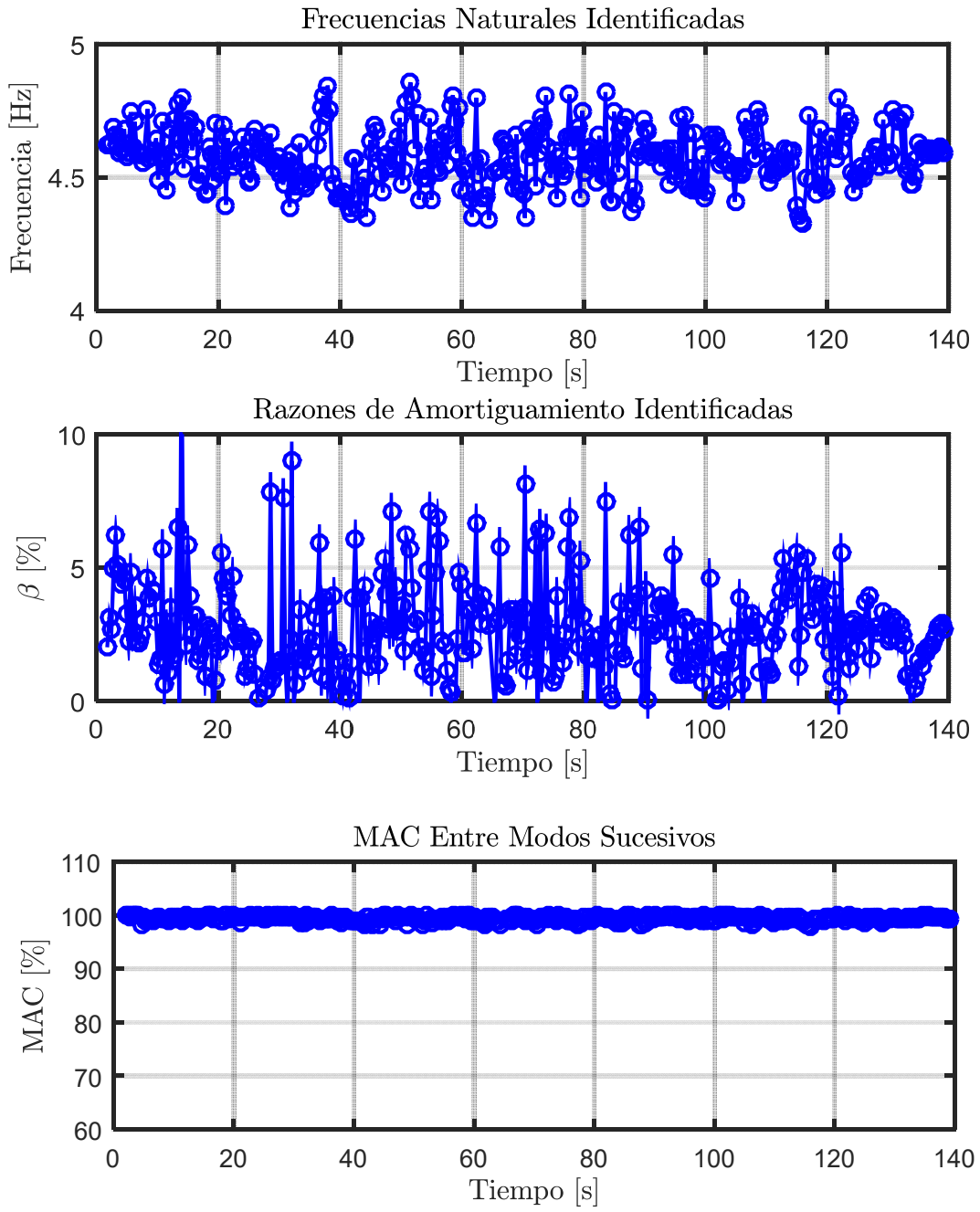


**Figura 5.43: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base aislada con outputs e input en la dirección longitudinal.**

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas considerando input y outputs correspondientes a la dirección Y (longitudinal) se encuentran presentes entre la Figura 5.44 y Figura 5.46.



**Figura 5.44: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección longitudinal.**



**Figura 5.45: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 5, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección longitudinal.**

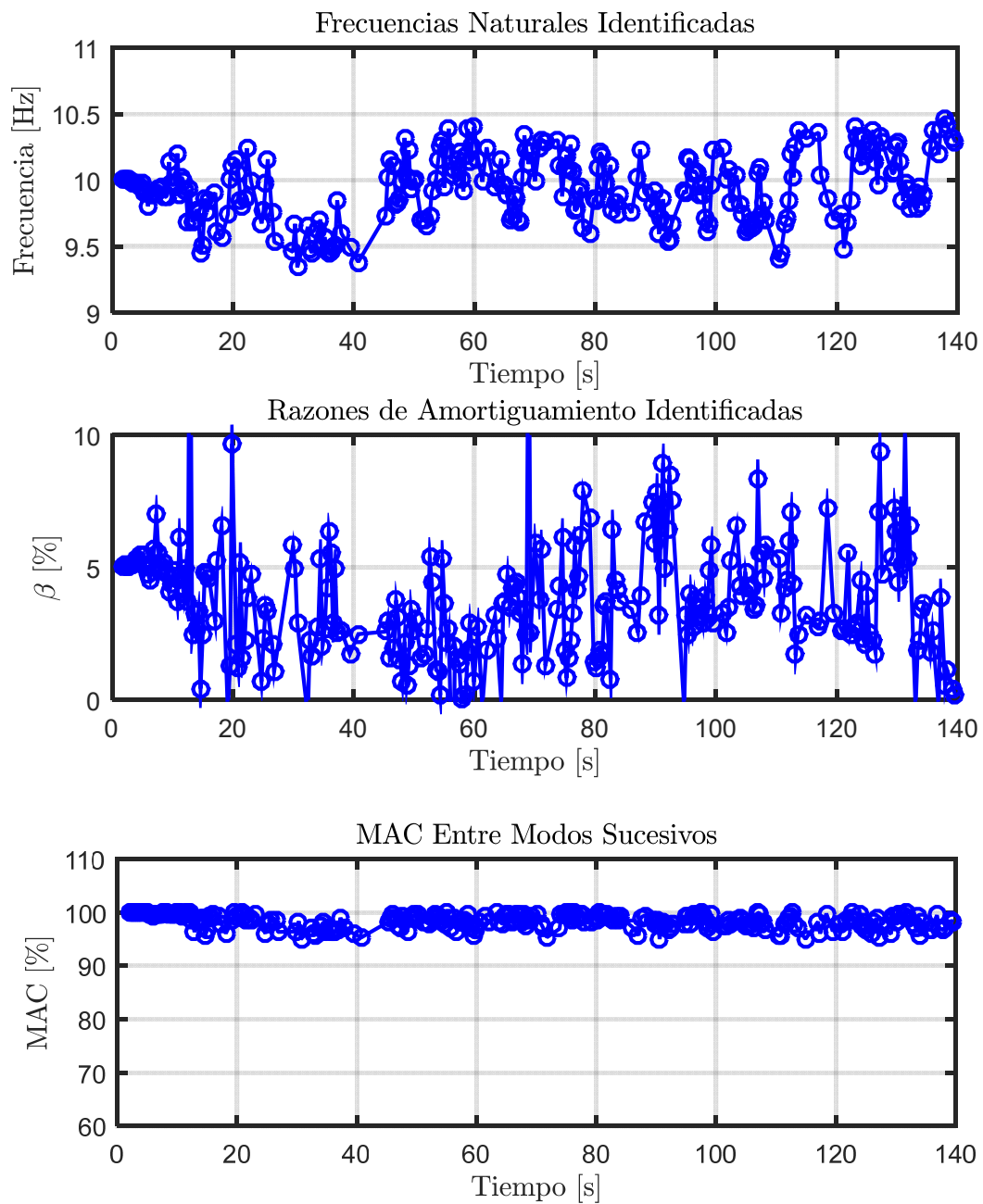


Figura 5.46: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 7, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección longitudinal.

En la Figura 5.47, Figura 5.48 y Figura 5.49 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3 considerando input y outputs correspondientes a la dirección X (transversal).

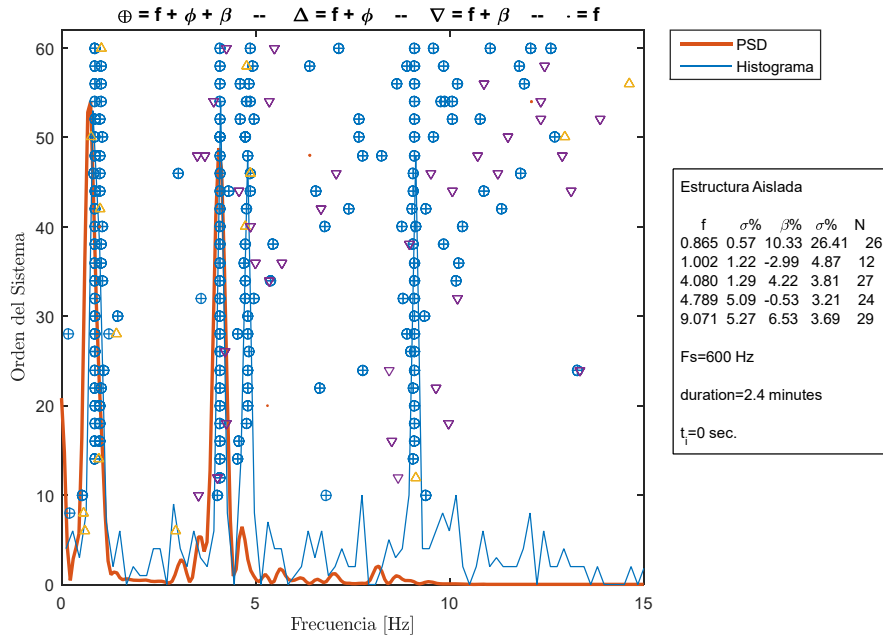


Figura 5.47: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base aislada con outputs e input en la dirección transversal.

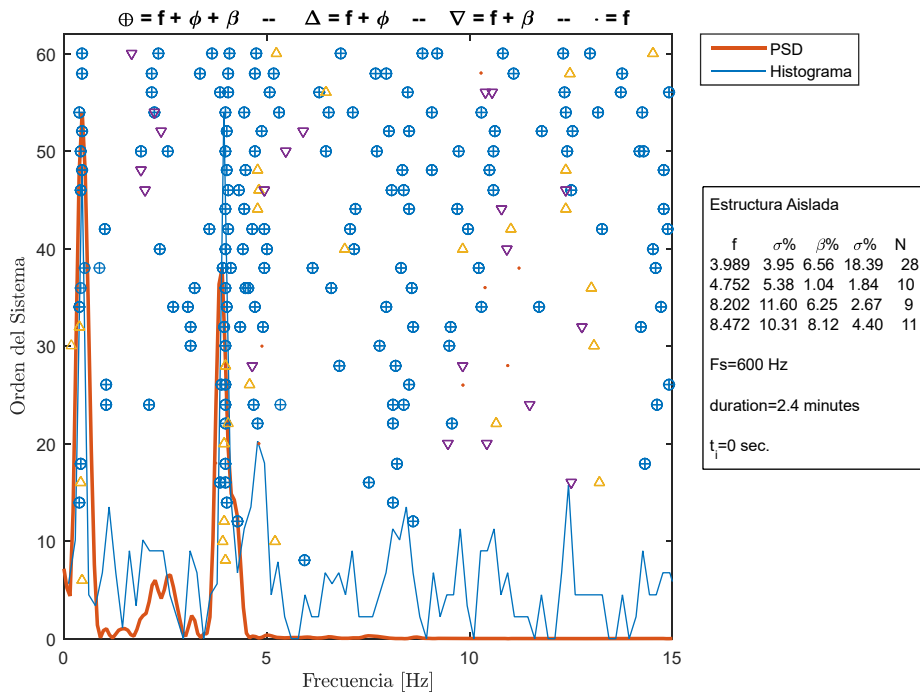


Figura 5.48: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base aislada con outputs e input en la dirección transversal.

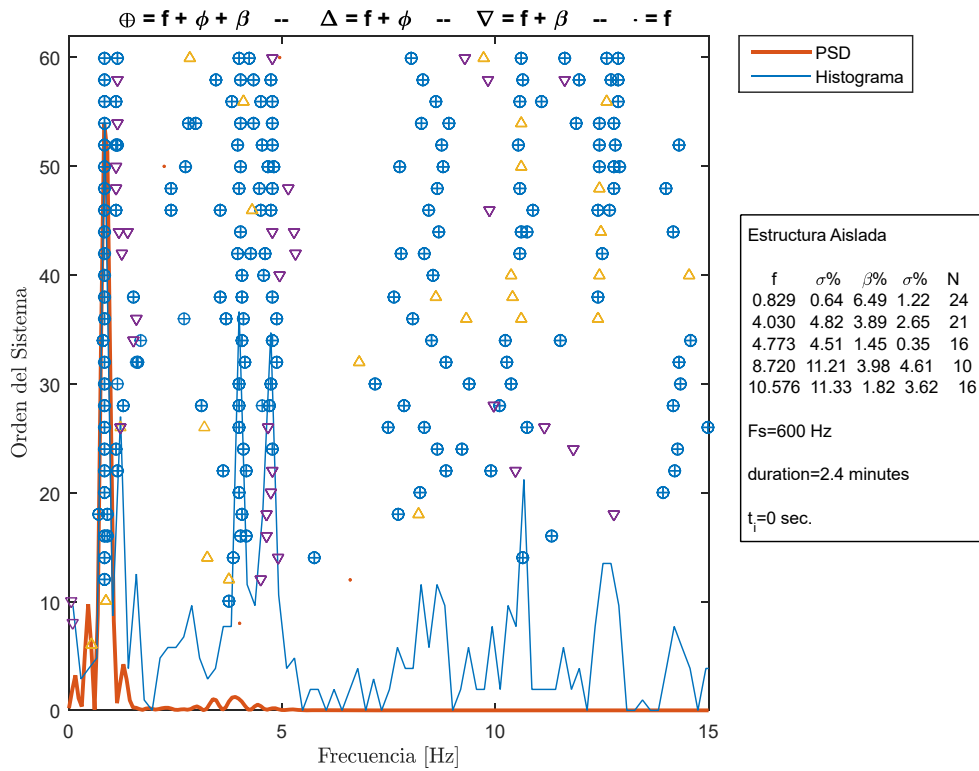
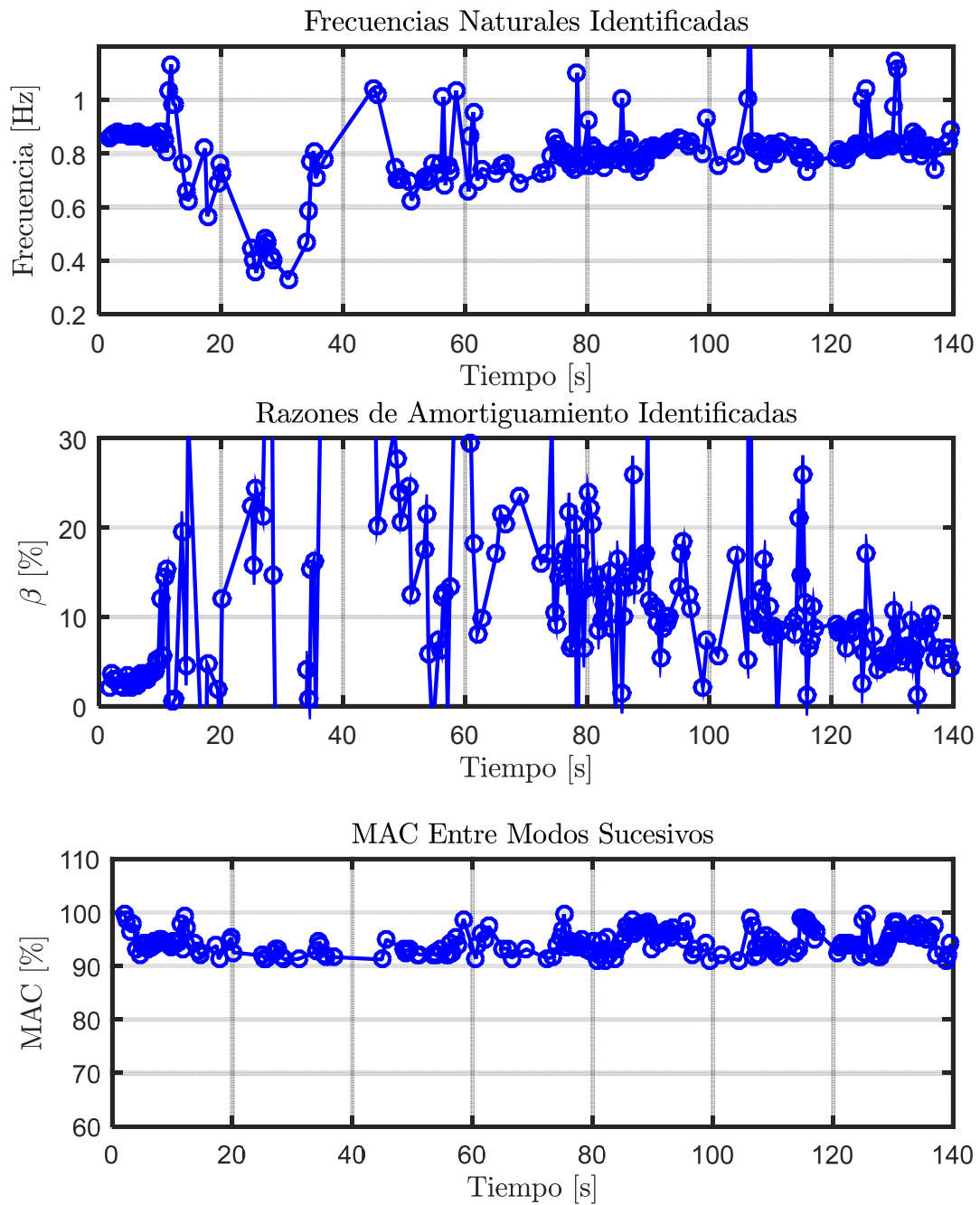
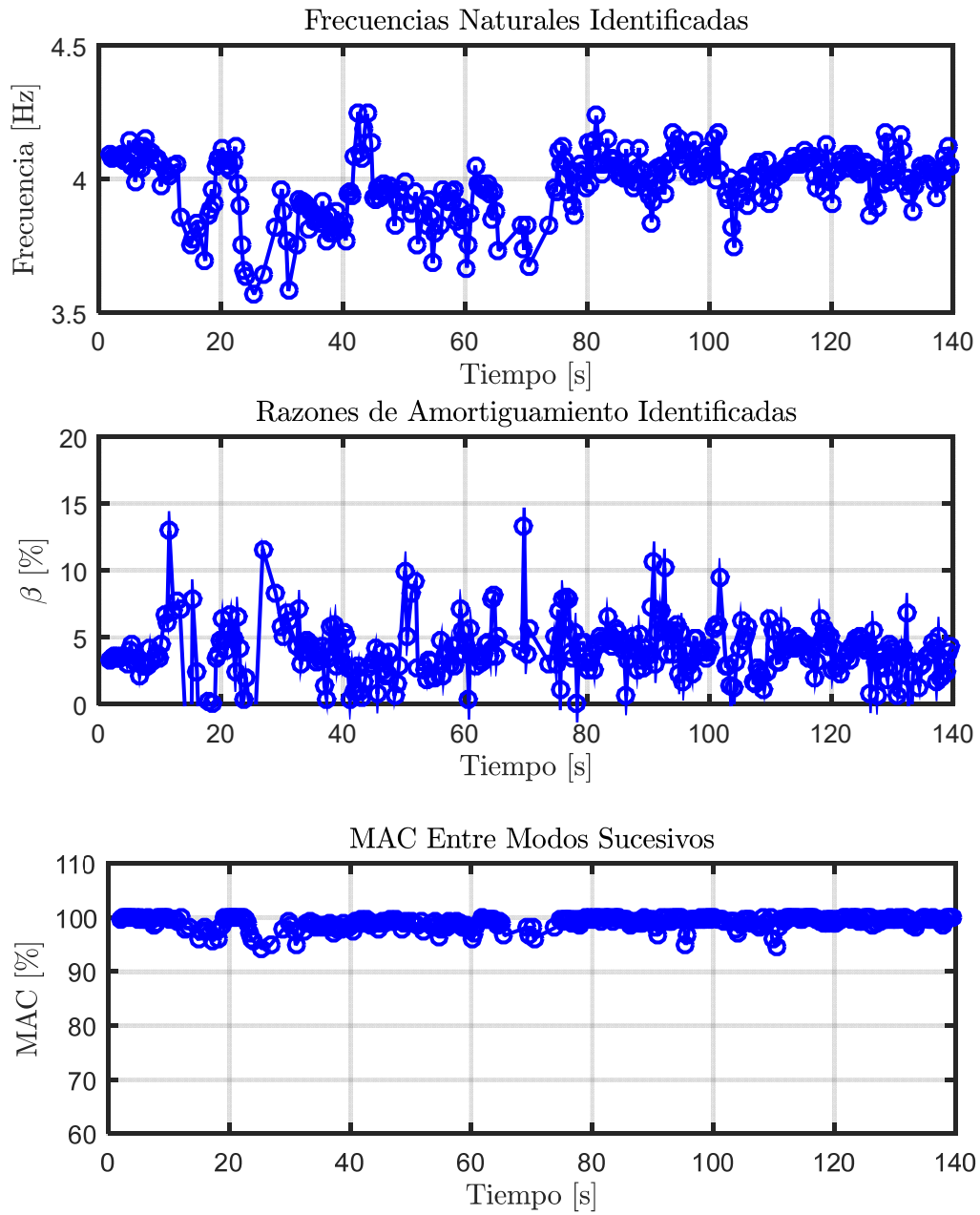


Figura 5.49: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base aislada con outputs e input en la dirección transversal.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas considerando input y outputs correspondientes a la dirección X (transversal) se encuentran presentes entre la Figura 5.50 y Figura 5.52.



**Figura 5.50: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección transversal.**



**Figura 5.51: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección transversal.**



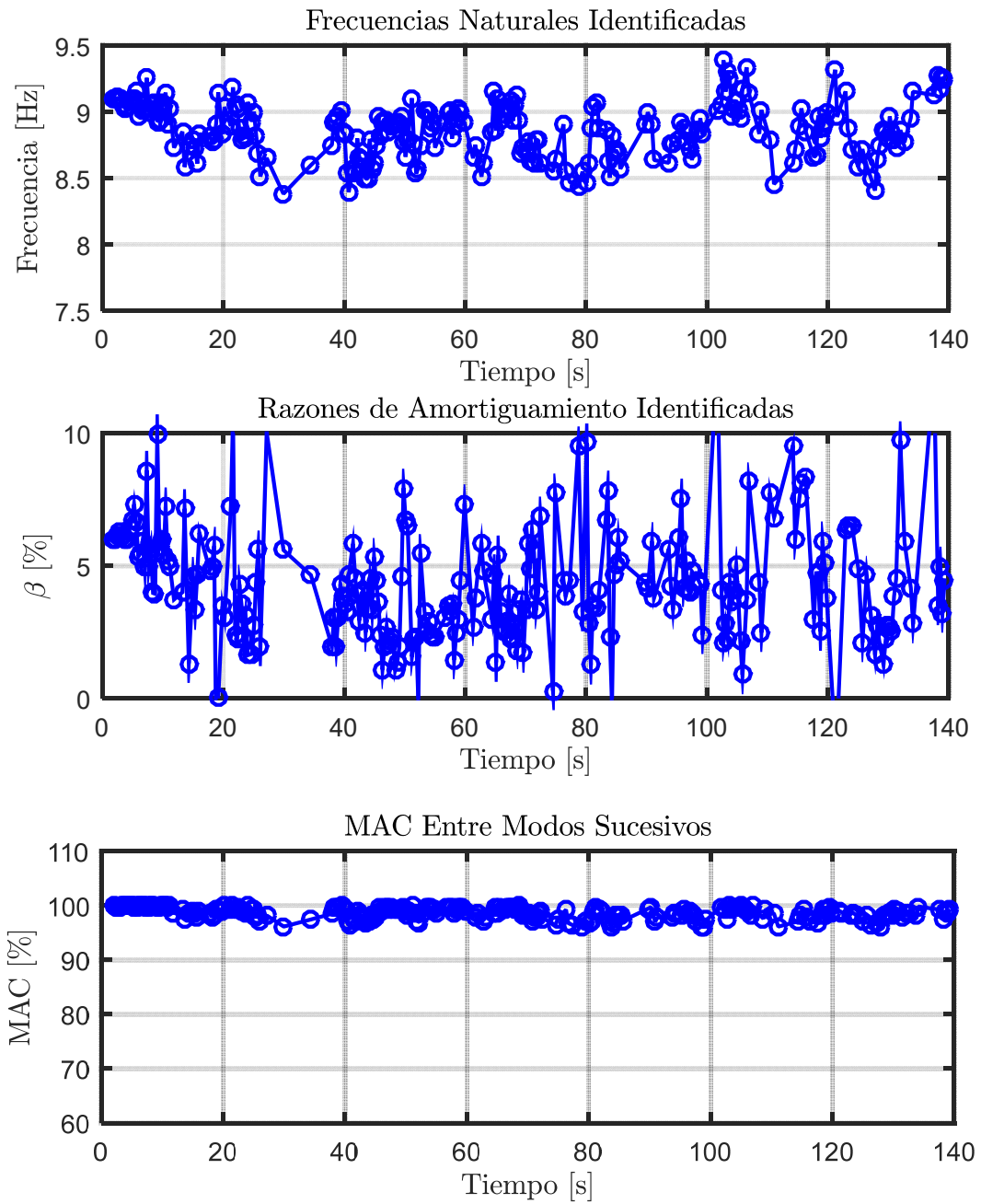


Figura 5.52: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 6, estructura base aislada, considerando outputs e input en dirección transversal.

Las propiedades dinámicas de ambos análisis (para la dirección longitudinal y para la dirección transversal) se encuentran presentes ambas juntas en la Figura 5.53

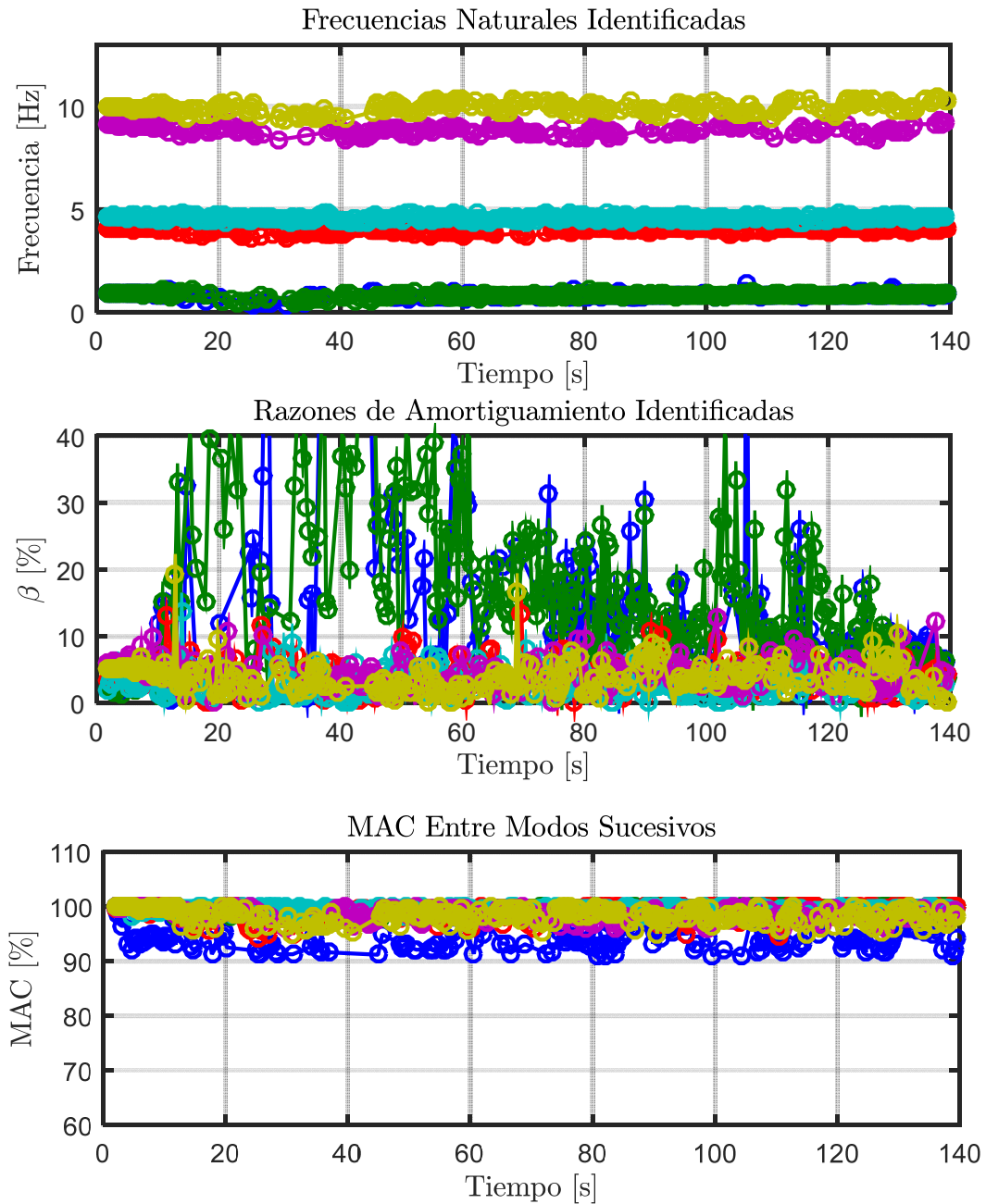


Figura 5.53: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada.

### 5.8.3 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de la estructura sin aislación, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

Además, sobre la Función de Transferencia para cada dirección de análisis (longitudinal y transversal) se grafican las frecuencias modales identificadas por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo asociadas a su dirección de análisis respectiva.

Para este análisis y para el de los otros casos se consideran ventanas de 10 [s] con un traslapo cada 1 [s]. Donde los datos de entrada y salida corresponden a aceleraciones totales. Esto último con la finalidad de poder observar de mejor forma los modos superiores.

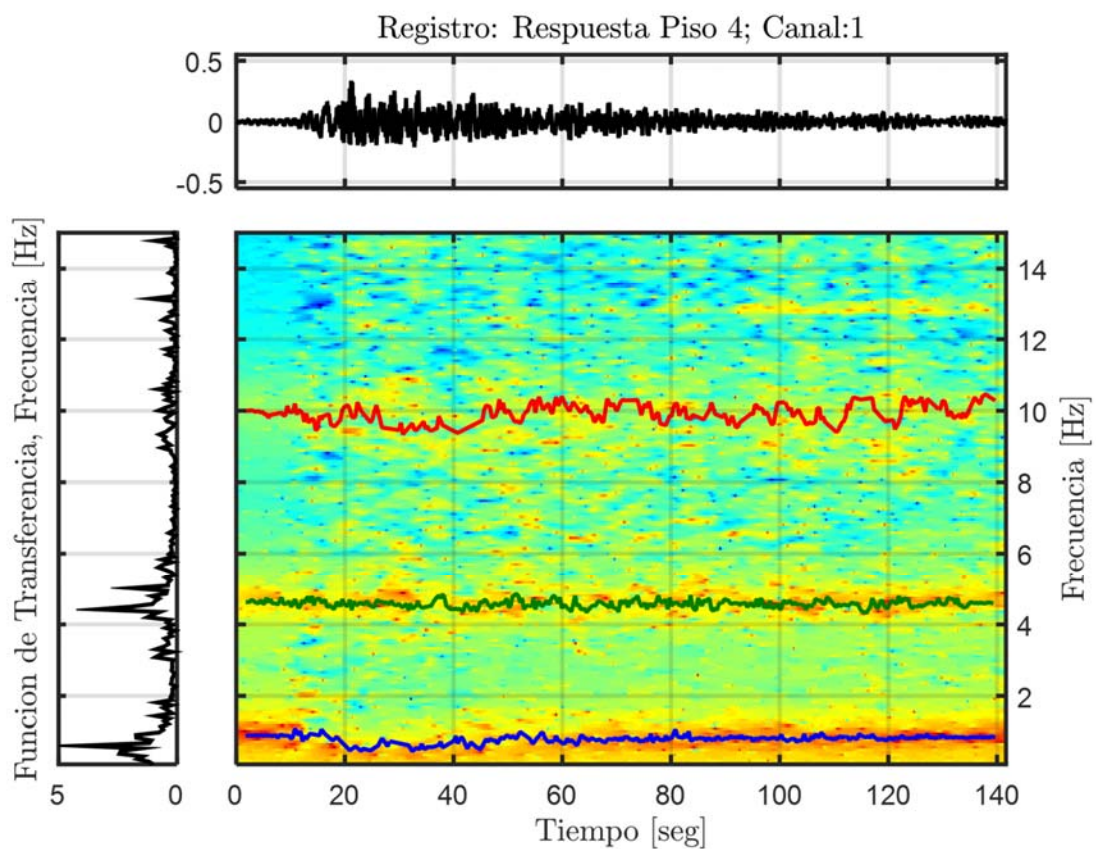


Figura 5.54: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada (dirección longitudinal).

Se utilizarán filtros digitales del tipo Butterworth para aislar las diferentes componentes, de esta forma, poder utilizar ventanas de menor tamaño y con menor interferencia, posibilitando una estimación más local de la frecuencia instantánea (promedio ponderado en frecuencia para cada instante).

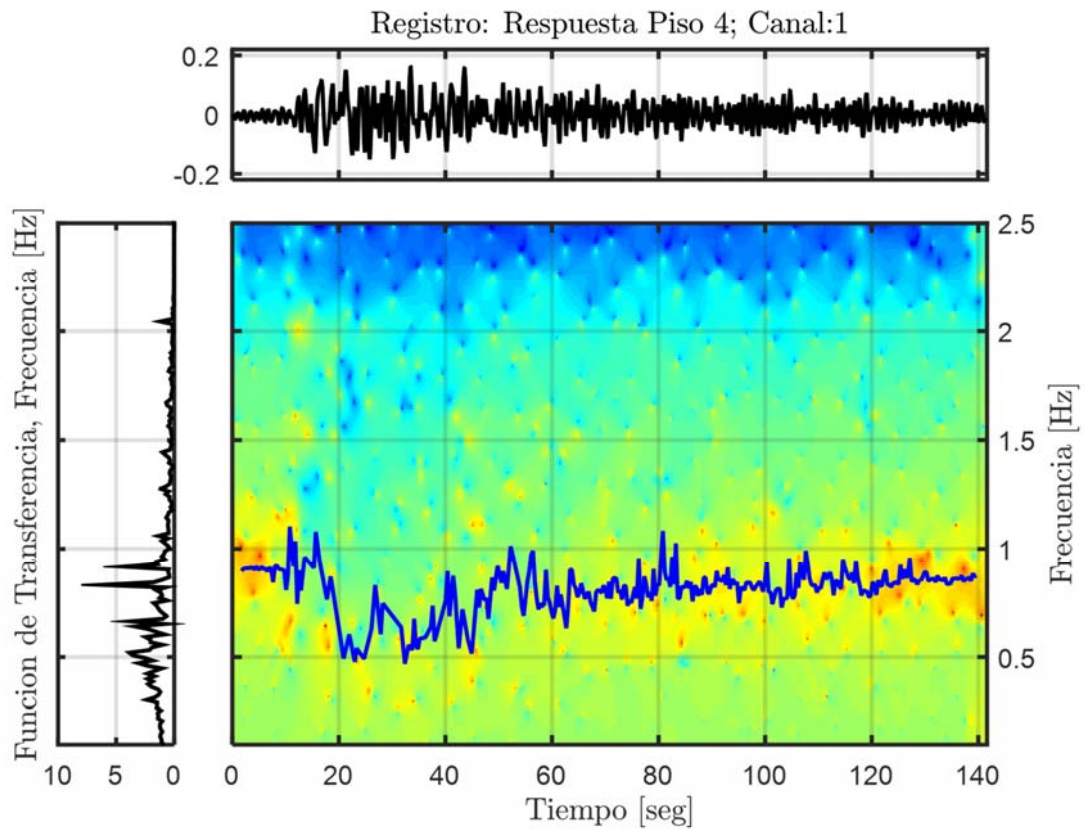


Figura 5.55: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada (dirección longitudinal).

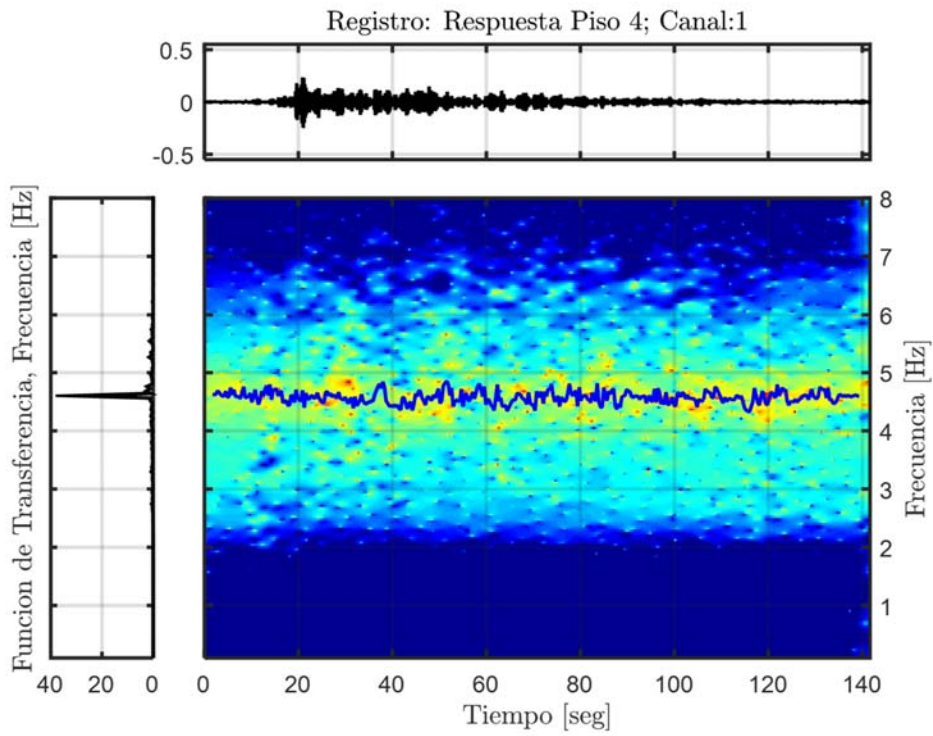


Figura 5.56: Función de transferencia filtrada para el modo 5, Estructura aislada (dirección longitudinal).

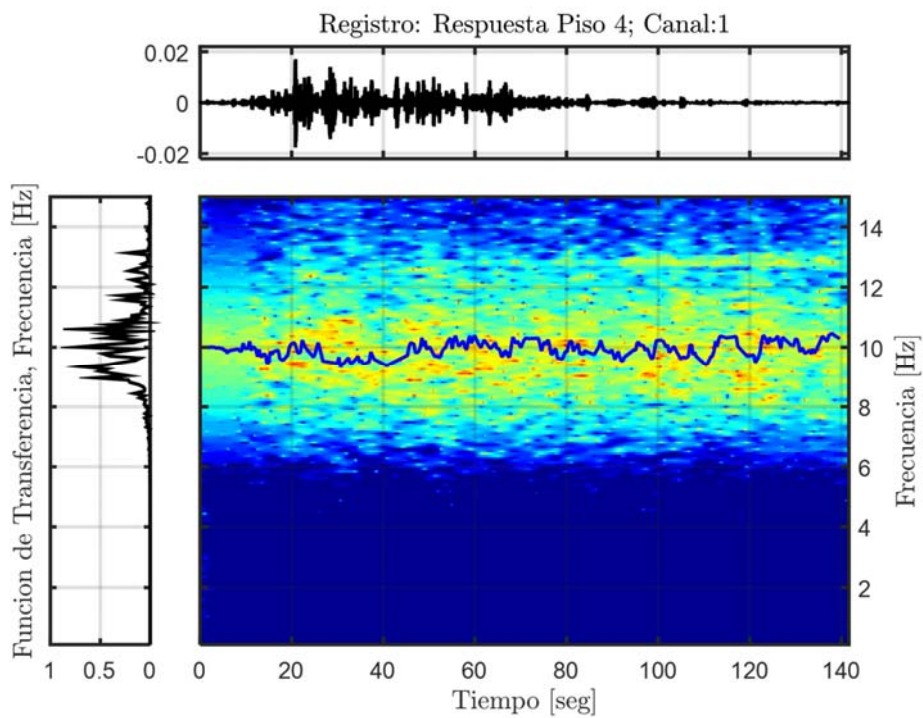
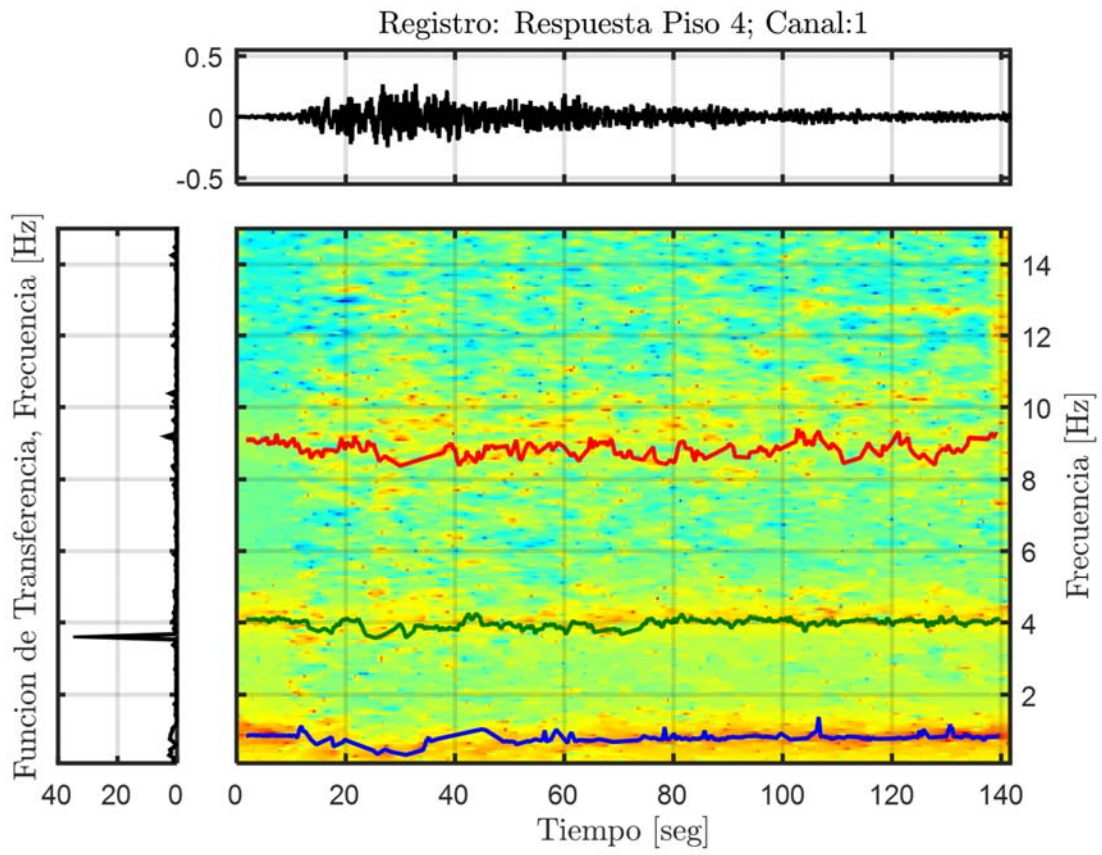


Figura 5.57: Función de transferencia filtrada para el modo 7, Estructura aislada (dirección longitudinal).



**Figura 5.58: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada (dirección transversal).**

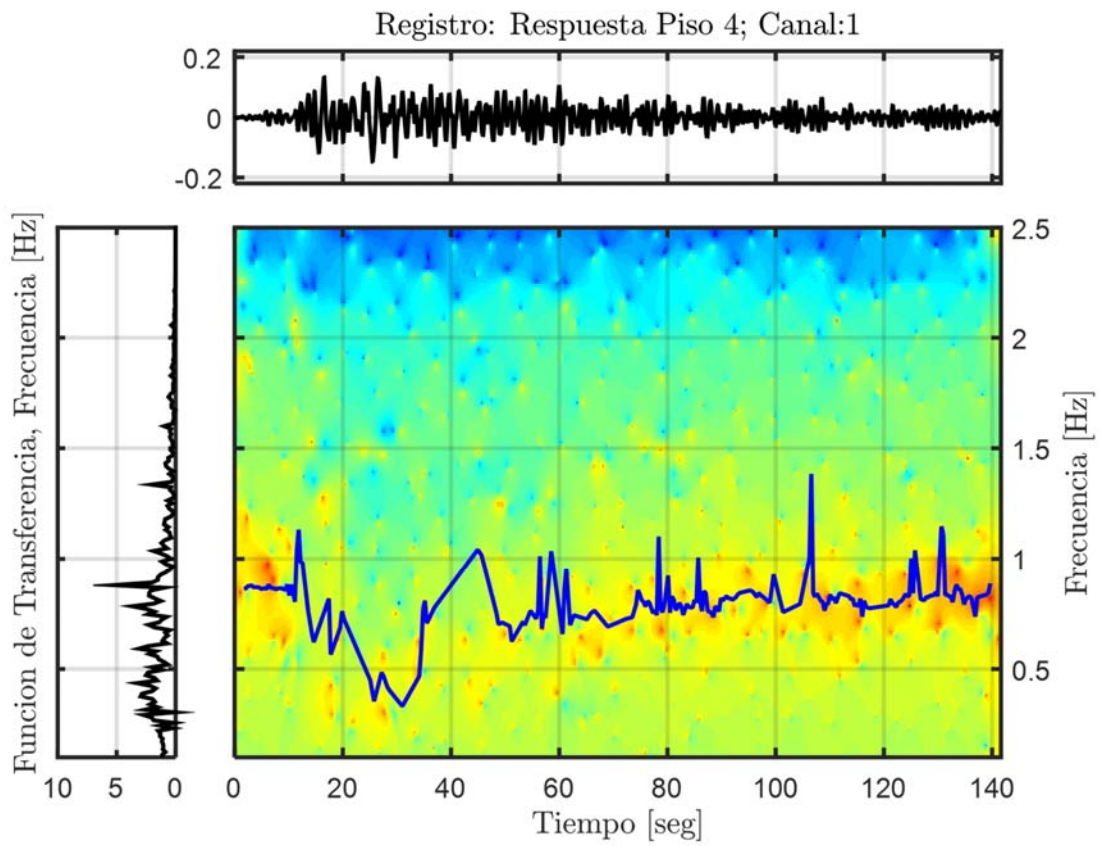


Figura 5.59: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada (dirección transversal).

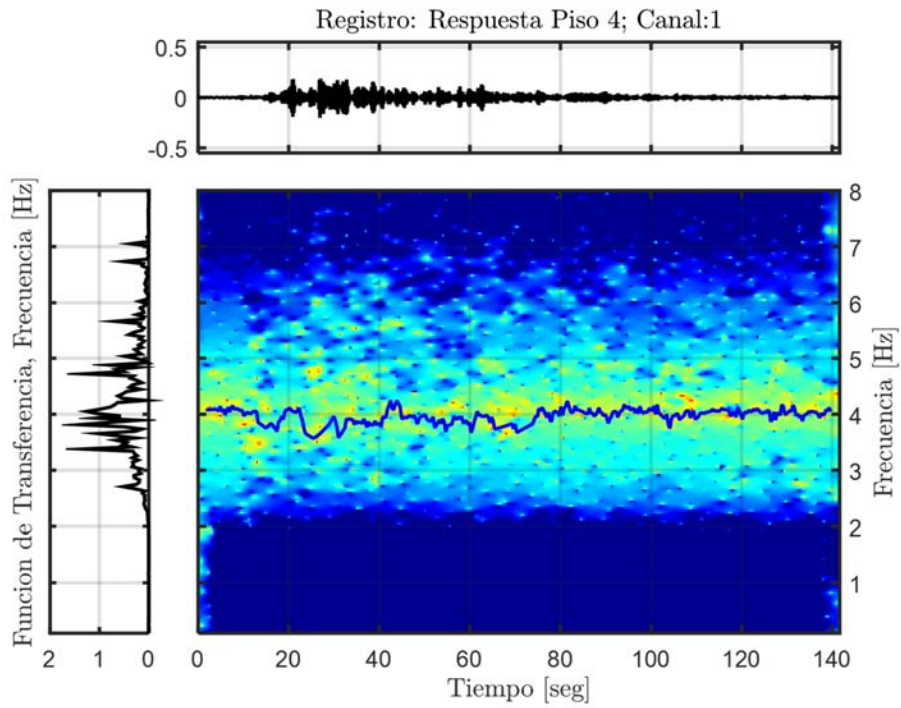


Figura 5.60: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada (dirección transversal).

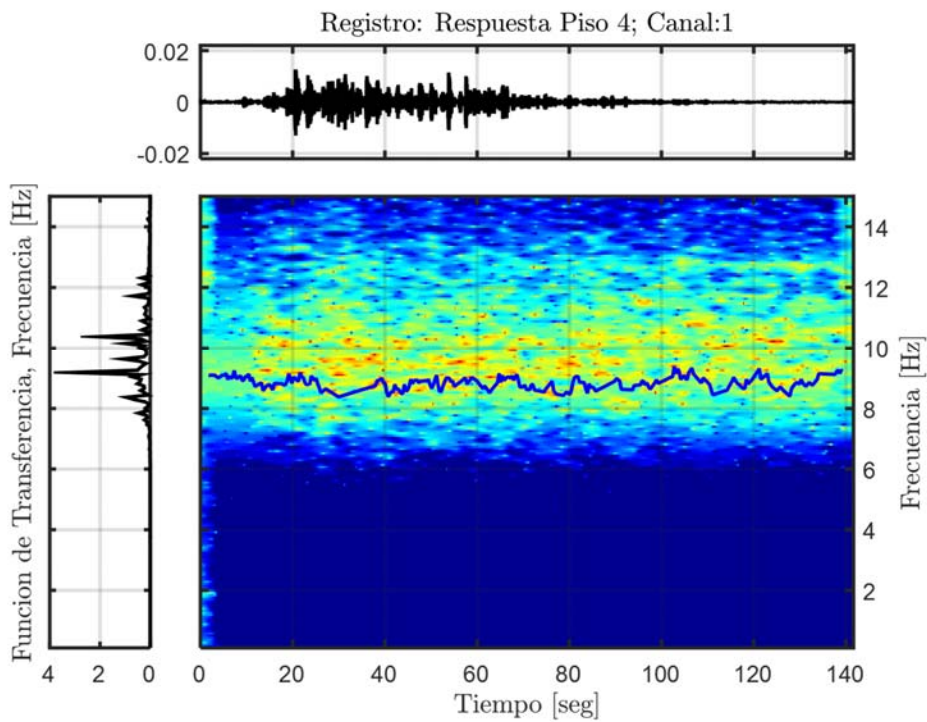


Figura 5.61: Función de transferencia filtrada para el modo 6, Estructura aislada (dirección transversal).



#### 5.8.4 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas

**Tabla 5.18: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada.**

Modos	$f_{\text{Modelo SAP2000}}$ [Hz]	$f_{\text{AI}}$ [Hz]	$f_{\text{AV (inicial)}}$ [Hz]	$f_{\text{AV (mínima)}}$ [Hz]	$f_{\text{AV (final)}}$ [Hz]
1	0,39	0,719	0,862	0,354	0,846
2	0,4	0,868	0,907	0,477	0,885
3	0,46	-	-	-	-
4	3,77	3,969	4,080	3,638	4,081
5	4,34	-	-	-	-
6	4,39	4,518	4,625	4,397	4,615
7	8,74	-	-	-	-
8	9,14	8,974	9,090	8,380	9,125
9	9,43	-	-	-	-
10	9,6	-	-	-	-
11	9,75	9,994	10,010	9,480	9,885
12	9,91	-	-	-	-

Los valores presentes en la Tabla 5.18 corresponden a las frecuencias determinadas por diferentes análisis realizados a la estructura aislada. Donde  $f_{\text{Modelo SAP2000}}$  corresponde a las frecuencias modales determinadas mediante el software SAP2000 (considerando la rigidez secante de los aisladores a un 12% de deformación),  $f_{\text{AI}}$  corresponde a las frecuencias modales determinadas por el método DSI realizando un análisis invariante en el tiempo para el registro completo,  $f_{\text{AV}}$  corresponde a las frecuencias modales determinadas por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo, donde el subíndice (inicial) alude al hecho que se determinó para la primera ventana de tiempo o ventana 1, el subíndice (mínima) hace referencia a que se determinó para la ventana asociada al movimiento fuerte del registro solicitante o ventana 2 y el subíndice (final) asociado a la ventana 3 o ventana asociada al movimiento débil final del registro.

De la Tabla 5.18 se puede apreciar que para los tres primeros modos (modos asociados al sistema de aislación), los valores obtenidos mediante la identificación variante en el tiempo para la primera ventana  $f_{\text{AV (inicial)}}$ , comparadas a los del modelo en SAP2000 ( $f_{\text{Modelo SAP2000}}$ ) difieren en gran forma. Esto se debe a que los modos asociados al sistema de aislación determinados por SAP2000 se obtienen considerando la rigidez secante de los modelos de los aisladores tipo link considerados, es por esto que los valores difieren para estos modos y no son comparables. Por otra parte, para los modos superiores se puede apreciar que los valores asociados a las frecuencias identificadas para la primera ventana son similares a los obtenidos por el modelo SAP2000, pero estos representan un valor promedio, ya que para este caso el método DSI por pequeñas ventanas no es capaz de identificar de forma correcta entre los modos traslacionales y torsionales debido a los similares que son en términos de frecuencia y al hecho de considerar tres tipos de aisladores con curvas de histéresis diferentes generando que muchos de los aisladores no alcancen a desarrollar su histéresis completa durante la sollicitación, obteniéndose un comportamiento muy no lineal de la estructura aislada. Por otra parte las mínimas frecuencias identificadas son muy cercanas a las obtenidas

en Sap2000 mostrando que la estructura aislada responde con una rigidez secante asociada a un 12% de deformación durante el movimiento fuerte del sismo en estudio.

De igual forma que para el caso de la estructura sin aislación, el método Función de Transferencia entrega frecuencias modales identificadas por pequeñas ventanas coincidentes con las obtenidas por el método DSI por pequeñas ventanas.

Como se consideran muchos outputs para este análisis, el largo mínimo de ventana no es lo suficientemente pequeño, por lo cual es necesario resamplear los datos de entradas y salida, de esta forma considerar ventanas de largo entre 2 y 4 [s].

Se puede apreciar como las propiedades dinámicas obtenidas por el análisis invariante en el tiempo considerando el registro completo no es representativo para la estructura aislada ya que al ser una estructura no-lineal se observan variaciones de sus propiedades dinámicas a lo largo del registro. Sin embargo representan a nivel global el comportamiento promedio de los modos.

De los gráficos asociados a la variación de las propiedades dinámicas para cada modo se puede apreciar como el amortiguamiento asociado al primer modo es del orden de un 15 %. Razonable para una estructura aislada y similar al amortiguamiento establecido para el sistema de aislación (12 %). Por otra parte, el amortiguamiento asociado a los modos superiores es del orden del 5 %, lo cual es un valor razonable para la superestructura en tanto es influenciada por el sistema de aislación.

**Tabla 5.19: Variación de frecuencias para análisis de propiedades variantes, estructura aislada, Modelo SAP2000.**

Modos	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	Variación [%]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	Variación [%]
1	0,862	0,354	58,9	0,862	0,846	1,9
2	0,907	0,477	47,4	0,907	0,885	2,4
3	-	-	-	-	-	-
4	4,080	3,638	10,8	4,080	4,081	0,0
5	-	-	-	-	-	-
6	4,625	4,397	-	4,625	4,615	0,2
7	-	-	-	-	-	-
8	9,090	8,380	7,8	9,090	9,125	0,4
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
11	10,010	9,480	5,3	10,010	9,885	1,2
12	-	-	-	-	-	-

De los valores presentes en la Tabla 5.19, se puede apreciar como las frecuencias identificadas varían a lo largo del registro, implicando que existe una pérdida de rigidez durante la sollicitación sísmica, la cual se recupera al final de la sollicitación sísmica.

## 5.9 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada Aplicando el Método de Múltiples Sub-Estructuras

### 5.9.1 Respuesta y Solicitación de la Estructura Aislada Considerando el Método de Múltiples Sub-Estructuras

Al aplicar el método de múltiples sub-estructuras los outputs del nivel de aislación de la estructura aislada considerando enfoque tradicional pasan a ser los inputs. Por otra parte, los outputs de la estructura aislada corresponden a las aceleraciones medidas desde el piso 1 hasta el piso 4 de la estructura aislada considerando enfoque tradicional.

Los inputs utilizados para este análisis se encuentran presentes en la Figura 5.62 y en la Figura 10.9 del Anexo B.

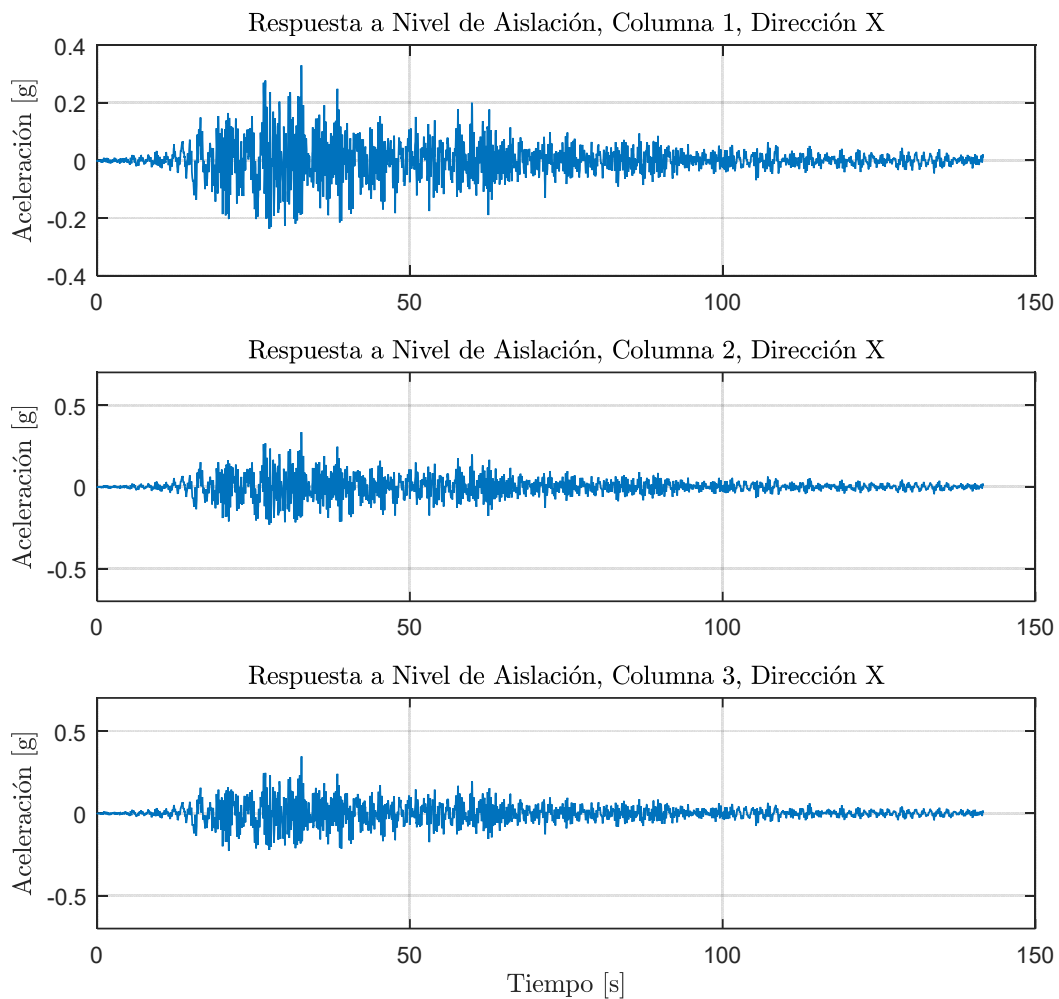
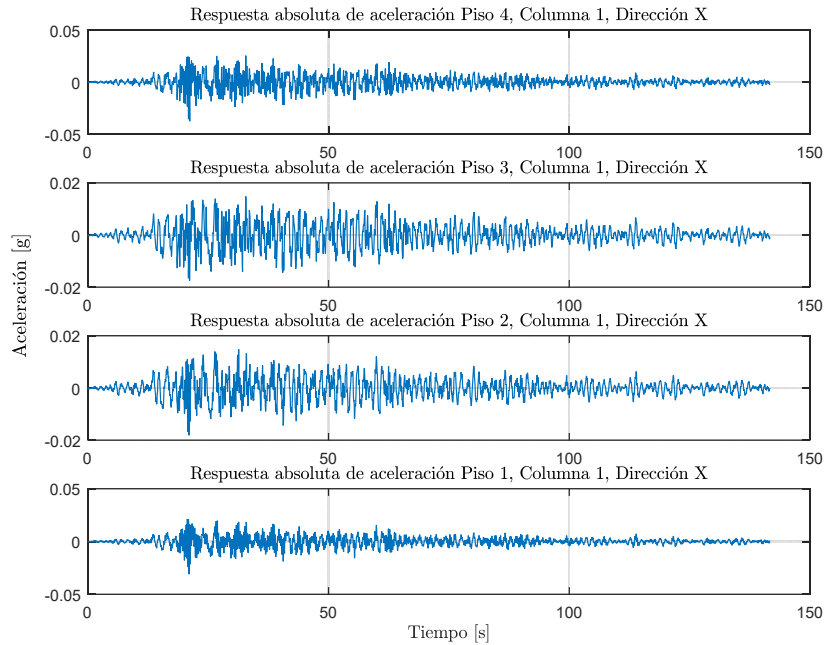
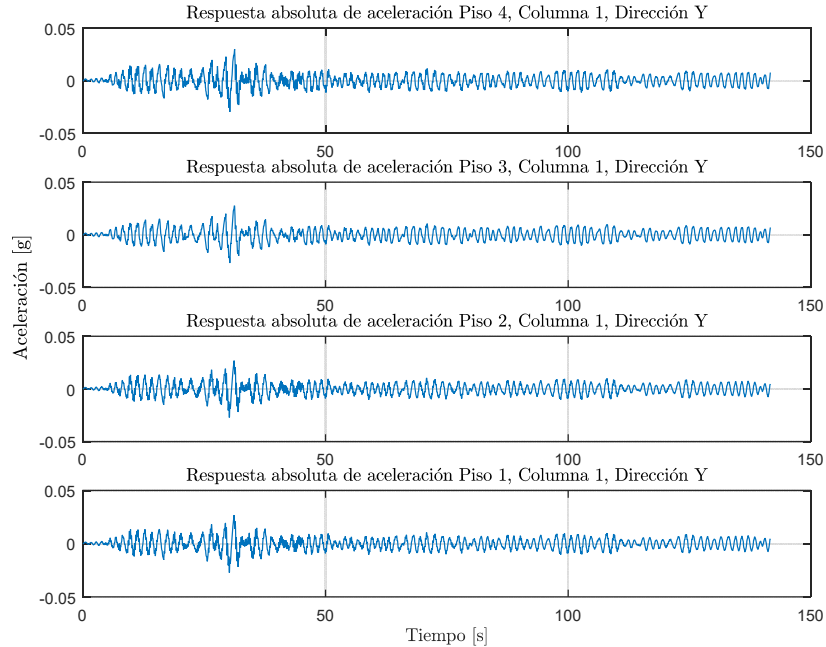


Figura 5.62: Input modelo base aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Dirección X.

Los outputs utilizados para este análisis se encuentran presentes en la Figura 5.63 y en la Figura 5.64, además desde la Figura 10.10 hasta la .Figura 10.13 del Anexo B.



**Figura 5.63: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.**



**Figura 5.64: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.**

### 5.9.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, pero esta vez se aplica el método de múltiples sub-estructuras sobre la estructura aislada.

Se debe tener en cuenta que, al ser un modelo analítico, las respuestas utilizadas no poseen ningún tipo de ruido, por lo cual no son filtradas.

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs, mencionados anteriormente y los outputs correspondientes a las aceleraciones medidas desde el piso 1 hasta el piso 4, asociadas a los outputs obtenidos de SAP200 con la estructura aislada (y su comportamiento no-lineal). Además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20: Parámetros para la identificación de propiedades invariantes, estructura aislada.

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	30

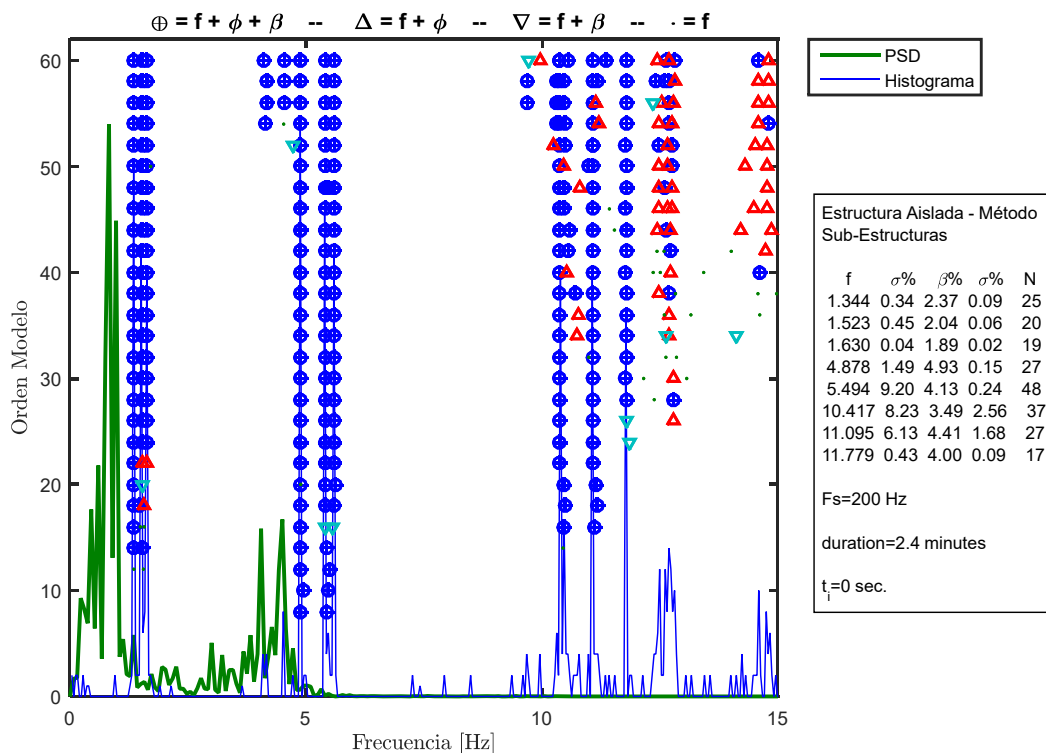


Figura 5.65: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras.

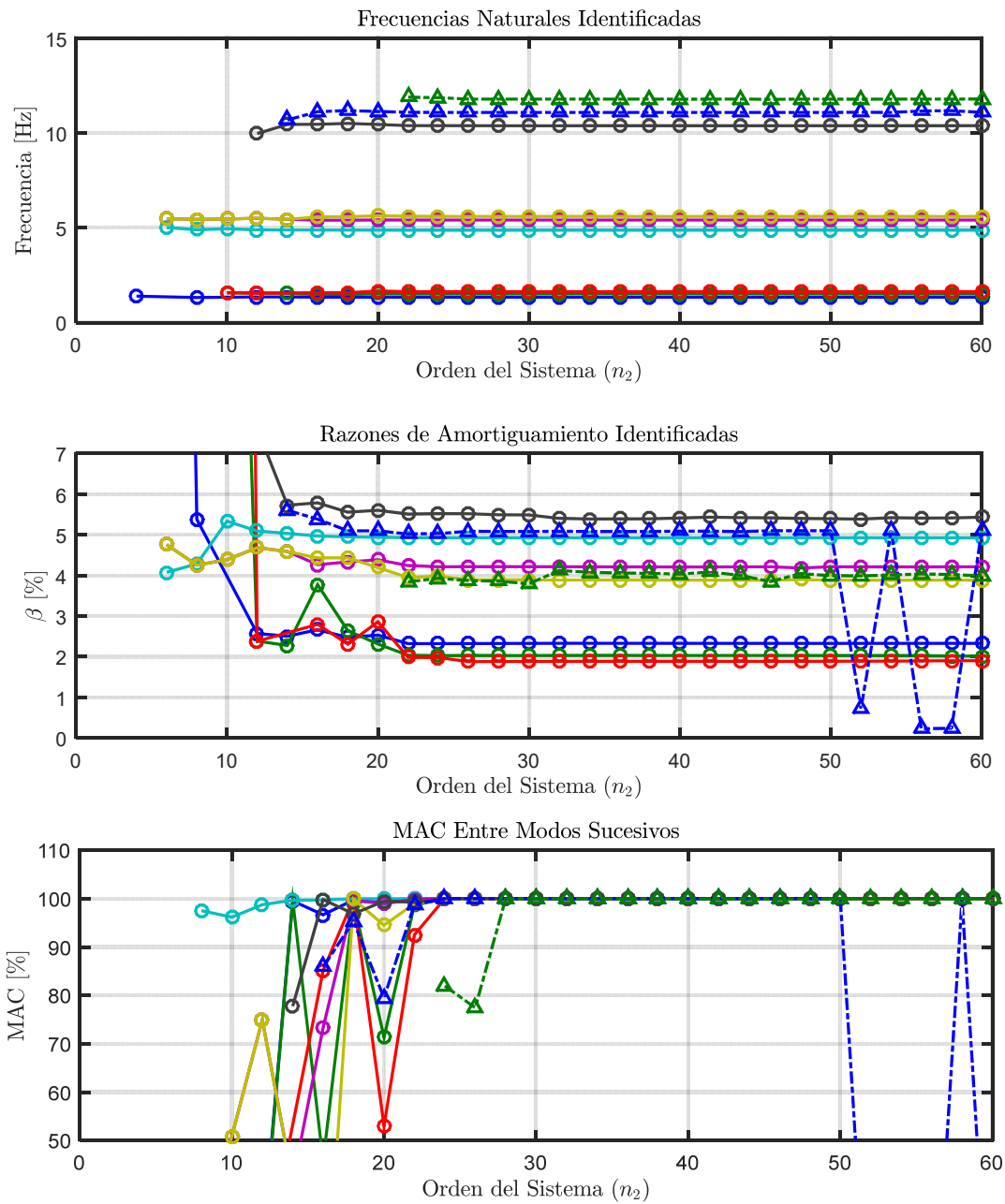


Figura 5.66: Variación de propiedades dinámicas, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras.

### 5.9.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comportara lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 5.21.

**Tabla 5.21: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	30
Smin	3791
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	18,96
Cantidad de ventanas	65
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	4
Ventana 2	9
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	18
Ventana 3	55
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	120
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	5
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90

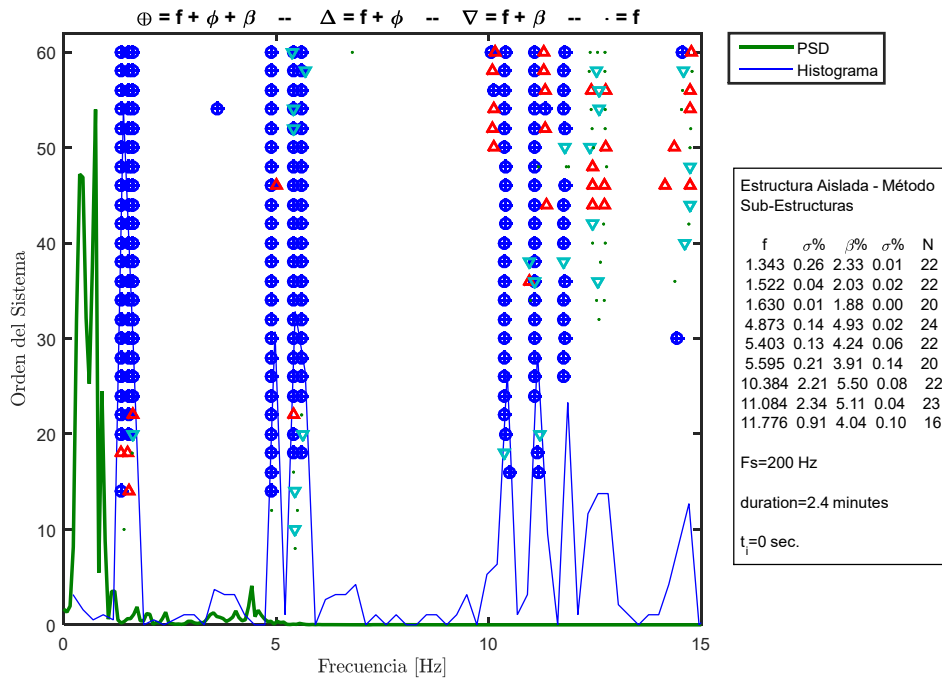


Figura 5.67: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura base aislada, método de múltiples sub-estructuras.

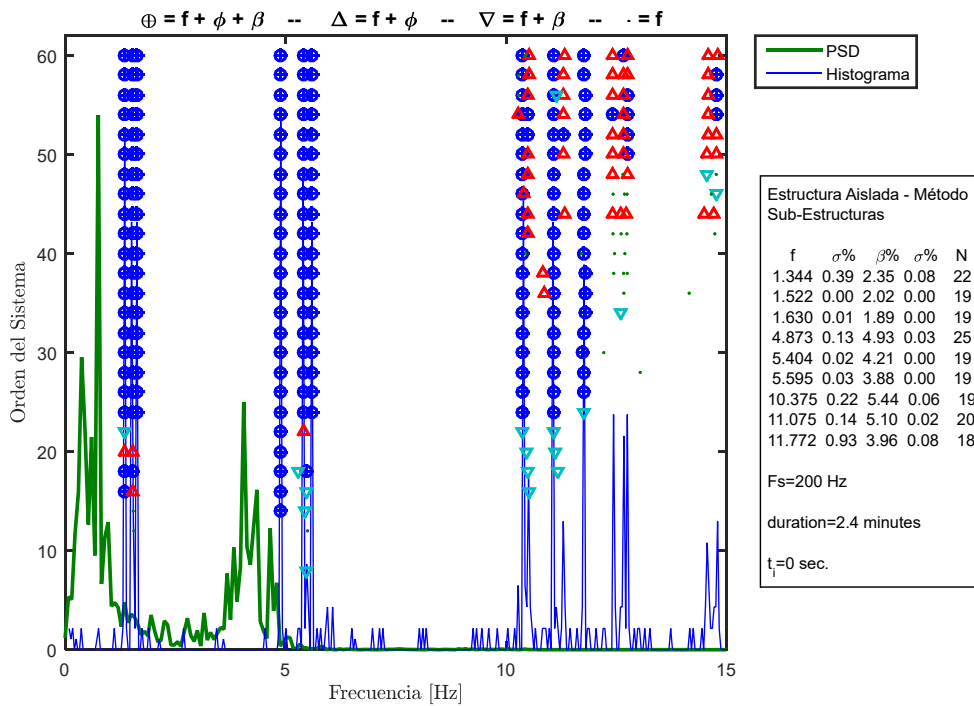
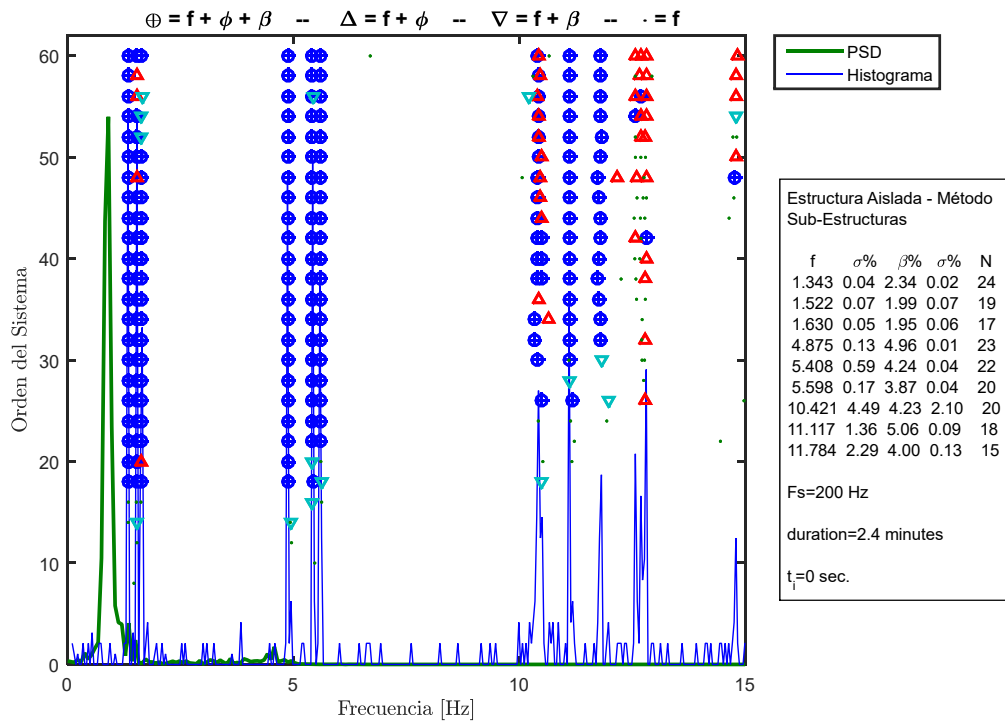


Figura 5.68: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura base aislada, método de múltiples sub-estructuras.





**Figura 5.69: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura base aislada, método de múltiples sub-estructuras.**

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes en la Figura 5.70.

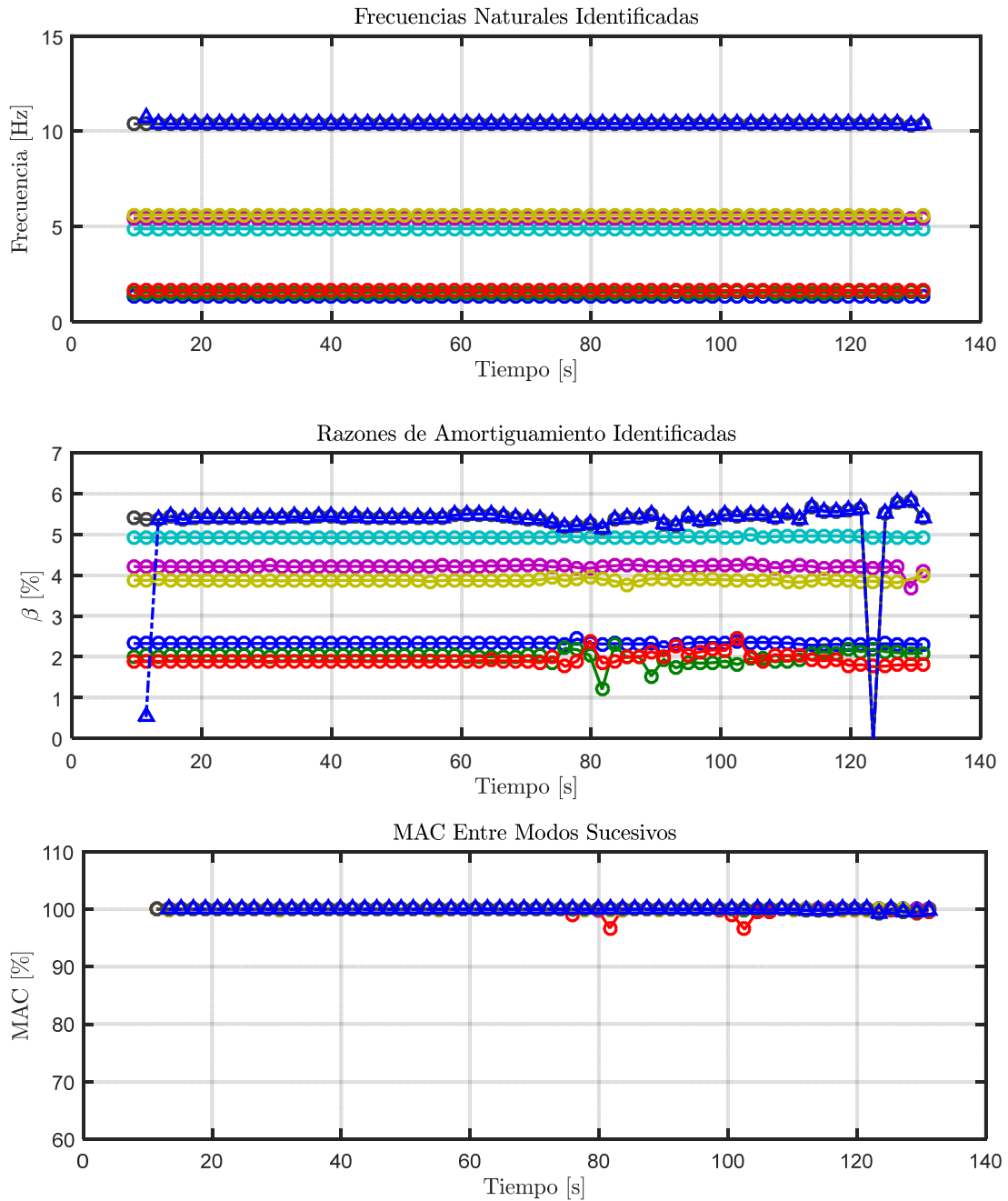


Figura 5.70: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras.

#### 5.9.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de las estructuras anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo.

Además, sobre la Función de Transferencia se grafican las frecuencias modales identificadas por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo.

Para este análisis y para el de los otros casos se consideran ventanas de 10 [s] con un traslapo cada 1 [s]. Donde los datos de entrada y salida corresponden a aceleraciones totales. Esto último con la finalidad de poder observar de mejor forma los modos superiores.

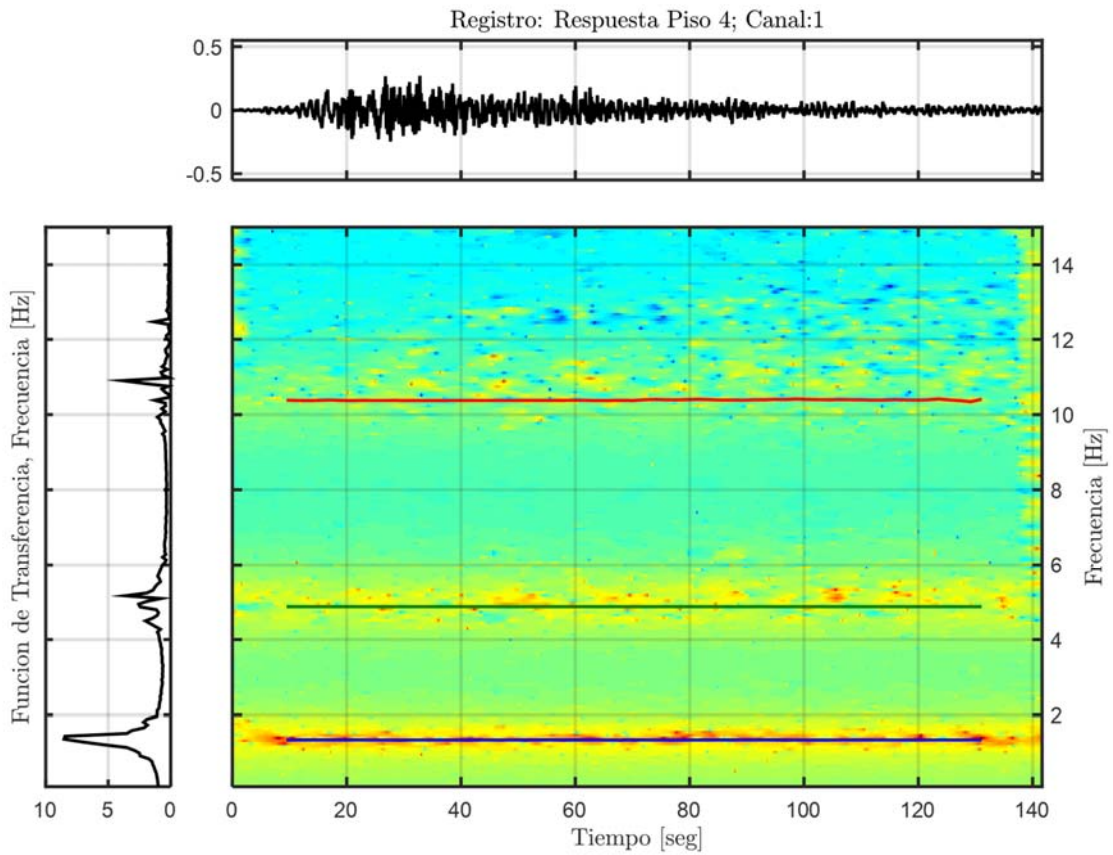
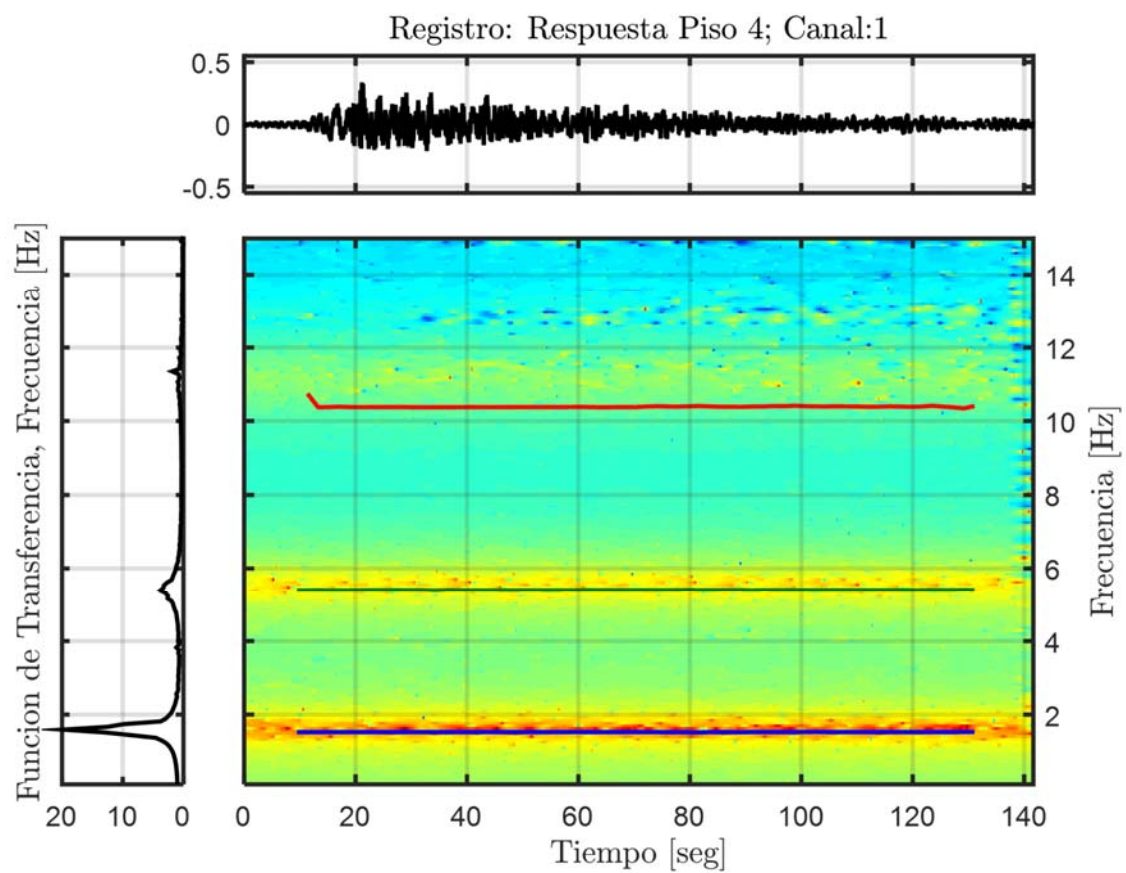


Figura 5.71: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras (dirección transversal).



**Figura 5.72:** Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras (dirección longitudinal).

Se utilizarán filtros digitales del tipo Butterworth para aislar las diferentes componentes, de esta forma, poder utilizar ventanas de menor tamaño y con menor interferencia, posibilitando una estimación más local de la frecuencia instantánea (promedio ponderado en frecuencia para cada instante).

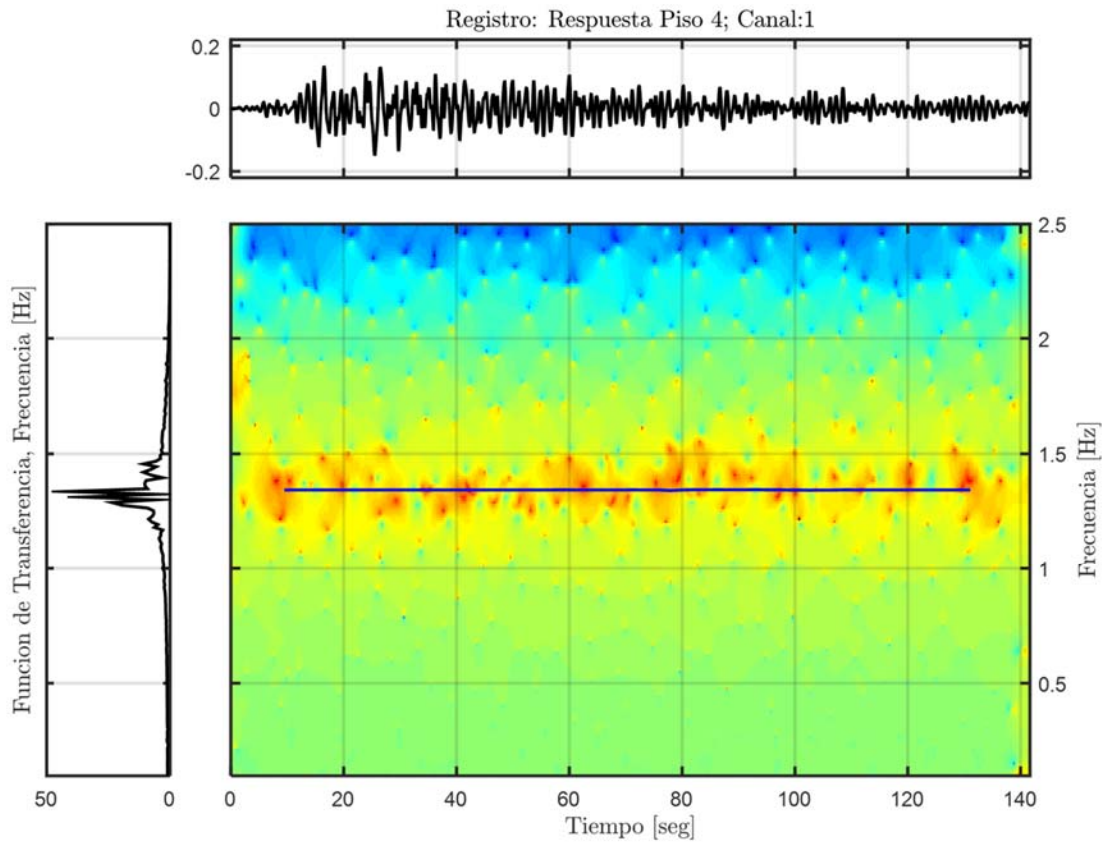


Figura 5.73: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras.

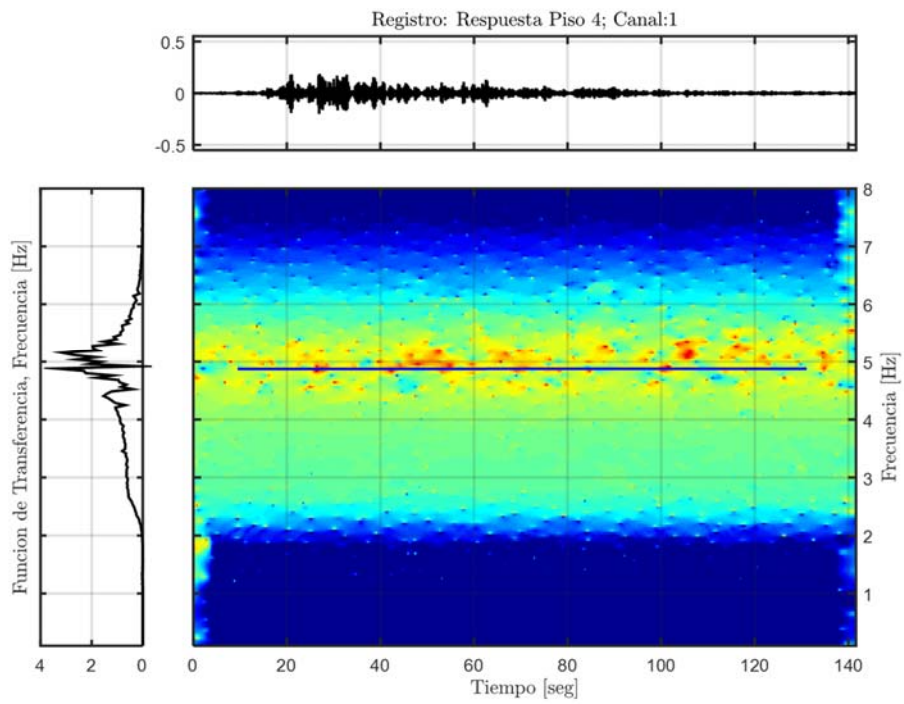


Figura 5.74: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras.

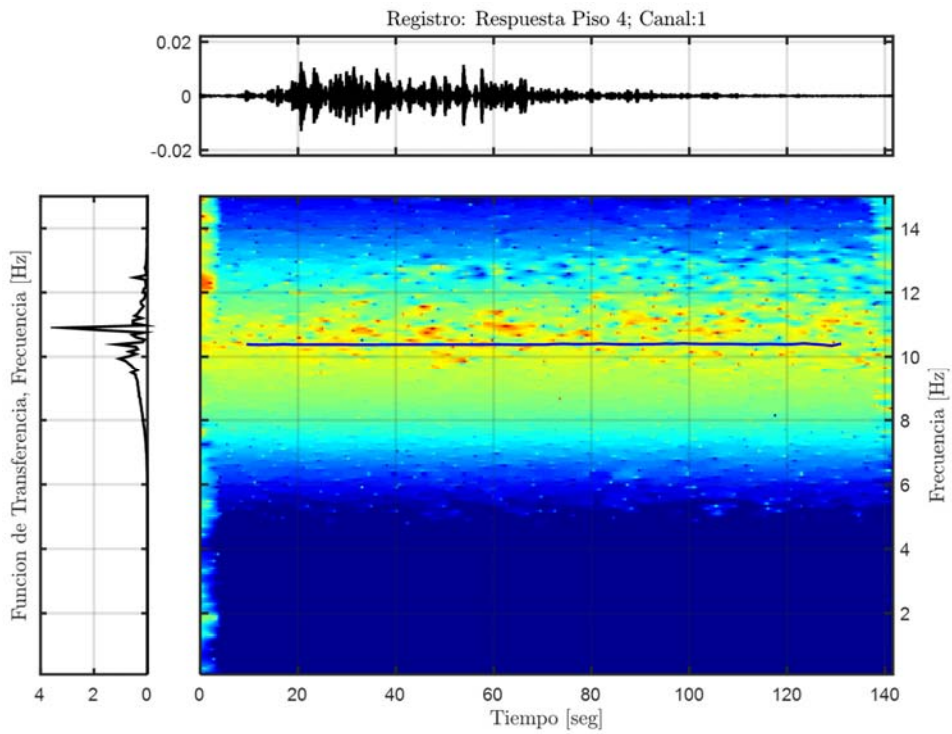


Figura 5.75: Función de transferencia filtrada para el modo 7, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras.

### 5.9.5 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas

**Tabla 5.22: Resumen de las propiedades dinámicas, estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{AV}$ [Hz]	Error [%]	$\beta_{AI}$ [%]	$\beta_{AV}$ [%]	Error [%]
1	1,344	1,343	0,1	2,370	2,329	1,7
2	1,523	1,522	0,1	2,040	2,017	1,1
3	1,630	1,630	0,0	1,890	1,890	0,0
4	4,878	4,873	0,1	4,930	4,922	0,2
5	5,494	5,404	1,6	4,130	4,216	2,1
6	5,598	5,594	0,1	3,900	3,846	1,4
7	10,417	10,380	0,4	3,490	5,397	54,6
8	11,095	11,08	0,1	4,410	5,578	26,5
9	11,779	-	-	4,000	-	-

De la Tabla 5.22 se puede apreciar que la superestructura posee una respuesta lineal-elástica, ya que las frecuencias y amortiguamiento de la identificación invariante como de la variante son prácticamente idénticos.

Las frecuencias modales identificadas por pequeñas ventanas de tiempo por el método Función de Transferencia, presentes desde la Figura 5.71 hasta la Figura 5.75, coinciden de buena forma con las determinadas por el método DSI.

Como se esperaba, la superestructura se comporta lineal-elástica; el largo de la ventana de tiempo escogida es de gran tamaño, respetando el criterio de largo mínimo, y no fue necesario resamplar los datos de entrada y salida.

**Tabla 5.23: Comparación propiedades dinámicas identificadas entre estructura sin aislación y estructura aislada con método de múltiples sub-estructuras.**

Modos	$f_{AV-SA}$ [Hz]	$f_{AV-CAMS}$ [Hz]	Error [%]	$\beta_{AV-SA}$ [%]	$\beta_{AV-CAMS}$ [%]	Error [%]
1	1,376	1,343	2,4	2,36	2,329	1,3
2	1,564	1,522	2,7	2,03	2,017	0,6
3	1,670	1,630	2,4	1,92	1,890	1,6
4	4,935	4,873	1,3	4,99	4,922	1,4
5	5,476	5,404	1,3	4,26	4,216	1,0
6	5,663	5,594	1,2	3,95	3,846	2,6
7	10,450	10,380	0,7	5,53	5,397	2,4
8	11,140	11,08	0,5	5,15	5,578	8,3
9	11,860	-	-	4,14	-	-

Al comparar las frecuencias y los amortiguamientos identificados por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo para la estructura sin aislación (SA) y la estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras (CAMS), se puede observar que son prácticamente iguales. Por lo cual el método de múltiples sub-estructuras es efectivo para este caso, permitiendo desacoplar el efecto no-lineal de la estructura aislada y estudiar la respuesta lineal-elástica de la superestructura.

De igual forma que para el análisis de la estructura sin aislación, al observar que las razones de amortiguamiento de los tres primeros modos son del orden del 2 %. Por lo cual, se puede concluir que los valores de amortiguamiento de la superestructura pueden ser identificados empleando el método de subestructuras. Además, se puede apreciar como el considerar este tipo de amortiguamiento permite desacoplar de forma correcta la superestructura del sistema de aislación, sin incorporar algún efecto cruzado en el amortiguamiento de la superestructura, como sería el caso si se usara amortiguamiento de tipo Rayleigh.

Se puede concluir que el modelo de la estructura fija con apoyos simples es equivalente (en términos de superestructura) a modelar la estructura aislada empotrada en la base y sin restringir el giro a nivel de aislación, las cuales corresponden a las condiciones que genera un el sistema de aislación (según la modelación empleada, que es la que comúnmente se emplea en la práctica).



### 5.10 Descripción Modelo Estructura Aislada Sometida a un ensayo del tipo Pull-Back

El modelo en SAP 2000 de la estructura aislada, adicional a los análisis antes descritos, se sometió a un ensayo tipo pull-back, el cual consiste en inducir un desplazamiento inicial en el nivel de aislación de 4,2 *cm* y computar la respuesta de la estructura frente a la condición inicial impuesta.

Para poder representar el ensayo pull-back, se solicita la estructura con fuerzas puntuales en cada uno de sus marcos en la dirección Y a nivel del sistema de aislación. Estas fuerzas son de 70 *tonf*, fuerza tal que el desplazamiento máximo alcanzado a nivel del sistema de aislación sea un poco mayor al doble del desplazamiento de fluencia de los aisladores, con la finalidad de incursar en el rango no-lineal. El modelo de la estructura solicitada para esta condición de carga se puede apreciar en la Figura 5.76 y Figura 5.77.

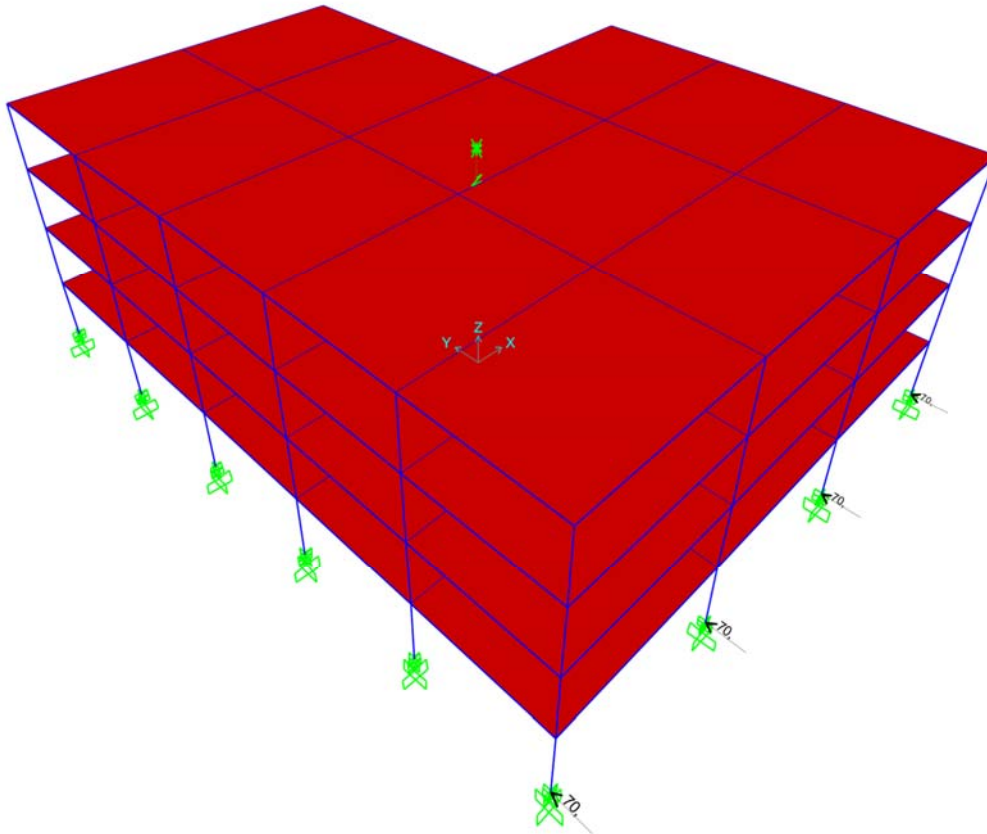


Figura 5.76: Modelo 3D estructura aislada, ensayo pull-back.

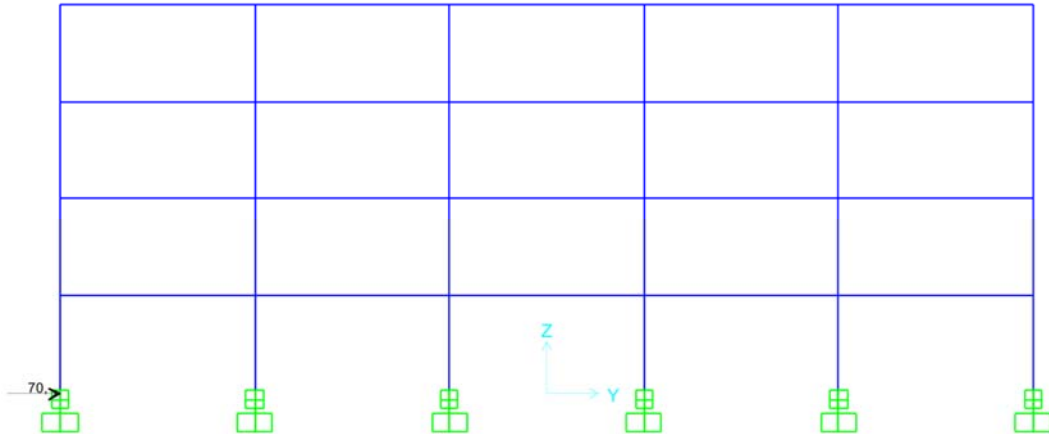


Figura 5.77: Elevación plano Y-Z, condición de carga para ensayo pull-back.

Las cargas estáticas (carga muerta, sobre carga y la carga de condición inicial) fueron aplicadas de forma cuasi estática para esto definimos una función rampa que solicite estas cargas y que posea asociada un amortiguamiento alto de 99 [%] para asegurar una respuesta estática.

Además, se agregan amortiguadores no-clásicos en igual posición de los aisladores con un amortiguamiento de  $65 \text{ tonf*s/m}$  por dirección, para tener un comportamiento visco-elástico asociado al sistema de aislación una vez que este vuelve a su rango elástico.

La carga de condición inicial, como hace referencia su nombre sólo se aplica a la estructura inicialmente para generar un desplazamiento inicial. Como un segundo paso en el análisis se agrega una segunda función rampa que contrarreste esta función y permita reproducir un ensayo tipo pull-back. Es decir, en una segunda etapa se elimina súbitamente la carga impuesta para deformar a la estructura de manera de estudiar su respuesta amortiguada.

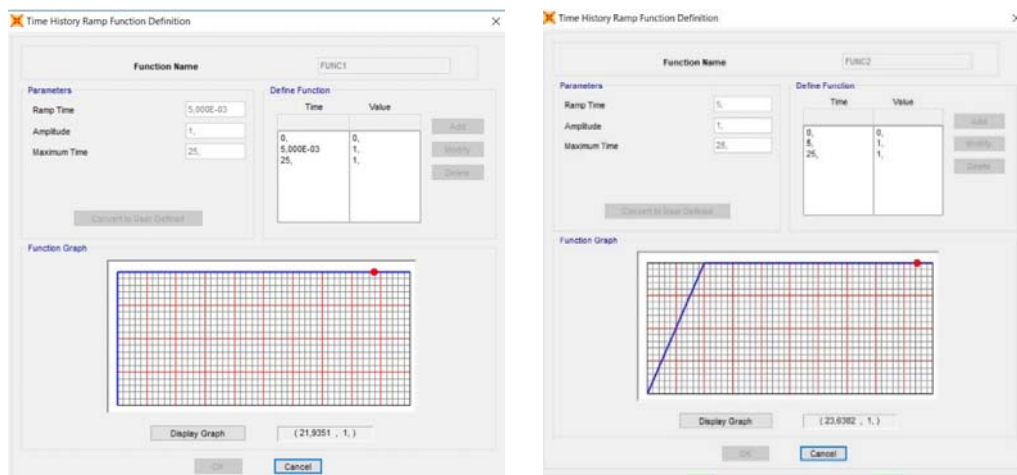


Figura 5.78: a) Función rampa que elimina carga inicial. b) Función rampa para condición cuasi estática.

### 5.10.1 Respuesta de la Estructura Aislada Sometida a Pull-Back

Los datos de salida u outputs a considerar para este análisis coinciden con los utilizados en los casos anteriores, es decir, para el caso de la estructura aislada se tienen 30 datos de salida, de los cuales, los asociados a la base son nulos. En la Figura 5.79 y Figura 5.80 se puede apreciar la respuesta de aceleración absoluta en ambas direcciones, de la estructura aislada sometida a un ensayo pull-back, asociada a la columna 1. La de las otras columnas se pueden apreciar en la Figura 10.14 hasta la Figura 10.17, presentes en el Anexo B.

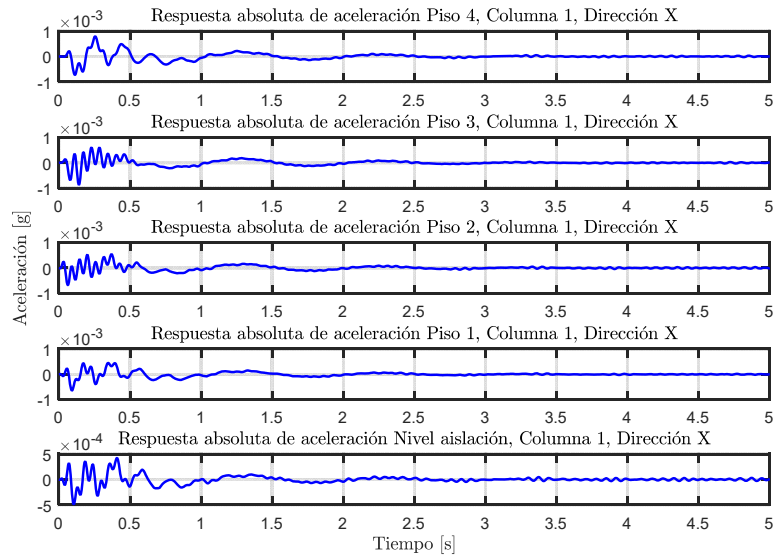


Figura 5.79: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección X, Estructura aislada, Pull-back.

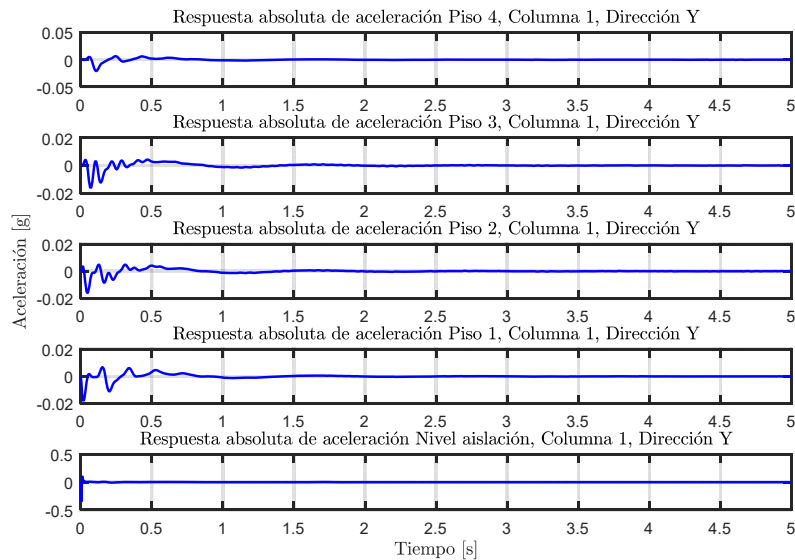


Figura 5.80: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 1, Dirección Y, Estructura aislada, Pull-back.

### 5.10.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes.

Se debe tener en cuenta que, al ser un modelo analítico, las respuestas utilizadas no poseen ningún tipo de ruido, por lo cual no son filtradas.

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs como un vector de ceros, lo cual es equivalente a realizar un análisis por método de Ibrahim (Hernández Prado, 2009) y los outputs mencionados anteriormente. Además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada.

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	10
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	15
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	50

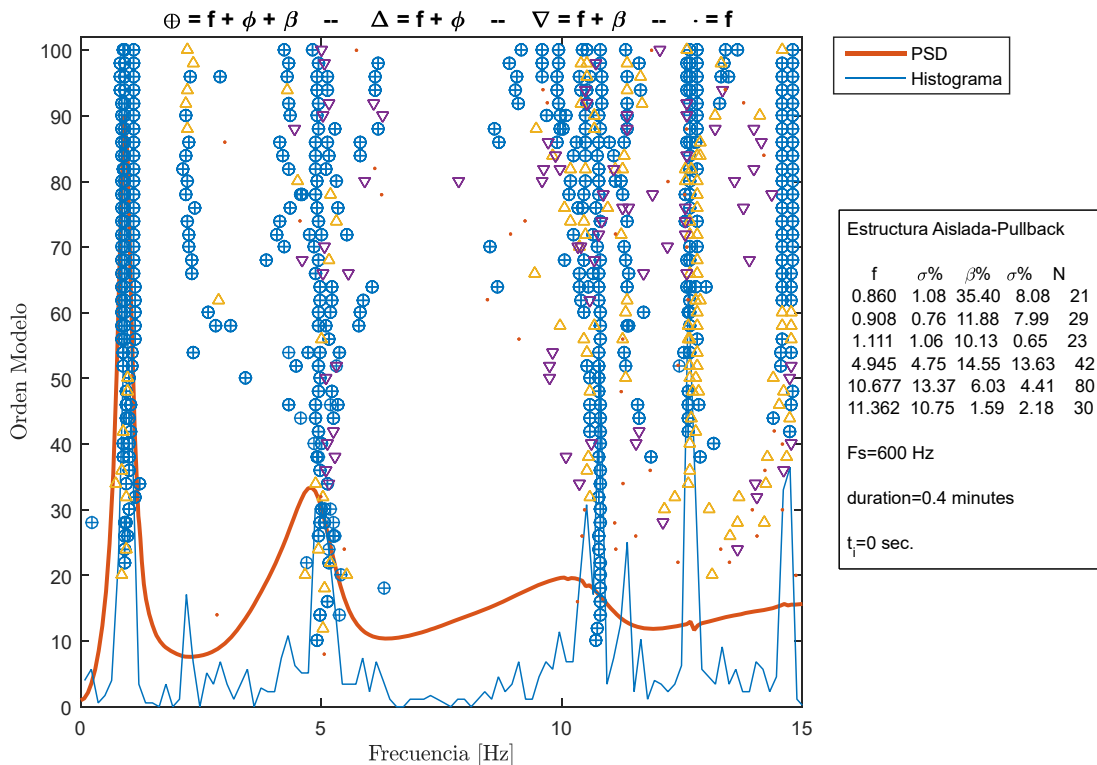


Figura 5.81: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada, pull-back.

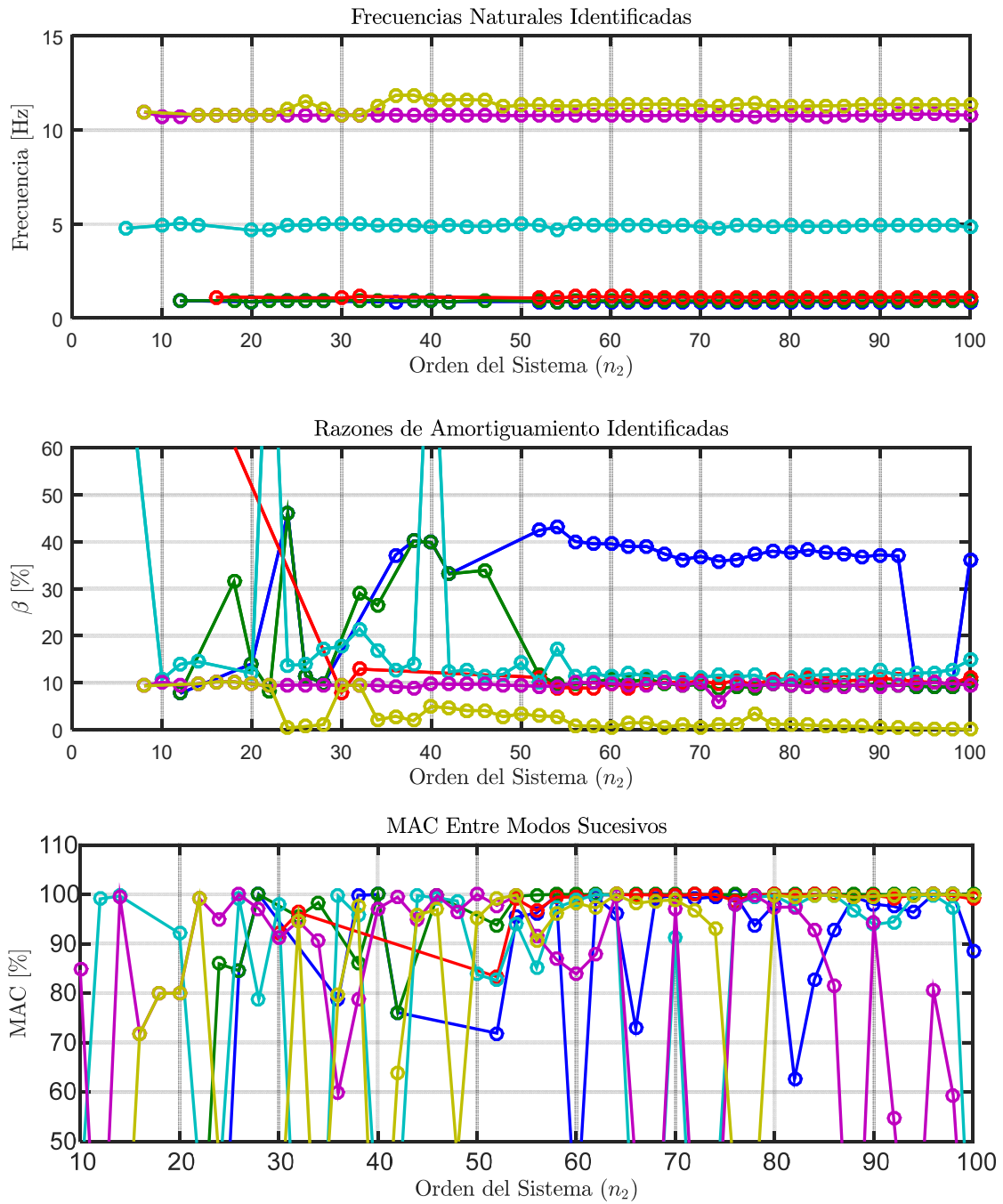


Figura 5.82: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada, pull-back.

### 5.10.3 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas

**Tabla 5.25: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada, pull-back.**

Modos	$f_{\text{Modelo SAP200}}$ [Hz]	$f_{\text{AI}}$ [Hz]	$f_{\text{AV (inicial)}}$ [Hz]	$f_{\text{AI pull-back}}$ [Hz]
1	0,39	0,719	0,878	0,860
2	0,4	0,868	-	0,908
3	0,46	-	-	1,111
4	3,77	3,969	4,080	-
5	4,34	-	-	-
6	4,39	4,518	-	4,945
7	8,74	-	-	-
8	9,14	8,974	9,090	-
9	9,43	-	-	-
10	9,6	-	-	-
11	9,75	9,994	9,974	10,677
12	9,91	-	-	11,362

De las propiedades identificadas por el análisis invariante en el tiempo para el ensayo del pull-back, se puede apreciar que el método DSI es capaz de identificar los modos traslacionales de la dirección Y, lo cual coincide con la dirección en la que se solicita la estructura.

Se logra ver en base a las frecuencias modales identificadas, como la estructura incursiona en el rango no-lineal.

#### 5.10.4 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes Estructura Aislada Sometida a Pull-Back Considerando el Método de Múltiples Sub-Estructuras

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, pero esta vez se aplica el método de múltiples sub-estructuras sobre la estructura aislada.

Se debe tener en cuenta que, al ser un modelo analítico, las respuestas utilizadas no poseen ningún tipo de ruido, por lo cual no son filtradas.

Al aplicar el método de múltiples sub-estructuras los outputs del nivel de aislación de la estructura aislada considerando enfoque tradicional, pasan a ser los inputs. Por otra parte, ahora los outputs de la estructura aislada corresponden a las aceleraciones medidas desde el piso 1 hasta el piso 4 de la estructura aislada considerando enfoque tradicional. Además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 5.26.

Tabla 5.26: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada.

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	5
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	10
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50

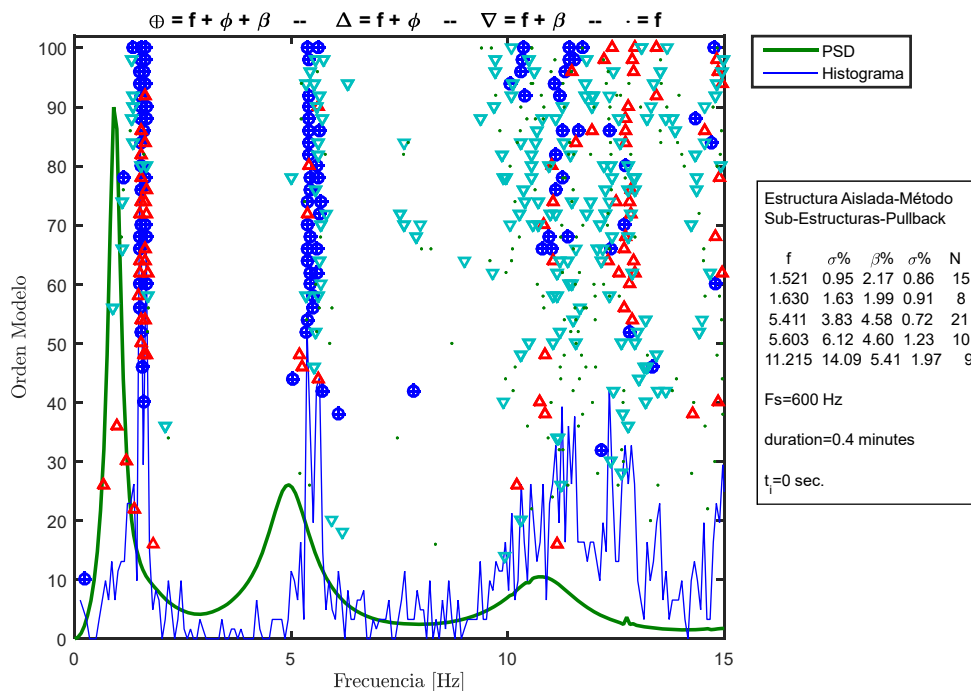


Figura 5.83: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada, pull-back método de múltiples sub-estructuras.

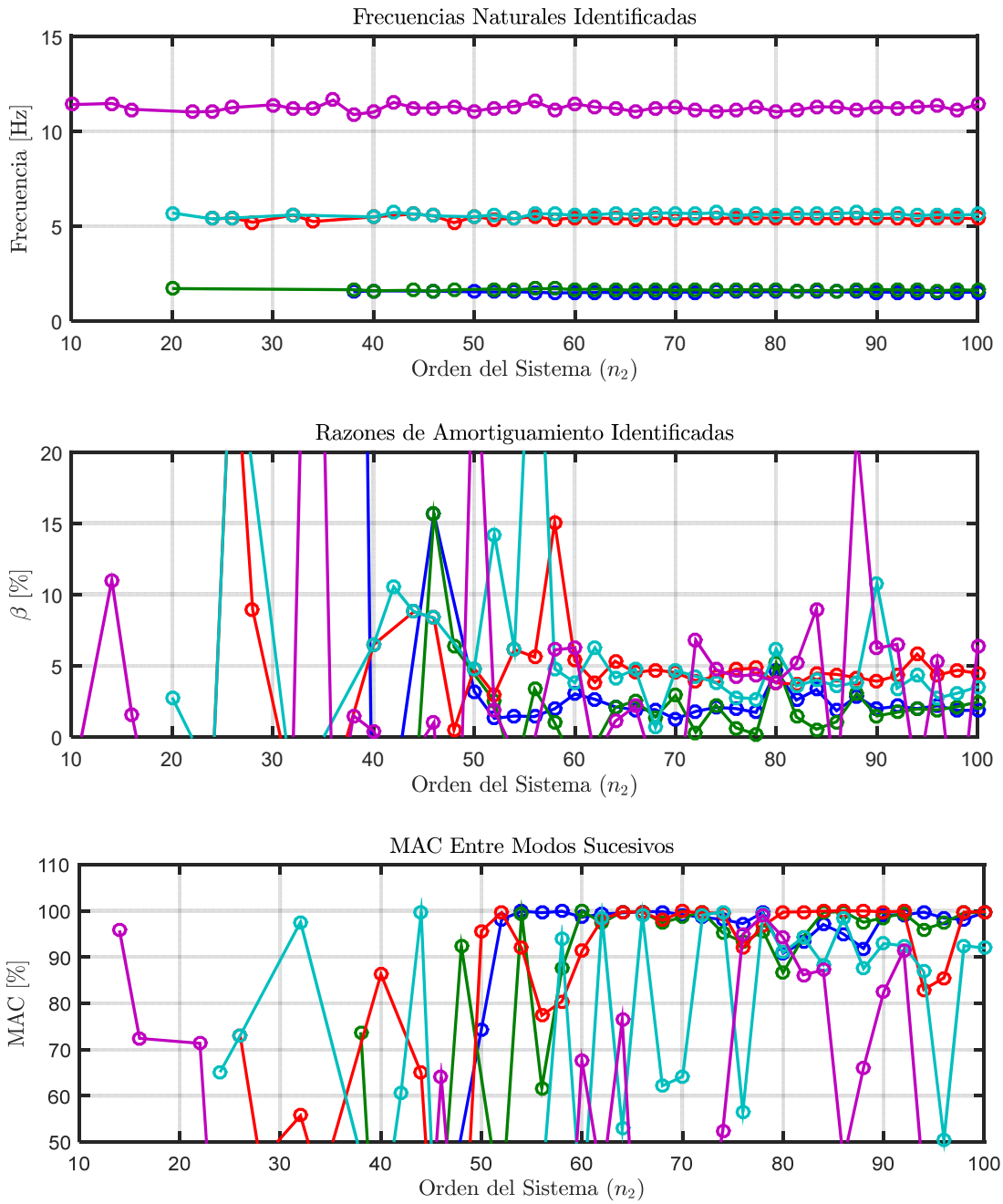


Figura 5.84: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada, pull-back método de múltiples sub-estructuras.



### 5.10.5 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas Considerando el Método de Múltiples Sub-Estructuras

**Tabla 5.27: Resumen de frecuencias identificadas, estructura aislada, pull-back, método de múltiples sub-estructuras.**

Modos	$f_{\text{Modelo SAP200}}$ [Hz]	$f_{\text{AI}}$ [Hz]	$f_{\text{AV}}$ [Hz]	$f_{\text{AI pull-back}}$ [Hz]
1	1,377	1,377	1,376	-
2	1,564	1,564	1,564	1,521
3	1,670	1,670	1,670	1,630
4	4,945	4,936	4,935	-
5	5,488	5,476	5,476	5,411
6	5,679	5,662	5,663	5,603
7	10,543	10,457	10,450	
8	11,257	11,142	11,140	11,215
9	11,996	11,857	11,860	-

**Tabla 5.28: Resumen de amortiguamiento identificadas, estructura aislada, pull-back, método de múltiples sub-estructuras.**

Modos	$\beta_{\text{AI}}$ [%]	$\beta_{\text{AV}}$ [%]	$\beta_{\text{AI pull-back}}$ [%]
1	2,36	2,36	-
2	2,03	2,03	2,17
3	1,92	1,92	1,99
4	4,99	4,99	-
5	4,26	4,26	4,58
6	3,95	3,95	4,60
7	5,53	5,53	-
8	5,15	5,15	5,41
9	4,14	4,14	-

De la Tabla 5.27 y de la Tabla 5.28 se puede apreciar que la superestructura posee una respuesta lineal-elástica, ya que las frecuencias y amortiguamiento de la identificación invariante como de la variante para la estructura solicitada con el registro sísmico, son prácticamente idénticos a los obtenidos con el ensayo de pull-back analizados invariante.

Al igual que para el caso de la estructura aislada ensayada con un pull-back, se puede apreciar que los modos identificados corresponden principalmente a los de traslación en Y. Lo cual tiene relación ya que es la dirección en la que se generó el desplazamiento inicial.

Al comparar las frecuencias y los amortiguamientos identificados por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo para la estructura sin aislación y compararlos con los obtenidos para la estructura sometida a un pull-back y analizada mediante el método de múltiples sub-estructuras, se puede observar que son prácticamente iguales. Por lo cual el método de múltiples sub-estructuras es efectivo, permitiendo desacoplar el efecto no-lineal de la estructura aislada y estudiar la respuesta lineal-elástica.

## 6. Análisis del Edificio BNCS – Universidad de California, San Diego

### 6.1 Descripción del Edificio BNCS e Instrumentación

El edificio BNCS se construyó con la finalidad de monitorear y obtener resultados experimentales que representen lo más realmente posible el comportamiento de una estructura (edificio) ante la solicitación de un terremoto.

Este edificio consiste en uno a escala real de hormigón armado de cinco pisos, equipado con una gran variedad de elementos no estructurales en cada uno de sus pisos, los cuales no serán estudiados en esta memoria. La estructura se encuentra montada sobre una mesa de vibrar que permite reproducir diversos tipos de sismos.

Las dimensiones en planta son de  $11\text{ m} \times 6,6\text{ m}$  en dirección longitudinal y transversal respectivamente. La altura de piso es constante e igual a  $4,27\text{ m}$ , alcanzando una altura total de  $21,34\text{ m}$ , esto medido desde la parte superior de la fundación hasta la parte superior de la losa del techo (Astroza, et al., 2017).

La estructura posee dos marcos resistentes en el sentido longitudinal; la cual coincide con la dirección en cual se aplicaron las solicitaciones sísmicas inducidas por la mesa de vibrar. El edificio está compuesto por seis columnas de sección  $0,66\text{ m} \times 0,46\text{ m}$  y dos vigas por piso de sección  $0,30\text{ m} \times 0,71\text{ m}$ , las cuales poseen diferentes refuerzos por piso. Adicionalmente, posee dos muros de corte con espesores de  $0,15\text{ m}$  a lo largo de la dirección transversal con el fin de aumentar la rigidez torsional del edificio. (Astroza, et al., 2017).

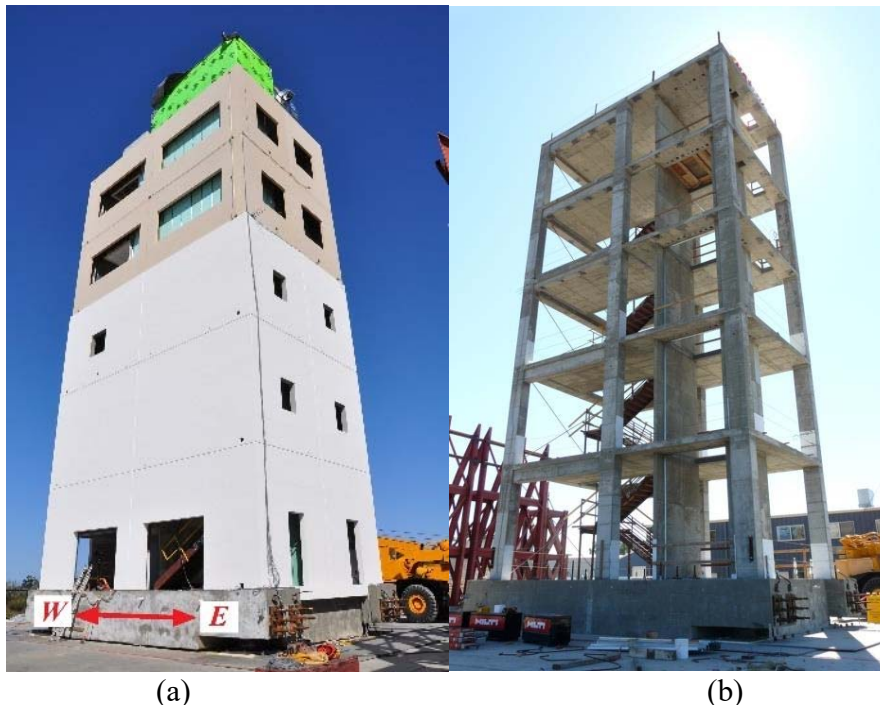


Figura 6.1: (a) Edificio BNCS finalizado y (b) Sistema estructural del edificio BNCS.  
Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

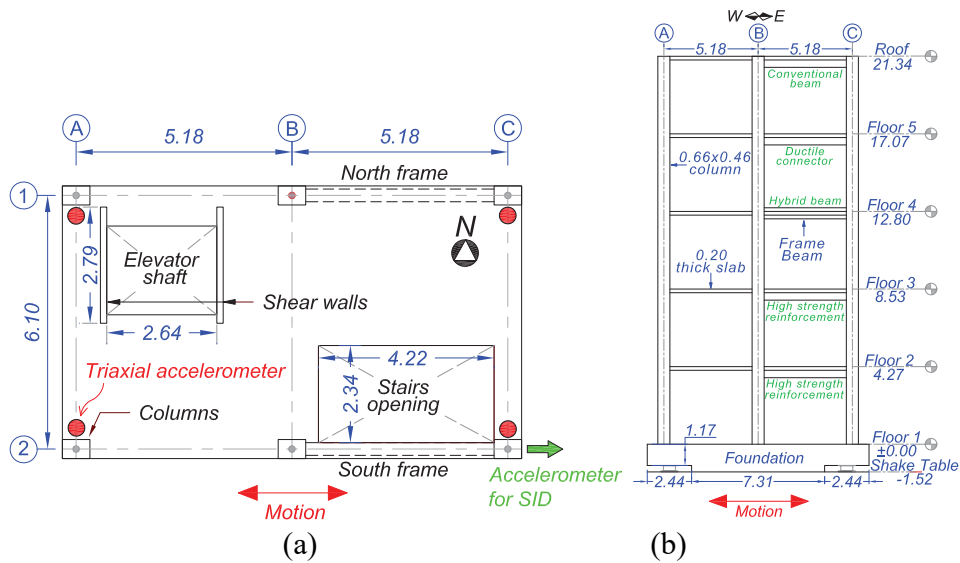


Figura 6.2: (a) Vista en planta. (b) Vista en elevación. (Dimensiones en metros). Fuentes: (Astroza, et al., 2015).

La estructura se construyó sobre una fundación de hormigón post-tensada, la cual permite la configuración aislada y de base fija. La fundación se construyó directamente sobre la mesa de vibración y esta posee una altura de 1,5 m excepto en los espacios presentes en las vigas nortes y sur de la fundación, las cuales presentan unos espacios para poder aislar la estructura. En estos espacios la fundación tiene una altura de 1,2 m. La Figura 6.3 muestra la fundación antes descrita (Gutiérrez Lihn, 2016).



Figura 6.3: Fundación durante la etapa de construcción: (a) armadura de refuerzo ductos de post-tensado. (b) vista sur de la fundación después de concretar. Fuente: (Chen, et al., 2016).

El peso total del edificio sin considerar la fundación es de 4420 kN, donde el 75 % (3010 kN) corresponde a elementos estructurales y el 25 % (1010 kN) a elementos no estructurales. El peso de la fundación es de 1870 kN (Astroza, et al., 2017).

Los aisladores que se utilizaron para la estructura fueron cuatro aisladores de alto amortiguamiento (HDRBs), ubicados en las cuatro esquinas inferiores de la fundación. Poseen una altura de 0,34 m, compuestos por 34 capas de caucho con un espesor de 6 mm cada una, 33 placas de acero con un espesor de 3 mm cada una y placas de acero superior e inferior de 20 mm de espesor. El diámetro exterior de los aisladores es de 0,65 m y el diámetro interior es de 0,10 m. La geometría, composición y ciclo histerético de los aisladores se pueden apreciar en la Figura 6.4 (Astroza, et al., 2017).

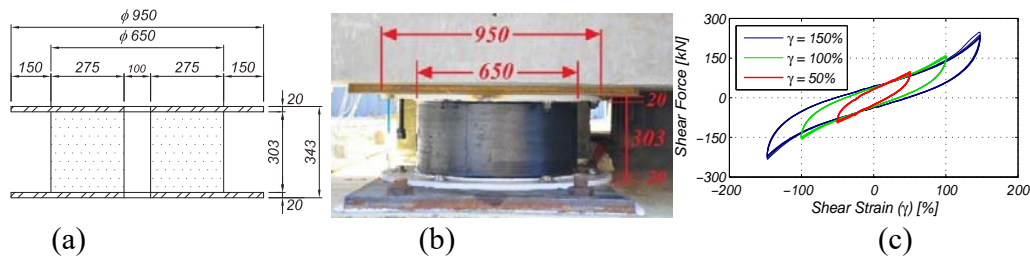


Figura 6.4: Propiedades de los aisladores sísmicos: (a) Dimensiones del aislador. (b) Aisladores instalados. (c) Curvas histeréticas de los aisladores. Fuente (Astroza, et al., 2017).

## 6.2 Instrumentación

El edificio está altamente instrumentado para poder medir aceleración, desplazamiento, deformaciones y cargas. Se instalaron cuatro acelerómetros triaxiales cercanos a las esquinas de las losas de cada piso, como se puede apreciar en la Figura 6.2 donde están representados por círculos rojos. Además, se colocaron dos acelerómetros triaxiales en las esquinas noreste (NE) y sureste (SW) de la mesa de vibración. Los acelerómetros utilizados corresponden Episensor con un rango de operación de  $\pm 4 g$ , con un ancho de banda de frecuencia DC-200 Hz y un amplio rango dinámico de 155 dB. Los datos medidos fueron muestreados a 200 Hz.

Las mediciones de aceleración se filtraron utilizando un filtro pasa banda Butterworth de respuesta al impulso infinita (IIR), de orden 4 con frecuencia de corte de 0,04 Hz y 25 Hz.

De acuerdo a Gonzalo Gutiérrez (2017), luego de algunos análisis de sensibilidad de los resultados de identificación para distintos grupos de acelerómetros, solo se considera un sensor por piso los cuales se encuentran en la dirección de la sollicitación sísmica (dirección longitudinal del edificio), dado que la respuesta de la estructura es predominantemente en una dirección (ya que la mesa vibradora se puede mover solo en dirección longitudinal del edificio). En base a esto se selecciona la respuesta de una de las columnas en las que existen sensores para realizar la identificación de propiedades dinámicas de la estructura. Específicamente, se seleccionan los canales 6, 18, 30, 42, 54, 66, presentes en la Figura 6.6 y de la mesa de vibrar se selecciona la respuesta el canal 81 presente en la Figura 6.5.

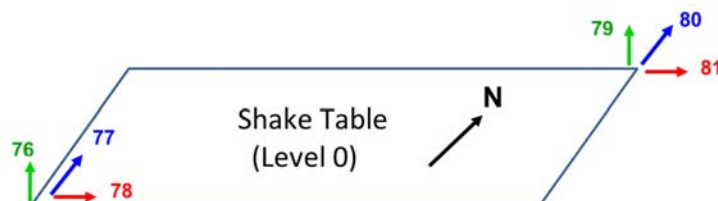


Figura 6.5: Canales de registros de aceleración en mesa de vibrar. Fuente: Astroza (información interna).

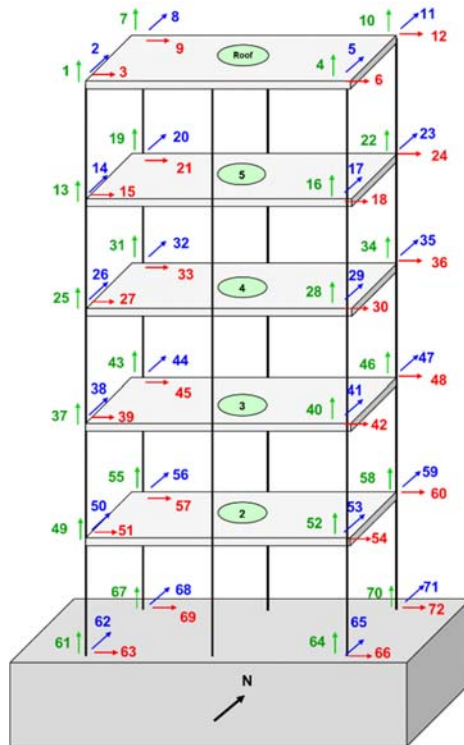


Figura 6.6: Canales de registros de aceleración en edificio BNCS. Fuente: Astroza (información interna).

### 6.3 Protocolo de Ensayos

El edificio BNCS fue sometido a una serie de ensayos dinámicos, solicitando de diversas formas la estructura aislada y sin aislación en su dirección longitudinal. Entre los ensayos que se realizaron se encuentran: ruidos blancos de diversa amplitud (WN), vibraciones ambientales (VA) y ensayos sísmicos. La Tabla 6.1 muestra el orden en que se realizaron los ensayos sísmicos y una descripción de cada uno (Astroza, et al., 2015).

Se realizaron 10 minutos de VA antes y después de cada prueba sísmica, y se realizaron pruebas de WN de diversa amplitud en diferentes etapas durante el protocolo de ensayo.

Los ensayos sísmicos se aplicaron de tal forma de incrementar progresivamente la demanda sísmica de la estructura aislada y de la estructura sin aislación en una etapa posterior. De esta forma es posible analizar la respuesta y resultados para distintos niveles de daño.

De acuerdo a observaciones, el daño estructural después de los ensayos de la estructura aislada fue insignificante, por lo cual se catalogó al primer ensayo sísmico de la estructura sin aislación como DS0, el cual corresponde al estado no dañado (Astroza, et al., 2015).

**Tabla 6.1: Resumen de ensayos sísmicos realizados al edificio BNCS aislado y sin aislación.**  
Fuente: (Astroza, et al., 2015).

Fecha	Evento Sísmico – Sitio – Escala [%] – Tipo de Base	Nombre
Abril 16, 2012	1994 Northridge – Canoga Park – 100 [%] – BA	BI1-CNP100
Abril 16, 2012	1994 Northridge – LA City Terrace – 100 [%] – BA	BI2-LAC100
Abril 17, 2012	1994 Northridge – LA City Terrace – 100 [%] – BA	BI3-LAC100 2
Abril 17, 2012	2010 Maule (Chile) – San Pedro – 100 [%] – BA	BI4-SP100
Abril 26, 2012	2007 Pisco (Perú) – Ica – 50 [%] – BA	BI5-ICA50
Abril 27, 2012	2007 Pisco (Perú) – Ica – 100 [%] – BA	BI6-ICA100
Abril 27, 2012	2007 Pisco (Perú) – Ica – 140 [%] – BA	BI7-ICA140
Mayo 7,2012	1994 Northridge – Canoga Park – 100 [%] – BF	FB-CNP100
Mayo 9,2012	1994 Northridge – LA City Terrace – 100 [%] – BF	FB-LAC100
Mayo 9,2012	2007 Pisco (Perú) – Ica – 50 [%] – BF	FB-ICA50
Mayo 11,2012	2007 Pisco (Perú) – Ica – 100 [%] – BF	FB-ICA100
Mayo 15,2012	2002 Denali – TAPS Pump Station #9 – 67 [%] – BF	FB-DEN67
Mayo 15,2012	2002 Denali – TAPS Pump Station #9 – 100 [%] – BF	FB-DEN100

De los eventos sísmicos presentes en la Tabla 6.1, se utilizarán todos los eventos asociados a la estructura aislada para la determinación de las propiedades dinámicas de la estructura. Mientras que para la estructura sin aislación también se utilizaran todos los eventos sísmicos, pero se utilizara solo el evento (1994 Northridge – Canoga Park – 100 [%] – BF), para comparar los resultados con los de la estructura aislada considerado el método de múltiples sub-estructuras, ya que para este registro no se observó daño estructural en relación a los ensayos de la estructura aislada (además fue el primer ensayo efectuada para la estructura sin aislación en su base). Al estado de daño antes del primer ensayo sísmico en la configuración FB se le denota como DS0. Mientras que para los otros registros sísmicos asociados a la estructura base fija, si se registró daño estructural y se denotaron de acuerdo a lo establecido en la Tabla 6.2. Se debe tener presente que los estados de daños se definen posterior a cada ensayo sísmico.

**Tabla 6.2: Estado de daño.**

Evento Sísmico	Estado de Daño
FB-CNP100	DS1
FB-LAC100	DS2
FB-ICA50	DS3
FB-ICA100	DS4
FB-DEN67	DS5
FB-DEN100	DS6

La definición de cada uno de los estados de daños presentes en la Tabla 6.2, se puede apreciar en los trabajos de Astroza, et al. (2015).

## 6.4 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada

### 6.4.1 Recopilación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada

De acuerdo a los análisis desarrollados por Astroza, et al. (2017), se determinaron cuatro modos longitudinales para la estructura aislada, considerando la primera ventana de tiempo del registro B11-CNP100. Estos modos se representan en la Figura 6.7.

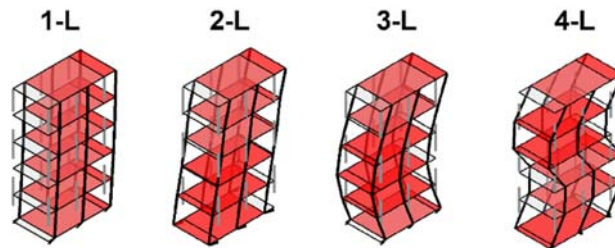


Figura 6.7: Formas modales longitudinales identificadas para el edificio aislada. Fuente: (Astroza, et al., 2017).

De la Figura 6.7, se puede apreciar que el modo 1-L, implica principalmente deformación del sistema de aislación, junto a un movimiento de cuerpo rígido de la superestructura, por lo cual se denomina como el modo de aislamiento. Para el resto de los modos (2-L, 3-L, 4-L) se observa deformaciones considerables de la superestructura, pero que igual poseen algún grado de contribución del sistema de aislación.

Las frecuencias naturales asociadas a estos cuatro modos longitudinales, se encuentran presentes en la Figura 6.8, donde los cuatro gráficos superiores representan la variación de estas frecuencias a lo largo de los ensayos. El gráfico inferior representa los inputs entregados por la mesa de vibrar sobre la estructura en los diversos eventos sísmicos que solicitan la estructura. Sobre los inputs se encuentra la rigidez efectiva del sistema de aislación (Astroza, et al., 2017).

En los gráficos de frecuencias naturales identificadas, se muestran las frecuencias identificadas con datos de vibraciones ambientales (VA) mediante líneas discontinuas rojas obtenidos por Astroza et. al. (2015).

Los valores presentes con línea azul corresponden a los valores de la frecuencia natural predominante, determinados por Chen et. al. (2016) usando desplazamientos durante la fase del movimiento fuerte obtenidos de acelerómetros y antenas GPS montadas en el techo de la estructura.

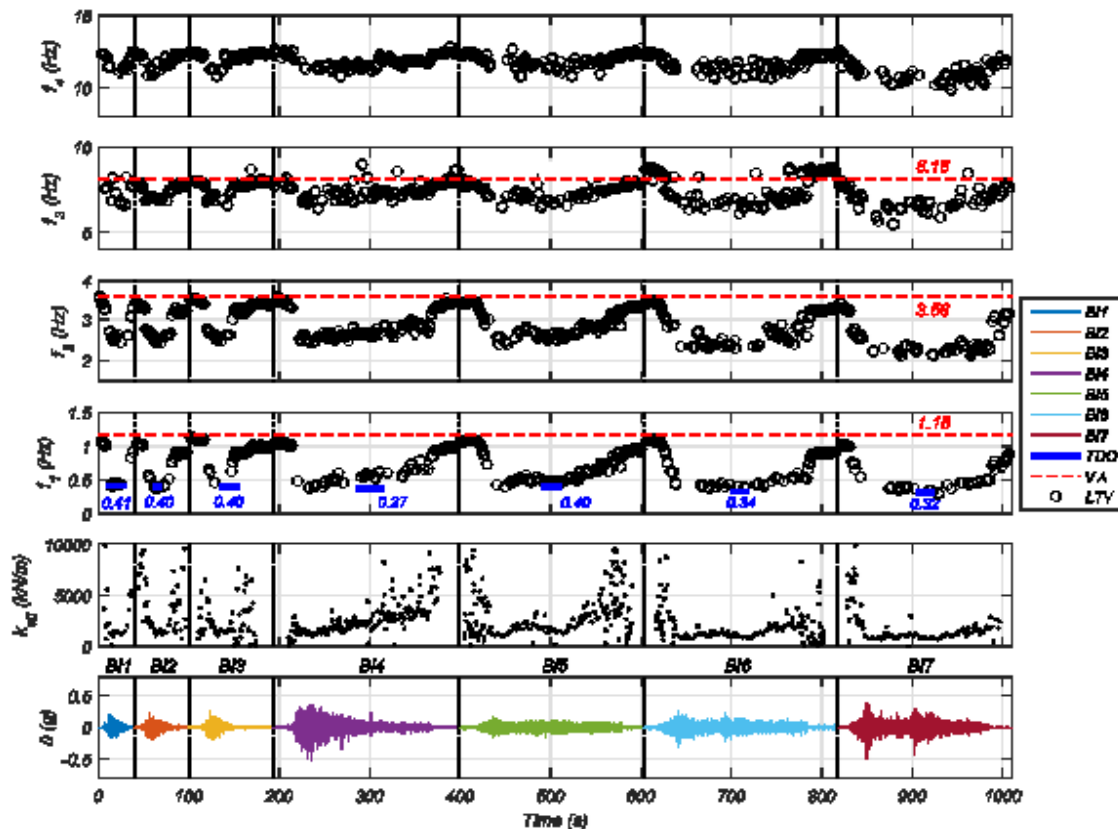


Figura 6.8: Variación temporal de la frecuencia natural de los primeros cuatro modos longitudinales.  
Fuente: (Astroza, et al., 2017).

Las relaciones de amortiguamiento equivalentes para los primero cuatro modos longitudinales se aprecian en los cuatro gráficos superiores en la Figura 6.9. La relación de amortiguamientos identificados con los ensayos de Vibraciones ambientales (VA) (Astroza, et al., 2015) se encuentra presentes con líneas discontinuas rojas. Mientras que con línea azul se muestra la relación de amortiguamiento asociada al modo predominante estimada durante la fase del movimiento fuerte (Chen, et al., 2016).



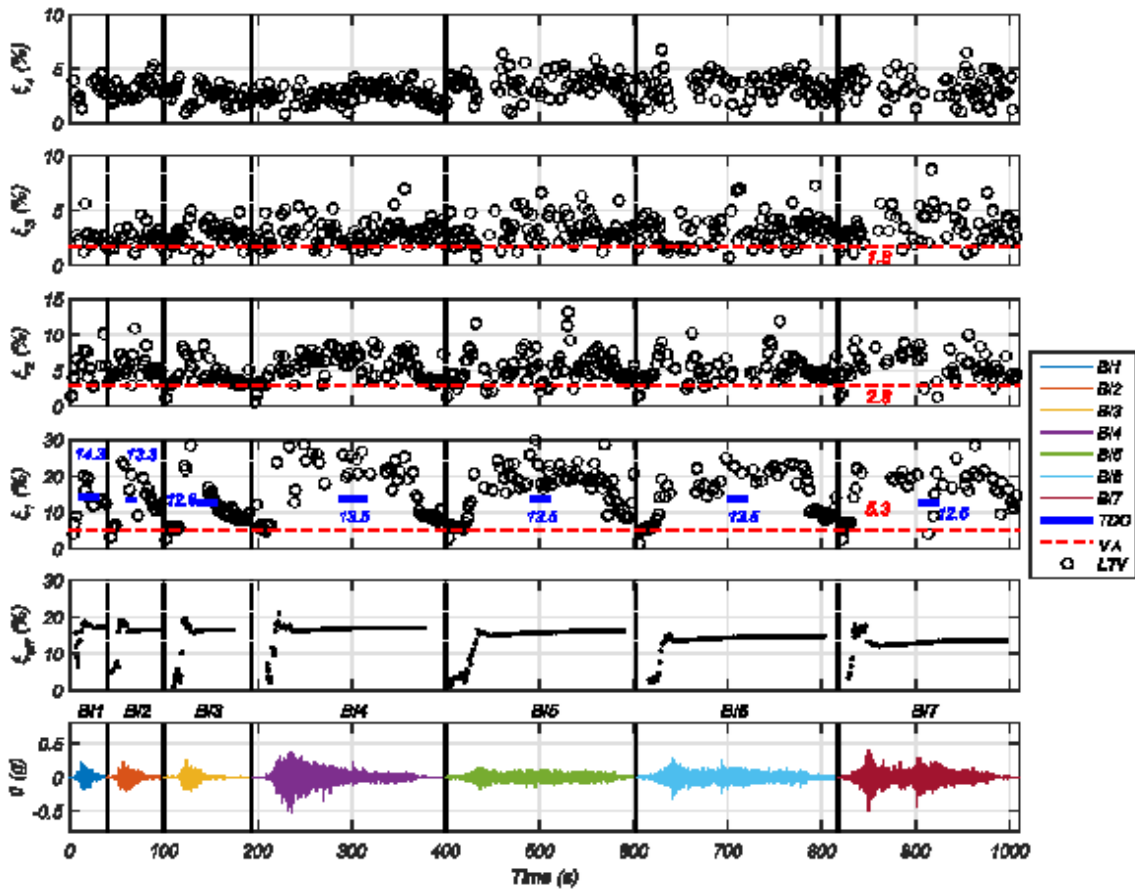


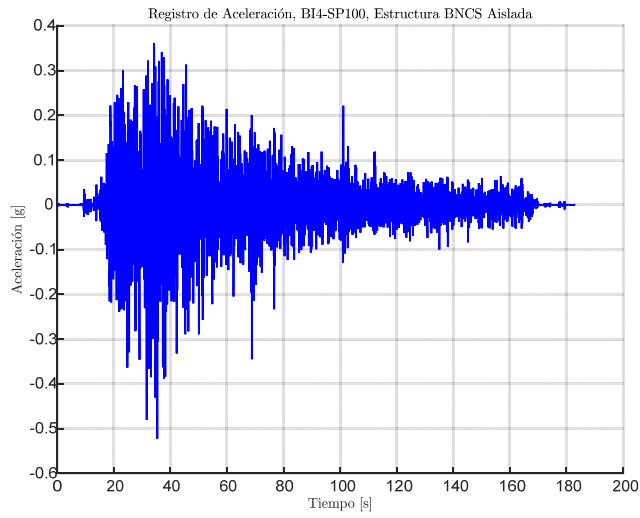
Figura 6.9: Variación temporal de la relación de amortiguamiento para los primeros cuatro modos longitudinales. Fuente: (Astroza, et al., 2017).

#### 6.4.2 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI4-SP100

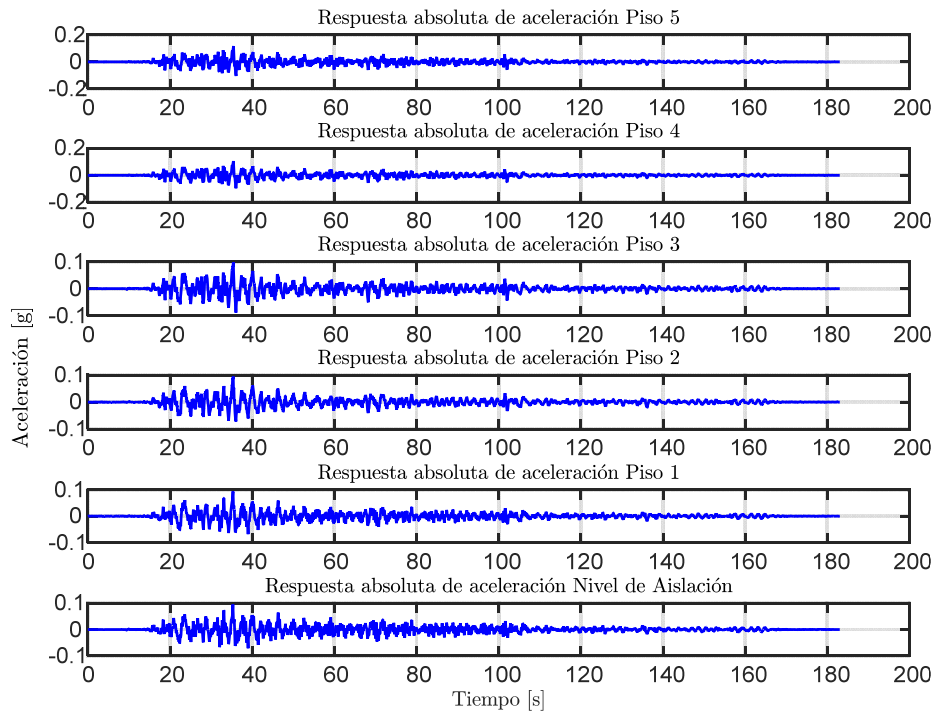
Se realizó la identificación de propiedades dinámicas para la estructura aislada para todos los eventos sísmicos presentes en el protocolo de ensayo. Esta sección se muestran los resultados correspondientes al evento BI4-SP100, ya que este evento es el que representa de mejor forma el caso chileno al tratarse del registro sísmico de la estación de Concepción San Pedro durante el mega-terremoto del 27 de Febrero de 2010. El resto de los eventos se encuentran analizados en el Anexo C (Sección 10.3).

##### 6.4.2.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada, la respuesta a nivel de la mesa de vibrar, es decir el canal 81, presente en la Figura 6.10. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales 6, 18, 30, 42, 54, 66, presentes en la Figura 6.11.



**Figura 6.10: Input estructura aislada, Registro BI4-SP100.**



**Figura 6.11: Output estructura aislada, Registro BI4-SP100.**

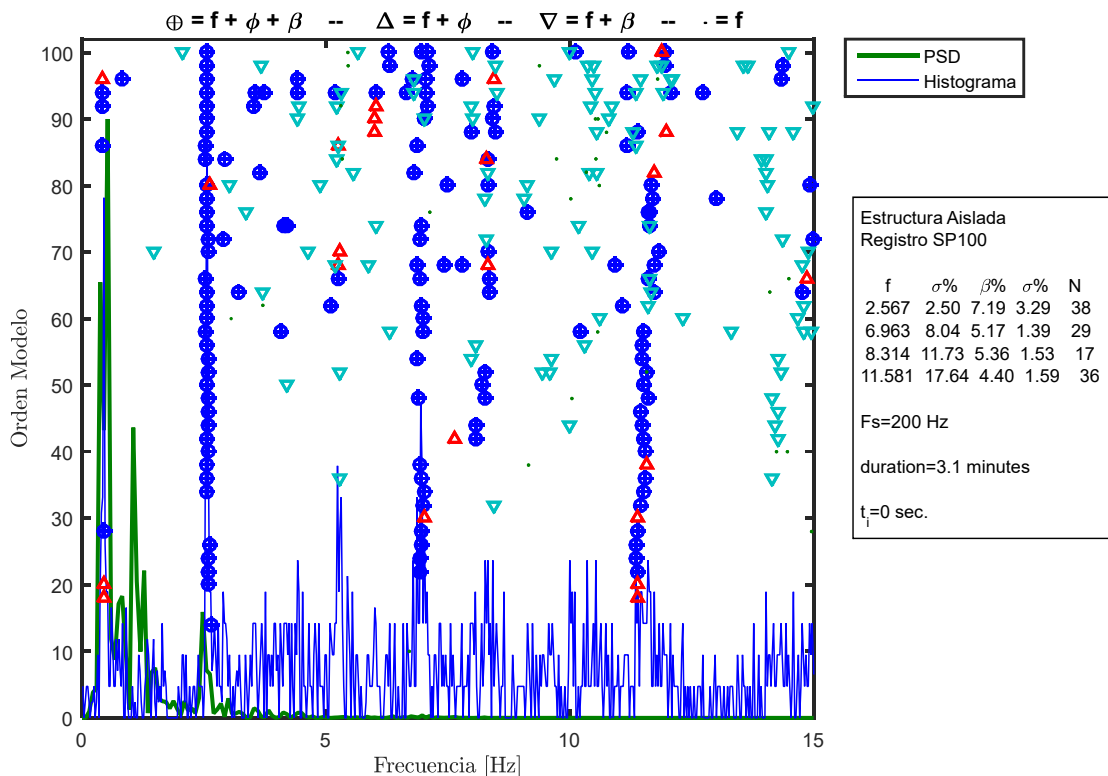
### 6.4.2.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento histerético).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros resumidos en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI4-SP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50



**Figura 6.12: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.**

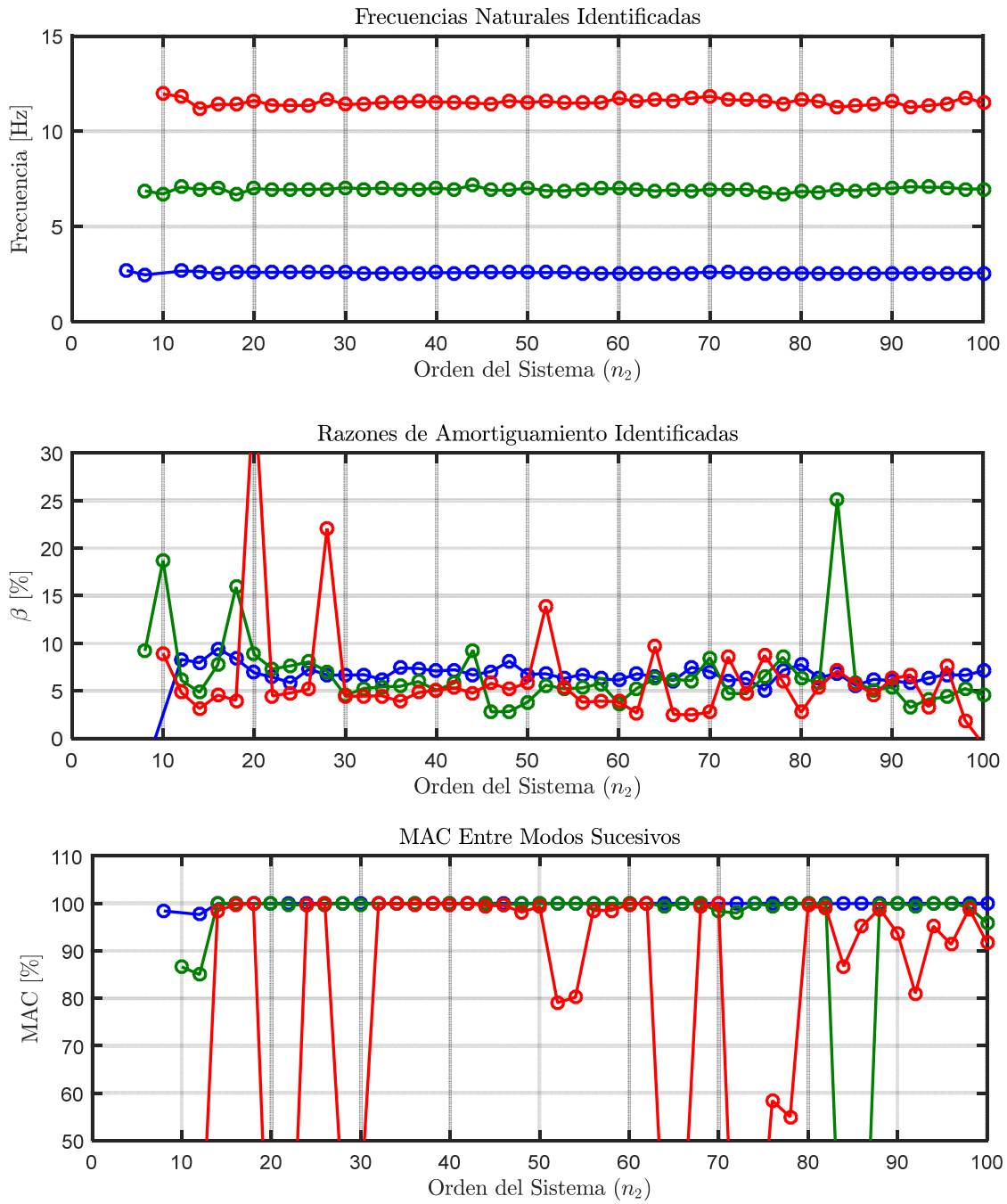


Figura 6.13: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.

### 6.4.2.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 6.4.

**Tabla 6.4: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	100
Smin	3225
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4.03
Cantidad de ventanas	553
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2
Ventana 2	22
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	82
Ventana 3	160
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	392
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	800

En la Figura 6.14, Figura 6.15 y Figura 6.16 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

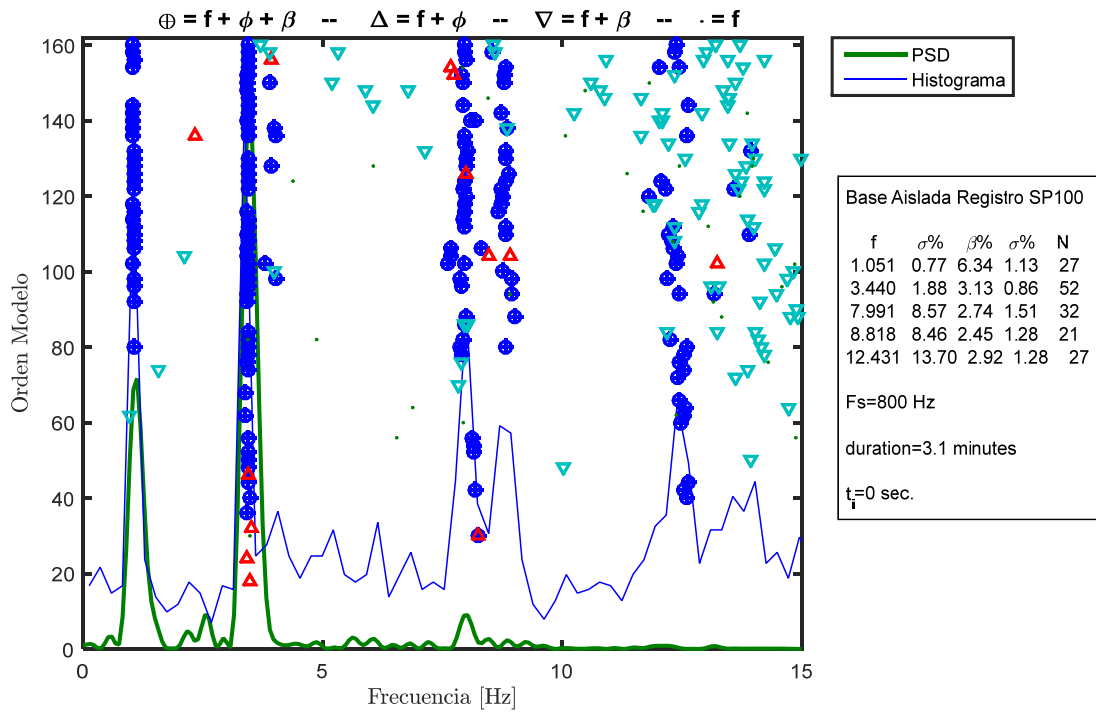


Figura 6.14: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.

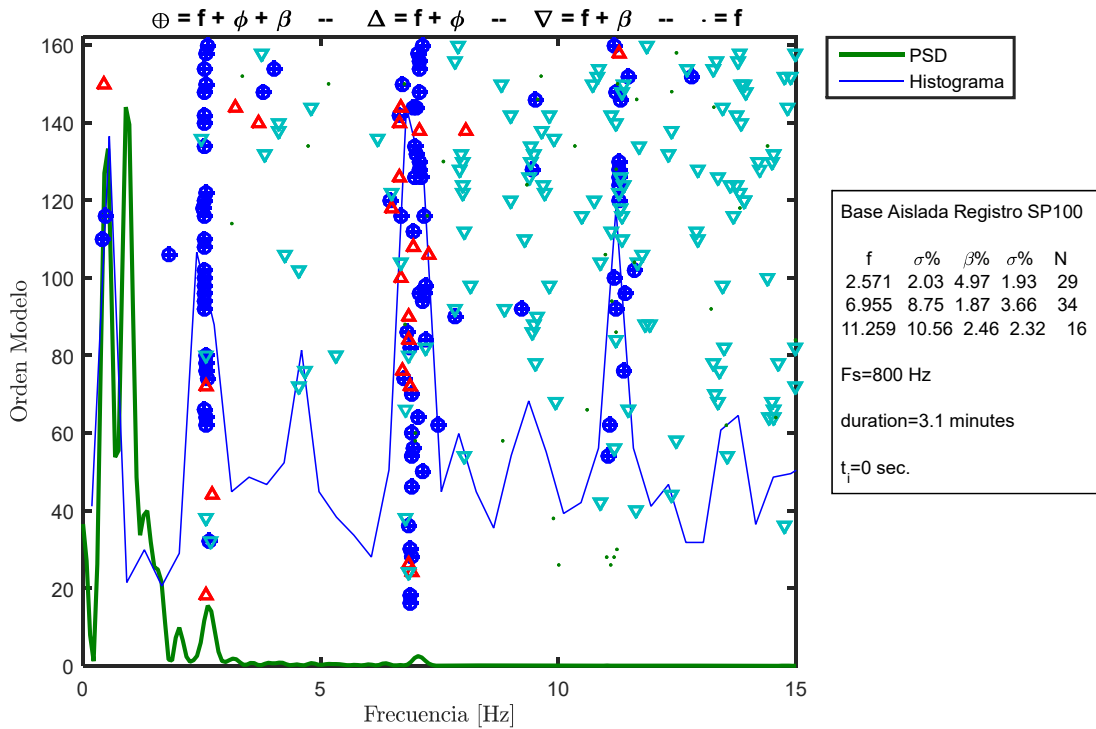


Figura 6.15: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.

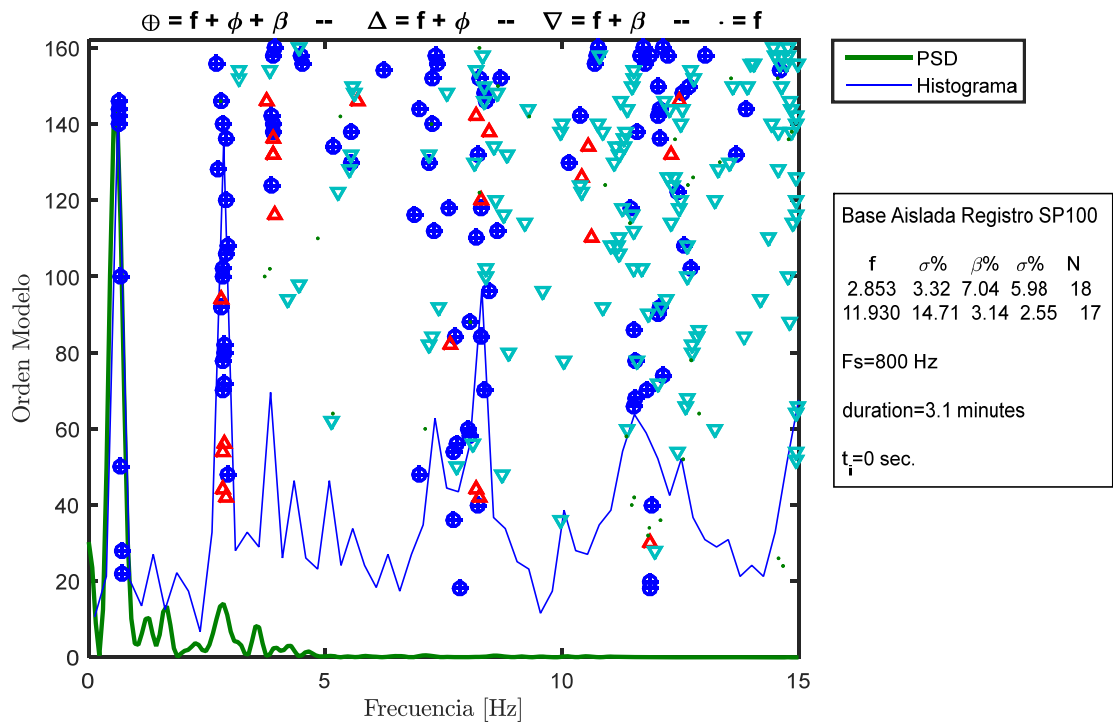


Figura 6.16: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 6.17 hasta la Figura 6.22.

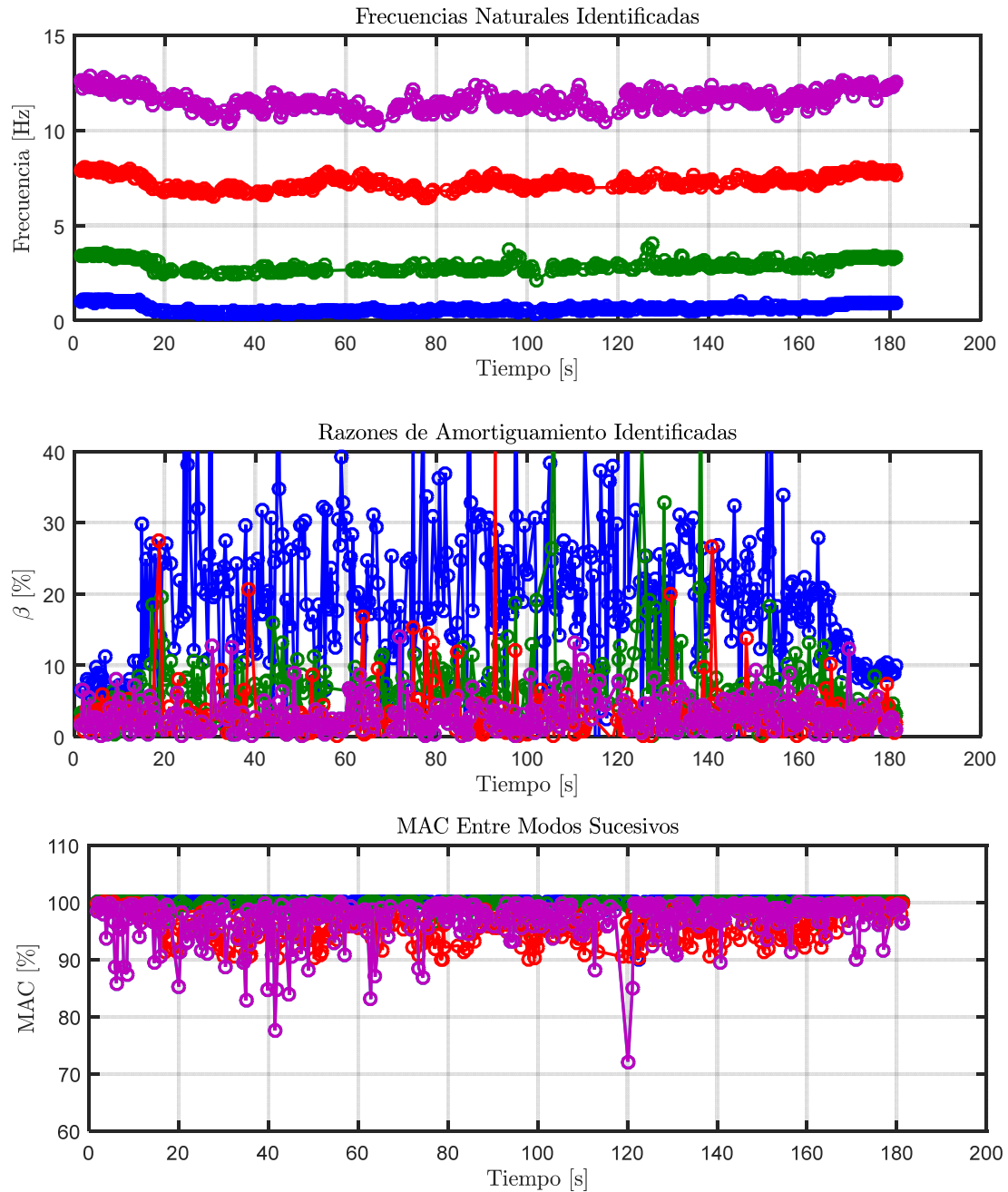
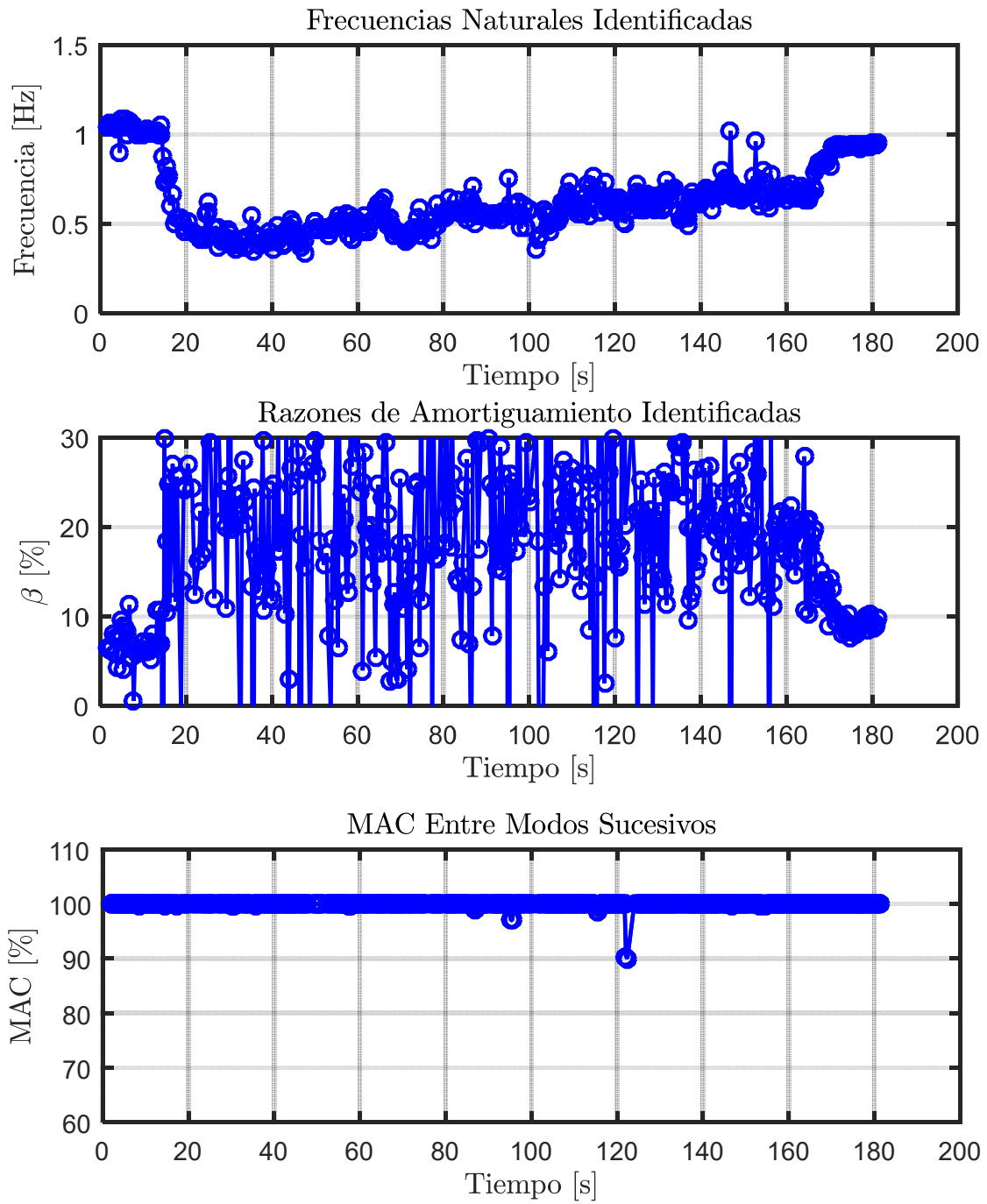


Figura 6.17: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.





**Figura 6.18: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.**

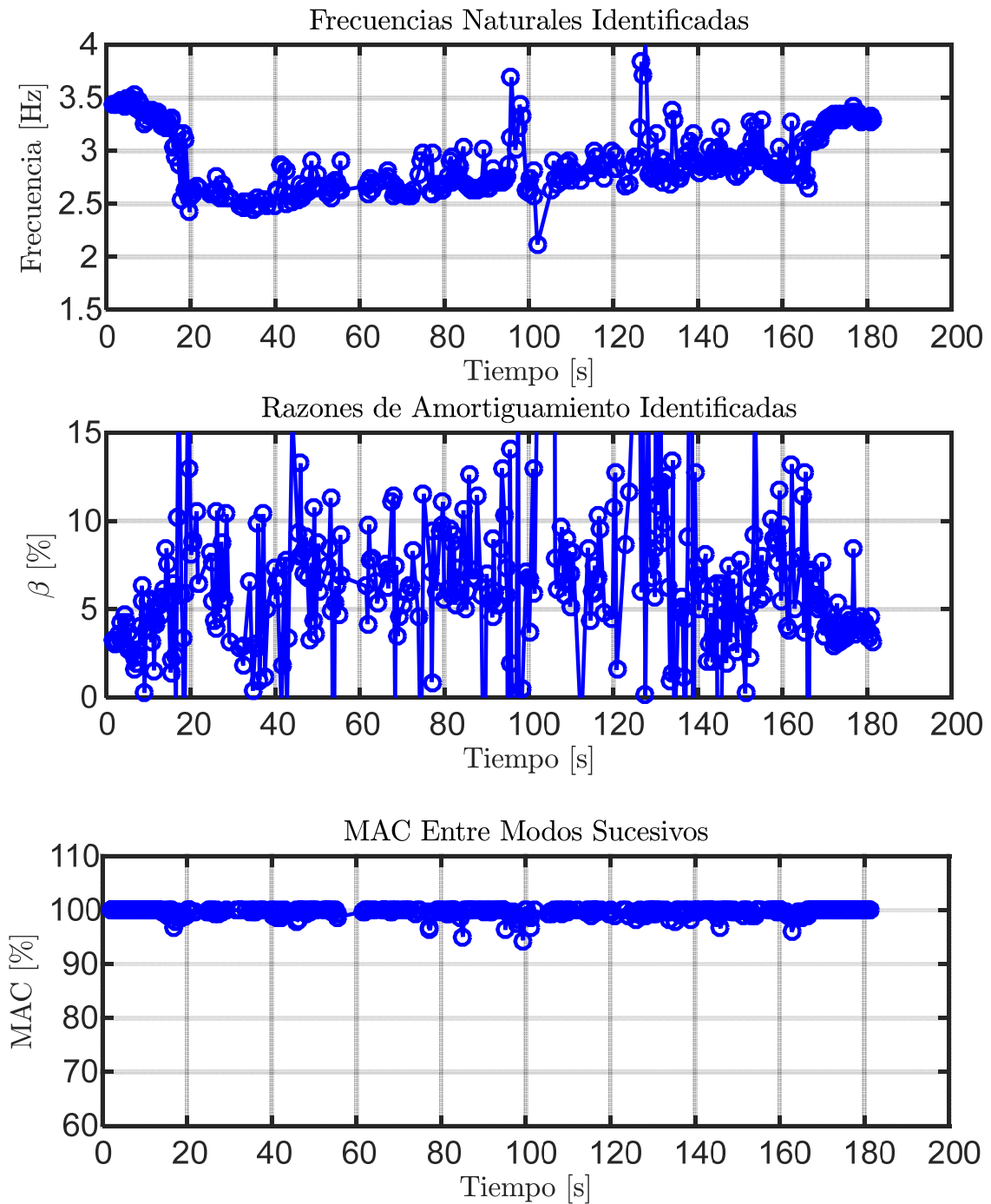
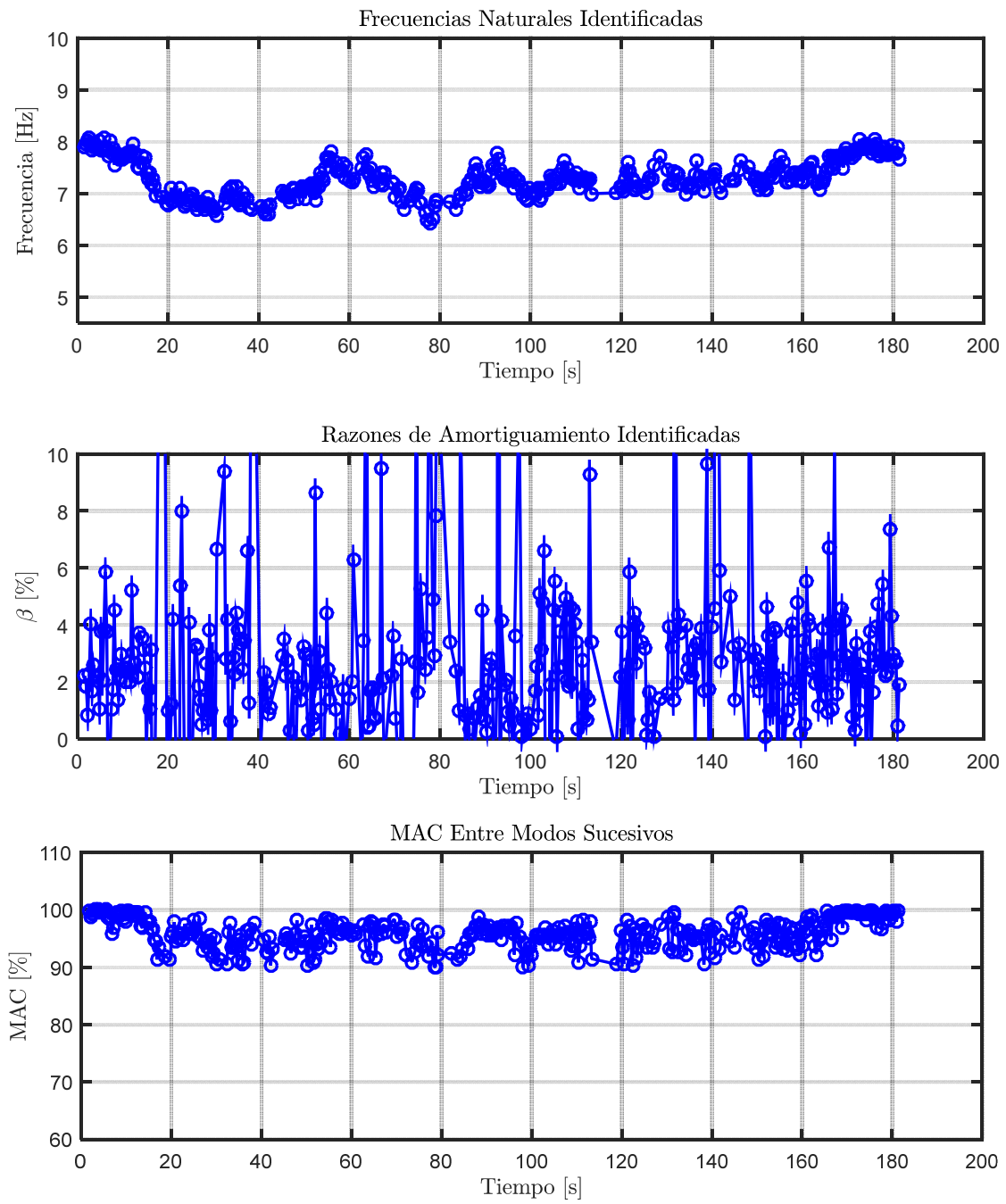


Figura 6.19: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro B14-SP100.



**Figura 6.20: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.**

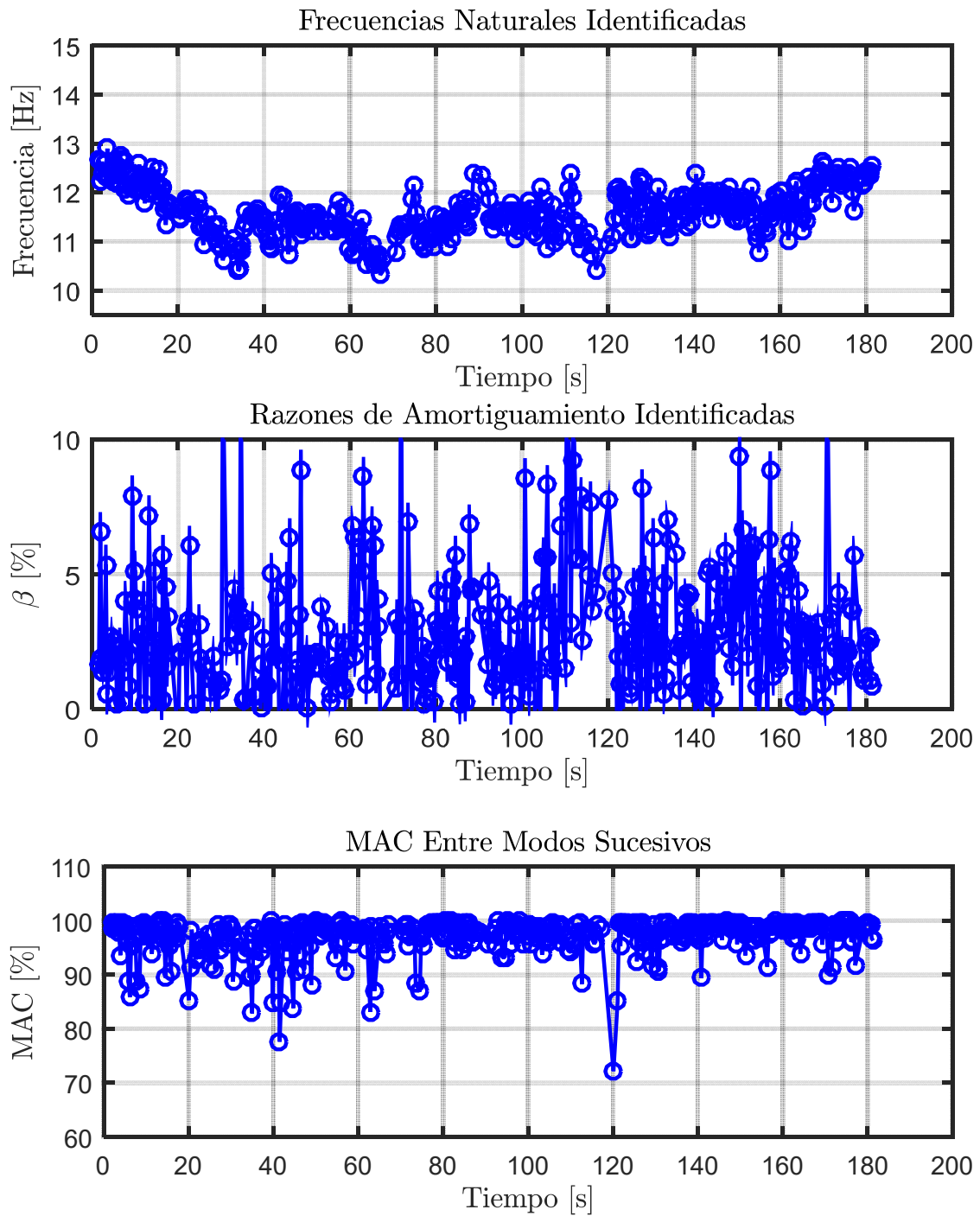


Figura 6.21: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.

Las formas modales identificadas para la primera ventana o ventana 1 se encuentran presentes en la Figura 6.22.

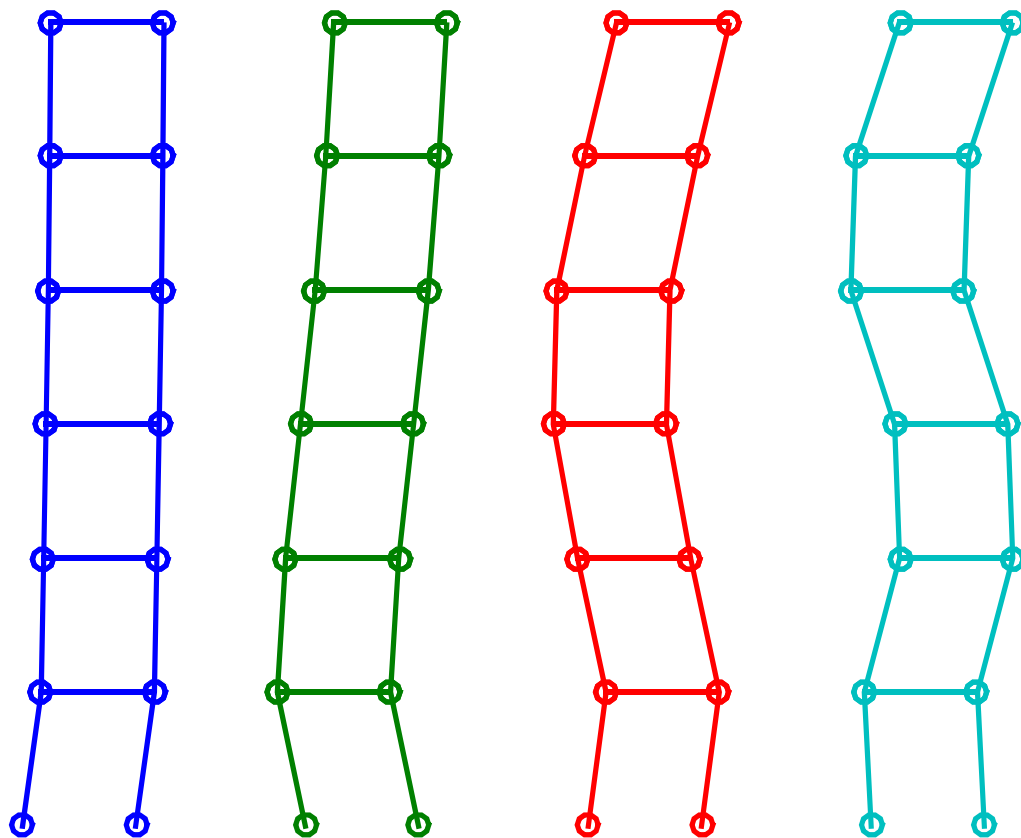


Figura 6.22: Formas modales asociadas a la primera ventana, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.

#### 6.4.2.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia (tfTF)

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo.

Además, sobre la Función de Transferencia se grafican las frecuencias modales identificadas por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo.

Para este análisis y para el de los otros casos se consideran ventanas de 10 s con un traslapeo cada 1 s. Donde los datos de entrada y salida corresponden a aceleraciones totales. Esto último con la finalidad de poder observar de mejor forma los modos superiores.

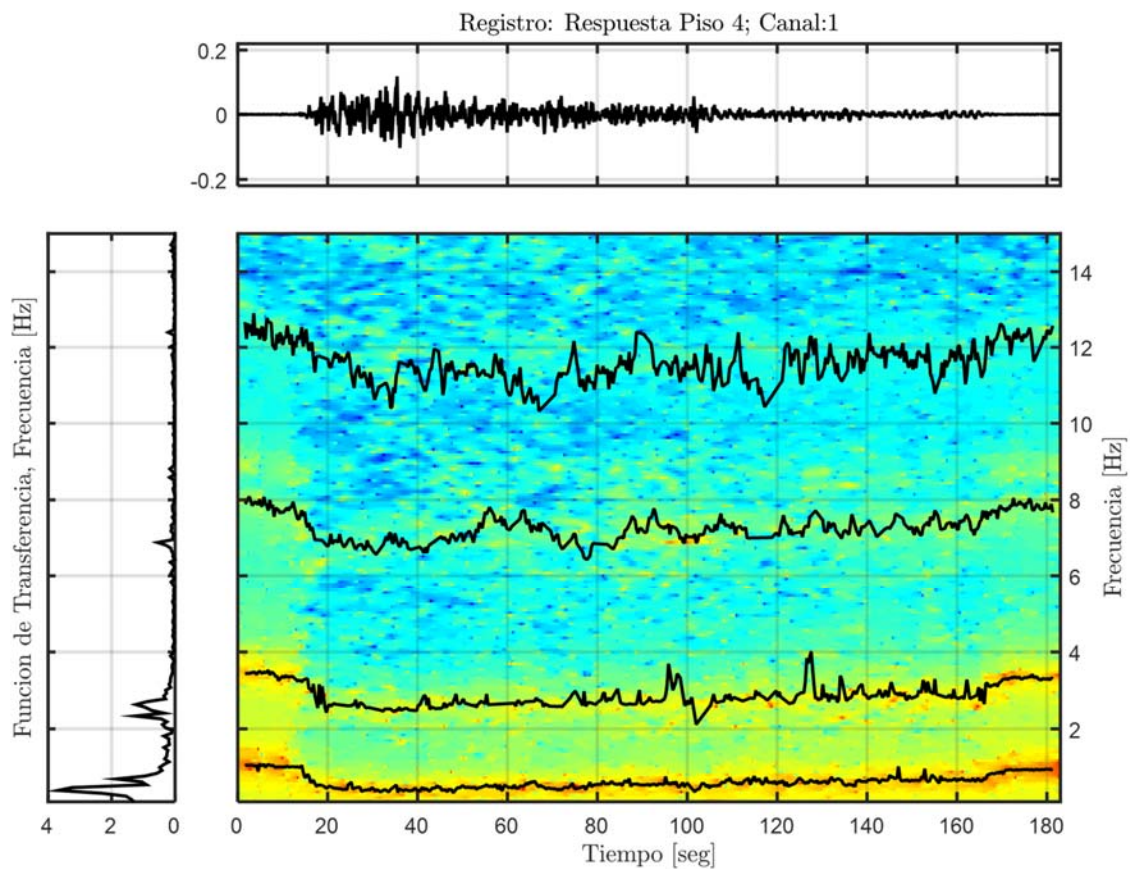


Figura 6.23: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI4-SP100.

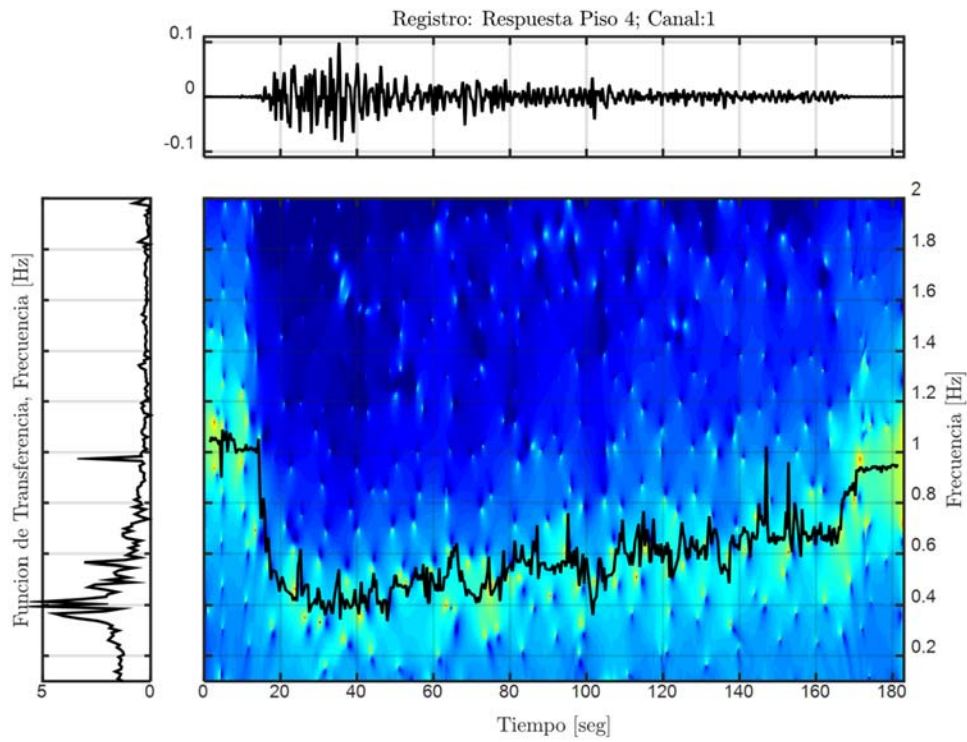


Figura 6.24: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI4-SP100.

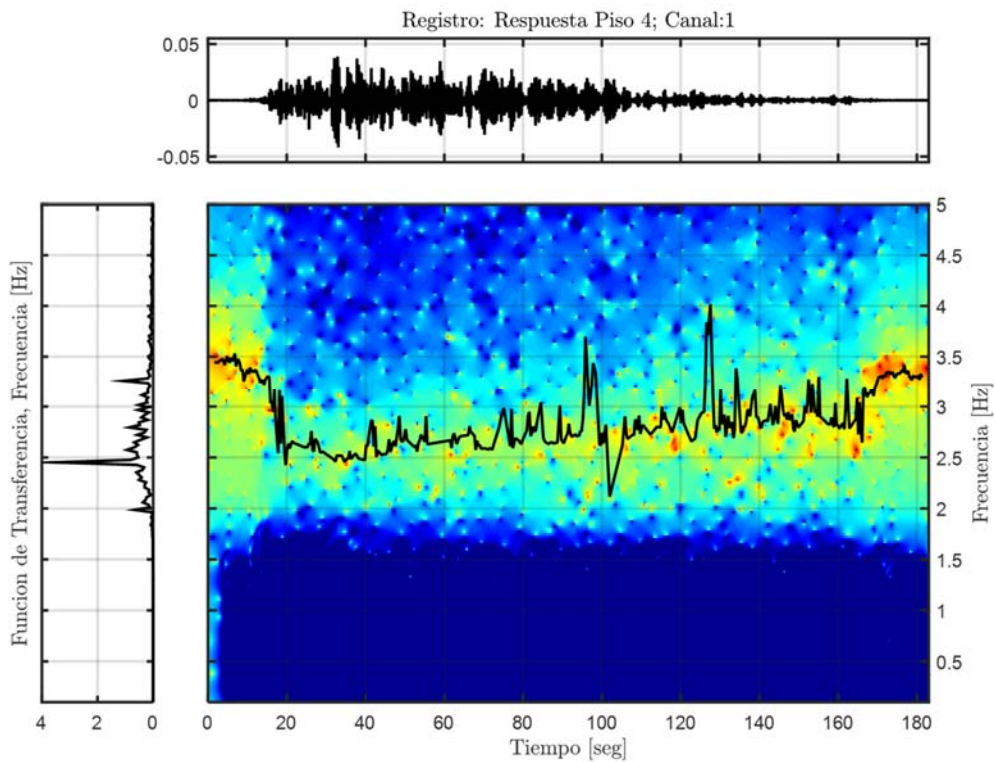


Figura 6.25: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI4-SP100.

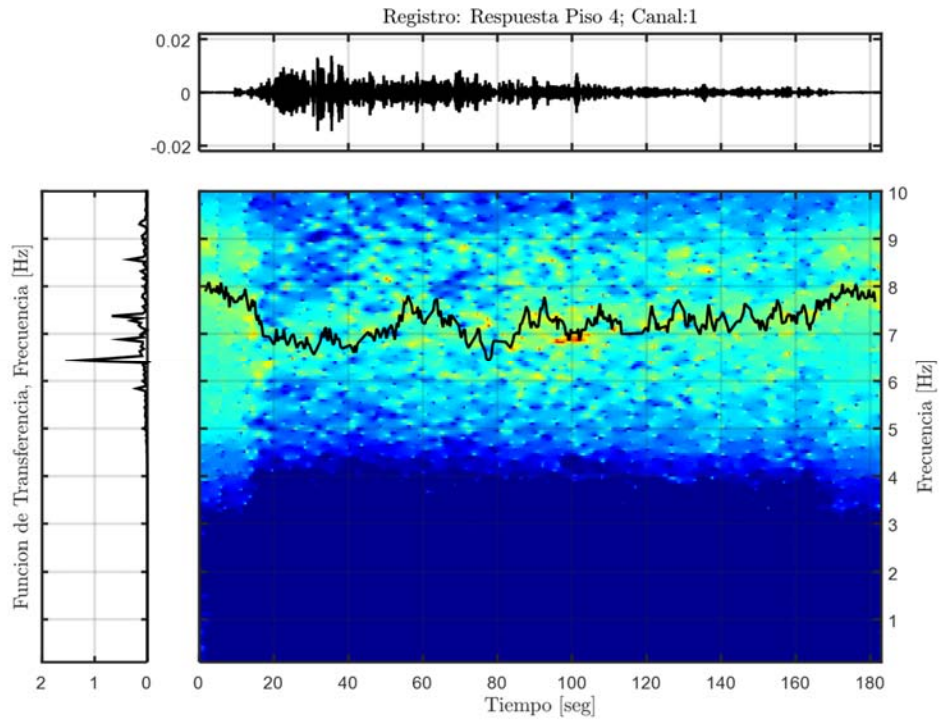


Figura 6.26: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI4-SP100.

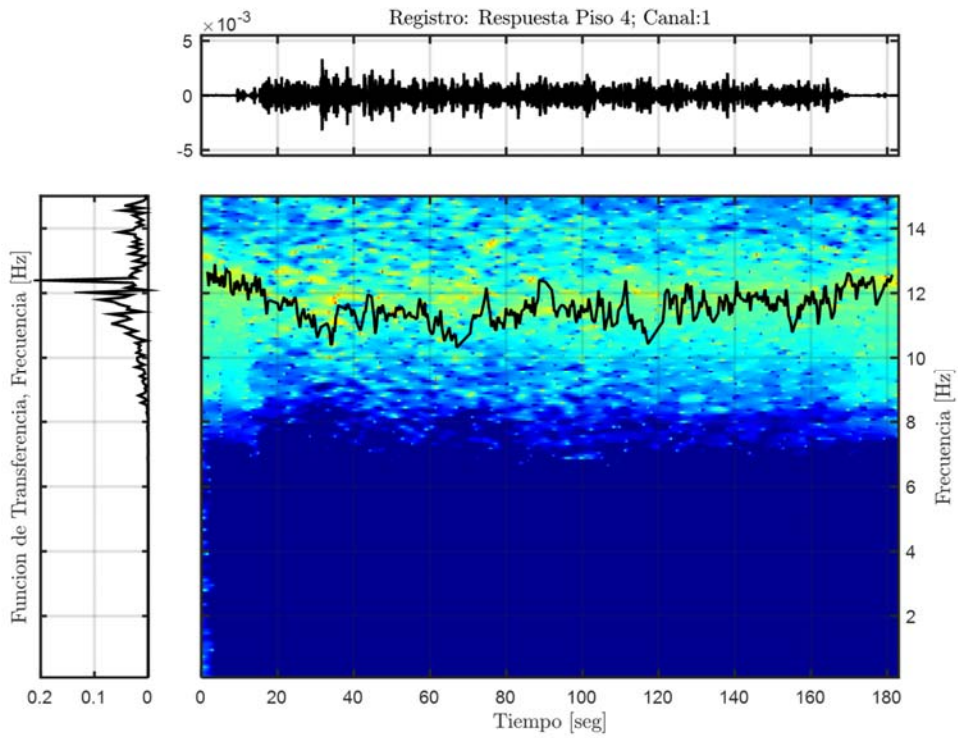


Figura 6.27: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI4-SP100.



#### 6.4.2.5 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas

**Tabla 6.5: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Astroza}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	Error (inicial) [%]	$f_{Astroza}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	Error (mínima) [%]	$f_{Astroza}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	Error (final) [%]
1	-	1,07	1,06	0,9	0,41	0,36	12,2	0,97	0,94	3,1
2	2,56	3,64	3,46	4,9	2,49	2,40	3,6	3,49	3,72	6,6
3	6,96	7,95	8,02	0,9	6,82	6,53	4,3	8,01	7,93	1,0
4	11,58	12,68	12,60	0,6	11,24	10,82	3,7	12,54	12,43	0,9

La Tabla 6.5 presenta las frecuencias modales identificadas para la estructura aislada considerando análisis invariante en el tiempo mediante el método DSI ( $f_{AI}$ ), análisis variante en el tiempo mediante el método DSI por pequeñas ventanas, mostrando los resultados para la ventana 1 o inicial ( $f_{AV}$  (inicial)), para la ventana 2 o ventana asociada al movimiento fuerte del registro ( $f_{AV}$  (mínima)) y para la ventana 3 correspondiente a la ventana asociada al movimiento débil final del registro ( $f_{AV}$  (final)). Adicionalmente, se muestran los valores obtenidos por Astroza et. al. (2017) ( $f_{Astroza}$ ) y se comparan con los identificados en esta memoria. Como se puede apreciar las frecuencias identificadas y las obtenidos por Astroza et. al. (2017) son muy similares, obteniéndose errores pequeños en general; lo cual indica que la implementación de DSI por pequeñas ventanas funciona adecuadamente.

Las frecuencias modales identificadas por pequeñas ventanas de tiempo por el método Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo, presentes desde la Figura 6.23 hasta la Figura 6.27, coinciden de buena forma con las determinadas por el método DSI por pequeñas ventanas.

Se puede apreciar como las propiedades dinámicas obtenidas por el análisis invariante en el tiempo considerando el registro completo no es representativo para la estructura aislada ya que al ser una estructura no-lineal se espera variaciones de sus propiedades dinámicas a lo largo del registro.

En la Figura 6.28 se resumen las frecuencias modales identificadas asociadas a los 4 modos longitudinales del edificio BNCS aislado a lo largo de todos los eventos sísmicos definidos en el protocolo de ensayo (ver Tabla 6.1). Se observa que, al comienzo de cada evento sísmico, el movimiento de entrada muestra bajas amplitudes y se tienen valores altos de frecuencia. A medida que la amplitud asociada al movimiento de entrada (input) aumenta durante la fase del movimiento fuerte, la frecuencia identificada disminuye, pero tiende a recuperarse en la parte final de cada ensayo alcanzando valores similares a los del inicio del ensayo. En base a esto se determina que el sistema de aislación presenta un comportamiento no lineal y que la superestructura no debió sufrir daño significativo.

De forma similar a los resultados obtenidos por Astroza, et al. (2017) la frecuencia identificada, tanto al inicio como al final de cada ensayo es similar a la frecuencia identificada por pruebas de vibración ambiental (VA). Esto para los tres primeros modos de vibrar.

Confirmando la alta rigidez lateral que aportan los aisladores (HDRB) para solicitaciones de baja amplitud.

Para los valores menores asociados a las frecuencias identificadas del primer modo de vibrar, se observa que están correctamente relacionadas con los valores obtenidos por Chen et.al. (2016), (presentes con trazos de línea negra en la Figura 6.28) utilizando datos de desplazamiento de techo del edificio y el método TDO (Time Domain Optimization), el cual solo permite estimar la frecuencia y amortiguamiento del primer modo de vibrar.

De igual forma que Astroza et al. (2017) se observa que la frecuencia identificada al final de cada prueba sísmica es ligeramente inferior a la identificada al comienzo de la siguiente prueba sísmica (ver Tabla 6.6 y Figura 6.8). Lo cual sugiere que parte de la rigidez degradada durante la prueba sísmica no se recupera inmediatamente, pero si prácticamente completa al comienzo de la siguiente prueba. Este efecto se conoce como el efecto de Mullins (Astroza, et al., 2017).

Tal como se muestra en la Tabla 6.6 se muestra adicionalmente que las frecuencias identificadas al comienzo de los registros (en este caso para el registro B14-SP100) son similares a las obtenidas para la estructura completa sujeta a vibraciones ambientales (VA).

**Tabla 6.6: Variación de las frecuencias identificadas en el tiempo, estructura aislada BNCS, registro BI4-SP100.**

Modos	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	Variación [%]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	Variación [%]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{VA}$ (Astroza) [Hz]	Variación [%]
1	1,06	0,36	66,0	1,06	0,94	11,3	1,06	1,18	10,2
2	3,46	2,40	30,6	3,46	3,72	7,5	3,46	3,58	3,5
3	8,02	6,53	18,6	8,02	7,93	1,1	8,02	8,15	1,5
4	12,60	10,82	14,1	12,60	12,43	1,3	12,60	-	-

Para los modos superiores se puede apreciar que experimentan una reducción de las frecuencias identificadas ya que estos modos tienen asociado deformación del sistema de aislación, además la respuesta de la superestructura no es perfectamente elástica-lineal. Cabe señalar que la variación que sufren en sus frecuencias es mucho menor en relación al primer modo de vibrar.

La obtención de frecuencias similares entre el primer evento sísmico y el último, asociados a la estructura aislada, indica que el edificio no sufrió degradación de rigidez permanente durante los ensayos, por lo cual no presentó daño estructural significativo. Esto se confirmó mediante inspección visual luego del último ensayo sísmico (BI7-ICA140) (Astroza, et al., 2017).

La Figura 6.29 presenta la variación de las razones de amortiguamiento identificadas para los cuatro modos de vibrar del edificio aislado BNCS a lo largo de todo el protocolo de ensayo. De igual forma a la Figura 6.28, se presentan con línea discontinua negra las razones de amortiguamiento determinadas por pruebas de vibraciones ambientales (VA) (Astroza, et al., 2015) y con trazos de línea negra la razón de amortiguamiento determinadas utilizando datos de desplazamiento de techo del edificio y el método TDO (Chen, et al., 2016).

Se aprecia que la variación de las razones de amortiguamiento entre movimiento de baja amplitud y movimiento fuerte se comporta de forma similar a las obtenidas por Astroza et. al. (2017). Donde se aprecia que para el primer modo la razón de amortiguamiento asociada al inicio y final del movimiento es del orden de un 5 % y alcanza valores del orden de un 20 – 25 % durante el movimiento fuerte. Los valores iniciales están en excelente concordancia con los identificados usando vibraciones ambientales (VA).

Para los modos superiores también se aprecia un aumento de la razón de amortiguamiento durante el movimiento fuerte, pero este no es de magnitudes similares que las asociadas al primer modo.

En la Figura 6.30 se puede apreciar la variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales (asociadas a las identificadas para la ventana 1 o inicial) y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayo. Se observa que se obtuvieron valores cercanos a 1 para prácticamente todas las ventanas, por lo cual se puede deducir que no varían las formas modales a lo largo del protocolo de ensayo.

En base a los resultados de identificación obtenidos para el edificio aislado BNCS y para los modelos numéricos en SAP2000 de la estructura anterior, queda validada la implementación del método DSI y el de Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo.

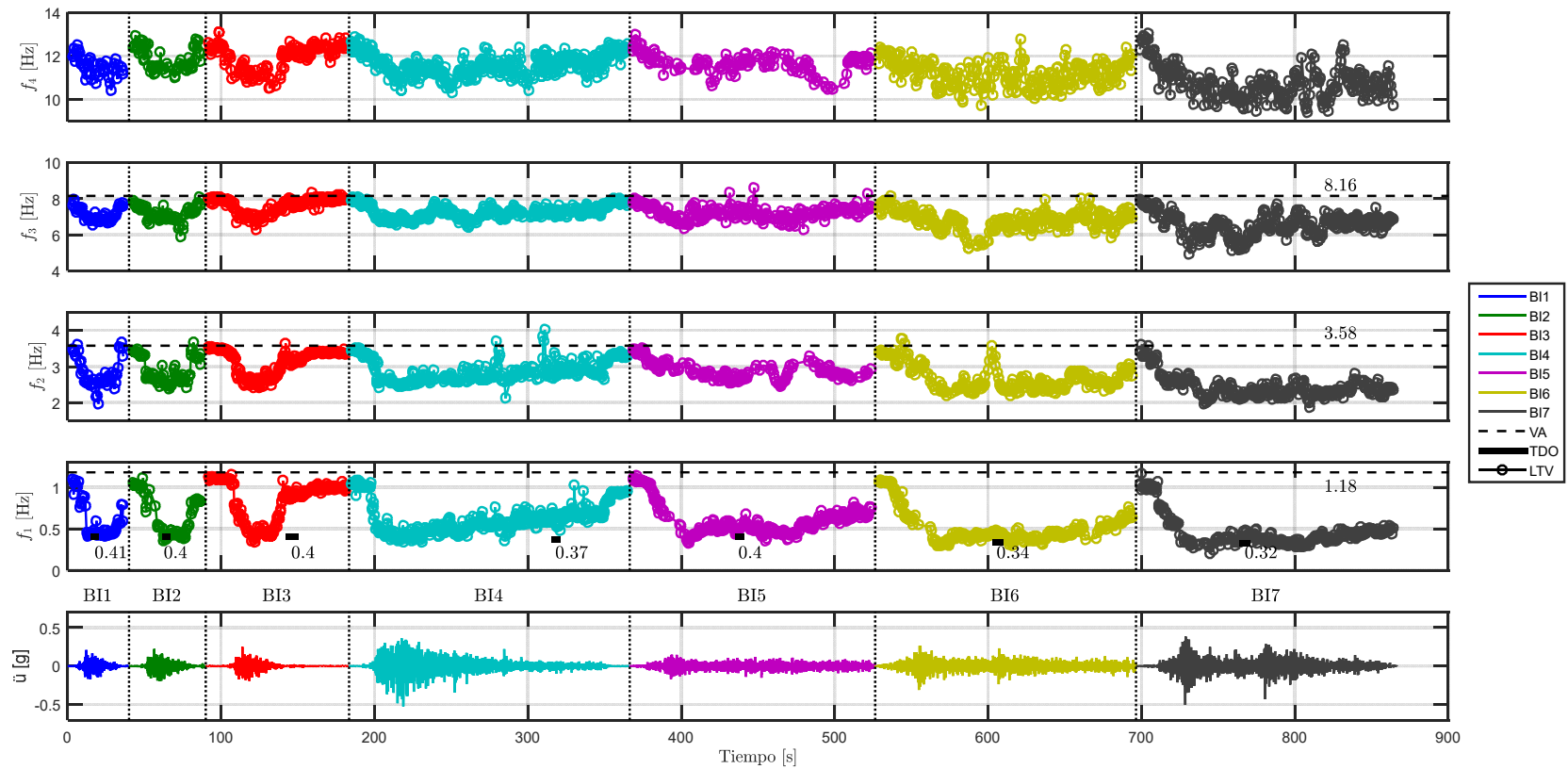


Figura 6.28: Variación temporal de la frecuencia de vibración identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada.

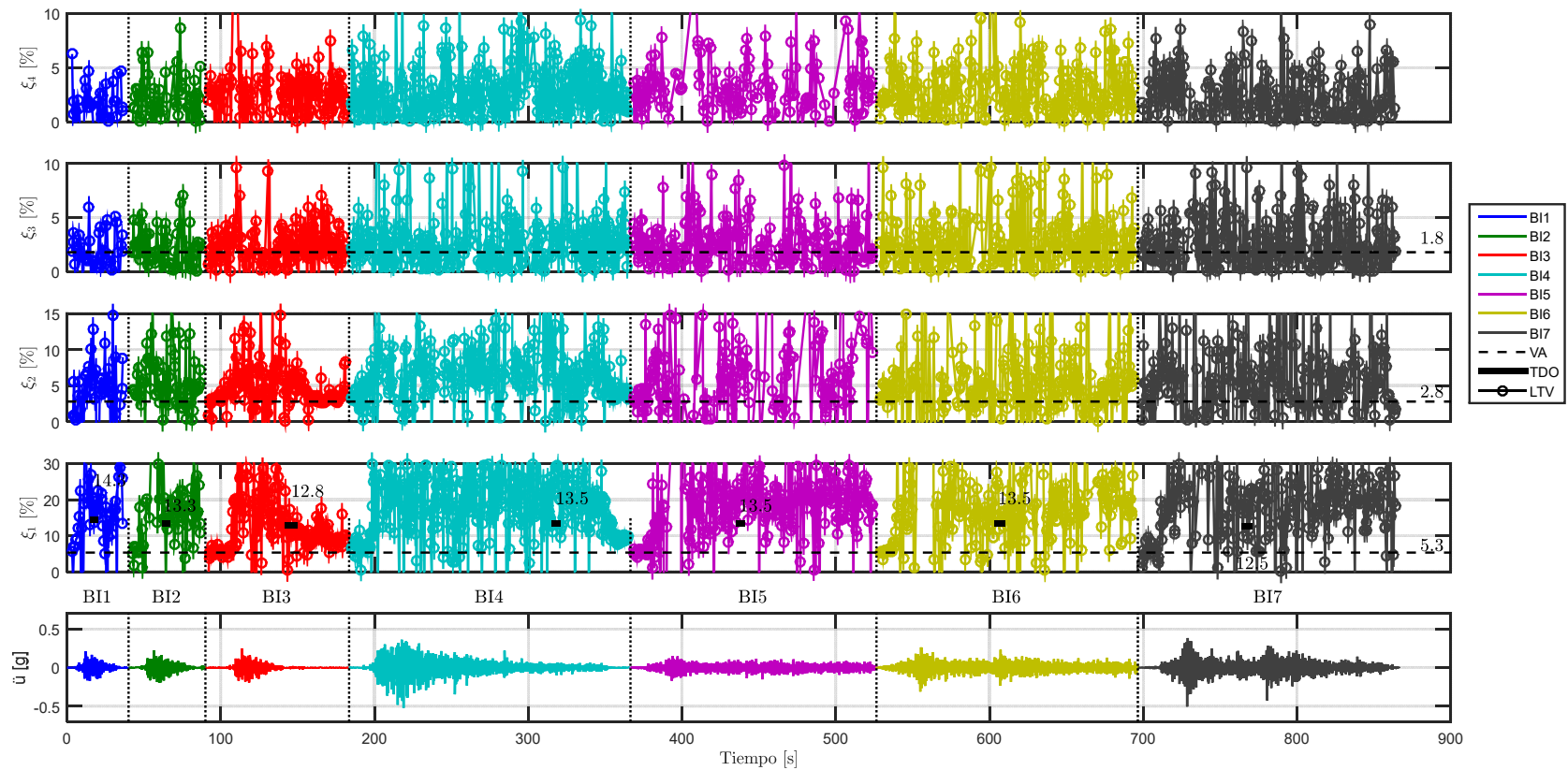


Figura 6.29: Variación temporal de la razón de amortiguamiento identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada.

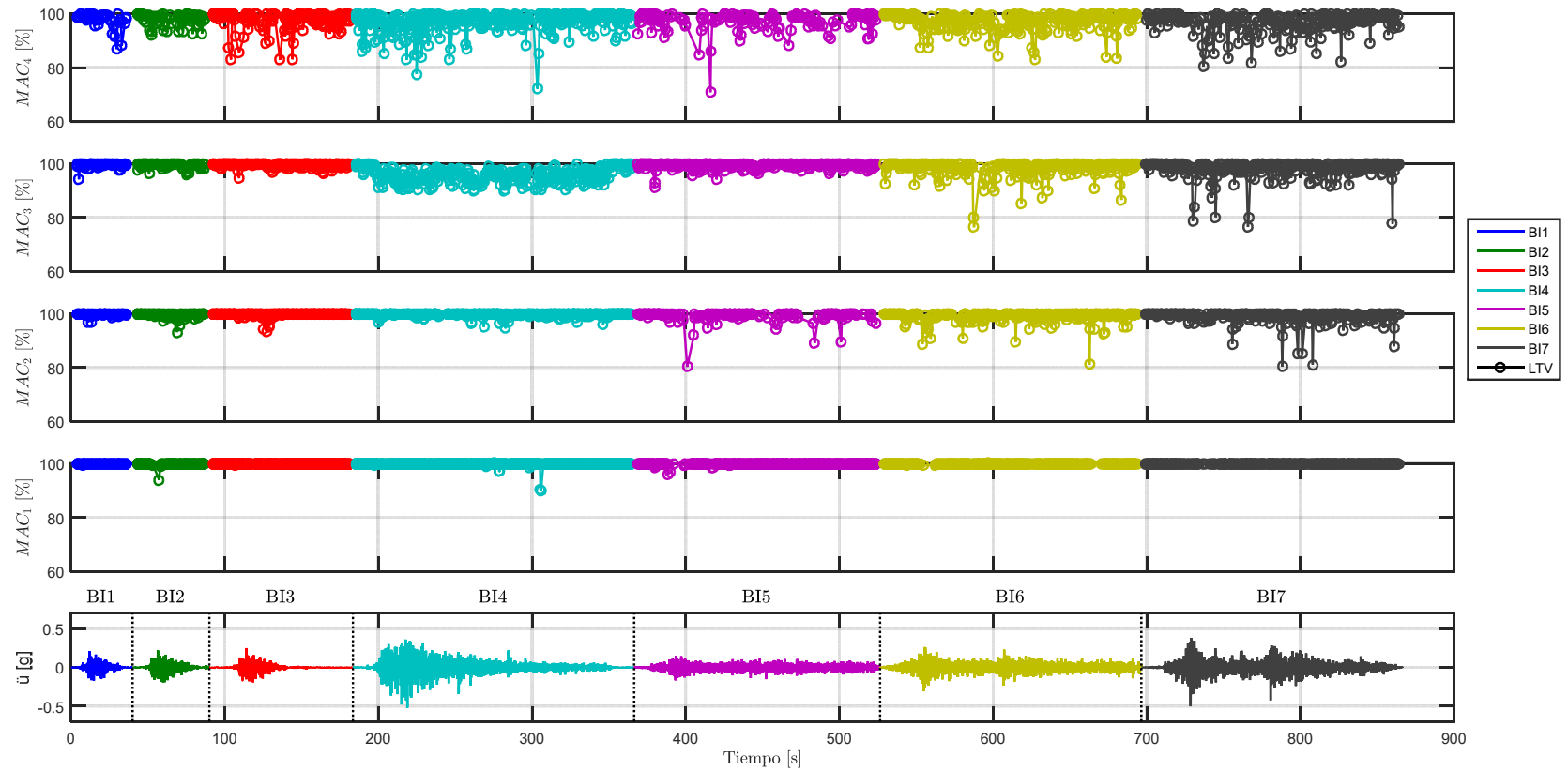


Figura 6.30: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada.

## 6.5 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras

### 6.5.1 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI4-SP100

Se realizó la identificación de propiedades dinámicas para la estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras para todos los eventos sísmicos presentes en el protocolo de ensayo. Esta sección se muestran los resultados correspondientes al evento BI4-SP100, ya que este evento es el que representa de mejor forma el caso chileno y porque anteriormente se presenta los resultados para estructura aislada asociados al mismo evento sísmico. El resto de los eventos se encuentran analizados en el Anexo C (Sección 10.3).

#### 6.5.1.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras, la respuesta del nivel de aislación, es decir el canal 66, presente en la Figura 6.31. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales 6, 18, 30, 42, 54, presentes en la Figura 6.32.

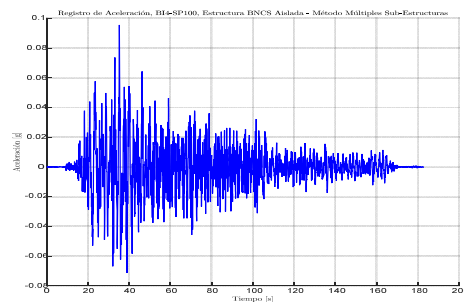


Figura 6.31: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100.

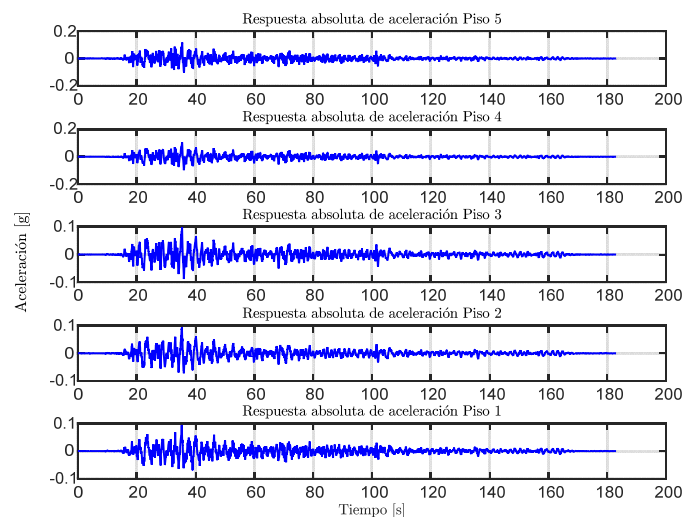


Figura 6.32: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100.

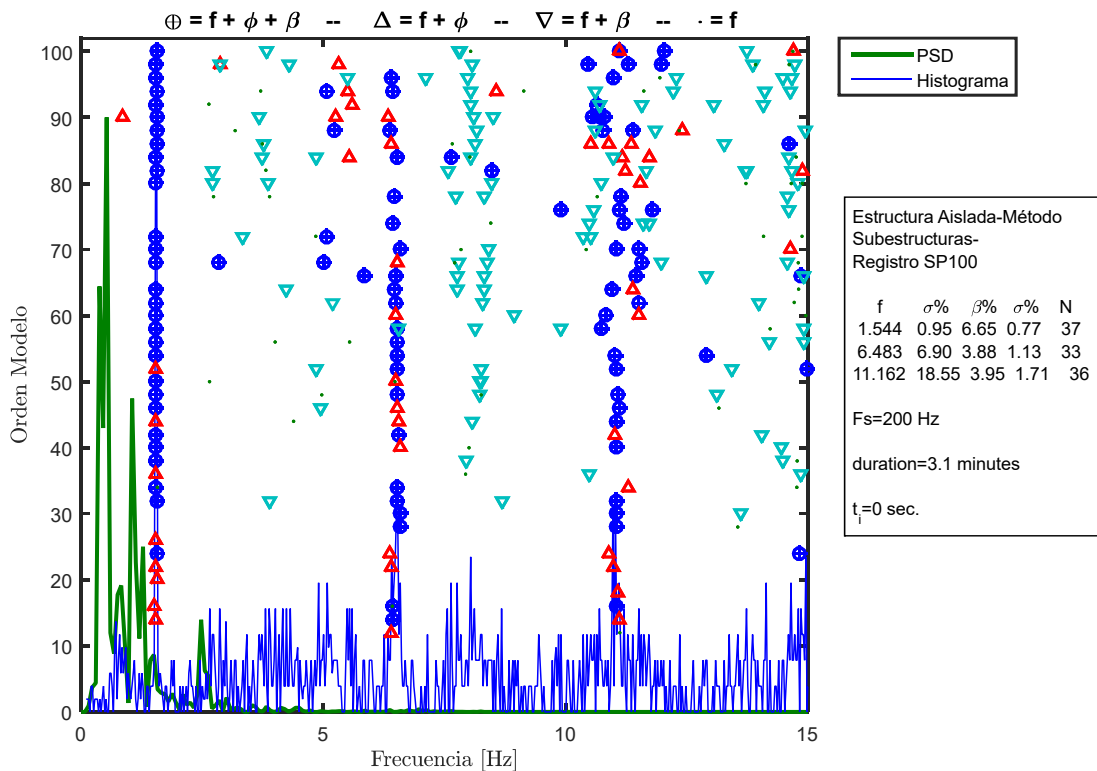
### 6.5.1.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 6.7.

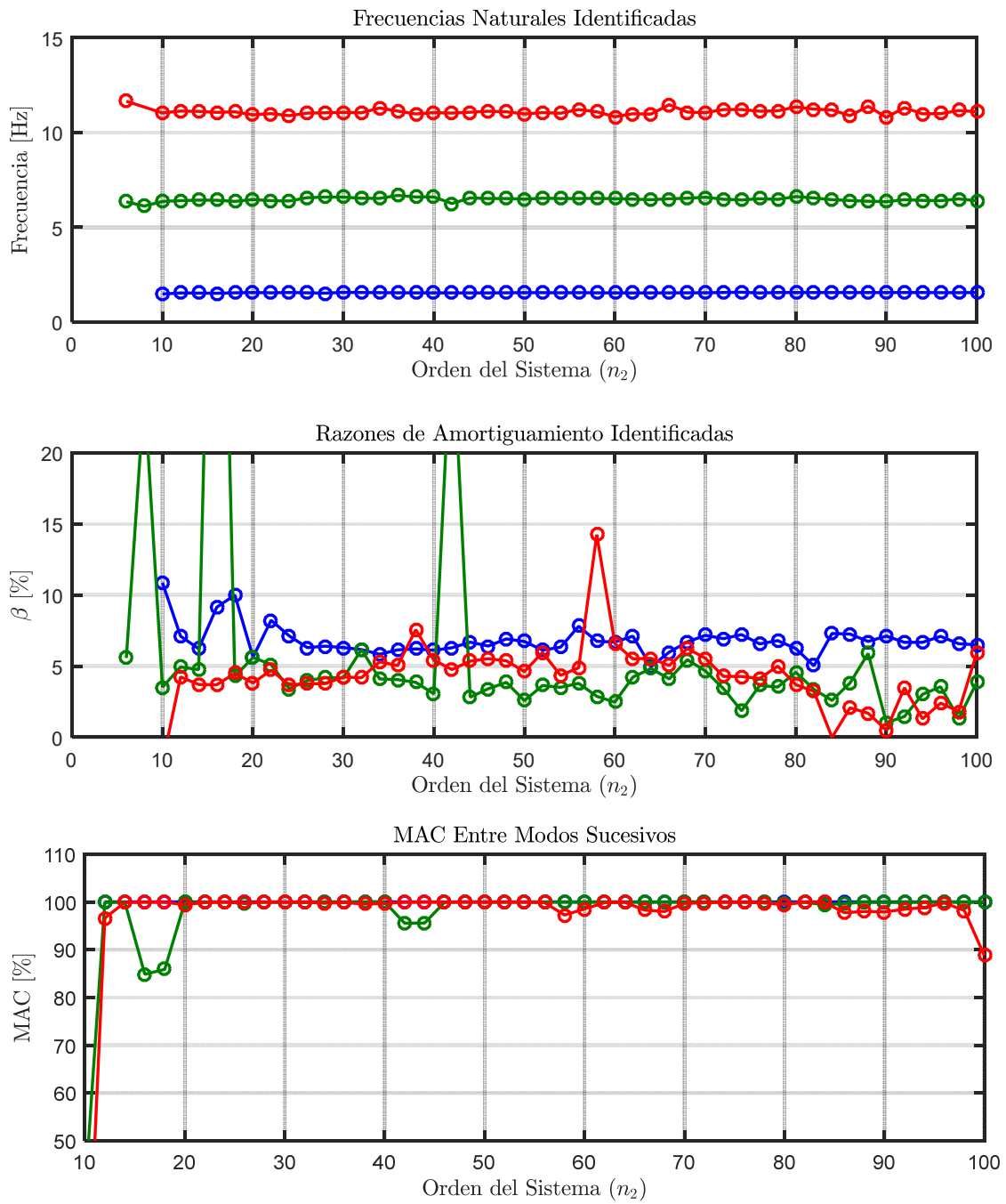
**Tabla 6.7: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI4-SP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 6.33: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.**





**Figura 6.34:** Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI4-SP100.

### 6.5.1.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 6.8.

**Tabla 6.8: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	80
Smin	2263
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	3,77
Cantidad de ventanas	474
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	1,5
Ventana 2	72
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	25
Ventana 3	400
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	120
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resamplio [Hz]	600

En la Figura 6.35, Figura 6.36 y Figura 6.37 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

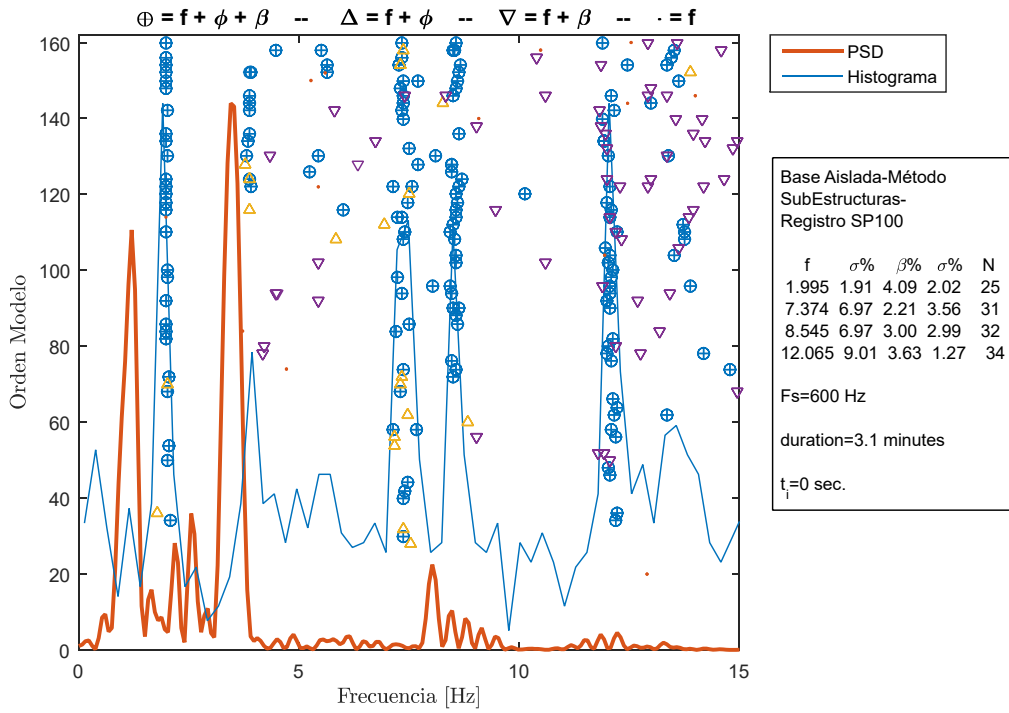


Figura 6.35: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI4-SP100.

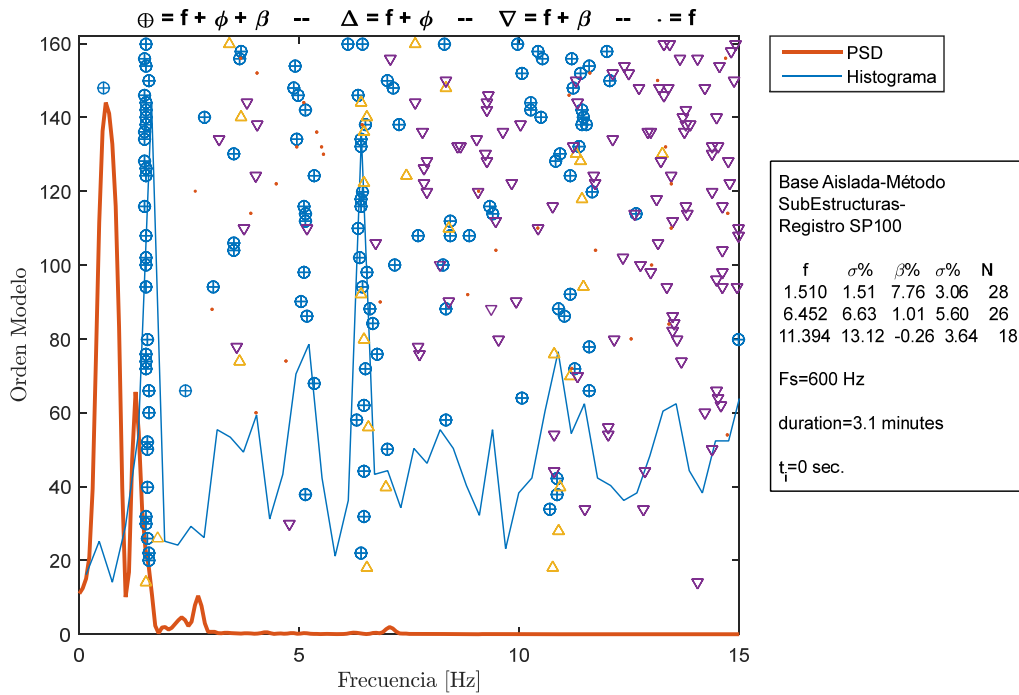
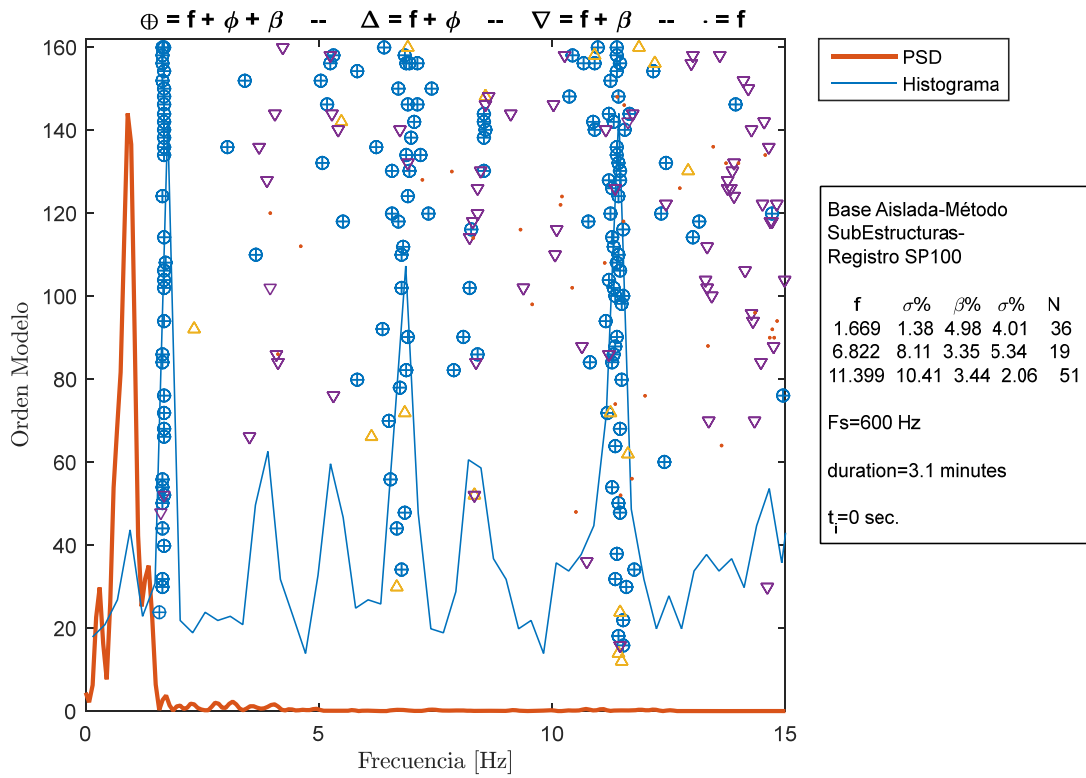


Figura 6.36: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI4-SP100.



**Figura 6.37: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro B14-SP100.**

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 6.38 hasta la Figura 6.43.

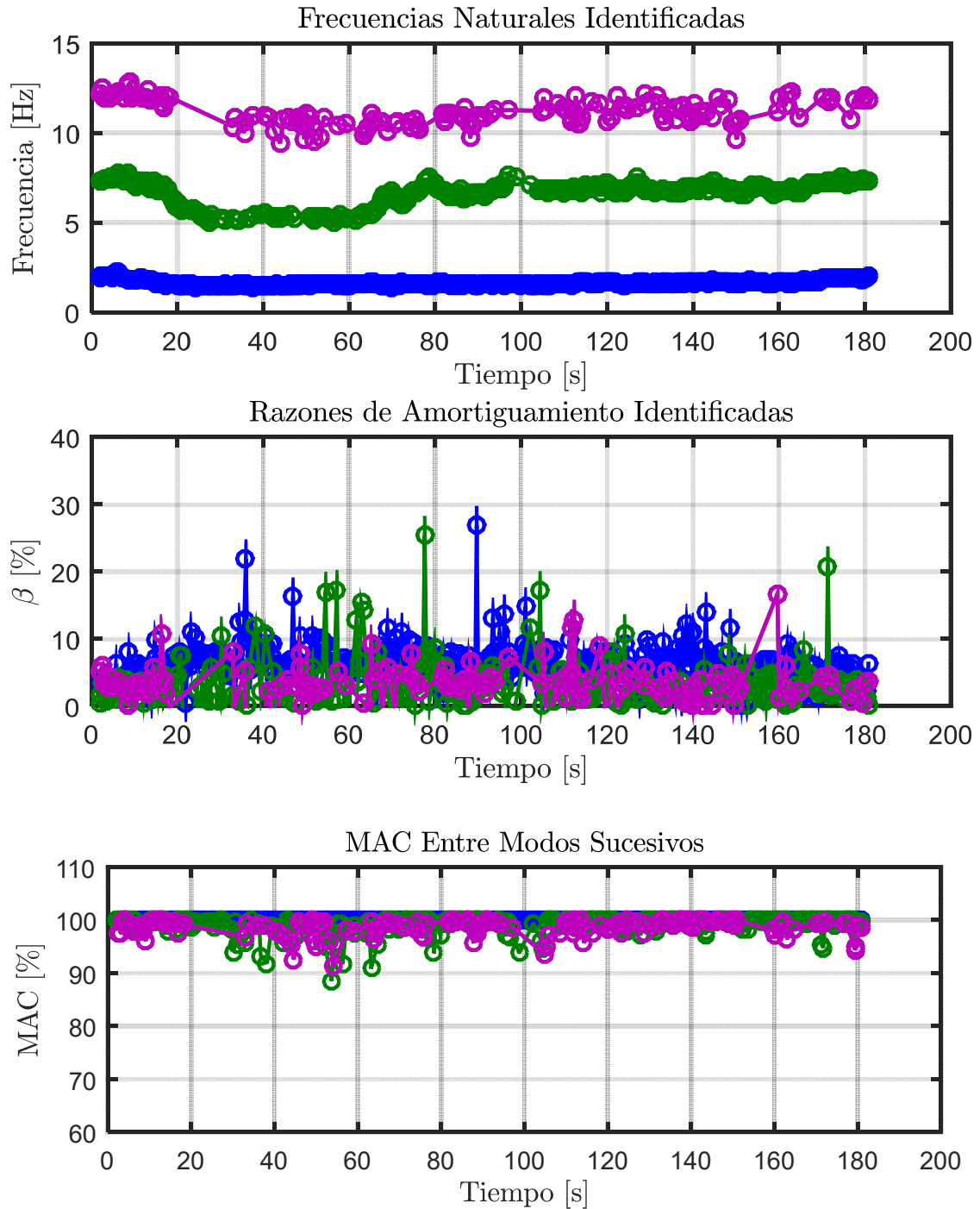


Figura 6.38: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.

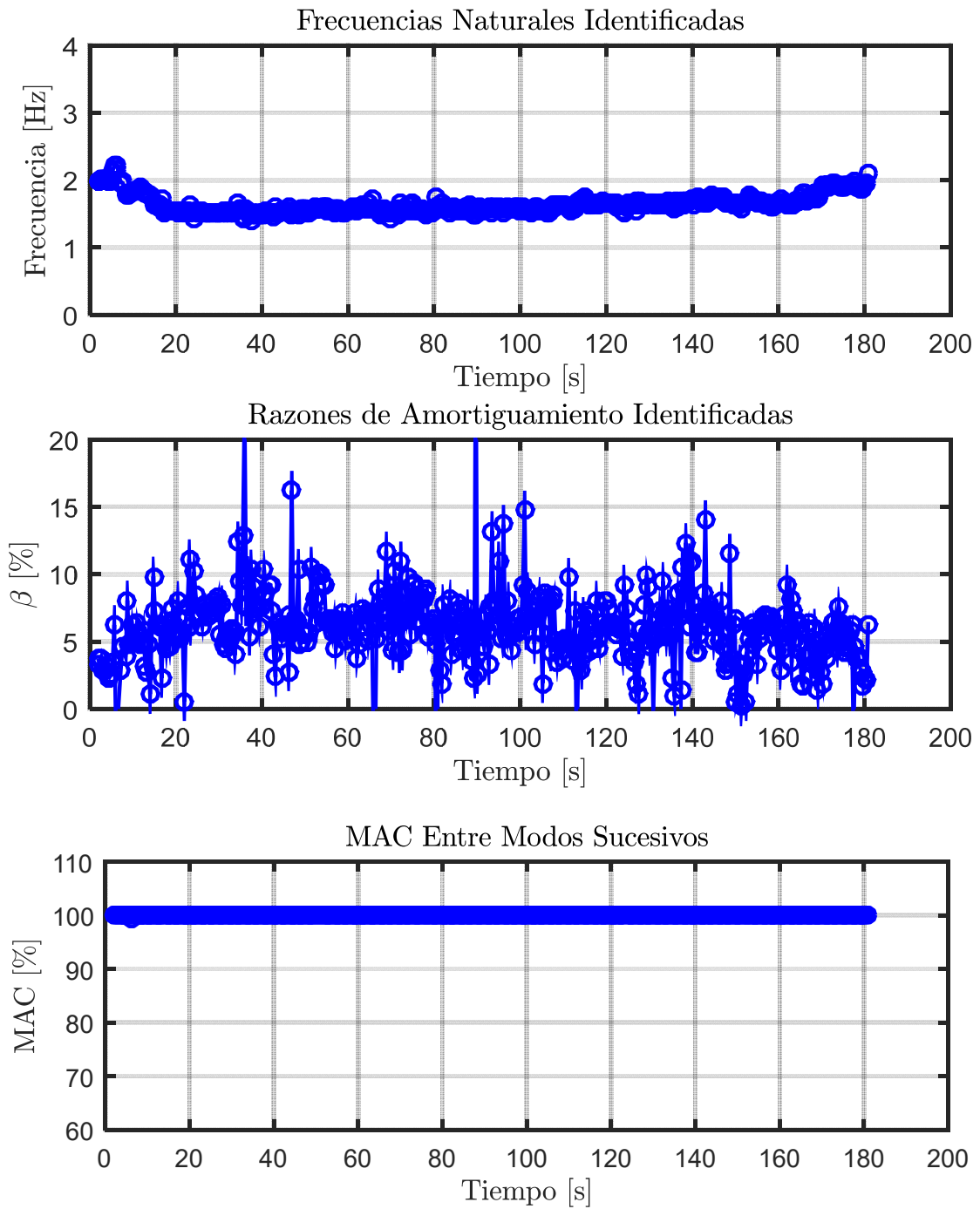


Figura 6.39: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.

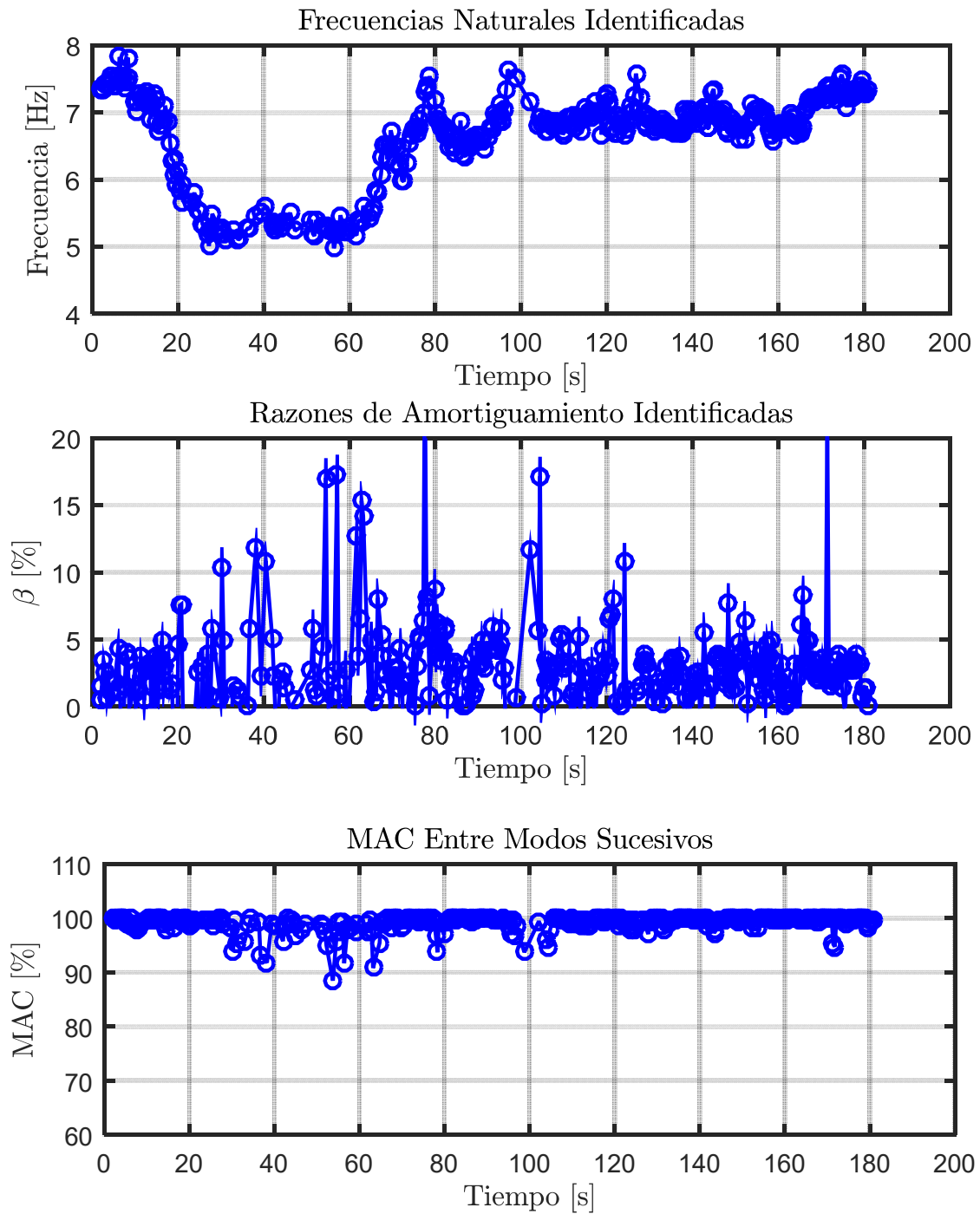


Figura 6.40: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.

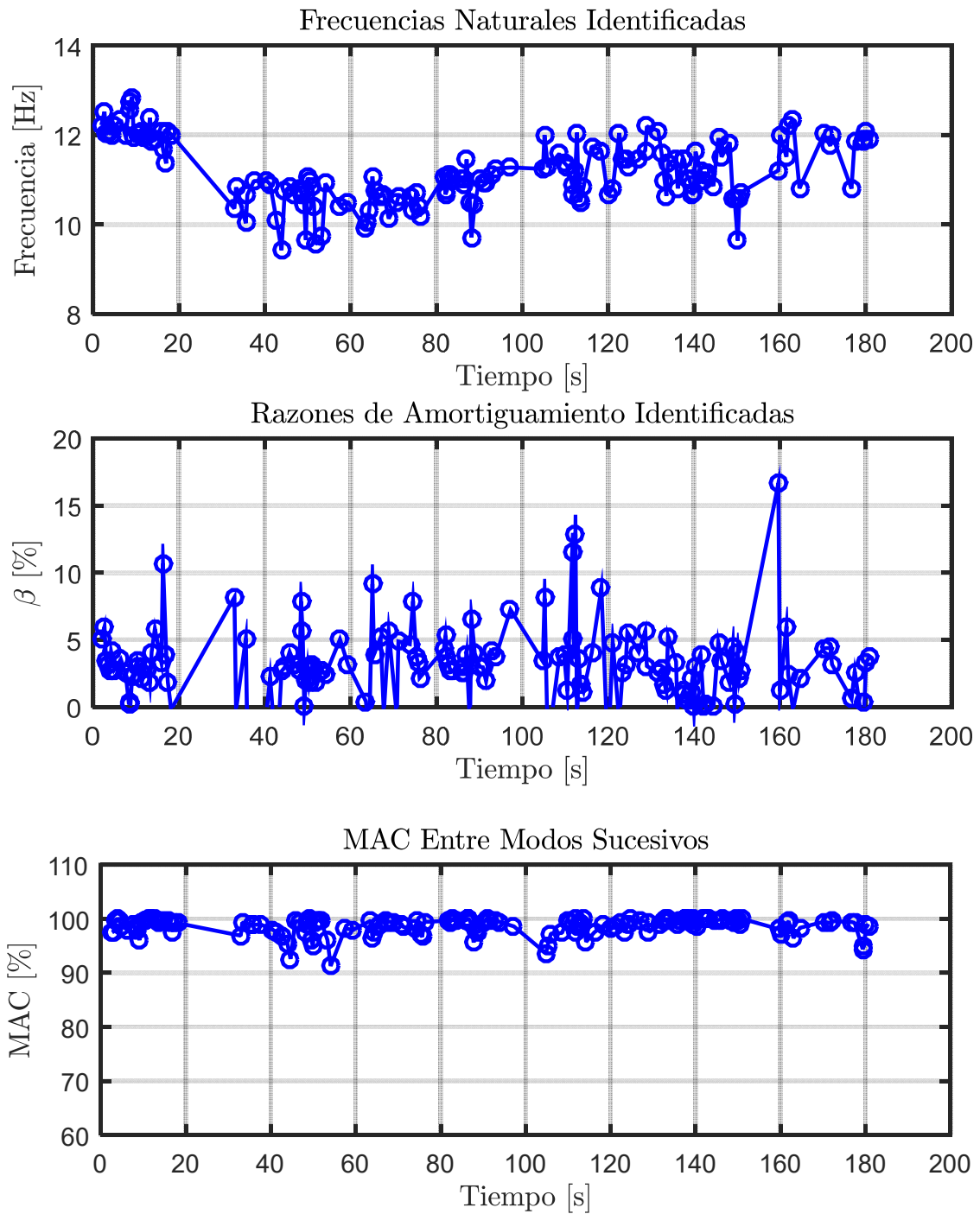


Figura 6.41: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.



Las formas modales identificadas para la primera ventana o ventana 1 se encuentran presentes en la Figura 6.42.

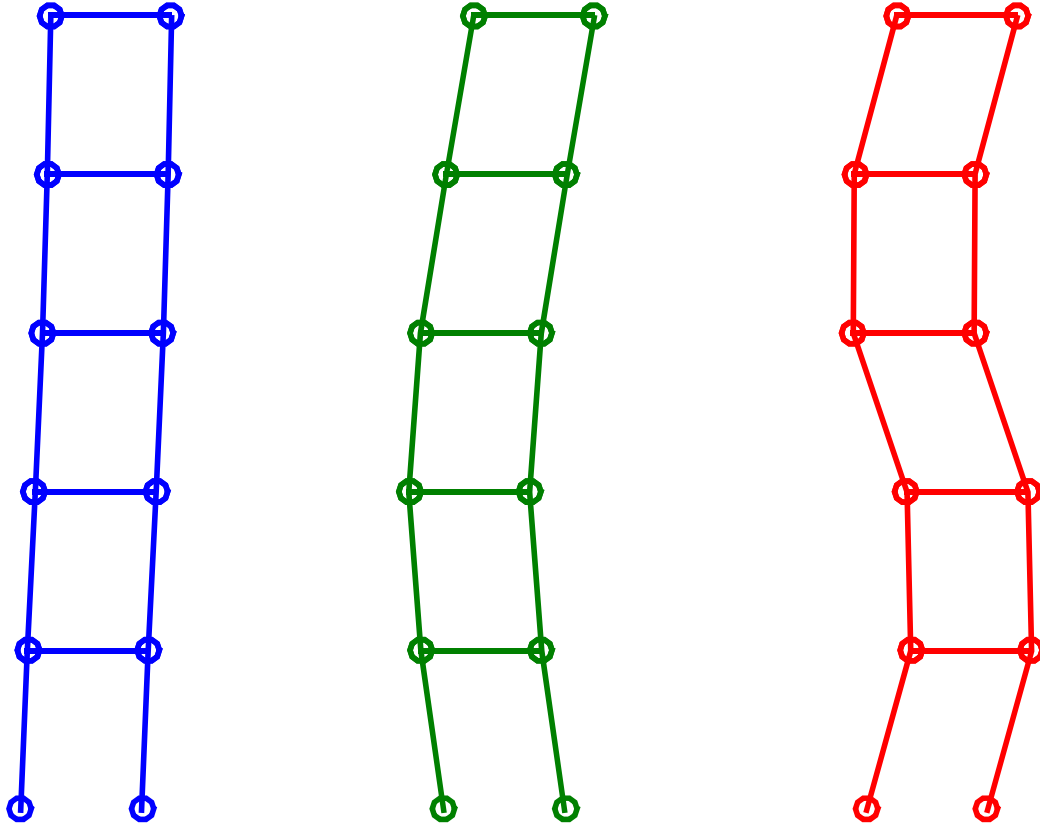


Figura 6.42: Formas modales asociadas a la primera ventana, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.

#### 6.5.1.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia (tfTF)

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

Además, sobre la Función de Transferencia se grafican las frecuencias modales identificadas por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo.

Para este análisis y para el de los otros casos se consideran ventanas de 10 [s] con un traslapo cada 1 [s]. Donde los datos de entrada y salida corresponden a aceleraciones totales. Esto último con la finalidad de poder observar de mejor forma los modos superiores.

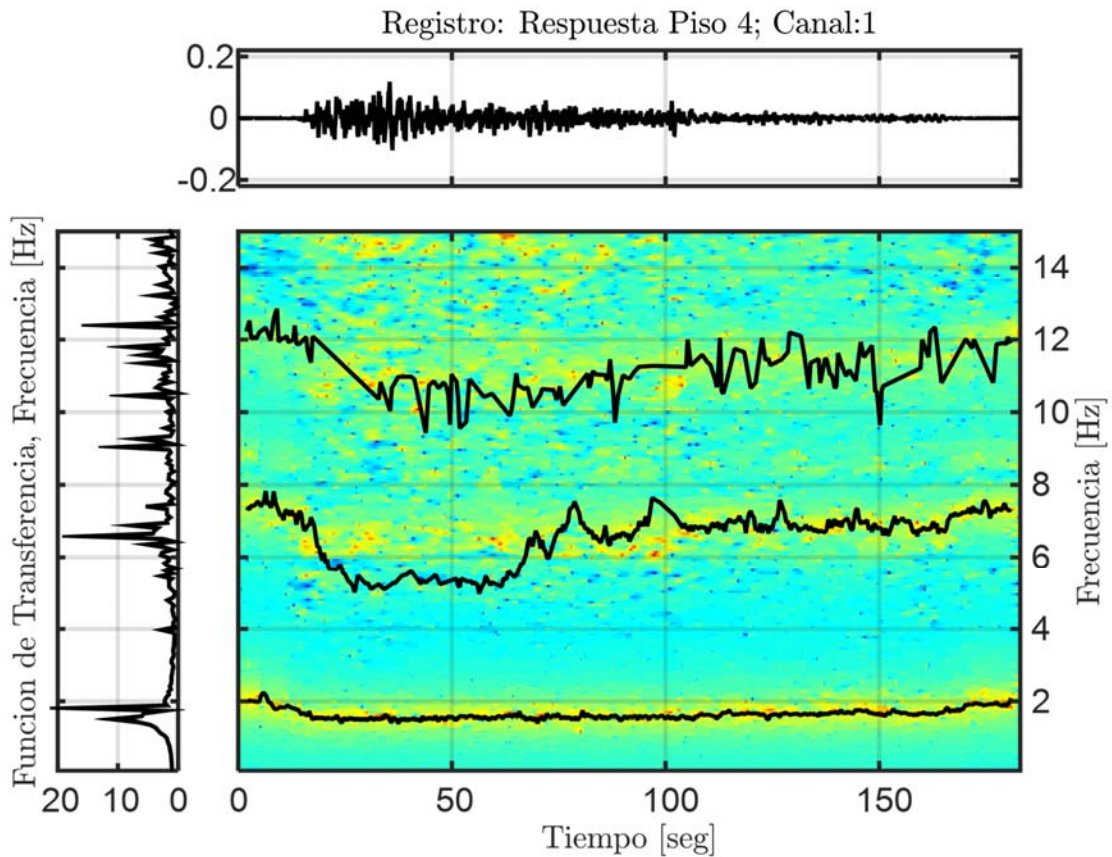


Figura 6.43: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI4-SP100.

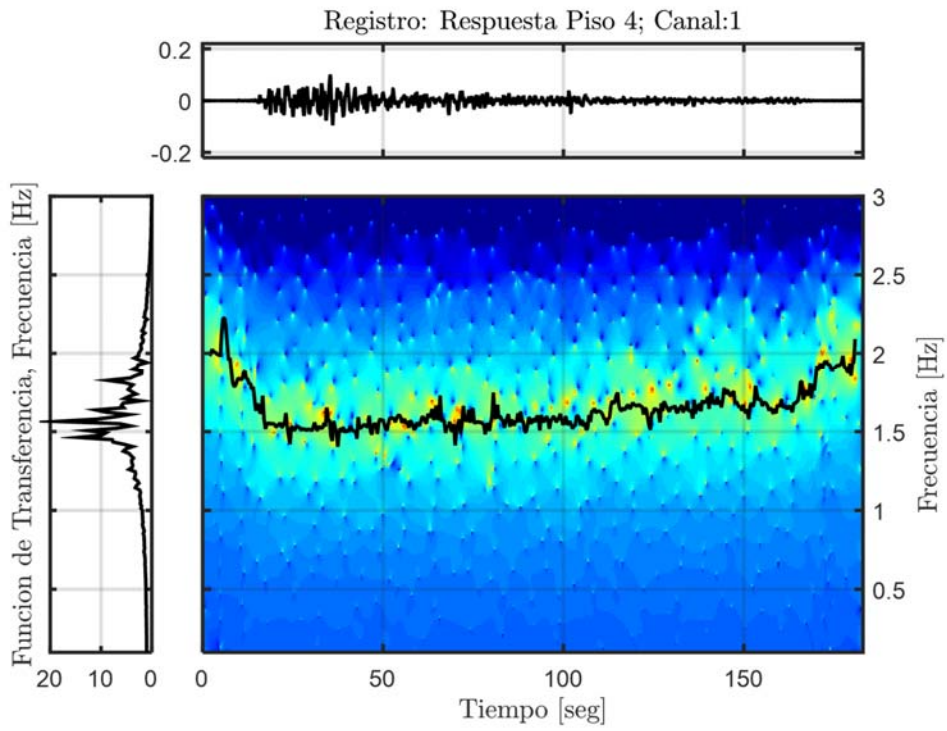


Figura 6.44: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI4-SP100.

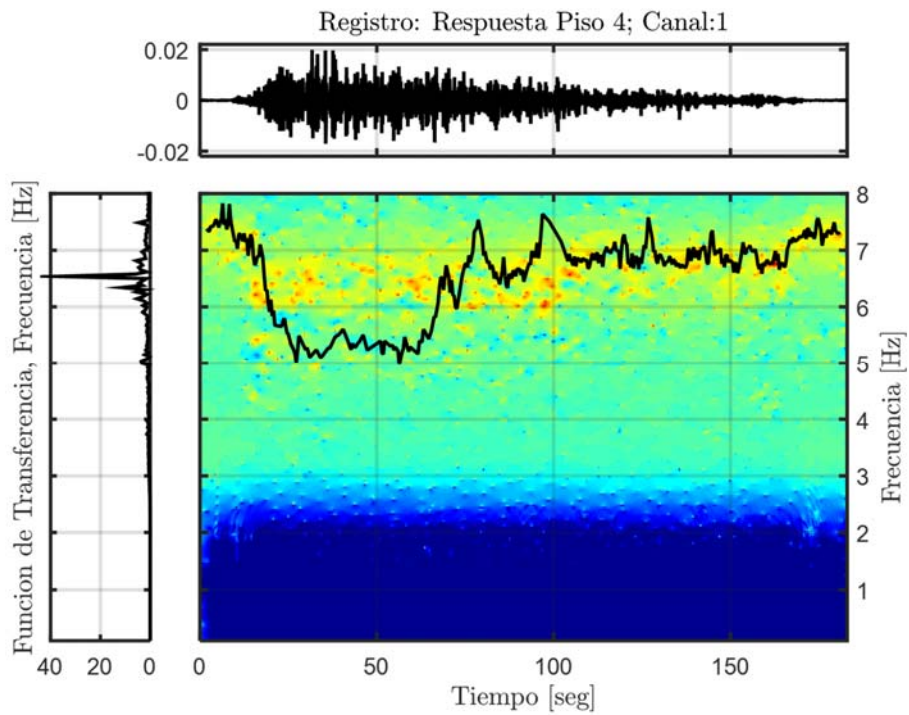
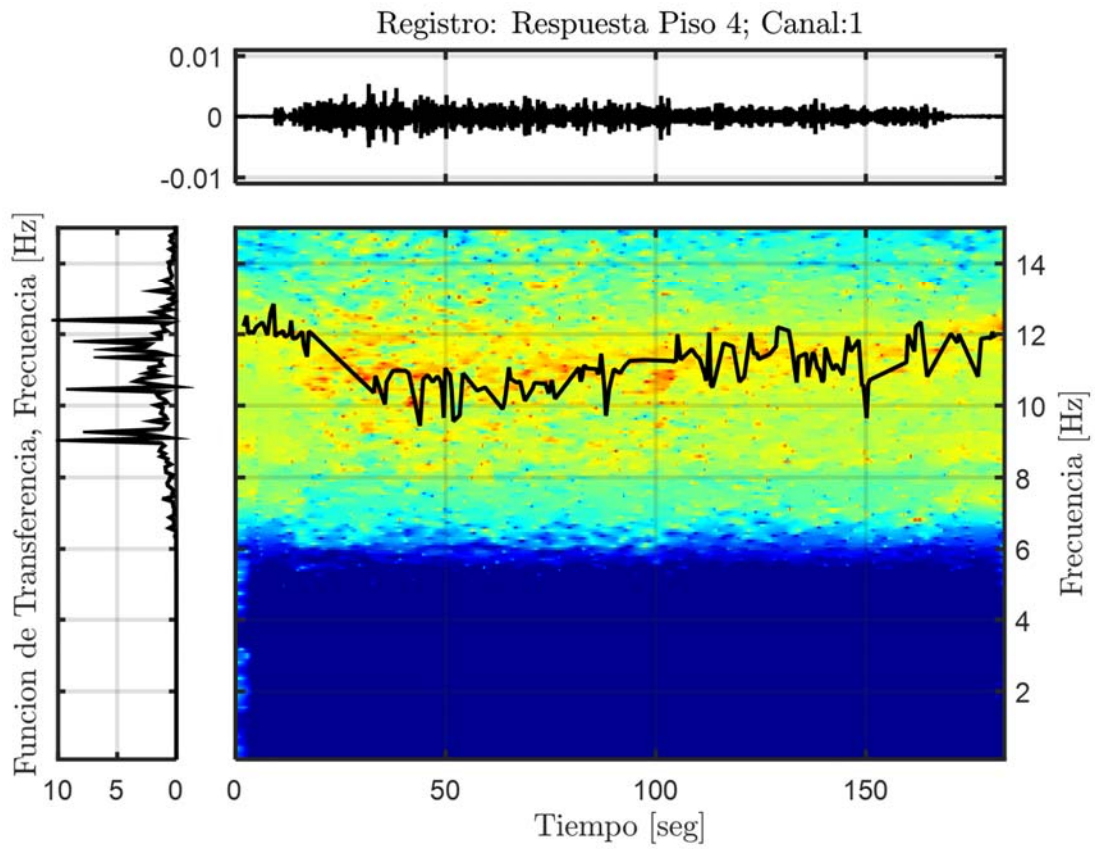


Figura 6.45: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI4-SP100.



**Figura 6.46: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI4-SP100.**

### 6.5.1.5 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas

La Tabla 6.9 y Figura 6.47 presenta las frecuencias identificadas para la estructura aislada aplicando el método de múltiples sub-estructuras, considerando análisis invariante en el tiempo mediante el método DSI ( $f_{AI}$ ), análisis variante en el tiempo mediante el método DSI por pequeñas ventanas, mostrando los resultados para la ventana 1 o inicial ( $f_{AV}$  (inicial)), para la ventana 2 o ventana asociada al movimiento fuerte del registro ( $f_{AV}$  (mínima)) y para la ventana 3 correspondiente a la ventana asociada al movimiento débil final del registro ( $f_{AV}$  (final)). A modo de comparación se muestran las frecuencias identificadas cuando el edificio BNSC fue desmontado del sistema de aislación y puesto sobre la mesa vibradora asociada a la identificación realizada por (Astroza, et al., 2013) previo a los casos sísmicos para los ensayos de vibraciones ambientales ( $f_{VA}$ ) y para posteriores ensayos con ruidos blancos artificiales generados en la mesa vibradora con amplitudes medias cuadráticas de 1.5%, 3.0%g y 3.5%g ( $f_{WN}$ ).

De los resultados de la Tabla 6.9 se comprueba que la estructura aislada no presentó daños significativos (teniendo en cuenta además que se realizaron otros tres ensayos sísmicos de la estructura posteriores al B14 como muestra la Figura 6.47, i.e., B15, B16 y B17) ya que las frecuencias observadas al comienzo de los ensayos sísmicos prácticamente coinciden con los valores obtenidos para la estructura con base fija sujeta a vibraciones ambientales (VA) luego de ser desmontada del sistema de aislación. De este resultado, se puede concluir que el método de subestructura es efectivo para analizar el comportamiento de la superestructura de una estructura aislada sujeta a una acción sísmica.

Se puede observar adicionalmente de la Tabla 6.9 que las frecuencias “medias” determinadas para ensayos de ruidos blancos de la estructura con base fija (posteriores a los ensayos de registros ambientales) presentaron frecuencias menores que las mínimas obtenidas para la estructura aislada. Este resultado indica que la estructura con base fija evidenció una mayor demanda con los ruidos blancos (WN) que la observada para los casos sísmicos con base aislada. Es interesante notar que las amplitudes de entrada de aceleración de la superestructura (Figura 6.47) fueron mayores que las de la estructura con base fija sujeta a ruido blanco; sin embargo, el contenido de frecuencia para el caso de ruidos blancos (WN) cubrieron el rango de frecuencias de la superestructura y generaron algún grado de daño el cual no fue observado para la estructura aislada. De hecho, inspecciones posteriores a los ensayos con registros de ruidos blancos (WN) para la estructura con base fija evidenciaron que los conectores de la tabiquería de los niveles inferiores sufrieron cierto nivel de daño durante estos ensayos.

**Tabla 6.9: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, Vibraciones Ambientales (VA) y ruidos blancos (WN) para estructura en base fija antes de ensayos sísmicos.**

Modo	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	$f_{VA}$ [Hz]	Error (inicial) [%]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{WN}$ (1.5%g) [Hz]	$f_{WN}$ (3.0%g) [Hz]	$f_{WN}$ (3.5%g) [Hz]
1	1,54	1,99	1,95	1,93	1,0	1,50	1,40	1,21	1,19
2	6,48	7,42	7,34	7,20	1,9	5,10	5,90	5,47	5,16
3	11,16	12,02	11,91	11,67	2,1	9,65	10,19	9,82	9,54

En la Tabla 6.10 se muestra la comparación de los resultados para la estructura aislada con las frecuencias identificadas por Gutiérrez (2016) ( $f_{\text{Gutiérrez}}$ , cuyos resultados son corroborados en la sección 6.6.2) para el edificio con base fija solicitado por el evento FB-CNP100 (DS0, el registro de menor amplitud) y se comparan con los valores identificados en esta memoria. Como se puede apreciar las diferencias obtenidas entre las frecuencias identificadas para la superestructura para el caso sísmico (B14-SP100) y las obtenidos por Gutiérrez (2016) son apreciables. En directa relación con el párrafo anterior, las diferencias se atribuyen al hecho que la estructura fue levemente dañada durante los ensayos de ruido blanco (WN) previos al ensayo B14-SP100. Es decir, se plantea la hipótesis que las frecuencias de la estructura no se recuperaron totalmente quedando con un valor inicial menor al observado durante el ensayo de vibraciones ambientales (y para la superestructura aislada) quedando en un valor intermedio entre lo observado para vibraciones ambientales y las frecuencias “medias” identificadas para ensayos de ruido blanco (WN); es decir quedando en los valores de frecuencias iniciales determinadas por Gutierrez (2016).

Por otra parte, se observa que las aceleraciones que alcanzó la superestructura en el último registro son del orden de 0,18g, en cambio la aceleración máxima generada por los ruidos blancos están asociadas a un RMS de 3,5%g, lo cual indica que no necesariamente la superestructura tuvo un nivel de amplitud de aceleración más baja que la observada durante el ruido blanco. Sin embargo, el contenido de frecuencias de la entrada que tuvo la superestructura es distinto al contenido de frecuencias de un ruido blanco que también cubre la frecuencia de la superestructura, por lo cual el ruido blanco pudo haber gatillado un nivel de daño mayor.

**Tabla 6.10: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B14-SP100.**

Modo	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{\text{Gutiérrez}}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	Variación (inicial) [%]	$f_{\text{Gutiérrez}}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	Variación (mínima) [%]	$f_{\text{Gutiérrez}}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	Variación (final) [%]
1	1,54	1,60	1,99	24,4	1,05	1,50	42,9	1,57	1,95	24,2
2	6,48	6,67	7,42	11,2	4,74	5,10	7,6	6,70	7,34	9,6
3	11,16	10,88	12,02	10,5	9,00	9,65	7,2	10,77	11,91	10,6

Las frecuencias modales identificadas por pequeñas ventanas de tiempo por el método Función de Transferencia, presentes desde la Figura 6.43 hasta la Figura 6.46, coinciden de buena forma con las determinadas por el método DSI por pequeñas ventanas, lo cual corrobora que ambos métodos son útiles (y complementarios) para estudiar la variación de las frecuencias de la superestructura.

En la Figura 6.47 se resumen las frecuencias modales identificadas asociadas a los 3 modos longitudinales del edificio BNCS aislado con el método de múltiples sub-estructuras a lo largo de todos los eventos sísmicos definidos en el protocolo de ensayo (ver Tabla 6.1). Se observa que, al comienzo de cada evento sísmico, el movimiento de entrada muestra bajas amplitudes y se tienen valores altos de frecuencia. A medida que la amplitud asociada al movimiento de entrada (input) aumenta durante la fase del movimiento fuerte, la frecuencia identificada disminuye, pero tiende a recuperarse en ciertas proporciones al final de cada ensayo alcanzando valores similares a los del inicio del ensayo.

La frecuencias identificadas, tanto al inicio como al final de cada ensayo es similar a la frecuencia identificada por pruebas de vibración ambiental (VA) (línea discontinua negra de la Figura 6.47) asociadas a la estructura base fija solicitada por el evento FB-CNP100. Esto para los tres primeros modos de vibrar.

Para los valores menores asociados a las frecuencias identificadas, se observa que están correctamente relacionadas con los valores obtenidos por ruidos blancos (WN), (presentes líneas discontinuas rojas, verdes y azules en la Figura 6.47).

**Tabla 6.11: Variación de las frecuencias identificadas en el tiempo, estructura aislada BNCS con método de múltiples sub-estructuras, registro BI4-SP100.**

Modos	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	Variación [%]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	Variación [%]
1	1,99	1,50	24,6	1,99	1,95	2,0
2	7,42	5,10	31,3	7,42	7,34	1,1
3	12,02	9,65	19,7	12,02	11,91	0,9

Para los modos superiores se puede apreciar que se experimentan una reducción de las frecuencias identificada, esto de acuerdo a la Tabla 6.12 y a la Figura 6.47.

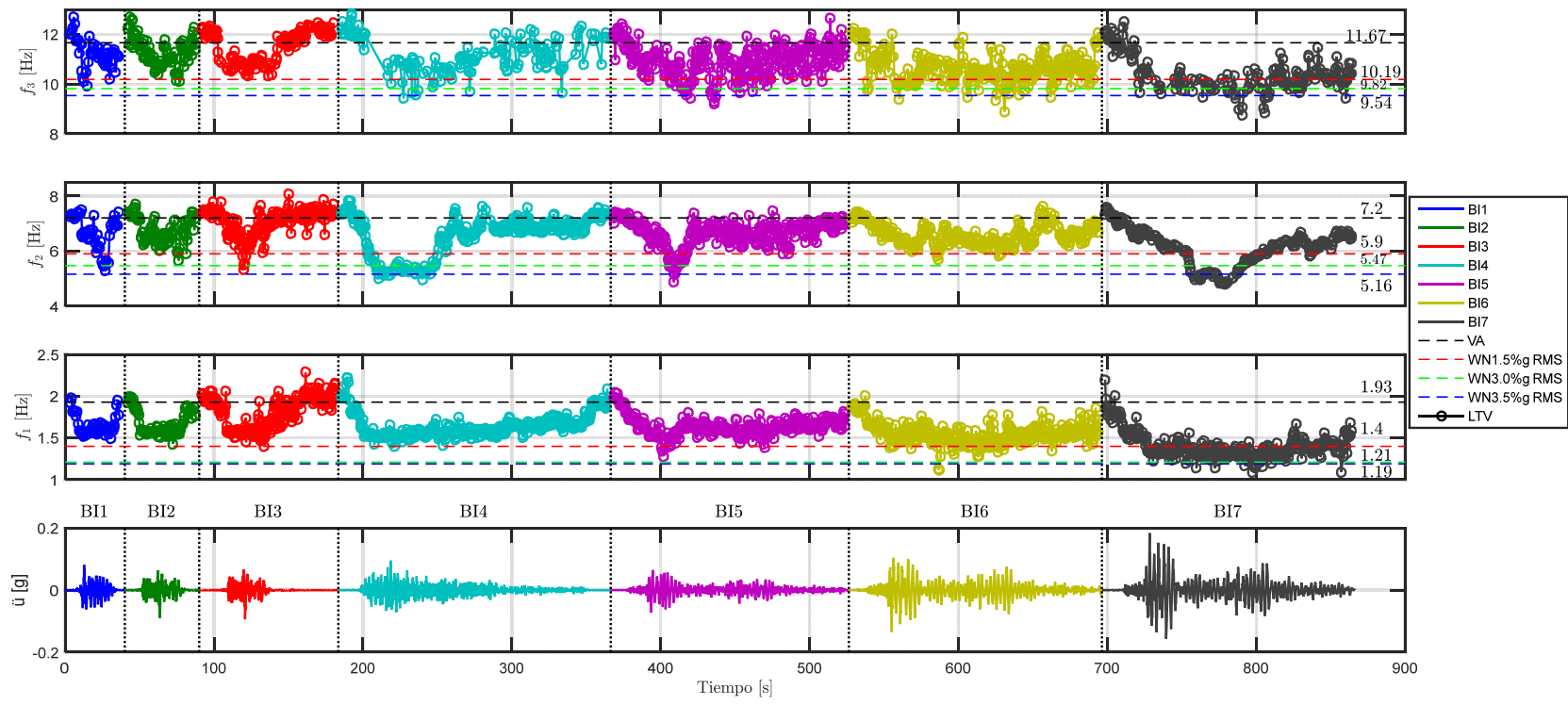
La obtención de frecuencias similares entre el primer evento sísmico y el último, asociados a la estructura aislada, indica que el edificio no sufrió degradación de rigidez permanente durante los ensayos, por lo cual no presento daño estructural significativo. Esto se confirmó mediante inspección visual luego del último ensayo sísmico (BI7-ICA140).

La Figura 6.48 presenta la variación de las razones de amortiguamiento identificadas para los tres modos de vibrar del edificio aislado BNCS analizado con el método de múltiples sub-estructuras a lo largo de todo el protocolo de ensayo. De igual forma a la Figura 6.47, se presentan con línea discontinua negra las razones de amortiguamiento determinadas por pruebas de VA (Astroza, et al., 2015) y con líneas discontinuas rojas, verdes y azules la razón de amortiguamiento determinadas para ensayos del tipo ruido blancos inducidos por la mesa vibradora (WN).

Se aprecia que la variación de las razones de amortiguamiento entre movimiento de baja amplitud y movimiento fuerte se comporta de forma similar a las obtenidas por Gutiérrez (2016). Donde se aprecia que para el primer modo la razón de amortiguamiento asociada al inicio y final del movimiento es del orden de un 2 [%] y alcanza valores del orden de un 8-15 [%] durante el movimiento fuerte. Los valores iniciales están en excelente concordancia con los identificados usando vibraciones ambientales (VA).

Para los modos superiores también se aprecia un aumento de la razón de amortiguamiento durante el movimiento fuerte, pero este no son de iguales magnitudes que las asociadas al primer modo. Donde para el segundo modo se alcanzan valores durante el movimiento fuerte de un 5-8 [%], mientras que para el tercer modo de un 2-5 [%].

En la Figura 6.49 se puede apreciar la variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales (asociadas a las identificadas para la ventana 1 o inicial) y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayo. Se observa que se obtuvieron valores cercanos a 1 para prácticamente todas las ventanas, por lo cual se puede deducir que no varían las formas modales a lo largo de la serie de ensayos sísmicos de la estructura aislada.



**Figura 6.47: Variación temporal de la frecuencia de vibración identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras.**



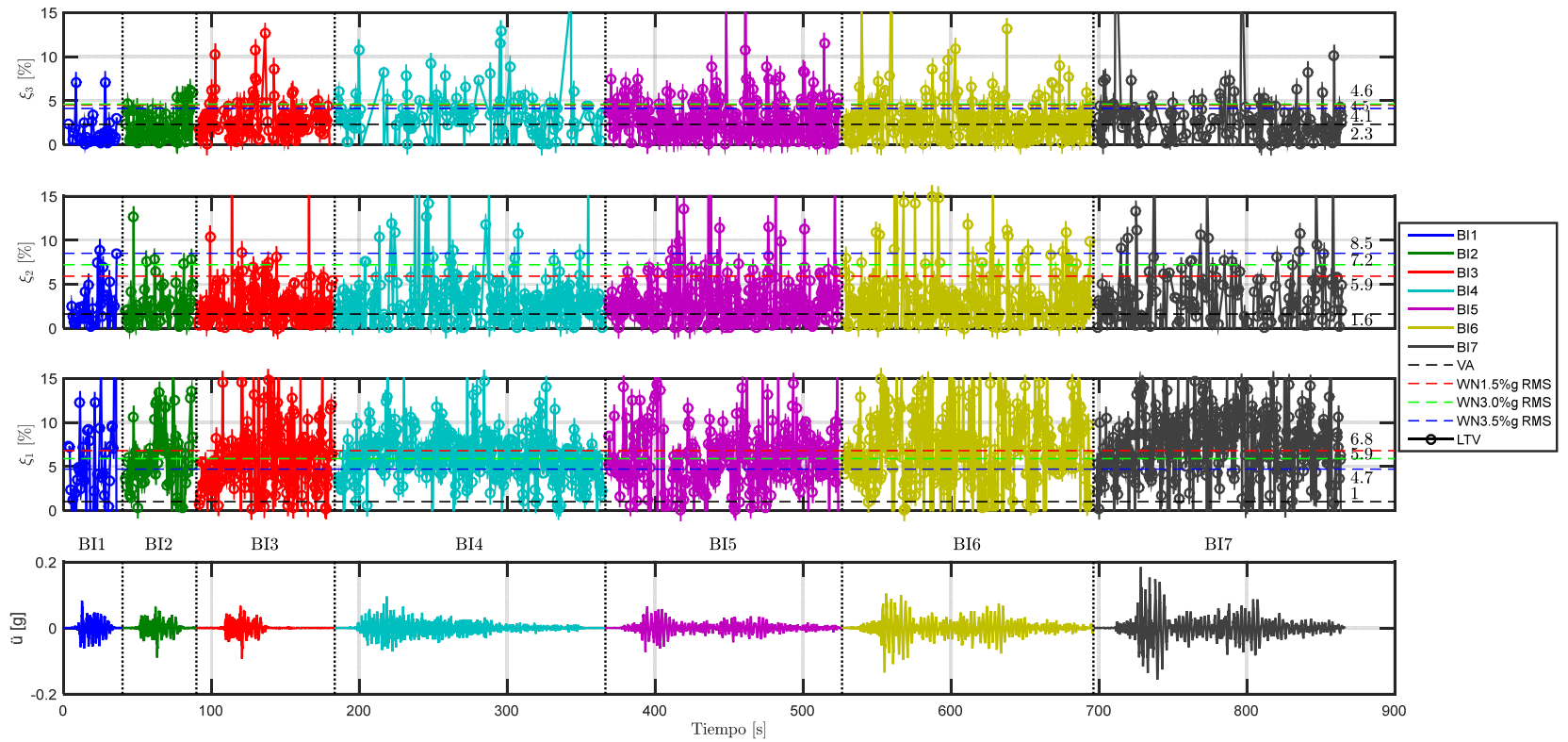


Figura 6.48: Variación temporal de la razón de amortiguamiento identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras.

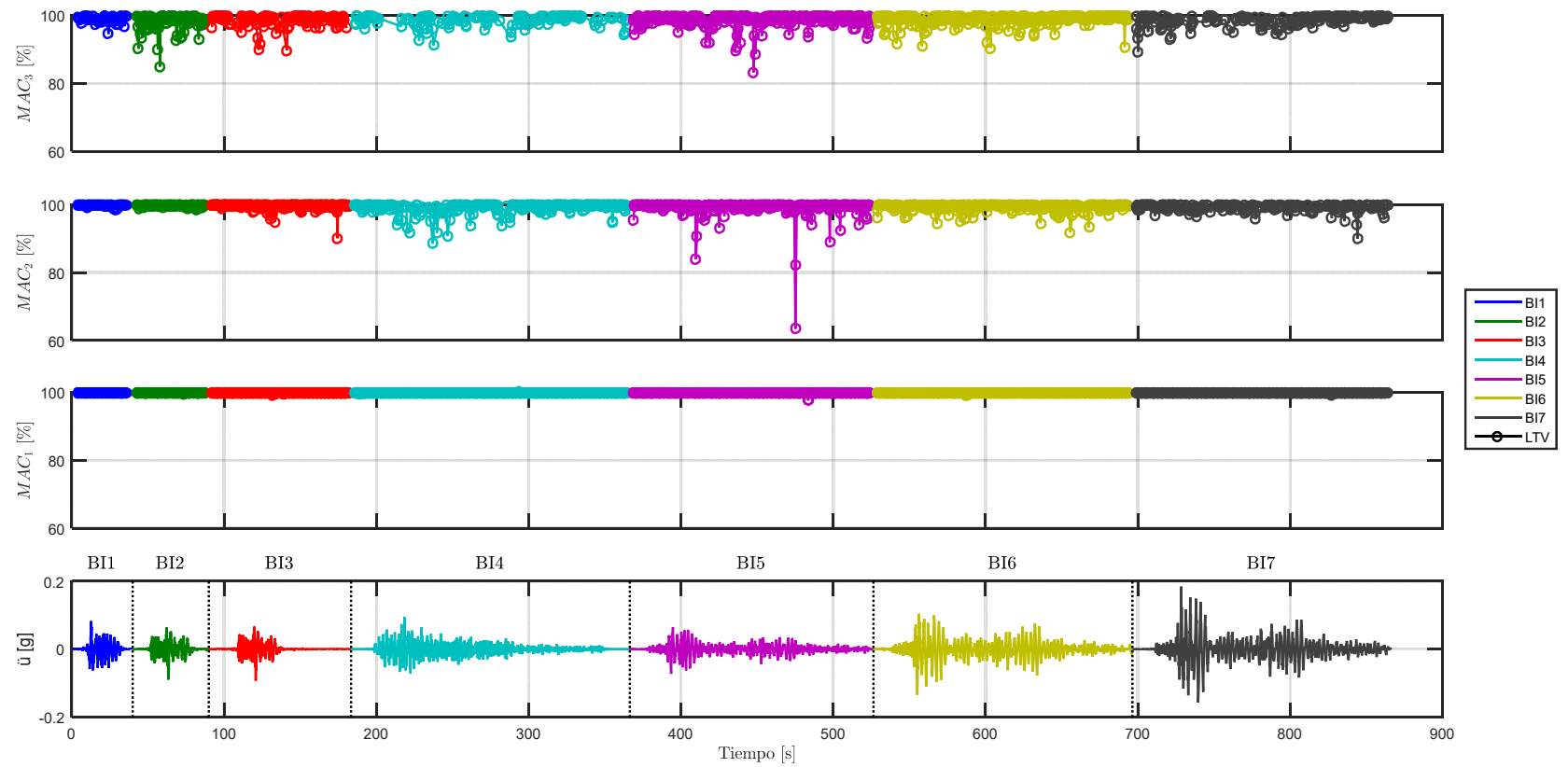
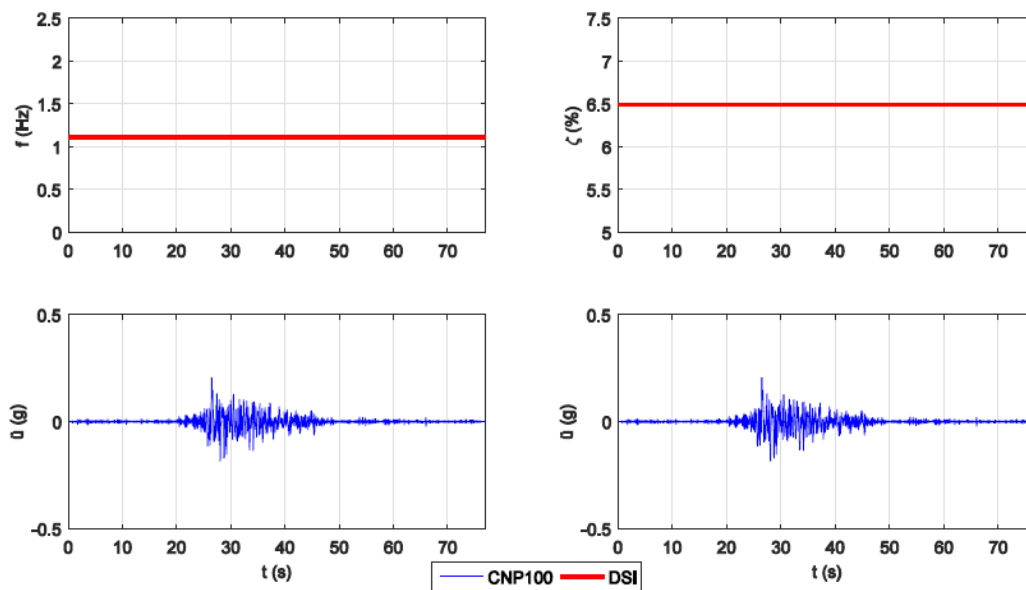


Figura 6.49: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos para estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras.

## 6.6 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS sin Aislación

### 6.6.1 Recopilación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS sin Aislación

Del análisis de propiedades modales invariantes en el tiempo desarrollados por (Gutiérrez Lihn, 2016), para el registro FB-CNP100 que utilizaremos para el estudio de la estructura base fija, se determina un solo modo de vibrar, correspondiente al primer modo longitudinal de la estructura base fija, el cual en este caso está asociado a una frecuencia de 1,1 Hz. Las propiedades modales invariantes en el tiempo de la estructura base fija identificadas para el sismo FB-CNP100 se encuentran presentes en la Figura 6.50.



**Figura 6.50: Propiedades modales del edificio BNCS identificadas para el sismo FB-CNP100 considerando propiedades dinámicas invariantes en el tiempo. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).**

Del estudio de propiedades modales variantes en el tiempo realizado por Gutiérrez (2016) para la estructura de base fija, considerando el registro sísmico FB-CNP100 se realizó inicialmente un diagrama de estabilidad para la ventana inicial o ventana “0”, presenten en la Figura 6.51, esto con la finalidad de poder determinar aquellos modos estables. Las formas modales identificadas para esta ventana se encuentran presentes en la Figura 6.52 y representan las formas modales asociados a los modos longitudinales determinados en el diagrama de estabilidad.

Las propiedades dinámicas variantes en el tiempo identificadas por pequeñas ventanas de tiempo a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos se encuentran presentes en la Figura 6.54, Figura 6.55 y Figura 6.56.

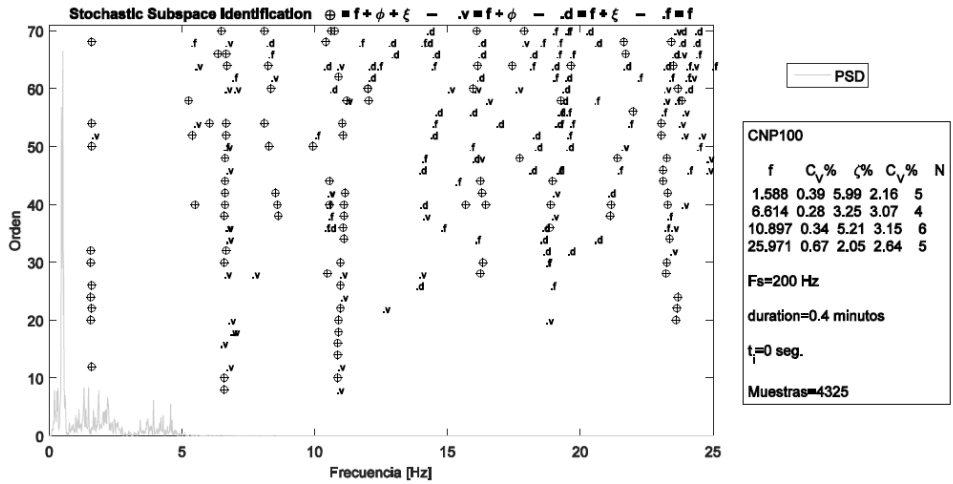


Figura 6.51: Diagrama de estabilización para la ventana “0” del sismo FB-CNP100. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

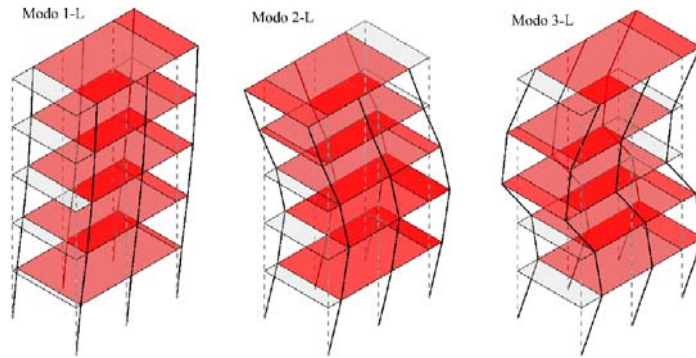


Figura 6.52: Formas modales longitudinales del edificio BNCs identificadas. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

Las propiedades dinámicas identificadas considerando ventanas de tiempo con un 50 [%] de traslape se encuentran presentes en la Figura 6.53.

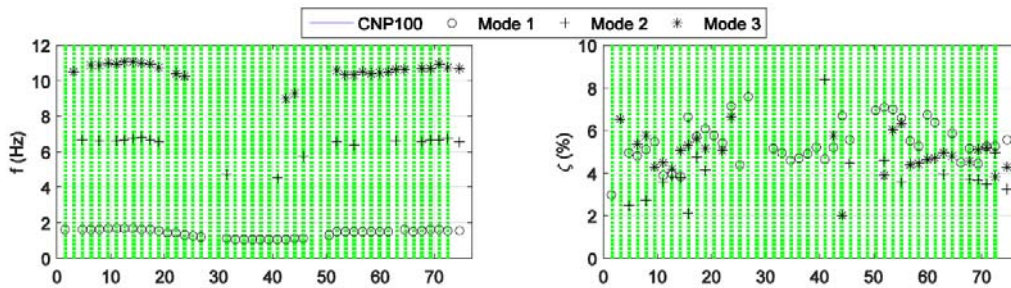


Figura 6.53: Resultados de identificación para el sismo FB-CNP100 utilizando ventanas definidas por el largo mínimo con un 50[%] de traslape entre cada ventana. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

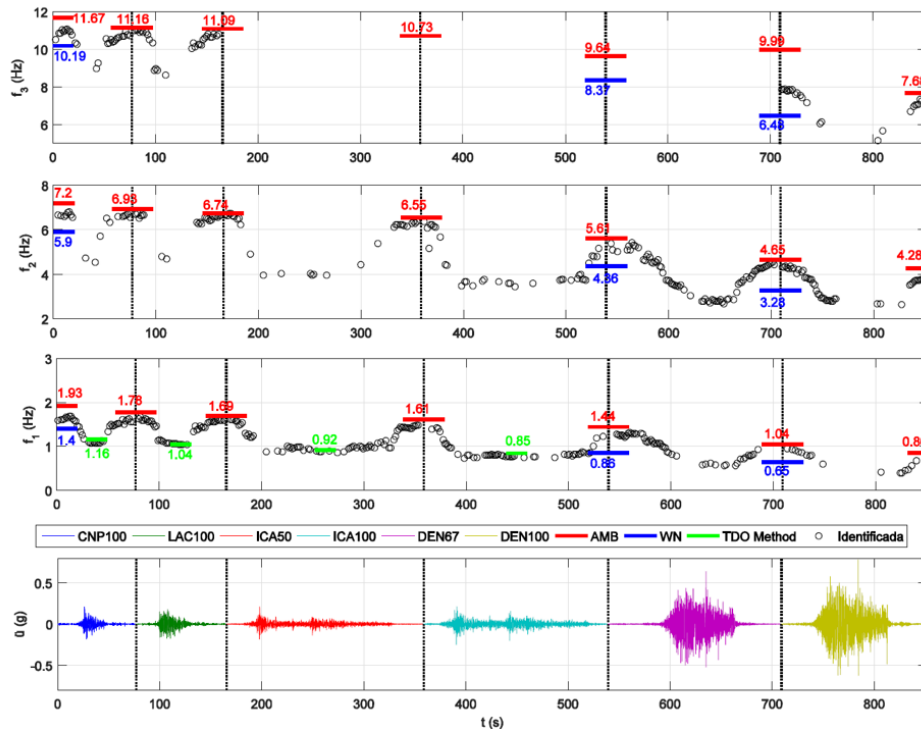


Figura 6.54: Variación temporal de las frecuencias identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos.  
Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

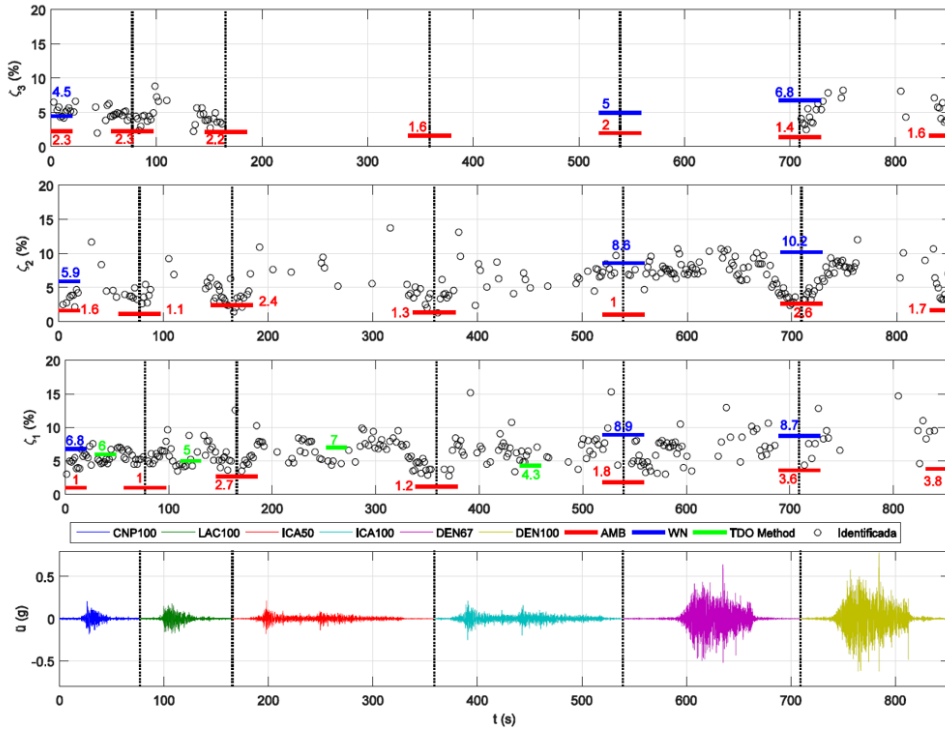


Figura 6.55: Variación temporal de los amortiguamientos identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos.  
Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

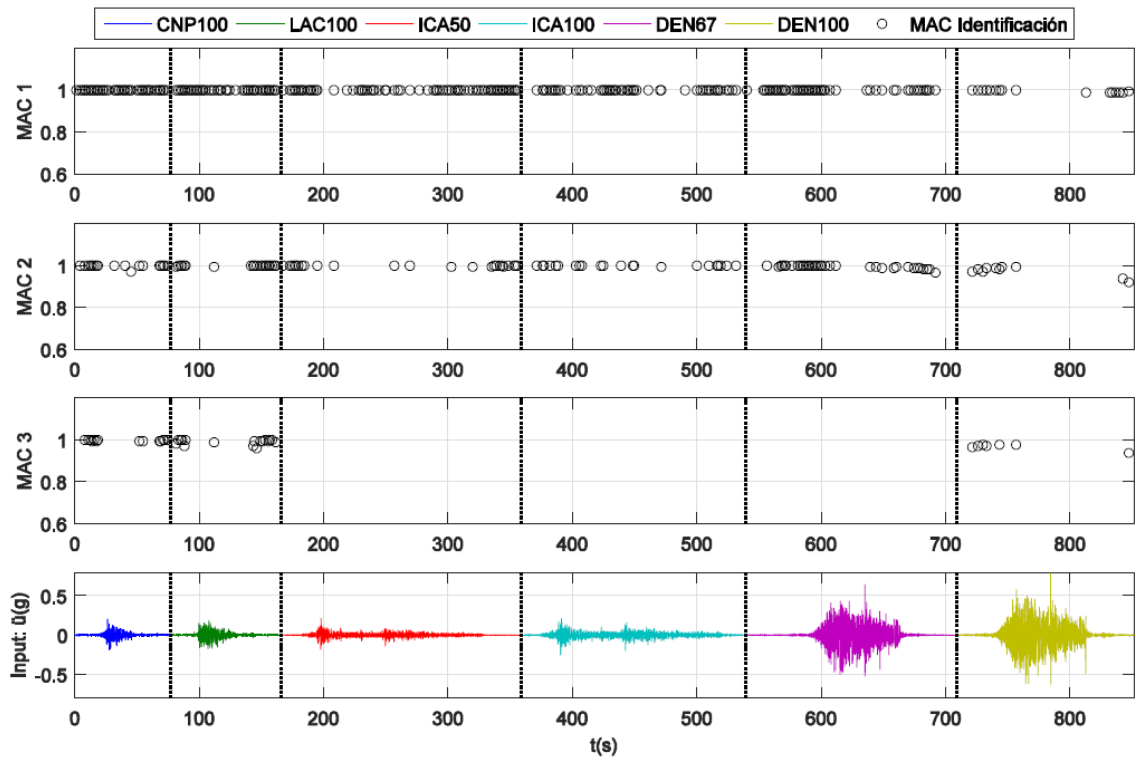


Figura 6.56: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos. Fuente: (Gutiérrez Lihn, 2016).

## 6.6.2 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento FB-CNP100

Se realizó la identificación de propiedades dinámicas para la estructura base fija para todos los eventos sísmicos presentes en el protocolo de ensayo. En esta sección se muestran los resultados correspondientes al evento FB-CNP100, ya que este evento es el único de los eventos asociados a la estructura base fija que presenta estado de daño comparables a la estructura aislada. El resto de los eventos se encuentran analizados en el Anexo C (sección 10.3).

### 6.6.2.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura sin Aislación

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura sin aislación, la respuesta sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 6.57. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales 6, 18, 30, 42, 54 ilustrados en la Figura 6.57.

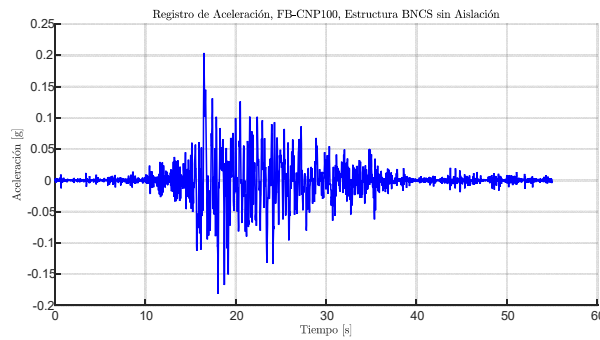


Figura 6.57: Input estructura aislada, Registro FB-CNP100.

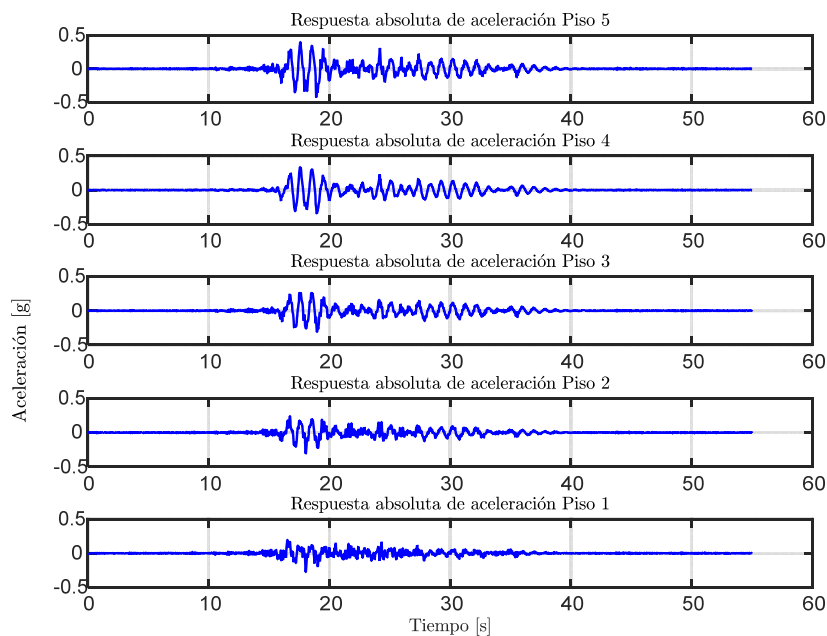


Figura 6.58: Output estructura aislada, Registro FB-CNP100.

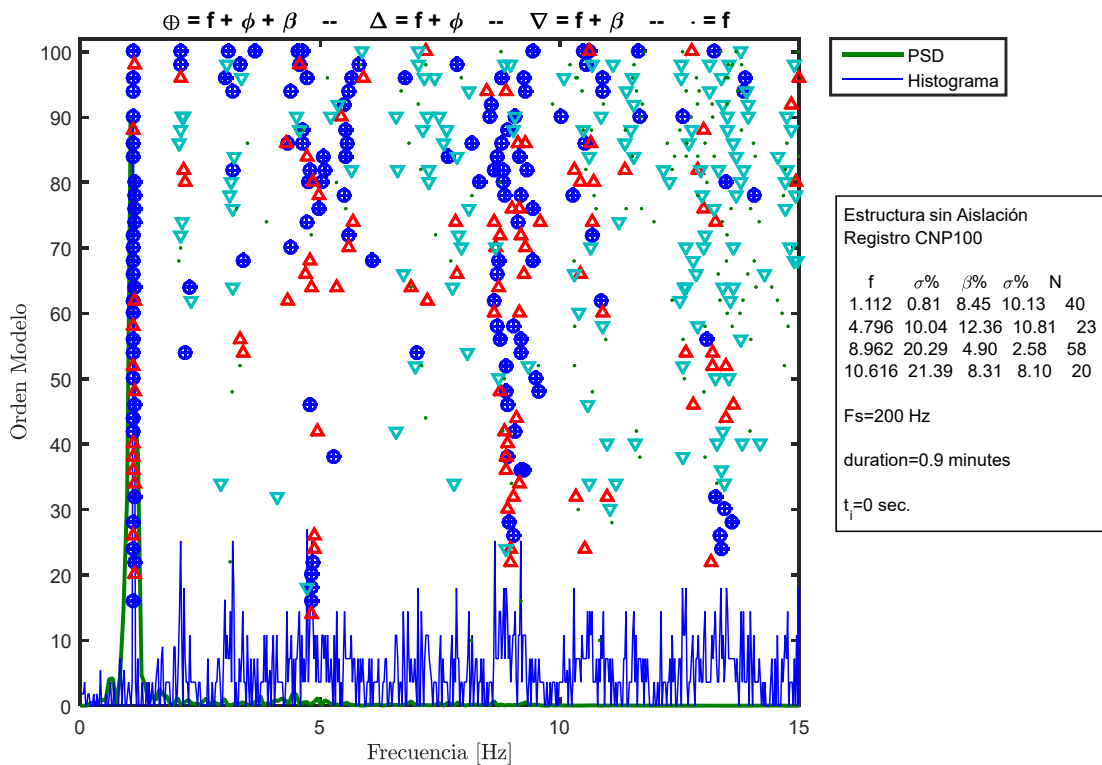
### 6.6.2.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura con base fija debido a comportamiento no-lineales propios de la estructura.

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 6.12.

**Tabla 6.12: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-CNP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	2
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 6.59: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.**



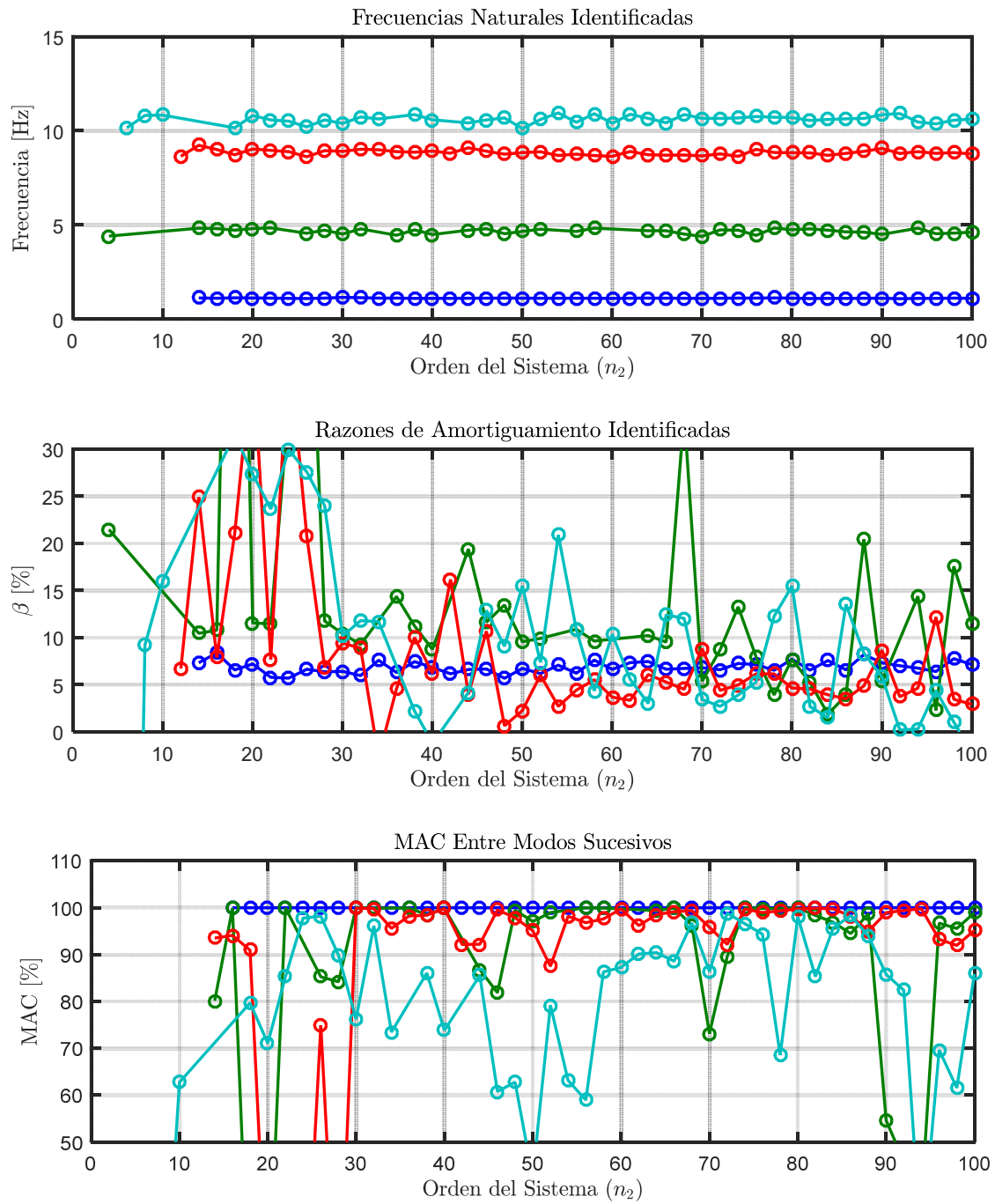


Figura 6.60: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCs, registro FB-CNP100.

### 6.6.2.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida de la estructura fija sujeta al registro FB-CNP100. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 6.13.

**Tabla 6.13: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	50
Smin	1423
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	7,115
Cantidad de ventanas	67
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	3,5
Ventana 2	30
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	18
Ventana 3	60
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	40
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	15
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90

En la Figura 6.61, Figura 6.62 y Figura 6.63 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

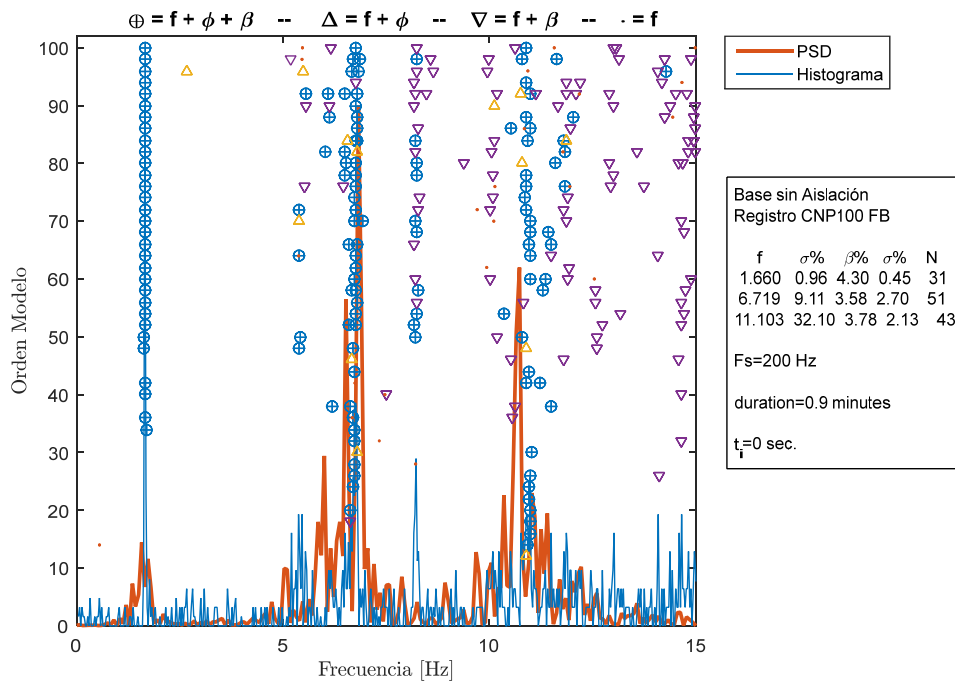


Figura 6.61: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislamiento BNCs, registro FB-CNP100.

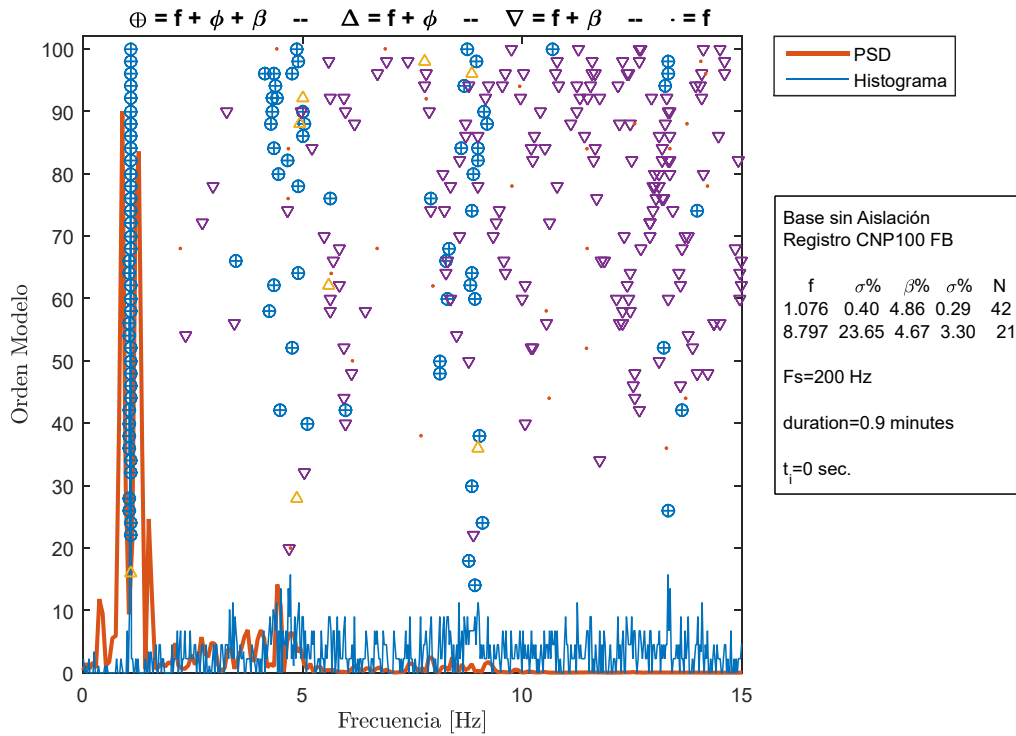
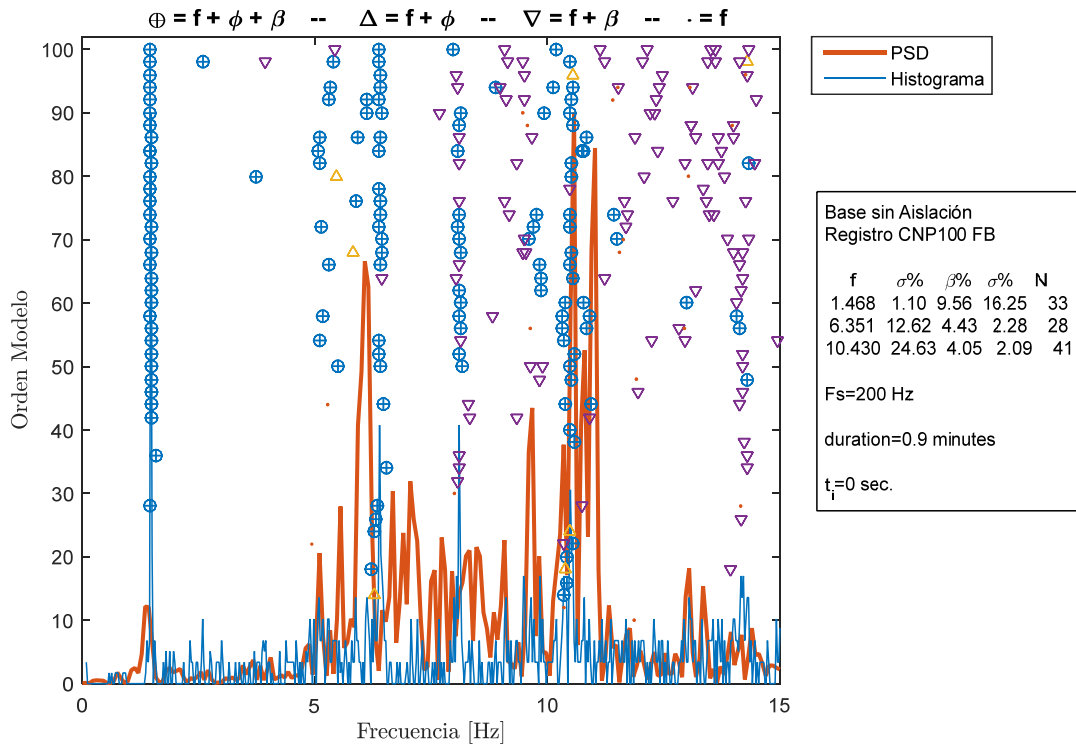


Figura 6.62: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislamiento BNCs, registro FB-CNP100.



**Figura 6.63: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.**

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran ilustradas desde la Figura 6.64 hasta la Figura 6.68.

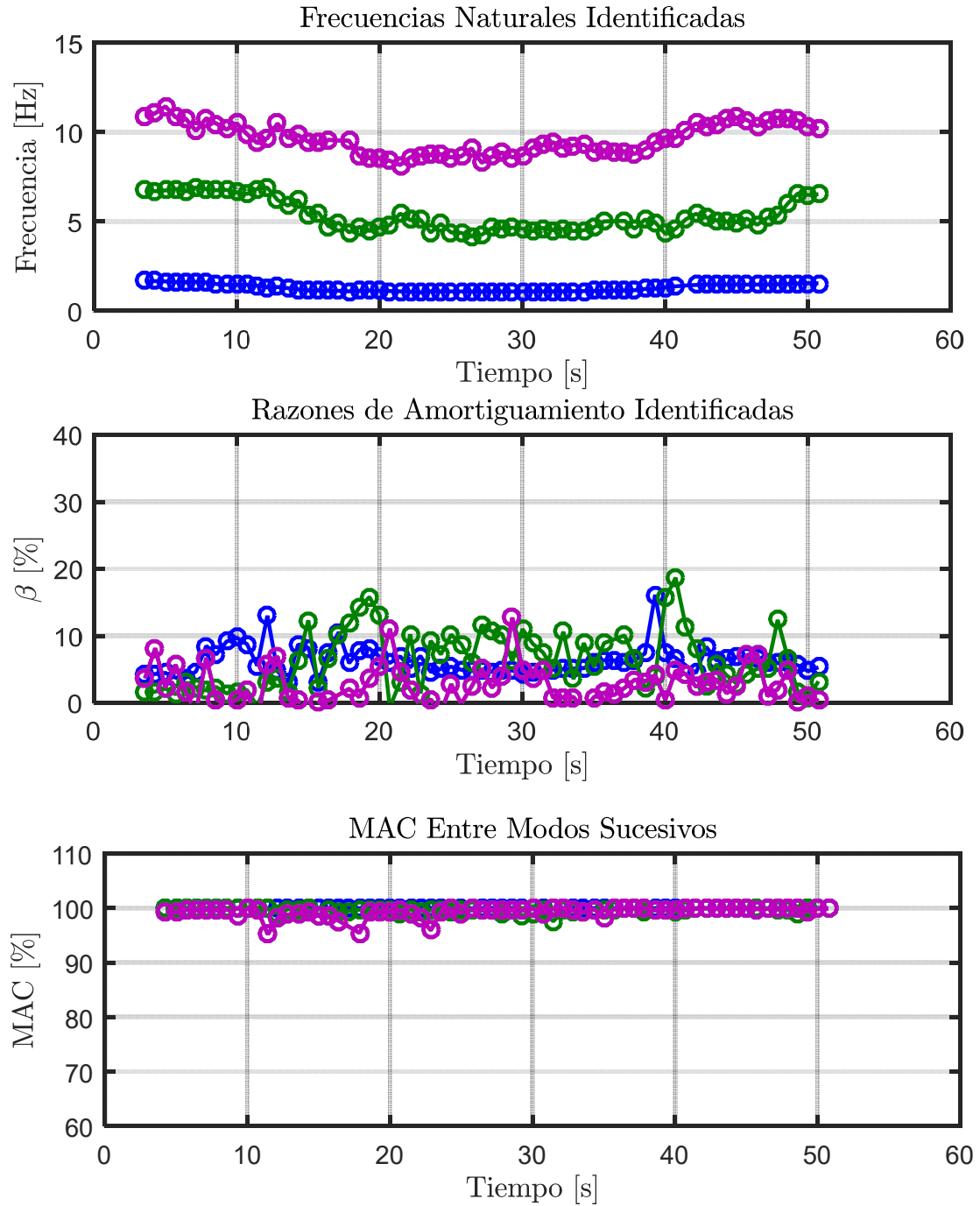


Figura 6.64: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.

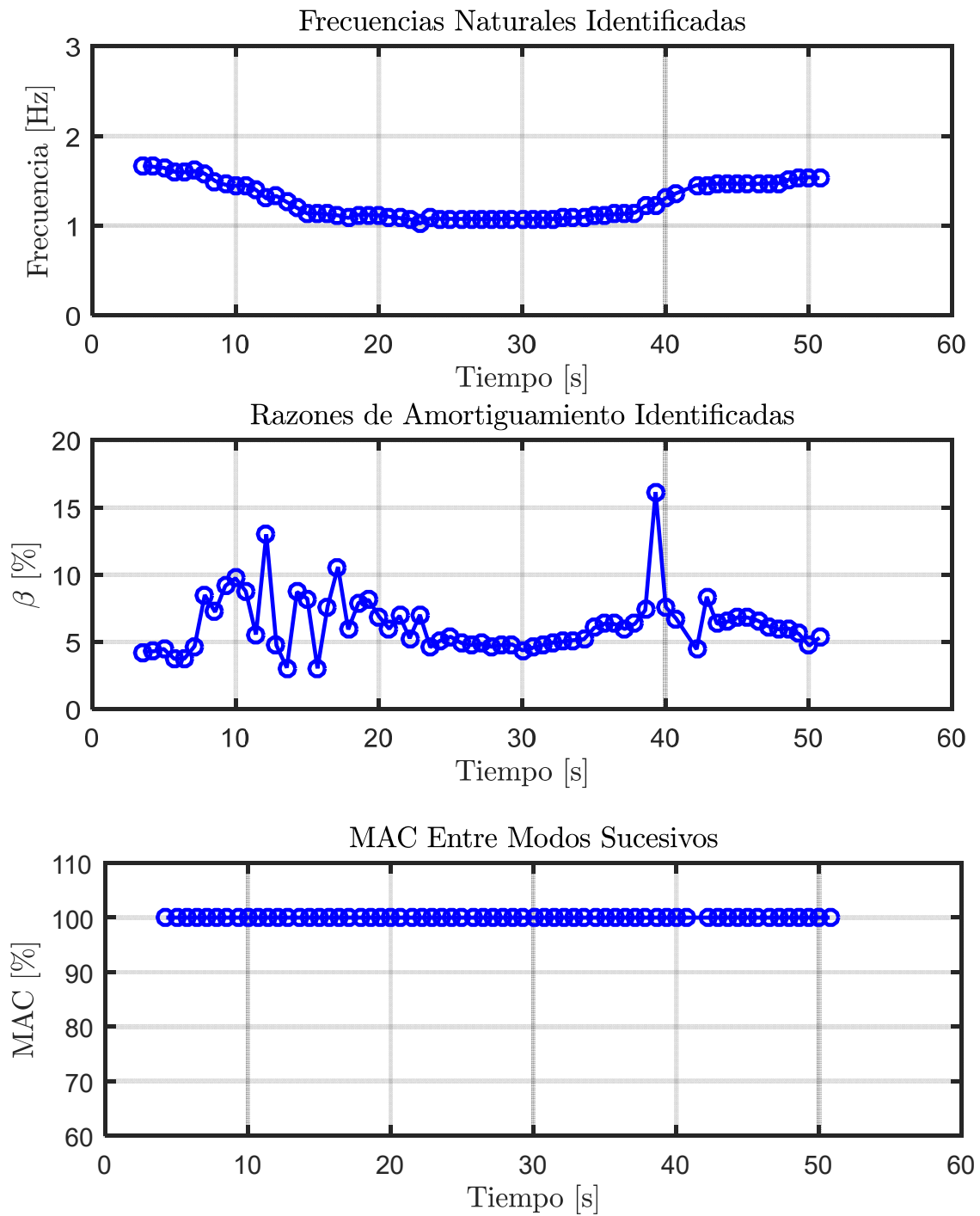


Figura 6.65: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.

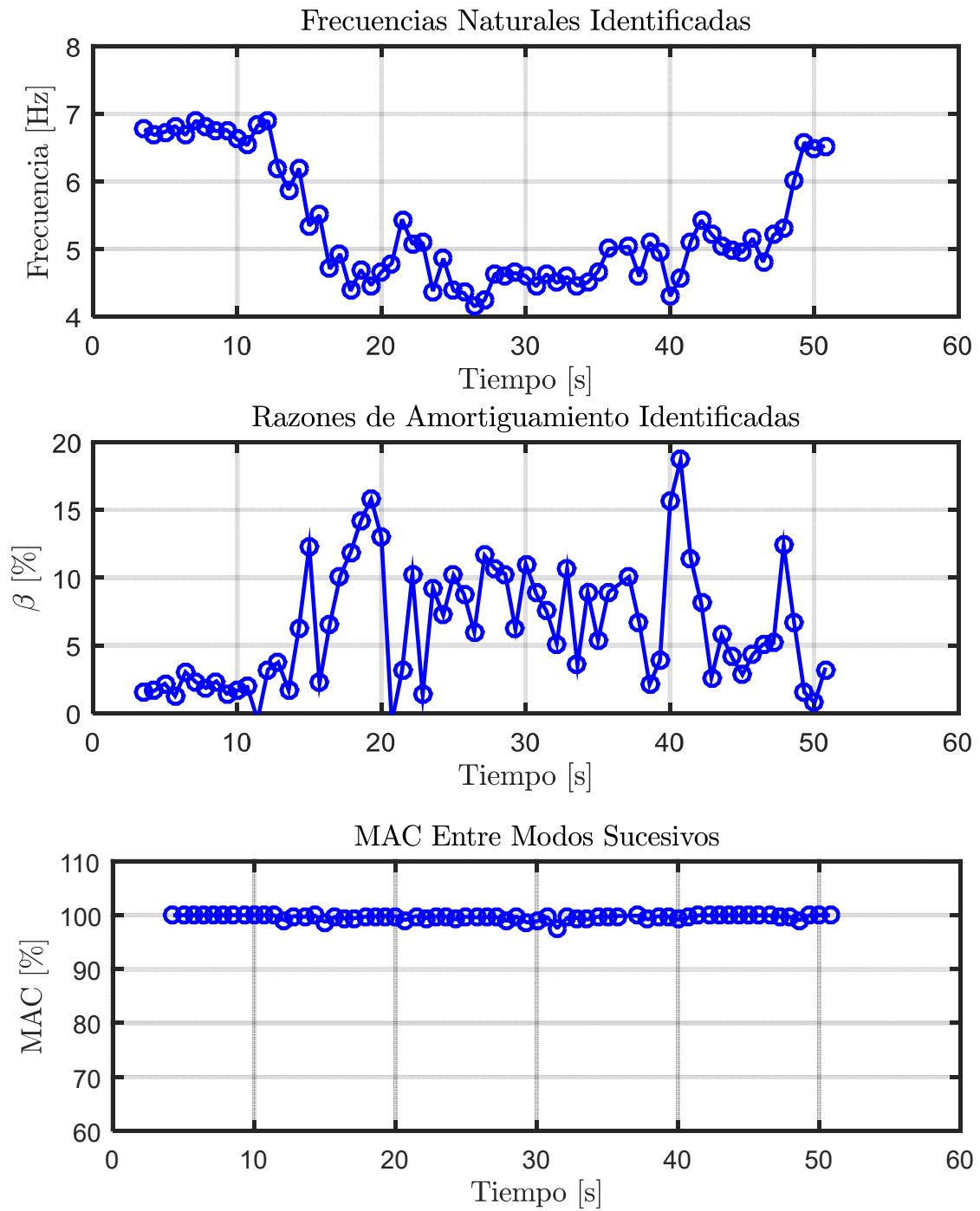


Figura 6.66: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.

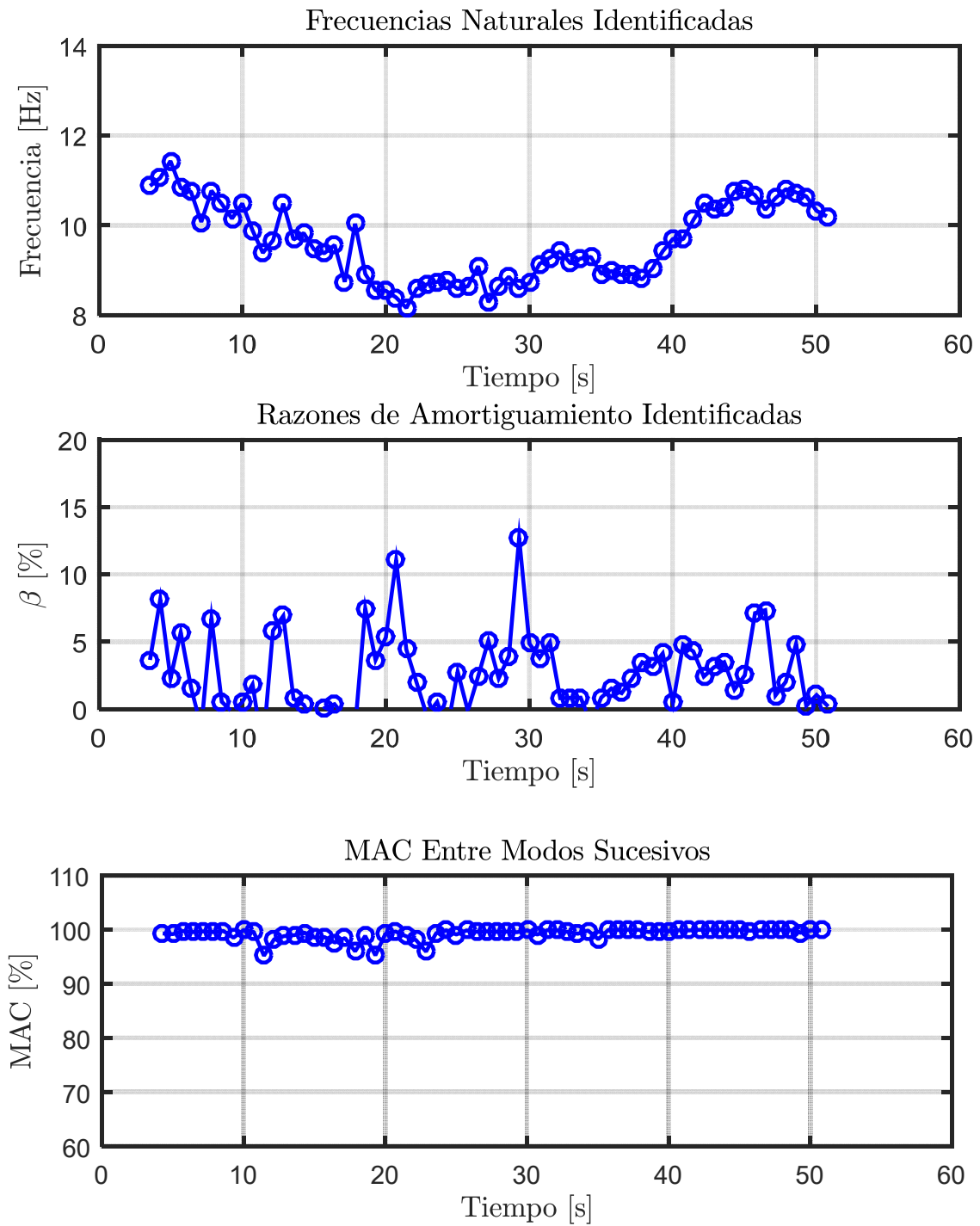


Figura 6.67: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.



Las formas modales identificadas para la primera ventana o ventana 1 se encuentran presentes en la Figura 6.68.

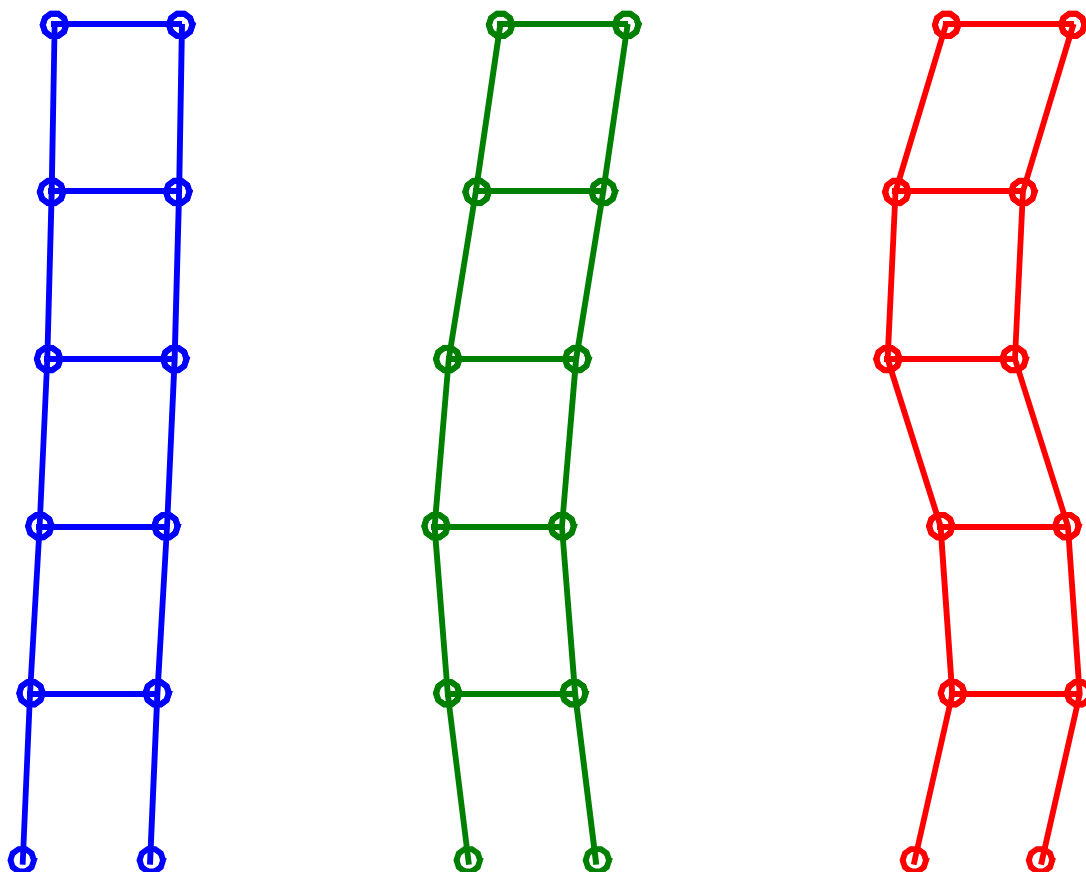


Figura 6.68: Formas modales asociadas a la primera ventana, estructura sin aislamiento BNCS, registro B11-CNP100.

#### 6.6.2.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

Además, sobre la Función de Transferencia se grafican las frecuencias modales identificadas por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo.

Para este análisis y para el de los otros casos se consideran ventanas de 10 [s] con un traslapeo cada 1 [s]. Donde los datos de entrada y salida corresponden a aceleraciones totales. Esto último con la finalidad de poder observar de mejor forma los modos superiores.

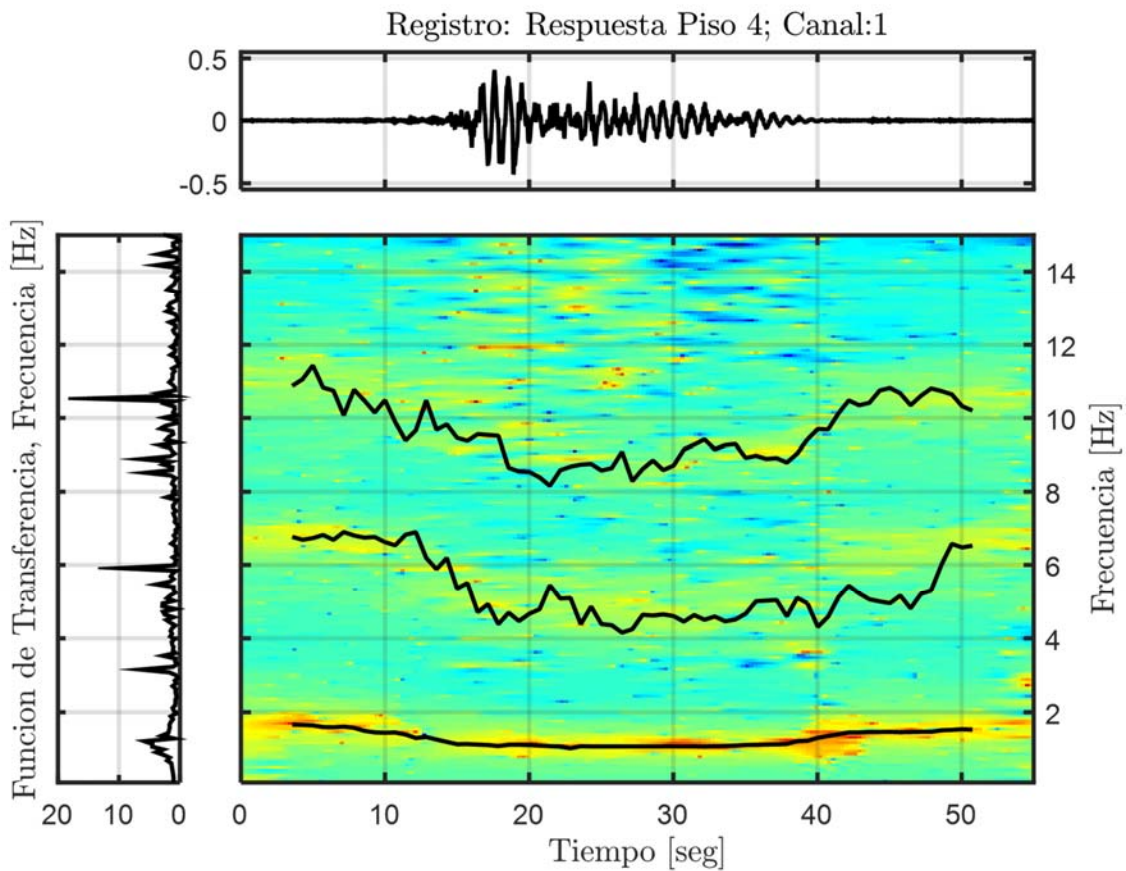


Figura 6.69: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.

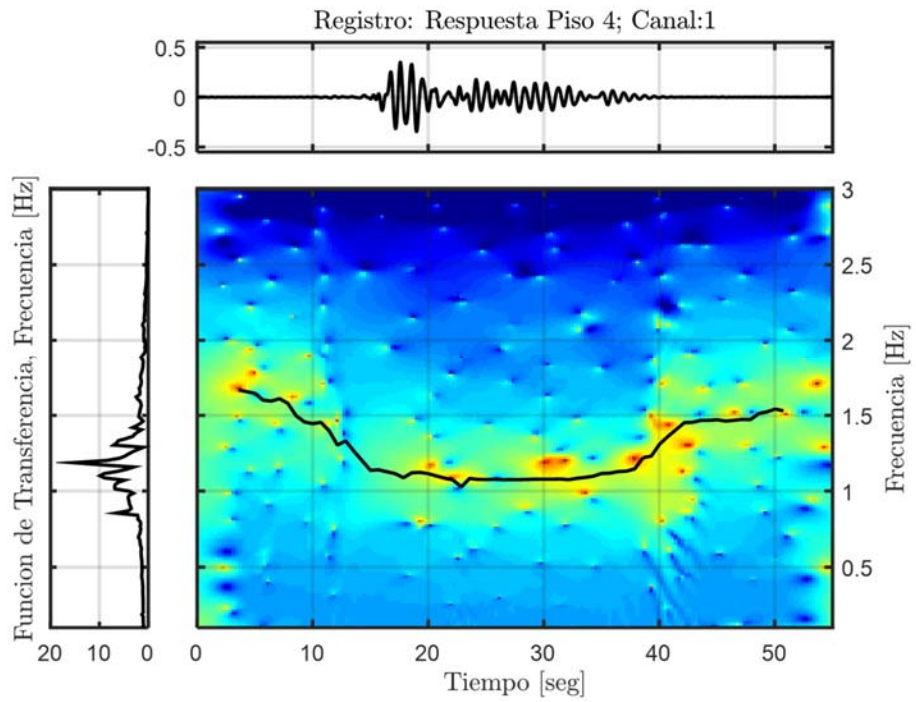


Figura 6.70: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.

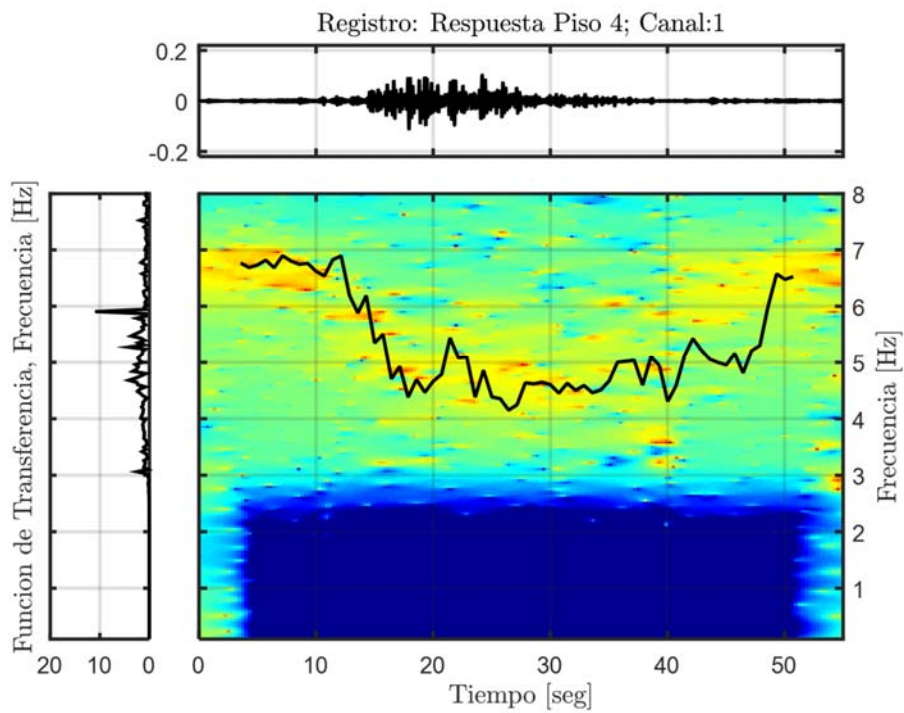


Figura 6.71: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.

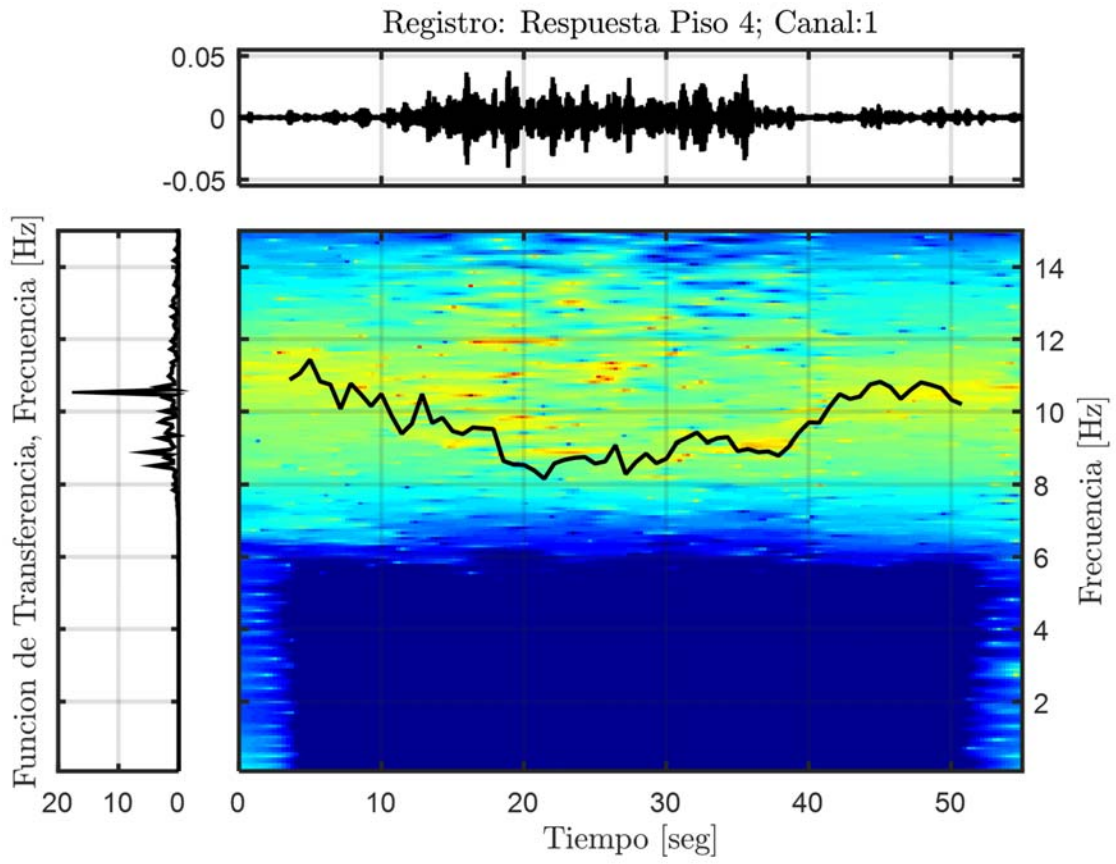


Figura 6.72: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-CNP100.

### 6.6.2.5 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas

**Tabla 6.14: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-CNP100.**

Modo	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	Error (inicial) [%]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	Error (mínima) [%]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	Error (final) [%]
1	1,11	1,600	1,67	4,4	1,05	1,02	2,9	1,56	1,53	1,9
2	4,79	6,67	6,77	1,5	4,74	4,38	7,6	6,71	6,53	2,7
3	8,96	10,87	10,88	0,1	9,00	8,16	9,3	10,77	10,64	1,2

La Tabla 6.14 presenta las frecuencias modales identificadas para la estructura base fija considerando análisis invariante en el tiempo mediante el método DSI ( $f_{AI}$ ), análisis variante en el tiempo mediante el método DSI por pequeñas ventanas, mostrando los resultados para la ventana 1 o inicial ( $f_{AV}$  (inicial)), para la ventana 2 o ventana asociada al movimiento fuerte del registro ( $f_{AV}$  (mínima)) y para la ventana 3 correspondiente a la ventana asociada al movimiento débil final del registro ( $f_{AV}$  (final)). Adicionalmente, se muestran los valores obtenidos por Gutiérrez Lihn (2016) ( $f_{Gutiérrez}$ ) y se comparan con los identificados en esta memoria. Como se puede apreciar las frecuencias identificadas y las obtenidos por Gutiérrez Lihn (2016) son muy similares, obteniéndose errores pequeños en general.

Las frecuencias modales identificadas por pequeñas ventanas de tiempo por el método Función de Transferencia, presentes desde la Figura 6.69 hasta la Figura 6.72, coinciden de buena forma con las determinadas por el método DSI por pequeñas ventanas.

En la Figura 6.73 se resumen las frecuencias modales identificadas asociadas a los tres modos longitudinales del edificio BNCS base fija a lo largo de todos los eventos sísmicos definidos en el protocolo de ensayo (ver Tabla 6.1). Se observa que, al comienzo de cada evento sísmico, el movimiento de entrada muestra bajas amplitudes y se tienen valores altos de frecuencia. A medida que la amplitud asociada al movimiento de entrada (input) aumenta durante la fase del movimiento fuerte, la frecuencia identificada disminuye, pero tiende a recuperarse en ciertas proporciones al final de cada ensayo. A medida que aumenta la amplitud de la sollicitación se aprecia la degradación de rigidez global de la estructura.

De forma similar a los resultados obtenidos por Gutiérrez Lihn (2016) la frecuencia identificada, tanto al inicio como al final de cada ensayo es similar a la frecuencia identificada por pruebas de vibración ambiental (AV) (Astroza, et al., 2015) (trazos de línea de color verde). Esto para los tres modos de vibrar.

Para modos asociados a menores frecuencias identificadas, se observa que están correctamente relacionadas con los valores de ruidos blancos (WN) obtenidos por Gutiérrez Lihn (2015), (presentes con trazos de línea roja en la Figura 6.73). Además, en particular las frecuencias asociadas al primer modo de vibrar coinciden de buena manera con los valores obtenidos por Chen, et al (2016) utilizando los datos de desplazamiento de techo del edificio para los ensayos sísmicos y el método TDO.

**Tabla 6.15: Variación de las frecuencias identificadas en el tiempo, estructura base fija BNCS, registro FB-CNP100.**

Modo	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	Variación [%]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]	Variación [%]
1	1,67	1,02	38,9	1,67	1,53	8,4
2	6,77	4,38	35,3	6,77	6,53	3,5
3	10,88	8,16	25,0	10,88	10,64	2,2

De la Tabla 6.15 se observa como todos los modos sufren una reducción de las frecuencias identificada. Además, de cómo la estructura una vez finalizada el ensayo no recupera completamente su rigidez inicial. Implicando algo de daño en la estructura.

La Figura 6.74 presenta la variación de las razones de amortiguamiento identificadas para los tres modos de vibrar del edificio base fija BNCS a lo largo de todo el protocolo de ensayo. De igual forma a la Figura 6.73, se presentan con trazos de línea verde las razones de amortiguamiento determinadas por pruebas de AV (Astroza, et al., 2015) y con trazos de línea roja la razón de amortiguamiento determinadas por ruidos blancos (WN). Adicionalmente para el primer modo de vibrar se pueden ver con trazos de línea negra los valores obtenidos por Chen, et al (2016) utilizando datos de desplazamiento de techo del edificio y el método TDO.

Se observa un aumento de las razones de amortiguamiento identificadas a lo largo del protocolo de ensayos igual al que observa Gutiérrez Lihn (2016) en sus resultados. Este aumento se asocia a que el daño inducido por los ensayos sísmicos aumenta progresivamente durante el protocolo de ensayo. Esto genera un aumento de liberación de energía por parte de los elementos estructurales asociado a su comportamiento histerético no lineal, el cual es representado por el aumento de la razón de amortiguamiento.

En la Figura 6.75 se puede apreciar la variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales (asociadas a las identificadas para la ventana 1 o inicial) y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayo. Se observa que se obtuvieron valores cercanos a 1 para prácticamente todas las ventanas, por lo cual se puede deducir que las formas modales no varían significativamente a lo largo del protocolo de ensayo.

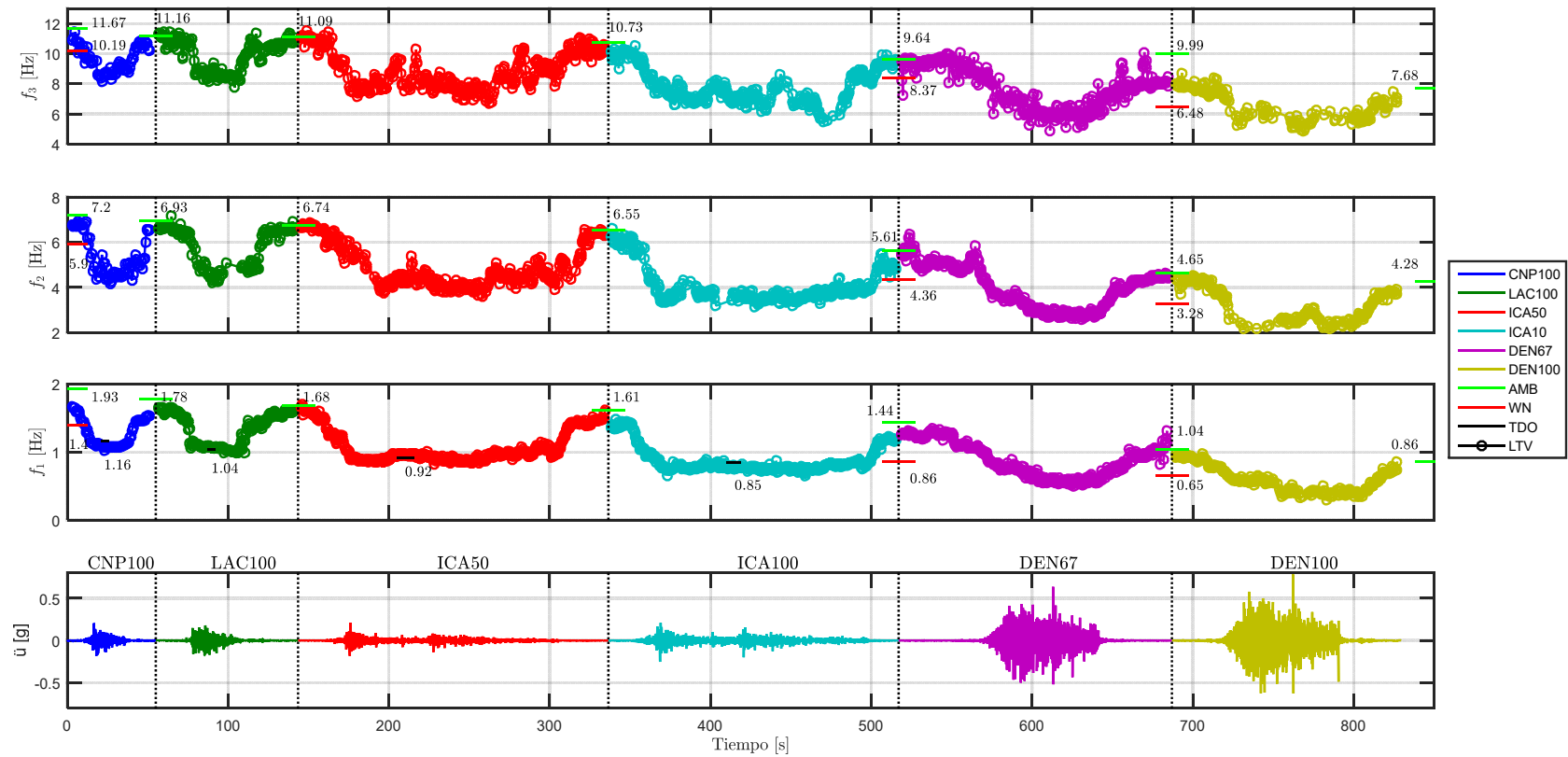


Figura 6.73: Variación temporal de la frecuencia de vibración identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura base fija.

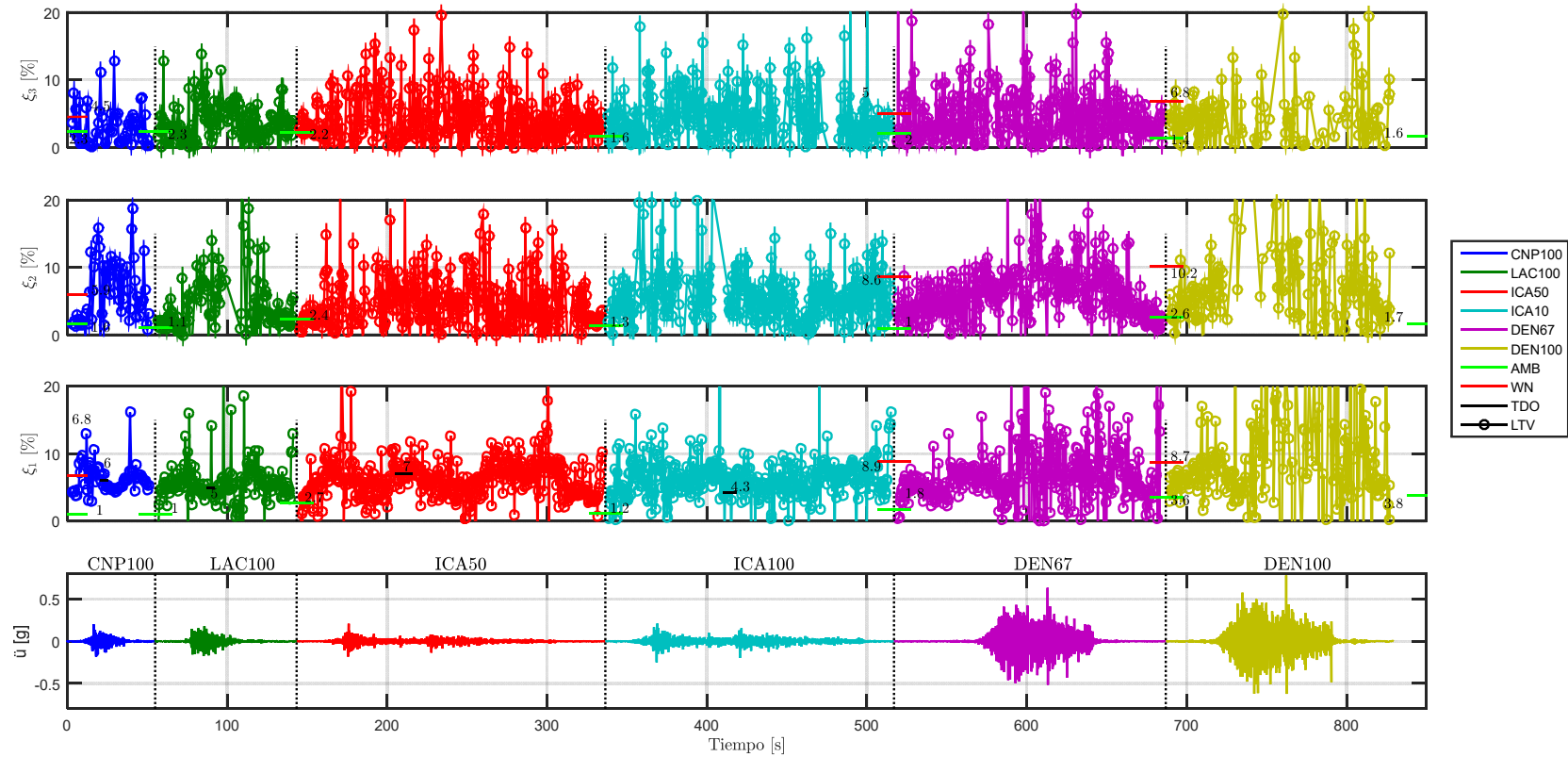


Figura 6.74: Variación temporal de la razón de amortiguamiento identificadas para todo el protocolo de ensayos sísmicos para estructura base fija.



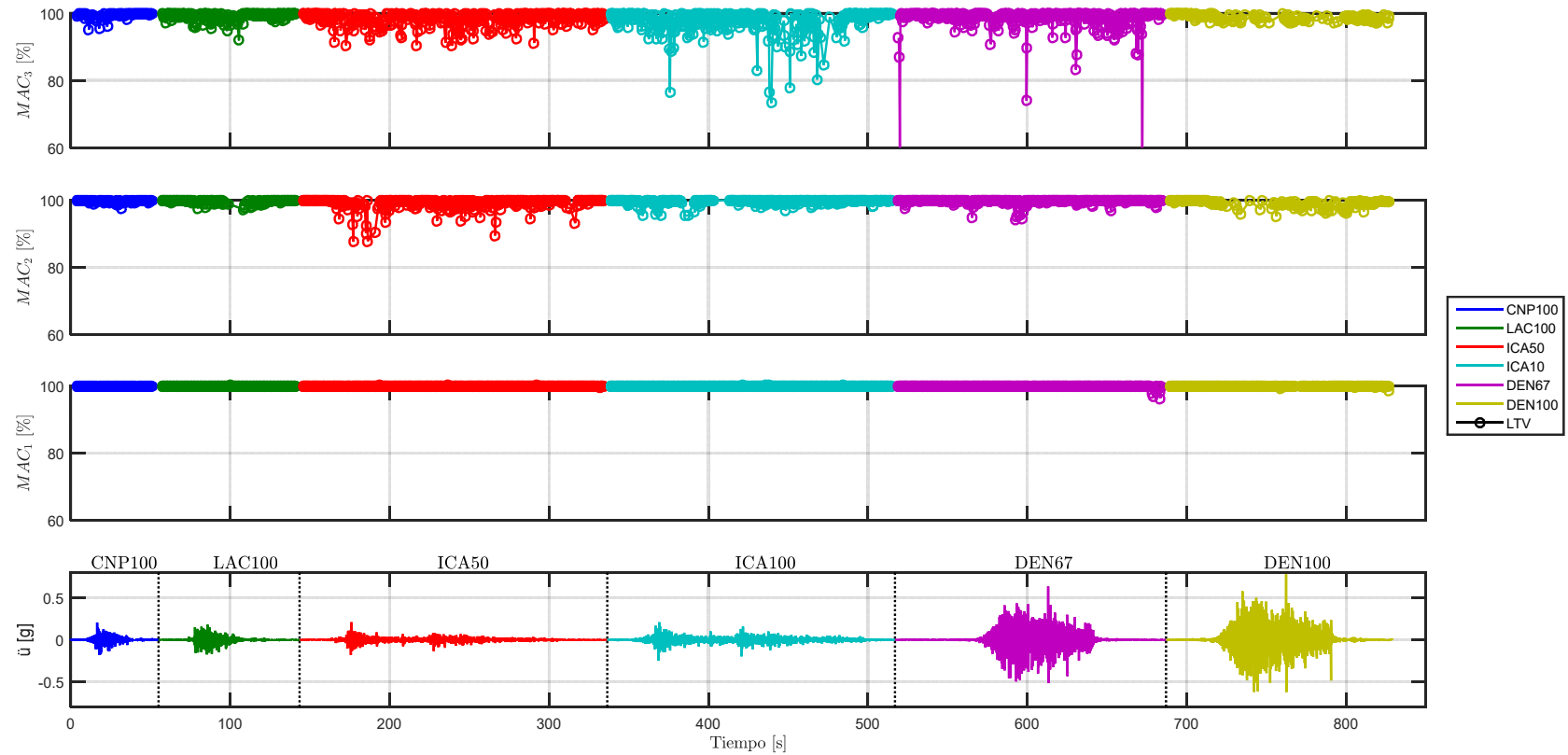


Figura 6.75: Variación temporal del MAC entre las formas modales iniciales y las identificadas a lo largo del protocolo de ensayos sísmicos para estructura base fija.

## 7. Análisis de Edificios de la Comunidad Andalucía

### 7.1 Descripción de los Edificios de la Comunidad Andalucía

Los edificios que se estudian en esta sección forman parte del conjunto habitacional Comunidad Andalucía, ubicado en la calle Pedro Lagos, en el sector sur de la Comuna de Santiago.



Figura 7.1: Edificio aislado Comunidad Andalucía. Fuente: ([www.cec.uchile.cl/~dicesco/Andalucia.html](http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/Andalucia.html)).

En particular, se estudiará dos edificios pertenecientes a la Comunidad Andalucía, de los cuales uno corresponde a un edificio aislado básicamente y el otro idéntico, pero sin sistema de aislación y fundado sobre una zapata corrida.

El edificio corresponde a uno de cuatro pisos, con cuatro departamentos dúplex. Las dimensiones en planta son de 10 [m] longitudinal y 6 [m] transversal. La estructuración corresponde a muros de hormigón asociados únicamente al primer piso, mientras que para los otros pisos los muros corresponden a albañilería confinada. En cada nivel se tienen losas de 10 [cm] de espesor de hormigón armado, con excepción del primer nivel, el cual posee un radier. Las losas asociadas al primer y tercer piso poseen aberturas de 3,36 [m<sup>2</sup>] que permiten el acceso a los pisos superiores. Esto teniendo en cuenta que los accesos a los departamentos se encuentran en el primer y tercer piso. (Ver Figura 7.2).

La estructura asociada al techo de los departamentos corresponde a una liviana, formada por tijerales de madera, apoyadas sobre las cadenas de hormigón armado del cielo del cuarto piso.

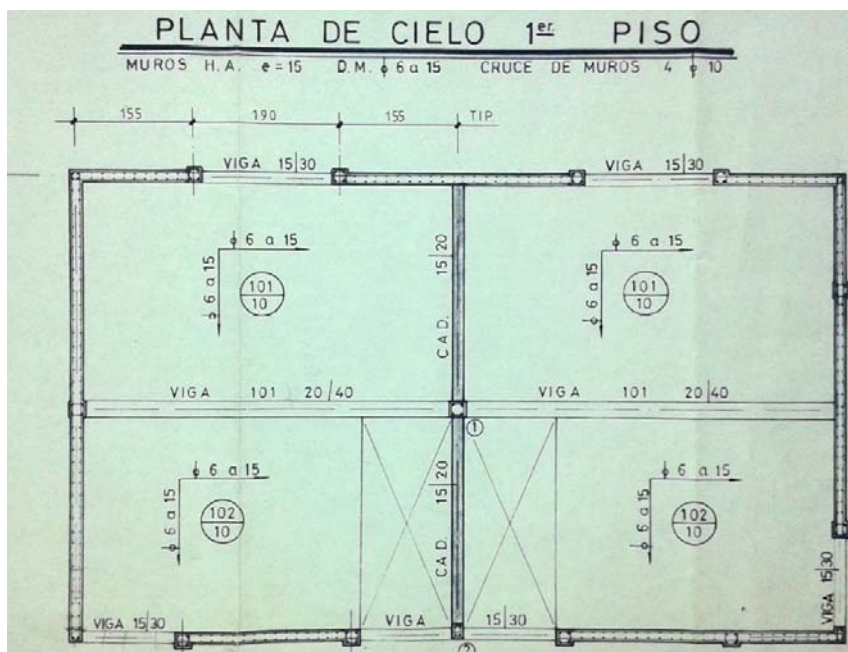
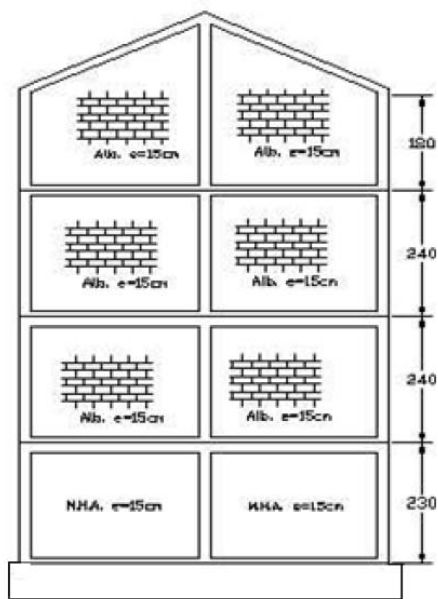
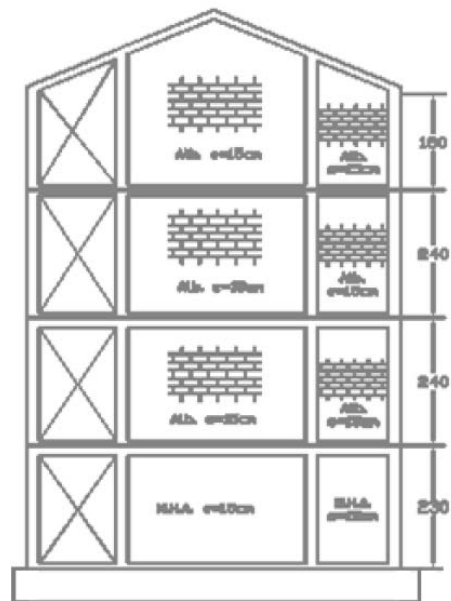


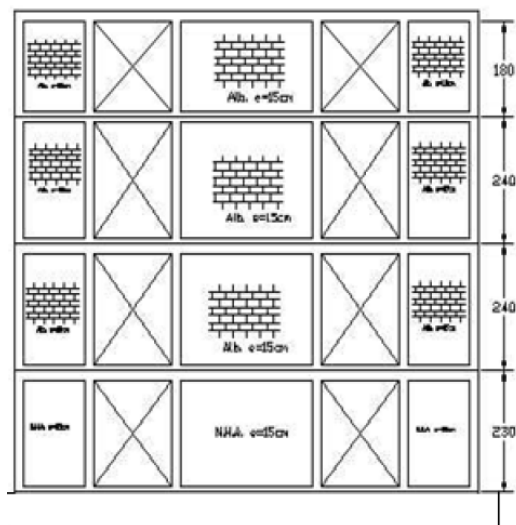
Figura 7.2: Planta tipo de los edificios de la Comunidad Andalucía. Fuente: (Andrade Trujillo, 2014)



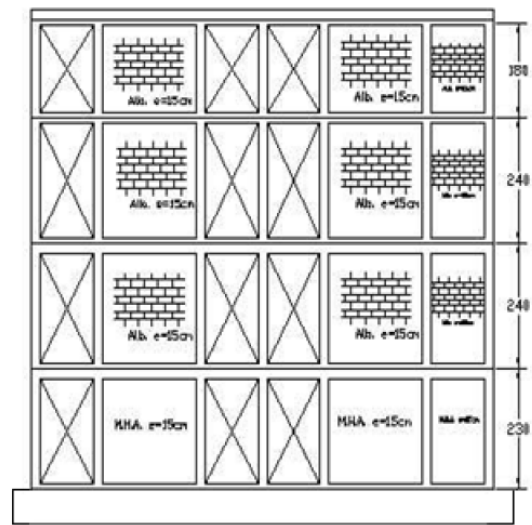
a) Eje A



b) Eje C



c) Eje 1



d) Eje 3

Figura 7.3: Elevaciones de los edificios de la Comunidad Andaluía. Fuente: (Andrade Trujillo, 2014).

Las alturas y las masas sísmicas de cada piso se encuentran presentes en la Tabla 7.1.

**Tabla 7.1: Masas sísmicas y alturas del edificio aislado. Fuente: (Riveros Pérez, 1998).**

N° Pisos	Masa sísmica [ton seg <sup>2</sup> /cm]	Altura de Piso [m]
1	0,01168	2,3
2	0,04089	2,4
3	0,04084	2,4
4	0,04308	2,3

El edificio aislado posee ocho aisladores ubicados en el perímetro externo del edificio, en cada una de las esquinas y en la mitad de cada uno de los lados. Estos se encuentran ubicados entre el nivel basal y la fundación.

Las características de los aisladores son:

- Altura de 32 [cm].
- Diámetro de 31,5 [cm].
- 34 capas de goma de alto amortiguamiento de espesor de 6,7 [mm].
- 33 placas de acero de 2 [mm] de espesor.
- Resistir una carga vertical de 35 [T].
- Deformación máxima lateral de 20 [cm].
- Goma de alto amortiguamiento, compuesta de caucho natural con negro de humo y algunos otros componentes.
- Módulo de elasticidad al corte de 6,5 [kg/cm<sup>2</sup>].
- Razón de amortiguamiento del orden de un 10 [%].

De acuerdo a las características anteriores se espera que el periodo natural de la estructura varíe de 0,1 a 2 [seg] cuando el aislador alcance una deformación equivalente al 50 [%] de su altura.

## 7.2 Instrumentación

Los edificios se encuentran instrumentados con acelerómetros digitales tipo Solid State Accelerograph (SSA-2), los cuales registran aceleraciones en tres direcciones ortogonales. La capacidad de registro es de aceleraciones de hasta 1 [g], su frecuencia natural es de 50 [Hz] y posee un amortiguamiento crítico del orden de un 70 [%].

Para el edificio aislado existe un acelerómetro a nivel de techo, uno a nivel de la losa del primer piso (nivel de aislación) y uno a nivel de fundaciones. Mientras que para el edificio sin aislación solo existe acelerómetro a nivel de techo.

Todos los equipos se encuentran conectados entre sí de tal forma que en el momento que alguno de ellos supere el nivel de disparo, todos los equipos comienzan a guardar la información registrada a una frecuencia de 200 muestras por segundo.

### 7.3 Recopilación de Propiedades Dinámicas Identificadas

Se presentan en las siguientes tablas los resultados de identificación de frecuencias predominantes en los modos fundamentales por microvibraciones obtenidos para cada una de las direcciones presentes en la memoria de Riveros Pérez (1998).

**Tabla 7.2: Frecuencias identificadas por microvibraciones medidas el 1/06/97. Fuente: (Riveros Pérez, 1998).**

Modos	Edificio Aislado Frecuencia [Hz]	Edificio No Aislado Frecuencia [Hz]
Norte-Sur (Longitudinal)	5,64	7,50
Este-Oeste (Transversal)	6,56	9,20
Torsional	8,74	12,13

**Tabla 7.3: Frecuencias identificadas por microvibraciones medidas el 3/11/97. Fuente: (Riveros Pérez, 1998).**

Modos	Edificio Aislado Frecuencia [Hz]	Edificio No Aislado Frecuencia [Hz]
Norte-Sur (Longitudinal)	5,70	7,30
Este-Oeste (Transversal)	6,45	9,00
Torsional	8,50	11,7

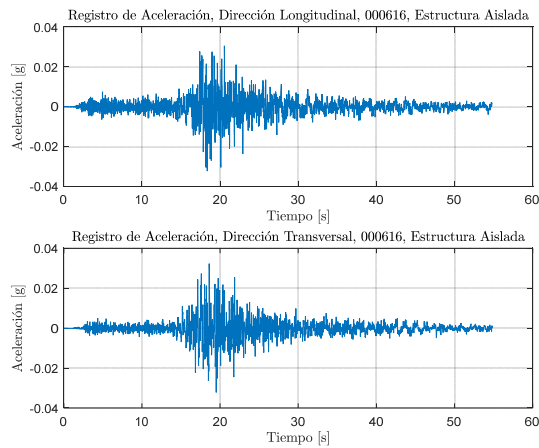
**Tabla 7.4: Frecuencias identificadas por microvibraciones medidas en 1997 por C. Rojas. Fuente: (Andrade Trujillo, 2014)**

Modos	Edificio No Aislado Frecuencia [Hz]
Norte-Sur (Longitudinal)	7,40
Este-Oeste (Transversal)	9,00
Torsional	11,95

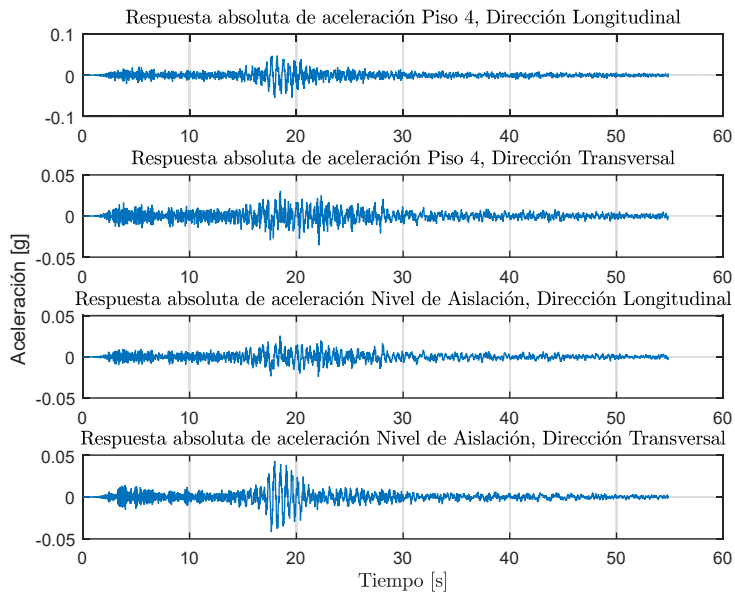
## 7.4 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada – Evento del 16/06/2000

### 7.4.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a la instrumentación de la estructura aislada antes descrita, se considera como input la respuesta medida por acelerómetro a nivel de fundación, presente en la Figura 7.4. Mientras que como outputs se consideran la respuesta medida a nivel de techo y a nivel de aislación.



**Figura 7.4: Input estructura aislada, Registro 16/06/2000.**

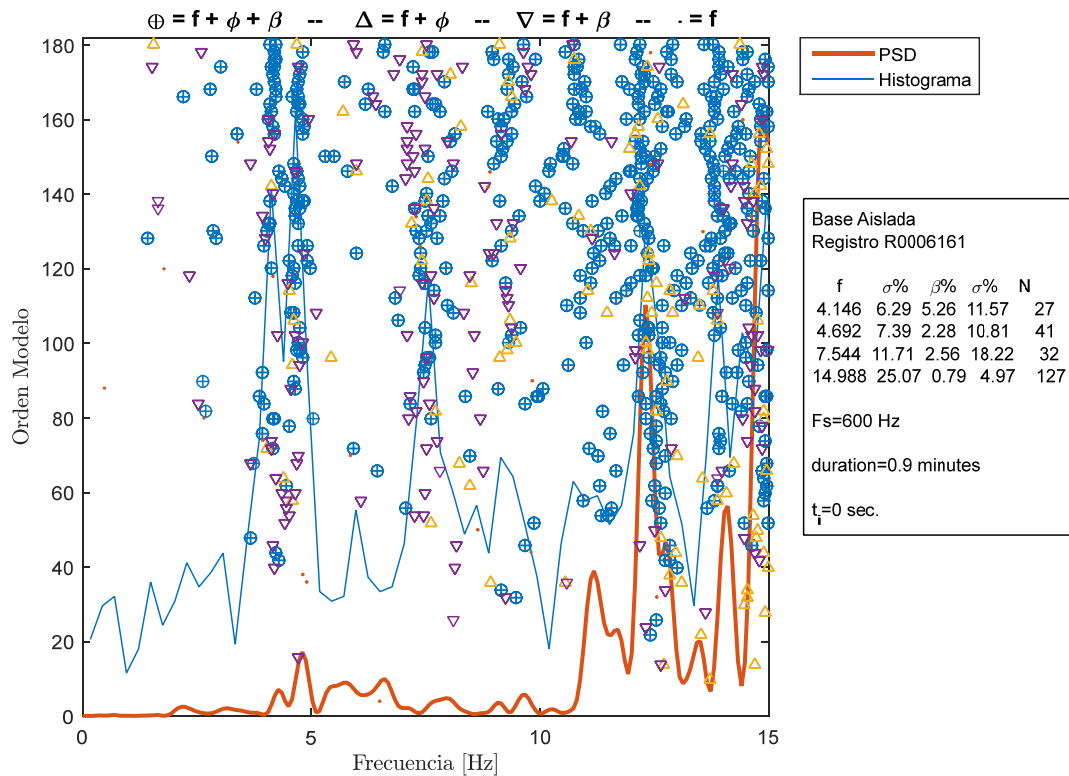


**Figura 7.5: Output estructura aislada, Registro 16/06/2000.**

## 7.4.2 Identificación de Propiedades Dinámicas

Debido a la poca instrumentación y a la baja calidad de los sensores para poder implementar el método DSI no se consideraron los criterios utilizados para el caso analítico y para el caso experimental, solo se considera realizar un análisis variante en el tiempo para la identificación de las propiedades dinámicas.

Para este análisis se realizará la identificación de las propiedades dinámicas asociadas a ventanas cada 5 [seg] y se seleccionan manualmente las frecuencias identificadas de acuerdo al criterio de triple coincidencia en el diagrama de estabilidad.



**Figura 7.6: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento inicial, estructura aislada, registro 16/06/2000.**



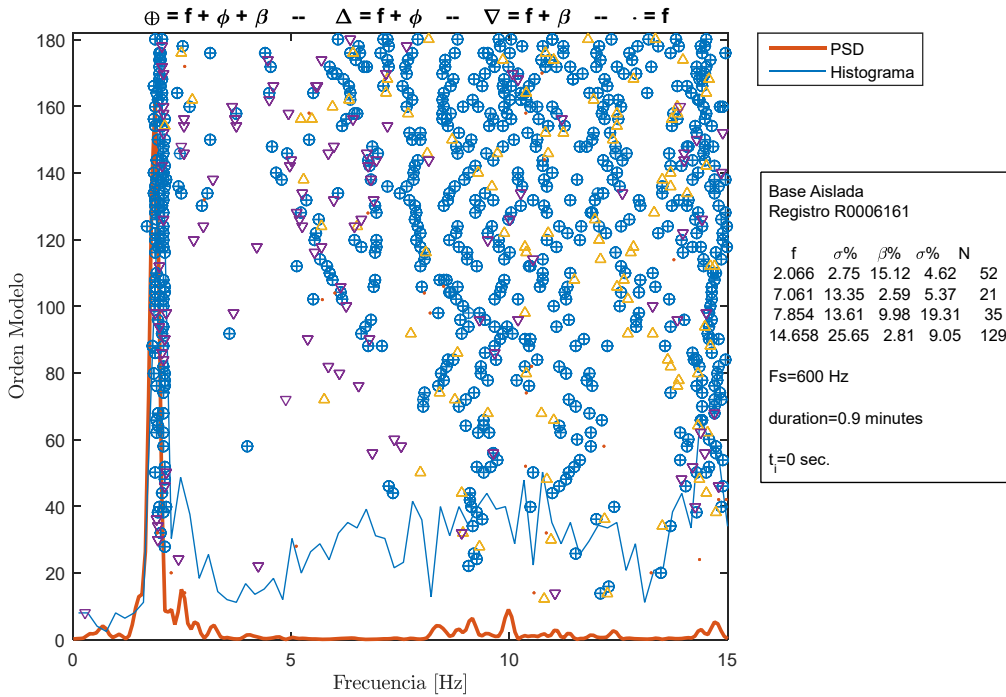


Figura 7.7: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento fuerte, estructura aislada, registro 16/06/2000.

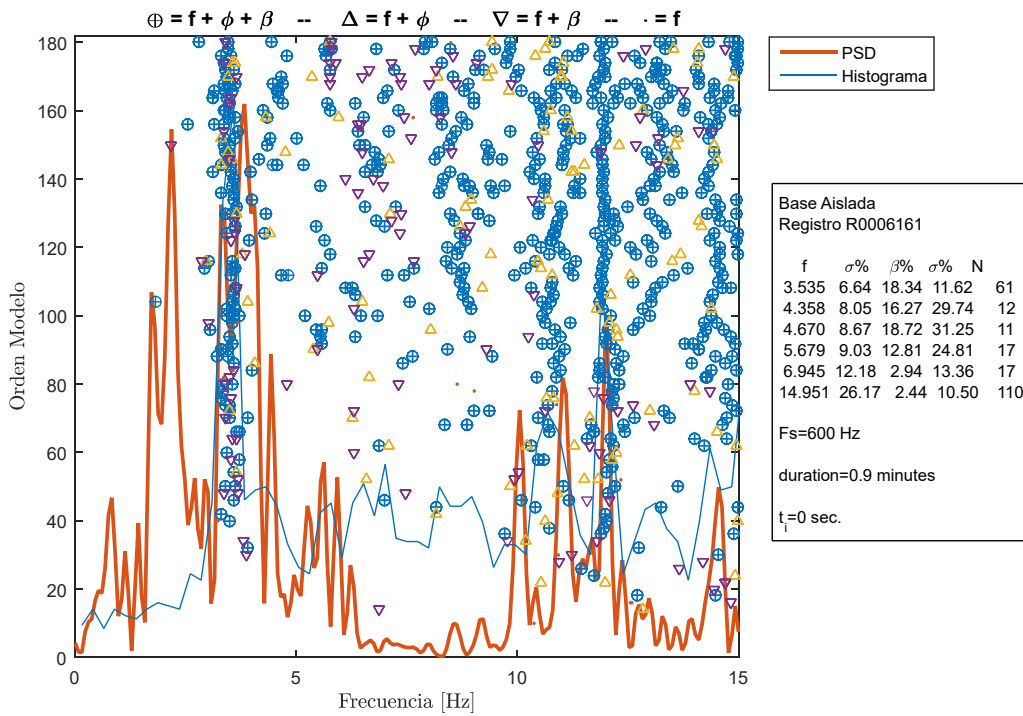


Figura 7.8: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento final, estructura aislada, registro 16/06/2000.

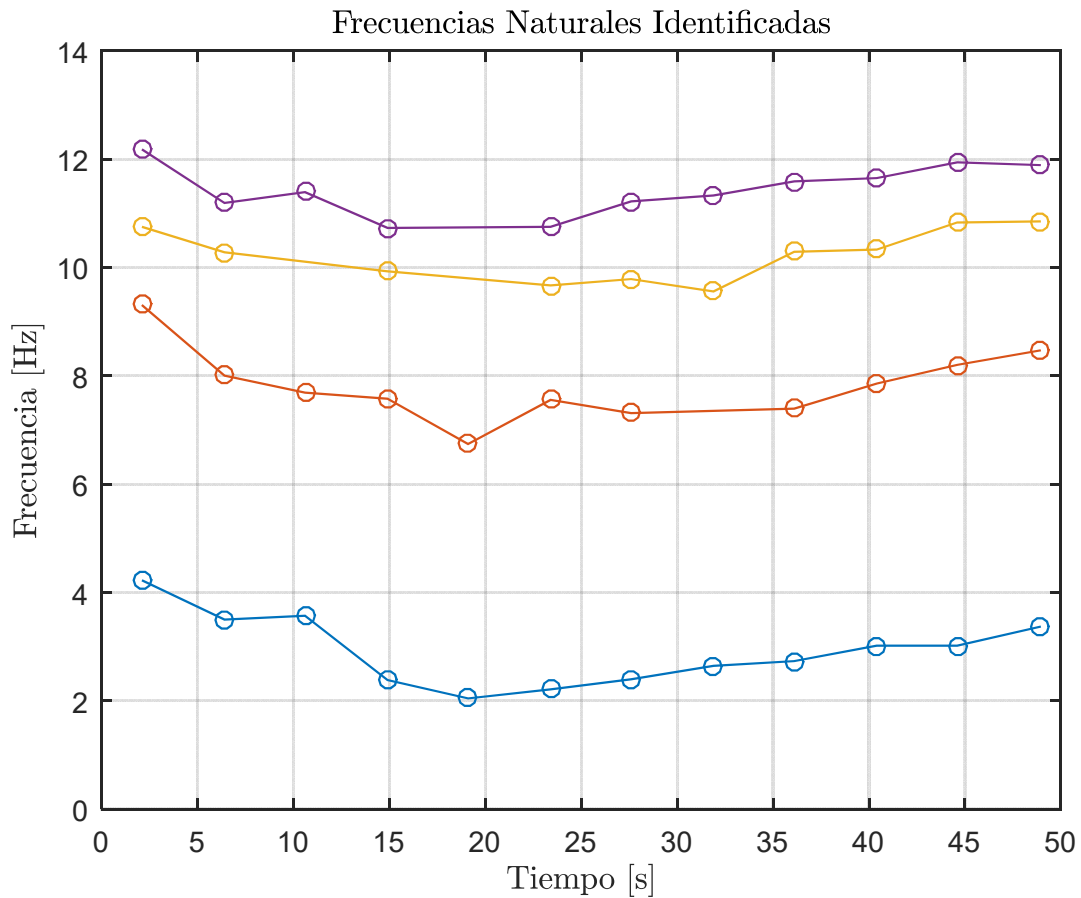


Figura 7.9: Frecuencias identificadas, estructura aislada, registro 16/06/2000.

### 7.4.3 Análisis de Propiedades Identificadas

Tabla 7.5: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada, registro 16/06/2000.

Modo	$f_{(inicial)}$ [Hz]	$f_{(mínima)}$ [Hz]	$f_{(final)}$ [Hz]
1	4,23	2,05	3,37
2	9,31	6,74	8,47
3	10,75	9,66	10,85
4	12,18	10,73	11,89

En la Tabla 7.5 se aprecian las frecuencias modales identificadas, correspondientes a la ventana inicial ( $f_{(inicial)}$ ), asociada al movimiento inicial del input, a la ventana asociada al movimiento fuerte del input ( $f_{(mínima)}$ ) y a la ventana relacionada al movimiento débil final del registro ( $f_{(final)}$ ). En la tabla se pueden apreciar cuatro modos identificados, donde el primer modo corresponde a un modo asociado al sistema de aislación. Específicamente no

es posible saber si corresponde al modo longitudinal o traslacional del sistema de aislación, ya que como se puede apreciar en los diagramas de estabilidad, al observar el de la Figura 7.6 se distingue la presencia de dos modos asociados al sistema de aislación, pero luego para el diagrama de estabilidad asociado al movimiento fuerte, se acoplan y solo se distingue uno.

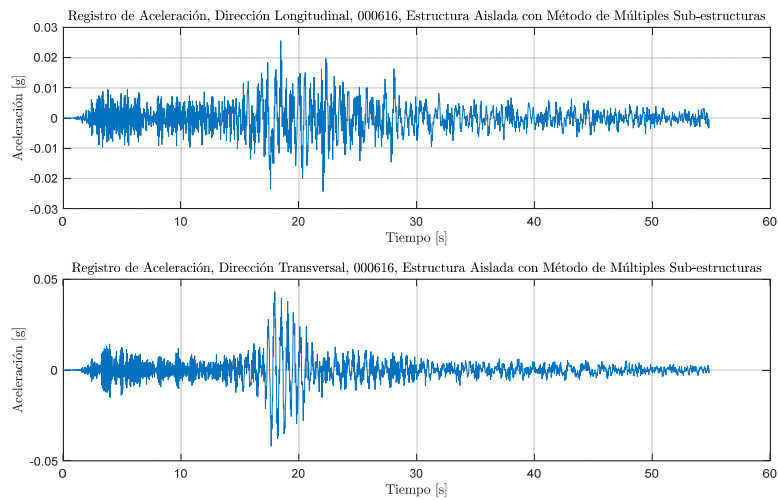
Por otra parte, el segundo modo corresponde al longitudinal, el tercero al modo transversal y el cuarto al torsional, asociados los tres fundamentalmente a la superestructura.

De los resultados obtenidos se observa que, al comienzo de cada evento sísmico, el movimiento de entrada muestra bajas amplitudes y se tienen valores altos de frecuencia. A medida que la amplitud asociada al movimiento de entrada (input) aumenta durante la fase del movimiento fuerte, la frecuencia identificada disminuye, pero tiende a recuperarse en ciertas proporciones al final de cada ensayo. A medida que aumenta la amplitud de la sollicitación se aprecia la degradación de rigidez global de la estructura.

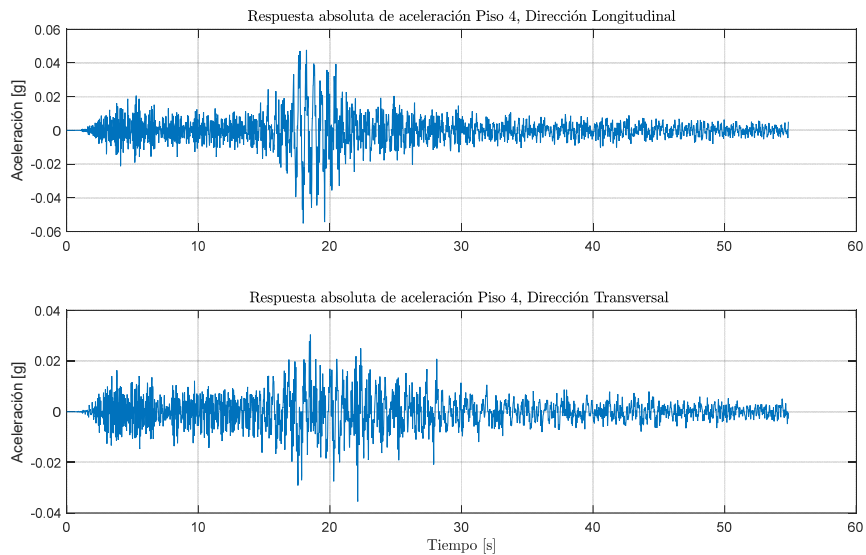
## 7.5 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras – Evento del 16/06/2000

### 7.5.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras

De acuerdo a la instrumentación de la estructura aislada con método de múltiples sub-estructuras, se considera como input la respuesta medida por acelerómetro a nivel de aislación, presente en la Figura 7.10. Mientras que como outputs se consideran la respuesta medida a nivel de techo.



**Figura 7.10: Input estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, Registro 16/06/2000.**

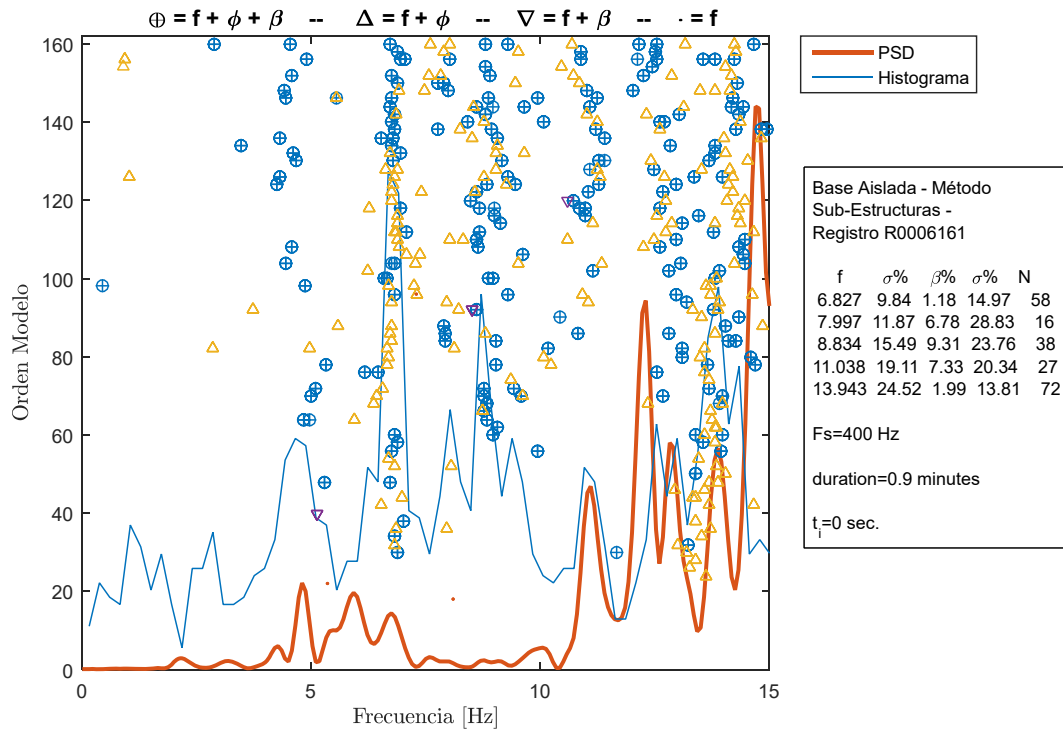


**Figura 7.11: Output estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, Registro 16/06/2000.**

## 7.5.2 Identificación de Propiedades Dinámicas

Debido a la poca instrumentación y a la baja calidad de los sensores para poder implementar el método DSI no se consideraron los criterios utilizados para el caso analítico y para el caso experimental, solo se considera realizar un análisis variante en el tiempo para la identificación de las propiedades dinámicas.

Para este análisis se realizará la identificación de las propiedades dinámicas asociadas a ventanas cada 5 [seg] y se seleccionan manualmente las frecuencias identificadas de acuerdo al criterio de triple coincidencia en el diagrama de estabilidad.



**Figura 7.12: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento inicial, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.**

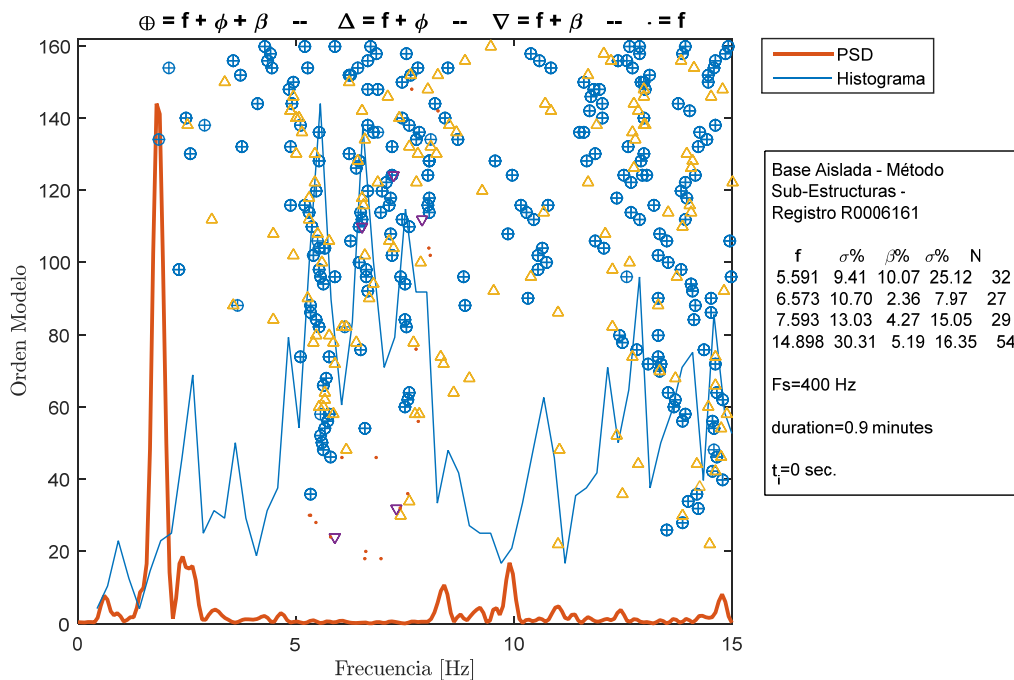


Figura 7.13: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento fuerte, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.

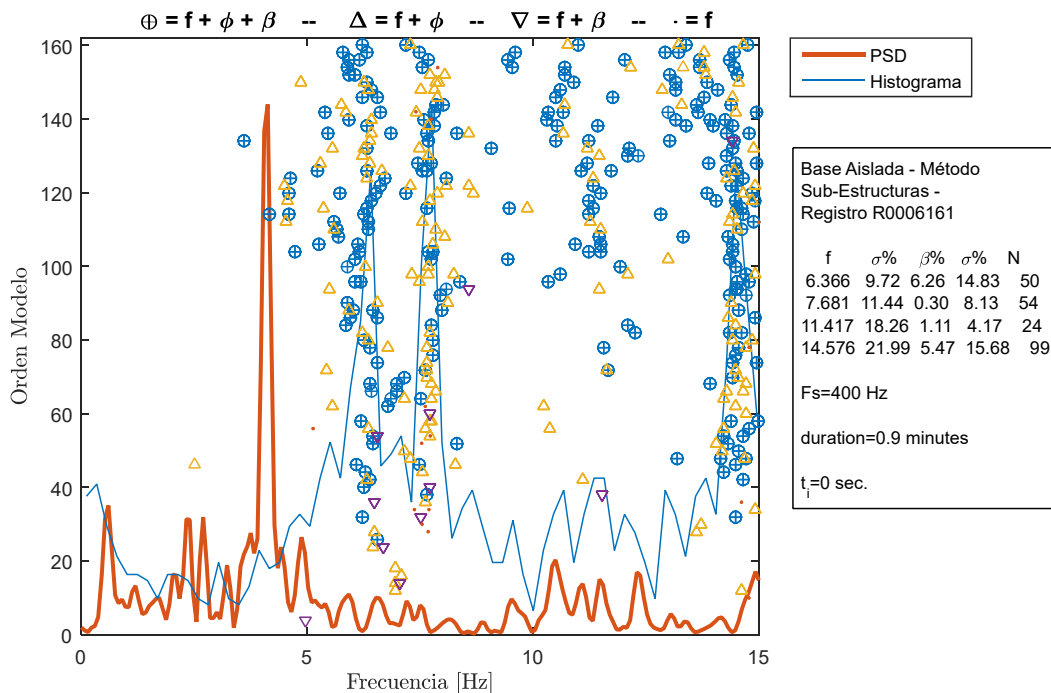


Figura 7.14: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento final, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.

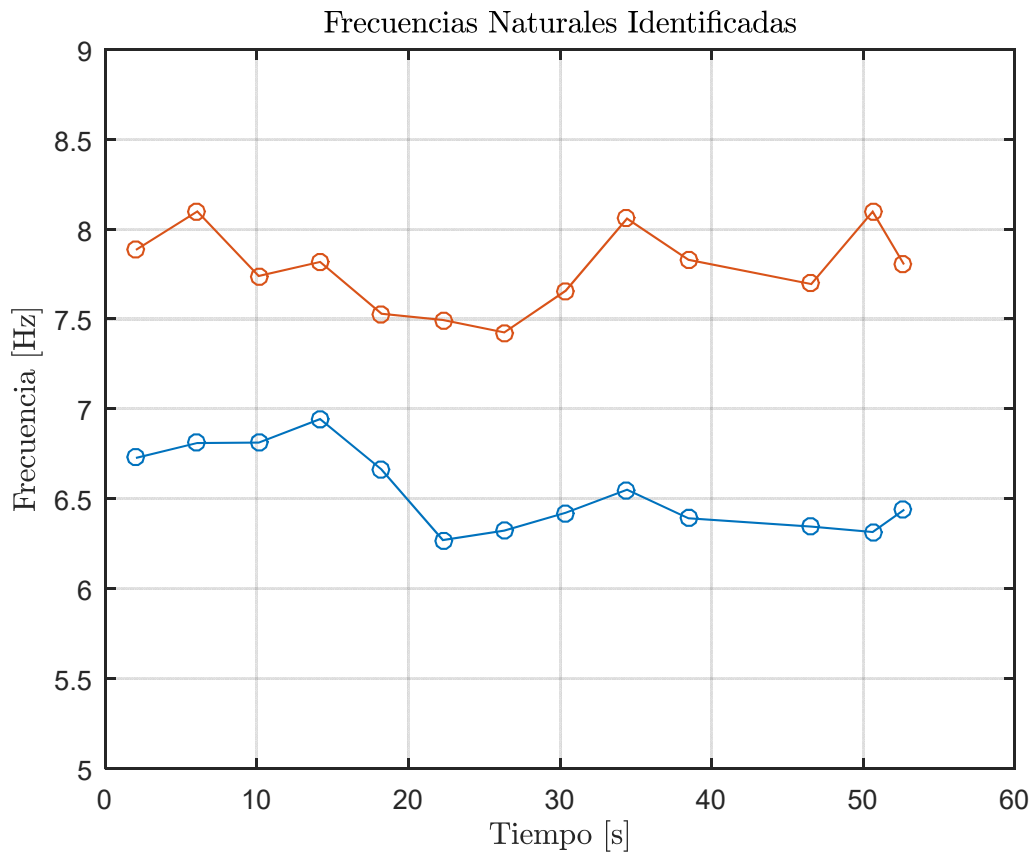


Figura 7.15: Frecuencias identificadas, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.

### 7.5.3 Análisis de Propiedades Identificadas

Tabla 7.6: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada con método múltiples sub-estructuras, registro 16/06/2000.

Modo	$f_{(inicial)}$ [Hz]	$f_{(mínima)}$ [Hz]	$f_{(final)}$ [Hz]
1	6.78	6,27	6,44
2	7,88	7,43	7,80

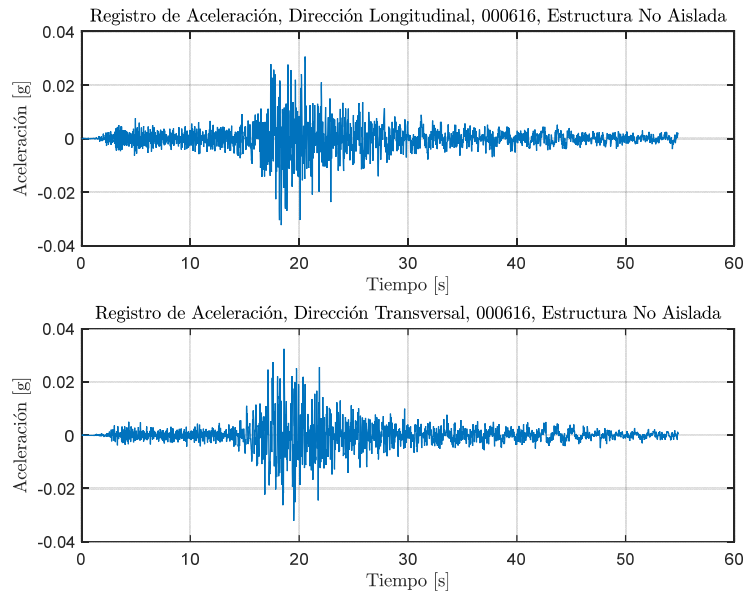
La Tabla 7.6 presenta las frecuencias modales identificadas, asociadas a la ventana inicial, a la ventana correspondiente al movimiento fuerte y a la ventana del movimiento final débil del registro. De estos resultados se puede apreciar dos modos, el primero asociado al modo longitudinal y el segundo asociado al modo transversal.

De igual modo al caso aislado se observa degradación de rigidez global de la estructura la cual se recupera al final del movimiento sísmico.

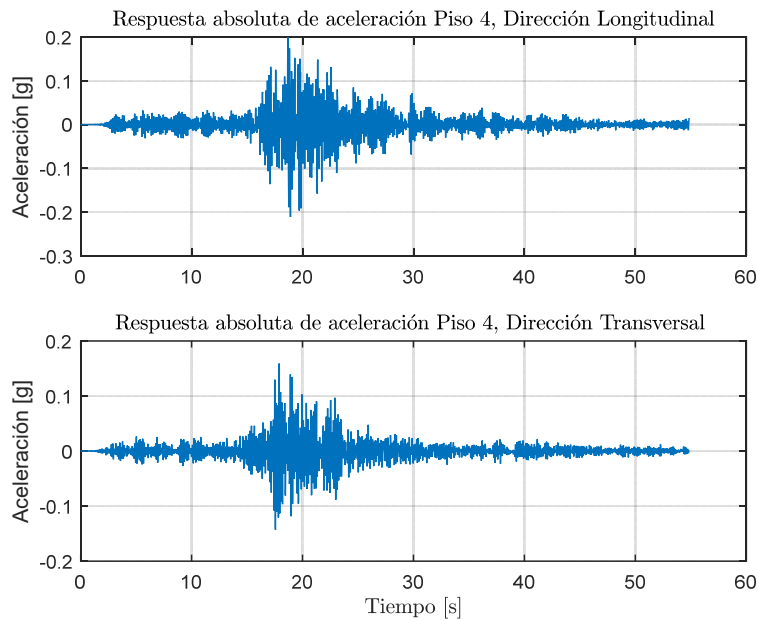
## 7.6 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura No Aislada – Evento del 16/06/2000

### 7.6.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura No Aislada

De acuerdo a la instrumentación de la estructura no, se considera como input la respuesta medida por acelerómetro a nivel de fundación, presente en la Figura 7.10. Mientras que como outputs se consideran la respuesta medida a nivel de techo.



**Figura 7.16: Input estructura no aislada, Registro 16/06/2000.**



**Figura 7.17: Output estructura no aislada, Registro 16/06/2000.**



## 7.6.2 Identificación de Propiedades Dinámicas

Debido a la poca instrumentación y a la baja calidad de los sensores para poder implementar el método DSI no se consideraron los criterios utilizados para el caso analítico y para el caso experimental, solo se considera realizar un análisis variante en el tiempo para la identificación de las propiedades dinámicas.

Para este análisis se realizará la identificación de las propiedades dinámicas asociadas a ventanas cada 5 [seg] y se seleccionan manualmente las frecuencias identificadas de acuerdo al criterio de triple coincidencia en el diagrama de estabilidad.

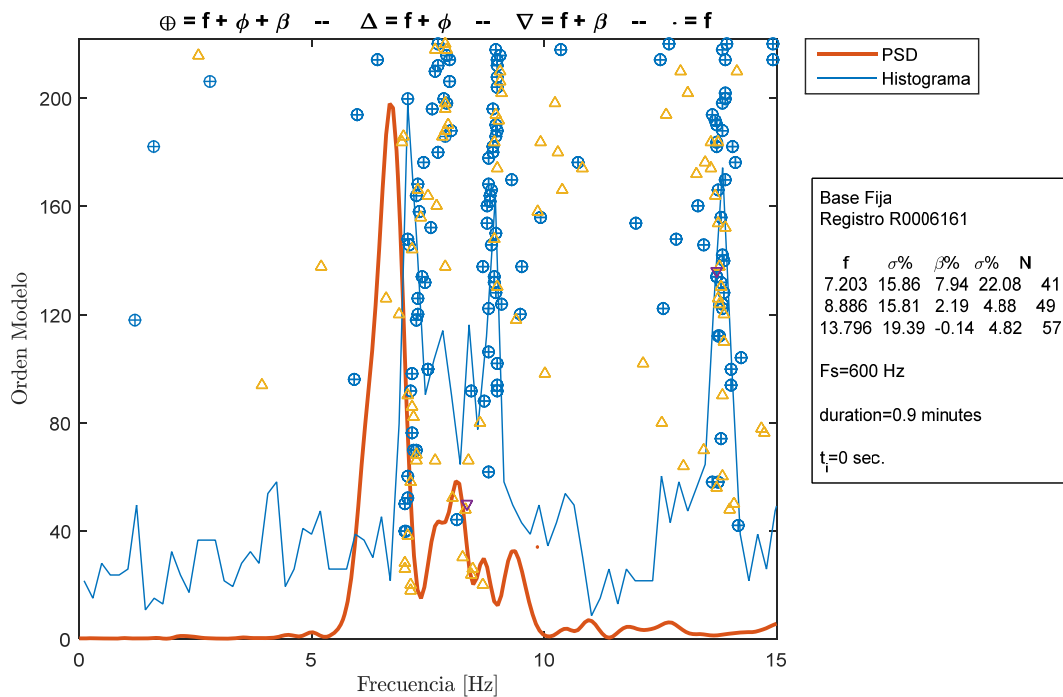


Figura 7.18: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento inicial, estructura no aislada, registro 16/06/2000.

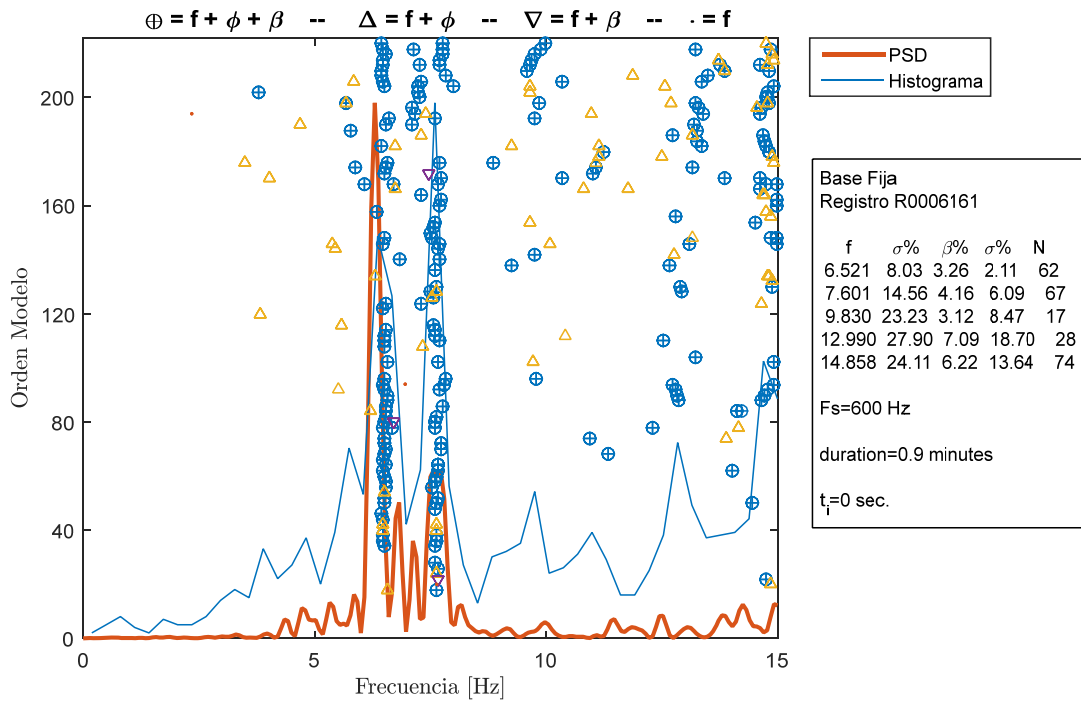


Figura 7.19: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento fuerte, estructura no aislada, registro 16/06/2000.

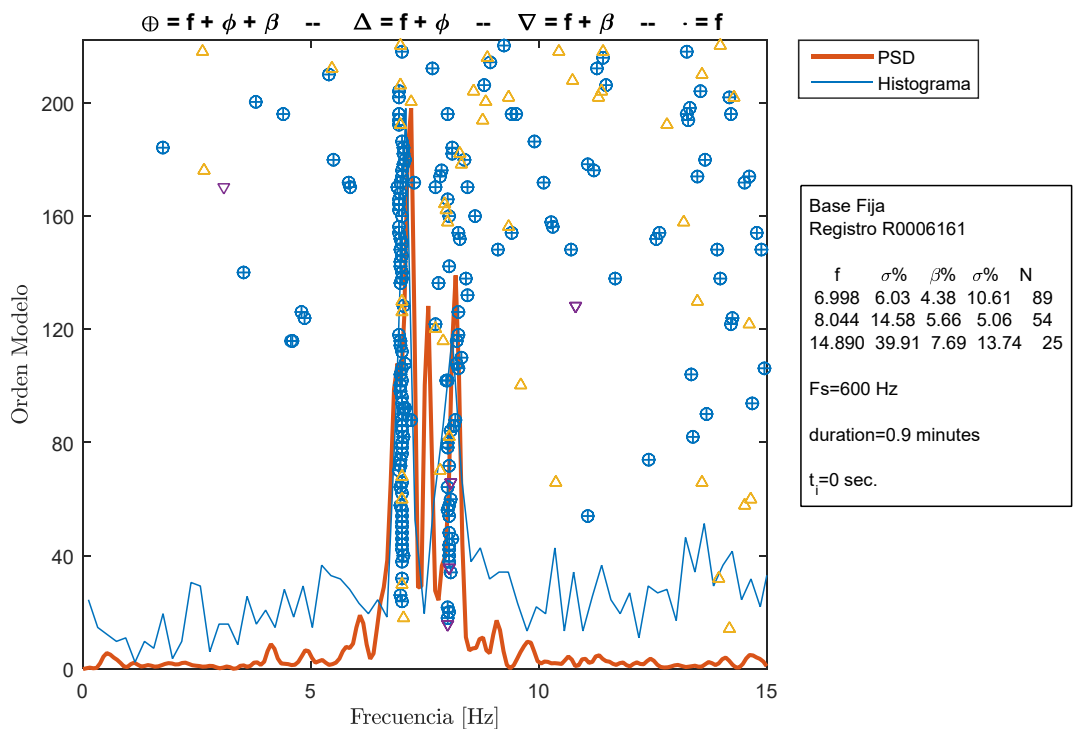


Figura 7.20: Diagrama de estabilidad para la ventana asociada al movimiento final, estructura no aislada, registro 16/06/2000.

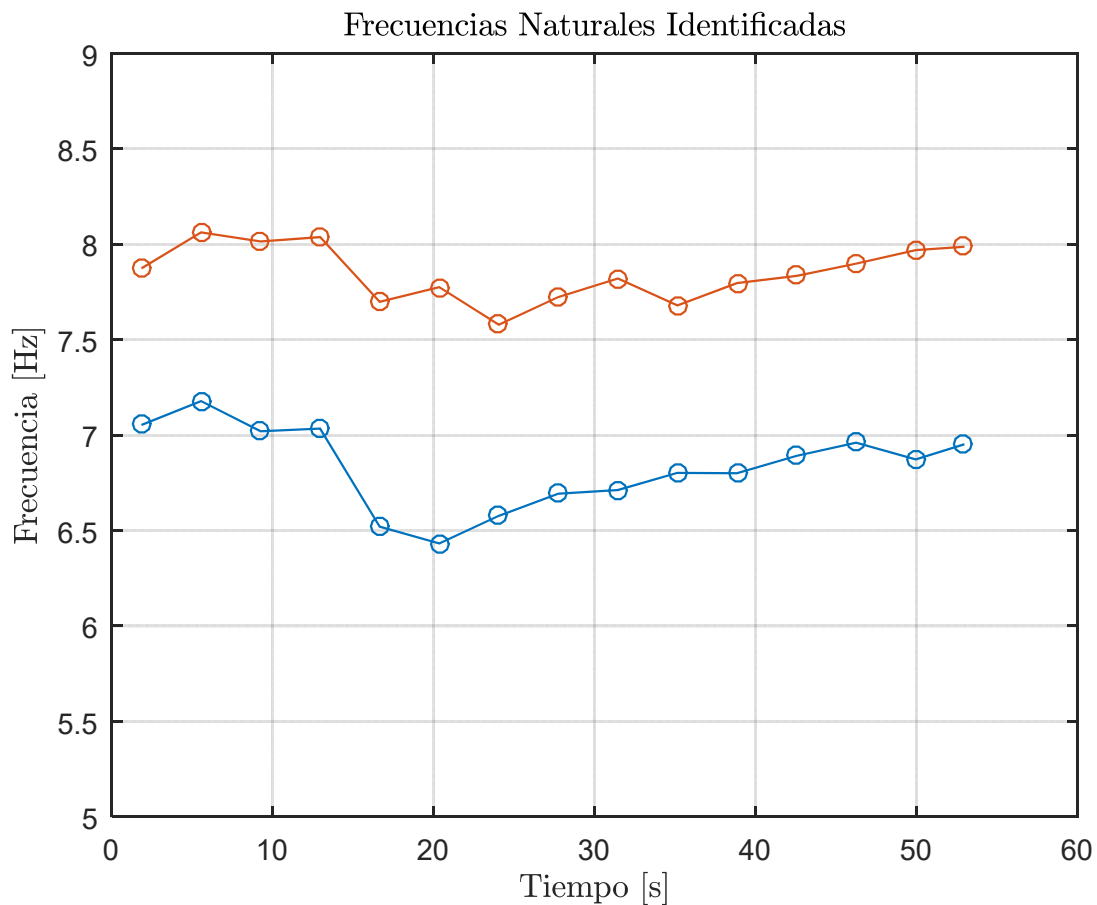


Figura 7.21: Frecuencias identificadas, estructura no aislada, registro 16/06/2000.

### 7.6.3 Análisis de Propiedades Identificadas

Tabla 7.7: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura no aislada, registro 16/06/2000.

Modo	$f_{(inicial)}$ [Hz]	$f_{(mínima)}$ [Hz]	$f_{(final)}$ [Hz]
1	7,05	6,43	6,95
2	7,87	7,57	7,98

La Tabla 7.7 presenta las frecuencias modales identificadas, asociadas a la ventana inicial, a la ventana correspondiente al movimiento fuerte y a la ventana del movimiento final débil del registro. De estos resultados se puede apreciar dos modos, el primero asociado al modo longitudinal y el segundo asociado al modo transversal.

De igual modo al caso aislado con el método de múltiples sub-estructuras se observa degradación de rigidez global de la estructura la cual se recupera al final del movimiento sísmico.

**Tabla 7.8: Comparación de frecuencias identificadas para el caso no aislado (ET) con el caso aislado aplicando el método de múltiples sub-estructuras (MSE).**

Modo	$f_{(inicial)} ET$ [Hz]	$f_{(inicial)} MSE$ [Hz]	$f_{(mínima)} ET$ [Hz]	$f_{(mínima)} MSE$ [Hz]	$f_{(final)} ET$ [Hz]	$f_{(final)} MSE$ [Hz]
1	7,05	6,78	6,43	6,27	6,95	6,44
2	7,87	7,88	7,57	7,43	7,98	7,80

A partir de la Tabla 7.8 se puede apreciar como las frecuencias identificadas para el caso aislado aplicando el método de múltiples sub-estructuras son muy similares a las obtenidas para la identificación para la estructura no aislada. En base a esto se concluye que el método de múltiples sub-estructuras es aplicable y válido para el análisis de estructuras aisladas básicamente. Cabe mencionar que ambas estructuras no son exactamente idénticas dado que poseen un nivel de ocupación, construcción y daño distinto al tratarse de estructuras reales.

## 8. Conclusiones

El estudio presentado en esta memoria determina las ventajas y desventajas del método de múltiples sub-estructuras en el análisis de la respuesta dinámica de la superestructura de un edificio con aislación en su base.

Para esto, se estudió y comparó la respuesta dinámica de edificios con y sin aislación empleando el método de sub-estructuras, permitiendo: i) estudiar y comparar la evolución de las propiedades modales del edificio cuando su respuesta se plantea relativa a su nivel de aislación o relativa a su nivel basal, ii) comparar directamente la respuesta modal de edificios con y sin aislación.

La evolución de las propiedades dinámicas se determinó para tres estructuras (con y sin aislación): i) Una estructura modelada numéricamente en SAP 2000, ii) el edificio “BNCS” a escala real (con y sin aislación) que fue ensayado en la mesa de vibrar de la Universidad de California, San Diego (UCSD), iii) los datos de los edificios chilenos con y sin aislación de la “Comunidad Andalucía” sujetos a eventos sísmicos de una intensidad intermedia.

Para analizar la evolución de las propiedades dinámicas en el tiempo se empleó el método Deterministic-Stochastic Subspace Identification (DSI) por pequeñas ventanas de tiempo y se comparó con las frecuencias obtenidas por el método Función de Transferencia por pequeñas ventanas (tfTF).

Las conclusiones de este estudio son:

- Se puede observar en base a los resultados obtenidos de análisis de propiedades dinámicas variantes en el tiempo realizado sobre las diversas estructuras estudiadas, tanto analíticas como experimentales, que el método de múltiples sub-estructuras permite analizar la superestructura como una estructura independiente montada sobre el nivel de aislación, desagregándola del comportamiento no lineal del sistema de aislación y permitiendo estudiar de forma adecuada el comportamiento elástico-lineal (o no-lineal) de la superestructura, validándose el método.
- En base a la identificación de las propiedades dinámicas variantes en el tiempo se comprueba la correcta implementación del método DSI y del método tfTF.
- En relación a la aplicación del método de múltiples sub-estructuras sobre el modelo numérico desarrollado en SAP2000 se debe considerar que al ser un modelo analítico no presenta ningún tipo de ruido sobre sus datos de salida u outputs, lo cual favorece a la identificación de las propiedades dinámicas. Por otra parte, se demostró que a pesar de que la estructura tuviera modos de vibrar cuyas frecuencias naturales sean muy cercanas unas de otras, el método DSI permite desacoplar la superestructura del sistema de aislación e identificar dichos modos asociados a la superestructura.

- Los valores de las razones de amortiguamiento obtenidos para los primeros modos de la estructura sin aislación y para la estructura aislada con el método de múltiples sub-estructuras (del orden de un 2 [%]), indican que los valores de las razones de amortiguamiento son iguales a las asignadas al modelo. Además, se aprecia como el considerar amortiguamiento no-clásico en la modelación permite desacoplar de forma correcta la superestructura del sistema de aislación, sin incorporar algún efecto cruzado en el amortiguamiento de la superestructura, como sería el caso usando amortiguamiento de tipo Rayleigh.
- La implementación del método de múltiples sub-estructuras sobre el modelo numérico en SAP2000 permitió concluir que la superestructura posee apoyos simples en las bases de sus columnas. Esto sugiere que la modelación clásica desarrollada en SAP2000 implica que los aisladores generan un apoyo fijo de la superestructura.
- De los resultados para el análisis del modelo numérico en SAP2000, se puede apreciar el comportamiento elástico-lineal de la superestructura y el comportamiento histerético bi-lineal del sistema de aislación y como este afecta a la superestructura al realizar el análisis en relación al movimiento basal.
- En base a los resultados de propiedades dinámicas invariantes en el tiempo obtenidos para la estructura aislada con y sin el método de múltiples sub-estructuras, sometidas a un ensayo pull-back, al comparar las frecuencias y los amortiguamientos identificados por el método DSI por pequeñas ventanas de tiempo para la estructura aislada y sin aislación, se puede observar que son similares. Por lo tanto, el método de múltiples sub-estructuras es efectivo, permitiendo desacoplar el efecto no-lineal de la estructura aislada y estudiar la respuesta lineal-elástica de la superestructura. Cabe mencionar que al igual que para el caso de la estructura aislada ensayada con un pull-back, se pudo apreciar que los modos identificados corresponden principalmente a los de traslación en Y. Lo cual tiene relación con el hecho que el desplazamiento inicial se generó en dicha dirección.
- En relación a la aplicación del método de múltiples sub-estructuras sobre el edificio BNCS, se apreció que la superestructura presenta degradación de su rigidez durante la sollicitación sísmica durante el movimiento fuerte, comportándose de forma similar a la estructura de base fija sujeta a acciones sísmicas. Cabe mencionar que las frecuencias iniciales y finales de la superestructura coincidieron perfectamente con los valores identificados de la estructura con base fija sujeta a mediciones de vibraciones ambientales justo posterior a los ensayos de la estructura con sistema de aislación. Demostrando que el método de subestructura fue efectivo para estudiar el comportamiento desacoplado de la superestructura eliminando el efecto histerético del sistema de aislación. Por otra parte, también se pudo apreciar como el comportamiento del sistema de aislación afecta al de la estructura completa al considerar el análisis en relación al movimiento basal.
- La variación de frecuencias observada para la estructura de base fija y la superestructura de la estructura aislada empleando el método de múltiples sub-estructuras se deben a la diferencia del contenido de frecuencia y amplitud del input observado para el caso aislado y lo impuesto para la estructura fija durante los ensayos sísmicos o de ruidos blancos (WN). Observándose una mayor variación para la

estructura fija, la cual mostró además cambios residuales de frecuencia; implicando que la estructura con base fija sufre cierto nivel de daño durante cada ensayo sísmico (Lo cual no ocurrió para la superestructura en el caso aislado).

- Cabe mencionar que la superestructura de la estructura aislada muestra variación de sus frecuencias durante el movimiento fuerte; sin embargo las frecuencias iniciales y finales son prácticamente idénticas, lo cual implica que no existe daño de la superestructura durante los eventos sísmicos. Se plantea la hipótesis que la variación de las frecuencias de la superestructura se deben a que ciertas masas (asociadas a elementos no estructurales) se desacoplan en algún grado al movimiento de la superestructura durante el movimiento fuerte (se supera la resistencia a fricción), lo cual genera una reducción de frecuencias durante el movimiento fuerte. Una vez que las masas vuelven a acoplarse a la estructura (se recupera la resistencia a fricción), las frecuencias de la superestructura vuelven a su valor inicial.
- Se debe tener en cuenta que para el caso del edificio BNCS, la estructura se encuentra altamente instrumentada, y es solicitada de tal forma que actúa principalmente en una sola dirección, facilitando la identificación de sus propiedades dinámicas y la implementación del método de múltiples sub-estructuras.
- La pérdida de rigidez permanente asociada a la estructura BNCS con base fija se asocia a daños en elementos no estructurales, consecuente con las observaciones realizadas después de cada ensayo.
- El hecho que la variación de la frecuencia del edificio BNCS entre el movimiento inicial y el movimiento fuerte para el caso aislado de la estructura completa (ver Tabla 6.6) sea mucho mayor al su superestructura (caso aislado con el método de múltiples sub-estructuras) (ver Tabla 6.11) y el de la estructura con base fija (ver Tabla 6.15) quiere decir que los aisladores trabajan correctamente, disipando gran parte de la deformación sísmica e inhibiendo el daño de la superestructura.
- Se propuso e implementó el método Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (tfTF) para poder comparar las frecuencias variantes en el tiempo obtenidas por el método DSI por pequeñas ventanas, corroborando y respaldando los resultados obtenidos. En base a la metodología utilizada en este estudio se propone implementar ambos métodos y trabajar con ellos en conjunto para obtener mejores resultados, esto debido a la serie de criterios de similitud implementados en el método DSI, lo cual a veces obtiene resultados incorrectos.
- Se prefirió la implementación del método Función de Transferencia por sobre el espectrograma debido a que el espectrograma solo depende de datos de salida, mientras que la Función de Transferencia considera tanto datos de salida como de entrada y no depende de la amplitud del input considerado. Además permite estudiar la respuesta relativa de la estructura en relación al nivel de aislación (método de subestructura).

- Mediante la identificación de propiedades dinámicas variantes en el tiempo es posible apreciar cuando ocurre degradación permanente de la rigidez, de esta forma poder evaluar si existe daño estructural. En consideración a esta observación, el método de múltiples sub-estructuras podría permitir desacoplar la estructura en múltiples sub-estructuras y poder estudiar el piso en el cual ocurre un potencial daño; la verificación de esta hipótesis requiere de otros estudios posteriores.
- Del análisis de las estructuras asociadas a la comunidad Andalucía, las frecuencias identificadas por el método DSI por pequeñas ventanas para la estructura aislada difieren de las frecuencias identificadas con microvibraciones (Tabla 7.2, Tabla 7.3 y Tabla 7.4) enmarcadas en estudios anteriores de las estructuras presentes en otras memorias de la FCFM; cuyos datos no pudieron cerciorarse debido a que no se tuvo acceso a estos datos. Observándose que estos resultados no son completamente comparables dado que las estructuras tienen cambios en el tiempo debido a efectos ambientales, daños estructurales, cambios de uso, etc. Con el análisis se logró identificar dos modos de frecuencias muy similares asociados al sistema de aislación. Por otra parte, se logran identificar los modos longitudinales y transversales asociados a la superestructura, los cuales también difieren en cierta medida a los obtenidos por microvibraciones (con ensayos anteriores) de la estructura con base fija.
- En relación al análisis de la estructura con base fija de la comunidad Andalucía se logra identificar las frecuencias asociadas al modo longitudinal y transversal. Estos modos también son identificados al analizar la estructura aislada aplicando el método de múltiples sub-estructuras, mostrando valores comparables, concluyendo que el método de múltiples sub-estructuras es válido y aplicable a estructuras reales aisladas basalmente.
- Adicionalmente se debe indicar que debido a los pocos datos de salida que se tiene, a la poca instrumentación y a la baja calidad de los equipos que instrumentan las estructuras asociadas a la comunidad Andalucía la identificación de las propiedades dinámicas se realizó asociadas a ventanas cada 5 [seg] y se seleccionaron manualmente las frecuencias identificadas de acuerdo al criterio de triple coincidencia en el diagrama de estabilidad. Por otra parte, a partir del año 2007 en adelante el único acelerómetro asociado al nivel de aislación dejó de funcionar, por lo cual impide aplicar el método de múltiples sub-estructuras para sismos posteriores a esa fecha (ej. 27F), registrándose anteriormente solo sismos de baja y mediana intensidad para los cuales la estructura aislada actúa de forma similar a la superestructura.
- La cantidad y calidad de los instrumentos que miden la respuesta de las estructuras para las cuales se pretenden aplicar el método de múltiples sub-estructura es de gran importancia, ya que considerar muy pocos outputs o instrumentos de mala calidad puede llevar a una mala identificación de las propiedades dinámicas y por consiguiente a un estudio errado del comportamiento de la superestructura. De igual forma ocurre con los ruidos en las respuestas medidas, donde este problema puede ser atenuado mediante la correcta implementación de filtros.



## 9. Bibliografía

- Allemang RJ, B. D. (1982). A correlation coefficient for modal vector analysis. Proc. of 1st International Modal Analysis Conference (IMAC I). Bethel, CT, USA.
- Andrade Trujillo, F. (2014). *Estimación de Capacidad y Demanda de Muros, en Edificios de Vivienda Social, Durante el Sismo del 27 de febrero de 2010*. Memoria de pregrado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile.
- Arriaga Rosas, J. (2005). *Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)*. Memoria de pregrado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Valdivia de Chile.
- Astroza, R., Conte, J., Ebrahiamian, H., ..., Restrepo, J., & Hutchinson, T. (2013). Modal identification of a full-scale 5-story reinforced concrete building tested on the NEES-UCSD shake table. *Topics in Dynamics of Civil Structures, Volume 4. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. Springer, New York, NY, pp. 109-117. doi:10.1007/978-1-4614-6555-3\_13.
- Astroza, R., EERI, M., Gutiérrez, G., Repenning, C., ..., & Hernández, F. (2017). Time-variant modal parameters and response behavior of a base-isolated building tested on a shake table. *Earthquake Spectra*. doi:10.1193/032817EQS054M.
- Astroza, R., Ebrahimian, H., P. Conte, J., I. Restrepo, J., ..., & C. Hutchinson, T. (2015). System identification of a full-scale five-story reinforced concrete building tested on the NEES-UCSD shake table. *Structural Control and Health Monitoring*, pp. 535-559. doi:10.1002/stc.1778.
- Chen, M., Pantoli, E., Wang, X., Astroza, R., Ebrahimian, H., Hutchinson, T., . . . Bachman, R. E. (2016). Full-Scale Structural and Nonstructural Building System Performance during Earthquakes: Parte I - Specimen Description, Test Protocol, and Structural Response, Earthquake Spectra. *Earthquake Spectra: May 2016, Vol. 32, No. 2.*, pp. 737-770. doi:10.1193/012414EQS016M.
- CSi. (2016). *CSi Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge*. Berkeley, California, USA.
- Gutiérrez Lihn, G. (2016). *Identificación de las propiedades dinámicas variantes e invariantes en el tiempo de un edificio de 5 pisos ensayado en mesa de vibrar*. Memoria de pregrado, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Santiago de Chile.
- Hernández Prado, F. (2009). *Análisis de Métodos de Identificación de Variación de Propiedades Dinámicas*. Tesis de magister, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile
- K. Chopra, A. (1995). *Earthquake Dynamics of Base-Isolated Buildings*. New Jersey: Prentice Hall.

- Lafontaine R., M. (2013). Herramientas para modelación y análisis de edificios con aislación sísmica. Santiago de Chile: René Lagos, Oficina, Ingeniero Estructural.
- Naeim, F., & M. Kelly, J. (1999). *Design of Seismic Isolated Structures - From Theory to Practice*. New York: John Wiley & Sons, INC.
- NCh2745.Of2003. (2003). *Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica - Requisitos*. Santiago, Chile: INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION.
- NCh433.Of96, M. (2009). *Diseño sísmico de edificios*. Santiago de Chile: INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION.
- Riveros Pérez, P. (1998). *Análisis de registros sísmicos horizontales obtenidos en un edificio aislado en su base*. Memoria de pregrado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile.
- SIRVE. (2003). *Taller de Aislación Sísmica, SIRVE, Sistema de Reducción de Vibraciones*. Santiago de Chile.
- Van Overschee, P., & De Moor, B. (1996). *Subspace Identification For Linear Systems*. Belgium: Kluwer Academic Publishers.
- VULCO. (2017). Catálogo de aisladores, VULCO, Aislamiento sísmico probado y a la medida. Santiago de Chile.

## 10. Anexos

### 10.1 Anexo A: Detalle del Diseño Sísmico de Aisladores del Modelo en SAP2000

**Tabla 10.1: Cargas gravitacionales sobre aisladores – Diámetros mínimos.**

Aislador	Ubicación	D [Ton]	L [Ton]	D+L	Diámetro min [cm]	Tipo de aislador
A01	98	56,0	6,6	62,6	30	H8-55
A02	99	99,5	14,2	113,7	39	H8-55
A03	100	97,7	13,8	111,5	39	H8-55
A04	101	97,6	13,8	111,4	39	H8-55
A05	102	99,4	14,2	113,6	39	H8-55
A06	103	56,0	6,6	62,6	30	H8-55
A07	104	56,1	6,6	62,7	30	H8-55
A08	105	99,6	14,2	113,8	39	H8-55
A09	106	98,6	14,0	112,5	39	H8-55
A10	107	76,5	10,1	86,7	35	H8-55
A11	108	50,1	7,1	57,2	29	H8-55
A12	109	27,5	3,2	30,7	22	H8-55
A13	110	100,7	14,0	114,7	39	H8-55
A14	111	186,5	30,1	216,6	53	H8-60
A15	112	183,8	29,5	213,3	53	H8-60
A16	113	162,9	25,4	188,2	50	H8-55
A17	114	143,6	22,2	165,8	47	H8-55
A18	115	78,4	10,3	88,7	35	H8-55
A19	116	100,7	14,0	114,6	39	H8-55
A20	117	186,5	30,1	216,6	53	H8-60
A21	118	183,1	29,4	212,5	53	H8-60
A22	119	183,9	29,5	213,4	53	H8-60
A23	120	188,1	30,4	218,5	54	H8-60
A24	121	101,5	14,1	115,7	40	H8-55
Total		2714	403	3118		

**Tabla 10.2: Distribución inicial de aisladores.**

Designación	Cant.	De [cm]	Aisladores	A [cm <sup>2</sup> ]
H8-55	18	55	A01 al A13, A16 al A19, A24	2297,3
H8-60	6	60	A14 al A15, A20 al A23	2748,9

**Tabla 10.3: Parámetros iniciales de los aisladores en función del periodo objetivo, para desplazamiento de diseño.**

(Para Dd)	
$\gamma$	1,09
G [kg/cm <sup>2</sup> ]	8,0
Hr [cm]	23,1
kh [kg/cm]	20046
Td [s]	2,50
$\xi$	0,084

**Tabla 10.4: Parámetros iniciales de los aisladores en función del periodo objetivo, para desplazamiento máximo.**

(Para Dm)	
$\gamma$	1,38
G [kg/cm <sup>2</sup> ]	7,6
Hr [cm]	21,9
kh [kg/cm]	20168
Td [s]	2,50
$\xi$	0,078

**Tabla 10.5: Propiedades lineales equivalentes iniciales de los aisladores para desplazamiento de diseño.**

Propiedades lineales equivalentes de los aisladores (para Dd)													
Aisladores utilizados					Goma			Plomo		Total			
n°	Tipo	G [kg/cm <sup>2</sup> ]	Dext [cm]	Dint [cm]	ksec [ton/m]	$\xi$	Wd [ton-m]	Ql [ton]	Wd [ton-m]	ksec [ton/m]	Wd [ton-m]	$\xi$	C [ton-s/m]
1	H8-55	8,0	55	10	79,61	0,084	2,66	0	0	79,61	2,66	0,084	5,309
2	H8-60	8,0	60	10	95,26	0,084	3,18	0	0	95,26	3,18	0,084	6,352
3	H8-55L	8,0	55	10	79,61	0,084	2,66	7,85	7,917	110,78	10,58	0,239	21,117
4	H8-60L	8,0	60	10	95,26	0,084	3,18	7,85	7,917	126,43	11,10	0,220	22,161

**Tabla 10.6: Propiedades lineales equivalentes iniciales de los aisladores para desplazamiento máximo.**

Propiedades lineales equivalentes de los aisladores (para Dm)													
Aisladores utilizados					Goma			Plomo		Total			
n°	Tipo	G [kg/cm <sup>2</sup> ]	Dext [cm]	Dint [cm]	ksec [ton/m]	$\xi$	Wd [ton-m]	Ql [ton]	Wd [ton-m]	ksec [ton/m]	Wd [ton-m]	$\xi$	C [ton-s/m]
1	H8-55	7,6	55	10	80,1	0,078	3,58	0	0	80,10	3,58	0,08	4,965
2	H8-60	7,6	60	10	95,8	0,078	4,29	0	0	95,84	4,29	0,08	5,941
3	H8-55L	7,6	55	10	80,1	0,078	3,58	7,85	9,49	106,10	13,07	0,21	18,116
4	H8-60L	7,6	60	10	95,8	0,078	4,29	7,85	9,49	121,85	13,77	0,20	19,092

Tabla 10.7: Excentricidad, rigidez y amortiguamiento en planta – Configuración inicial de aisladores.

Elem.	Ubicación	X [m]	Y [m]	Z[m]	XCM [m]	YCM[m]	xj [m]	yj [m]	tipo	Rigidez [Ton/m]	Wd [ton-m]	$2\pi\delta^2k_i$	SRx	SRy	JRp
A01	98	-12	-15	0	-0,55	-0,62	-11,4	-14,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	-1145,09	26902,02
A02	99	-12	-9	0	-0,55	-0,62	-11,4	-8,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	-667,42	16026,93
A03	100	-12	-3	0	-0,55	-0,62	-11,4	-2,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	-189,75	10883,93
A04	101	-12	3	0	-0,55	-0,62	-11,4	3,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	287,93	11473,03
A05	102	-12	9	0	-0,55	-0,62	-11,4	9,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	765,60	17794,22
A06	103	-12	15	0	-0,55	-0,62	-11,4	15,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	1243,28	29847,49
A07	104	12	-15	0	-0,55	-0,62	12,6	-14,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	-1145,09	29015,70
A08	105	12	-9	0	-0,55	-0,62	12,6	-8,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	-667,42	18140,61
A09	106	12	-3	0	-0,55	-0,62	12,6	-2,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	-189,75	12997,62
A10	107	12	3	0	-0,55	-0,62	12,6	3,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	287,93	13586,71
A11	108	12	9	0	-0,55	-0,62	12,6	9,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	765,60	19907,90
A12	109	12	15	0	-0,55	-0,62	12,6	15,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	1243,28	31961,17
A13	110	4	-15	0	-0,55	-0,62	4,6	-14,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	-1145,09	18120,75
A14	111	4	-9	0	-0,55	-0,62	4,6	-8,4	H8-60	95,26	3,18	38,01	433,74	-798,62	8670,03
A15	112	4	-3	0	-0,55	-0,62	4,6	-2,4	H8-60	95,26	3,18	38,01	433,74	-227,05	2516,02
A16	113	4	3	0	-0,55	-0,62	4,6	3,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	287,93	2691,76
A17	114	4	9	0	-0,55	-0,62	4,6	9,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	765,60	9012,95
A18	115	4	15	0	-0,55	-0,62	4,6	15,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	1243,28	21066,23
A19	116	-4	-15	0	-0,55	-0,62	-3,4	-14,4	H8-55	79,61	2,66	31,77	-274,41	-1145,09	17416,19
A20	117	-4	-9	0	-0,55	-0,62	-3,4	-8,4	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	-798,62	7826,96
A21	118	-4	-3	0	-0,55	-0,62	-3,4	-2,4	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	-227,05	1672,95
A22	119	-4	3	0	-0,55	-0,62	-3,4	3,6	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	344,53	2377,85
A23	120	-4	9	0	-0,55	-0,62	-3,4	9,6	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	916,11	9941,66
A24	121	-4	15	0	-0,55	-0,62	-3,4	15,6	H8-55	79,61	2,66	31,77	-274,41	1243,28	20361,67
$\Sigma$										2004,60	66,94	799,85	983,58	1048,29	360212,37

0,490	0,522	
ex	ey	ps

Tx [s]	2,50
Tx [s]	2,50
Te	
$\beta_{ef}$	0,084

Tabla 10.8: Excentricidad, rigidez y amortiguamiento en planta – Configuración balanceada.

Elem.	Ubicación	X [m]	Y [m]	Z[m]	XCM [m]	YCM[m]	xj [m]	yj [m]	tipo	Rigidez [Ton/m]	Wd [ton-m]	$2\pi\delta^2ki$	SRx	SRy	JRp
A01	98	-12	-15	0	-0,55	-0,62	-11,45	-14,38	H8-55L	110,78	10,58	44,20	-1268,07	-1593,38	37433,60
A02	99	-12	-9	0	-0,55	-0,62	-11,45	-8,38	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	-667,42	16026,93
A03	100	-12	-3	0	-0,55	-0,62	-11,45	-2,38	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	-189,75	10883,93
A04	101	-12	3	0	-0,55	-0,62	-11,45	3,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	287,93	11473,03
A05	102	-12	9	0	-0,55	-0,62	-11,45	9,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	-911,31	765,60	17794,22
A06	103	-12	15	0	-0,55	-0,62	-11,45	15,62	H8-55L	110,78	10,58	44,20	-1268,07	1729,99	41532,17
A07	104	12	-15	0	-0,55	-0,62	12,55	-14,38	H8-55L	110,78	10,58	44,20	1390,62	-1593,38	40374,74
A08	105	12	-9	0	-0,55	-0,62	12,55	-8,38	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	-667,42	18140,61
A09	106	12	-3	0	-0,55	-0,62	12,55	-2,38	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	-189,75	12997,62
A10	107	12	3	0	-0,55	-0,62	12,55	3,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	287,93	13586,71
A11	108	12	9	0	-0,55	-0,62	12,55	9,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	999,38	765,60	19907,90
A12	109	12	15	0	-0,55	-0,62	12,55	15,62	H8-55L	110,78	10,58	44,20	1390,62	1729,99	44473,31
A13	110	4	-15	0	-0,55	-0,62	4,55	-14,38	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	-1145,09	18120,75
A14	111	4	-9	0	-0,55	-0,62	4,55	-8,38	H8-60	95,26	3,18	38,01	433,74	-798,62	8670,03
A15	112	4	-3	0	-0,55	-0,62	4,55	-2,38	H8-60	95,26	3,18	38,01	433,74	-227,05	2516,02
A16	113	4	3	0	-0,55	-0,62	4,55	3,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	287,93	2691,76
A17	114	4	9	0	-0,55	-0,62	4,55	9,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	765,60	9012,95
A18	115	4	15	0	-0,55	-0,62	4,55	15,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	362,48	1243,28	21066,23
A19	116	-4	-15	0	-0,55	-0,62	-3,45	-14,38	H8-55	79,61	2,66	31,77	-274,41	-1145,09	17416,19
A20	117	-4	-9	0	-0,55	-0,62	-3,45	-8,38	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	-798,62	7826,96
A21	118	-4	-3	0	-0,55	-0,62	-3,45	-2,38	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	-227,05	1672,95
A22	119	-4	3	0	-0,55	-0,62	-3,45	3,62	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	344,53	2377,85
A23	120	-4	9	0	-0,55	-0,62	-3,45	9,62	H8-60	95,26	3,18	38,01	-328,36	916,11	9941,66
A24	121	-4	15	0	-0,55	-0,62	-3,45	15,62	H8-55	79,61	2,66	31,77	-274,41	1243,28	20361,67
$\Sigma$										2129,27	98,61	849,59	1052,53	1125,16	406299,80
										0,494	0,528		Tx [s]	2,43	
										ex	ey	ps	Tx [s]	2,43	
													Te		
													$\beta_{ef}$	0,116	

**Tabla 10.9: Cortes sísmicos de diseño y máximos.**

	Desplazamientos de Diseño		Desplazamientos Máximos	
	Dd	Dtd	Dm	Dtm
Desplazamiento [cm]	25,2	27,7	30,2	33,2
Hr [cm]	23,12	23,12	23,12	23,12
$\gamma$	1,09	1,24	1,38	1,53
G [kg/cm <sup>2</sup> ]	8,01	7,77	7,63	7,55
<b>H8-55</b>				
Rigidez aislador [ton/cm]	0,80	0,80	0,80	0,80
Corte Aislador [ton]	20,06	22,15	24,19	26,53
n° aisladores	14	14	14	14
Corte Aisladores sin plomo [ton]	280,87	310,06	338,65	371,37
<b>H8-60</b>				
Rigidez aislador [ton/cm]	0,95	0,96	0,96	0,96
Corte Aislador [ton]	24,01	26,50	28,94	31,74
n° aisladores	6	6	6	6
Corte Aisladores sin plomo [ton]	144,04	159,00	173,67	190,45
<b>H8-55L</b>				
Rigidez aislador [ton/cm]	1,11	1,08	1,06	1,04
Corte Aislador [ton]	27,92	30,00	32,04	34,38
n° aisladores	4	4	4	4
Corte Aisladores sin plomo [ton]	111,67	120,00	128,17	137,52
Corte Total	536,57	589,07	640,49	699,34
RI	2	2	2	2
Corte de Diseño	268,29	294,53	320,24	349,67

**Tabla 10.10: Cortes por piso sobre el edificio.**

Nivel	Masa x Piso [ton s <sup>2</sup> /m]	factor	Cortes x Piso [ton] (solo masas)
Cielo 1er Piso	84,80	0,25	79,48
Cielo 2do Piso	84,52	0,25	79,48
Cielo 3er Piso	74,15	0,25	79,48
Cielo 4to Piso	71,13	0,25	79,48
$\Sigma$	314,60	1	314,60



Tabla 10.11: Cargas sobre los aisladores.

Aislador	Ubicación	D [Ton]	L [Ton]	Ex	Ey	E <sub>max</sub>   [Ton]	1.2D+L+ E <sub>max</sub>   [Ton] (1)	0.8D- E <sub>max</sub>   [Ton] (2)	D+L [Ton] (3)	Diametro [cm]	Tension Axial [kg/cm <sup>2</sup> ]		
											Short-Term		Long-Term
											(1)	(2)	(3)
A01	98	56,03	6,57	-22,20	28,81	28,81	102,61	16,01	62,59	55	44,67	6,97	27,25
A02	99	99,52	14,18	-25,61	1,59	25,61	159,21	54,01	113,70	55	69,30	23,51	49,49
A03	100	97,65	13,81	-25,81	-0,22	25,81	156,81	52,31	111,46	55	68,26	22,77	48,52
A04	101	97,61	13,80	-26,20	0,36	26,20	157,13	51,88	111,41	55	68,40	22,58	48,50
A05	102	99,41	14,15	-26,95	-1,45	26,95	160,40	52,57	113,56	55	69,82	22,88	49,43
A06	103	56,00	6,56	-21,86	28,93	28,93	102,69	15,87	62,56	55	44,70	6,91	27,23
A07	104	56,13	6,58	22,39	29,41	29,41	103,35	15,49	62,71	55	44,99	6,74	27,30
A08	105	99,59	14,19	25,59	2,79	25,59	159,29	54,08	113,78	55	69,34	23,54	49,53
A09	106	98,55	13,99	25,97	-0,72	25,97	158,22	52,88	112,54	55	68,87	23,02	48,99
A10	107	76,54	10,14	23,72	11,09	23,72	125,71	37,51	86,68	55	54,72	16,33	37,73
A11	108	50,07	7,12	16,80	-1,28	16,80	84,00	23,25	57,18	55	36,56	10,12	24,89
A12	109	27,53	3,20	14,03	18,39	18,39	54,62	3,63	30,73	55	23,78	1,58	13,38
A13	110	100,68	13,99	-0,94	34,04	34,04	168,85	46,51	114,67	55	73,50	20,24	49,92
A14	111	186,55	30,06	-2,27	3,10	3,10	257,03	146,13	216,61	60	93,50	53,16	78,80
A15	112	183,77	29,51	-2,33	-0,43	2,33	252,36	144,69	213,28	60	91,81	52,64	77,59
A16	113	162,88	25,37	-0,54	1,76	1,76	222,59	128,54	188,25	55	96,89	55,95	81,94
A17	114	143,62	22,22	8,41	-3,47	8,41	202,98	106,48	165,84	55	88,35	46,35	72,19
A18	115	78,41	10,29	7,29	31,74	31,74	136,13	30,98	88,70	55	59,26	13,49	38,61
A19	116	100,66	13,99	1,17	33,11	33,11	167,88	47,42	114,64	55	73,08	20,64	49,90
A20	117	186,53	30,06	2,25	3,11	3,11	257,00	146,11	216,59	60	93,49	53,15	78,79
A21	118	183,12	29,38	2,25	-0,15	2,25	251,38	144,25	212,50	60	91,45	52,47	77,30
A22	119	183,89	29,53	2,05	0,11	2,05	252,25	145,06	213,42	60	91,76	52,77	77,64
A23	120	188,14	30,36	1,49	-3,08	3,08	259,21	147,43	218,50	60	94,30	53,63	79,49
A24	121	101,54	14,15	1,30	33,19	33,19	169,19	48,05	115,69	55	73,65	20,91	50,36
	Σ	2714,40	403,20	0,00	0,00	max	259,21	147,43	218,50	60,00	96,89	55,95	81,94
						min	54,62	3,63	30,73	55,00	23,78	1,58	13,38

**Tabla 10.12: Determinación del número de capas de gomas y su espesor.**

$\gamma_s$	1,3063
$E_o$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	35
k	1
$\epsilon_b$	5,5

	H8-55	H8-60	H8-55L
Pst [Ton]	222,59	259,21	103,35
Aeff [cm <sup>2</sup> ]	724,01	1016,61	724,01
u	0,034	0,041	0,074
S	14,52	12,03	6,68
tr [cm]	0,775	1,039	1,683
tr [cm] final	0,5	0,8	0,5
nr	47	29	47
S	22,5	15,625	22,5

<b>H8-55</b>	nr	47
	tr [cm]	0,5
	Hr [cm]	23,5
<b>H8-60</b>	nr	29
	tr [cm]	0,8
	Hr [cm]	23,2

**Tabla 10.13: Determinación del espesor de las placas de acero.**

$\sigma_y$ [tn/cm <sup>2</sup> ]	2,4
----------------------------------	-----

	H8-55	H8-60	H8-55L
$\sigma_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	96,892	94,295	44,987
ts [cm]	0,0404	0,0629	0,0187

H8-55	ts [cm]	0,2
H8-60	ts [cm]	0,2

**Tabla 10.14: Verificación de la frecuencia de vibración vertical.**

Eo [kg/cm <sup>2</sup> ]	35
K [kg/cm <sup>2</sup> ]	20000
k	1

	H8-55	H8-60
Ec [kg/cm <sup>2</sup> ]	10542,13	7996,07
kv [kg/cm]	1030566,757	947429,261
fv [Hz]	13,8913	> 10 HZ

**Tabla 10.15: Verificación de la estabilidad.**

e [cm]	2,2
tb [cm]	0,6

	H8-55	H8-60	H8-55L
H [cm]	38,3	34,4	38,3
R [Ton]	29,998	32,656	29,998
Eb [kg/cm <sup>2</sup> ]	11847,5	5731,61458	11847,5
I [cm <sup>4</sup> ]	448689,38	635681,64	448689,38
Ko [Ton cm]	226206,27	157046,64	226206,27
T [Ton cm <sup>2</sup> ]	8663700,29	5402404,57	8663700,29
PE [Ton]	58291,55	45057,80	58291,55
Pcr [Ton]	412,05	442,61	412,05
FS	1,85	1,71	3,99

Tabla 10.16: Índice de comportamiento del sistema de aislación.

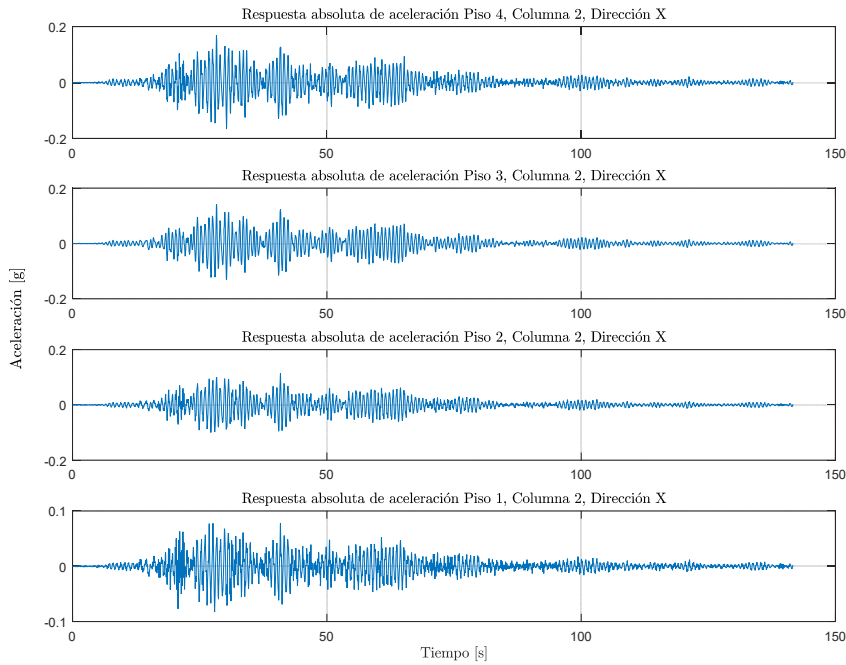
Aislador	tipo	tr [cm]	ts [cm]	Pcr [Ton]	$\gamma_s$	Aeff [cm <sup>2</sup> ]	S	$\gamma_c$	T [s]	$\sigma_s$ [Ton/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c$ LT [Ton/cm <sup>2</sup> ]	Factores de seguridad		
												Deformación	Estabilidad	
A01	H8-55L	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,54		0,167	0,027	2,56	4,02	
A02	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,84		0,260	0,049	2,20	2,59	
A03	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,82		0,256	0,049	2,22	2,63	
A04	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,83		0,256	0,048	2,21	2,62	
A05	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,84		0,262	0,049	2,20	2,57	
A06	H8-55L	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,54		0,168	0,027	2,56	4,01	
A07	H8-55L	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,54		0,169	0,027	2,56	3,99	
A08	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,84		0,260	0,050	2,20	2,59	
A09	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,83		0,258	0,049	2,21	2,60	
A10	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,66		0,205	0,038	2,40	3,28	
A11	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,44		0,137	0,025	2,71	4,91	
A12	H8-55L	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,29		0,089	0,013	2,97	7,54	
A13	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,89		0,276	0,050	2,15	2,44	
A14	H8-60	0,8	0,2	442,61	1,30	1016,61	15,625	1,38		0,561	0,079	1,74	1,72	
A15	H8-60	0,8	0,2	442,61	1,30	1016,61	15,625	1,36		0,551	0,078	1,76	1,75	
A16	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	1,17		0,363	0,082	1,90	1,85	
A17	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	1,07		0,331	0,072	1,99	2,03	
A18	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,72		0,222	0,039	2,34	3,03	
A19	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,88		0,274	0,050	2,16	2,45	
A20	H8-60	0,8	0,2	442,61	1,30	1016,61	15,625	1,38		0,561	0,079	1,74	1,72	
A21	H8-60	0,8	0,2	442,61	1,30	1016,61	15,625	1,35		0,549	0,077	1,76	1,76	
A22	H8-60	0,8	0,2	442,61	1,30	1016,61	15,625	1,36		0,551	0,078	1,76	1,75	
A23	H8-60	0,8	0,2	442,61	1,30	1016,61	15,625	1,40		0,566	0,079	1,73	1,71	
A24	H8-55	0,5	0,2	412,05	1,29	724,01	22,5	0,89		0,276	0,050	2,15	2,44	
												min	1,73	1,71
												max	2,97	7,54
												prom	2,17	2,83

Tabla 10.17: Cargas sobre los aisladores para sismo de la NCh2745 Of2003.

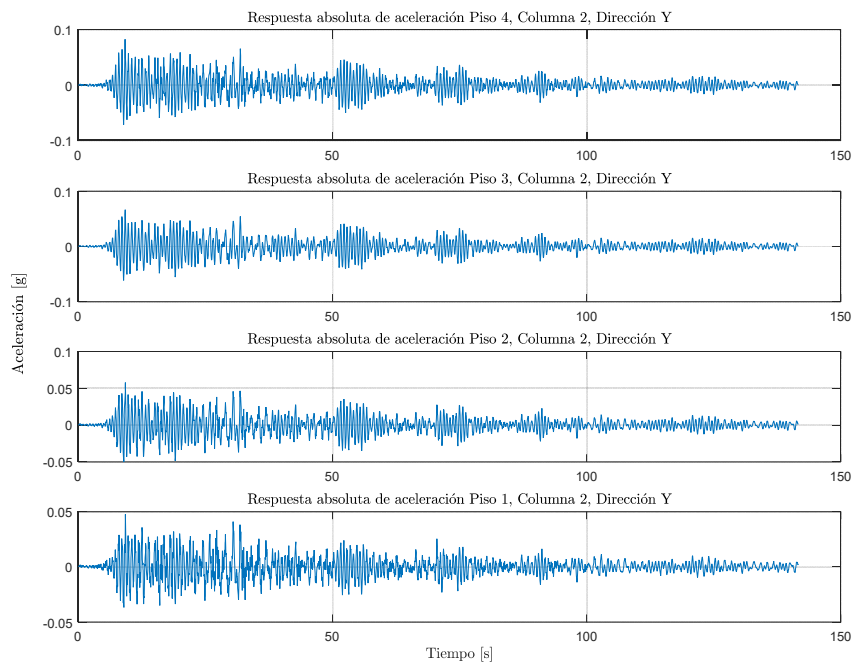
Aislador	Ubicación	D [Ton]	L [Ton]	NCh2745		E <sub>max</sub>   [Ton]	1.2D+L+ E <sub>max</sub>   [Ton] (1)	0.8D-  E <sub>max</sub>   [Ton] (2)	D+L [Ton] (3)	Diámetro [cm]	Tension Axial [kg/cm <sup>2</sup> ]		
				Ex	Ey						Short-Term		Long-Term
											(1)	(2)	(3)
A01	29	58,30	6,96	8,51	11,02	11,02	87,94	35,63	65,26	55	38,28	15,51	28,41
A02	7900	99,78	14,23	9,61	0,61	9,61	143,58	70,22	114,01	55	62,50	30,57	49,63
A03	7899	99,91	14,21	9,76	0,12	9,76	143,86	70,17	114,12	55	62,62	30,54	49,68
A04	7903	99,90	14,21	9,93	0,11	9,93	144,01	69,99	114,11	55	62,69	30,47	49,67
A05	7905	99,79	14,23	10,15	0,60	10,15	144,12	69,68	114,01	55	62,73	30,33	49,63
A06	35	58,32	6,96	8,34	11,03	11,03	87,96	35,63	65,27	55	38,29	15,51	28,41
A07	30	28,22	3,31	5,56	7,10	7,10	44,27	15,48	31,53	55	19,27	6,74	13,72
A08	7901	51,03	7,24	6,30	0,08	6,30	74,78	34,52	58,27	55	32,55	15,03	25,36
A09	7898	78,37	10,50	9,28	3,69	9,28	113,82	53,41	88,87	55	49,55	23,25	38,68
A10	7902	99,89	14,23	9,94	0,13	9,94	144,03	69,97	114,11	55	62,69	30,46	49,67
A11	7904	99,93	14,26	10,15	0,18	10,15	144,32	69,80	114,19	55	62,82	30,38	49,71
A12	36	58,41	6,98	8,32	10,84	10,84	87,91	35,88	65,39	55	38,27	15,62	28,46
A13	7895	80,90	10,76	2,84	11,81	11,81	119,66	52,90	91,66	55	52,09	23,03	39,90
A14	7896	142,00	21,92	2,84	0,47	2,84	195,15	110,76	163,92	60	70,99	40,29	59,63
A15	7897	163,25	25,46	0,14	0,55	0,55	221,91	130,06	188,71	60	80,73	47,31	68,65
A16	7908	180,66	28,95	0,59	0,01	0,59	246,33	143,94	209,61	55	107,23	62,66	91,24
A17	7906	179,97	28,87	0,58	0,49	0,58	245,41	143,39	208,84	55	106,83	62,42	90,91
A18	97	104,18	14,64	0,64	12,29	12,29	151,94	71,06	118,82	55	66,14	30,93	51,72
A19	7894	104,50	14,71	0,16	12,62	12,62	152,73	70,98	119,21	55	66,48	30,90	51,89
A20	7912	180,00	28,88	0,40	0,49	0,49	245,37	143,51	208,88	60	89,26	52,21	75,99
A21	7911	181,51	29,11	0,52	0,06	0,52	247,44	144,69	210,62	60	90,01	52,64	76,62
A22	7910	181,60	29,12	0,58	0,06	0,58	247,62	144,70	210,71	60	90,08	52,64	76,65
A23	7907	179,86	28,84	0,58	0,49	0,58	245,26	143,31	208,70	60	89,22	52,13	75,92
A24	7893	104,14	14,63	0,61	12,62	12,62	152,22	70,69	118,78	55	66,26	30,77	51,70
	Σ	2714,40	403,20	116,31	97,46	max	247,62	144,70	210,71	60,00	107,23	62,66	91,24
						min	44,27	15,48	31,53	55,00	19,27	6,74	13,72

## 10.2 Anexo B: Detalle de Outputs e Inputs de Estructuras Modeladas en SAP2000

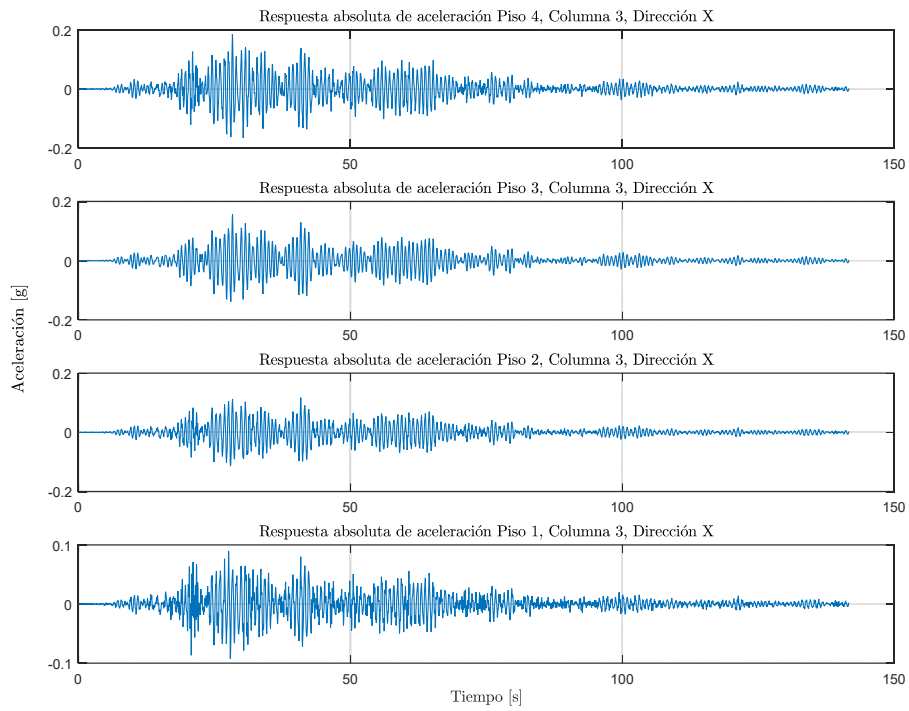
### 10.2.1 Estructura sin Aislación



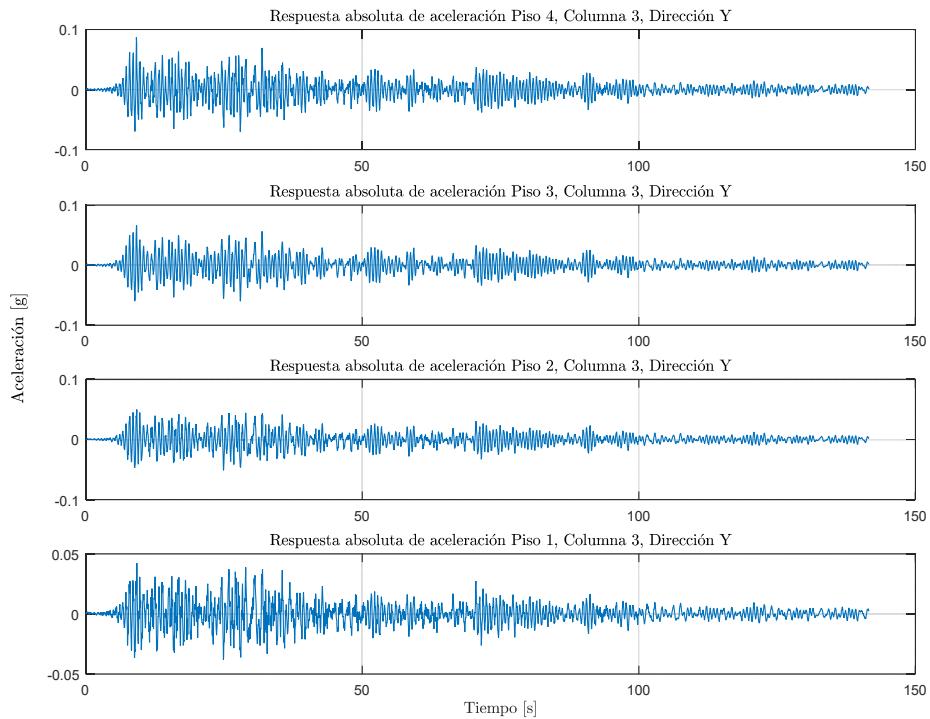
**Figura 10.1: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base fija.**



**Figura 10.2: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base fija.**



**Figura 10.3: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base fija.**



**Figura 10.4: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base fija.**

## 10.2.2 Estructura Aislada

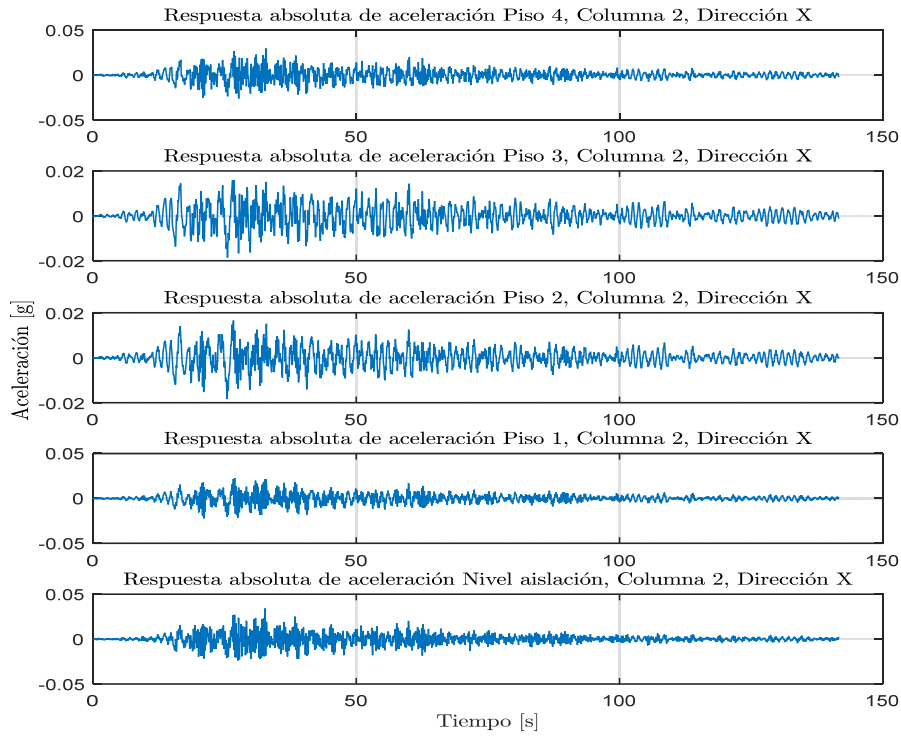


Figura 10.5: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base aislada.

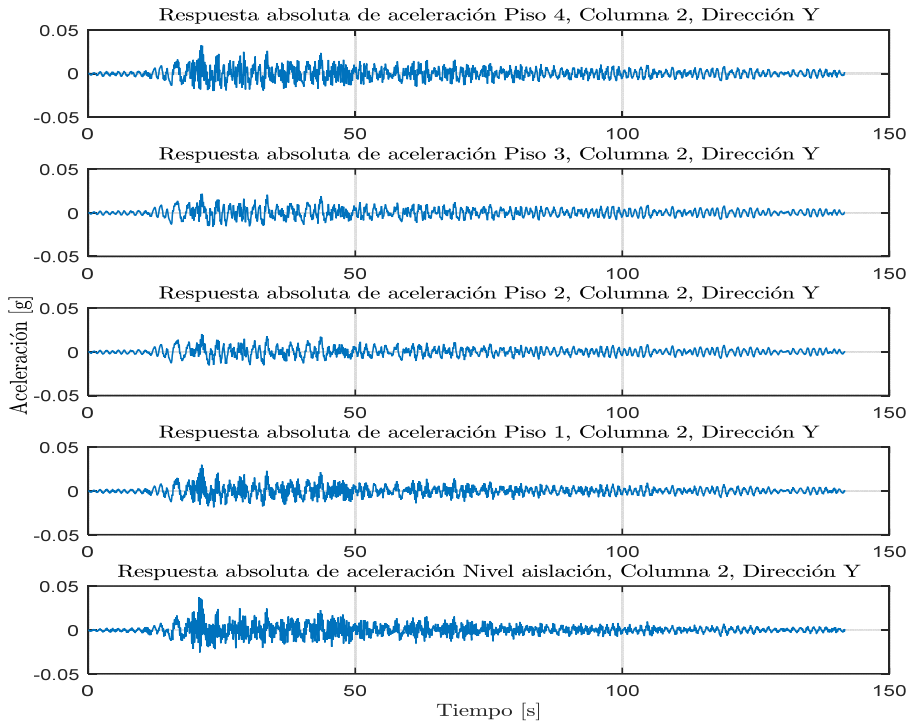


Figura 10.6: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base aislada.



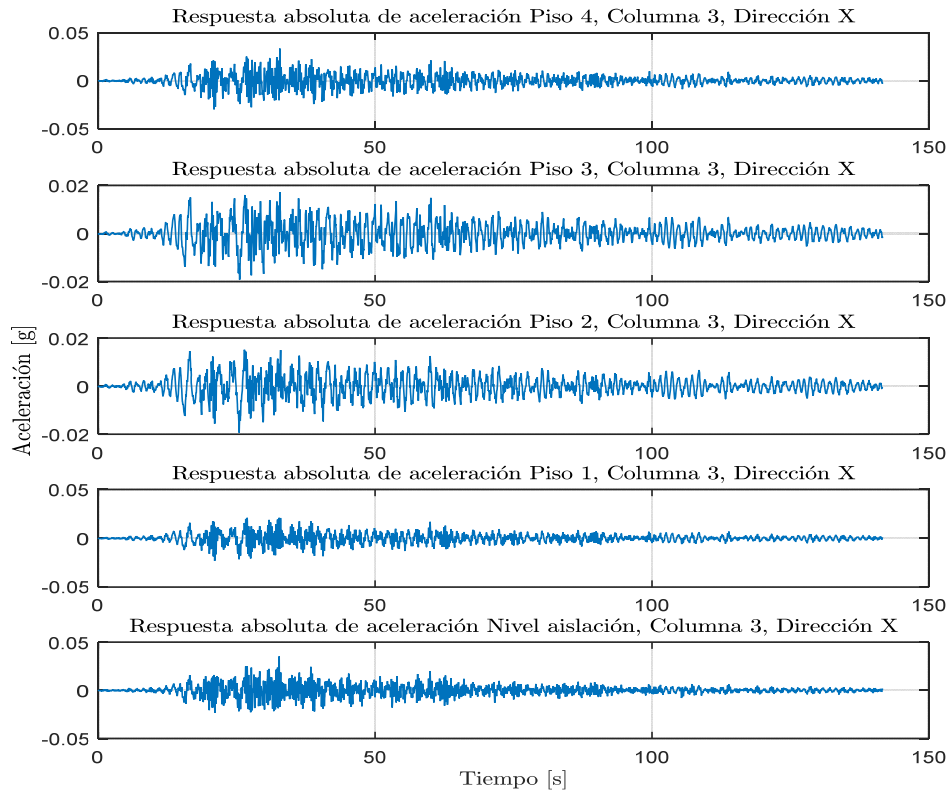


Figura 10.7: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base aislada.

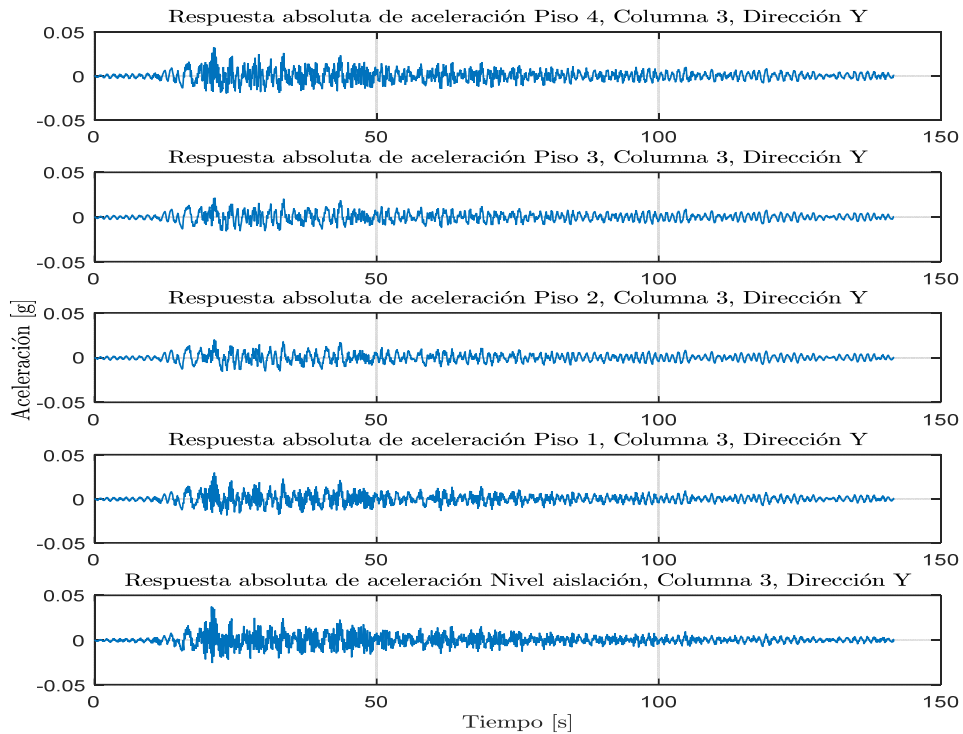
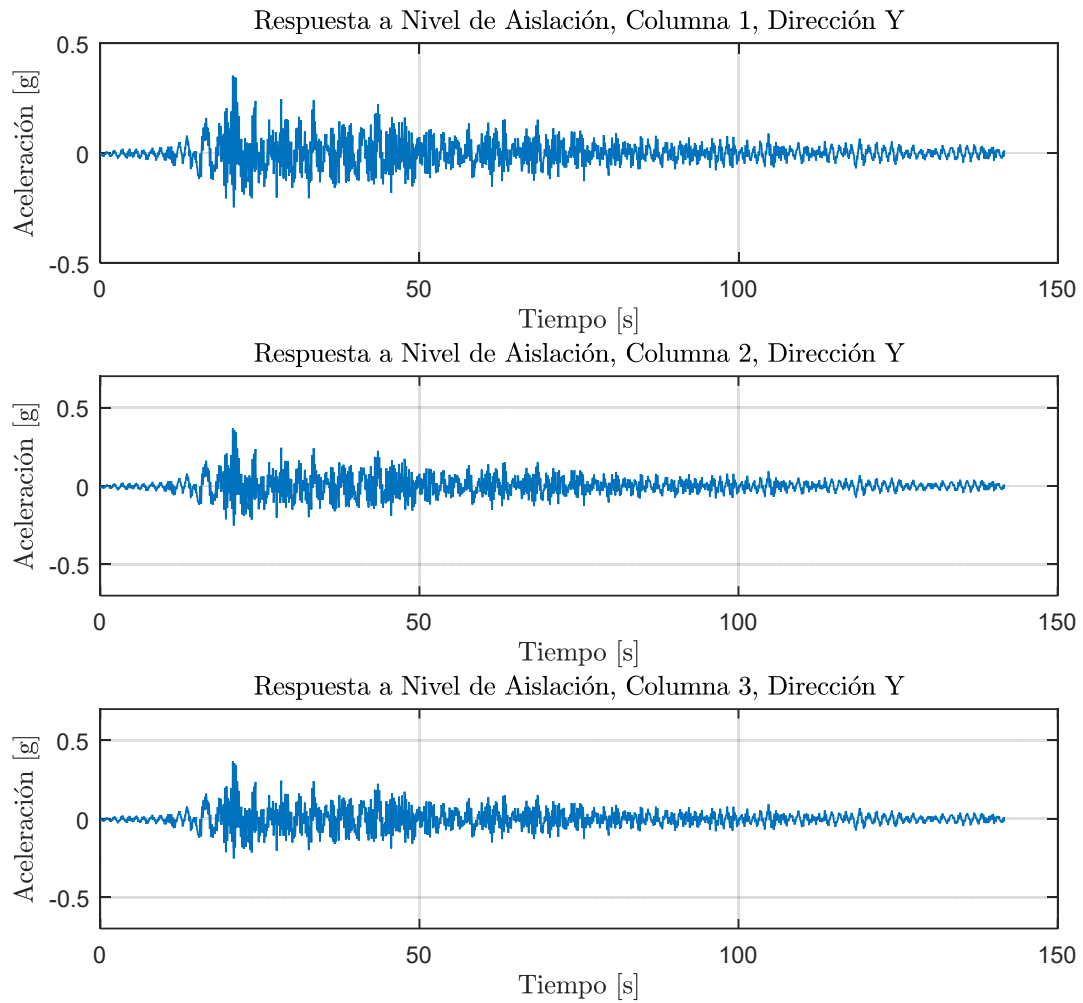
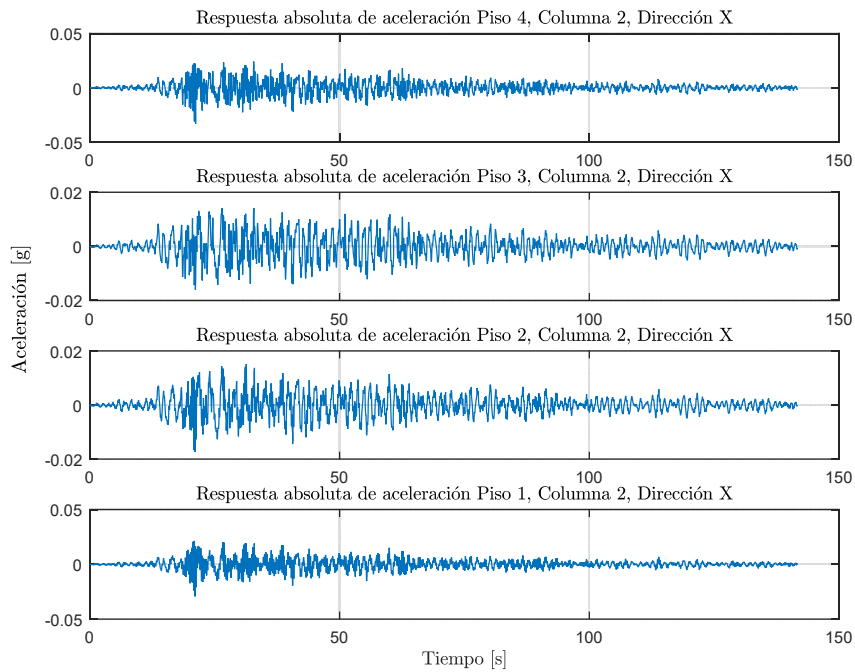


Figura 10.8: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base aislada.

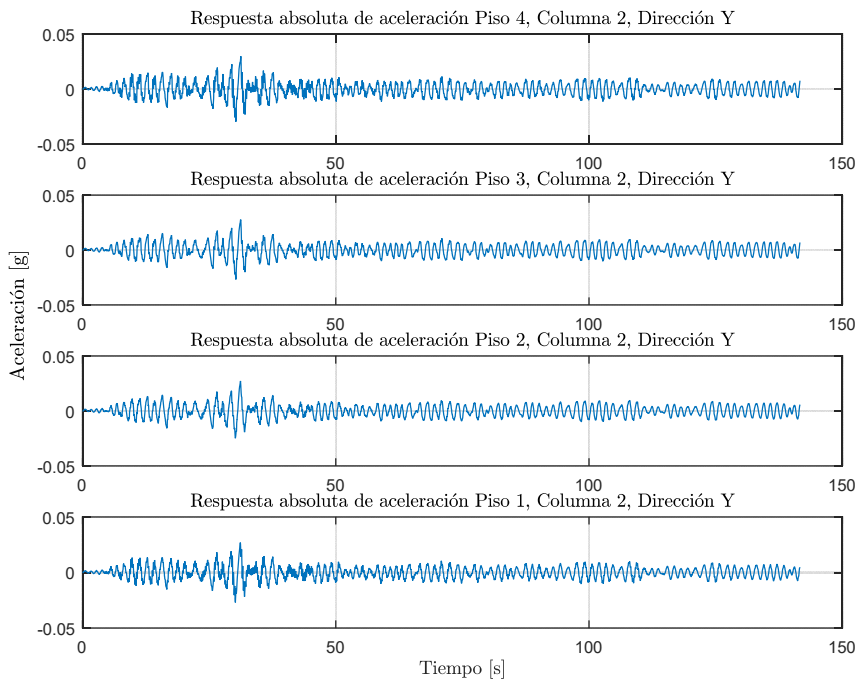
### 10.2.3 Estructura Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras



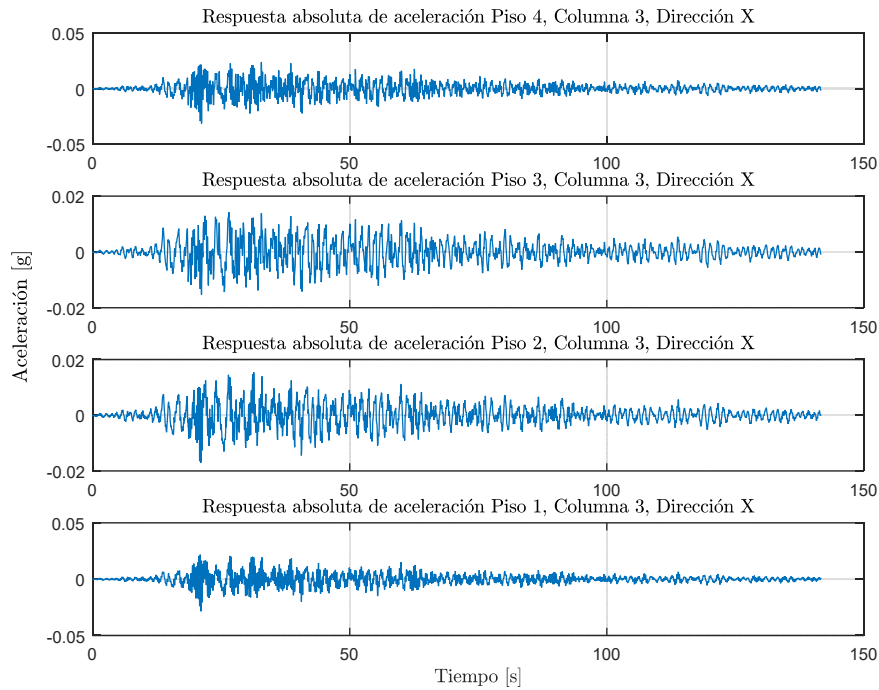
**Figura 10.9:** Input modelo base aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Dirección Y.



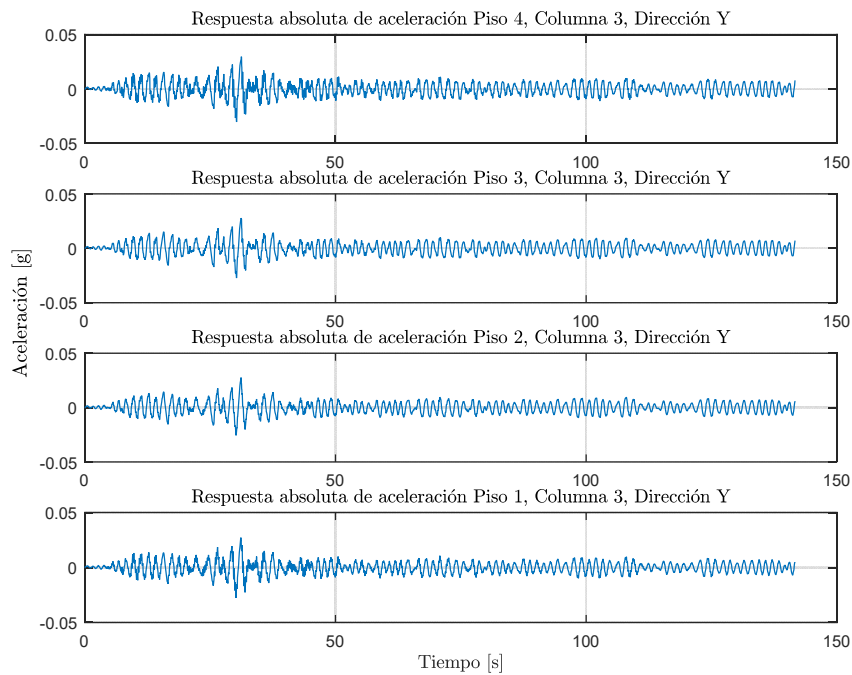
**Figura 10.10: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.**



**Figura 10.11: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.**



**Figura 10.12: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.**



**Figura 10.13: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base aislada, Método de múltiples sub-estructuras.**

### 10.2.4 Estructura Aislada Ensayada con Pull-back

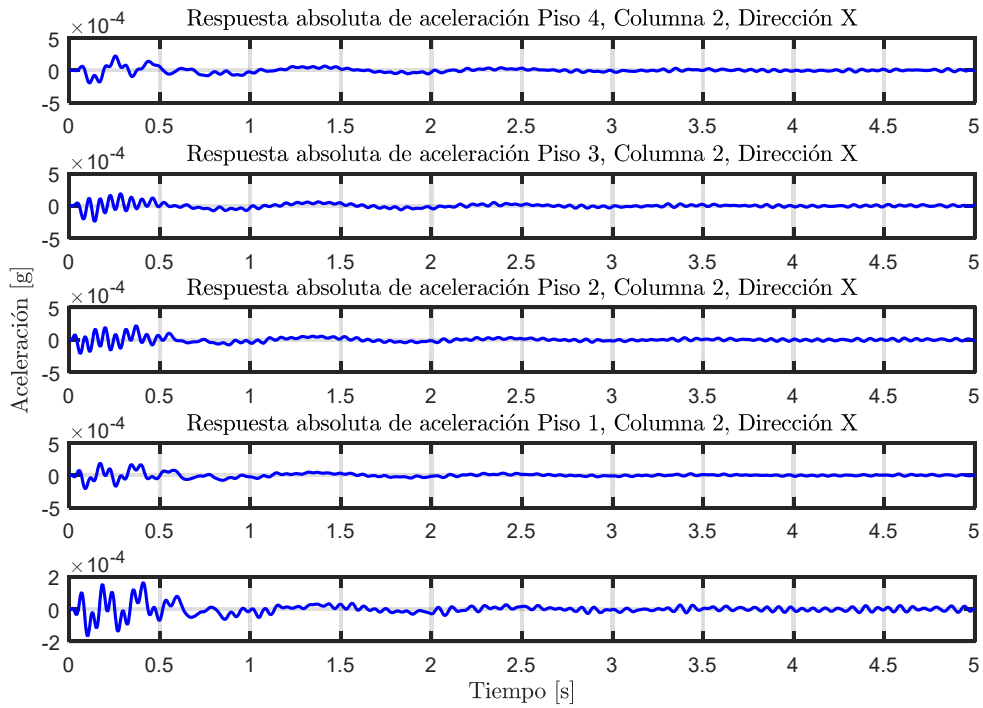


Figura 10.14: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección X, Estructura base aislada, Pull-back.

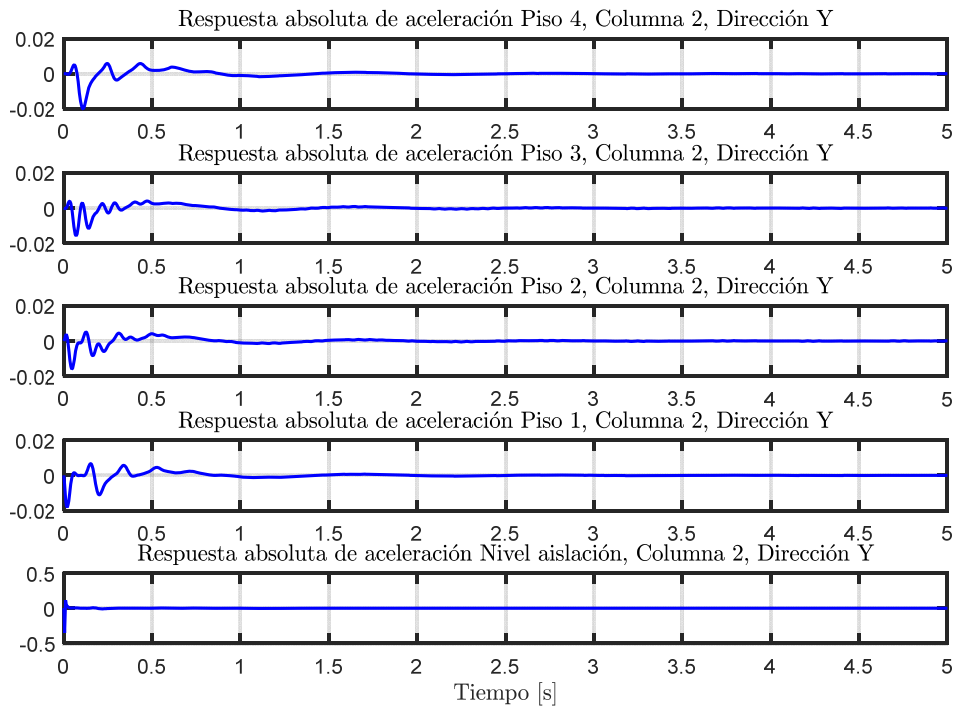
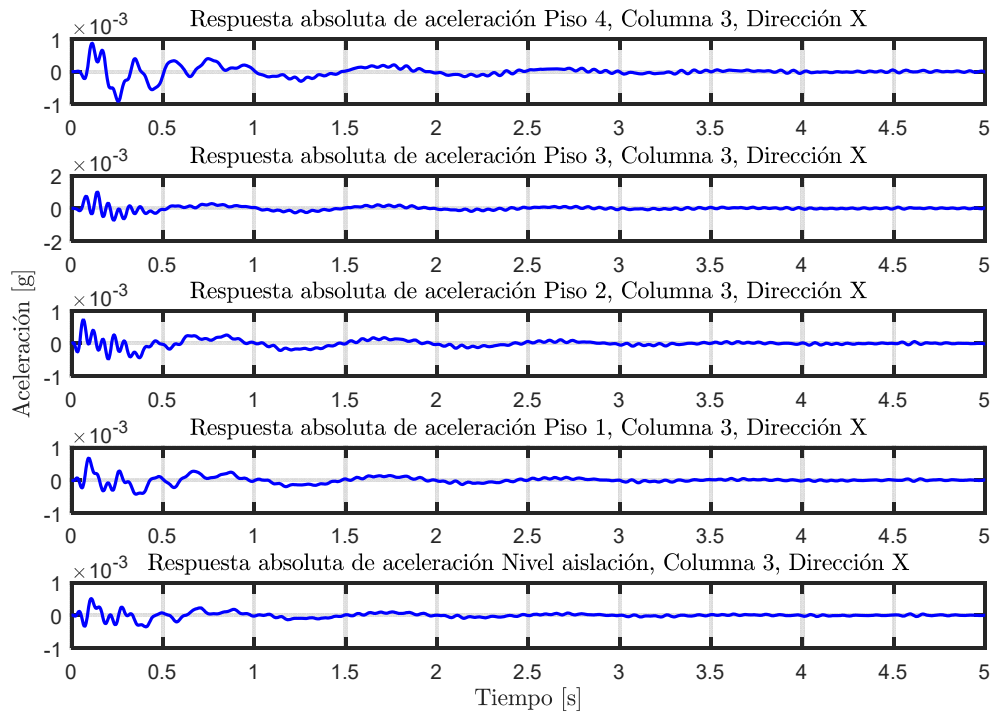
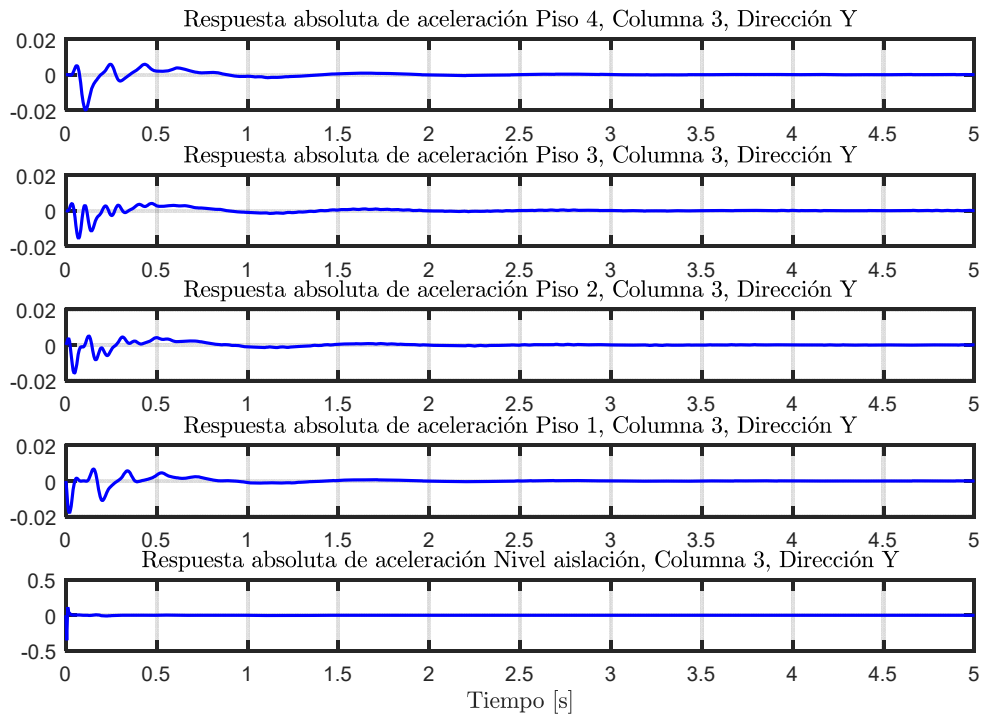


Figura 10.15: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 2, Dirección Y, Estructura base aislada, Pull-back.



**Figura 10.16: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección X, Estructura base aislada, Pull-back.**



**Figura 10.17: Respuesta de aceleración absoluta, Columna 3, Dirección Y, Estructura base aislada, Pull-back.**

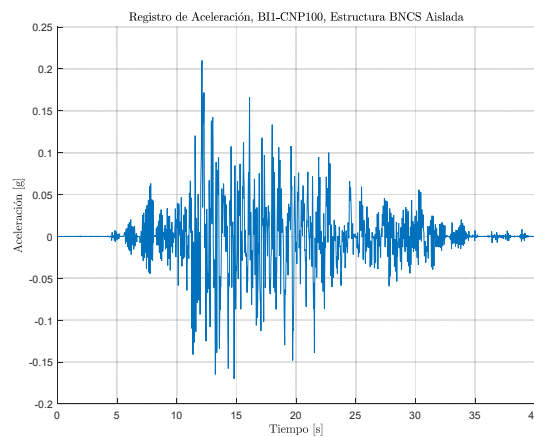
## 10.3 Anexo C: Identificación de Propiedades Dinámicas para los otros Eventos Sísmicos – Edificio BNCS

### 10.3.1 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada

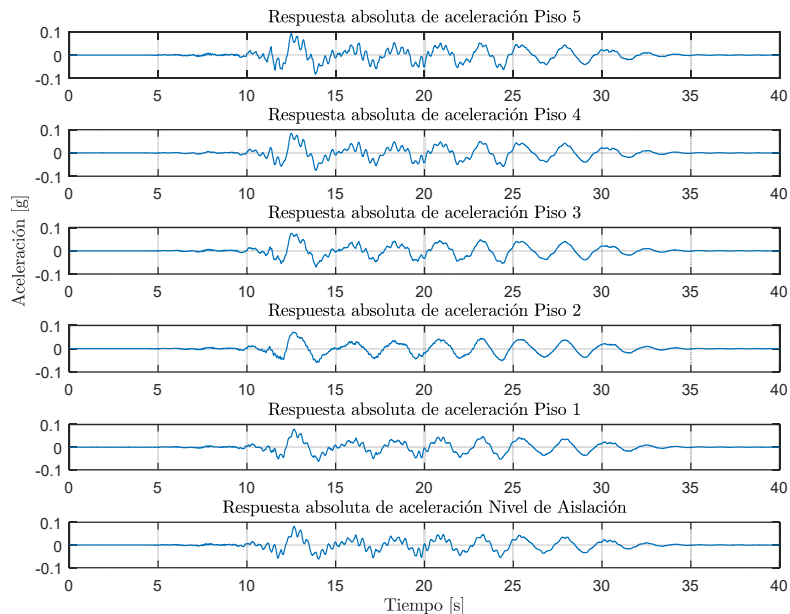
#### 10.3.1.1 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI1-CNP100

##### 10.3.1.1.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada, la respuesta a nivel de la mesa de vibrar, es decir el canal 81, presente en la Figura 10.18. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54, 66), presentes en la Figura 10.19.



**Figura 10.18: Input estructura aislada, Registro BI1-CNP100.**



**Figura 10.19: Output estructura aislada, Registro BI1-CNP100.**

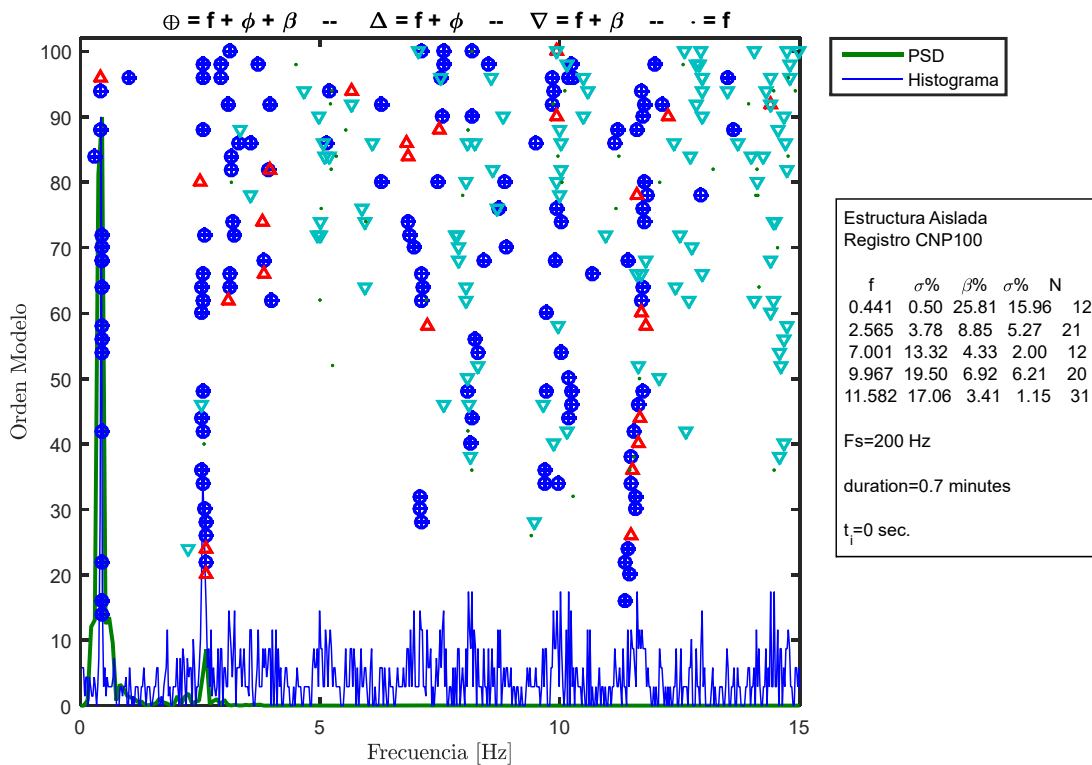
### 10.3.1.1.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.18.

**Tabla 10.18: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro B11-CNP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50



**Figura 10.20: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro B11-CNP100.**



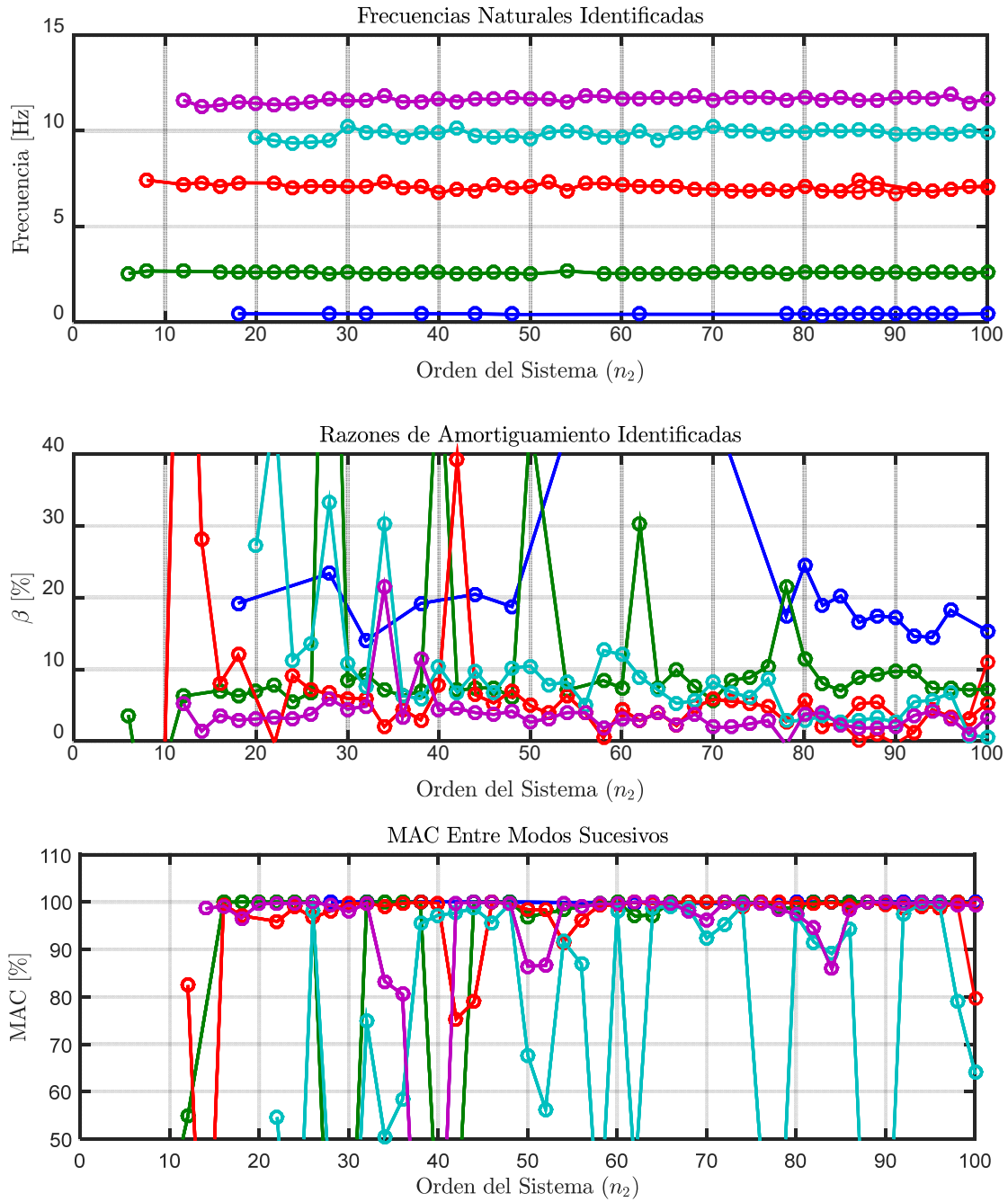


Figura 10.21: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.

### 10.3.1.1.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.19.

**Tabla 10.19: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BII-CNP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	3
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	80
Smin	2585
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	6,46
Cantidad de ventanas	52
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	3,5
Ventana 2	20
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	14
Ventana 3	47
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	35
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	5
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	70
Frecuencia de resampleo [Hz]	400

En la Figura 10.22, Figura 10.23 y Figura 10.24 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

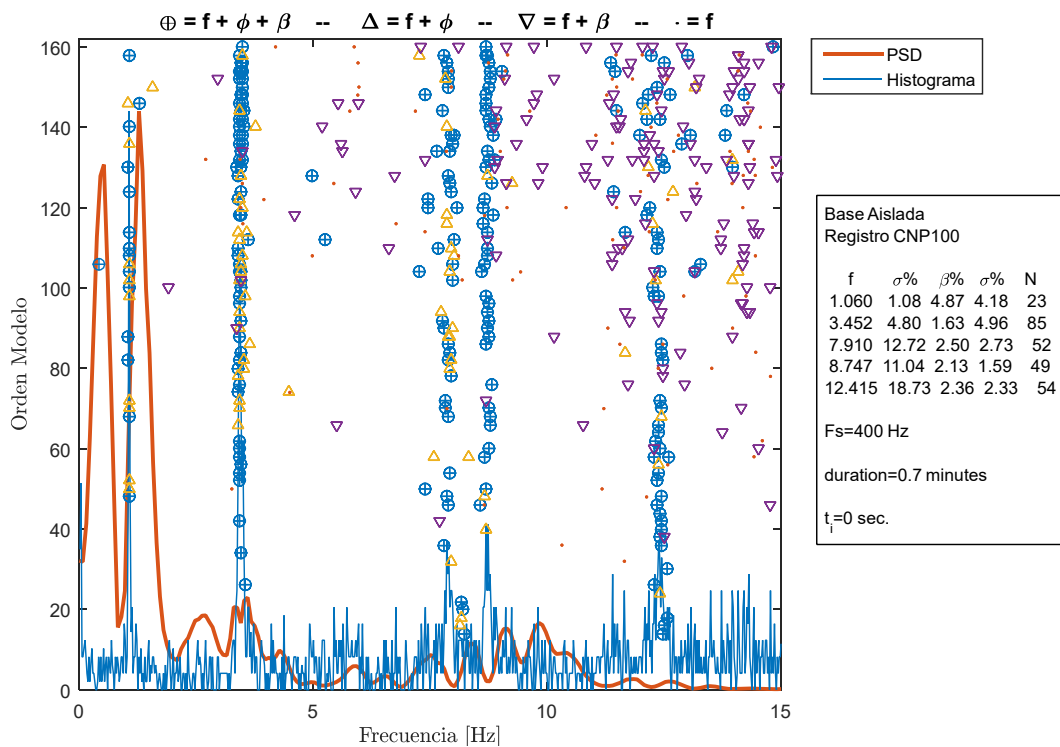


Figura 10.22: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.

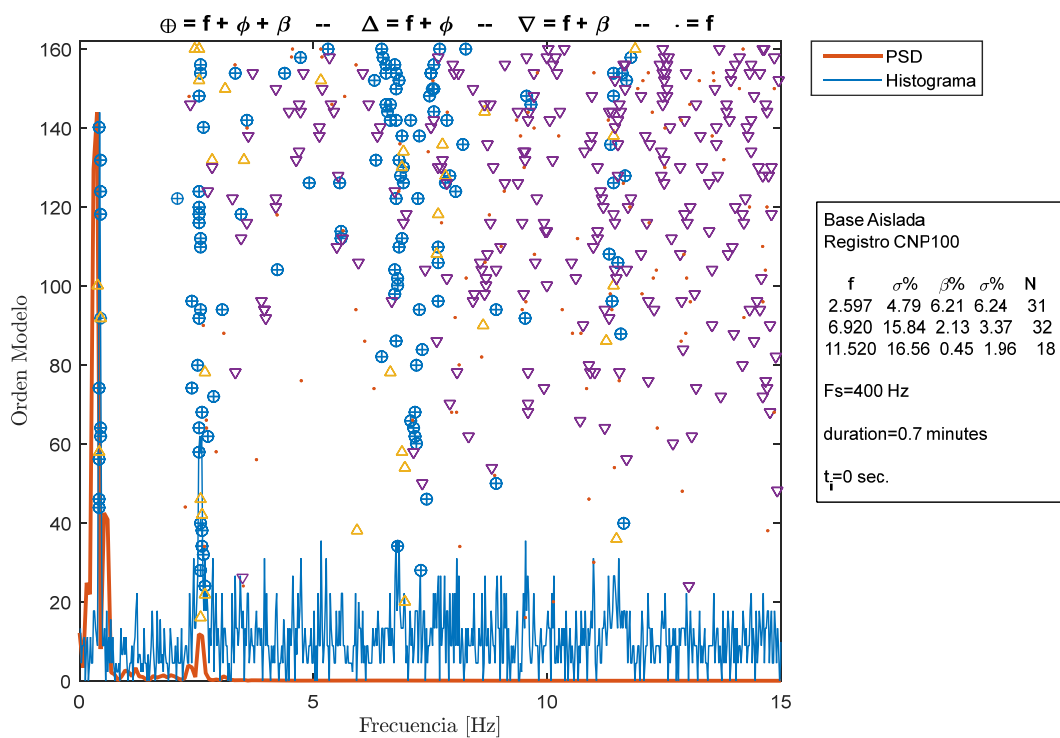


Figura 10.23: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.

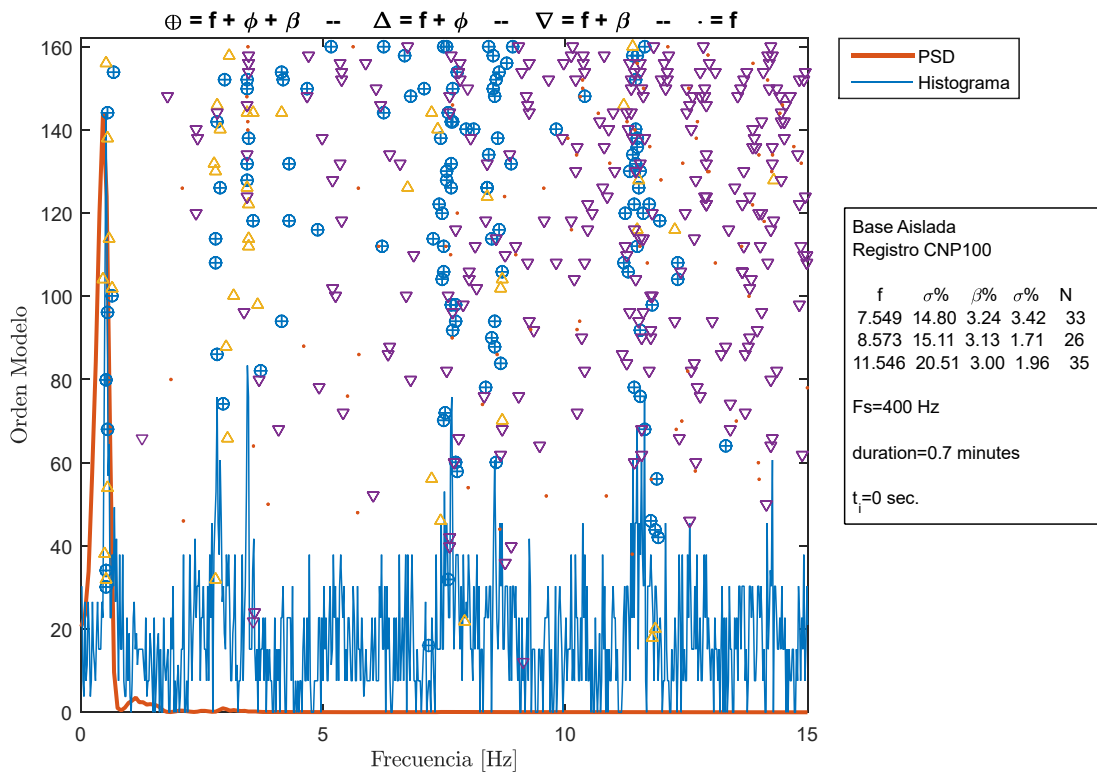


Figura 10.24: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro B11-CNP100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.25 hasta la Figura 10.29.

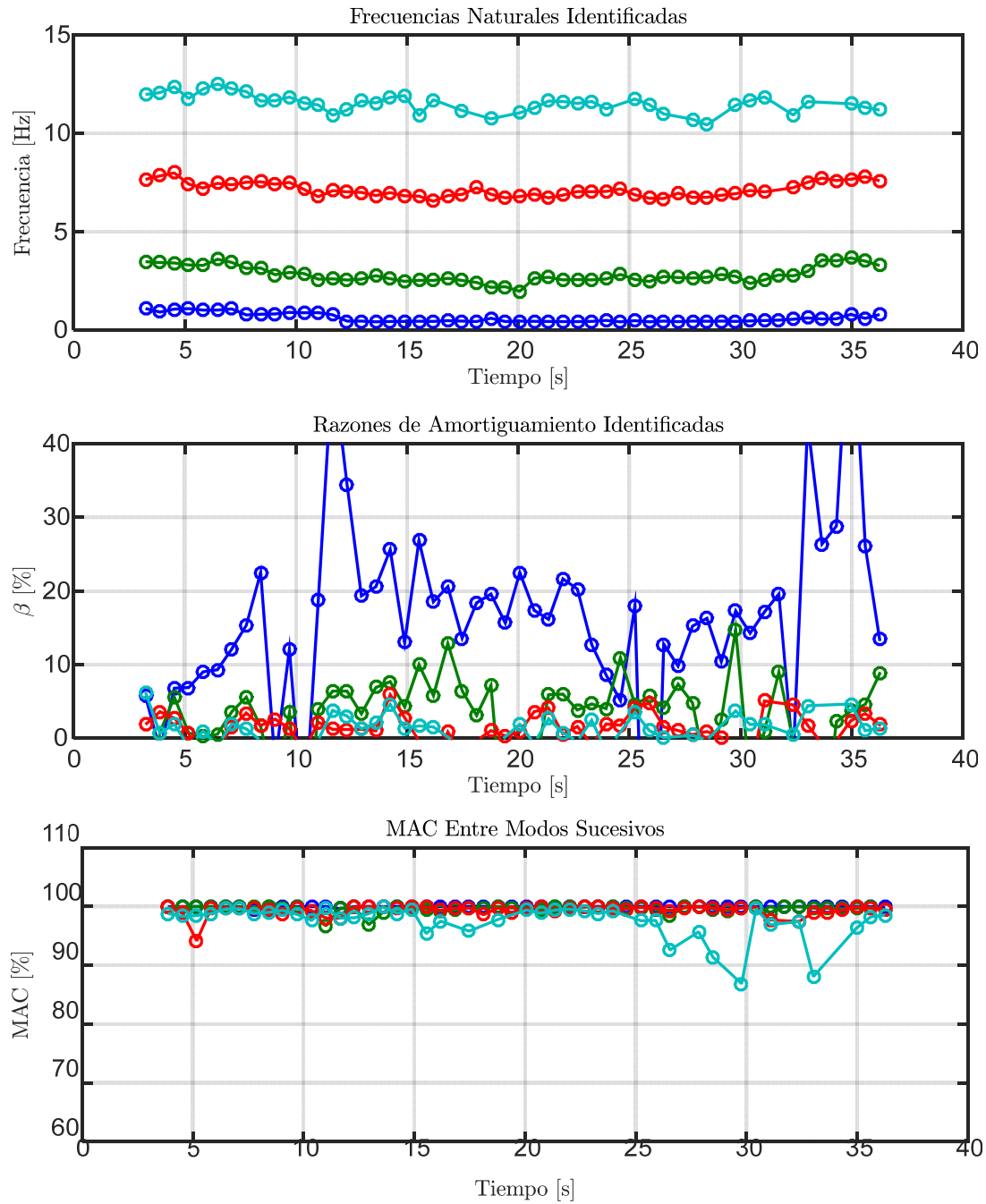
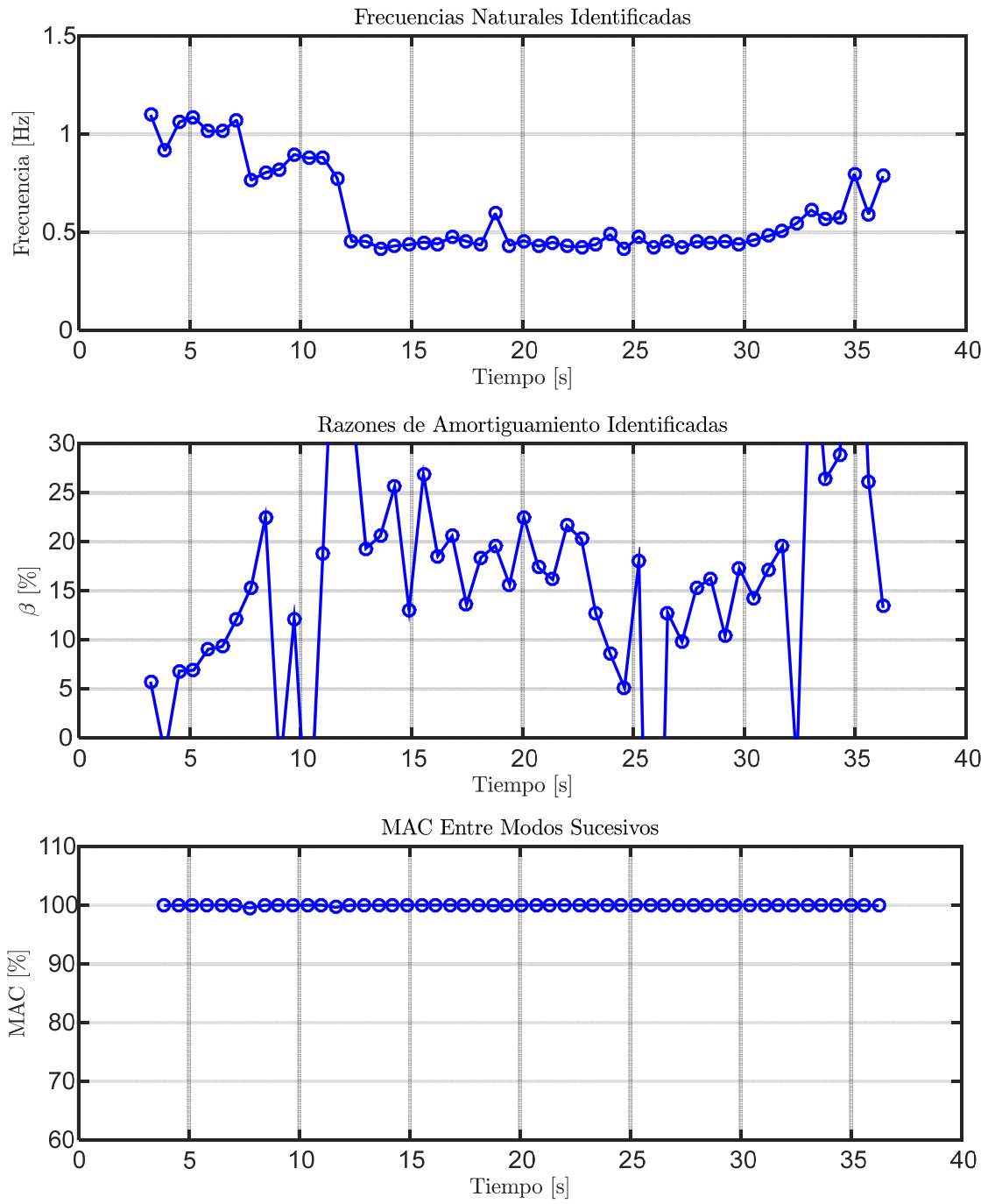


Figura 10.25: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.



**Figura 10.26: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro B11-CNP100.**

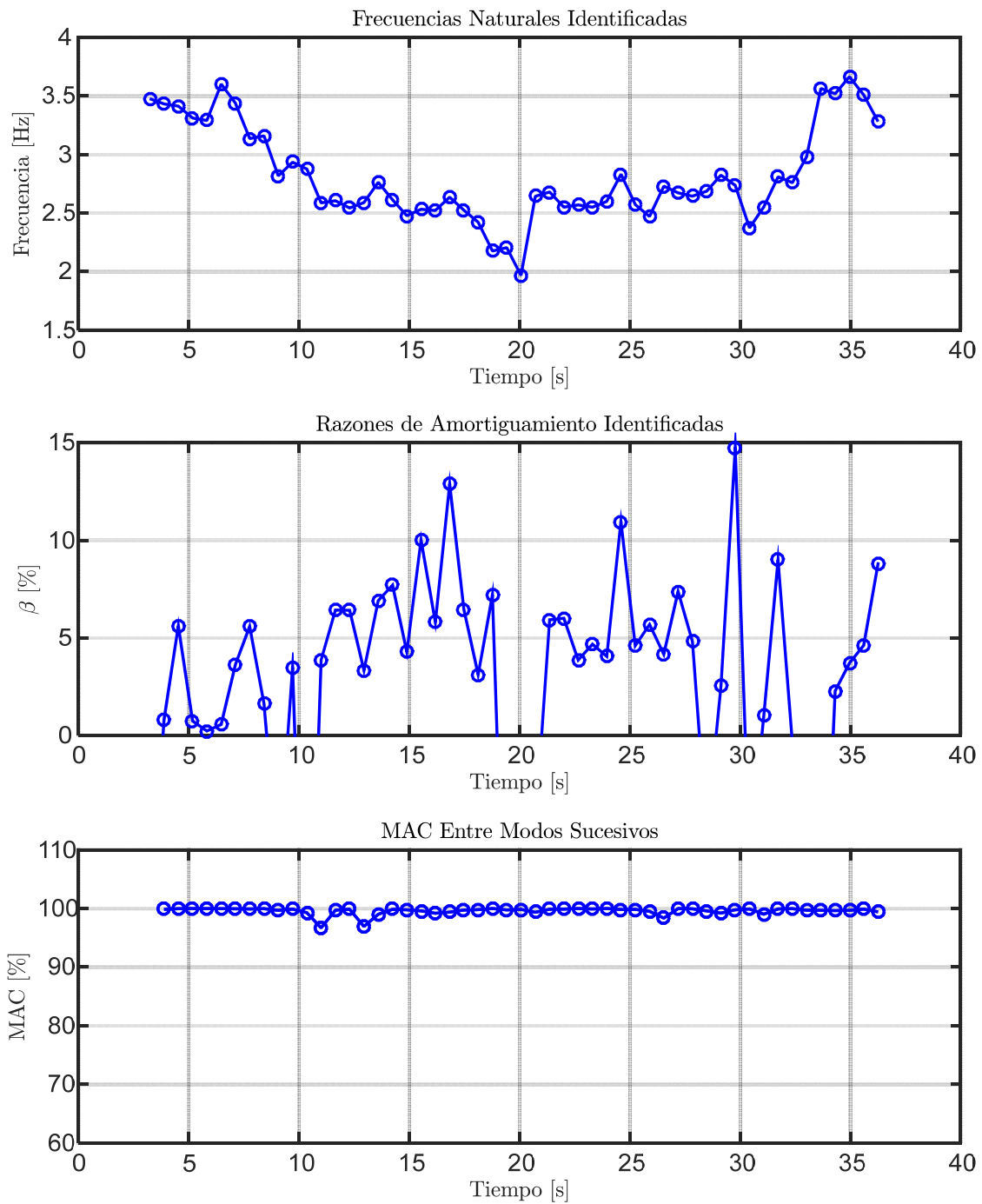
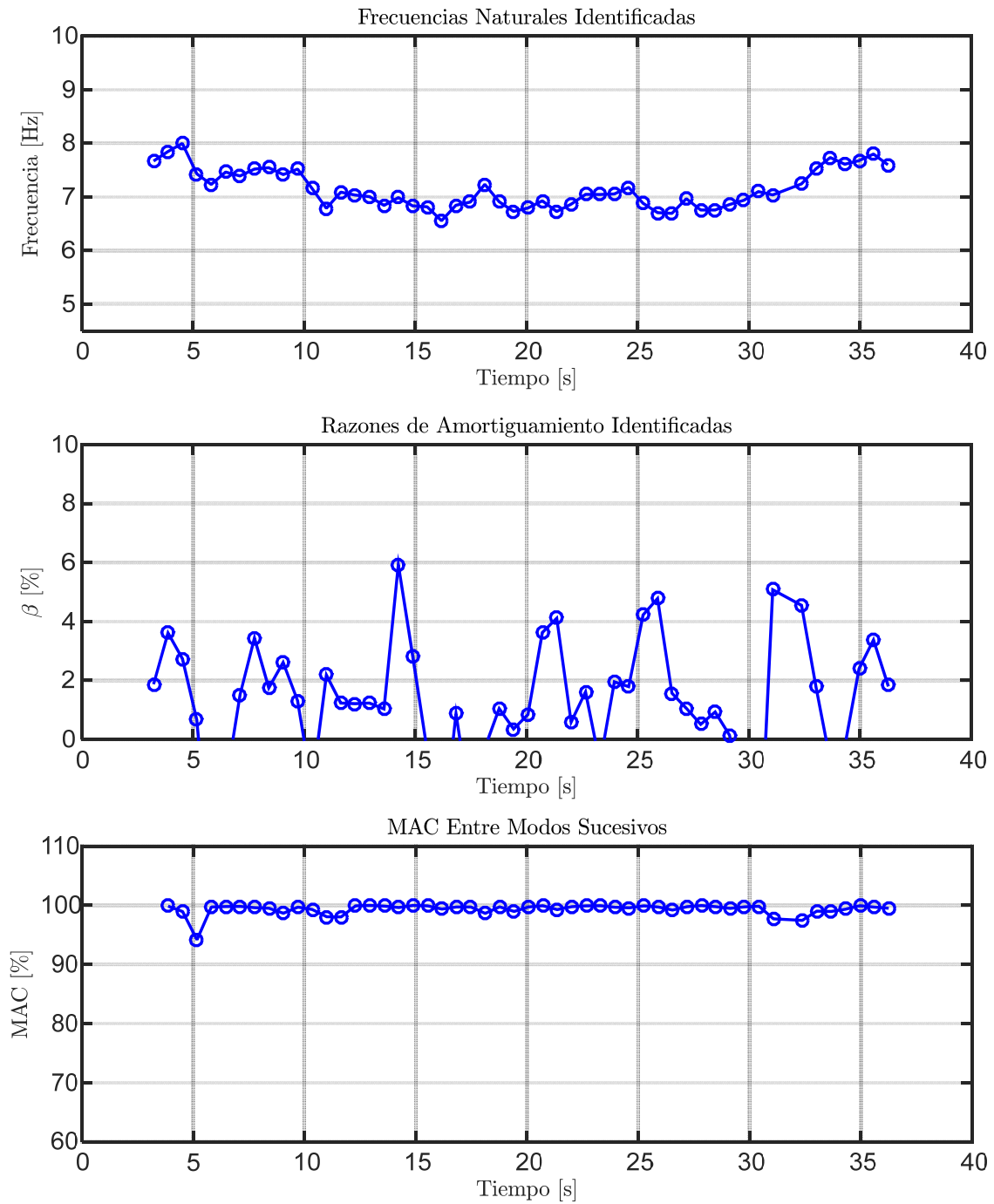


Figura 10.27: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.



**Figura 10.28: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro B11-CNP100.**



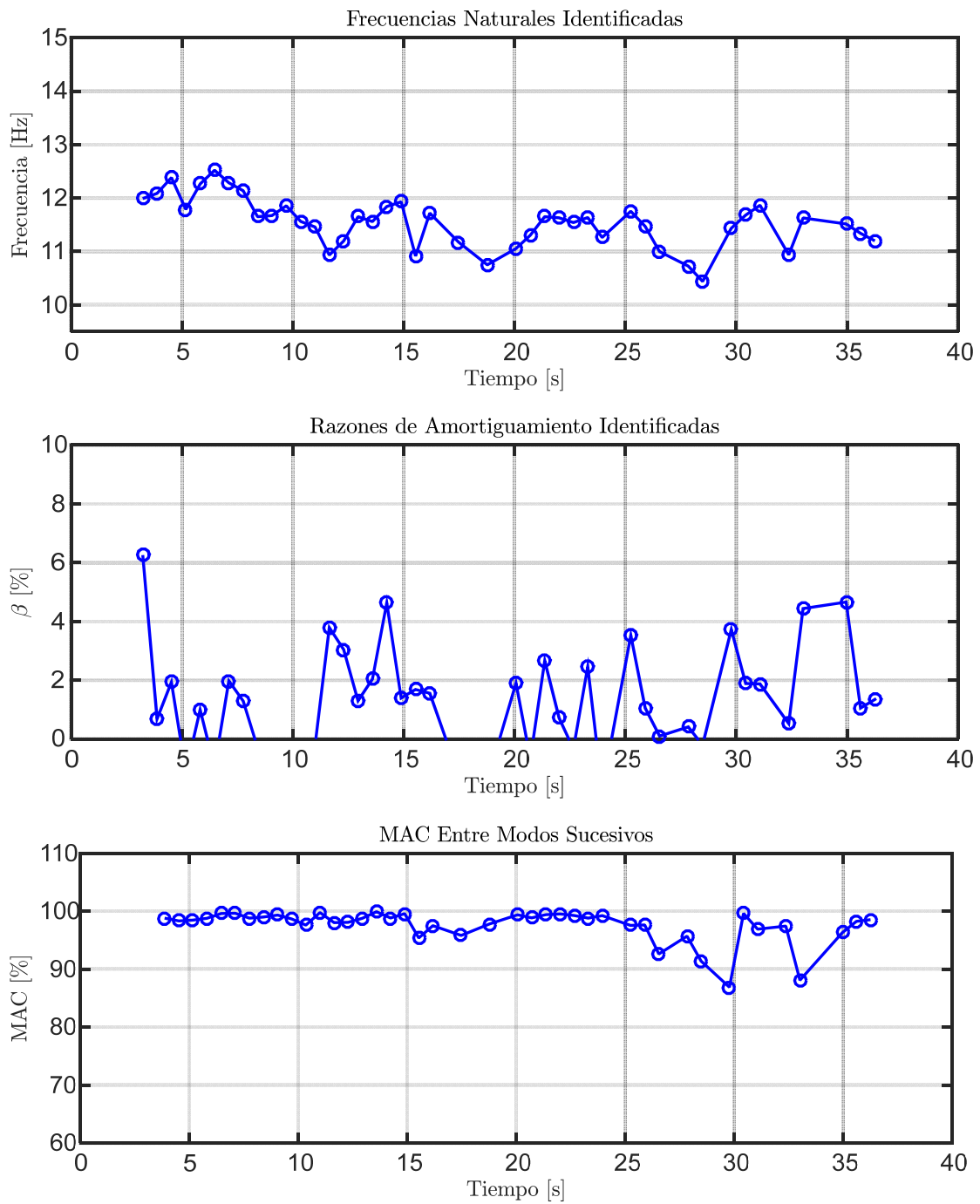


Figura 10.29: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.

#### 10.3.1.1.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

Para poder comparar las frecuencias modales obtenidas por el método DSI, se realiza un estudio de la evolución temporal de las frecuencias modales identificadas a través de la función de transferencias por pequeñas ventanas (Trasferenciograma).

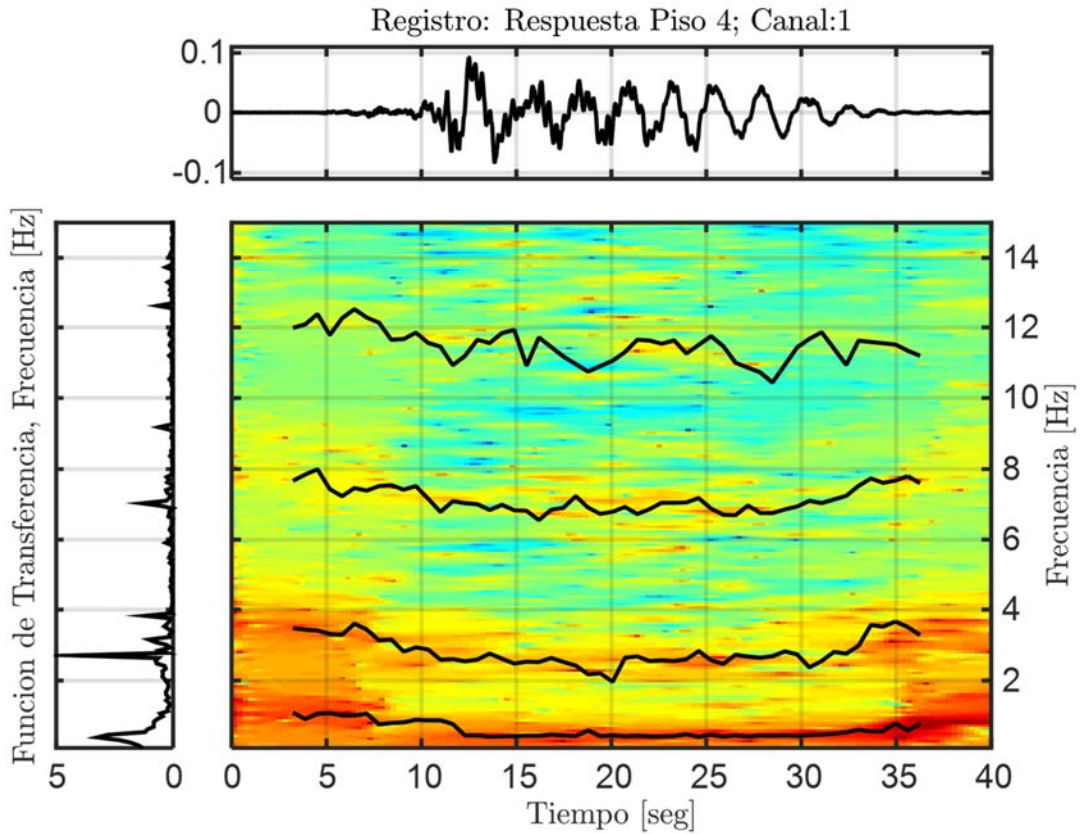


Figura 10.30: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.

Se utilizarán filtros digitales del tipo Butterworth para aislar las diferentes componentes, de esta forma, poder utilizar ventanas de menor tamaño y con menor interferencia, posibilitando una estimación más local de la frecuencia instantánea (promedio ponderado en frecuencia para cada instante).

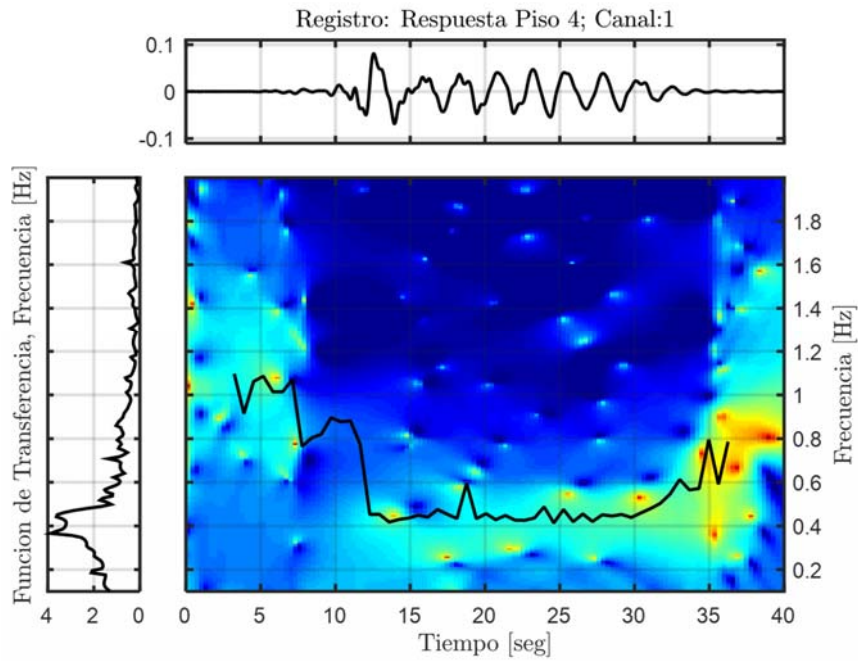


Figura 10.31: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.

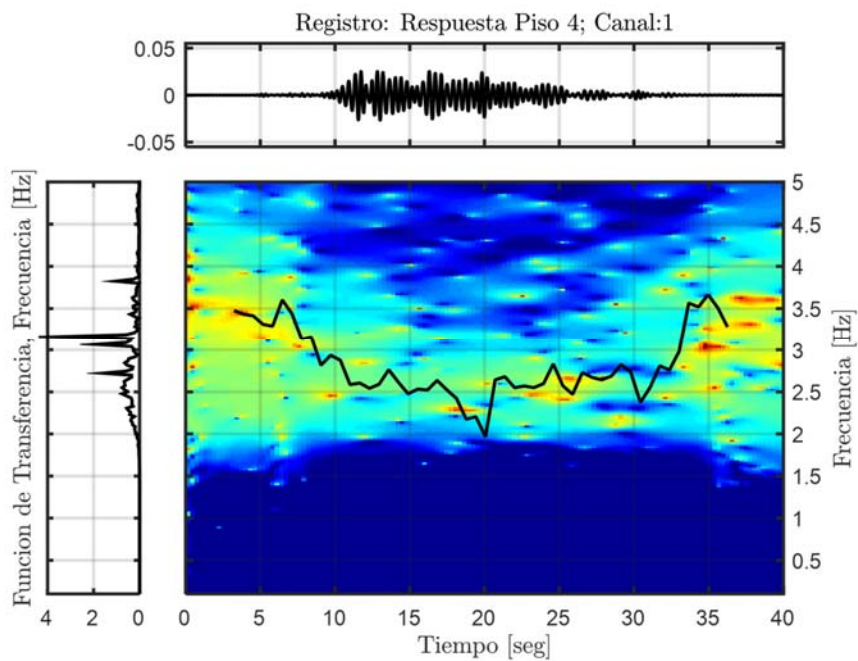


Figura 10.32: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.

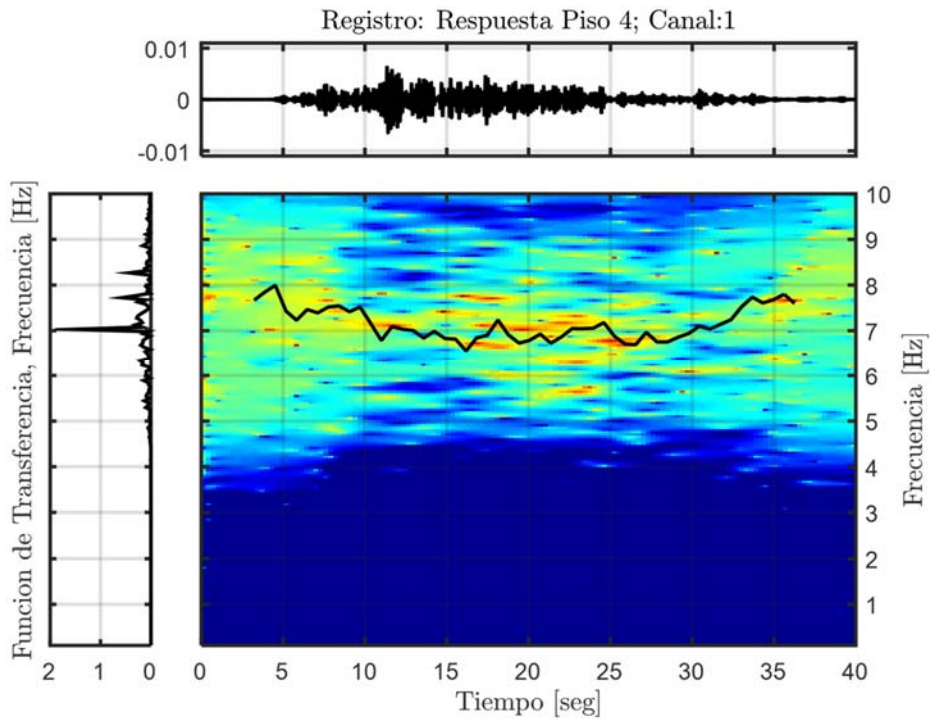


Figura 10.33: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.

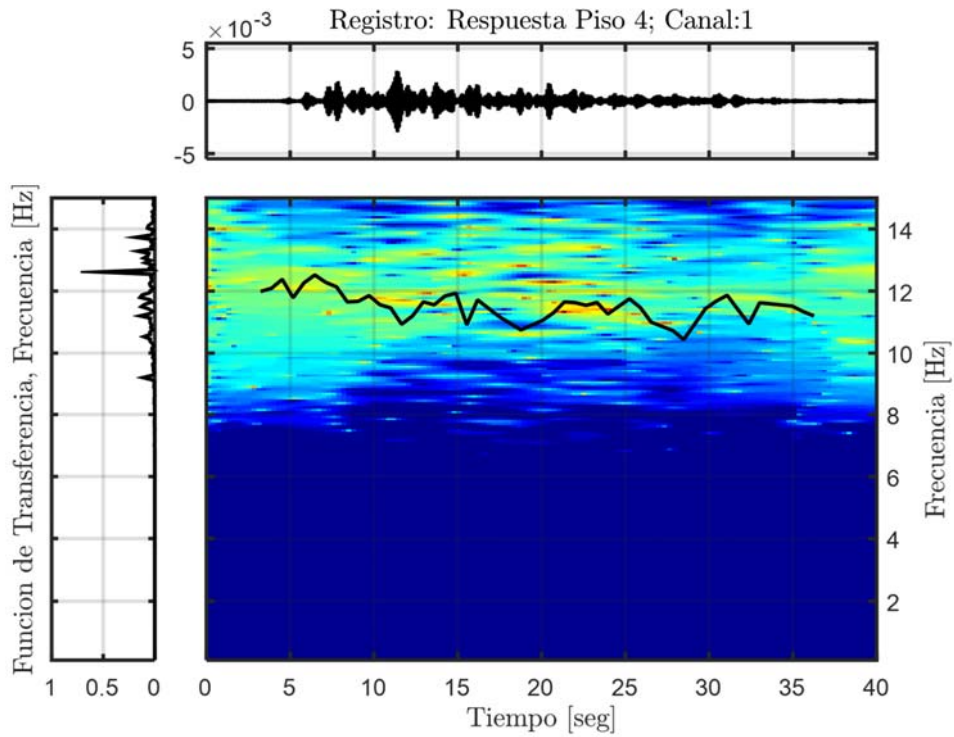


Figura 10.34: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI1-CNP100.

### 10.3.1.1.5 Resumen Propiedades Identificadas

**Tabla 10.20: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Astroza}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Astroza}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Astroza}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,441	1,075	1,098	0,425	0,417	0,925	0,786
2	2,565	3,605	3,477	2,546	2,204	3,521	3,508
3	7,001	7,647	7,766	6,783	6,555	7,783	7,799
4	9,967	12,348	12,38	11,000	10,750	12,582	11,34

### 10.3.1.2 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI2-LAC100

#### 10.3.1.2.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada, la respuesta a nivel de la mesa de vibrar, es decir el canal 81, presente en la Figura 10.35. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54, 66), presentes en la Figura 10.36.

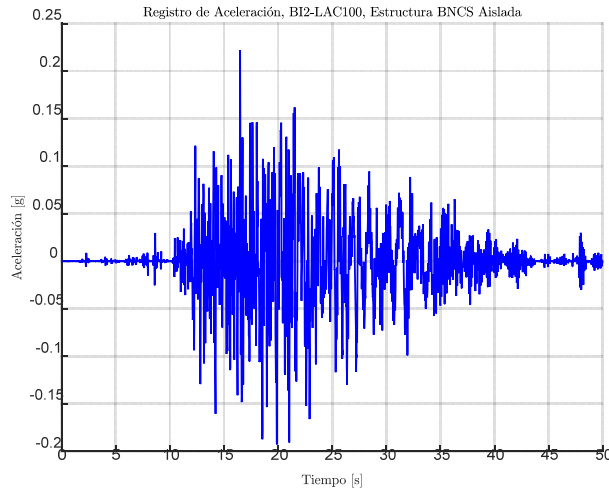


Figura 10.35: Input estructura aislada, Registro BI2-LAC100.

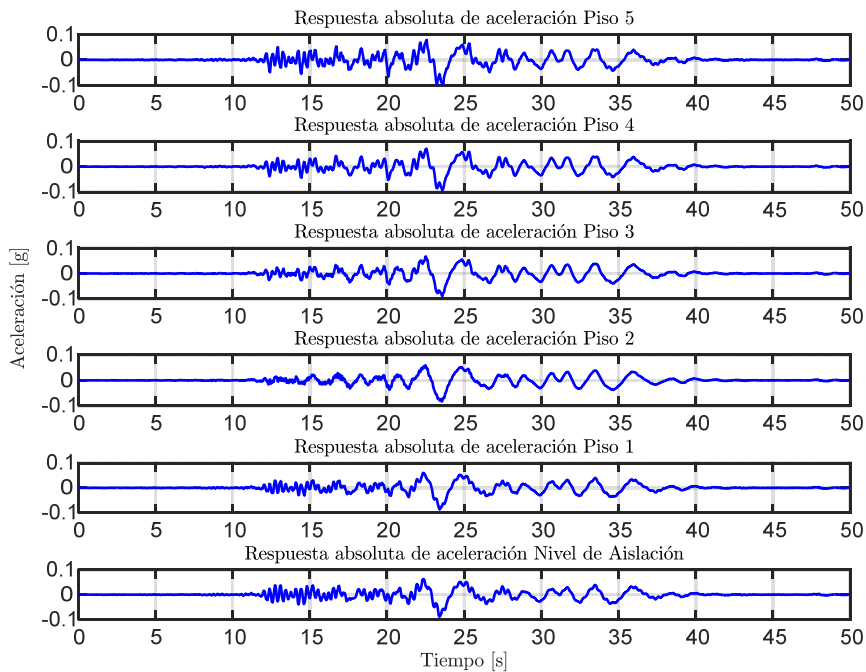


Figura 10.36: Output estructura aislada, Registro BI2-LAC100.

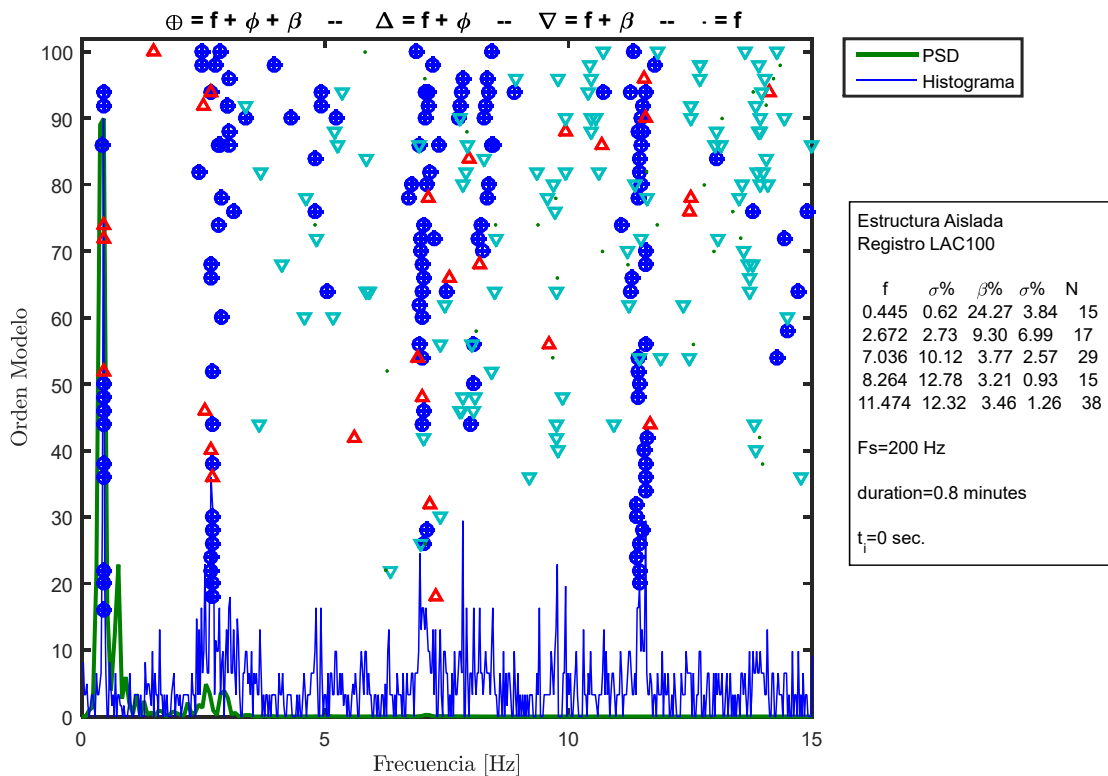
### 10.3.1.2.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.21.

**Tabla 10.21: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI2-LAC100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50



**Figura 10.37: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.**

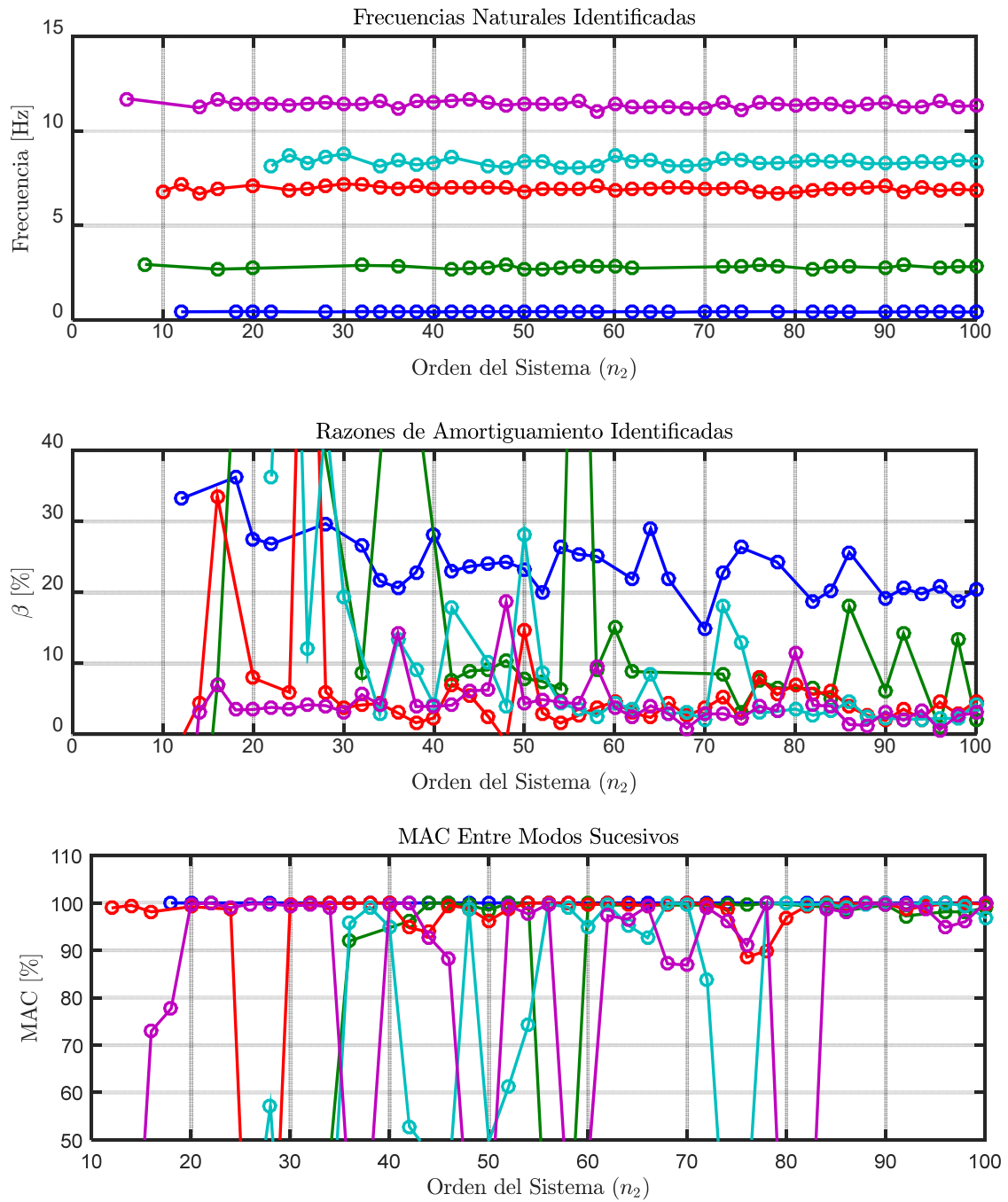


Figura 10.38: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCs, registro BI2-LAC100.



### 10.3.1.2.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.22.

**Tabla 10.22: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	8
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	100
Smin	3225
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	5,375
Cantidad de ventanas	83
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	3,5
Ventana 2	18
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	14
Ventana 3	78
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	45
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resamplio [Hz]	600

En la Figura 10.39, Figura 10.40 y Figura 10.41 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

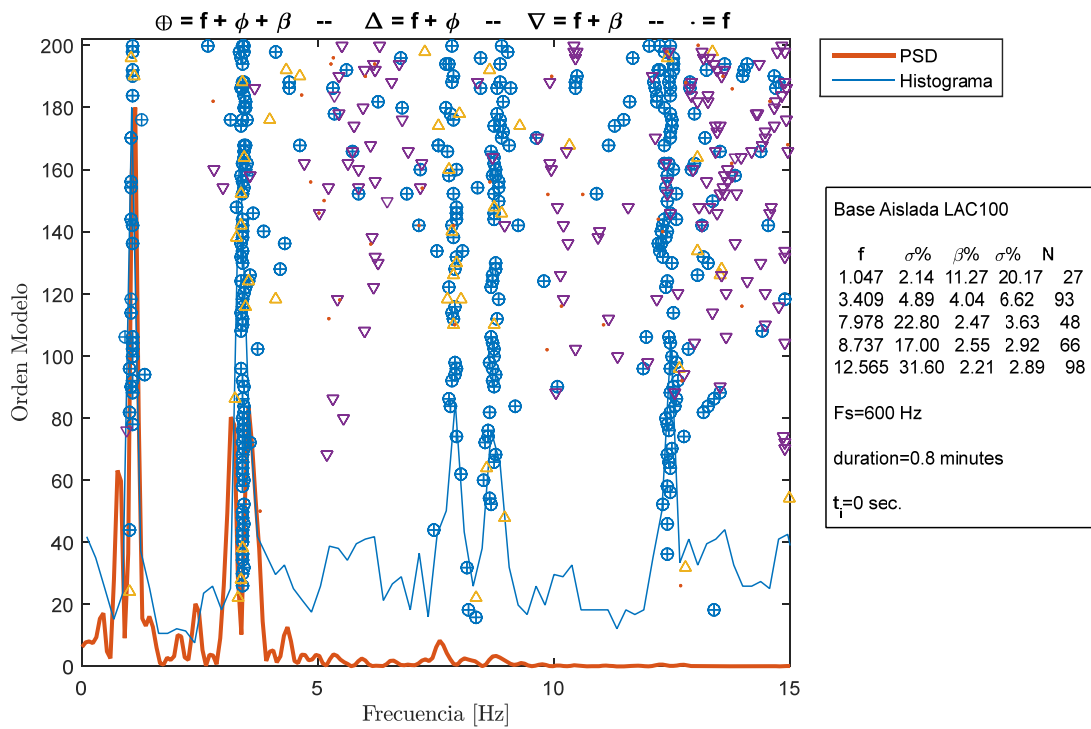


Figura 10.39: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.

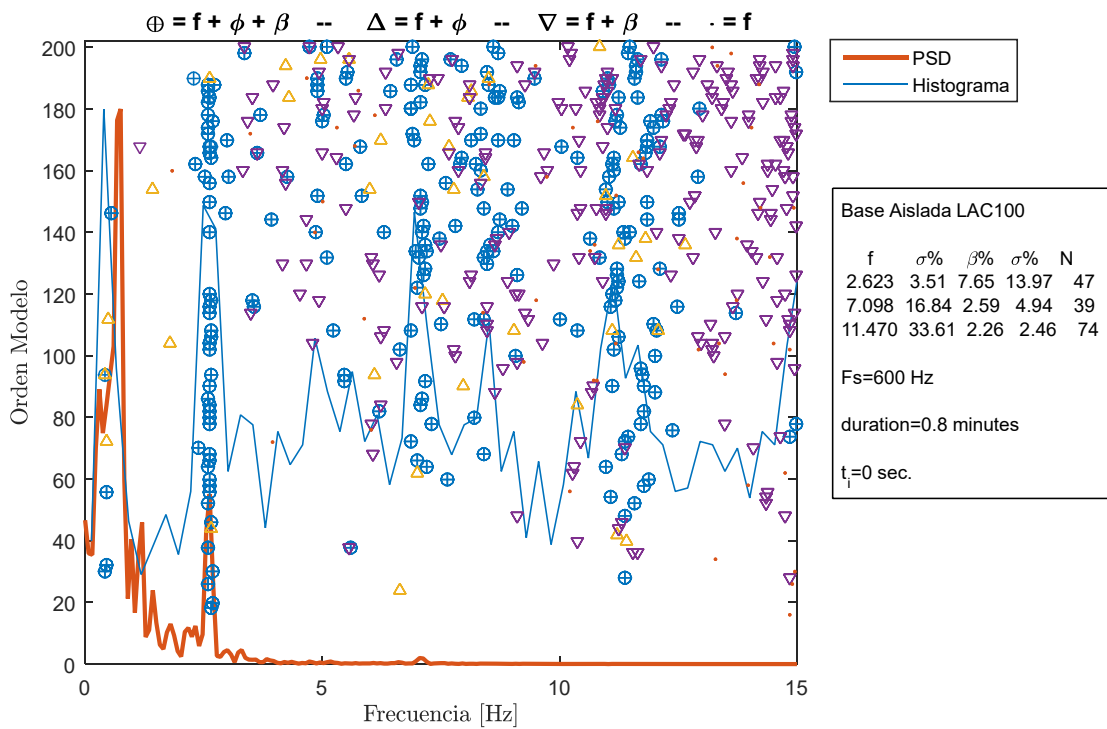


Figura 10.40: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.

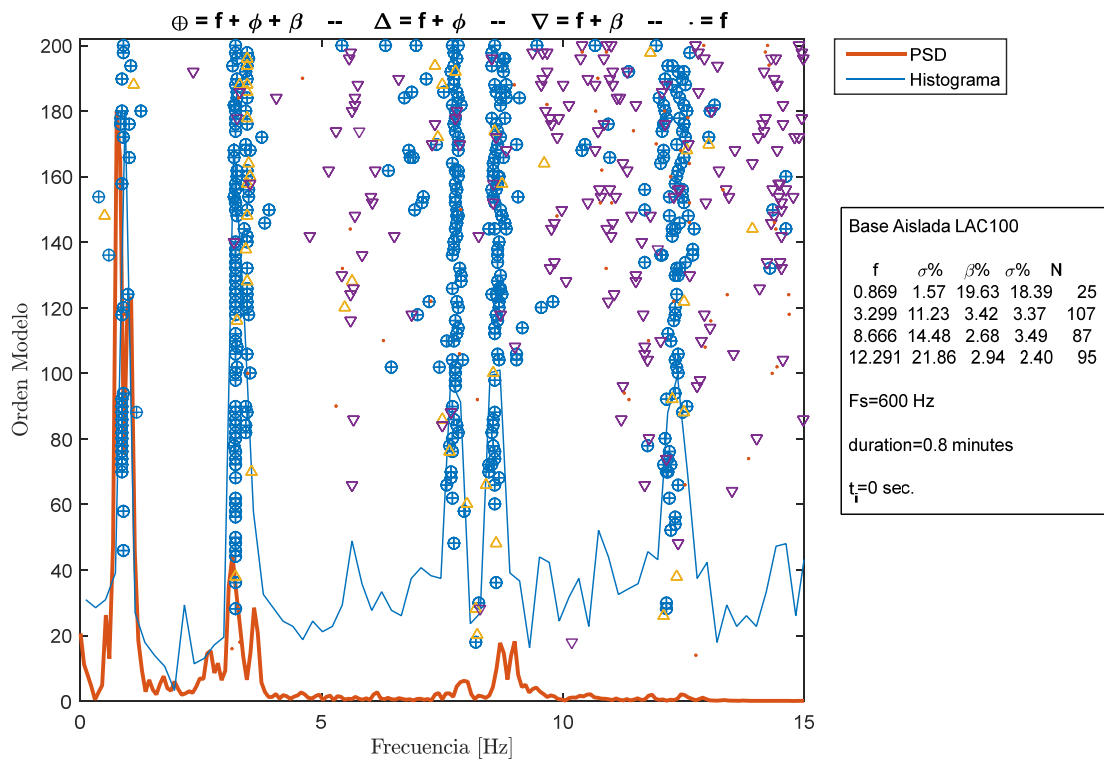


Figura 10.41: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro B12-LAC100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes en la Figura 10.42 hasta la Figura 10.46.

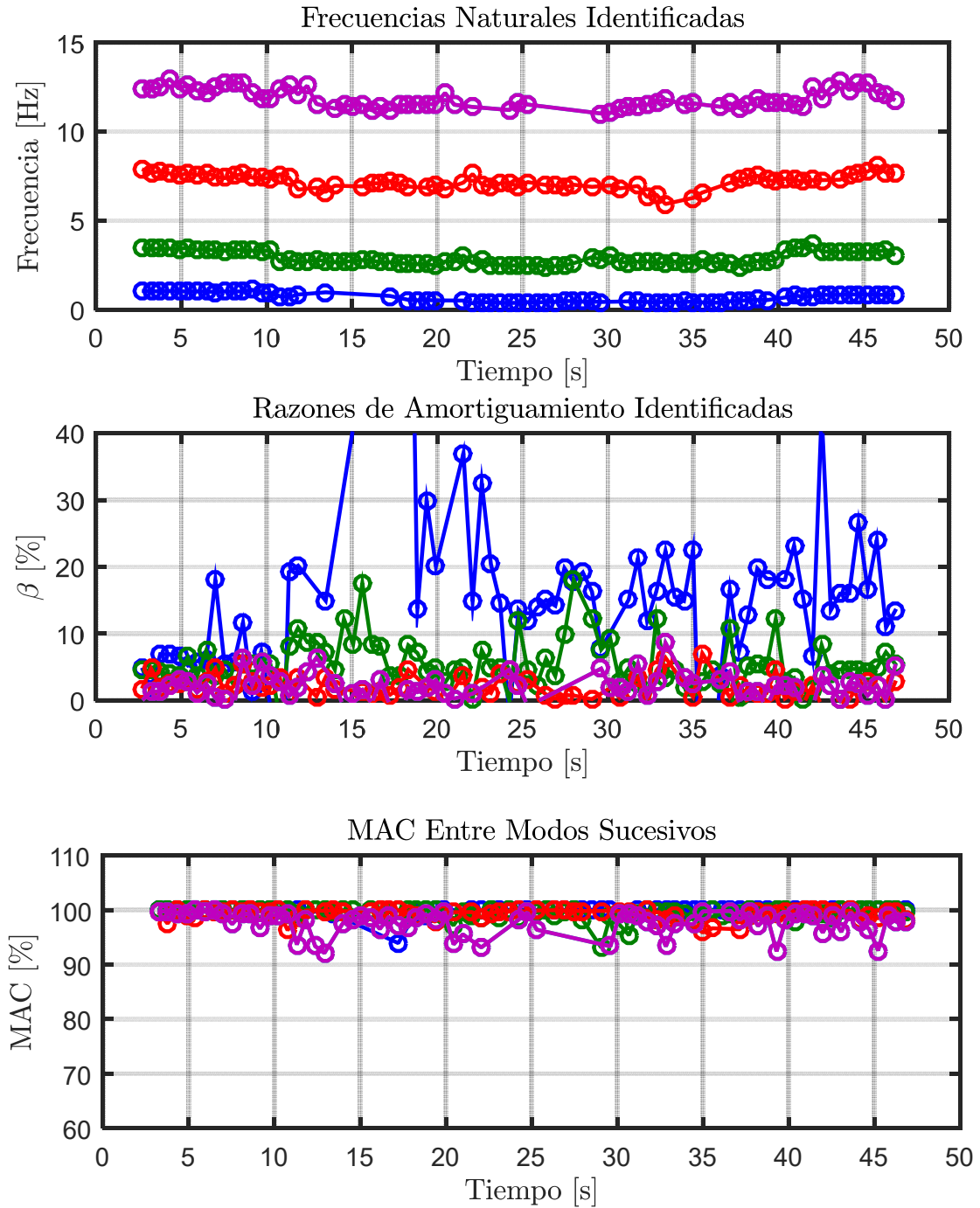


Figura 10.42: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro B12-LAC100.

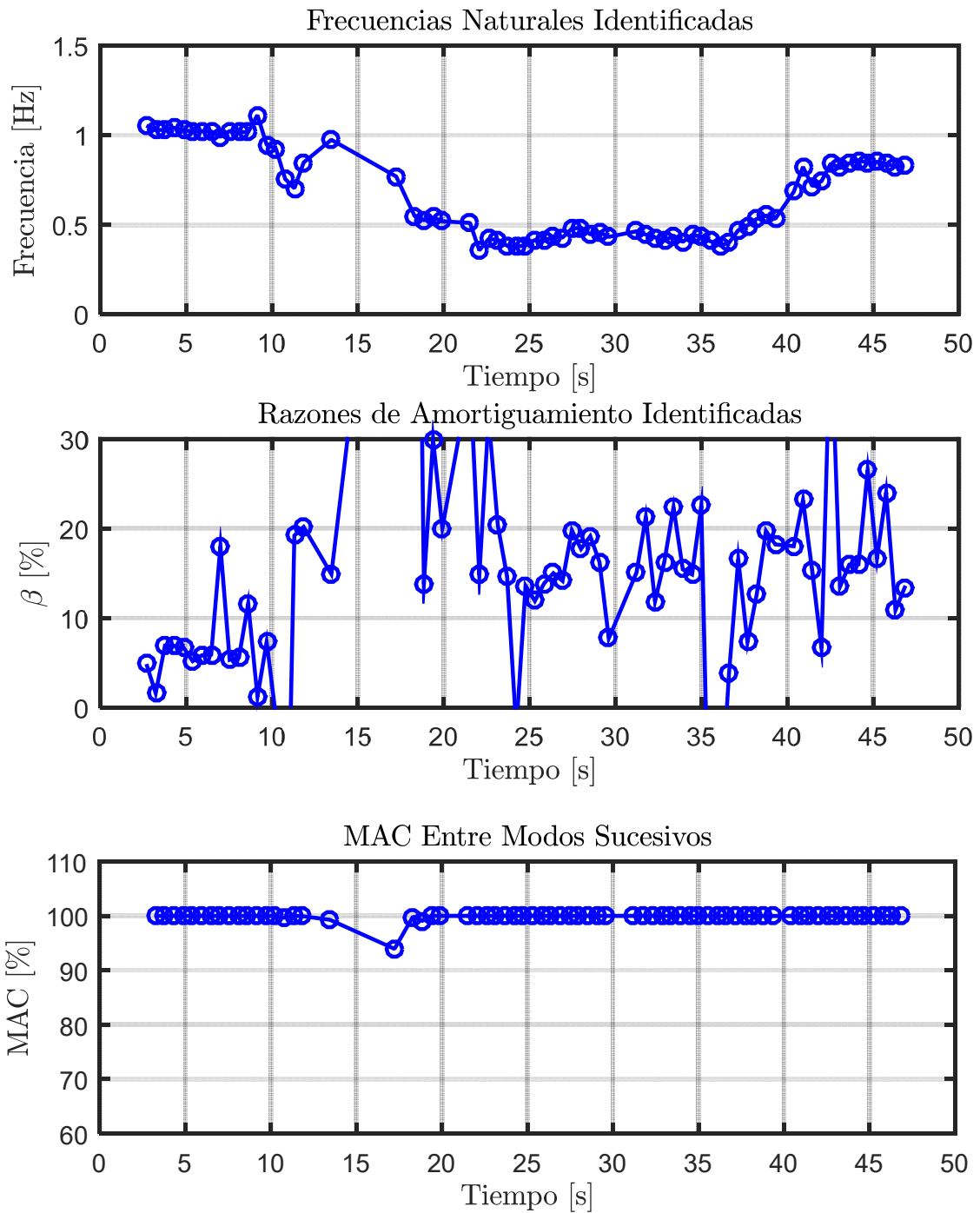


Figura 10.43: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.

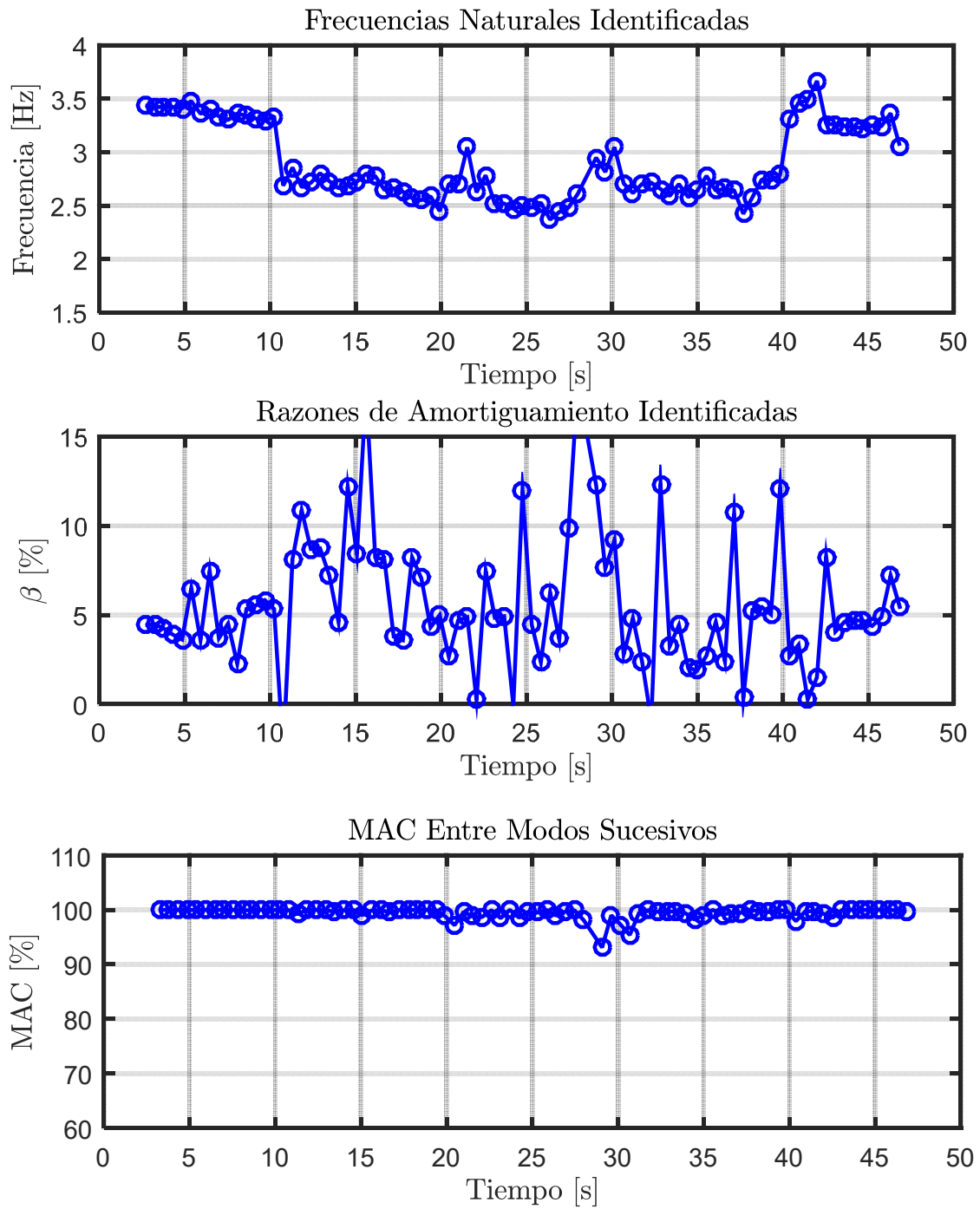


Figura 10.44: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro B12-LAC100.

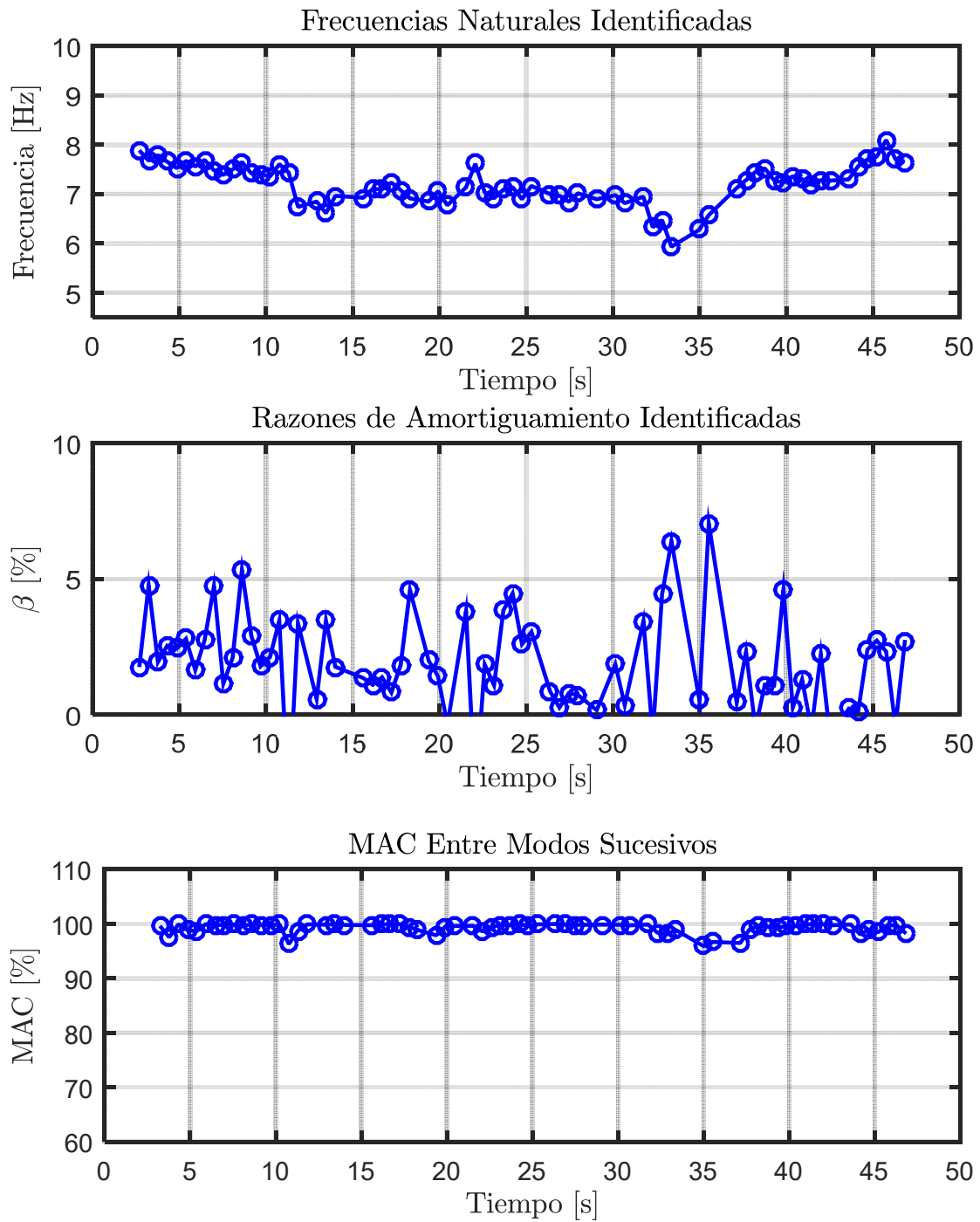


Figura 10.45: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.

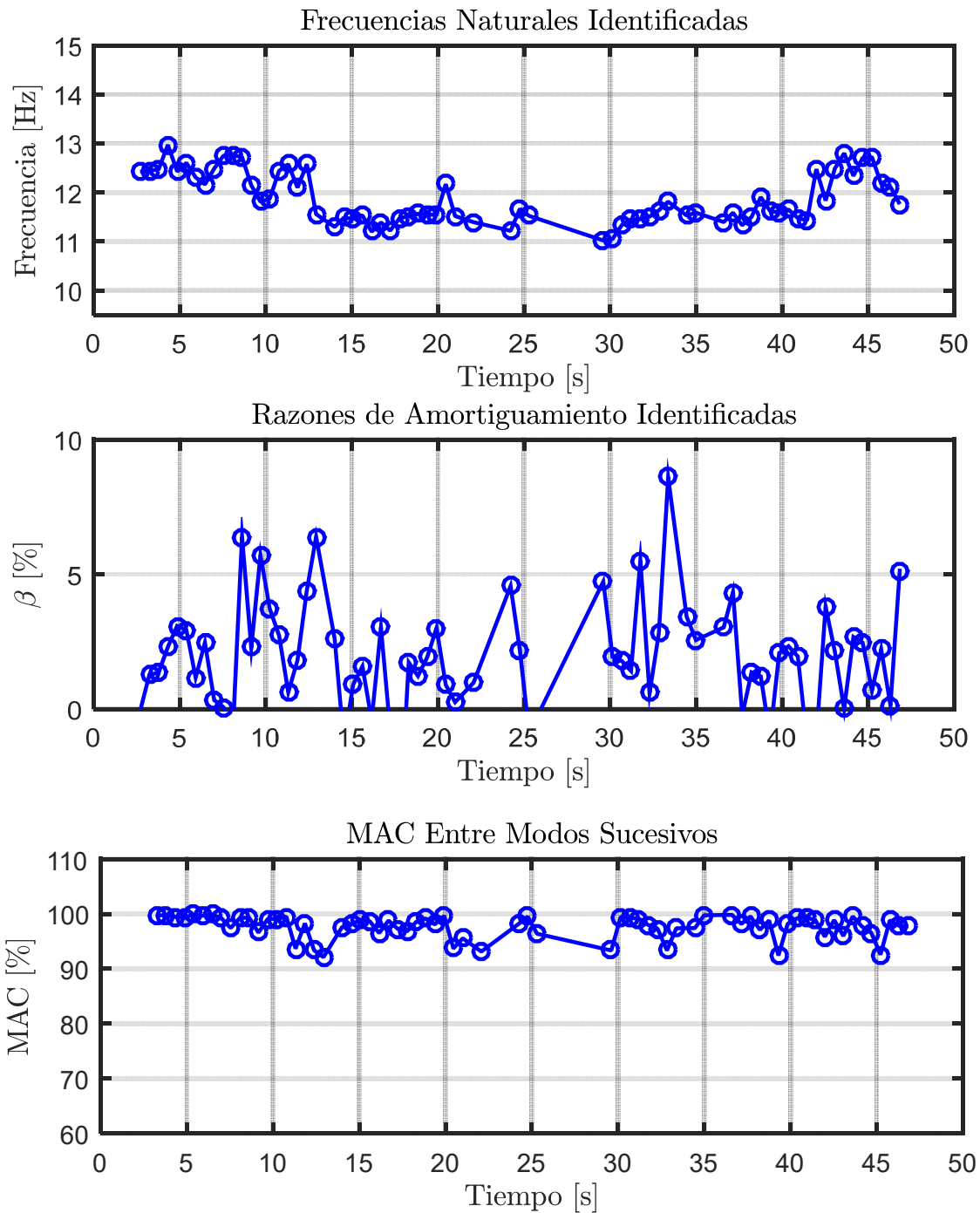


Figura 10.46: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI2-LAC100.



#### 10.3.1.2.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

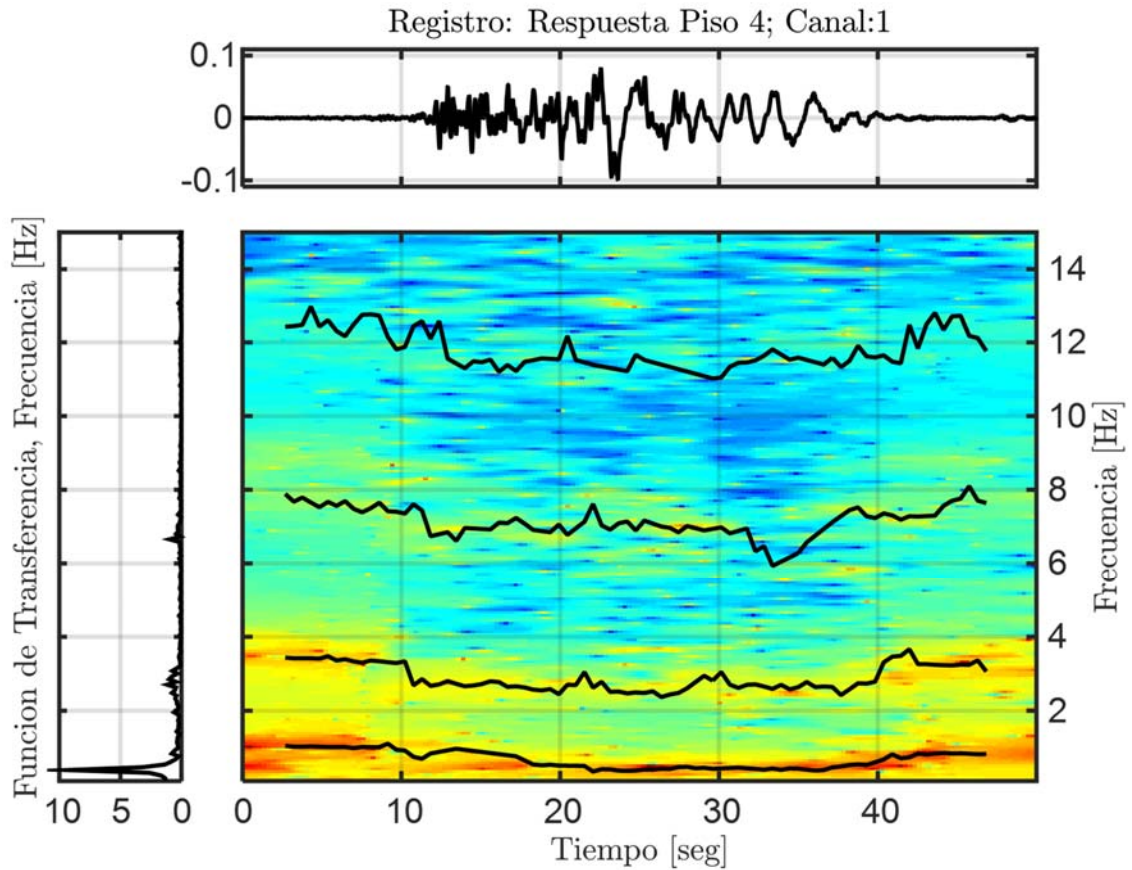


Figura 10.47: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro B12-LAC100.

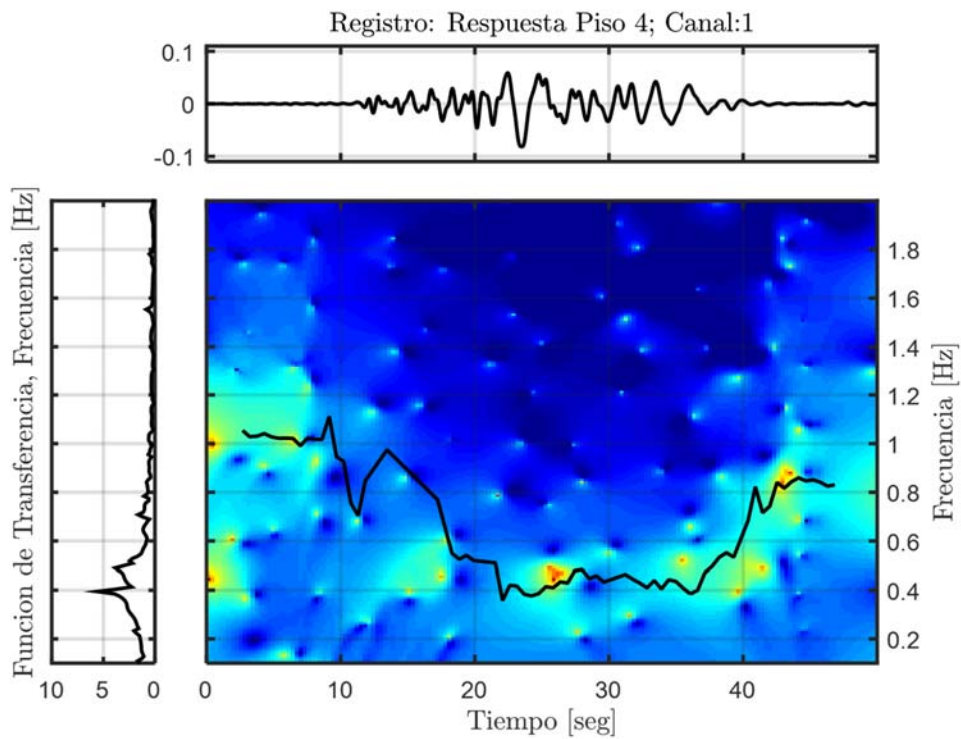


Figura 10.48: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.

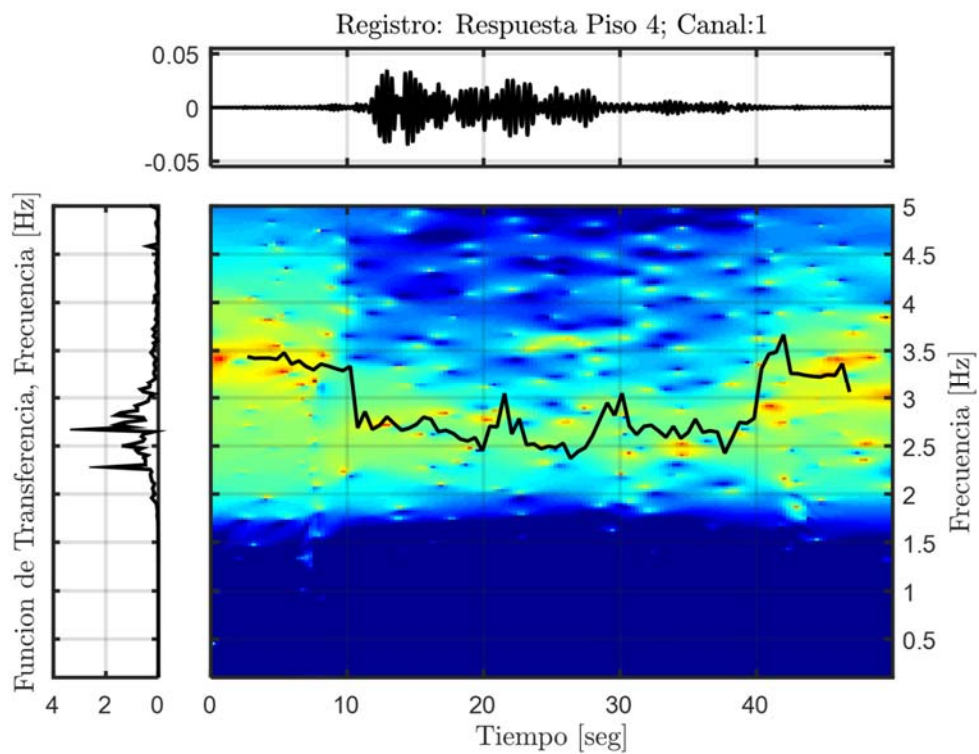


Figura 10.49: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.

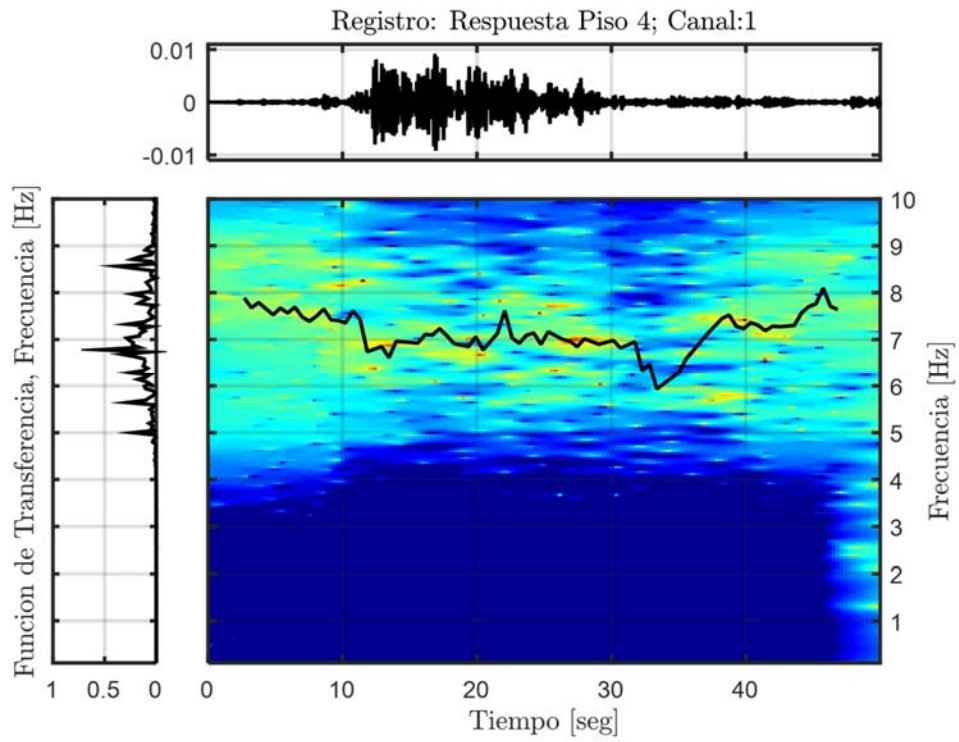


Figura 10.50: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.

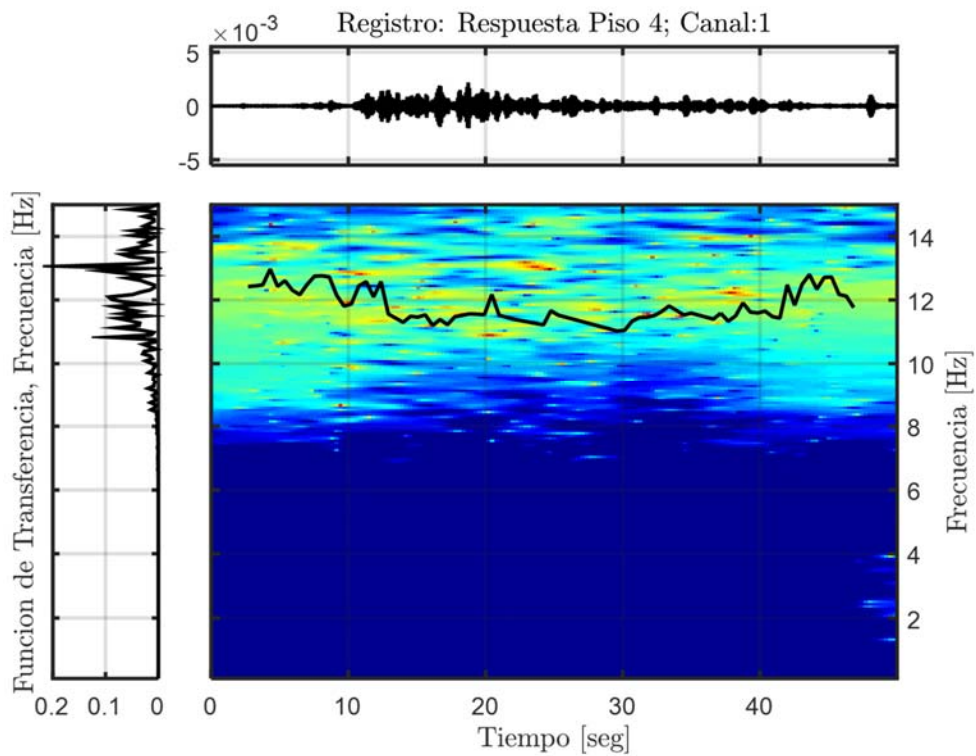


Figura 10.51: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI2-LAC100.

### 10.3.1.2.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.23: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI1-CNP100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Astroza}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Astroza}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Astroza}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,445	1,064	1,054	0,371	0,383	0,925	0,830
2	2,672	3,529	3,438	2,478	2,497	3,310	3,243
3	7,036	8,018	7,889	6,881	6,615	7,802	7,642
4	11,474	12,466	12,420	10,908	11,200	12,351	12,180

### 10.3.1.3 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI3-LAC100 2

#### 10.3.1.3.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada, la respuesta a nivel de la mesa de vibrar, es decir el canal 81, presente en la Figura 10.52. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54, 66), presentes en la Figura 10.53.

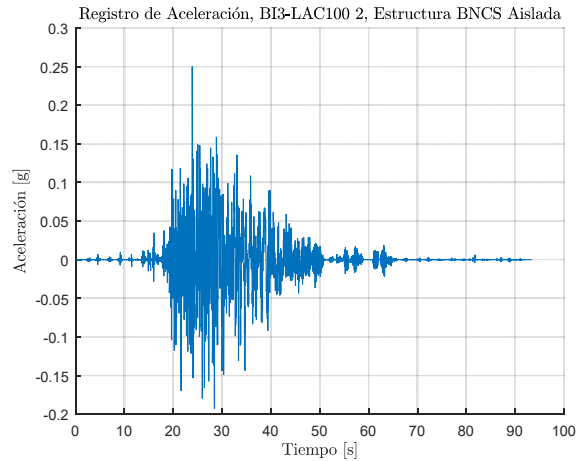


Figura 10.52: Input estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.

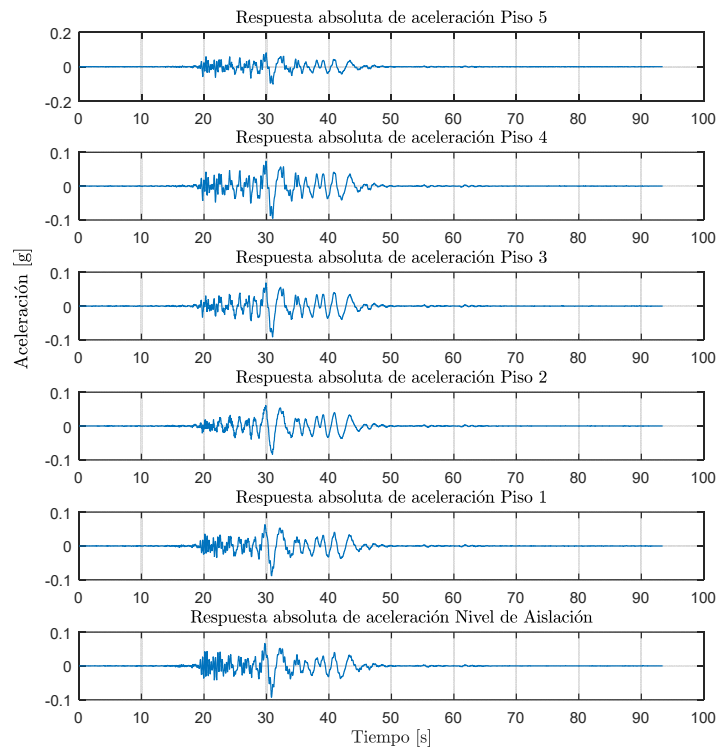


Figura 10.53: Output estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.

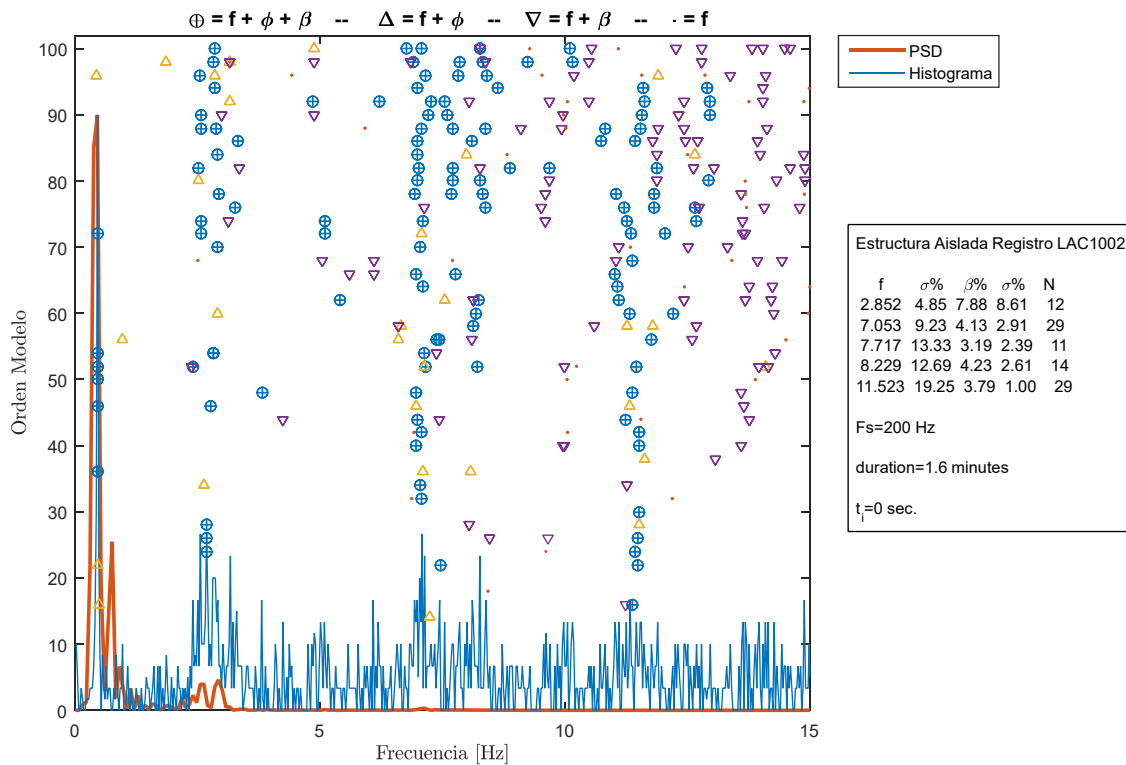
### 10.3.1.3.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.24.

**Tabla 10.24: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI2-LAC100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50



**Figura 10.54: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.**

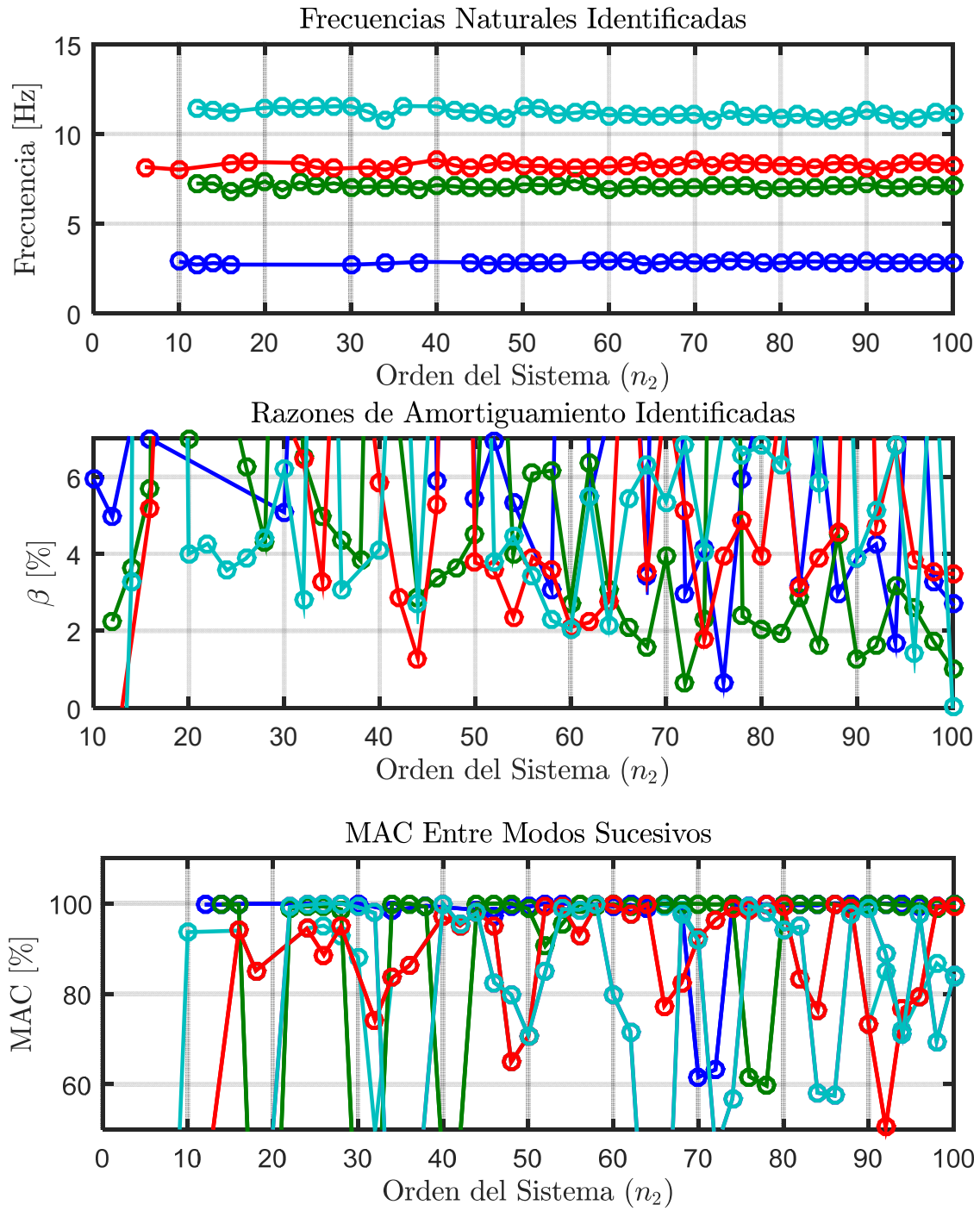


Figura 10.55: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.

### 10.3.1.3.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.25.

**Tabla 10.25: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	8
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	100
Smin	3225
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,031
Cantidad de ventanas	222
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2
Ventana 2	63
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	25
Ventana 3	175
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	80
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resamplio [Hz]	800

En la Figura 10.56, Figura 10.57 y Figura 10.58 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.



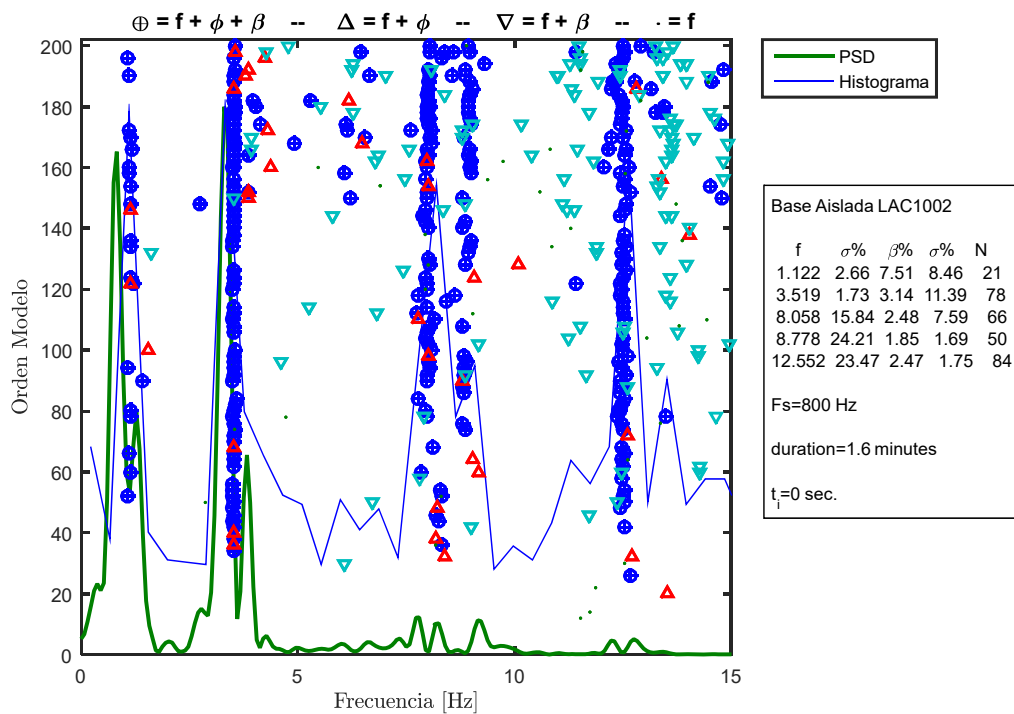


Figura 10.56: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCs, registro BI3-LAC100 2.

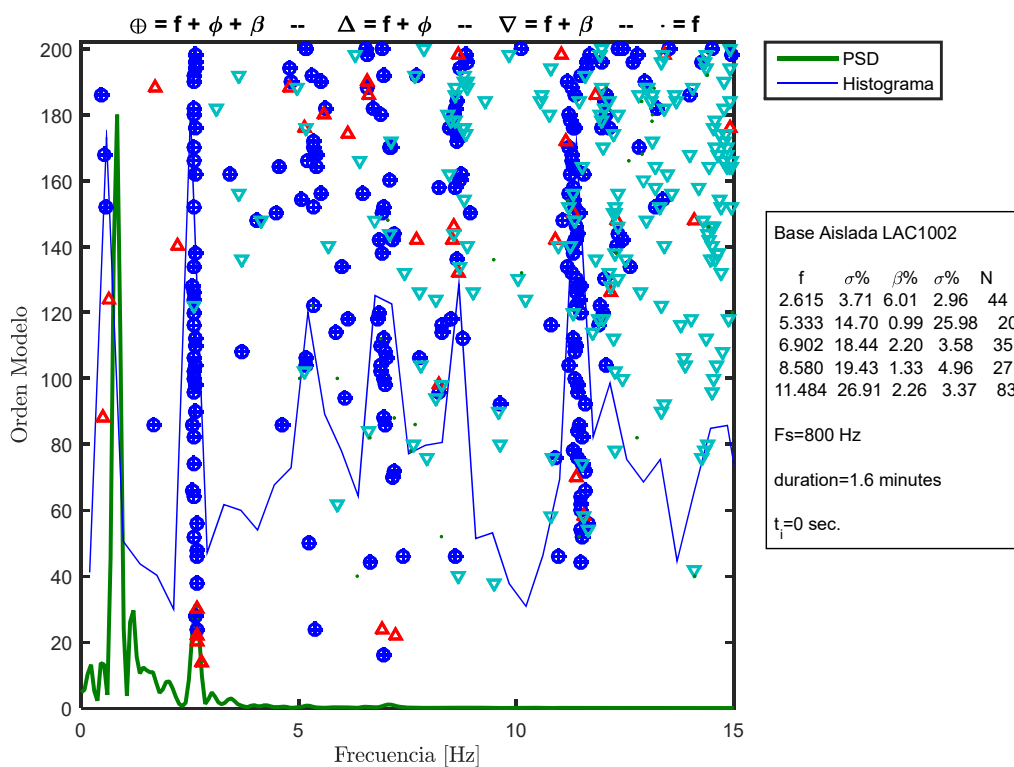


Figura 10.57: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCs, registro BI3-LAC100 2.

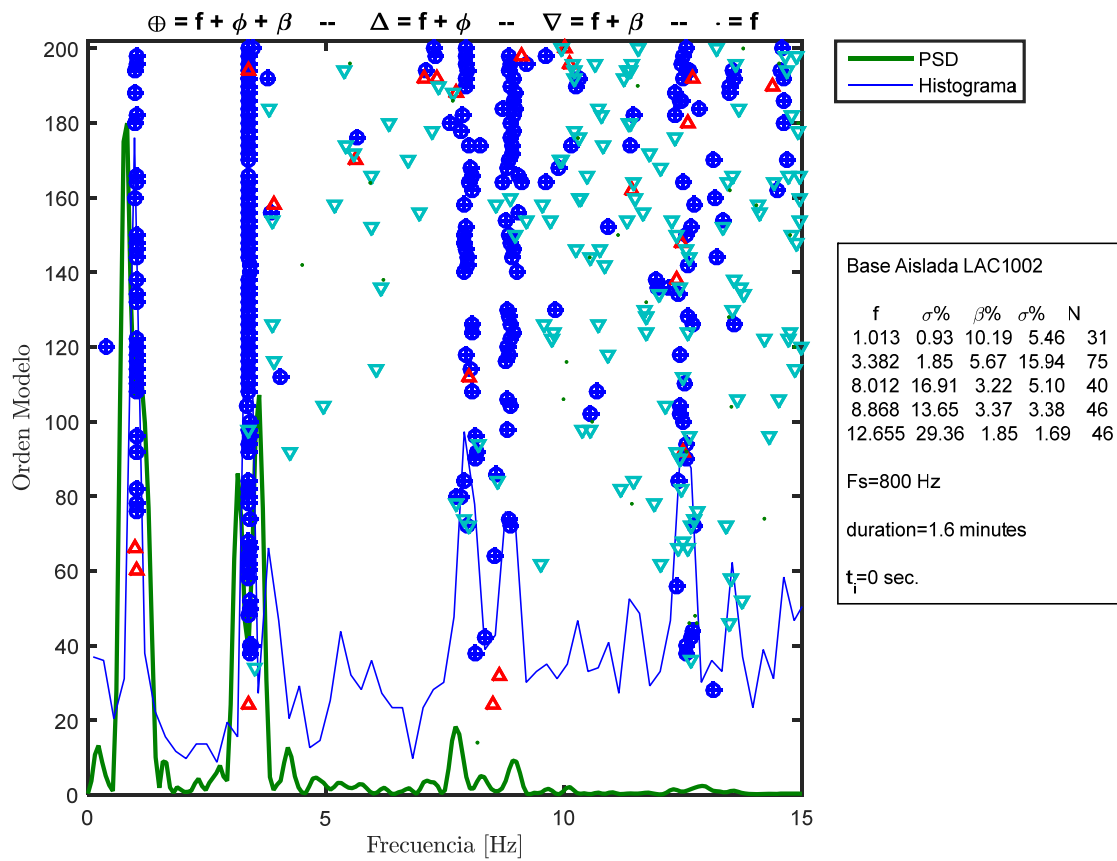


Figura 10.58: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.59 hasta la Figura 10.63.

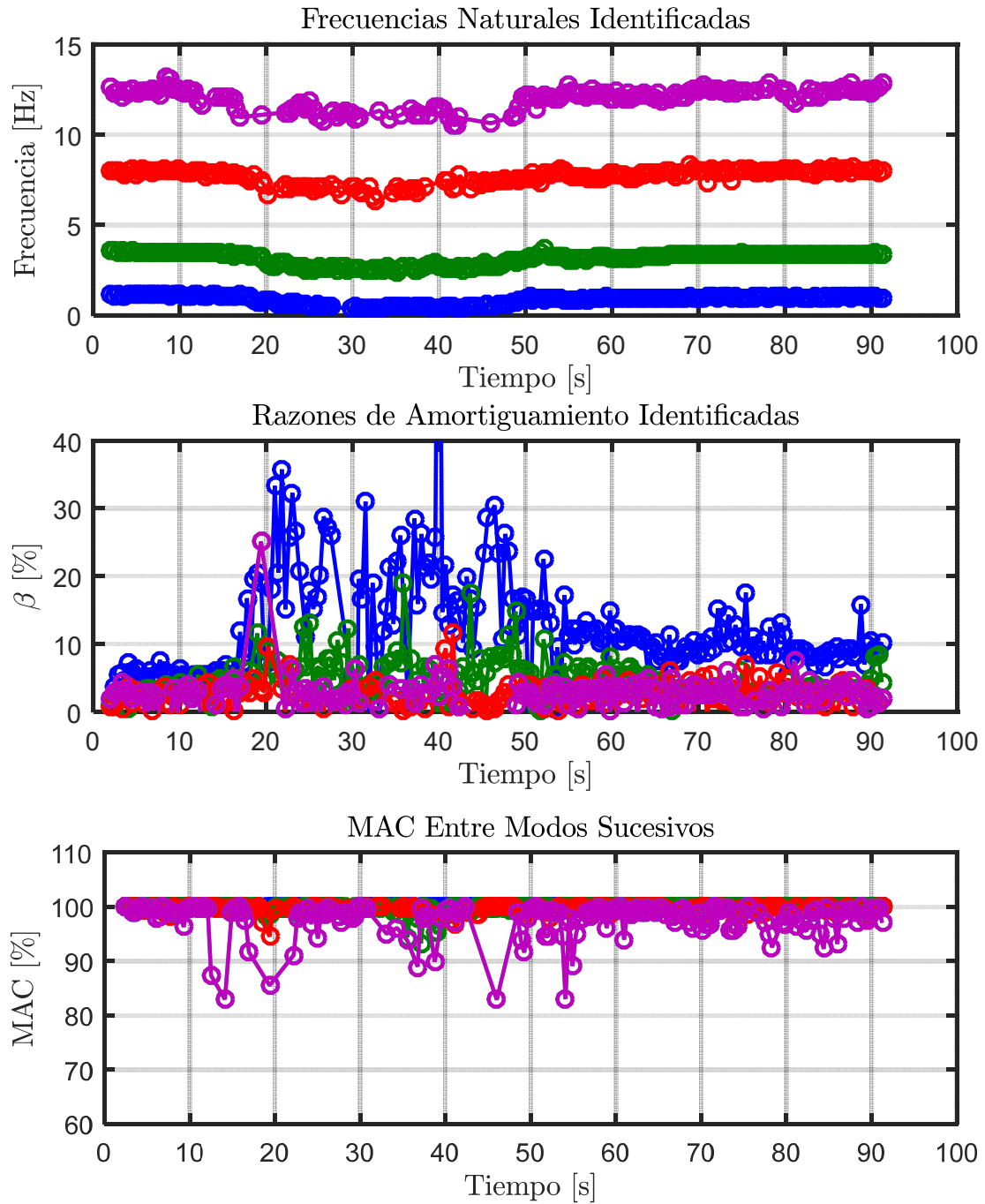


Figura 10.59: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.

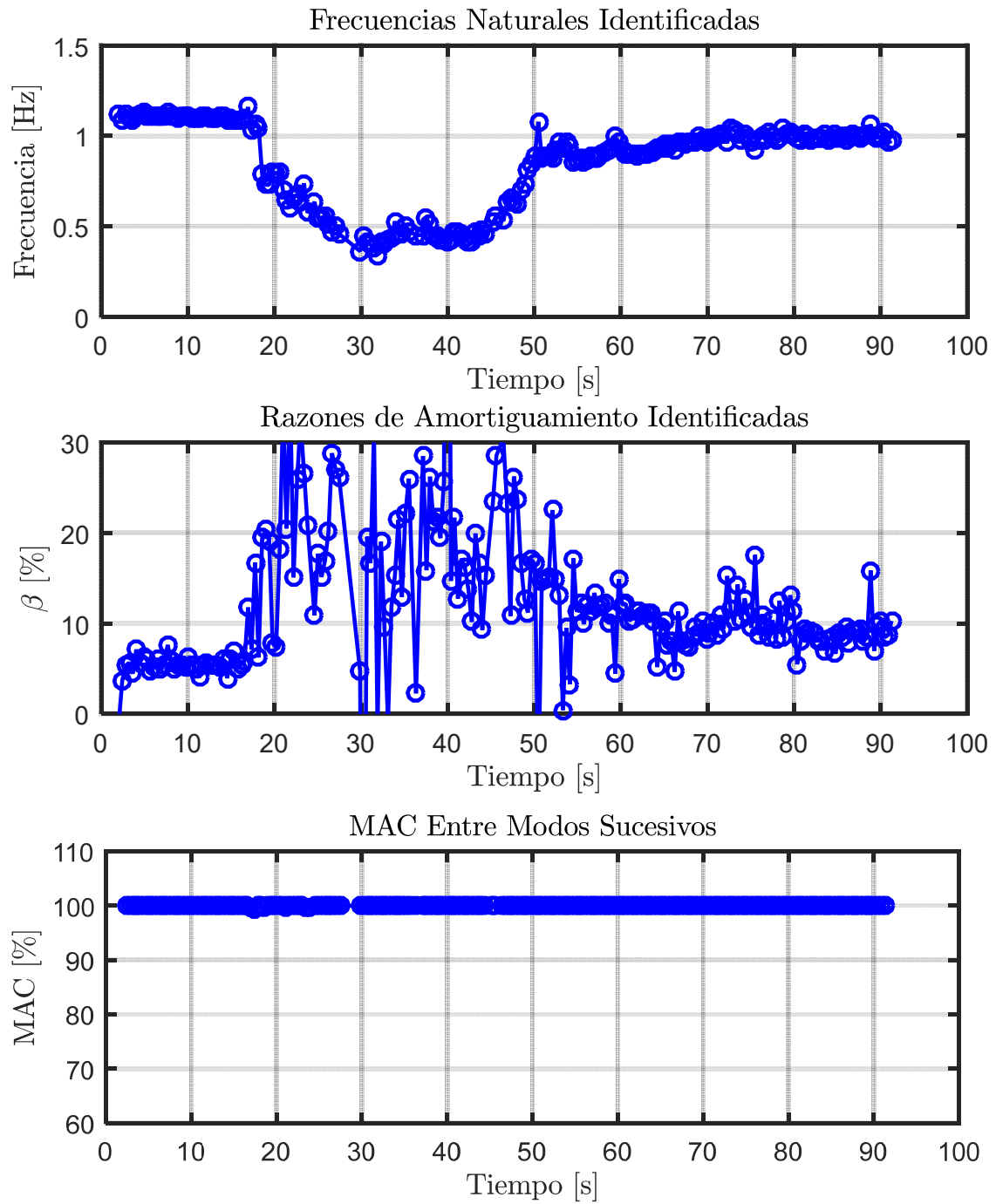


Figura 10.60: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.

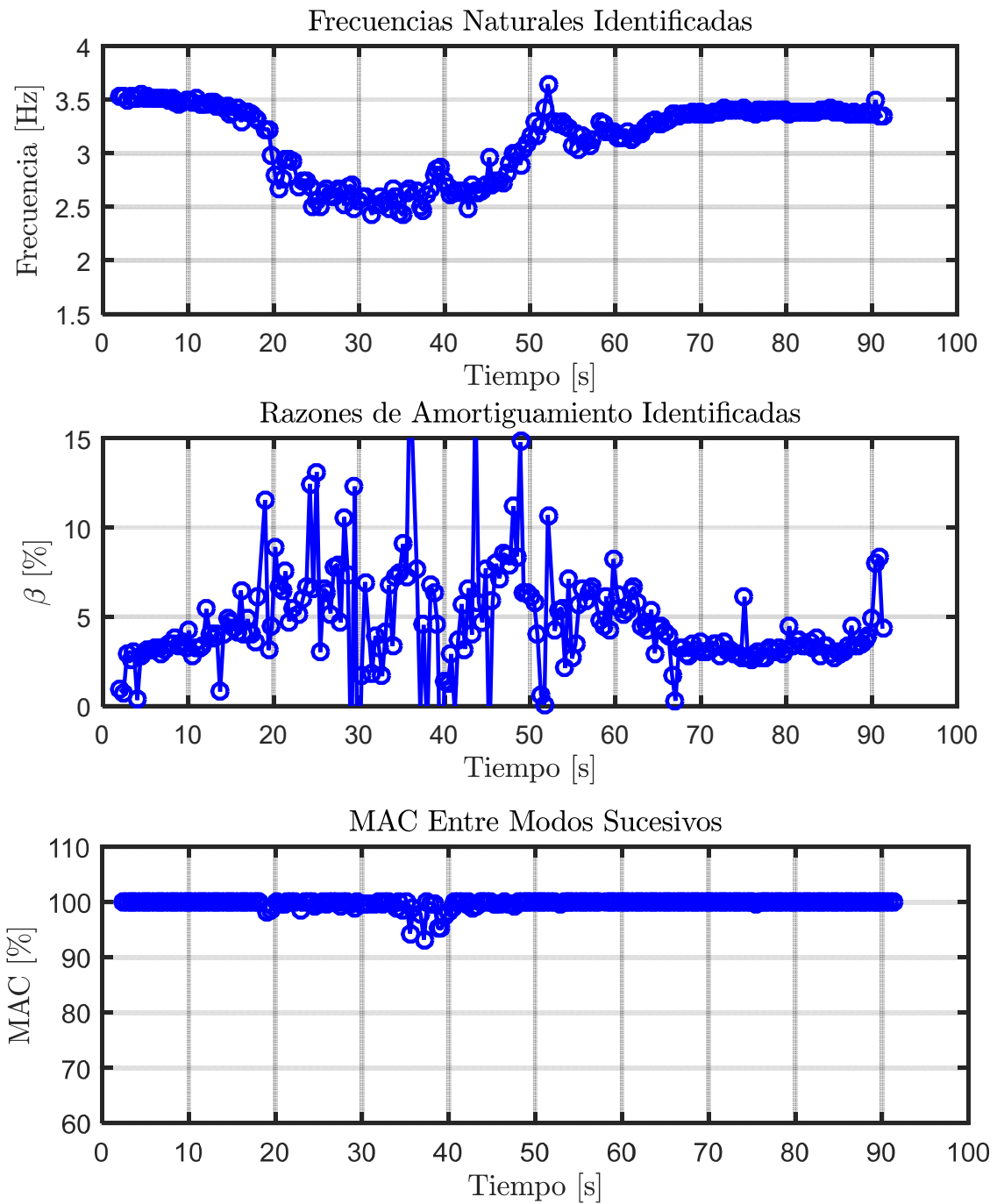


Figura 10.61: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.

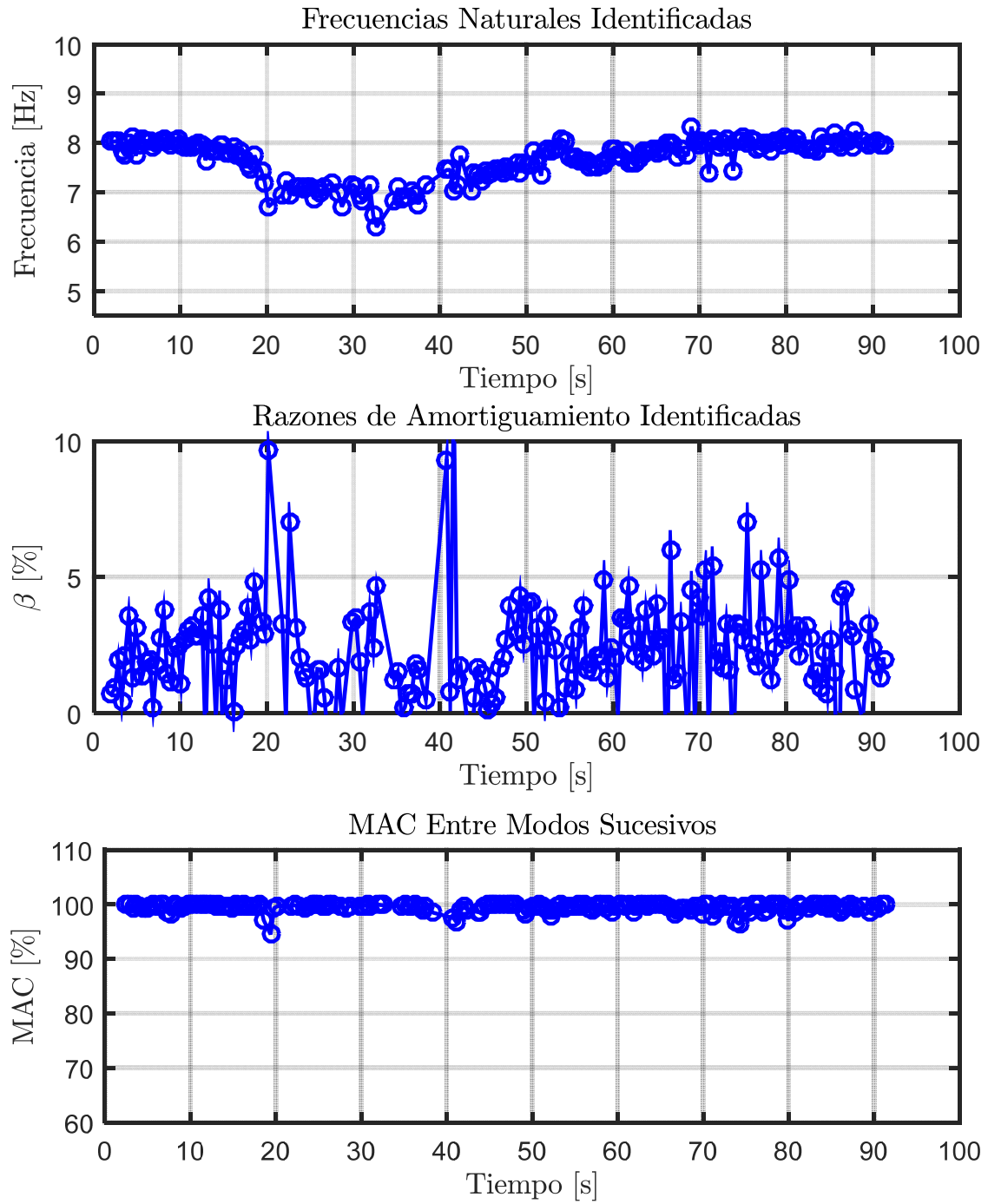


Figura 10.62: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.

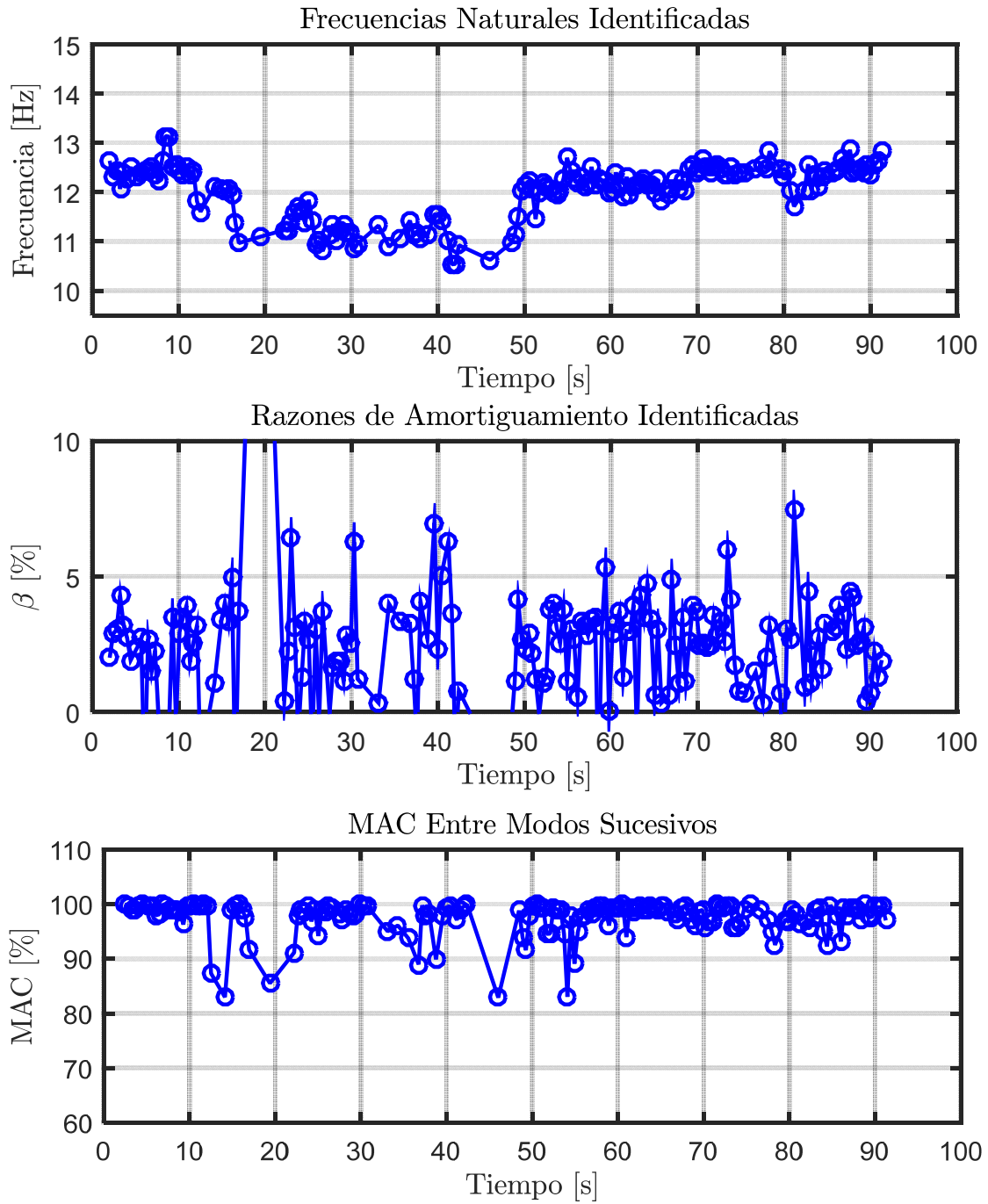


Figura 10.63: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC100 2.

#### 10.3.1.3.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

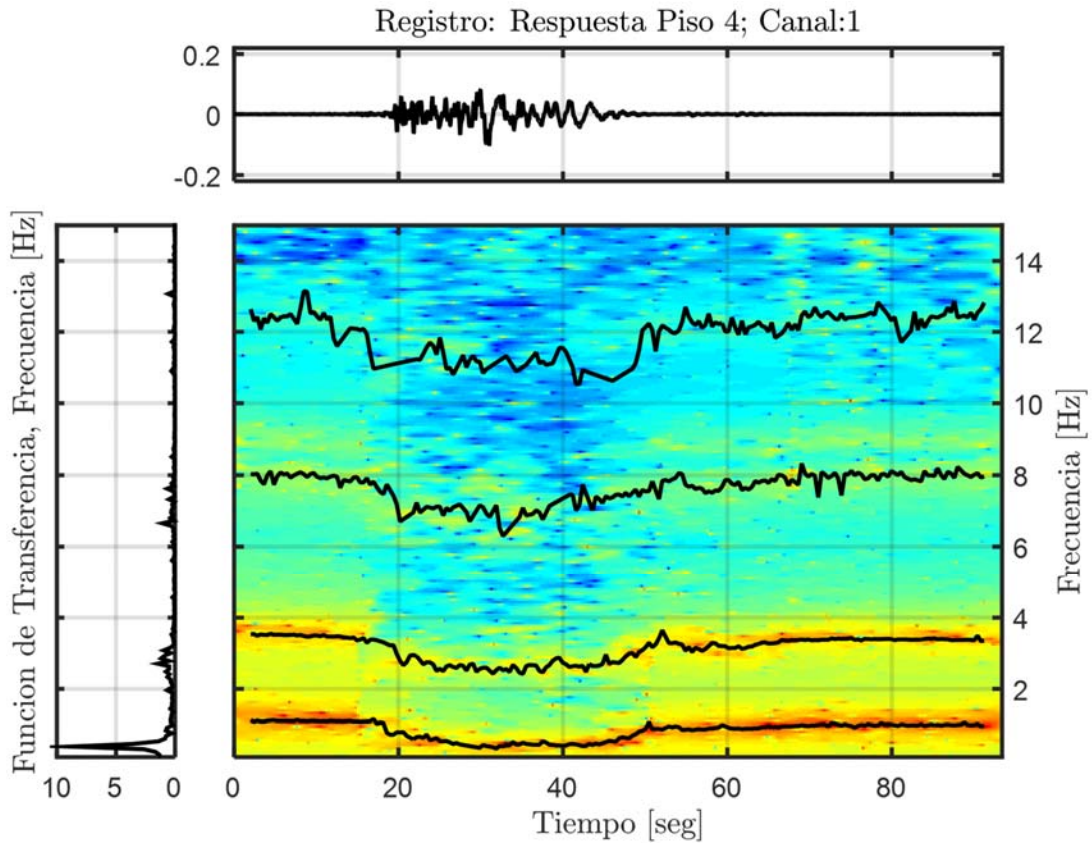


Figura 10.64: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.



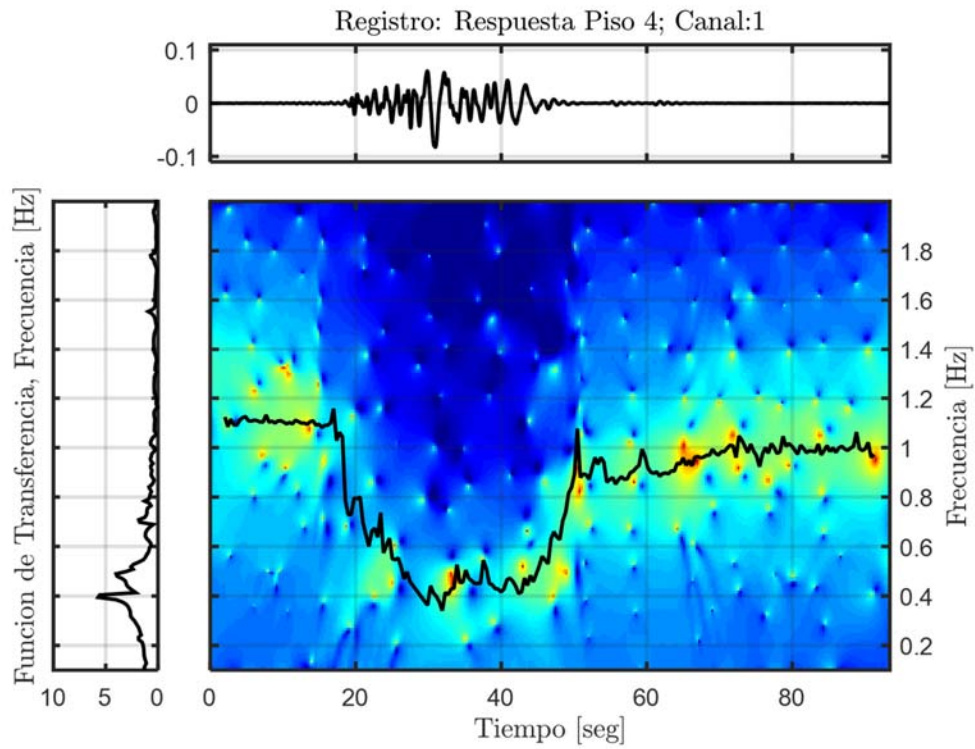


Figura 10.65: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.

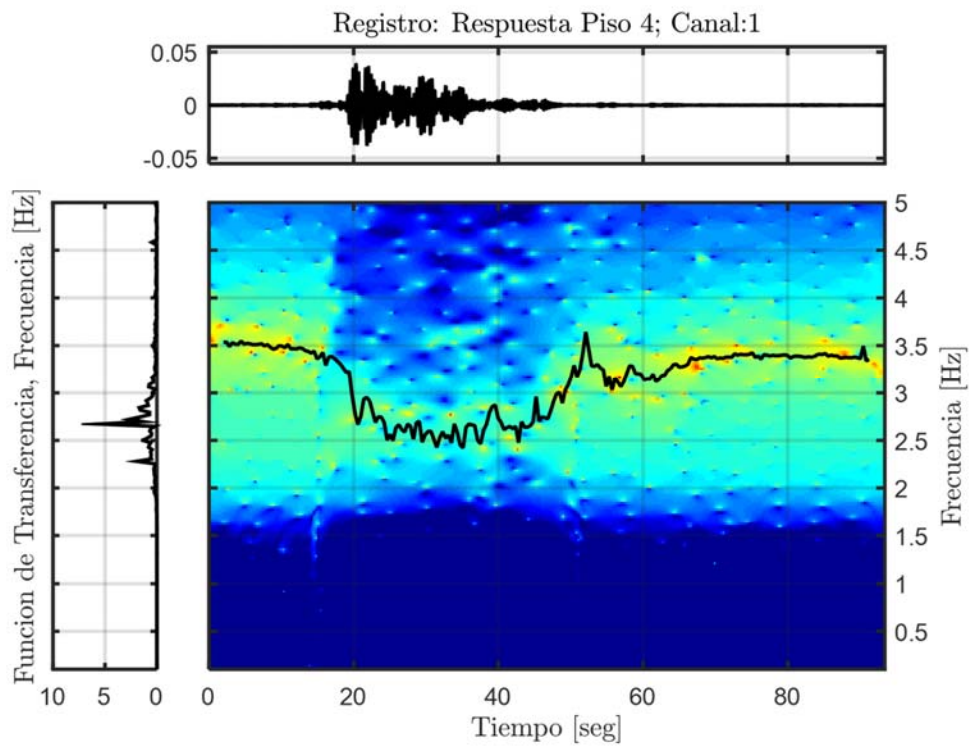


Figura 10.66: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.

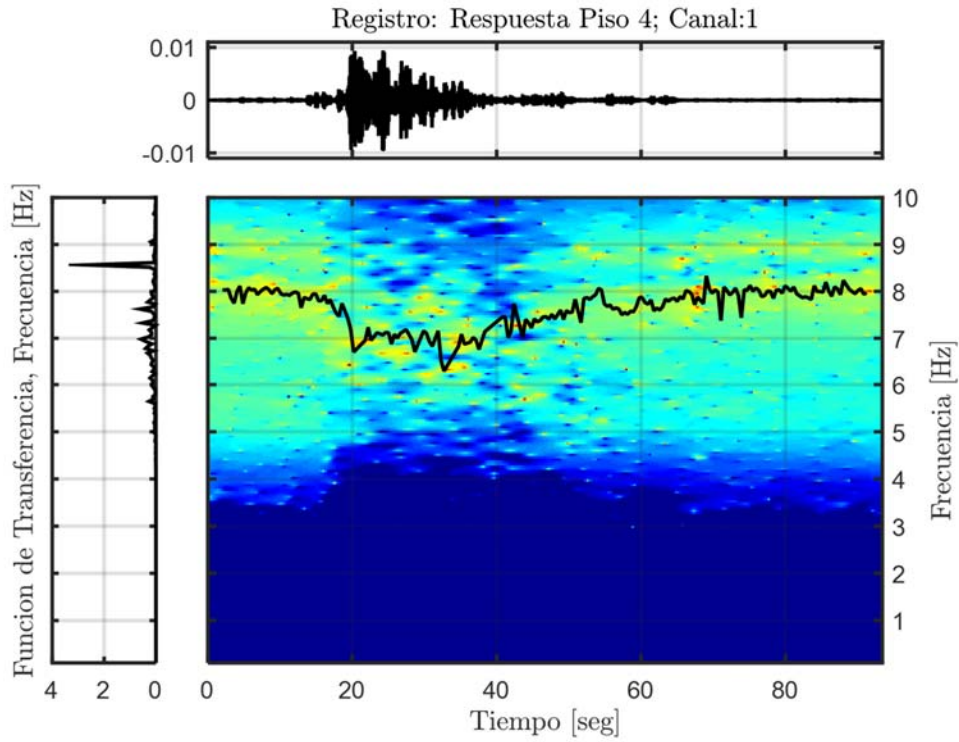


Figura 10.67: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.

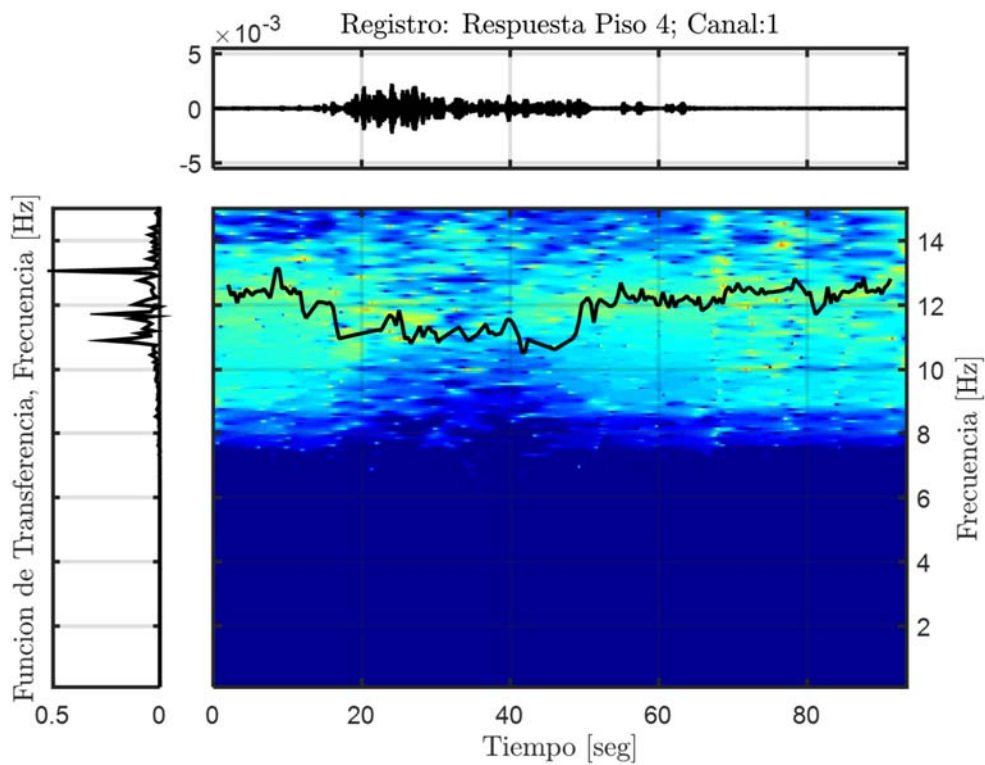


Figura 10.68: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI3-LAC100 2.

### 10.3.1.3.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.26: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI3-LAC1002.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Astroza}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Astroza}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Astroza}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	-	1,158	1,124	0,460	0,414	0,995	0,996
2	2,852	3,563	3,530	2,521	2,427	3,436	3,370
3	7,717	8,076	7,998	6,899	6,971	8,016	7,940
4	11,523	12,537	12,5	10,816	11,000	12,283	12,340

### 10.3.1.4 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI5-ICA50

#### 10.3.1.4.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada, la respuesta a nivel de la mesa de vibrar, es decir el canal 81, presente en la Figura 10.69. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54, 66), presentes en la Figura 10.70.

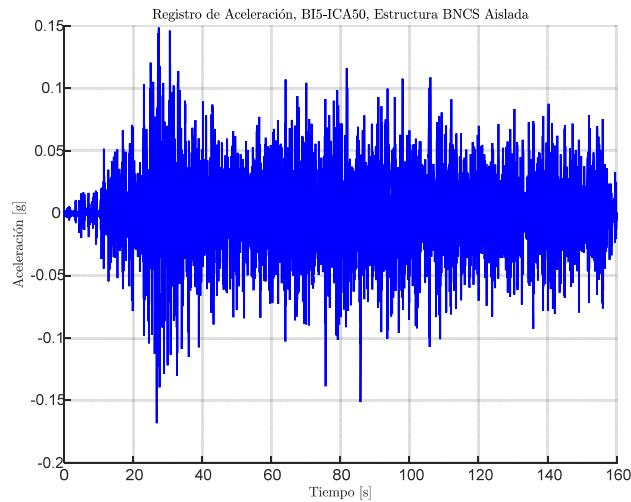


Figura 10.69: Input estructura aislada, Registro BI5-ICA50.

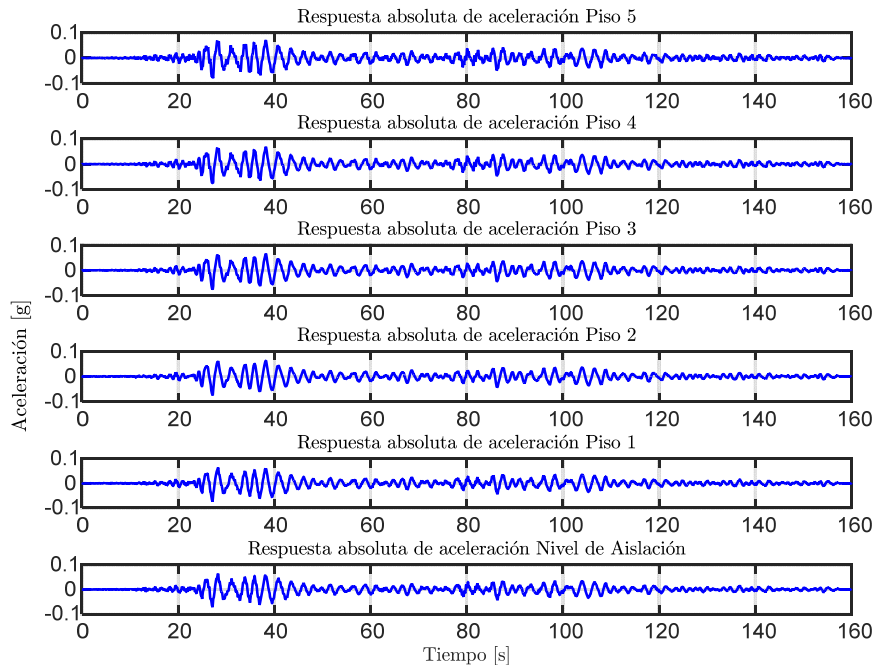


Figura 10.70: Output estructura aislada, Registro BI5-ICA100.

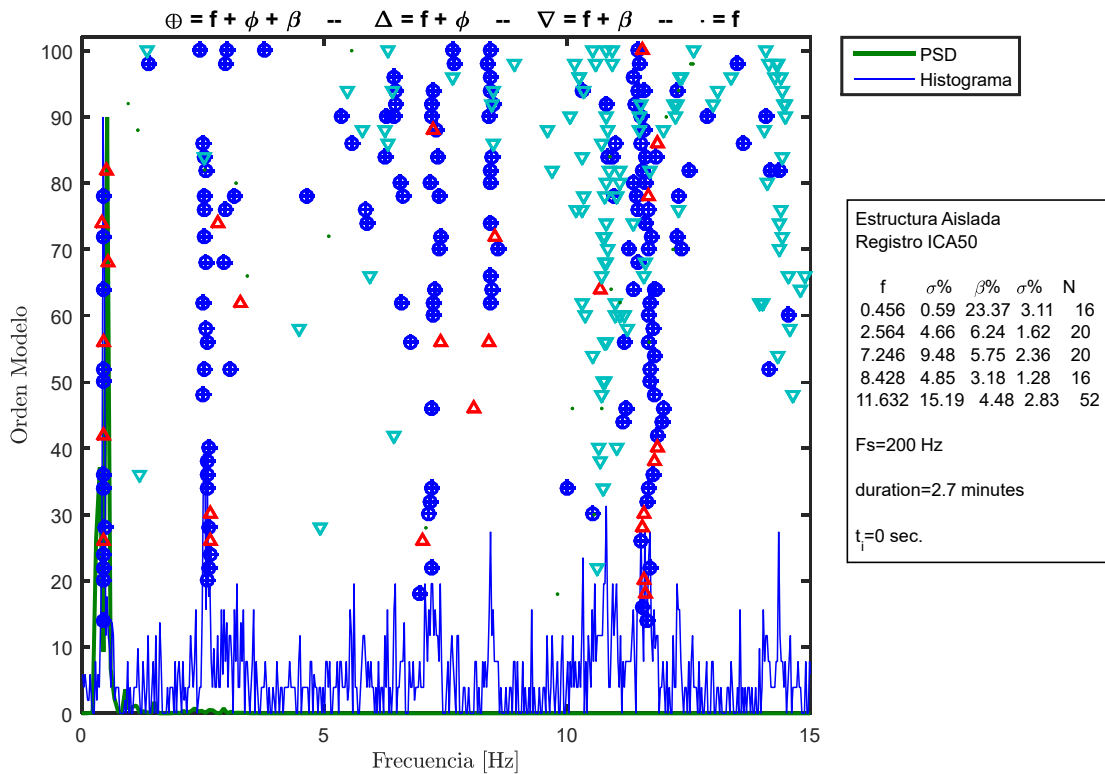
### 10.3.1.4.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.27.

**Tabla 10.27: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro B15-ICA50.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50



**Figura 10.71: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro B15-ICA50.**

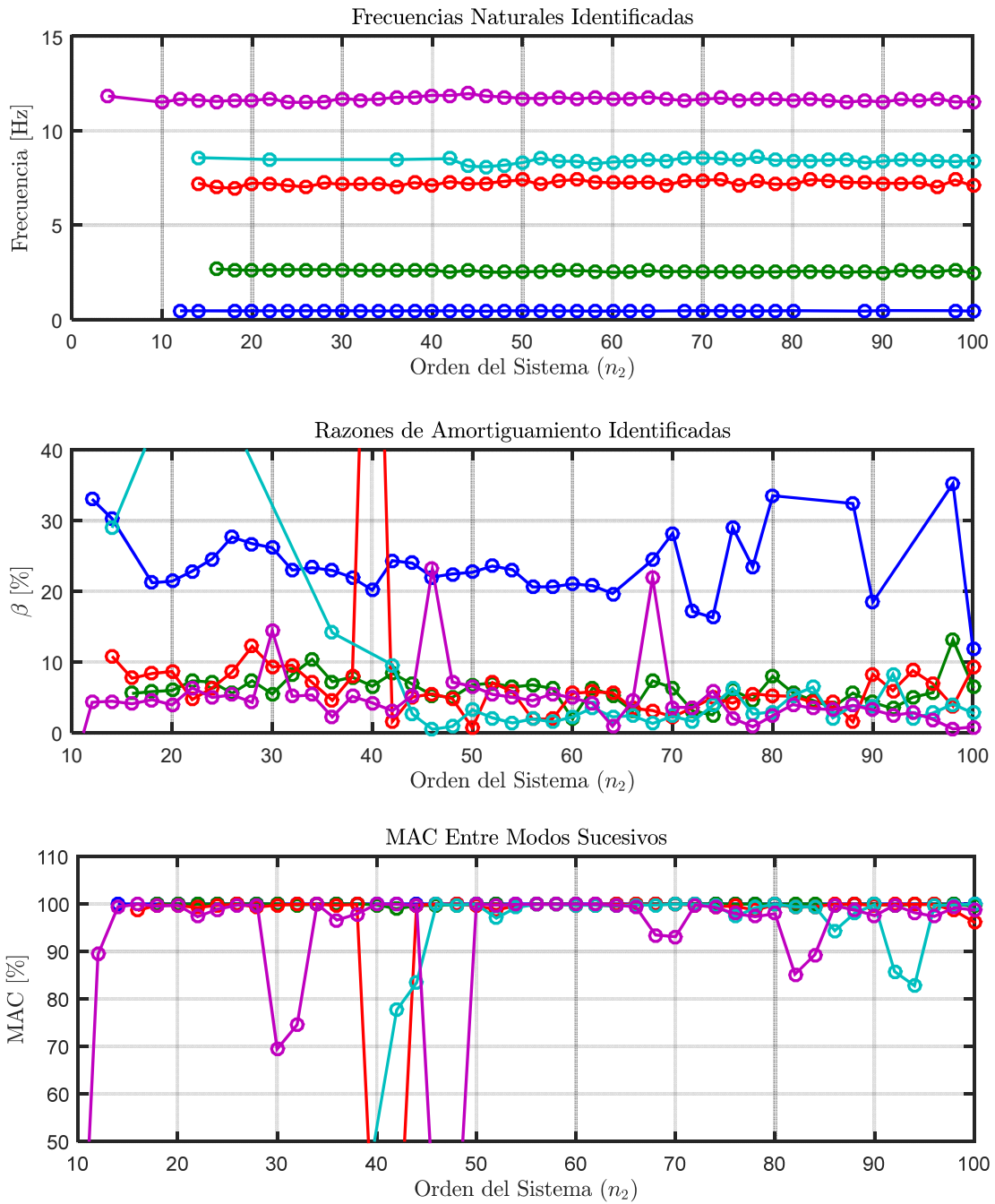


Figura 10.72: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.

### 10.3.1.4.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.28.

**Tabla 10.28: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	80
Smin	2585
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,30
Cantidad de ventanas	361
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,25
Ventana 2	59
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	25
Ventana 3	279
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	140
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	15
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.73, Figura 10.74 y Figura 10.75 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

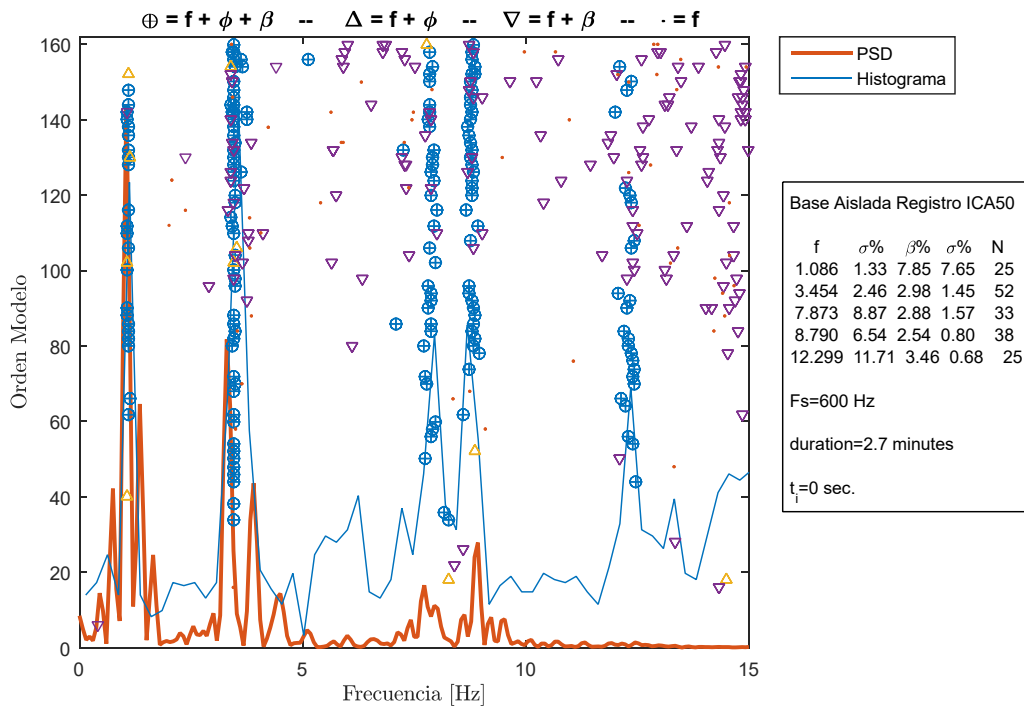


Figura 10.73: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.

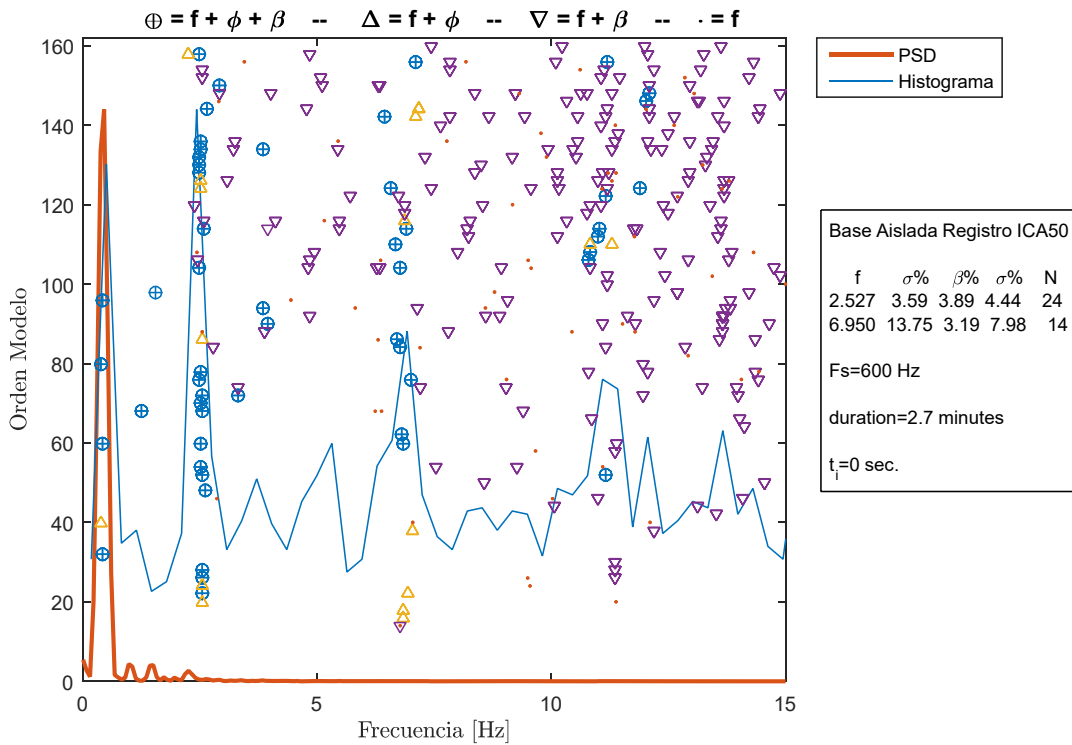


Figura 10.74: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.



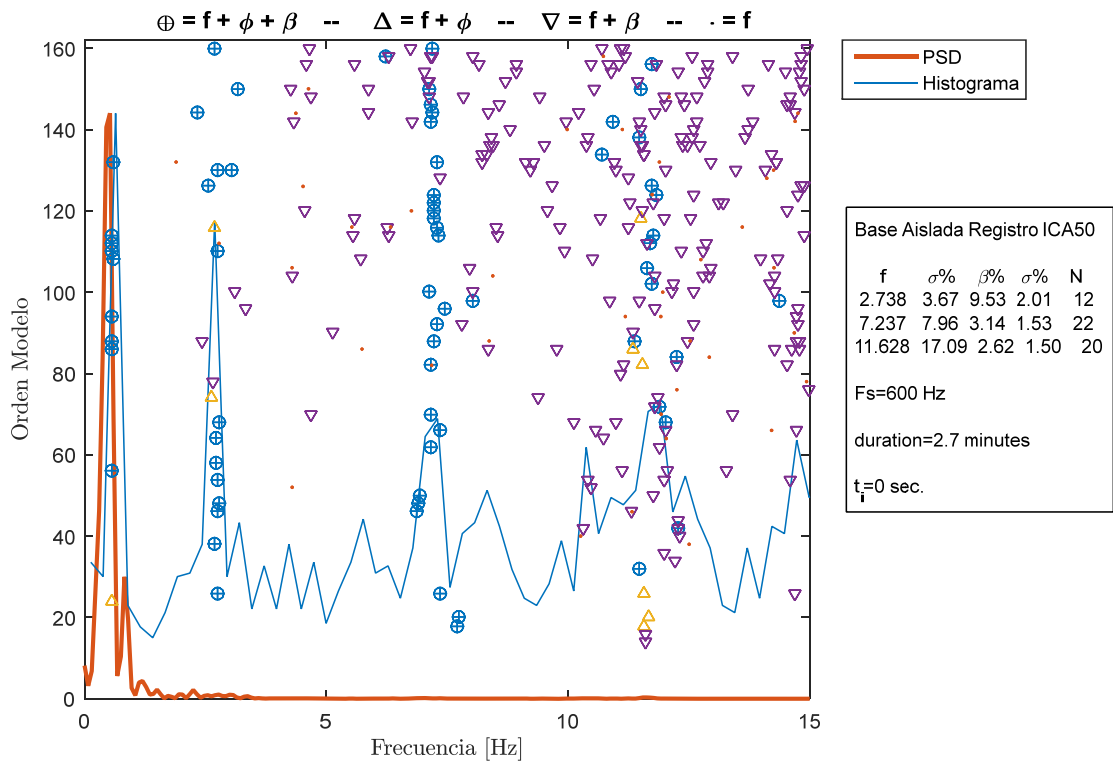


Figura 10.75: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.76 hasta la Figura 10.80.

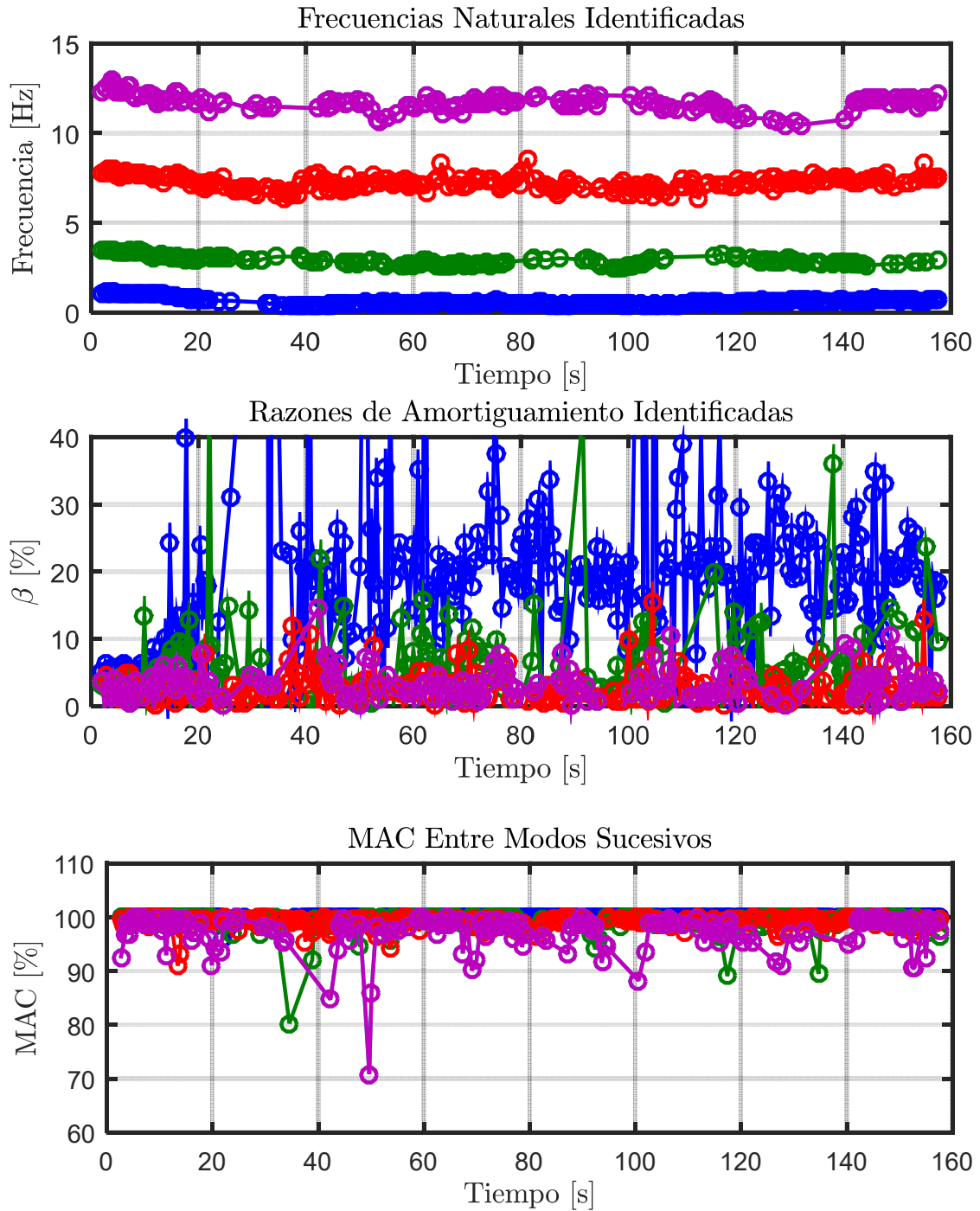


Figura 10.76: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro B15-ICA50.

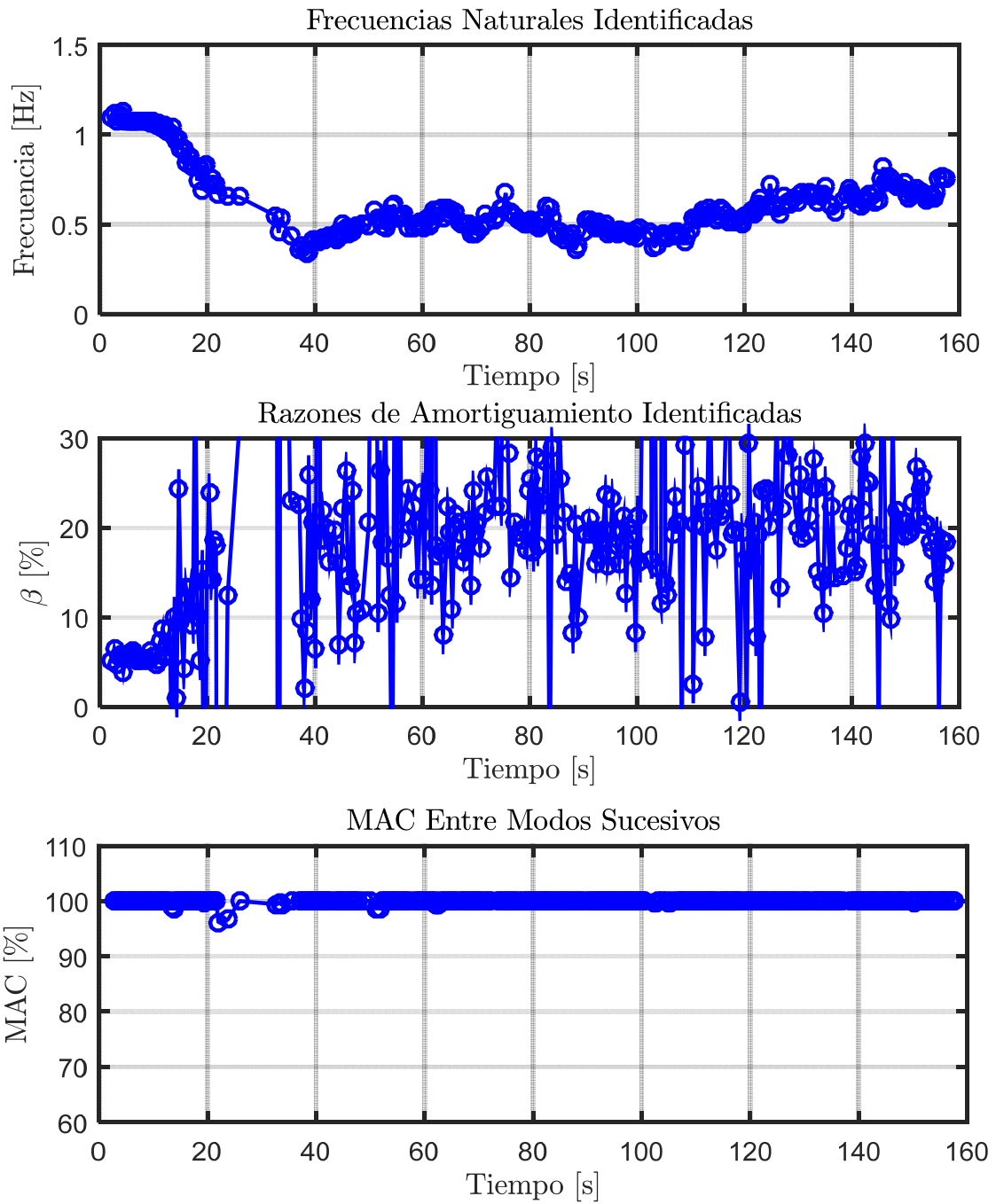


Figura 10.77: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro B15-ICA50.

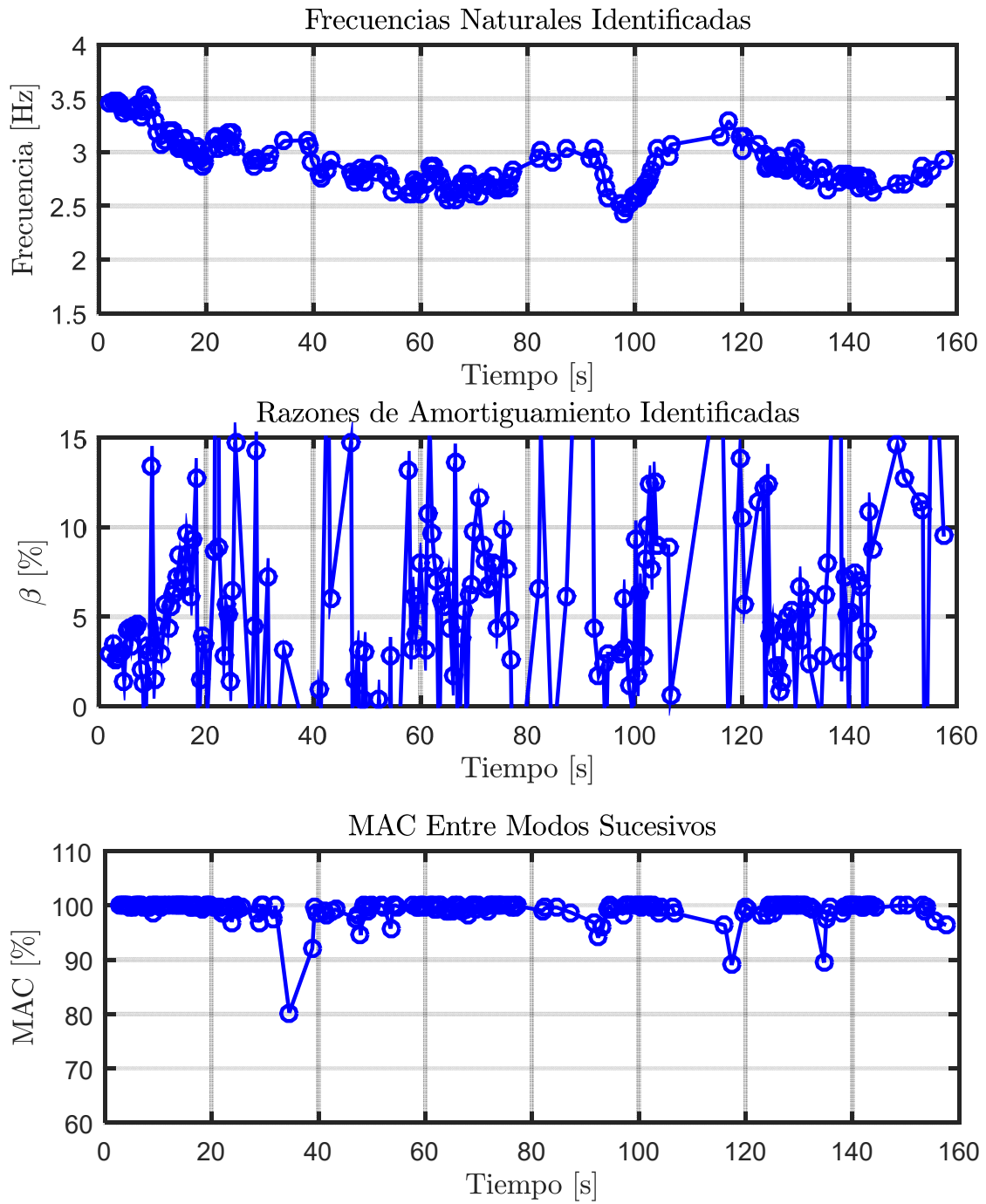


Figura 10.78: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.

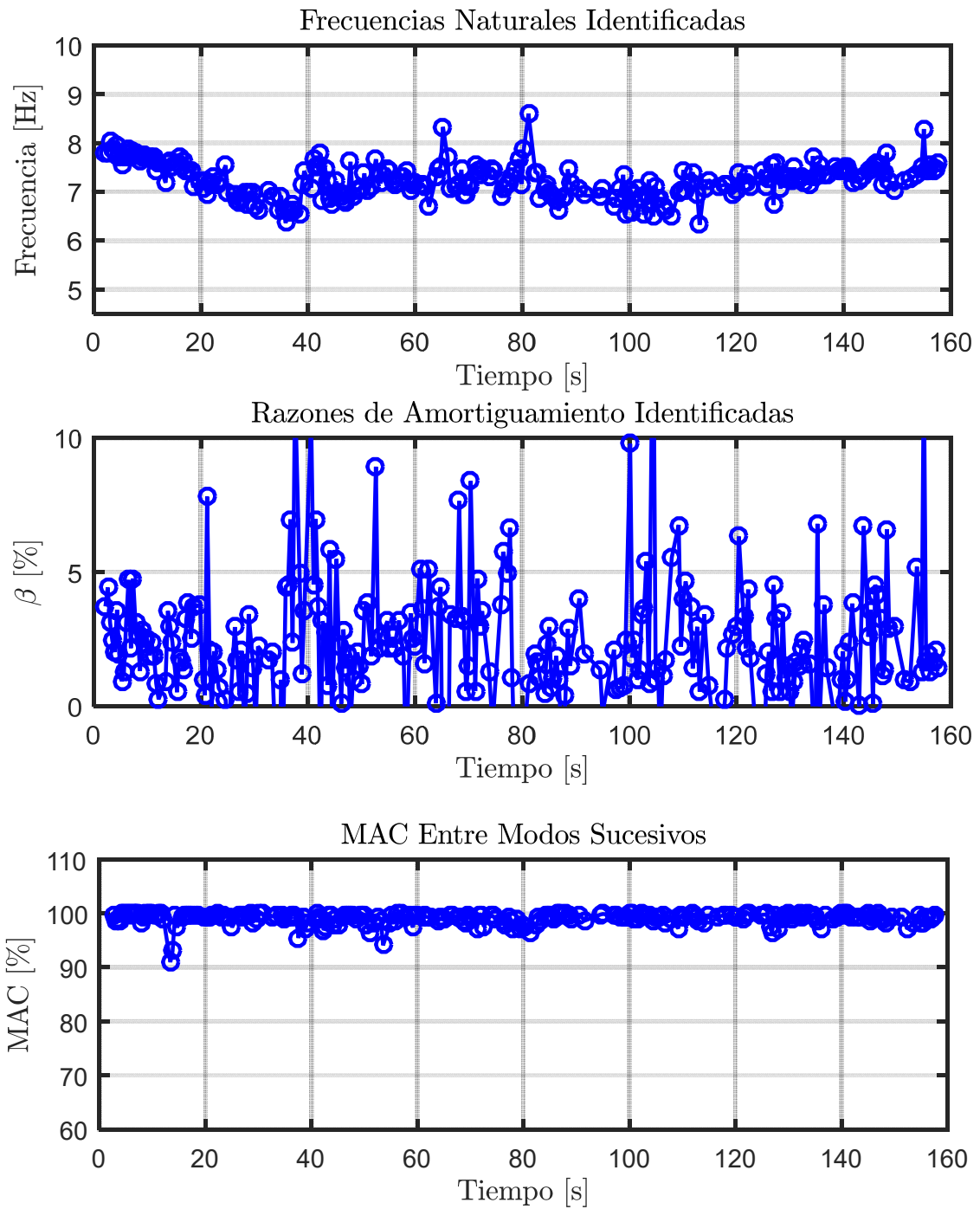


Figura 10.79: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro B15-ICA50.

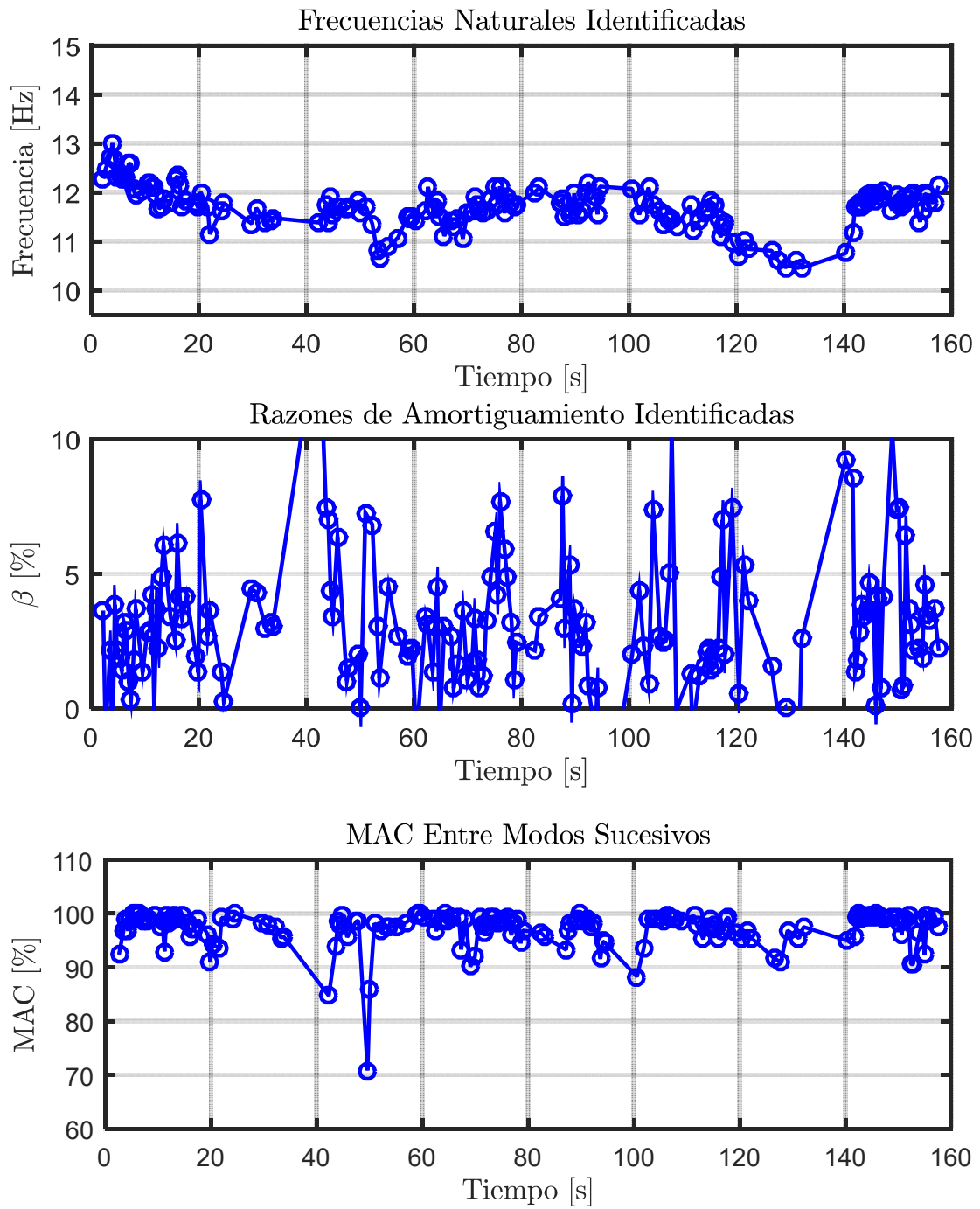


Figura 10.80: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.

#### 10.3.1.4.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

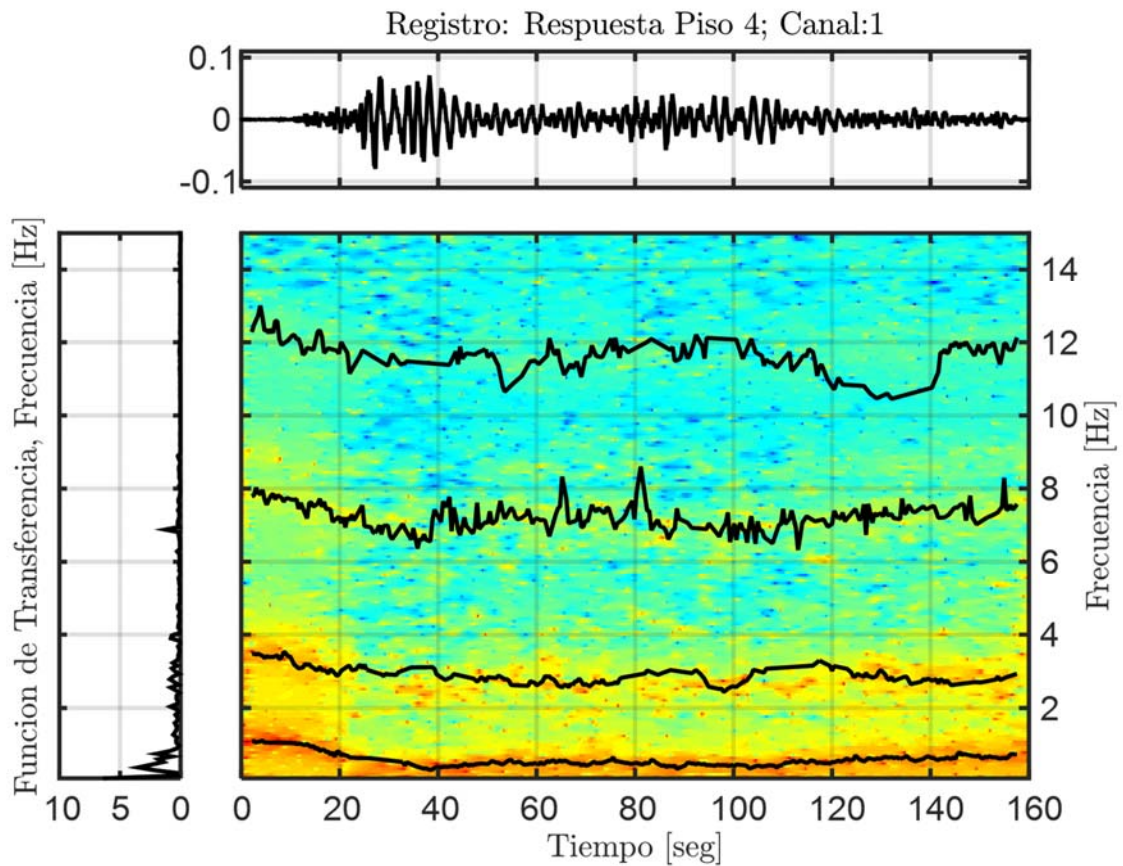


Figura 10.81: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.

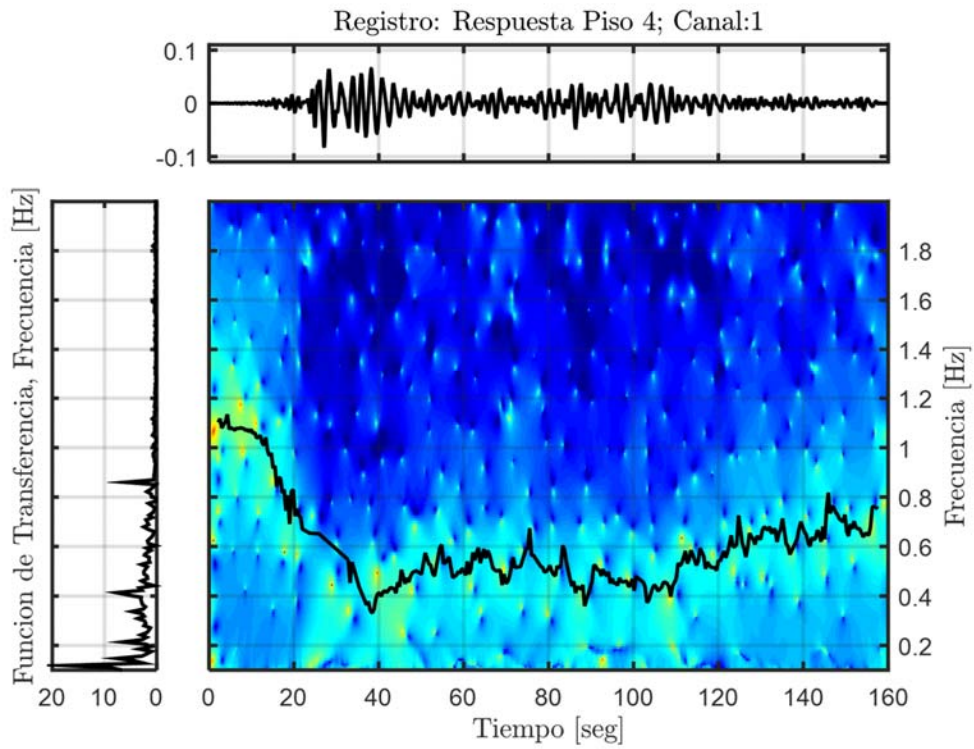


Figura 10.82: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.

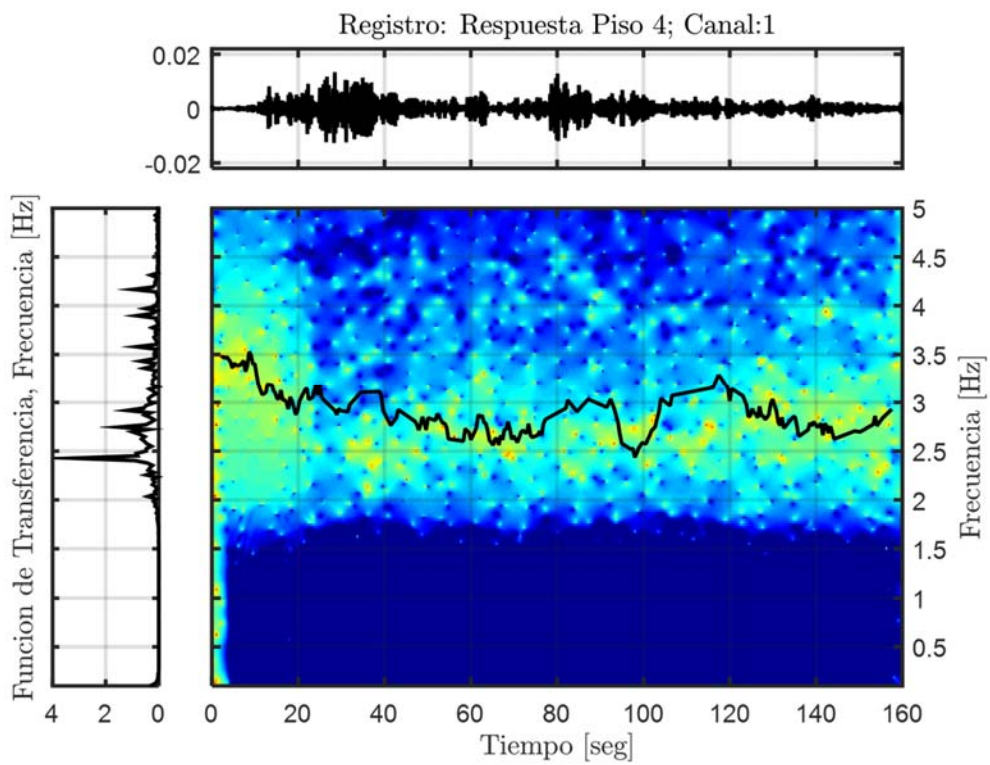


Figura 10.83: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.



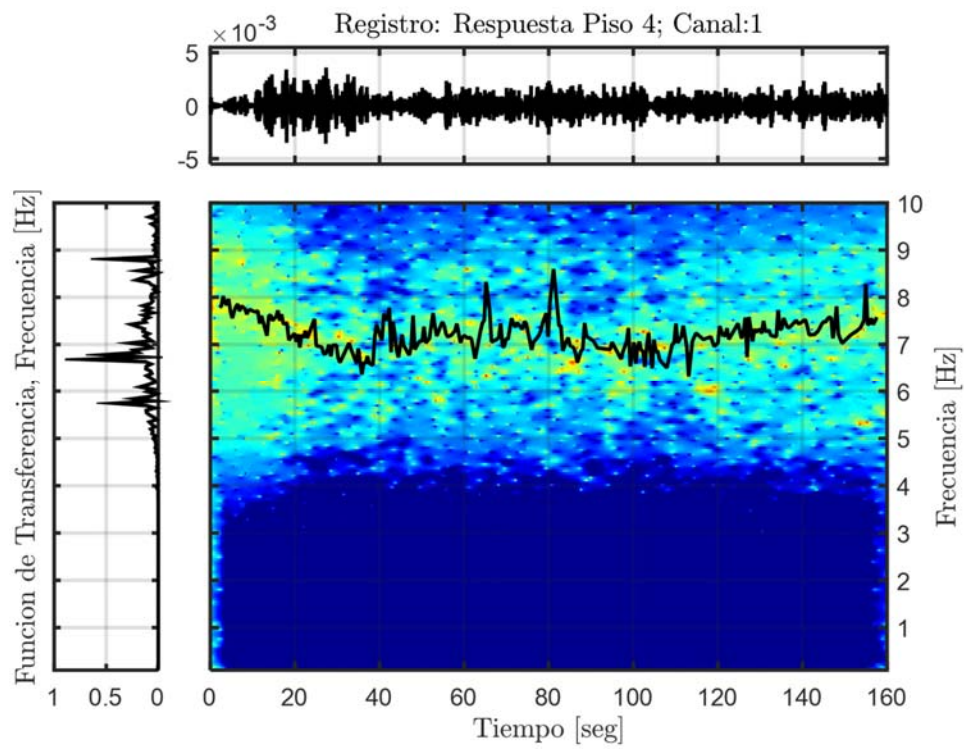


Figura 10.84: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.

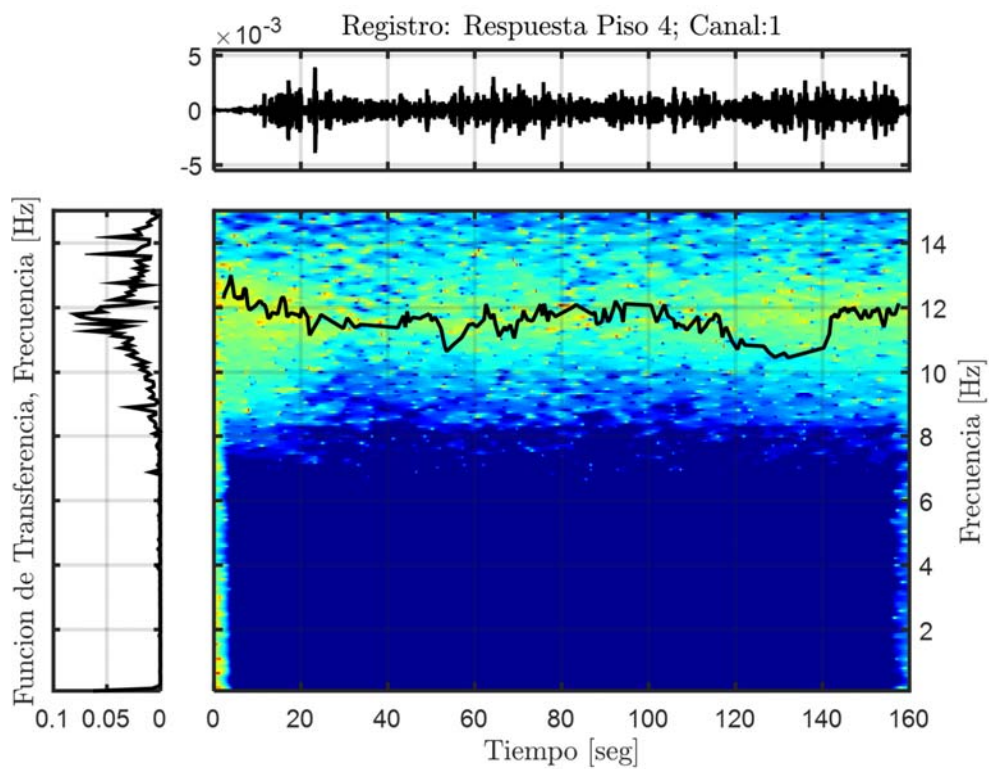


Figura 10.85: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI5-ICA50.

### 10.3.1.4.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.29: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI5-ICA50.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Astroza}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Astroza}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Astroza}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,456	1,099	1,079	0,441	0,377	0,980	0,759
2	2,564	3,496	3,465	2,429	2,562	3,353	2,931
3	7,246	8,090	7,815	6,559	6,635	7,792	7,580
4	11,632	12,358	12,28	11,105	10,650	12,293	11,950

### 10.3.1.5 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI6-ICA100

#### 10.3.1.5.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada, la respuesta a nivel de la mesa de vibrar, es decir el canal 81, presente en la Figura 10.86. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54, 66), presentes en la Figura 10.87.

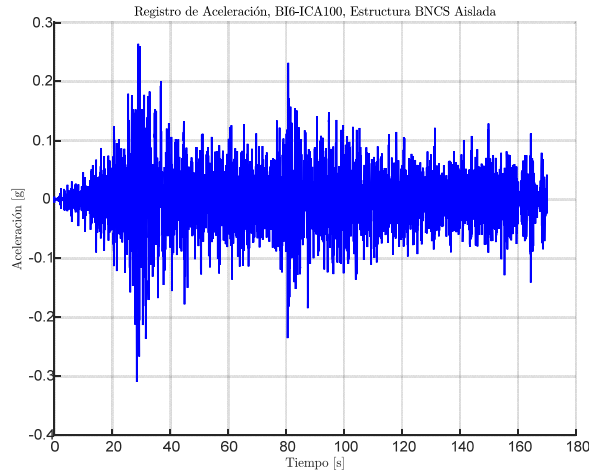


Figura 10.86: Input estructura aislada, Registro BI6-ICA100.

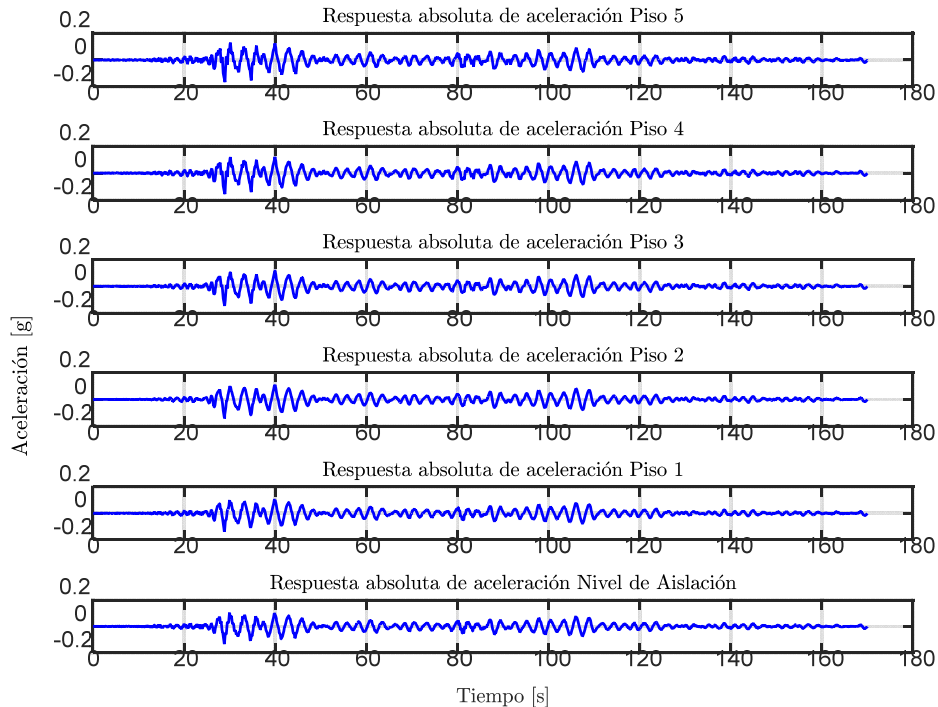


Figura 10.87: Output estructura aislada, Registro BI6-ICA100.

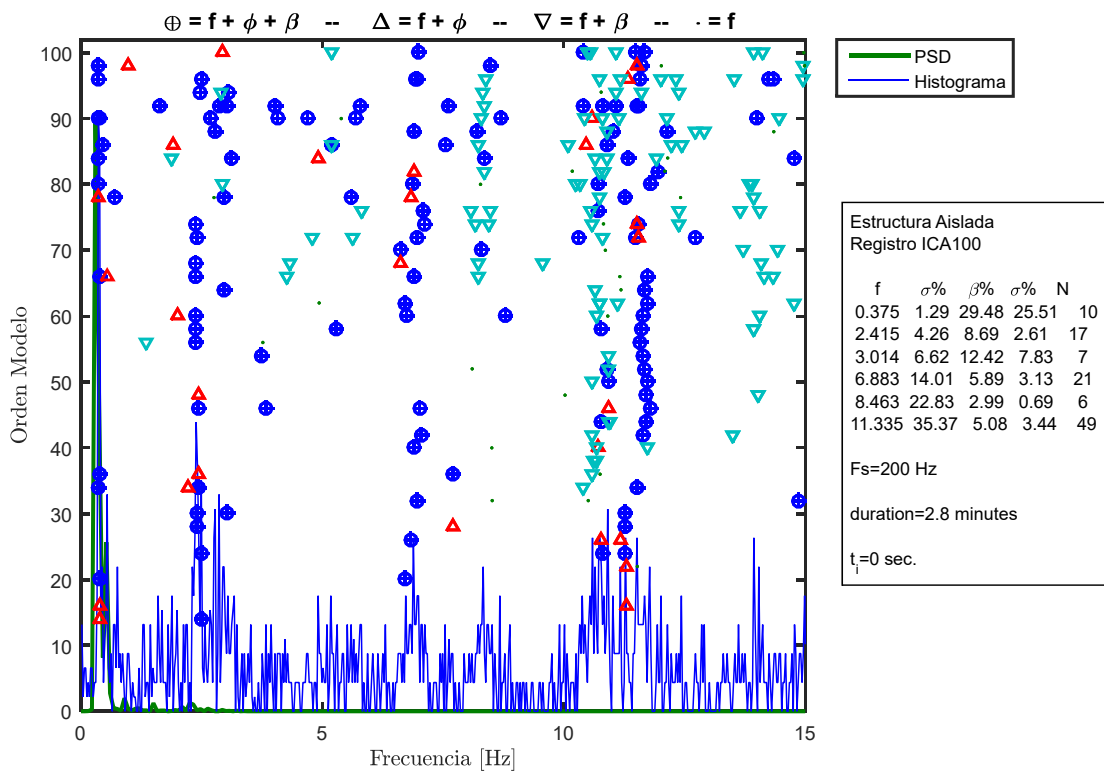
### 10.3.1.5.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.30.

**Tabla 10.30: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro B16-ICA100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50



**Figura 10.88: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro B16-ICA100.**

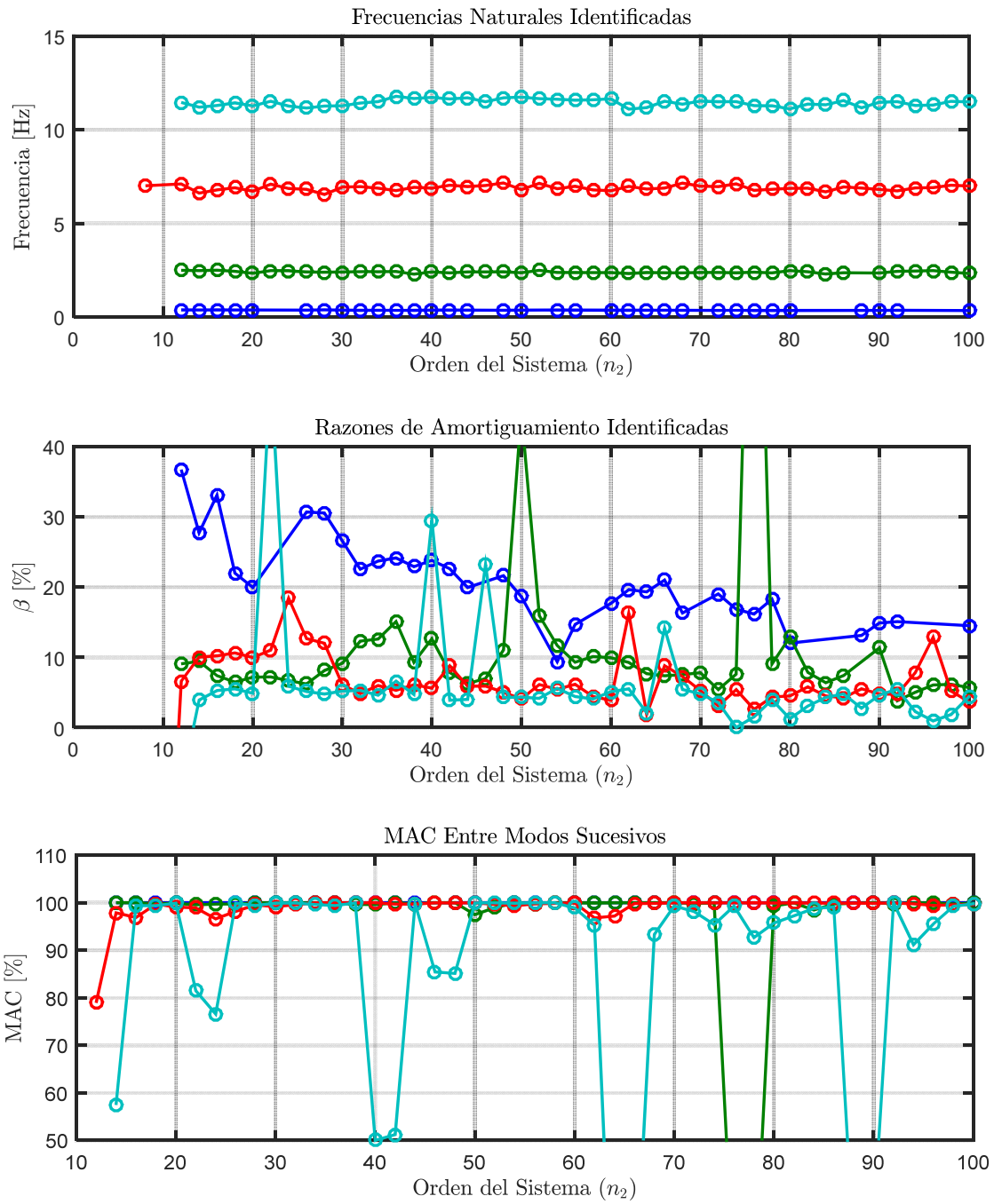


Figura 10.89: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

### 10.3.1.5.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.31.

**Tabla 10.31: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	90
Smin	2905
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,84
Cantidad de ventanas	341
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,5
Ventana 2	52
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	30
Ventana 3	248
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	140
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resamplio [Hz]	600

En la Figura 10.90, Figura 10.91 y Figura 10.92 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

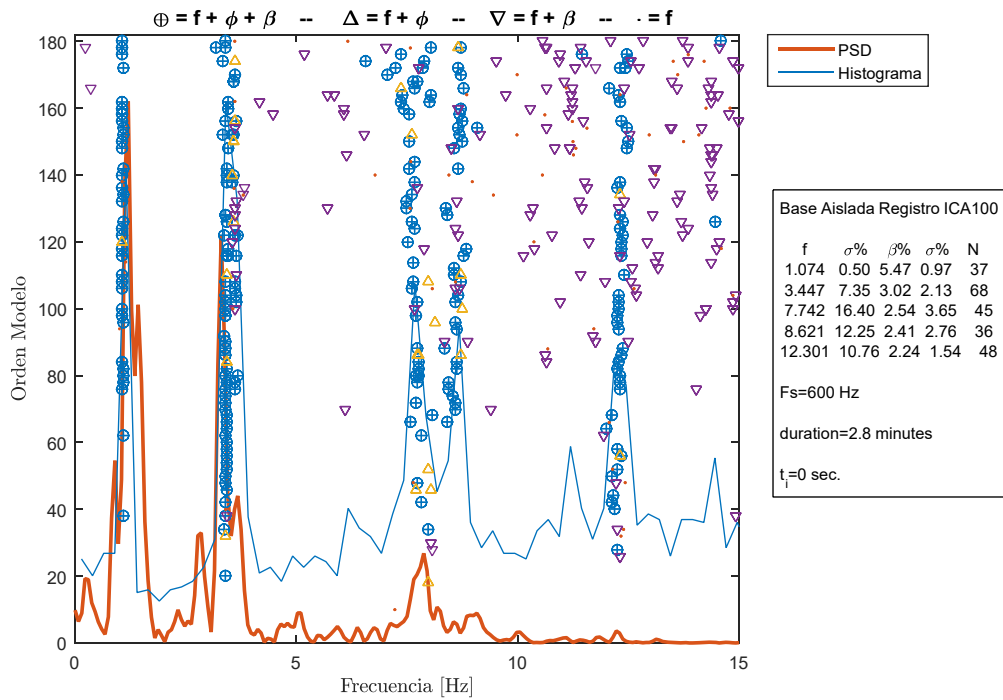


Figura 10.90: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

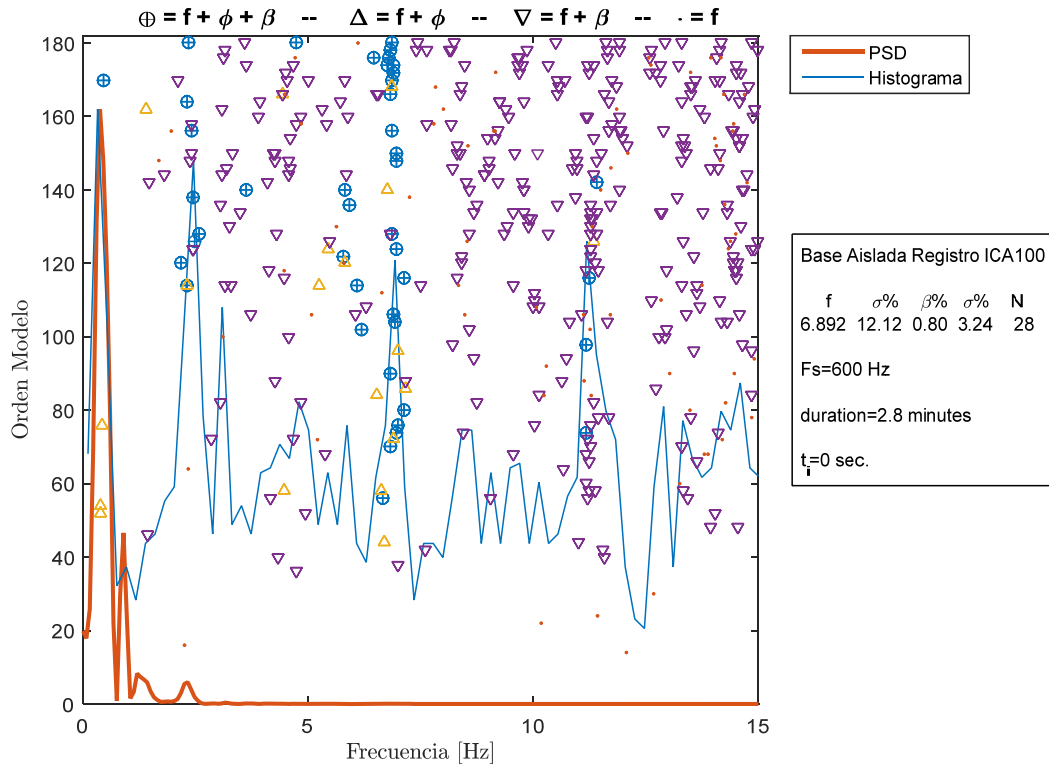


Figura 10.91: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

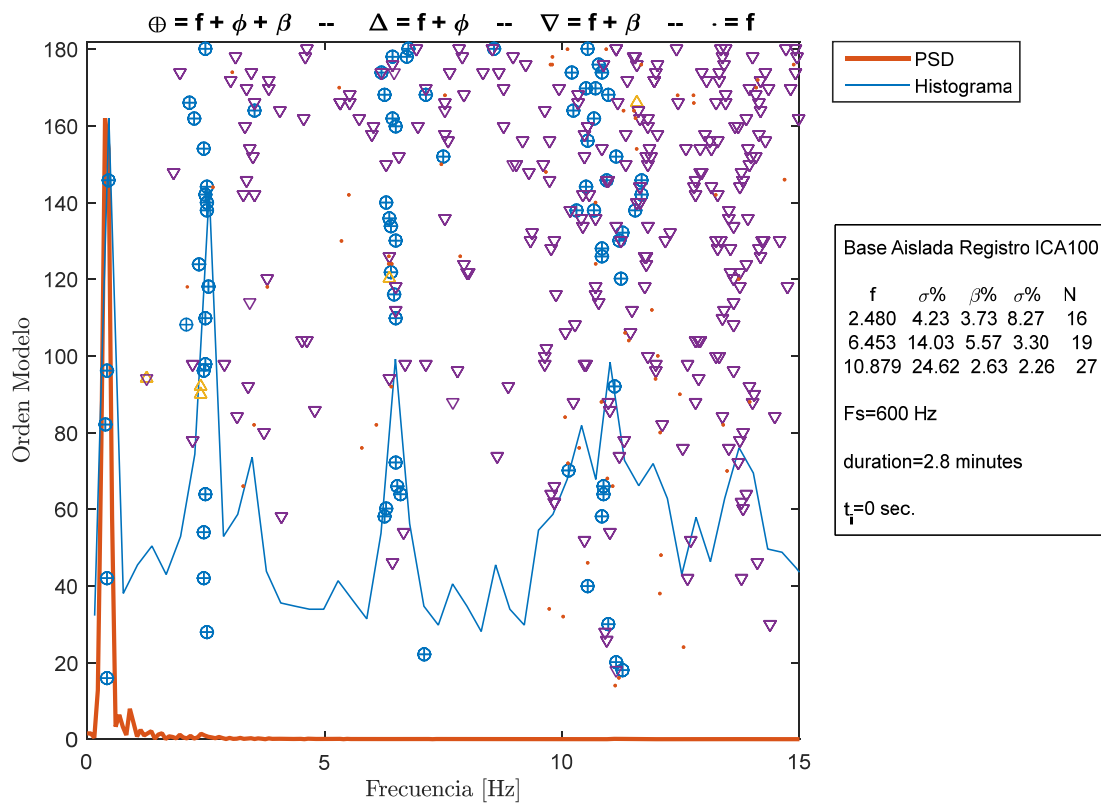


Figura 10.92: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.



Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.93 hasta la Figura 10.97.

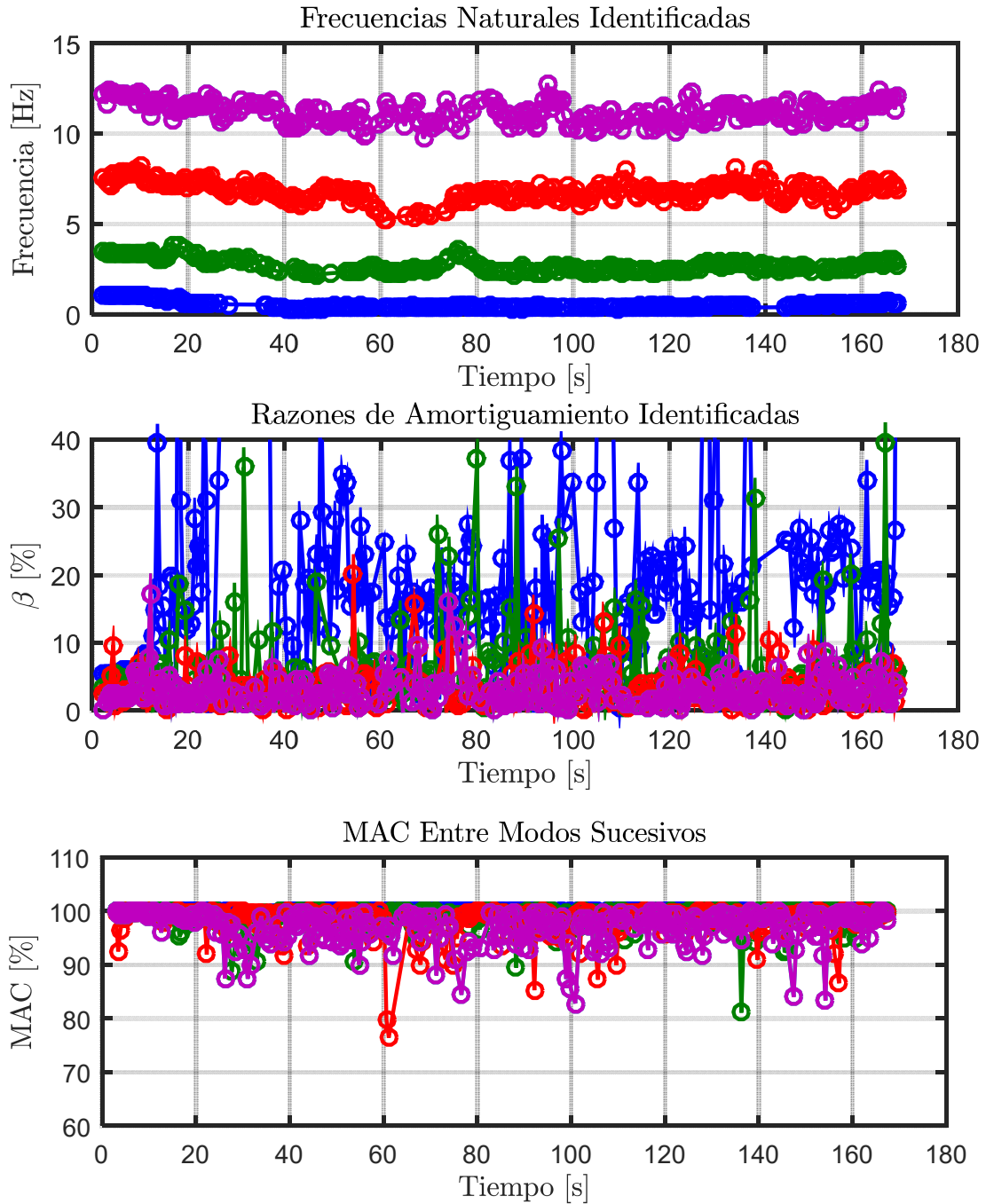


Figura 10.93: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

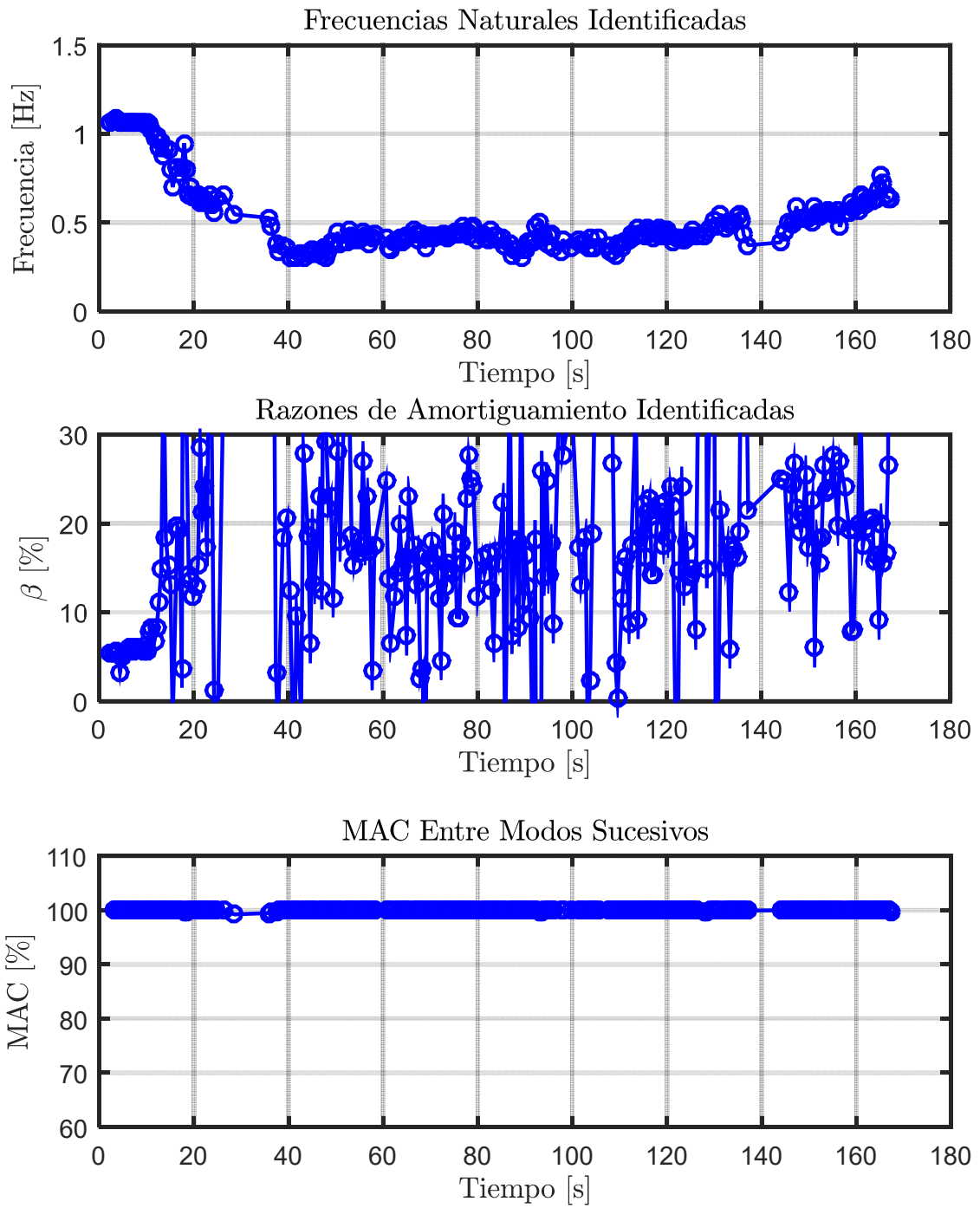


Figura 10.94: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

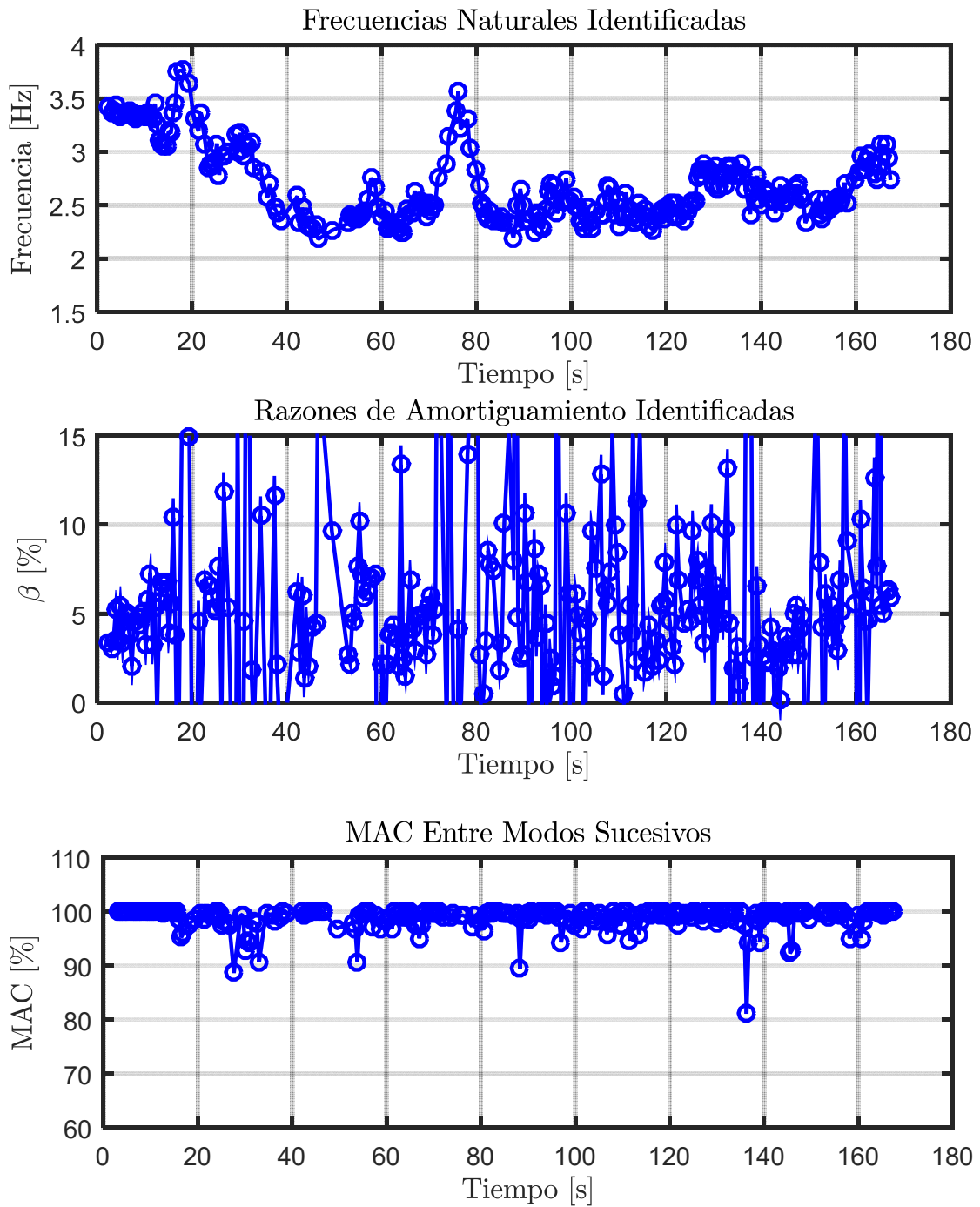


Figura 10.95: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

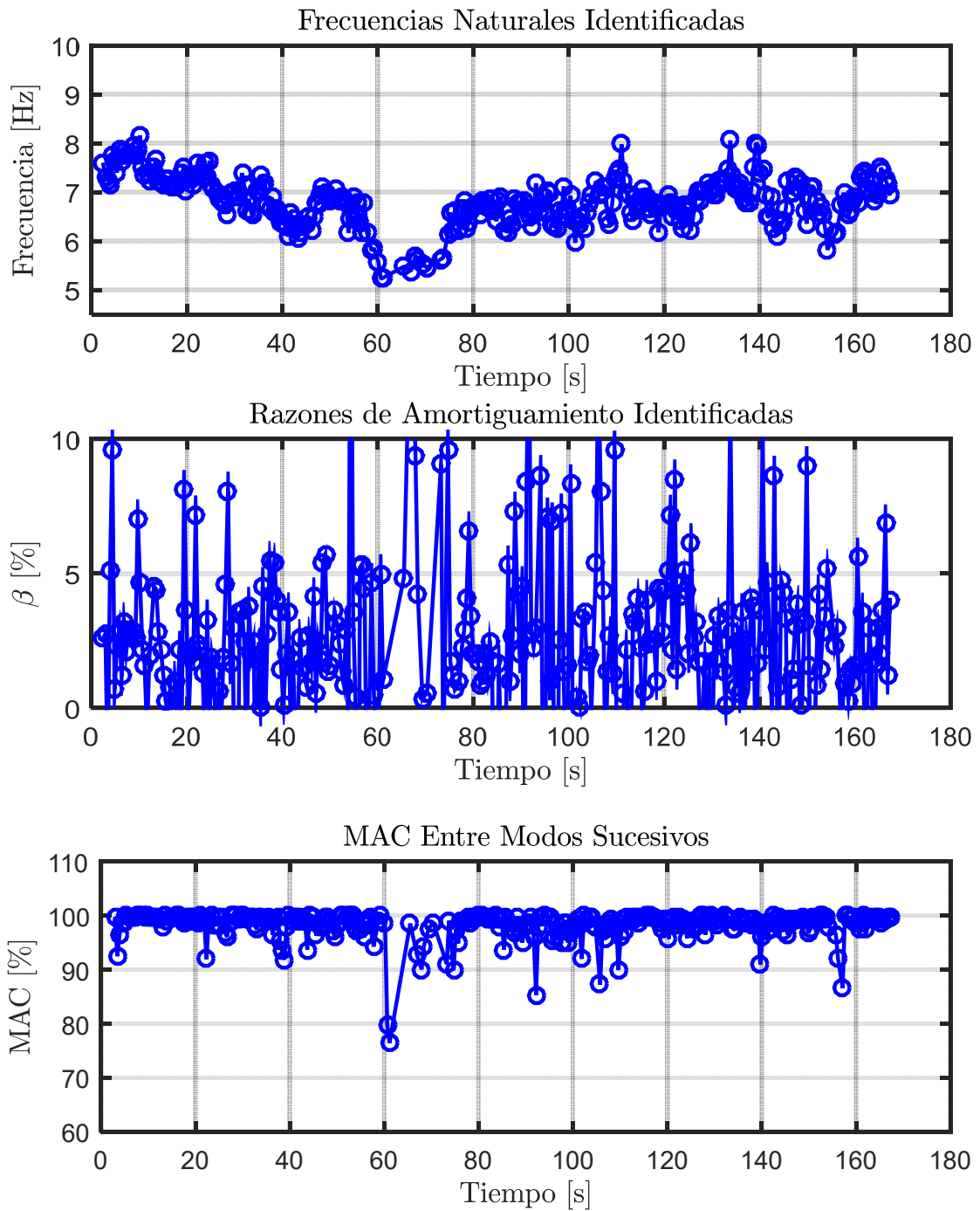


Figura 10.96: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

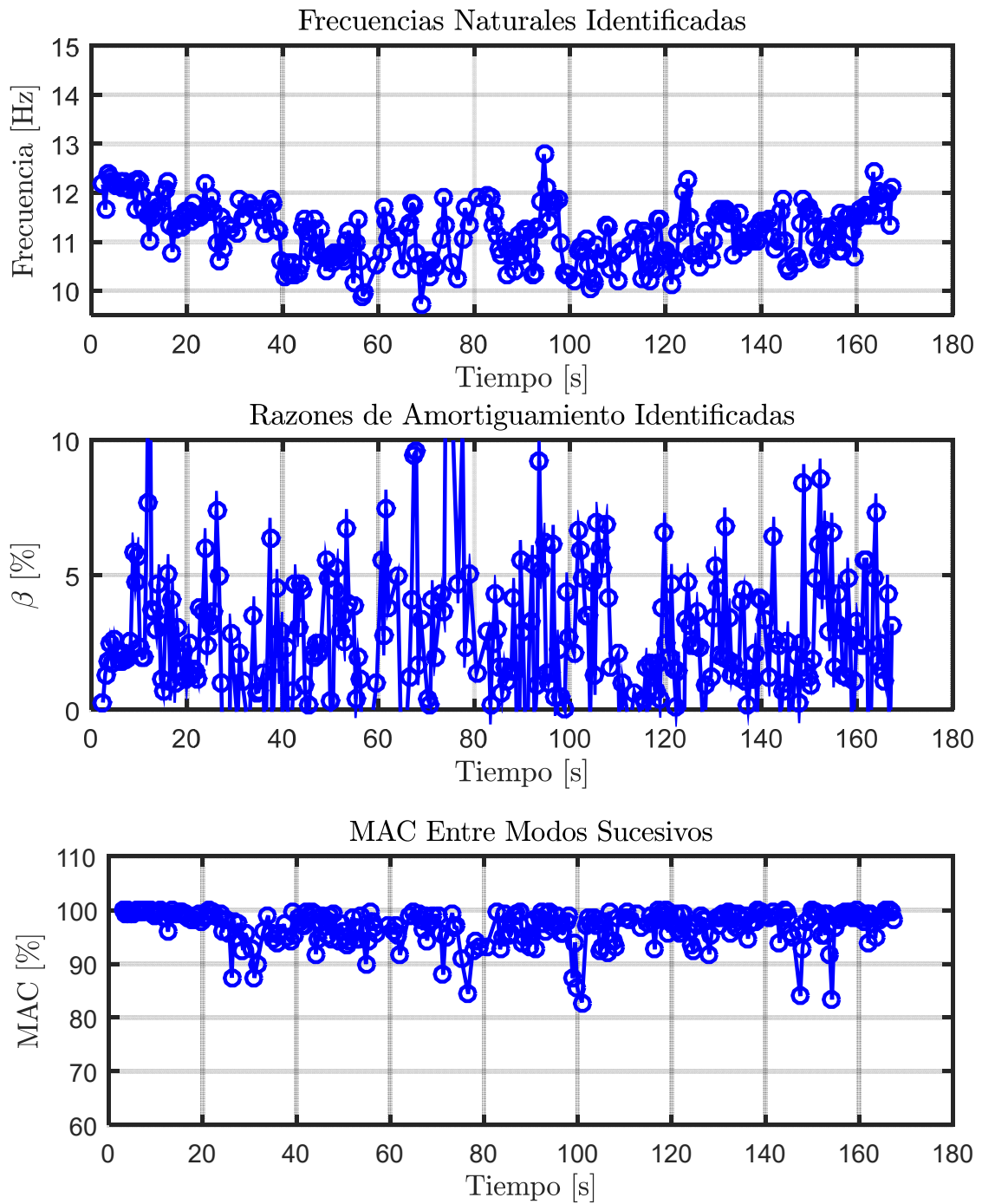


Figura 10.97: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.

#### 10.3.1.5.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

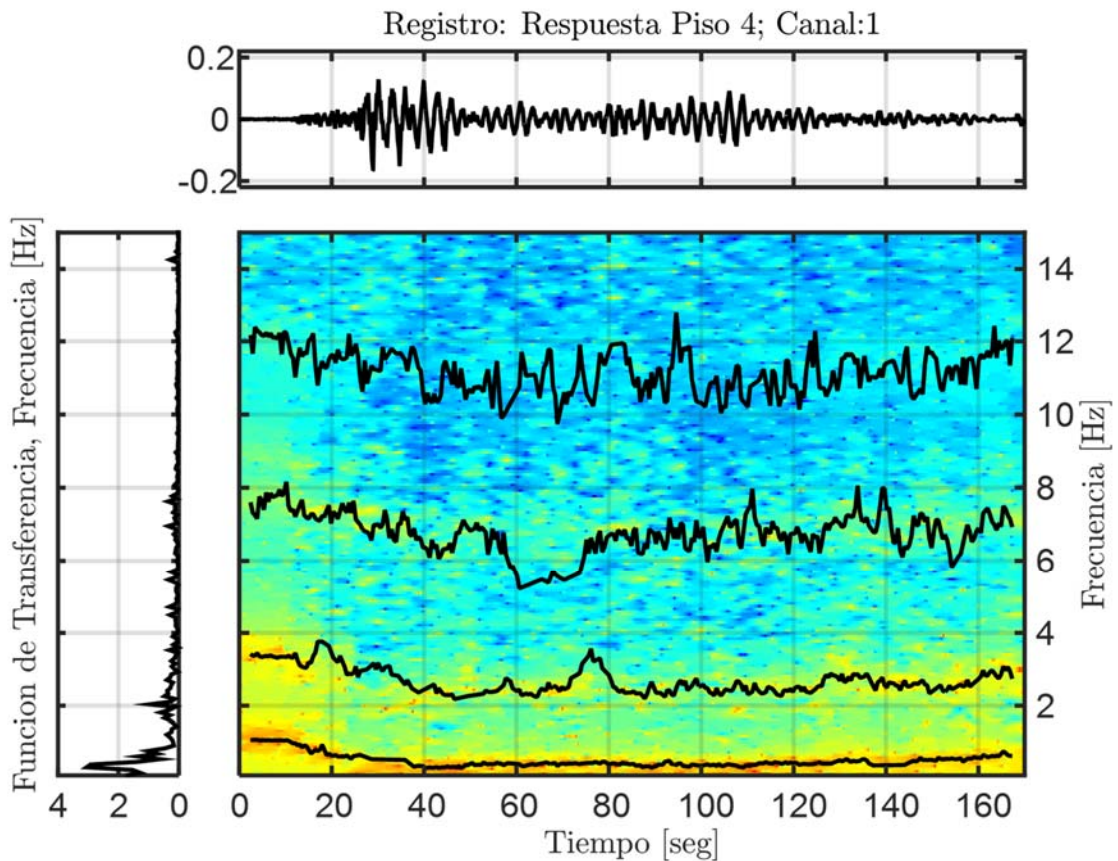


Figura 10.98: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.

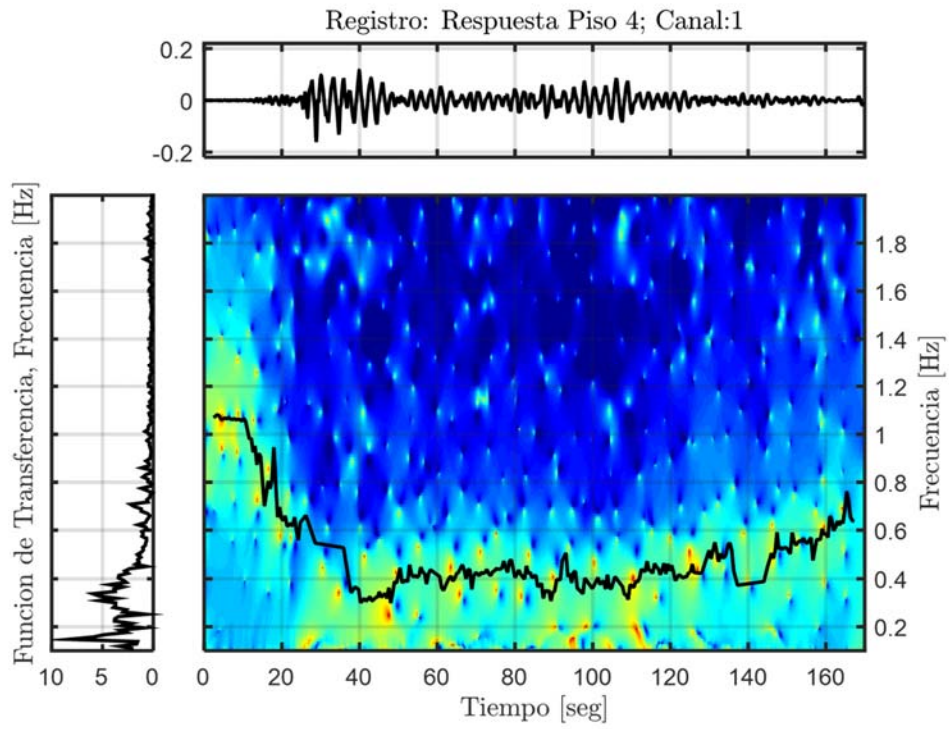


Figura 10.99: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.

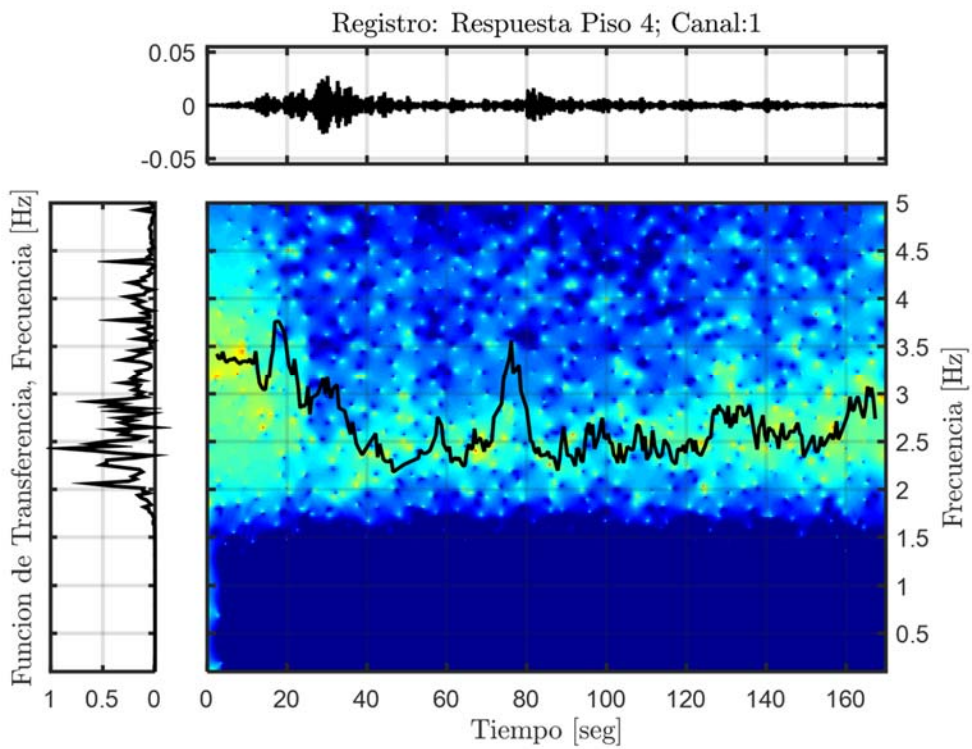


Figura 10.100: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.

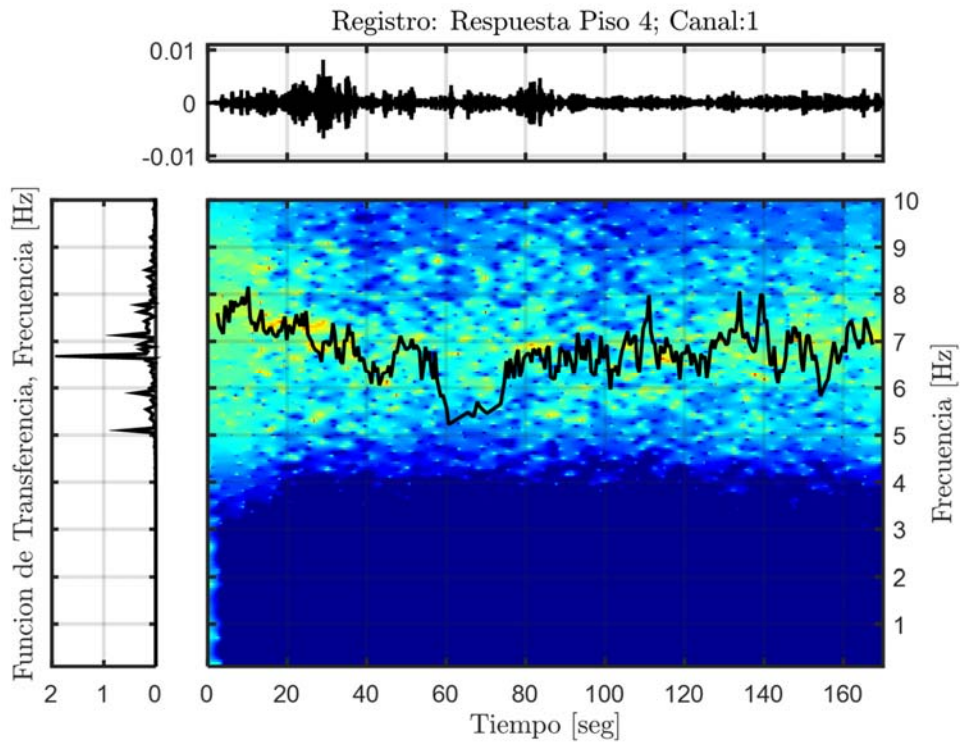


Figura 10.101: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.

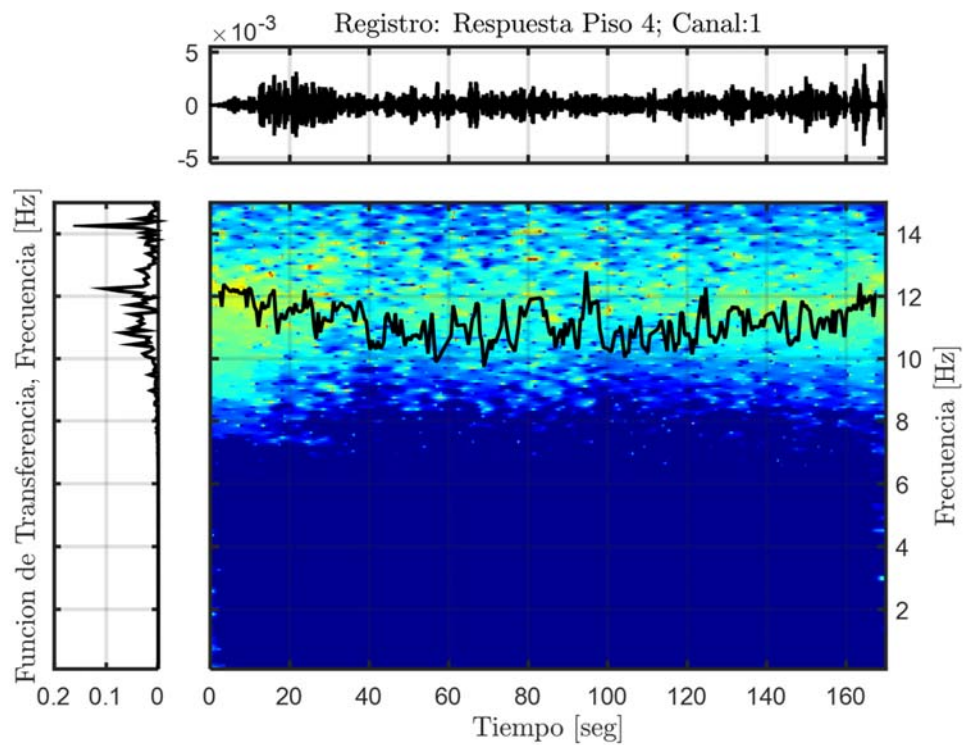


Figura 10.102: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI6-ICA100.



### 10.3.1.5.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.32: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI6-ICA100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Astroza}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Astroza}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Astroza}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,375	1,089	1,082	0,386	0,3064	0,941	0,638
2	2,415	3,496	3,373	2,345	2,182	3,277	3,064
3	6,883	8,733	7,604	6,653	5,478	8,729	6,927
4	11,335	12,363	12,39	10,854	10,600	12,228	12,000

### 10.3.1.6 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI7-ICA140

#### 10.3.1.6.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada, la respuesta a nivel de la mesa de vibrar, es decir el canal 81, presente en la Figura 10.103. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54, 66), presentes en la Figura 10.104.

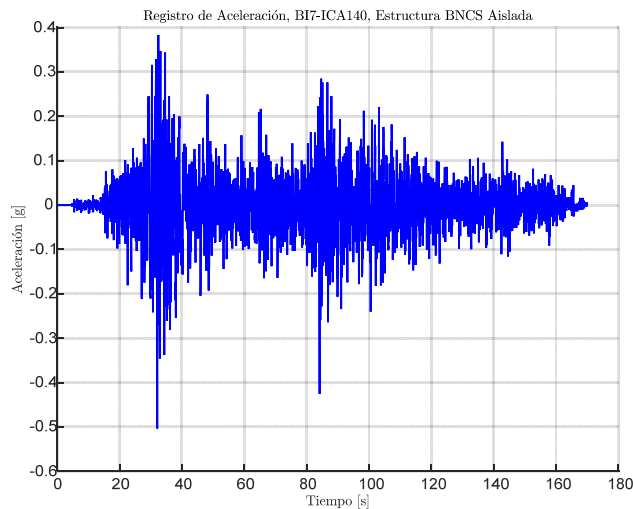


Figura 10.103: Input estructura aislada, Registro BI7-ICA140.

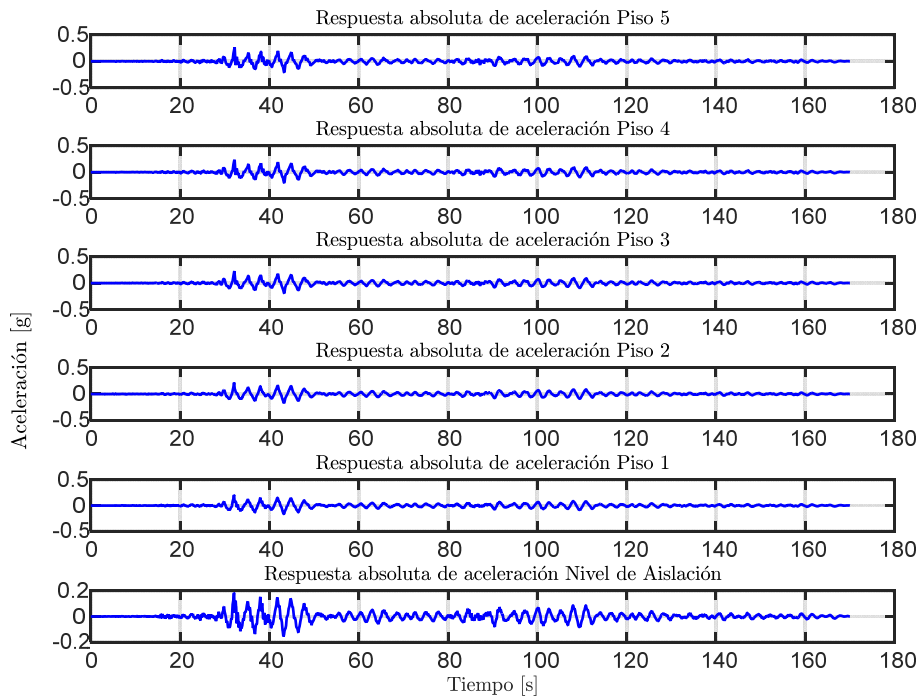


Figura 10.104: Output estructura aislada, Registro BI7-ICA140.

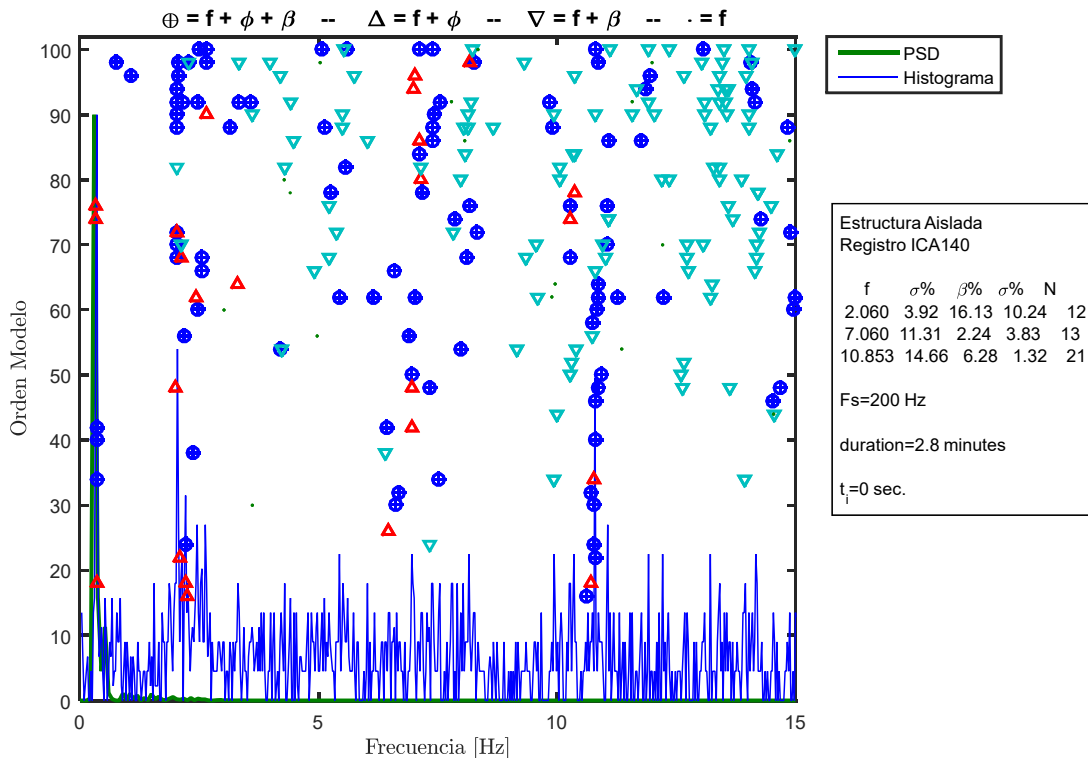
### 10.3.1.6.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.33.

**Tabla 10.33: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS. Registro BI7-ICA140.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	10
GDL o n'	50



**Figura 10.105: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.**

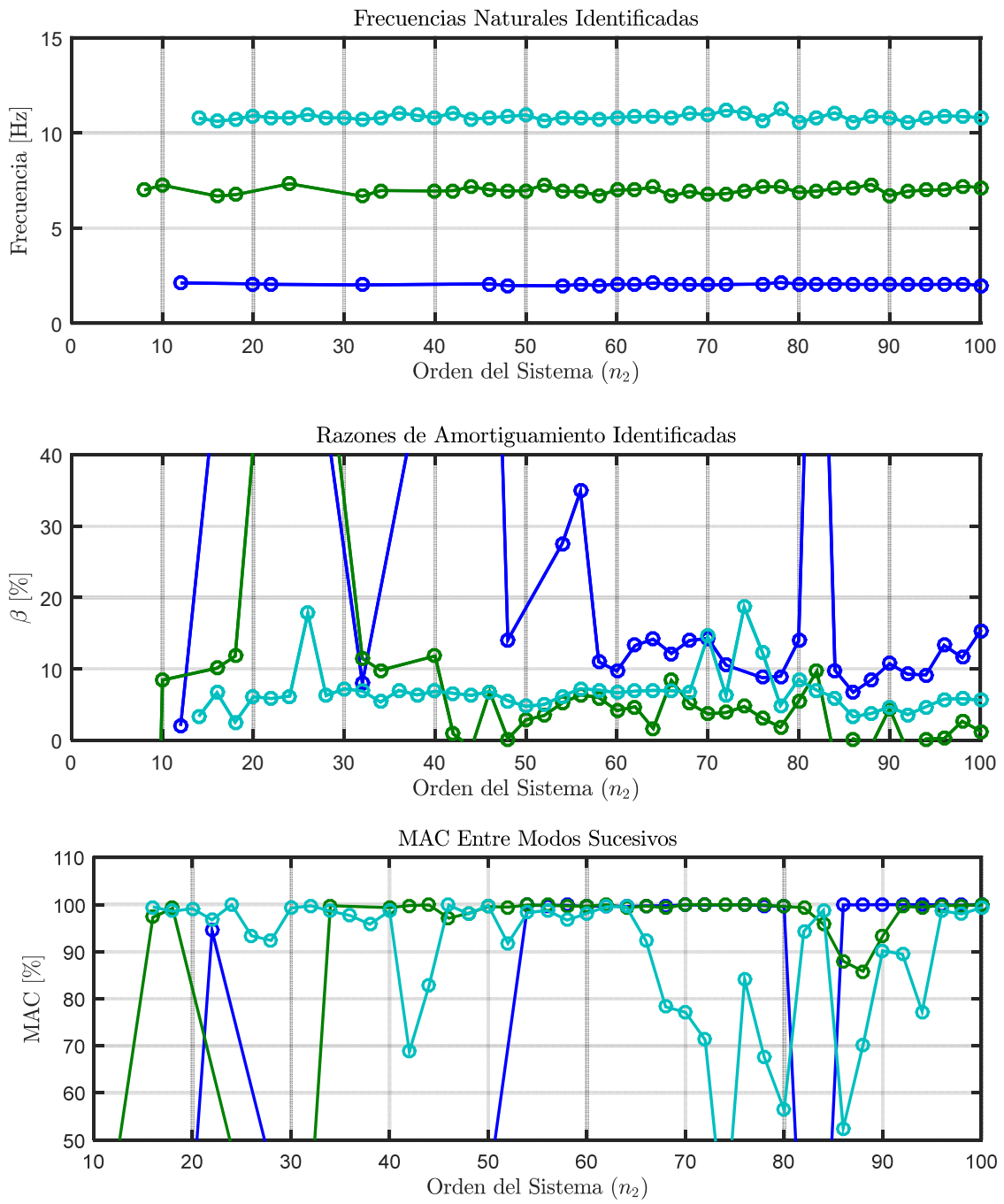


Figura 10.106: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

### 10.3.1.6.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.34.

**Tabla 10.34: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	8
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	90
Smin	2905
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,84
Cantidad de ventanas	341
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,5
Ventana 2	63
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	30
Ventana 3	290
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	85
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.107, Figura 10.108 y Figura 10.109 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

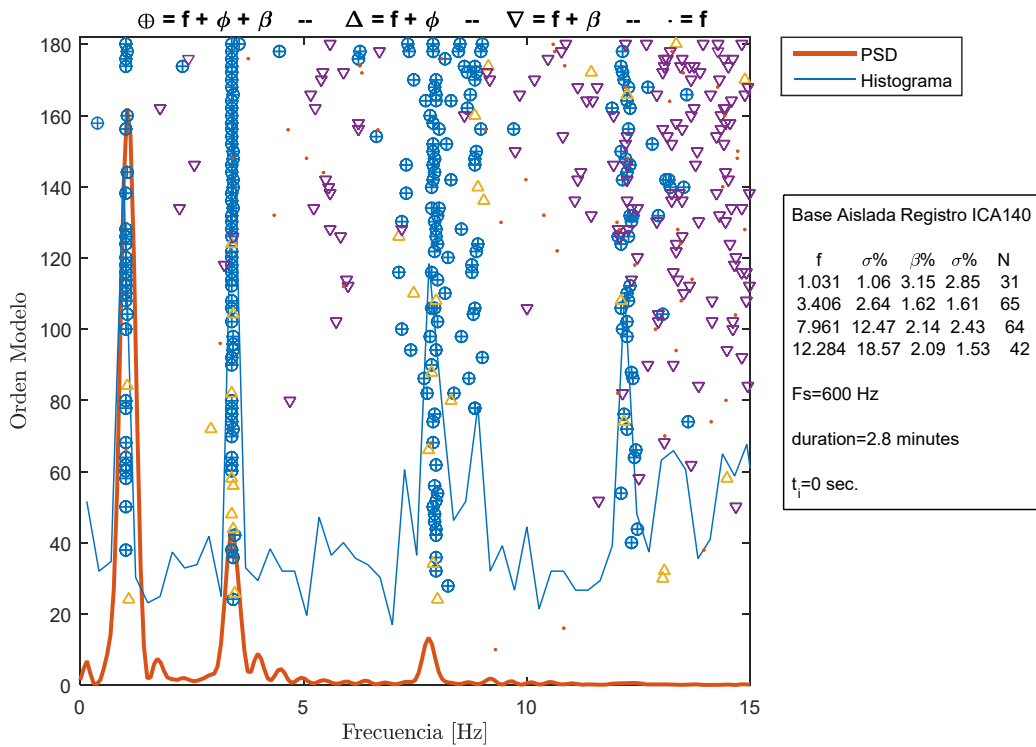


Figura 10.107: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

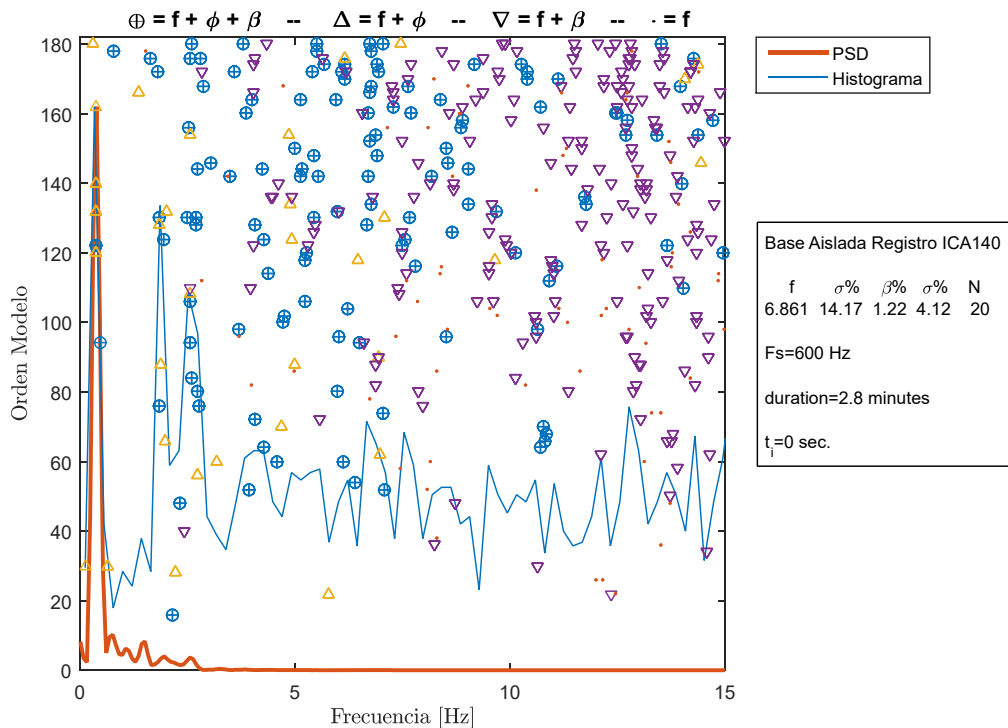


Figura 10.108: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

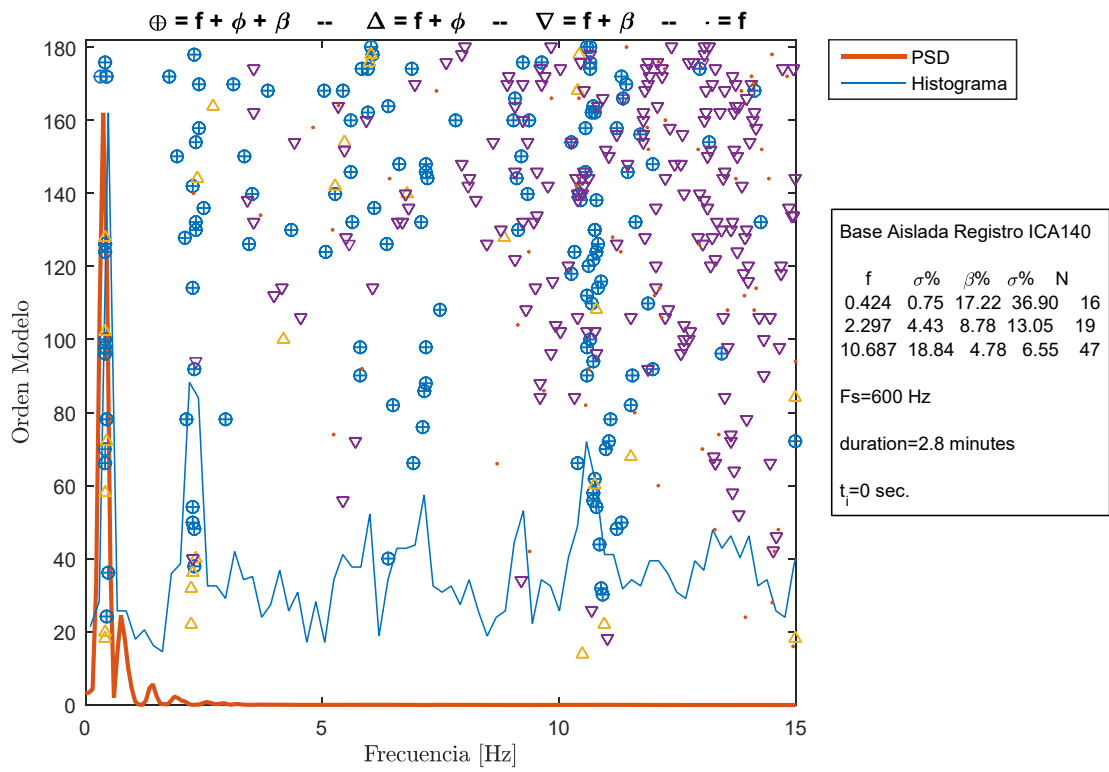


Figura 10.109: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.110 hasta la Figura 10.114.

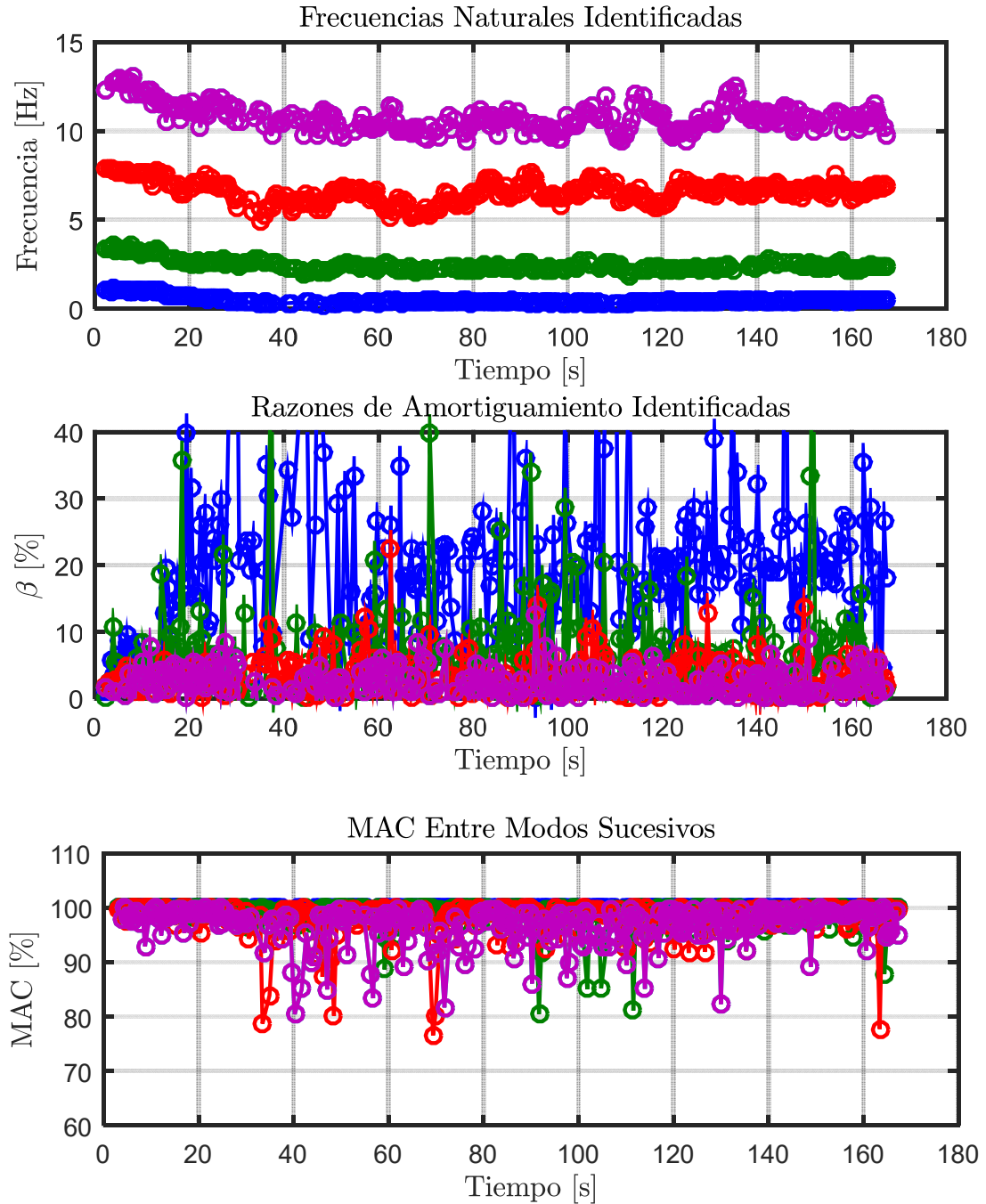


Figura 10.110: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.



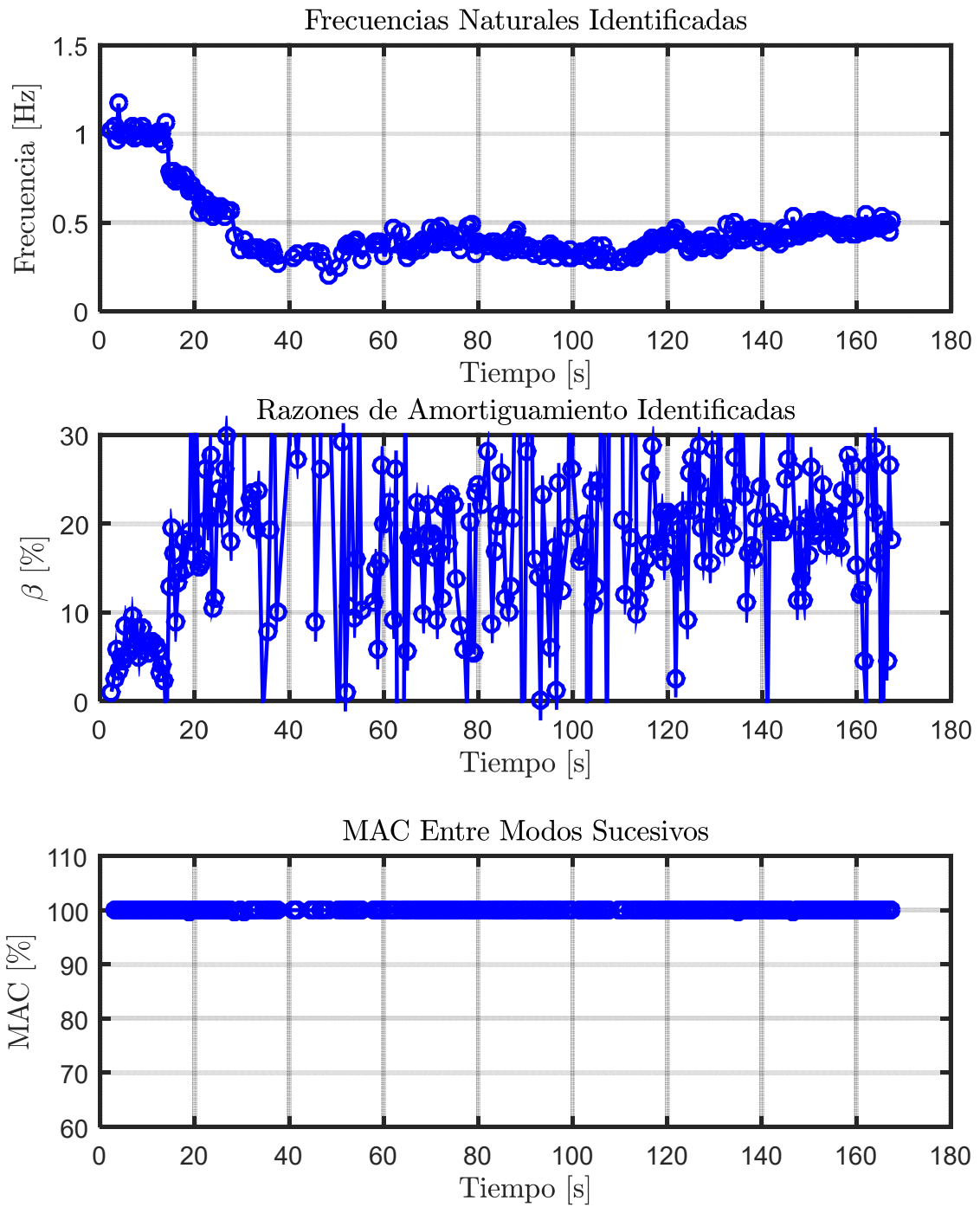


Figura 10.111: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

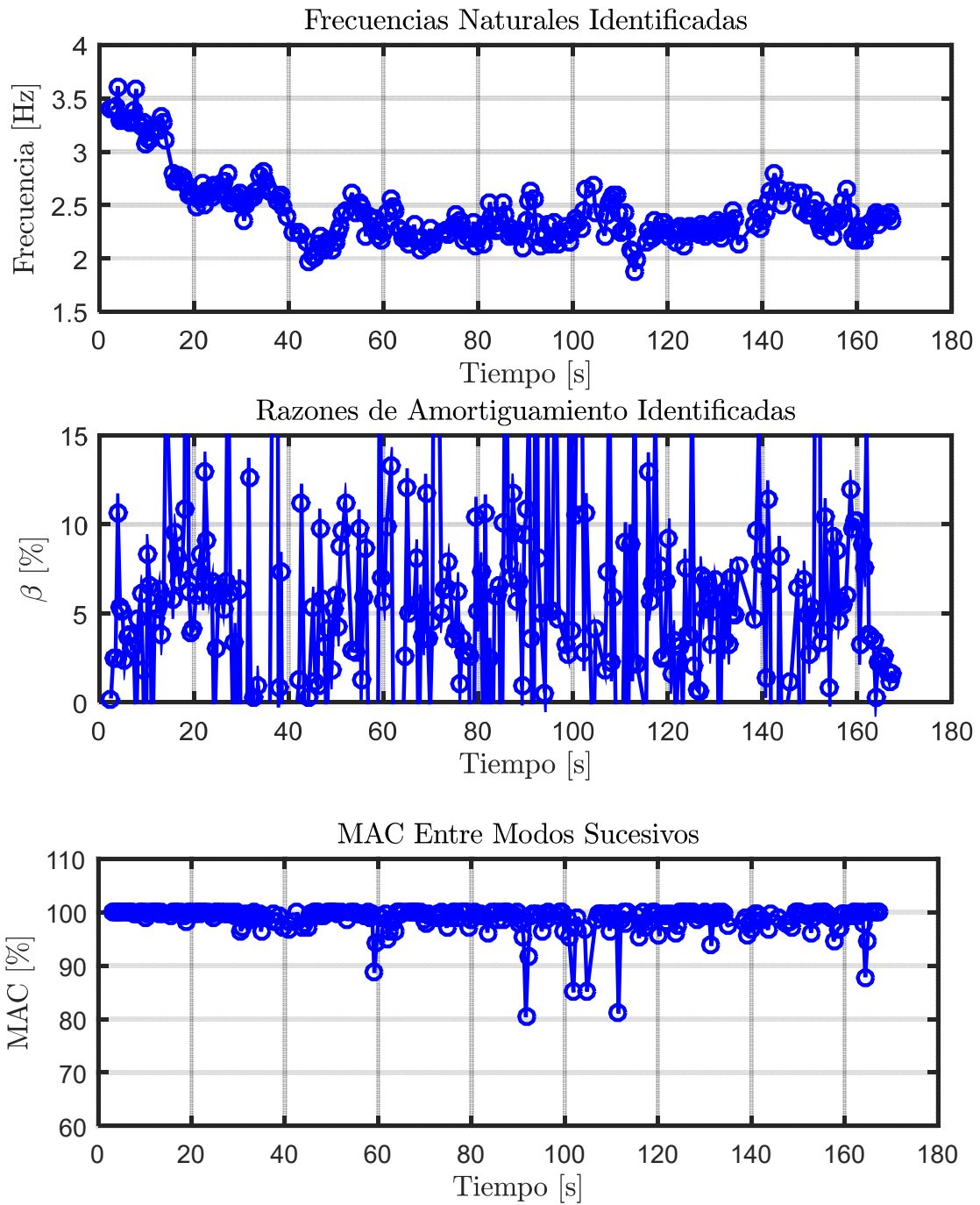


Figura 10.112: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

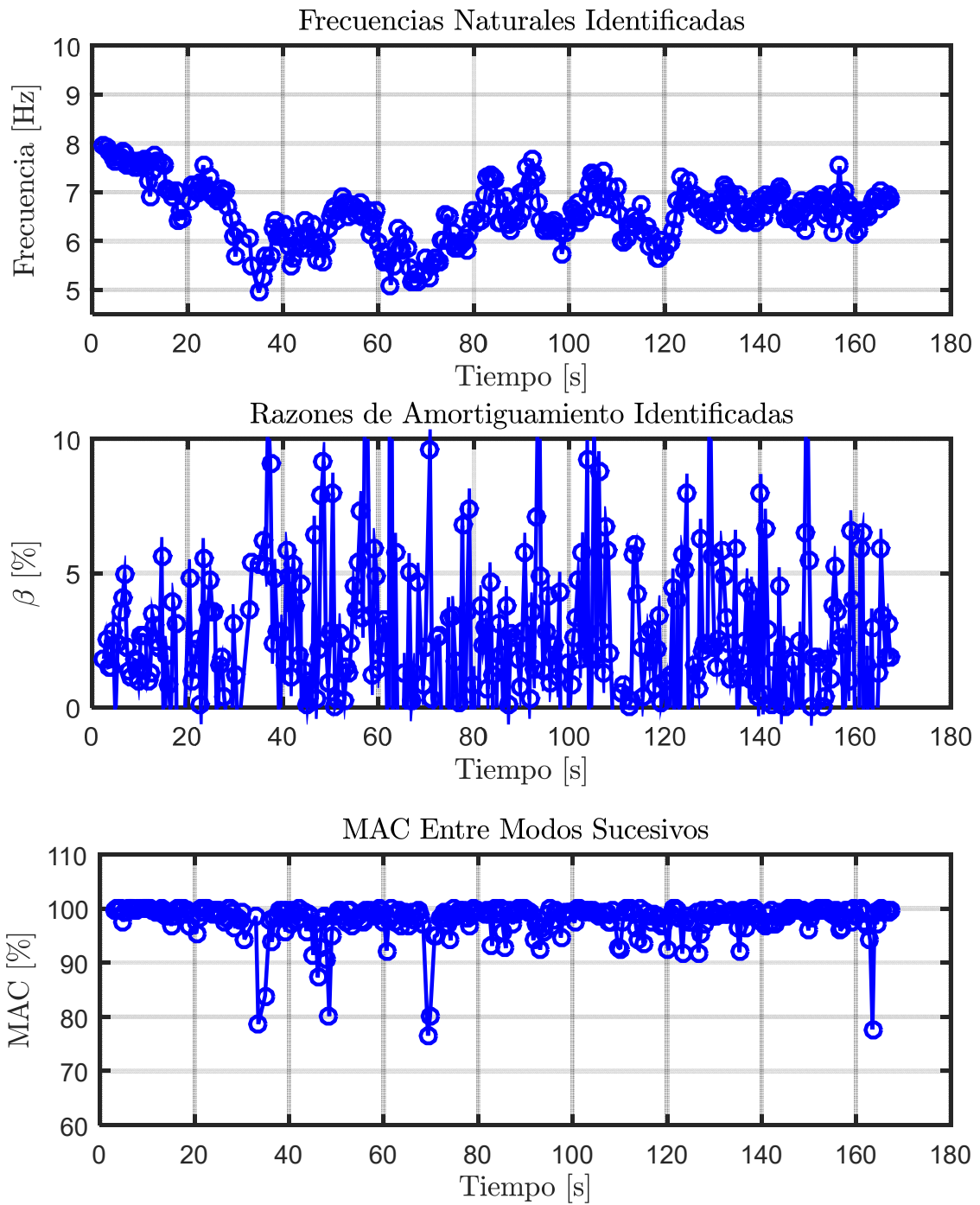


Figura 10.113: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

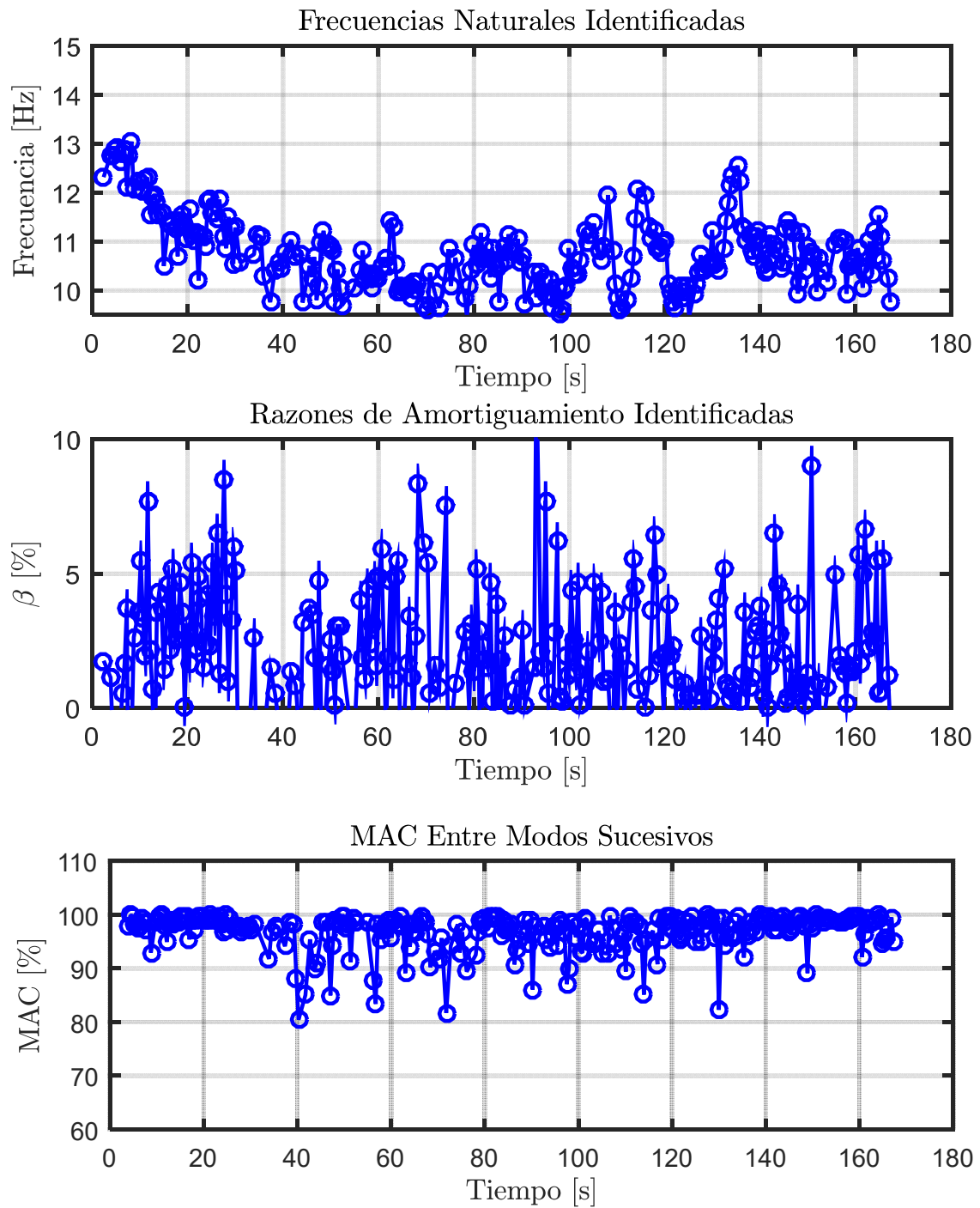
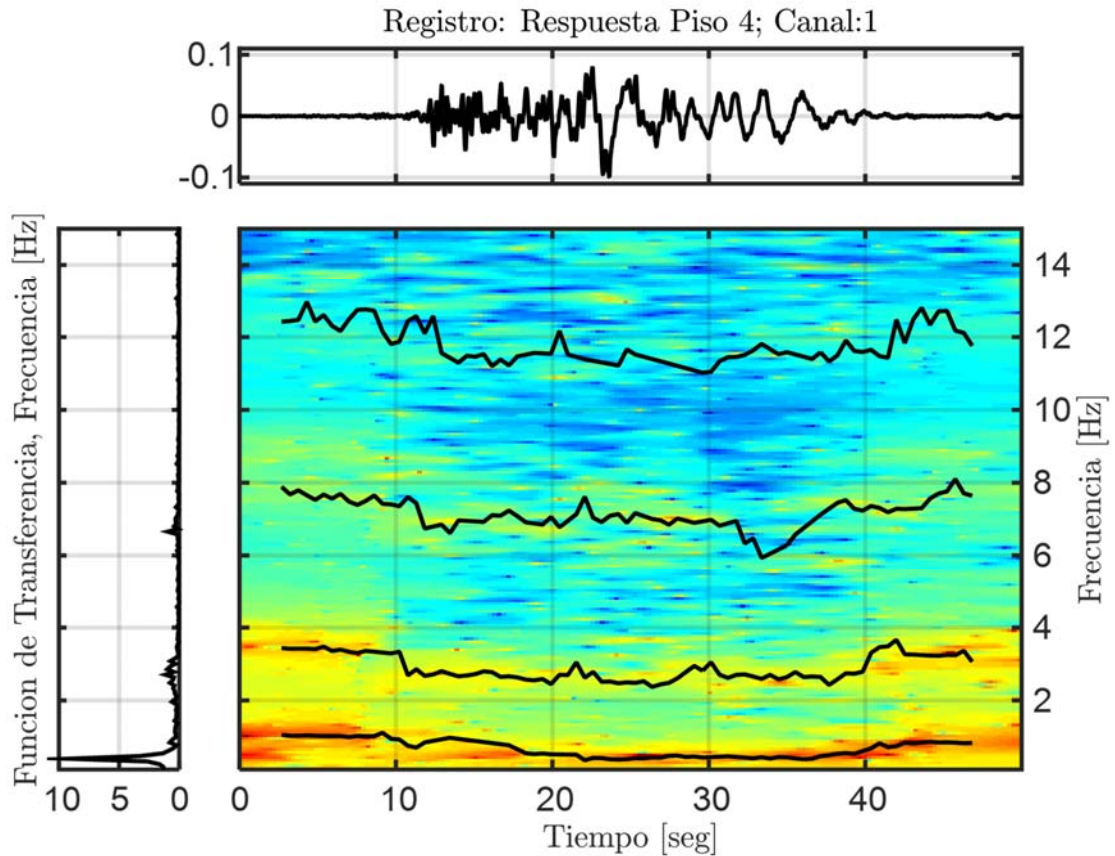


Figura 10.114: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 4, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.

#### 10.3.1.6.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.



**Figura 10.115: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.**

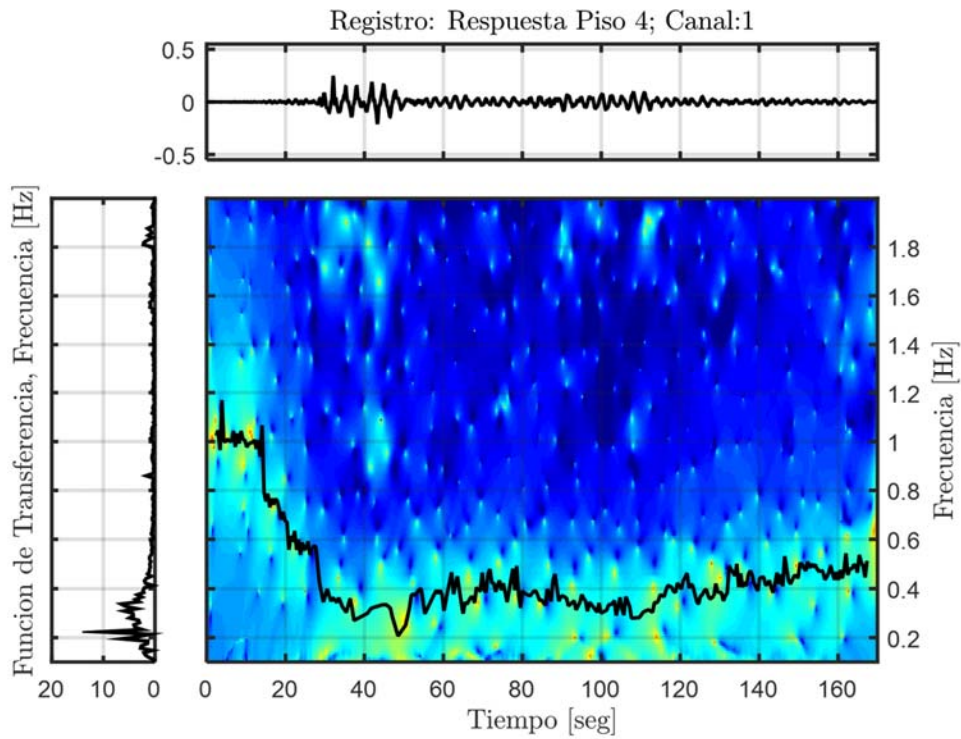


Figura 10.116: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.

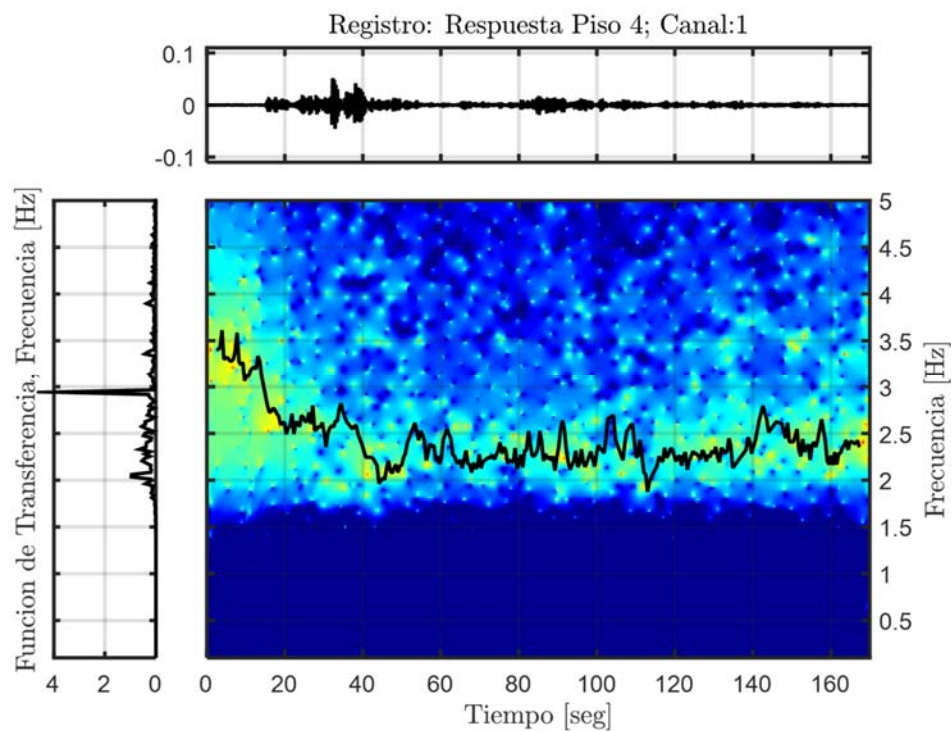


Figura 10.117: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.

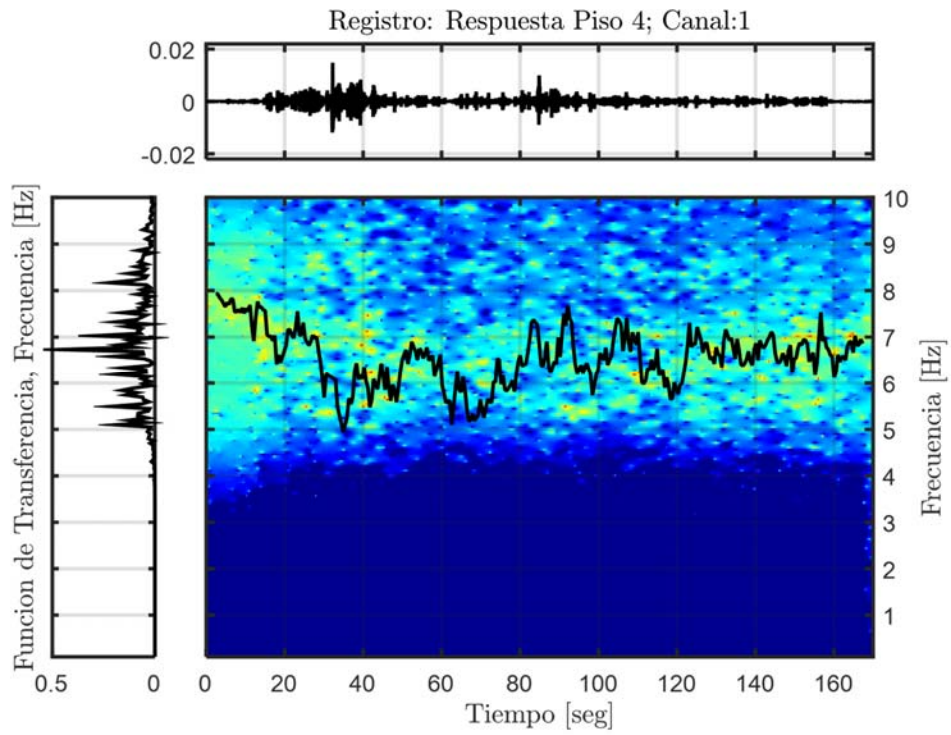


Figura 10.118: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.

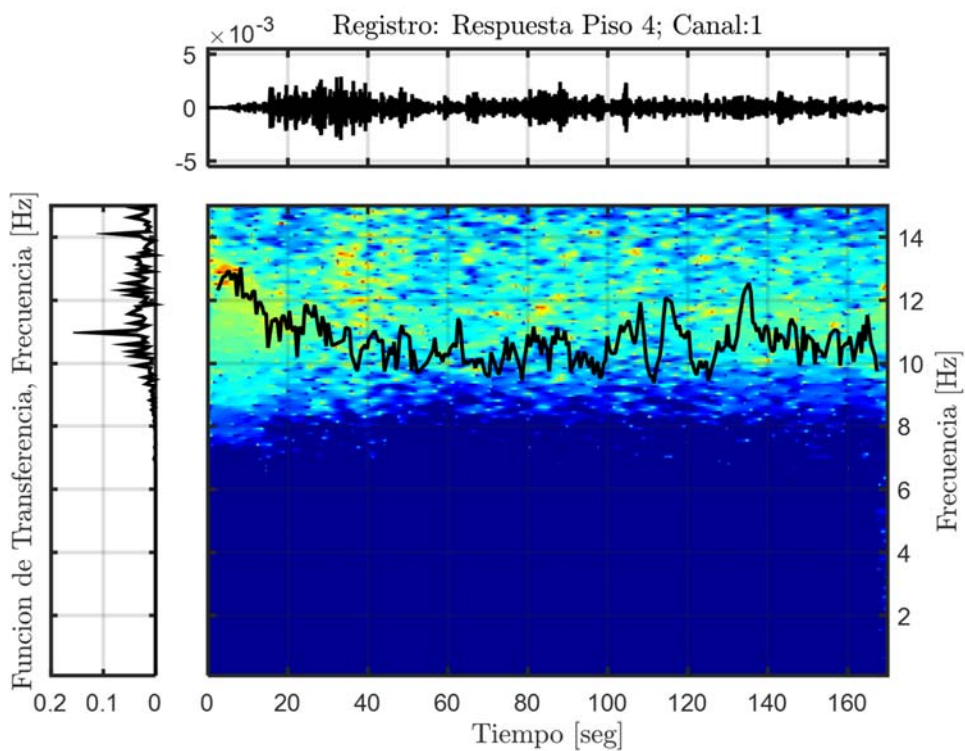


Figura 10.119: Función de transferencia filtrada para el modo 4, Estructura aislada, Registro BI7-ICA140.

### 10.3.1.6.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.35: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, registro BI7-ICA140.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Astroza}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Astroza}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Astroza}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	-	1,020	1,046	0,356	0,251	0,896	0,512
2	2,060	3,437	3,430	2,151	2,128	3,193	2,396
3	7,060	8,533	7,938	5,964	5,258	7,706	6,952
4	10,853	12,647	12,32	10,253	9,765	11,628	10,620

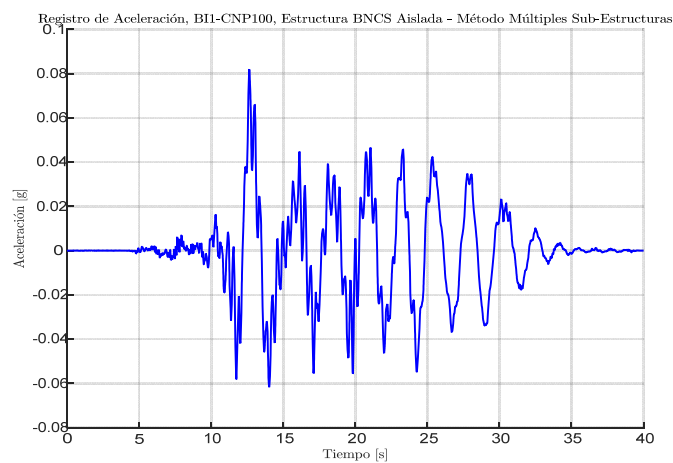


### 10.3.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Aislada con Método de Múltiples Sub-Estructuras

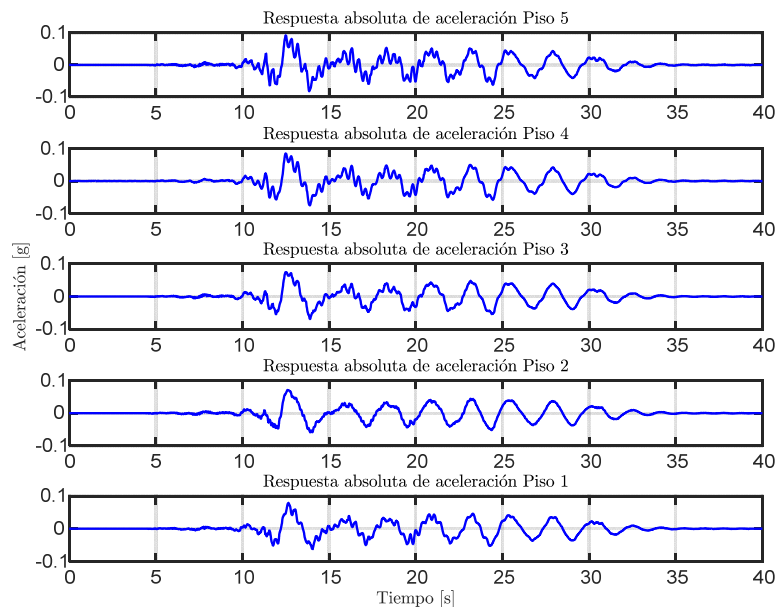
#### 10.3.2.1 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI1-CNP100

##### 10.3.2.1.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras, la respuesta a nivel sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.120. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.121.



**Figura 10.120:** Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100.



**Figura 10.121:** Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI1-CNP100.

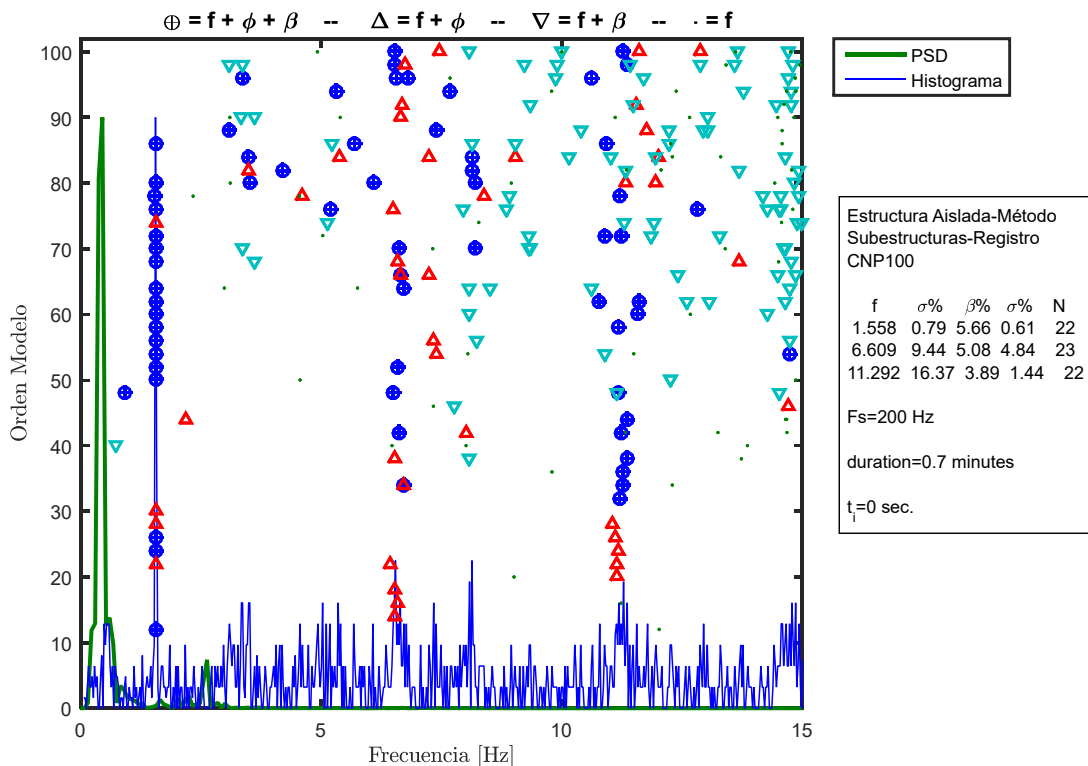
### 10.3.2.1.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

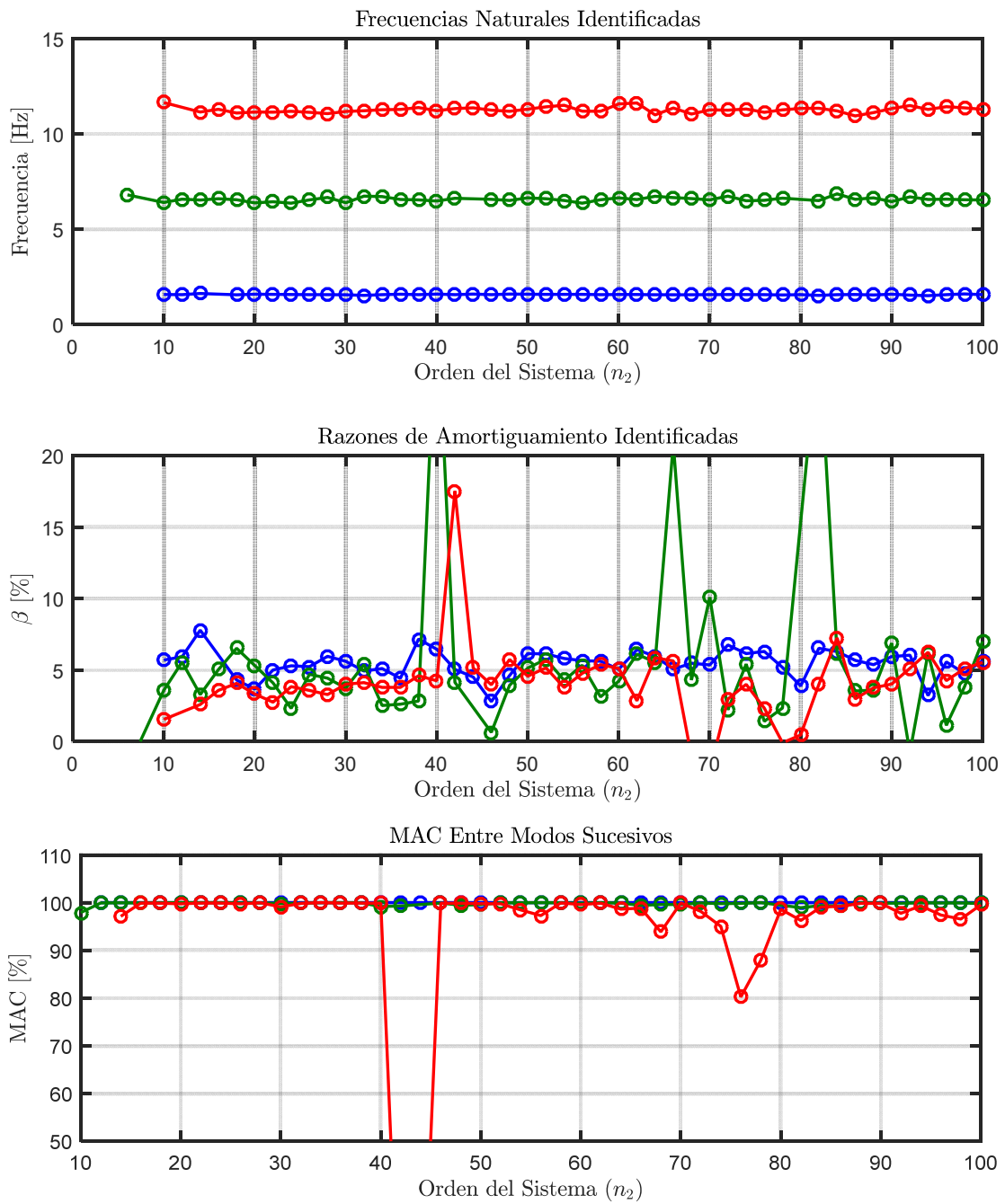
Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.36.

**Tabla 10.36: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro B11-CNP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 10.122: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B11-CNP100.**



**Figura 10.123: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B11-CNP100.**

### 10.3.2.1.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.37.

**Tabla 10.37: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	100
Smin	2823
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	7,05
Cantidad de ventanas	47
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	3,5
Ventana 2	18
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	12
Ventana 3	40
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	35
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resamplio [Hz]	400

En la Figura 10.124, Figura 10.125 y Figura 10.126 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

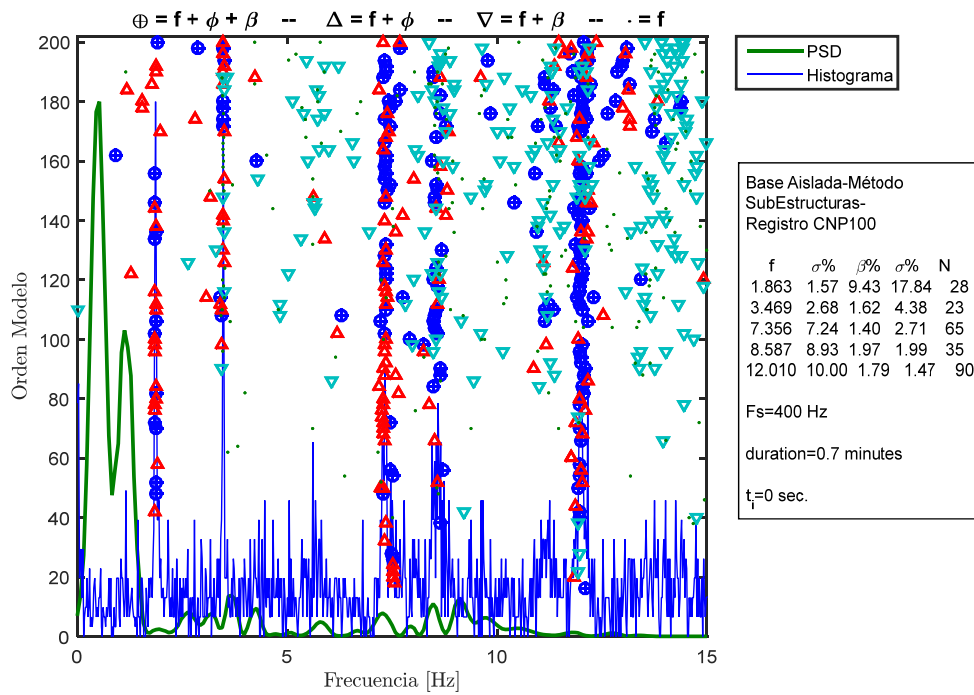


Figura 10.124: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCs, método de múltiples subestructuras, registro BII-CNP100.

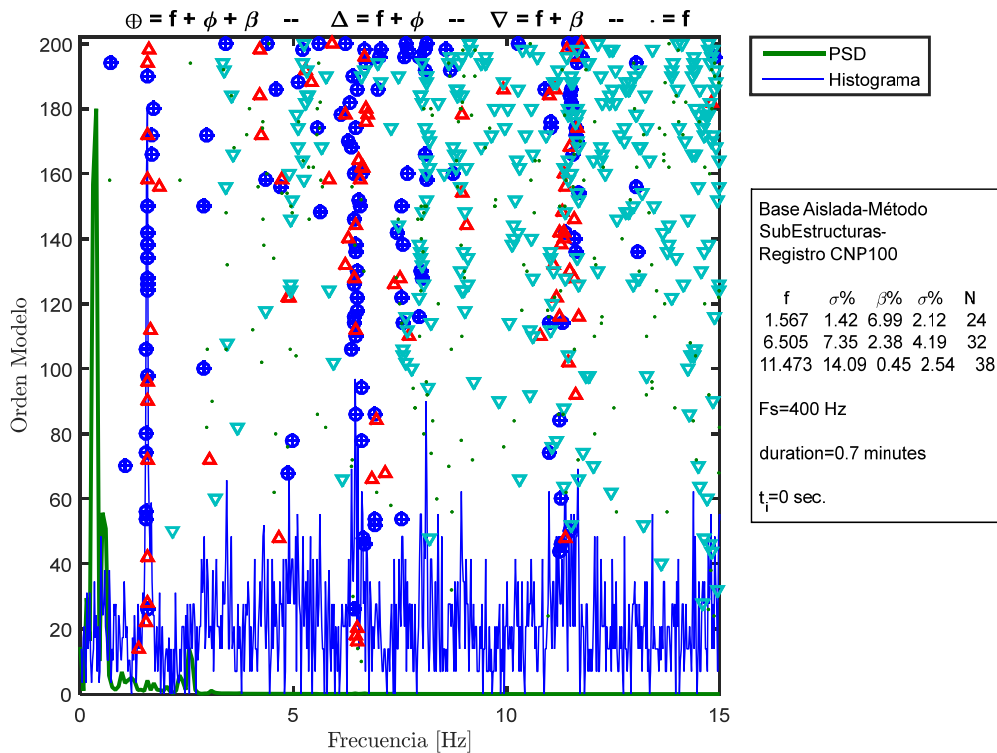
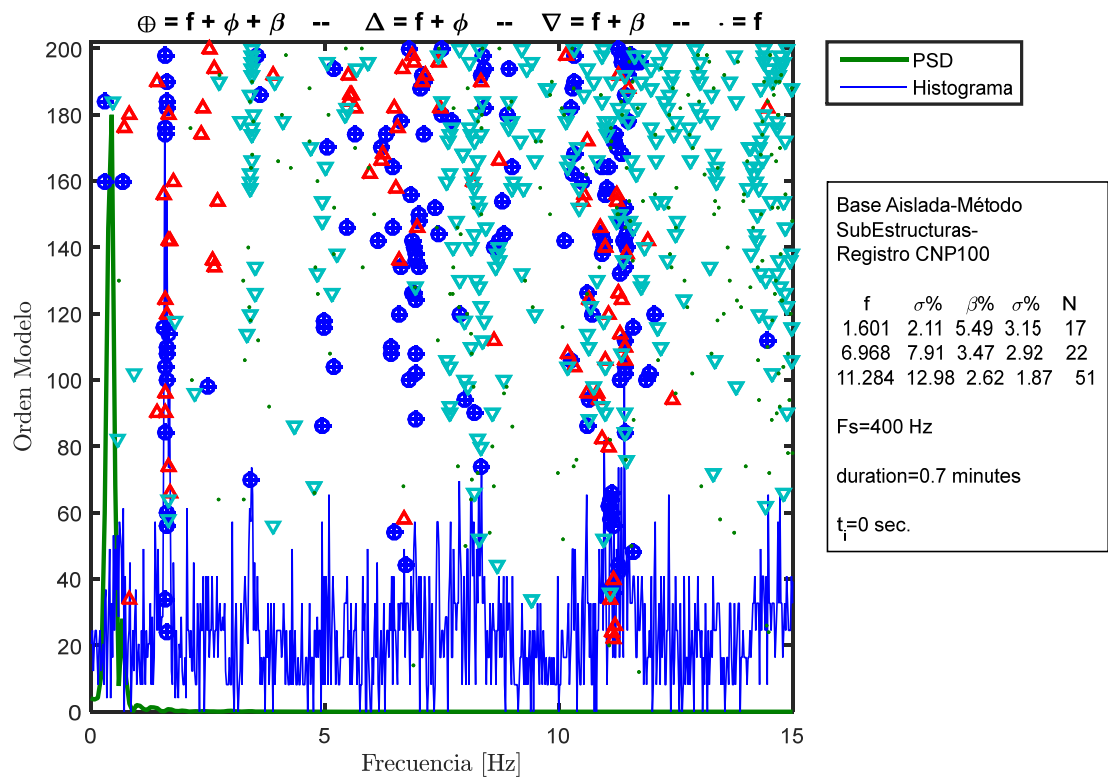


Figura 10.125: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCs, método de múltiples subestructuras, registro BII-CNP100.



**Figura 10.126:** Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCs, método de múltiples subestructuras, registro BI1-CNP100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.127 hasta la Figura 10.130.

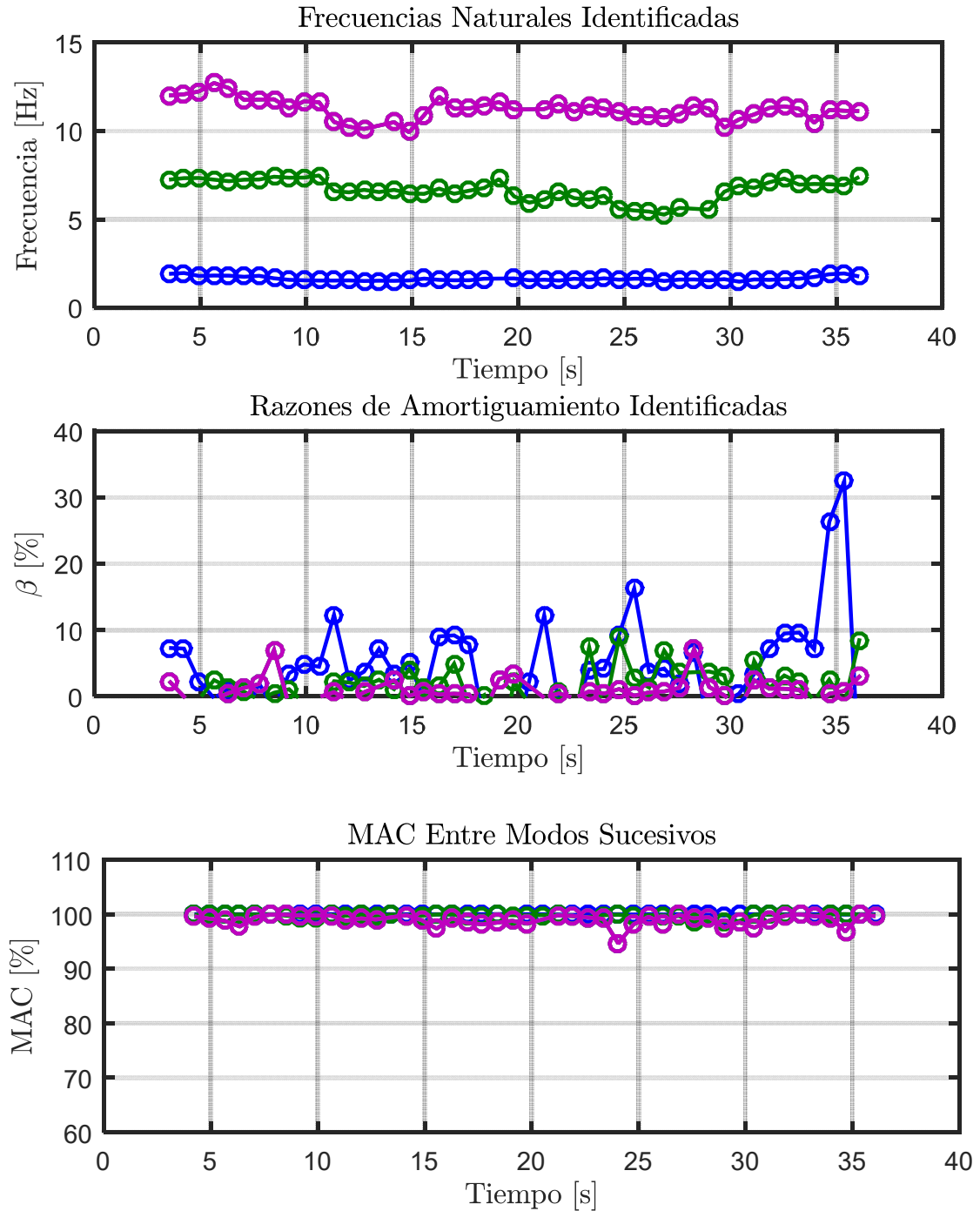


Figura 10.127: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro B11-CNP100.

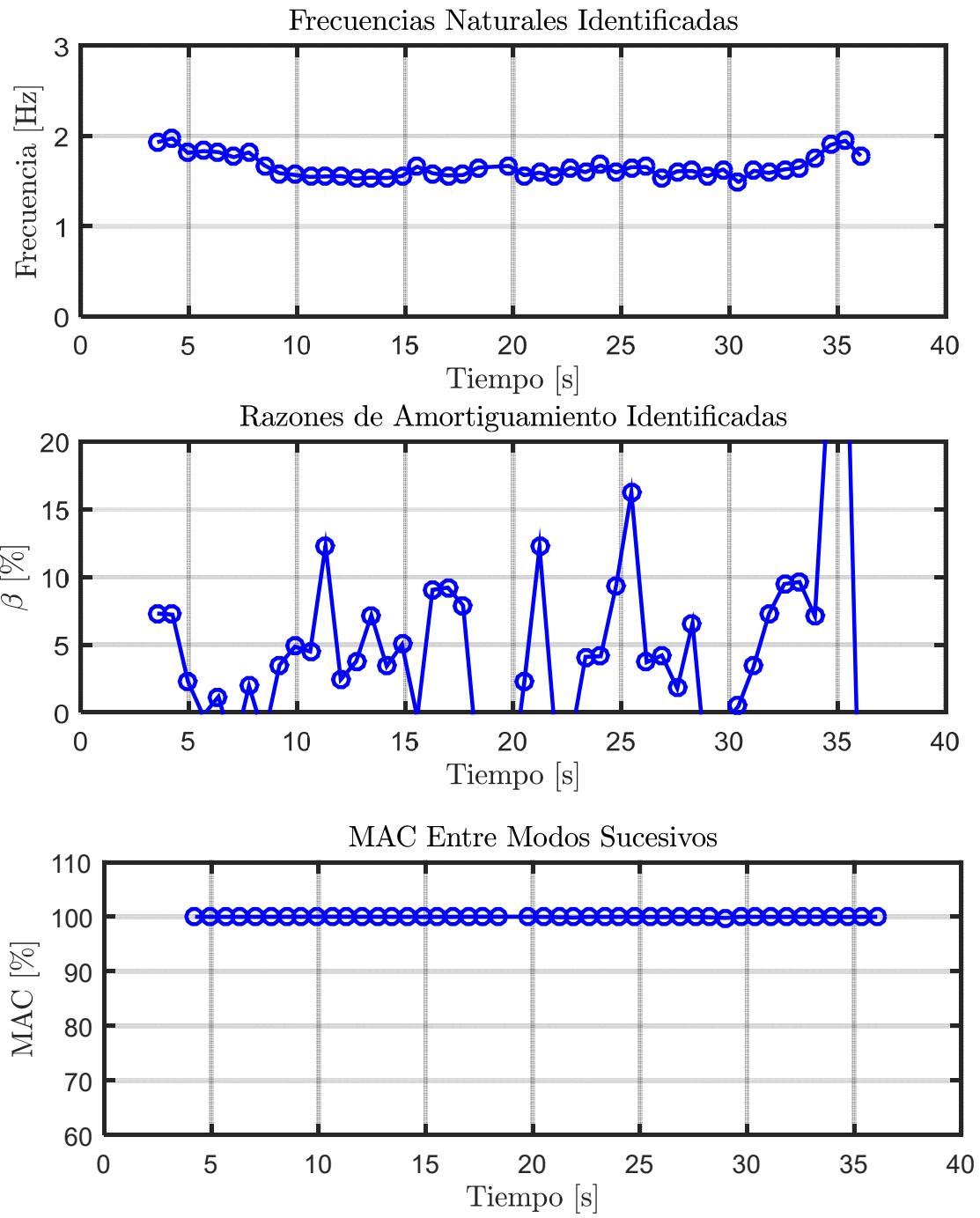
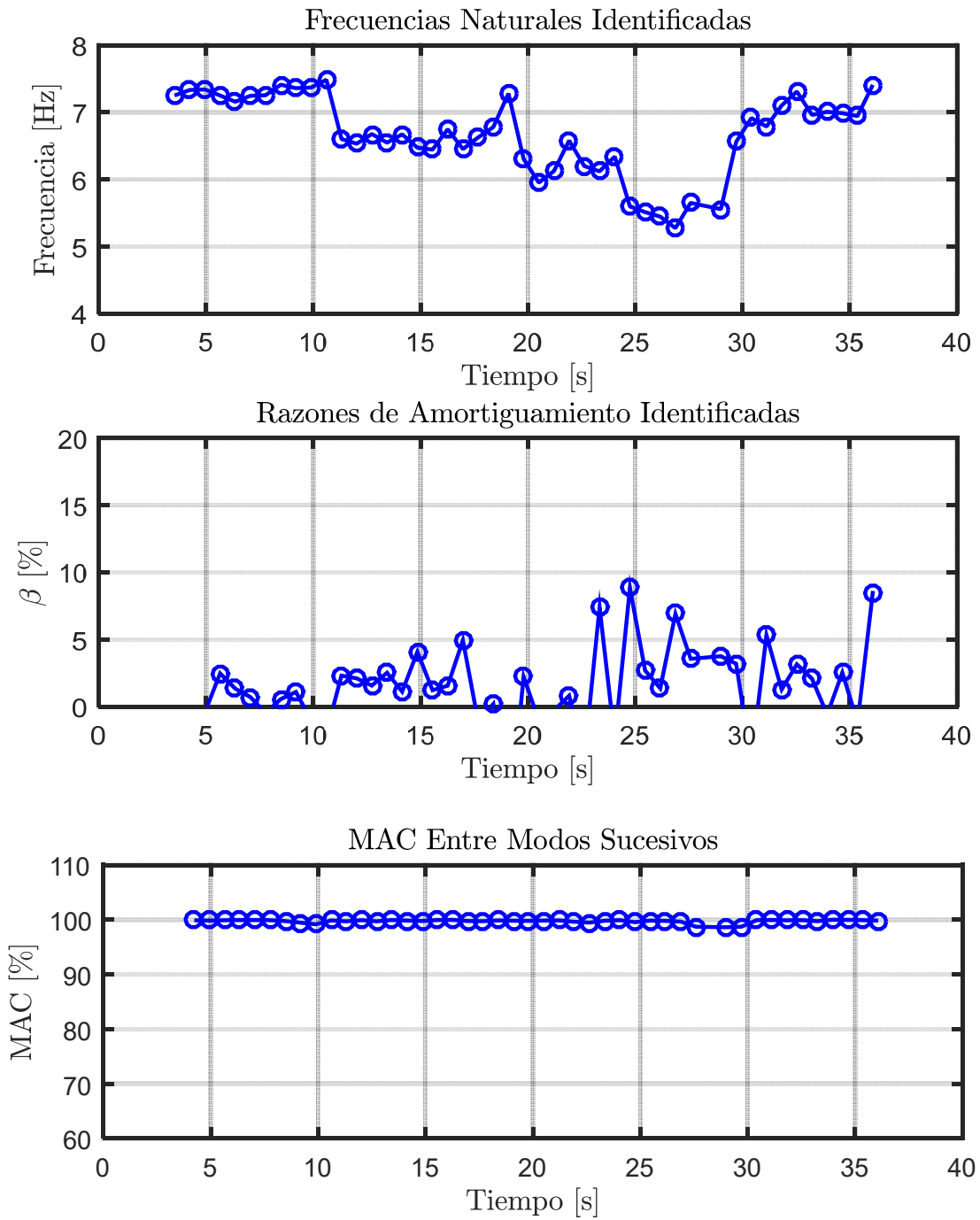


Figura 10.128: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BII-CNP100.





**Figura 10.129: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.**

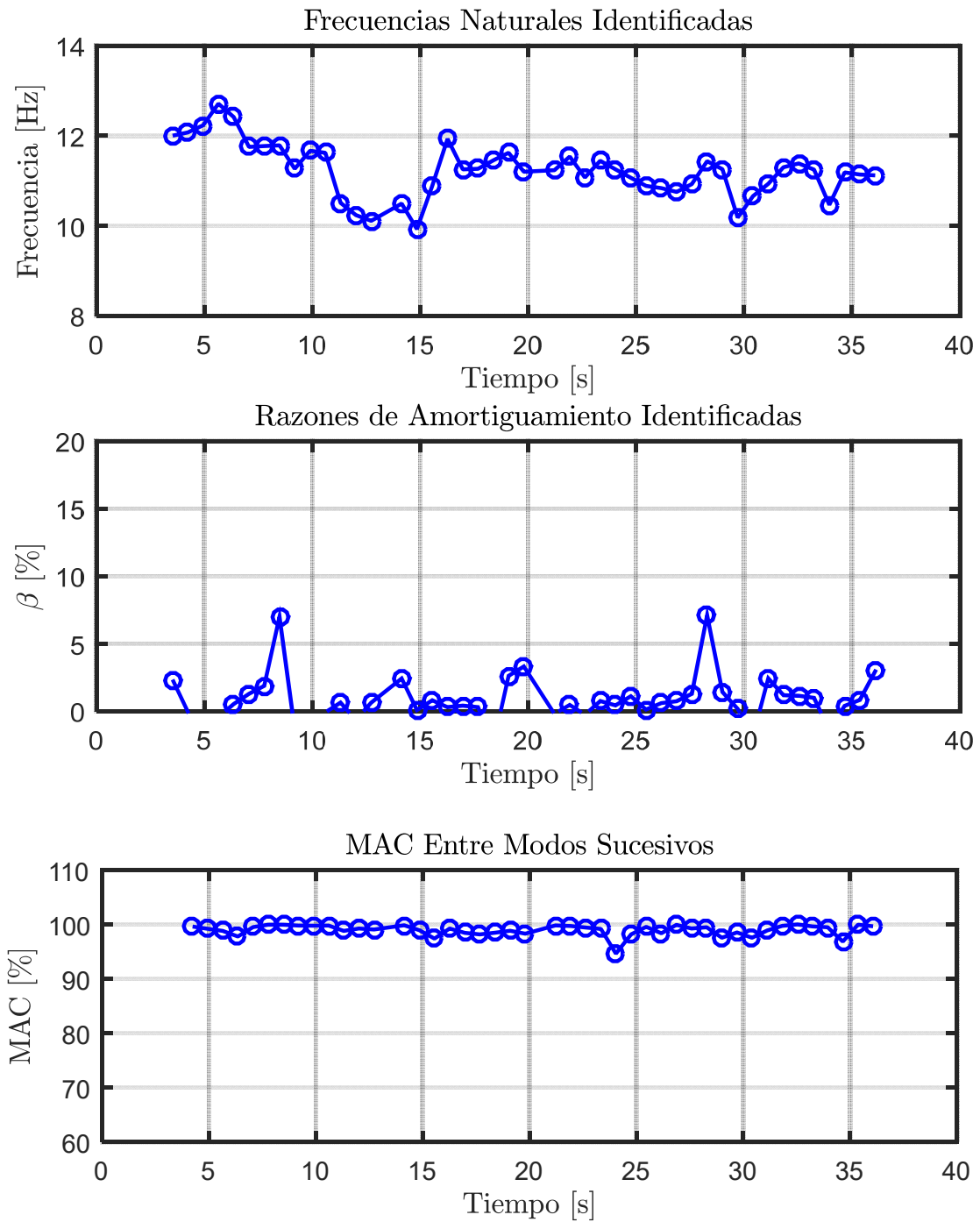


Figura 10.130: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BII-CNP100.

#### 10.3.2.1.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

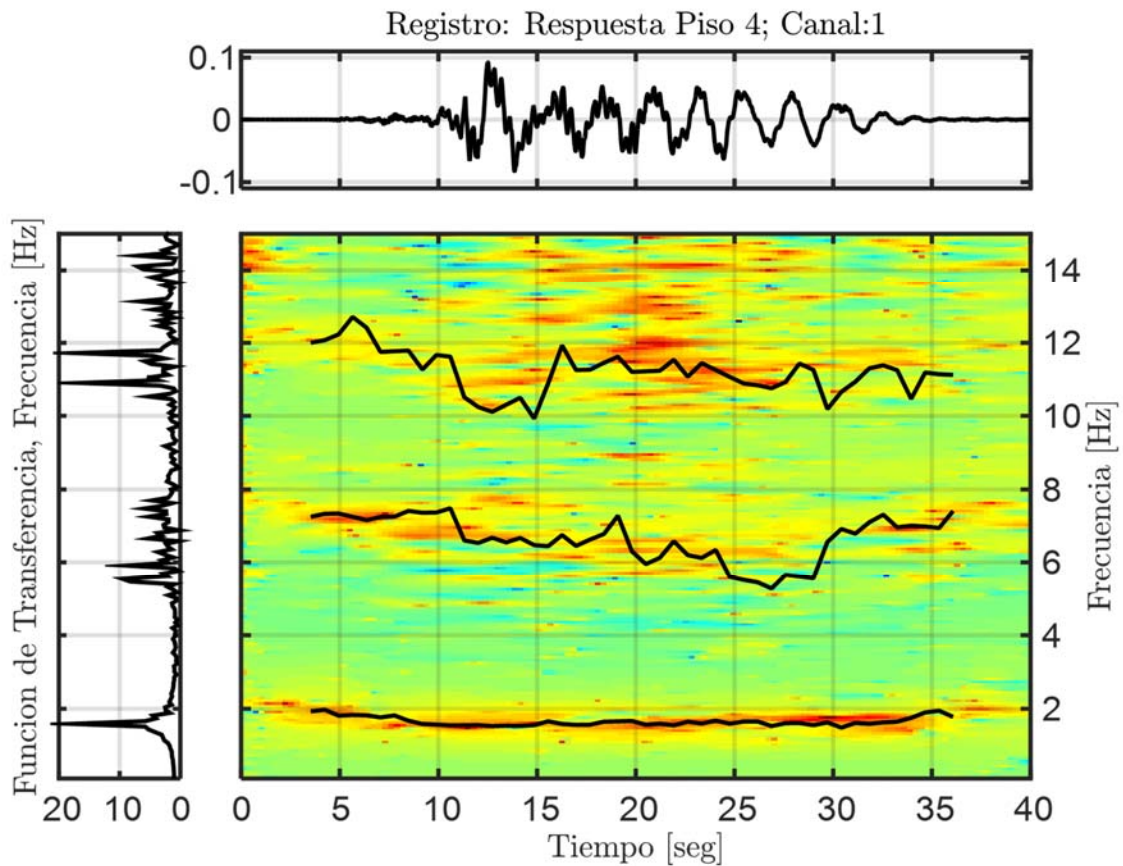


Figura 10.131: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro B11-CNP100.

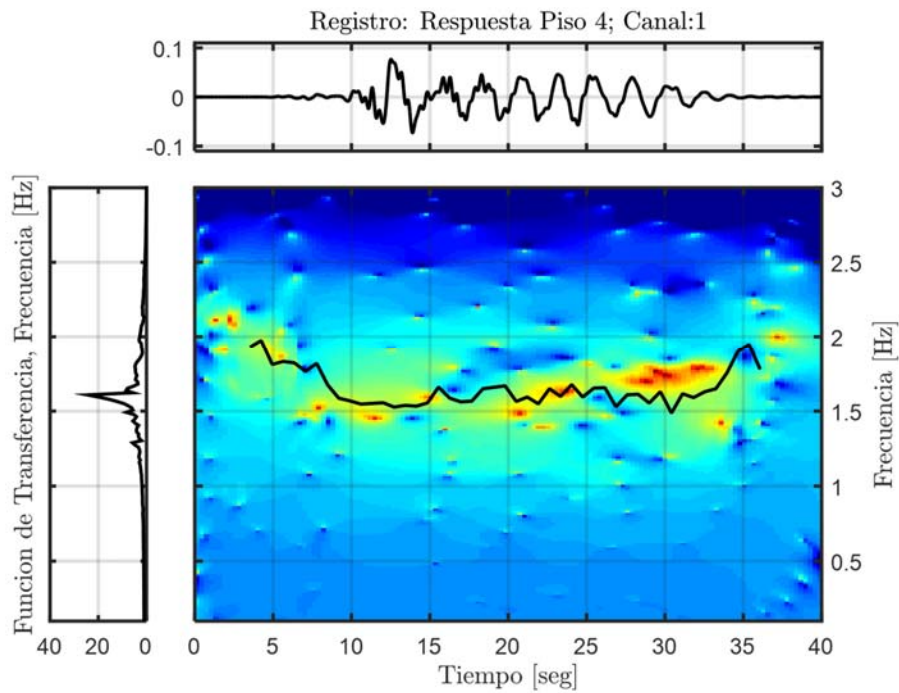


Figura 10.132: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro B11-CNP100.

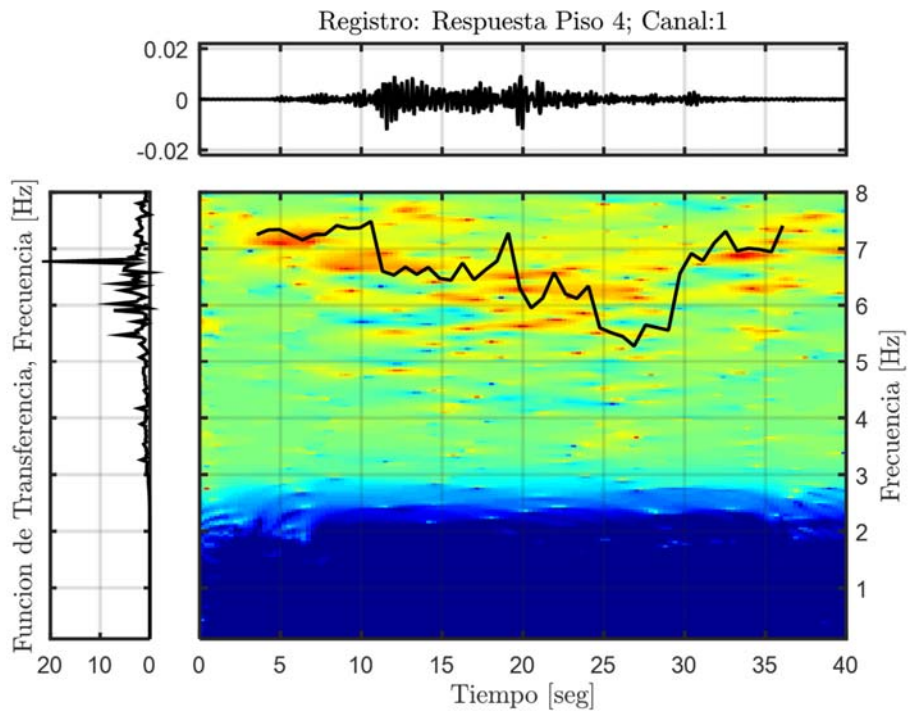


Figura 10.133: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro B11-CNP100.

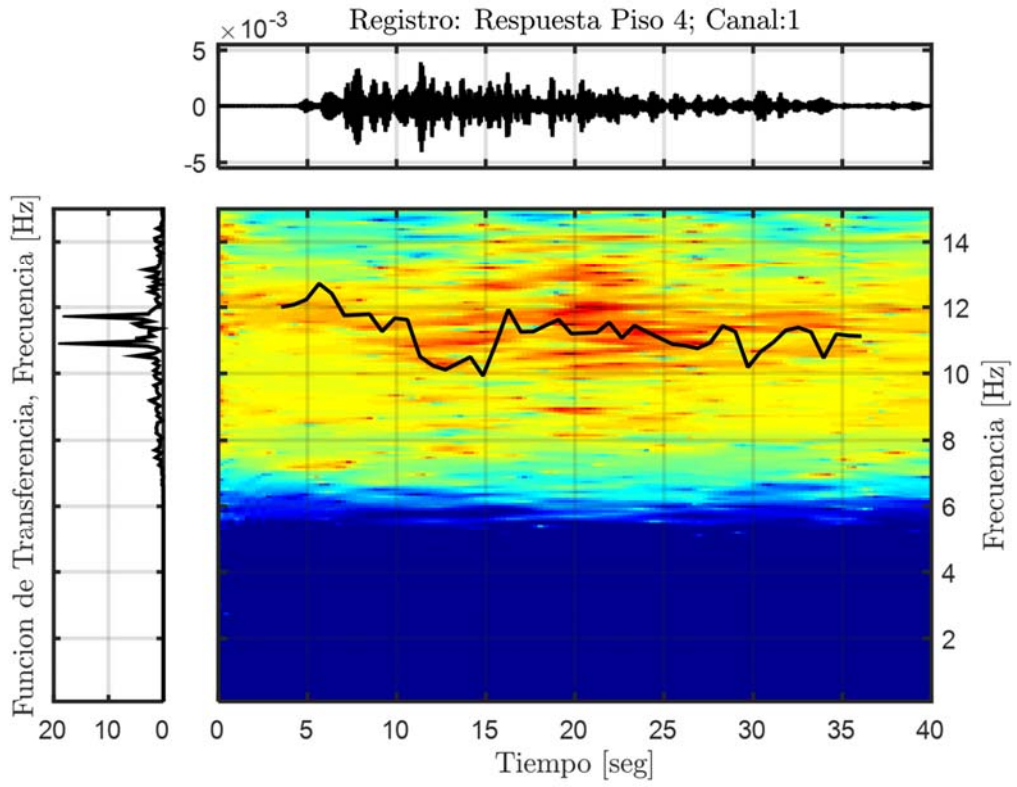


Figura 10.134: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI1-CNP100.

### 10.3.2.1.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.38: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI1-CNP100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	1,558	1,598	1,975	1,053	1,527	1,568	1,948
2	6,609	6,675	7,249	4,740	5,512	6,706	7,409
3	11,292	10,877	12	9,000	10,110	10,772	11,120

### 10.3.2.2 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI2-LAC100

#### 10.3.2.2.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras, la respuesta a nivel sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.135. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.136.

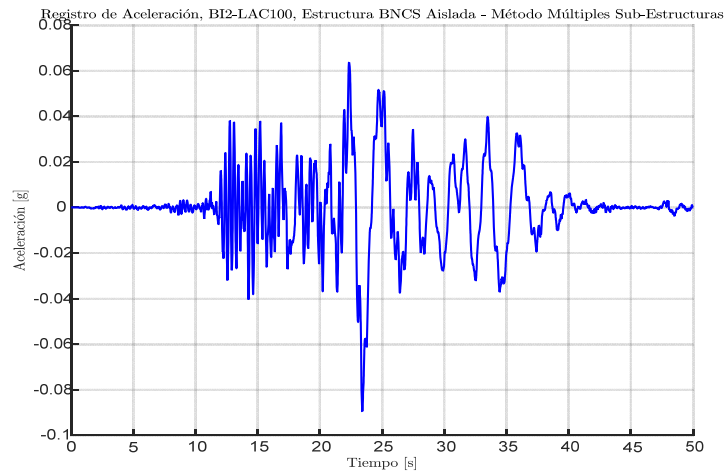


Figura 10.135: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100.

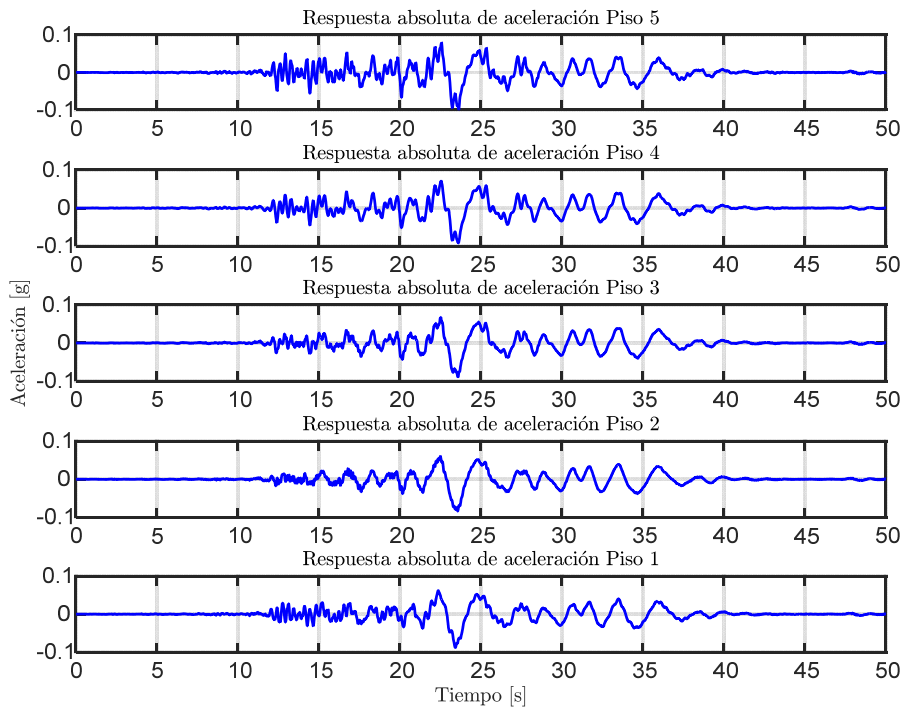


Figura 10.136: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI2-LAC100.

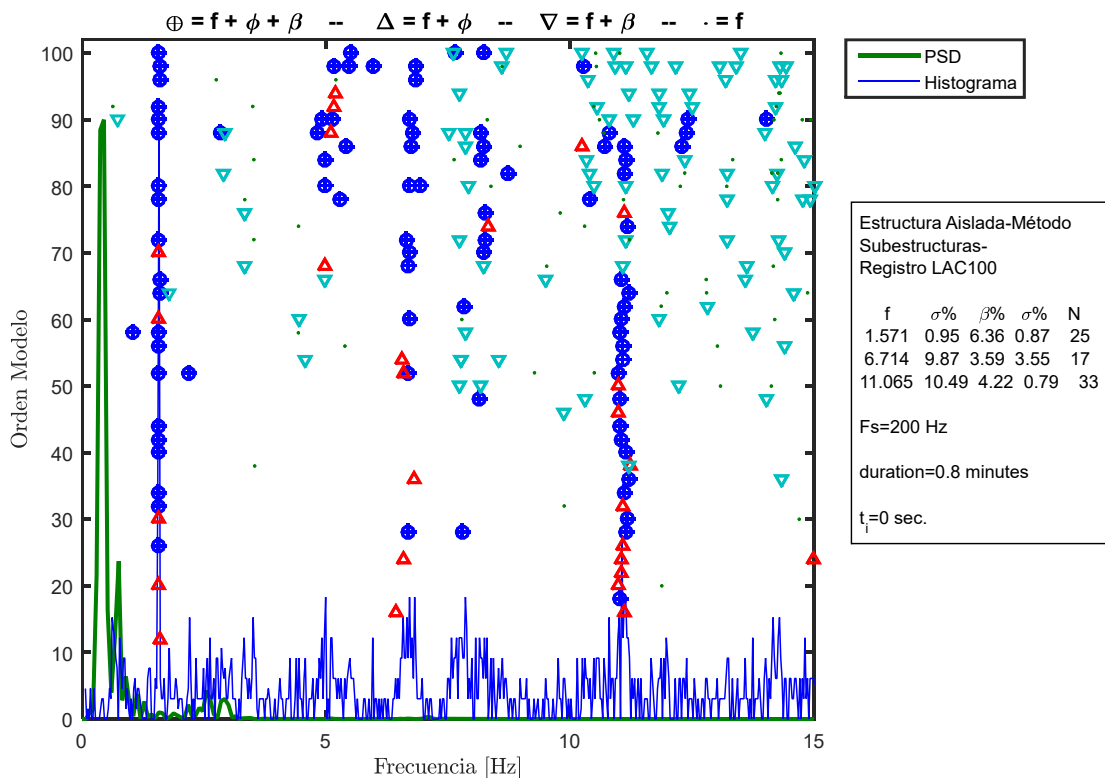
### 10.3.2.2.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.39.

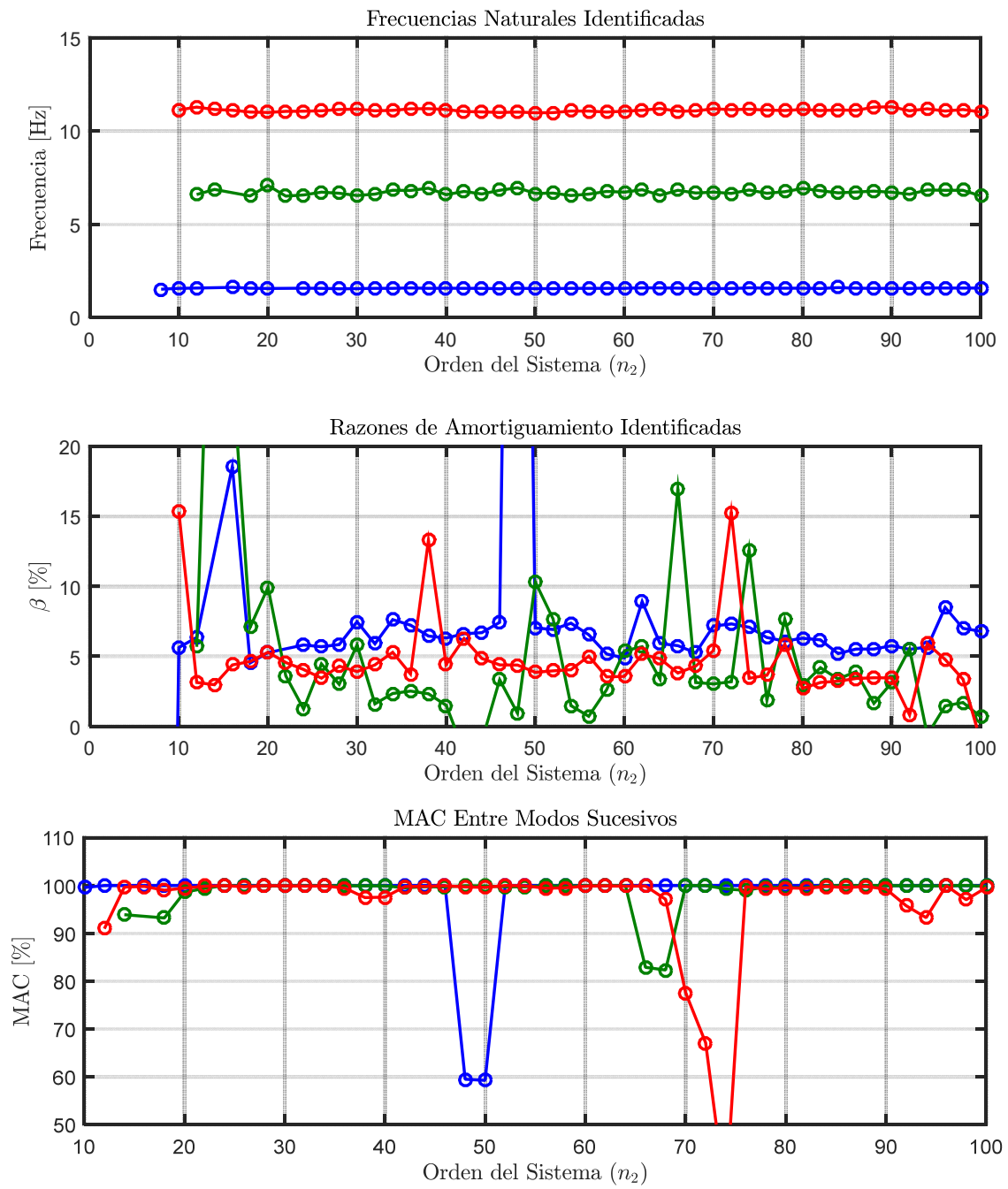
**Tabla 10.39: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI2-LAC100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 10.137: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LCA100.**





**Figura 10.138: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B12-LCA100.**

### 10.3.2.2.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.40.

**Tabla 10.40: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B12-LAC100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	8
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	100
Smin	2823
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,705
Cantidad de ventanas	97
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,25
Ventana 2	34
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	14
Ventana 3	79
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	45
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.139, Figura 10.140 y Figura 10.141 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

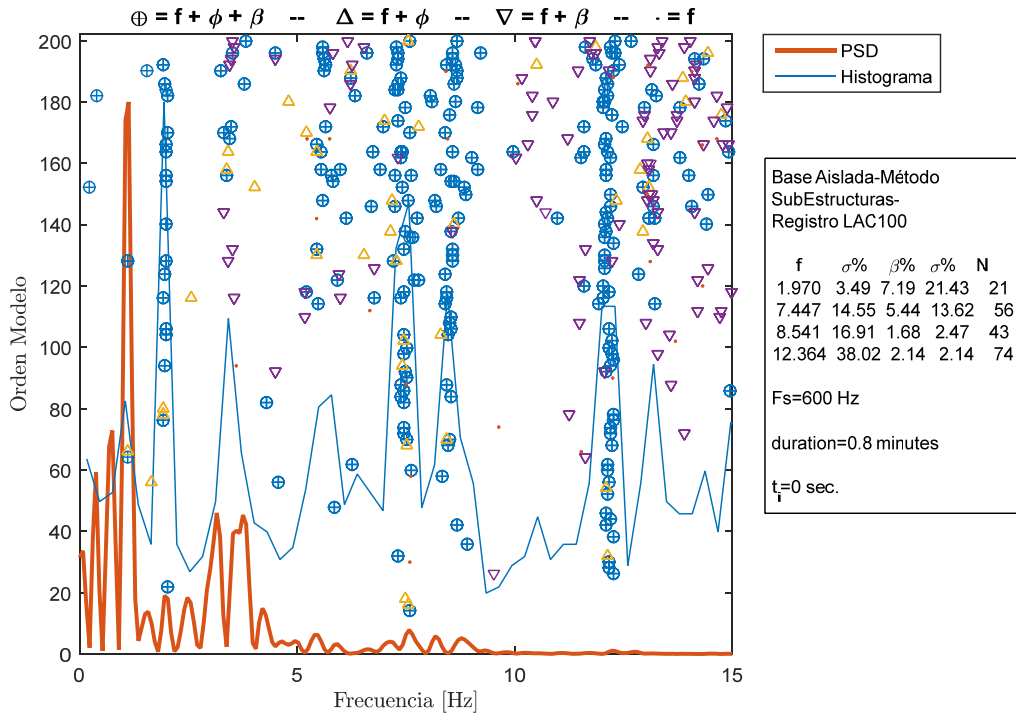


Figura 10.139: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI2-LAC100.

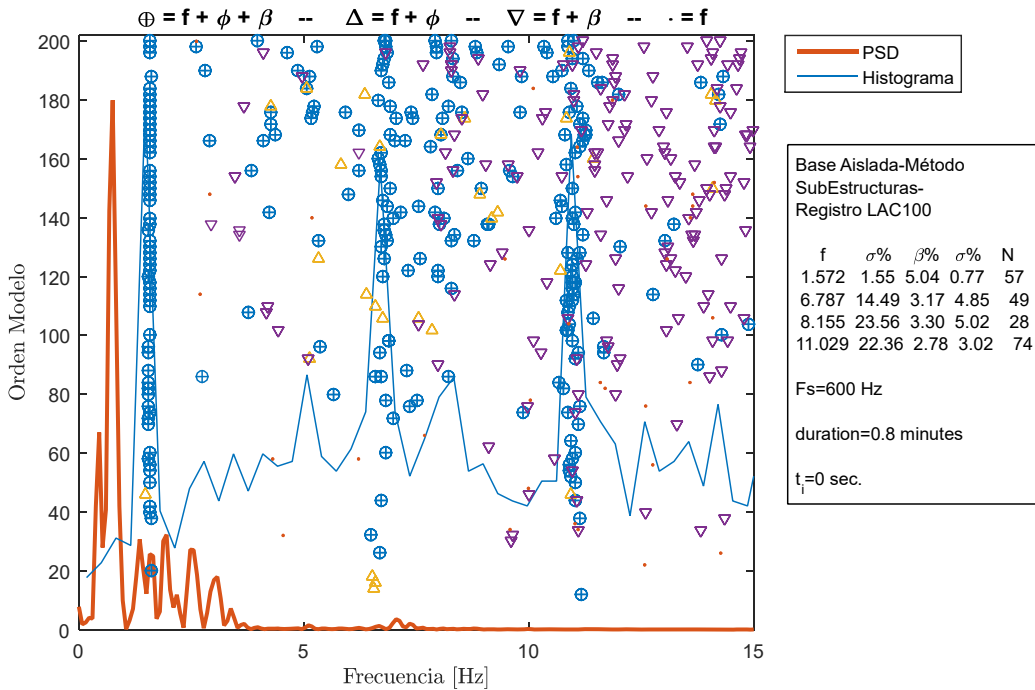
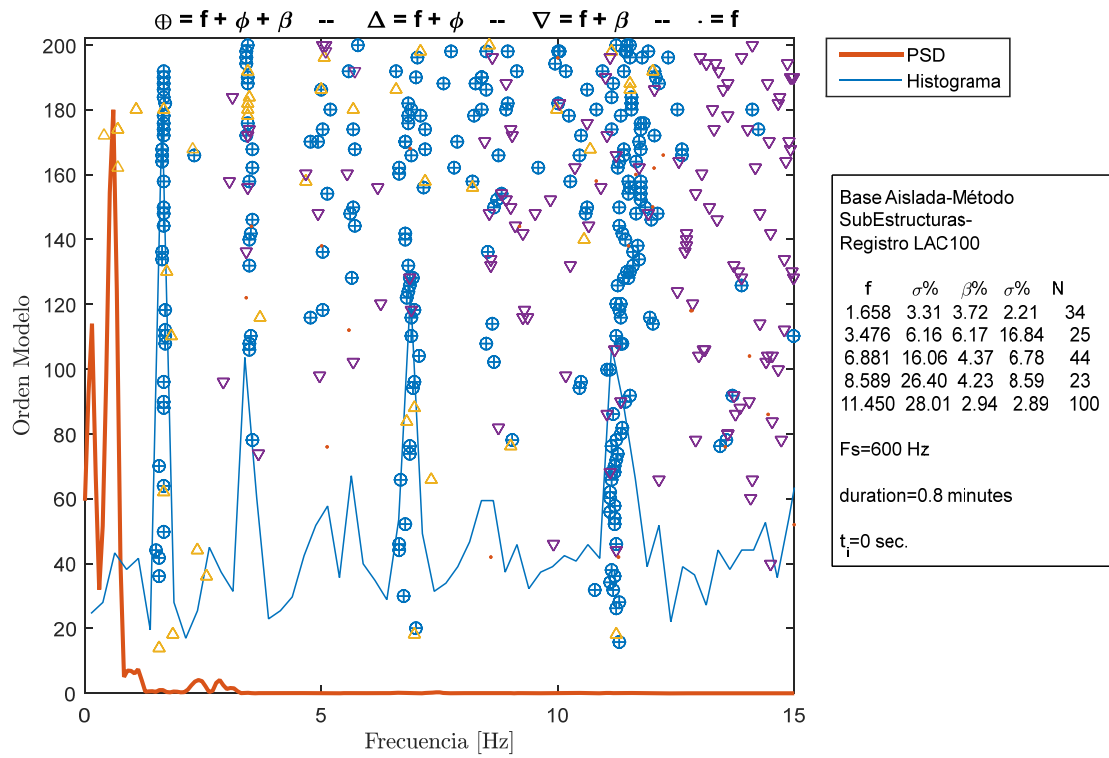


Figura 10.140: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI2-LAC100.



**Figura 10.141: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI2-LAC100.**

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.142 hasta la Figura 10.145.

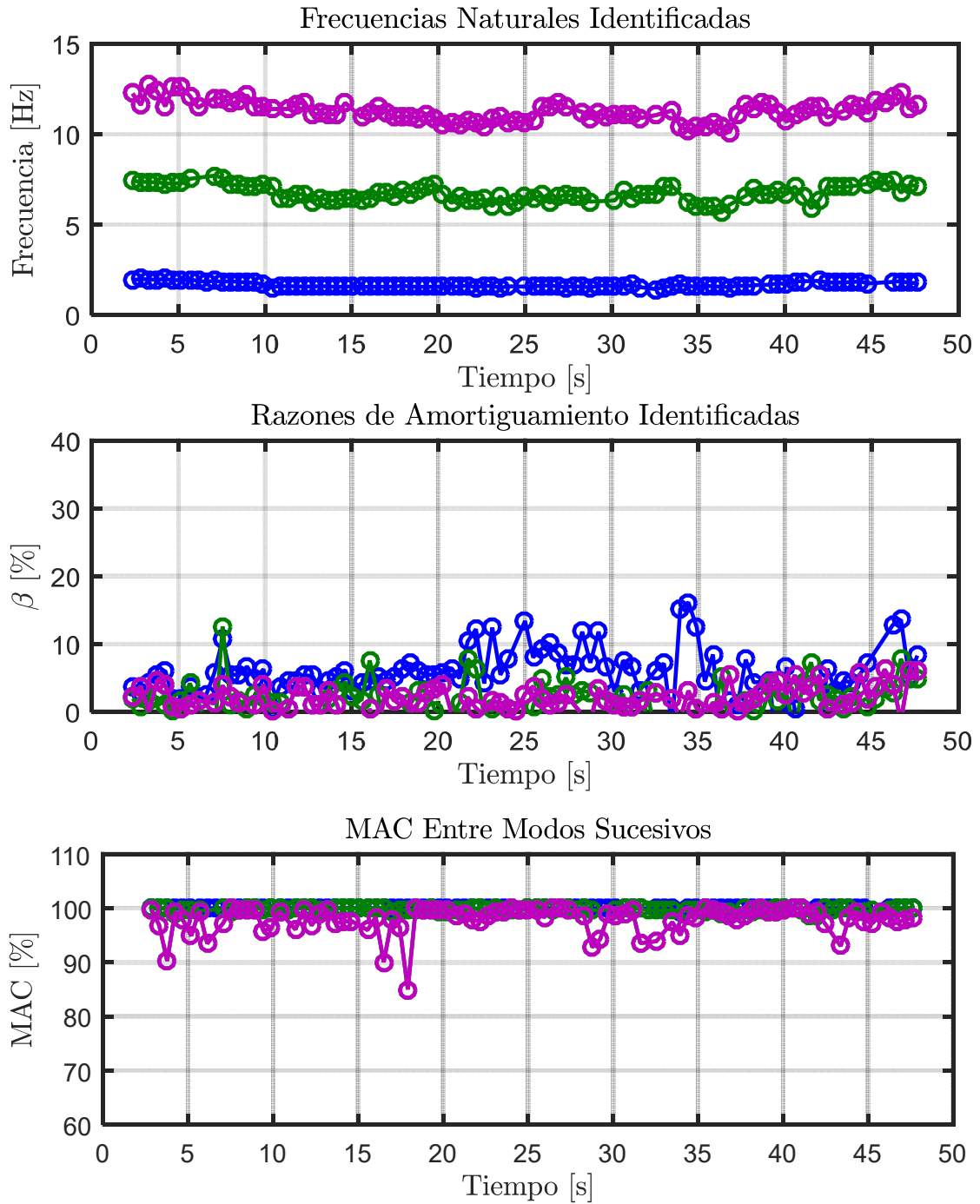


Figura 10.142: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI2-LAC100.

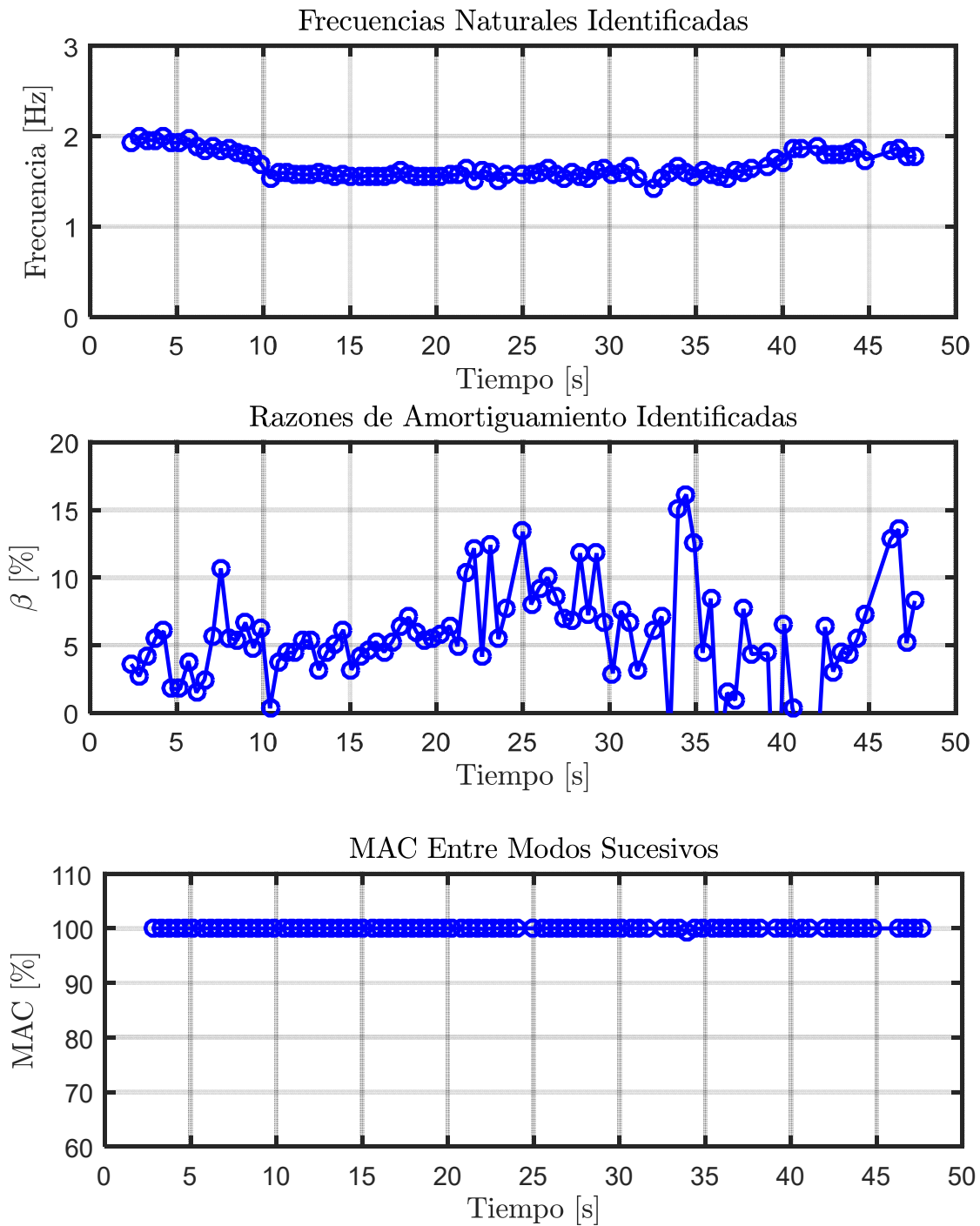


Figura 10.143: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B12-LAC100.

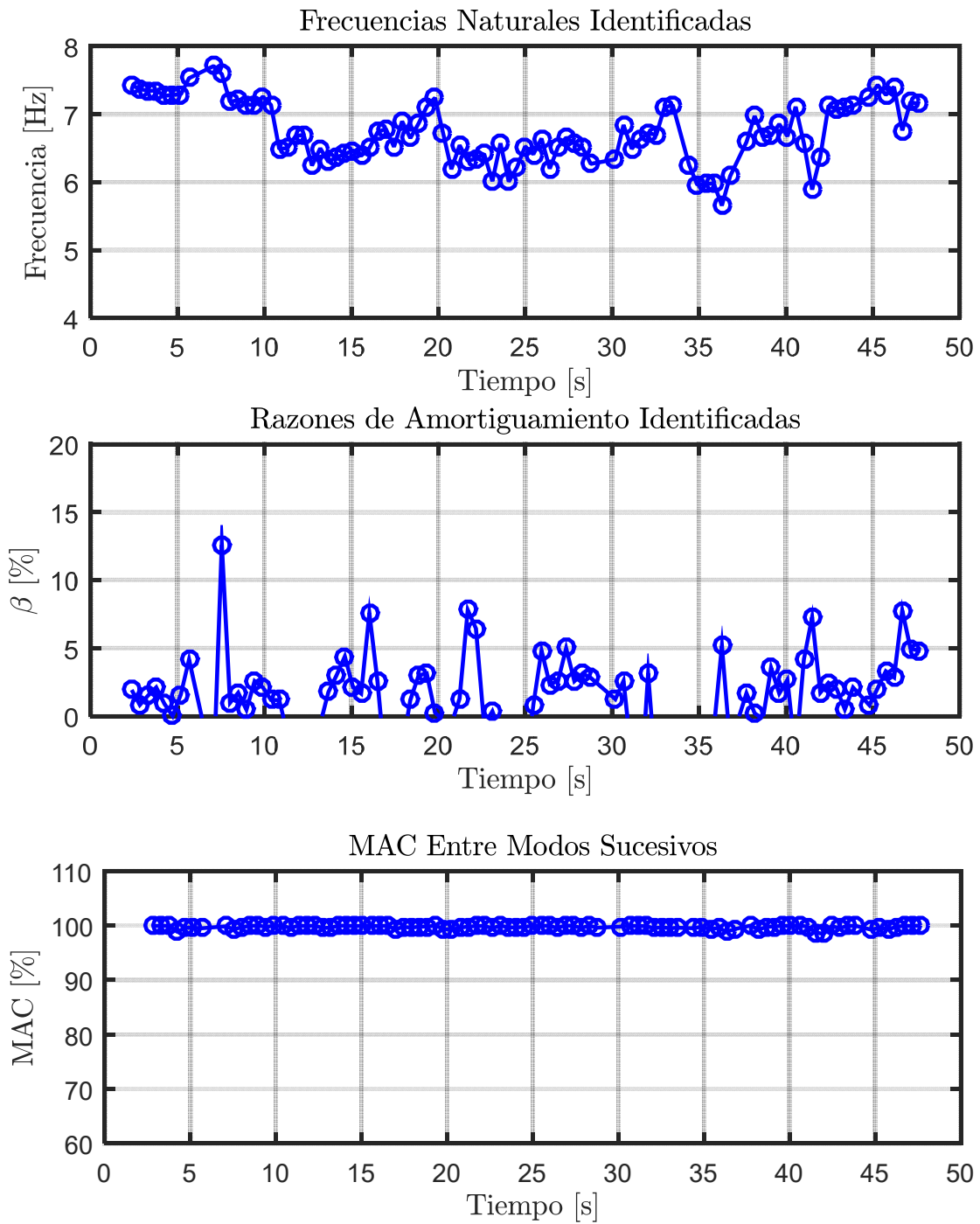


Figura 10.144: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B12-LAC100.

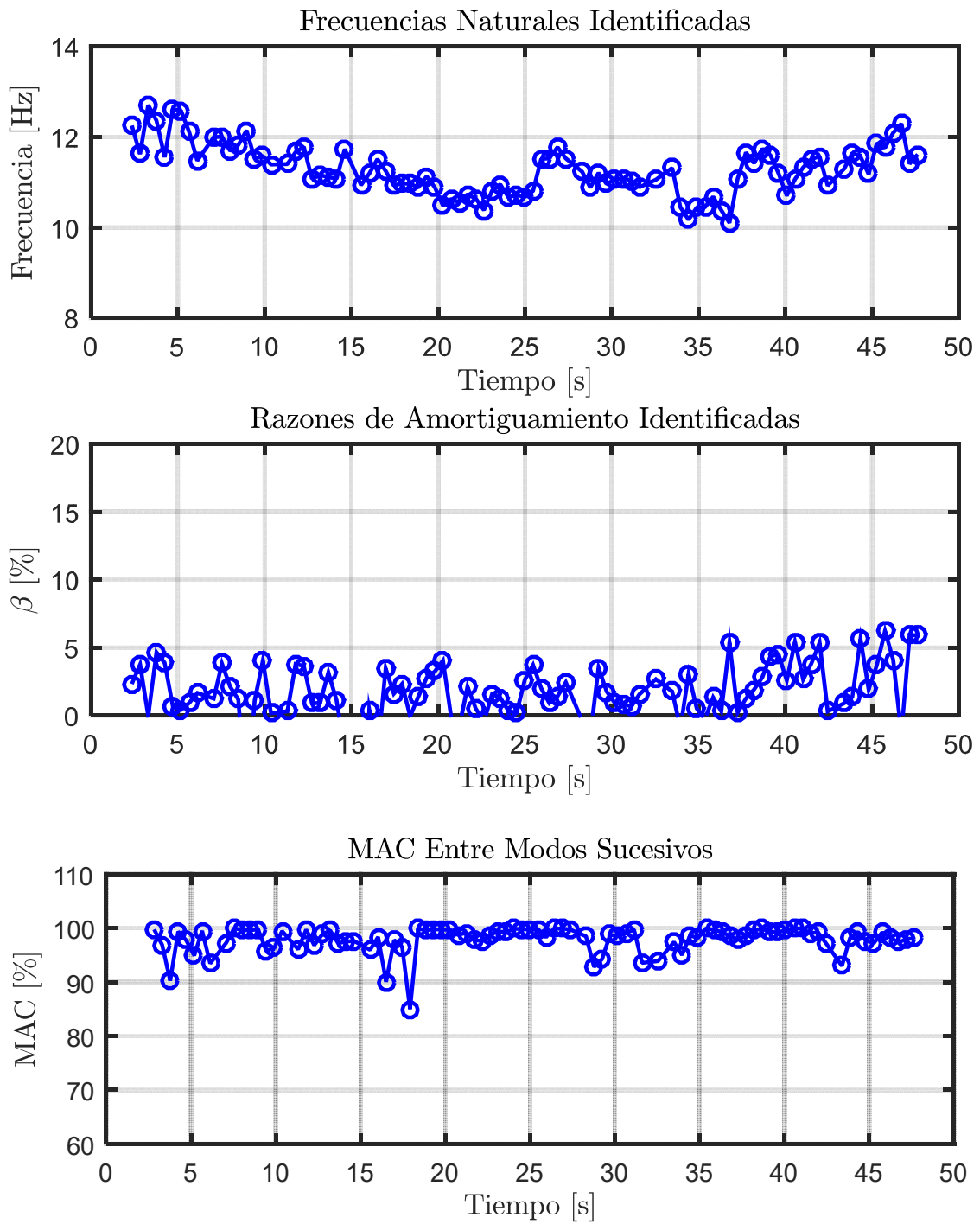


Figura 10.145: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B12-LAC100.



#### 10.3.2.2.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

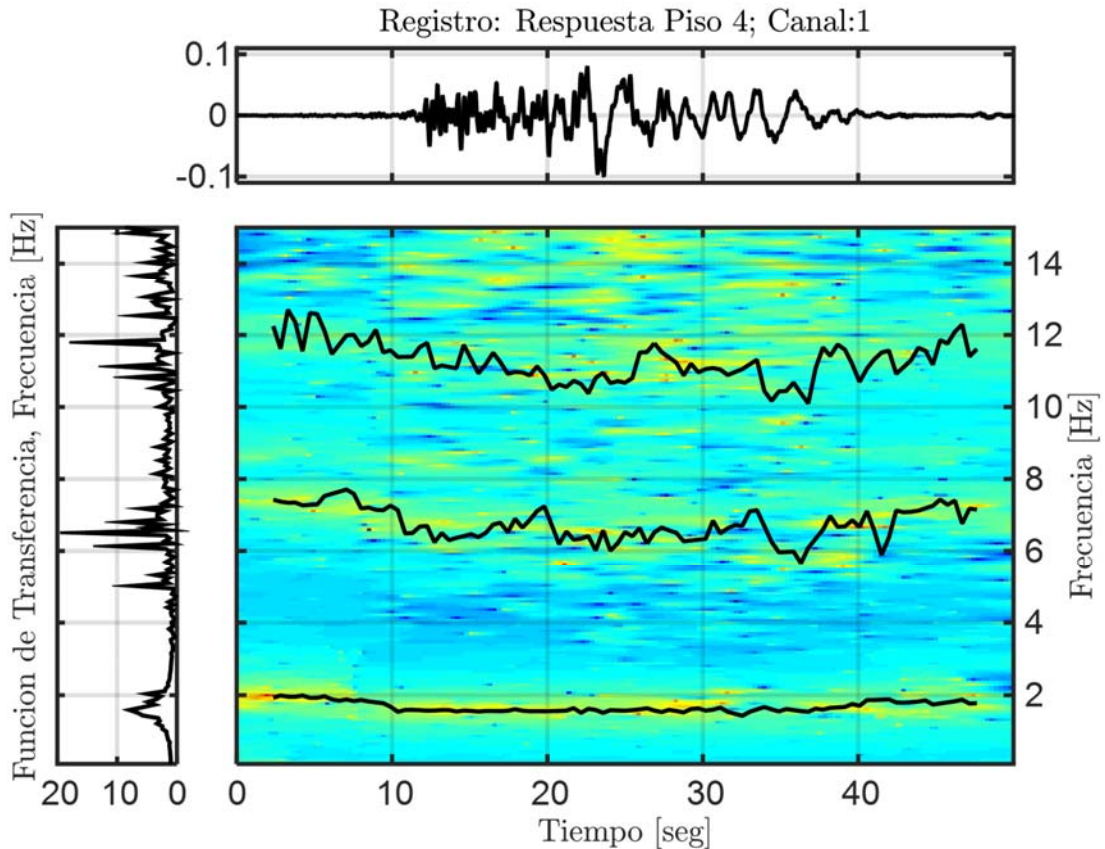


Figura 10.146: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro B12-LAC100.

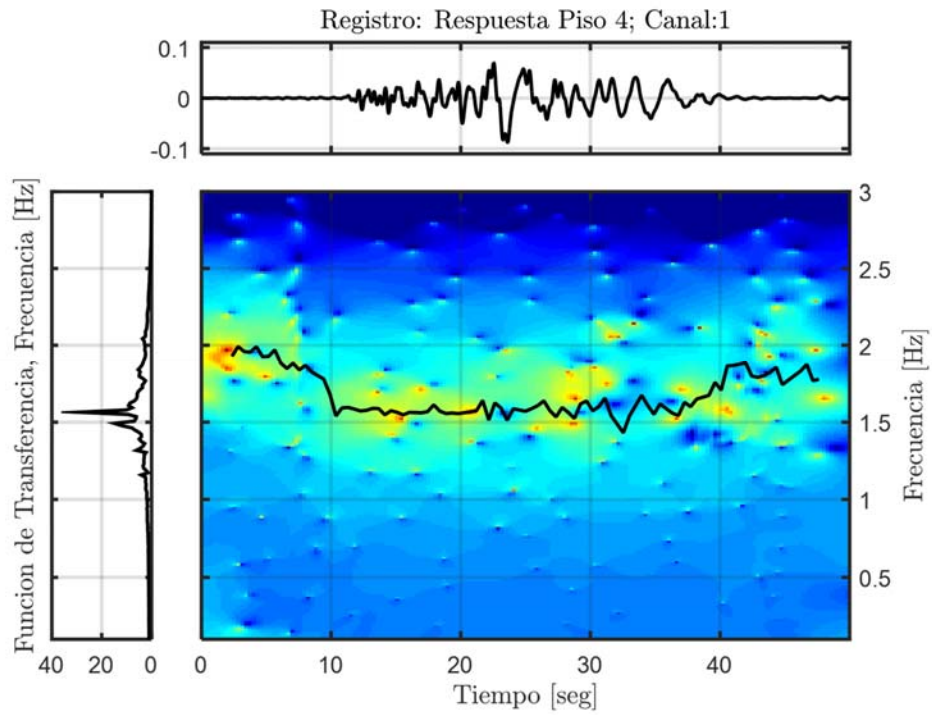


Figura 10.147: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI2-LAC100.

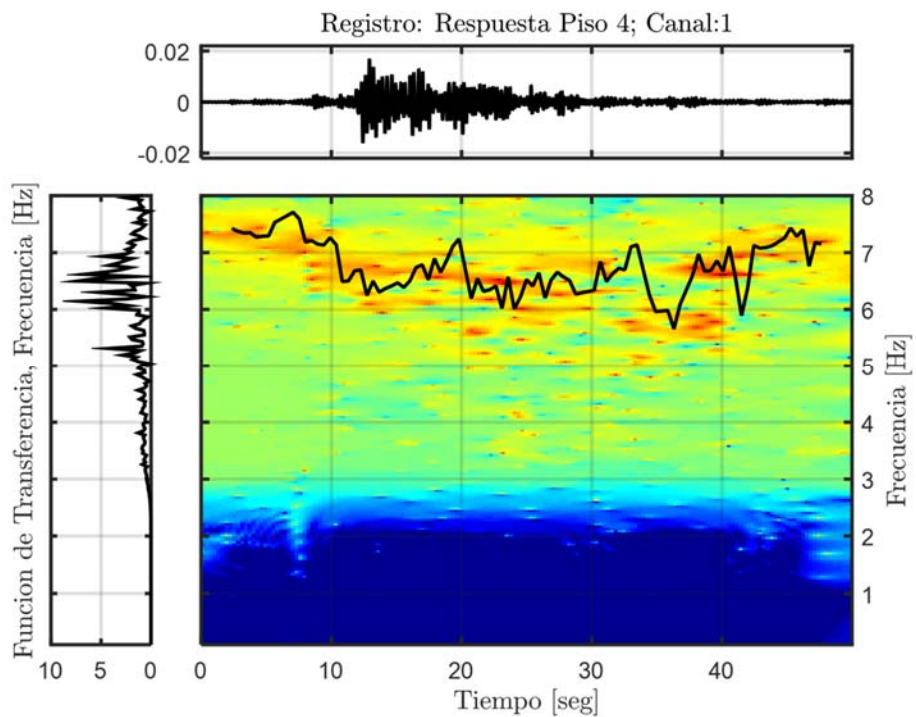
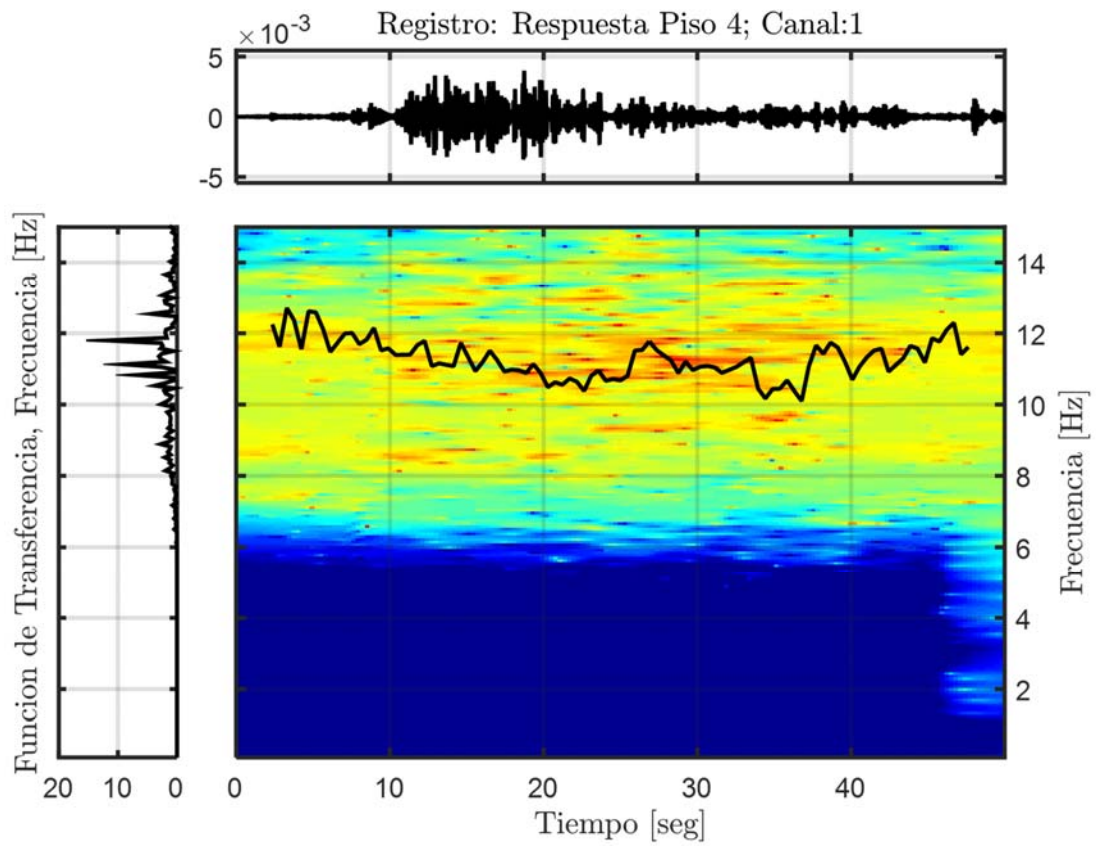


Figura 10.148: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI2-LAC100.



**Figura 10.149:** Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI2-LAC100.

### 10.3.2.2.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.41: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LAC100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	1,571	1,598	1,992	1,053	1,548	1,568	1,874
2	6,714	6,675	7,426	4,740	6,016	6,706	7,178
3	11,065	10,877	12,25	9,000	10,560	10,772	12,29

### 10.3.2.3 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI3-LAC100 2

#### 10.3.2.3.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras, la respuesta a nivel sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.150. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.151.

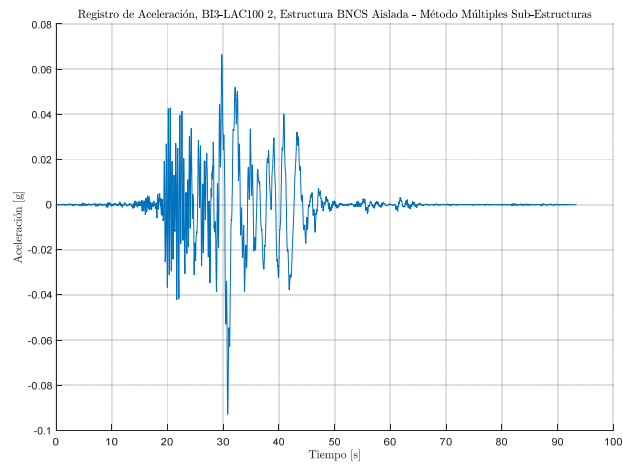


Figura 10.150: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2.

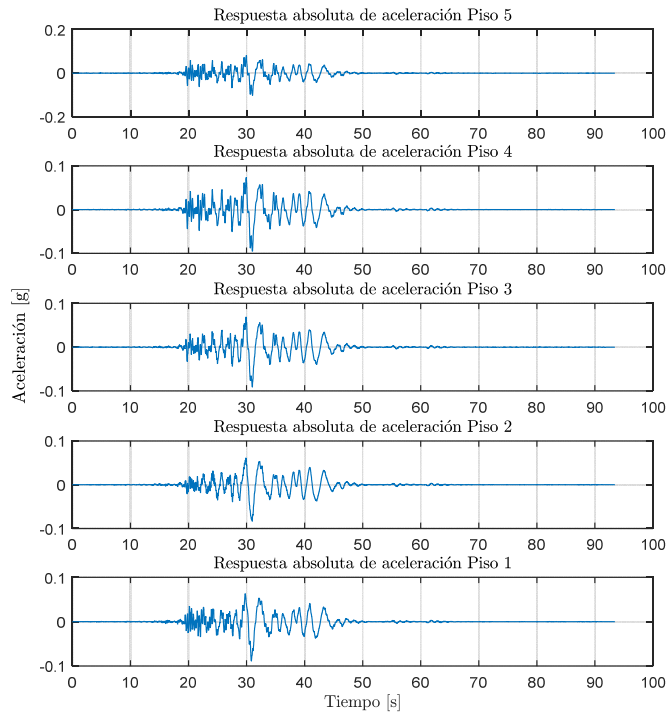


Figura 10.151: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2.

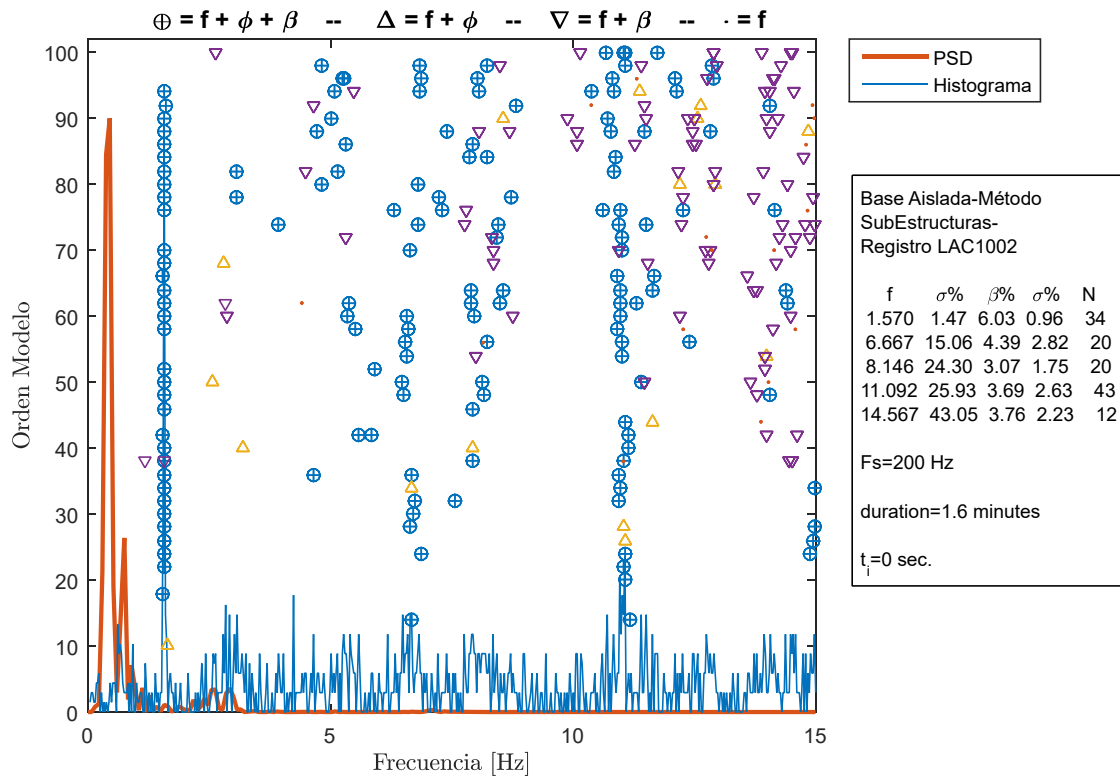
### 10.3.2.3.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.42.

**Tabla 10.42: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI3-LAC100 2.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 10.152: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI2-LCA100.**

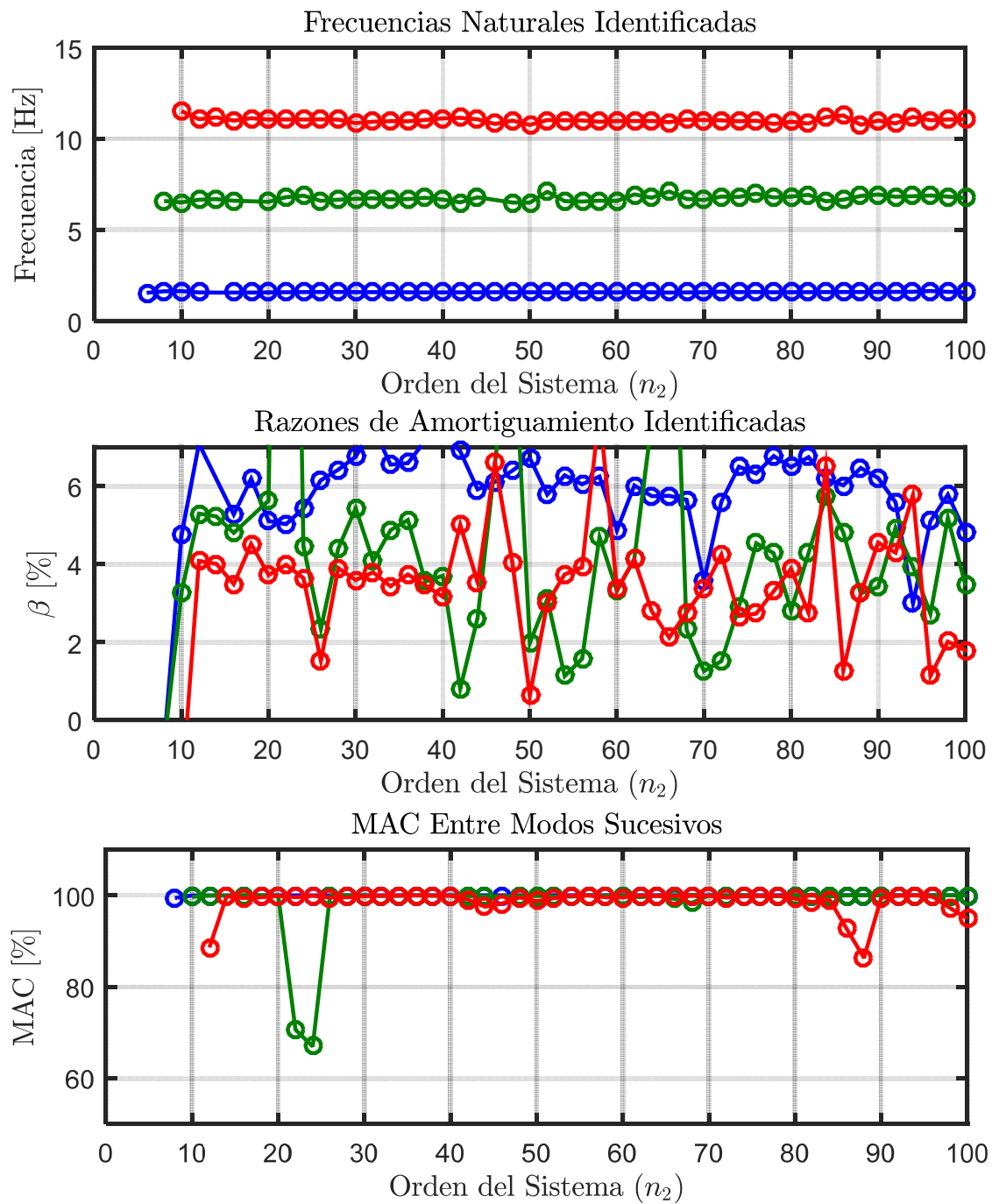


Figura 10.153: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LCA100 2.

### 10.3.2.3.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.43.

**Tabla 10.43: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	8
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	100
Smin	2823
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,705
Cantidad de ventanas	97
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,25
Ventana 2	34
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	14
Ventana 3	79
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	45
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	800

En la Figura 10.154, Figura 10.155 y Figura 10.156 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.



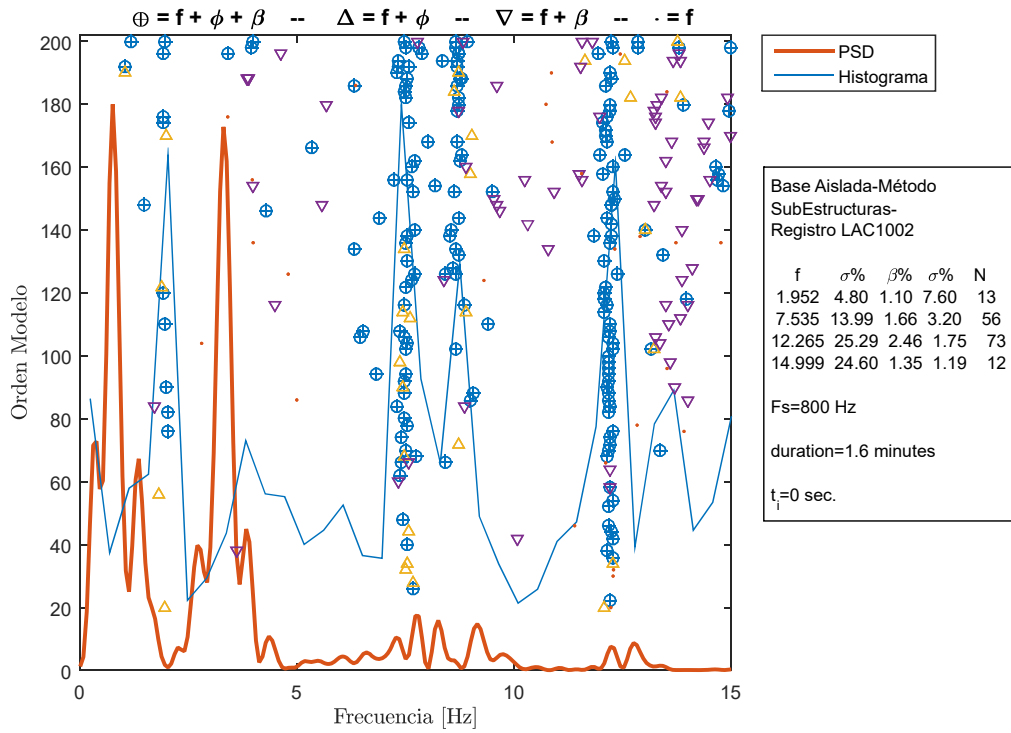


Figura 10.154: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI3-LAC100 2.

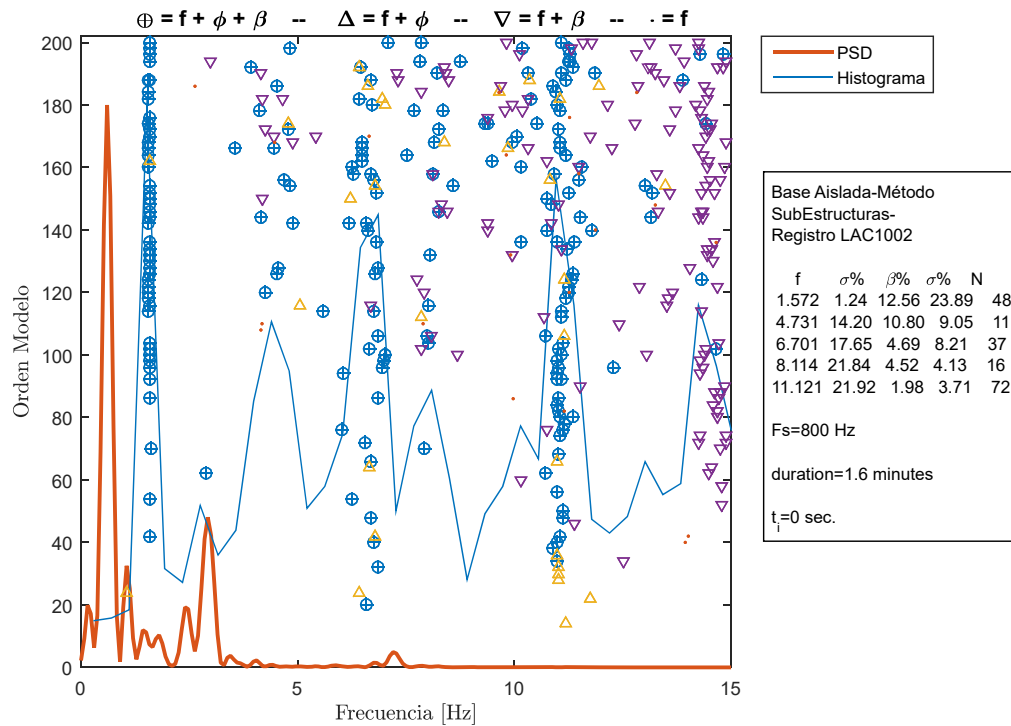


Figura 10.155: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI3-LAC100 2.

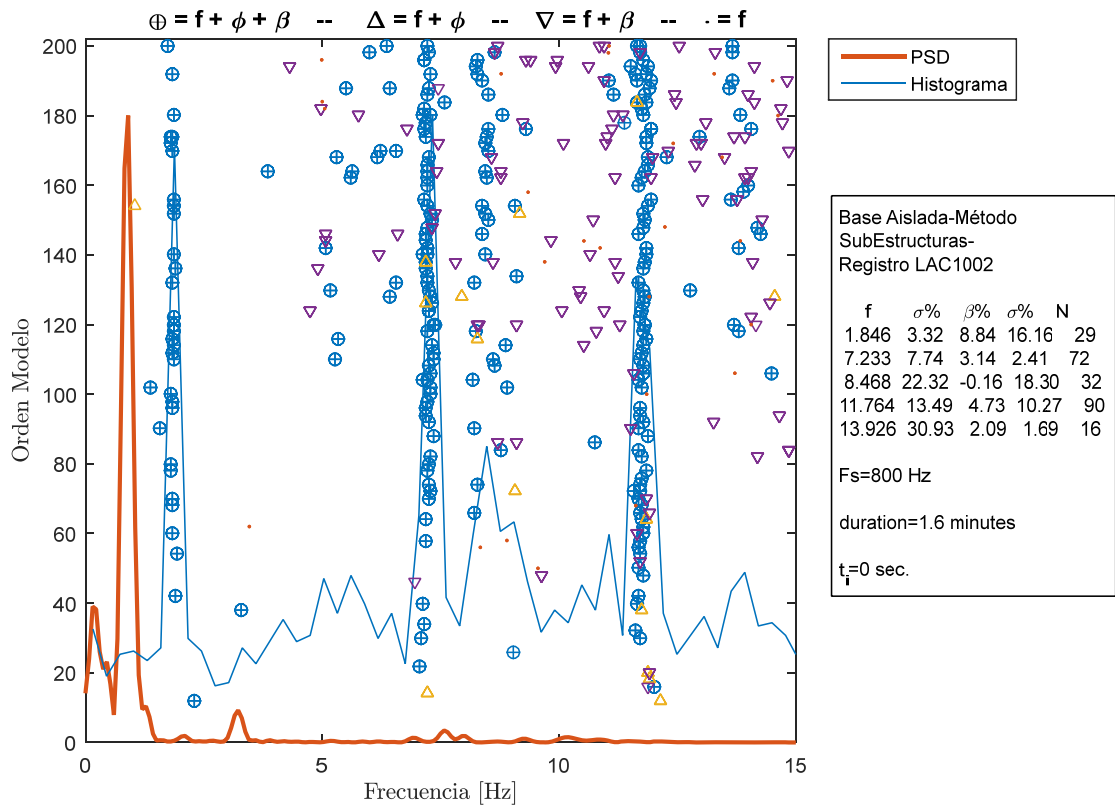


Figura 10.156: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI3-LAC100 2.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.157 hasta la Figura 10.160.

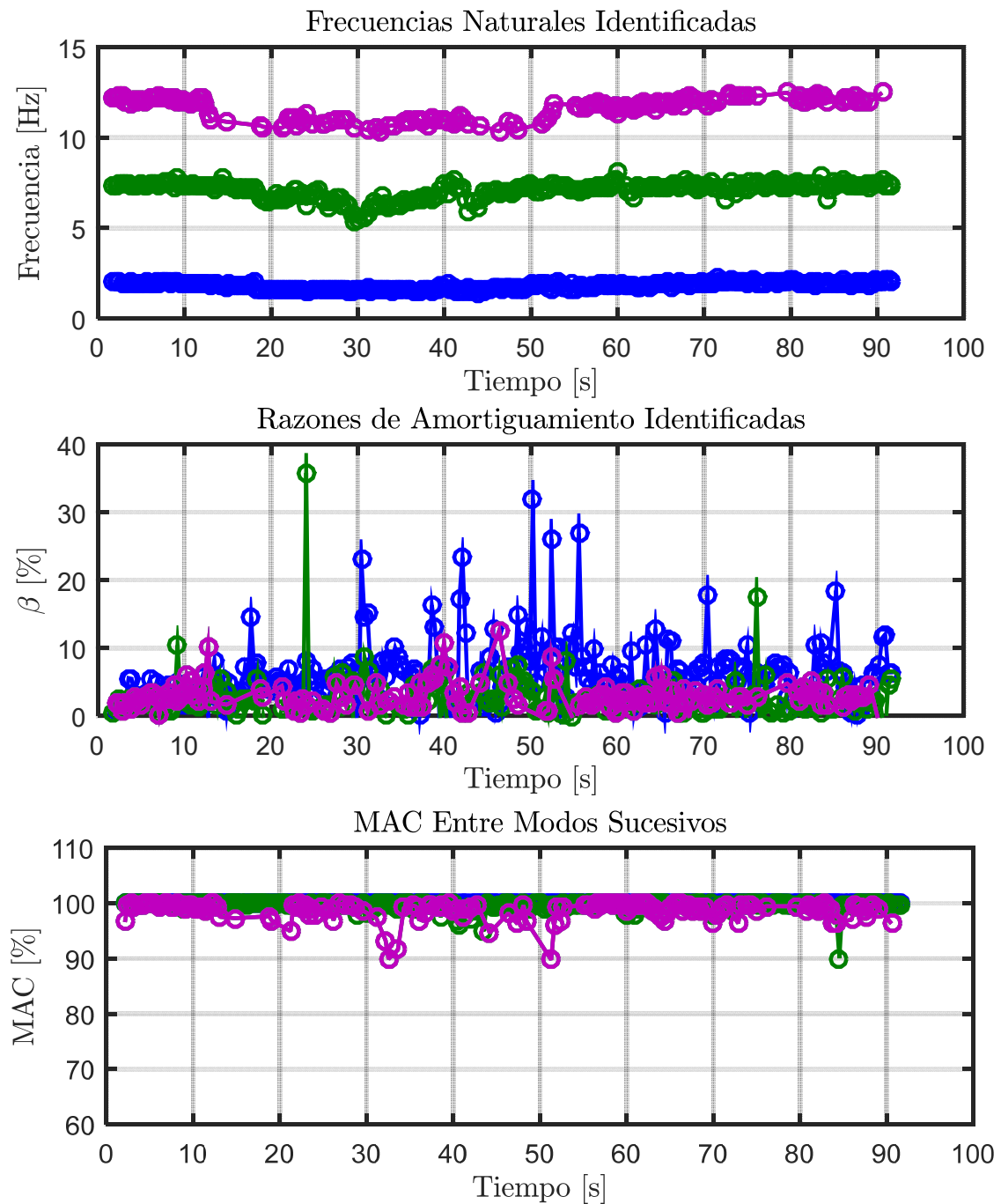
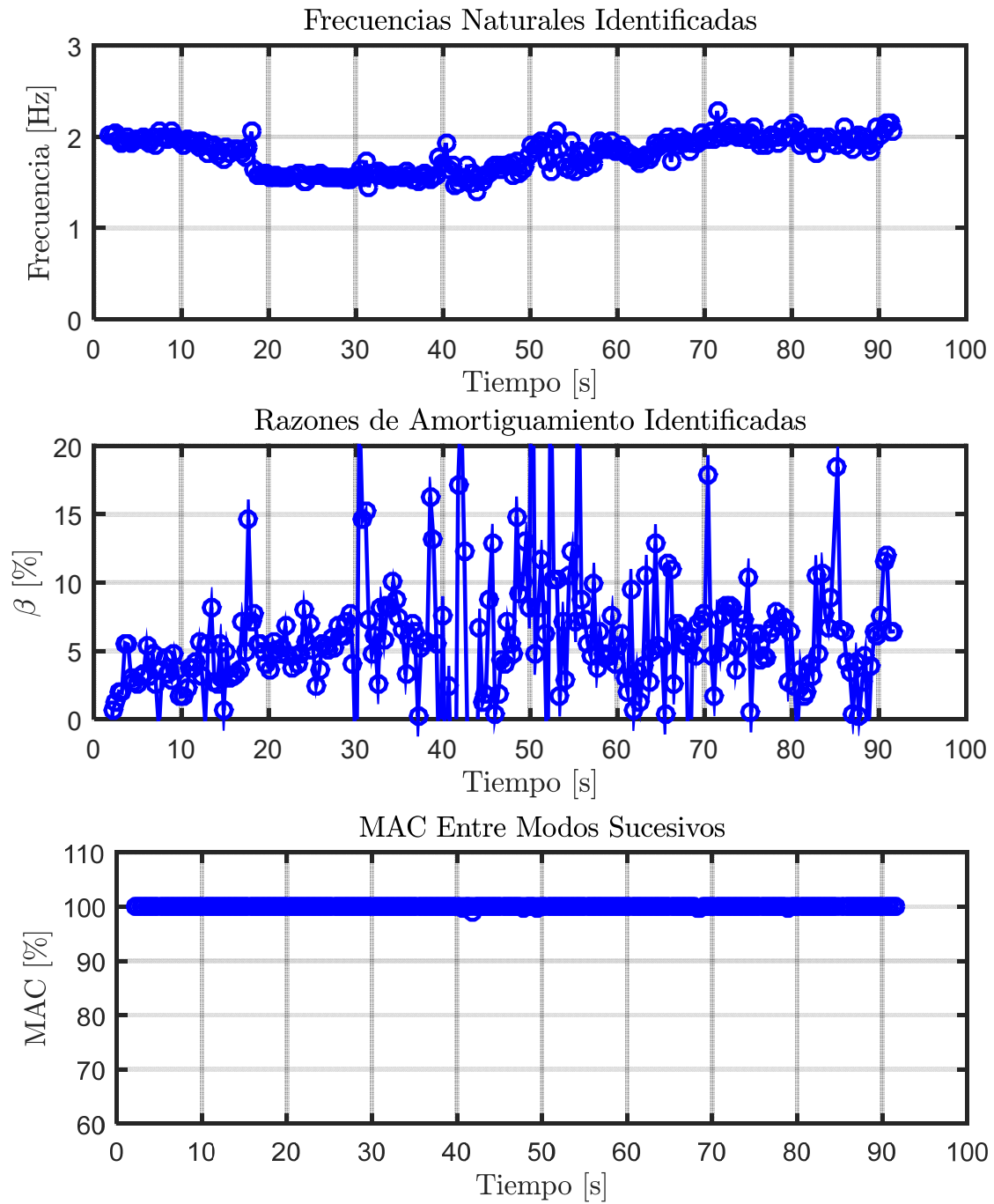


Figura 10.157: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI3-LAC100 2.



**Figura 10.158:** Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.

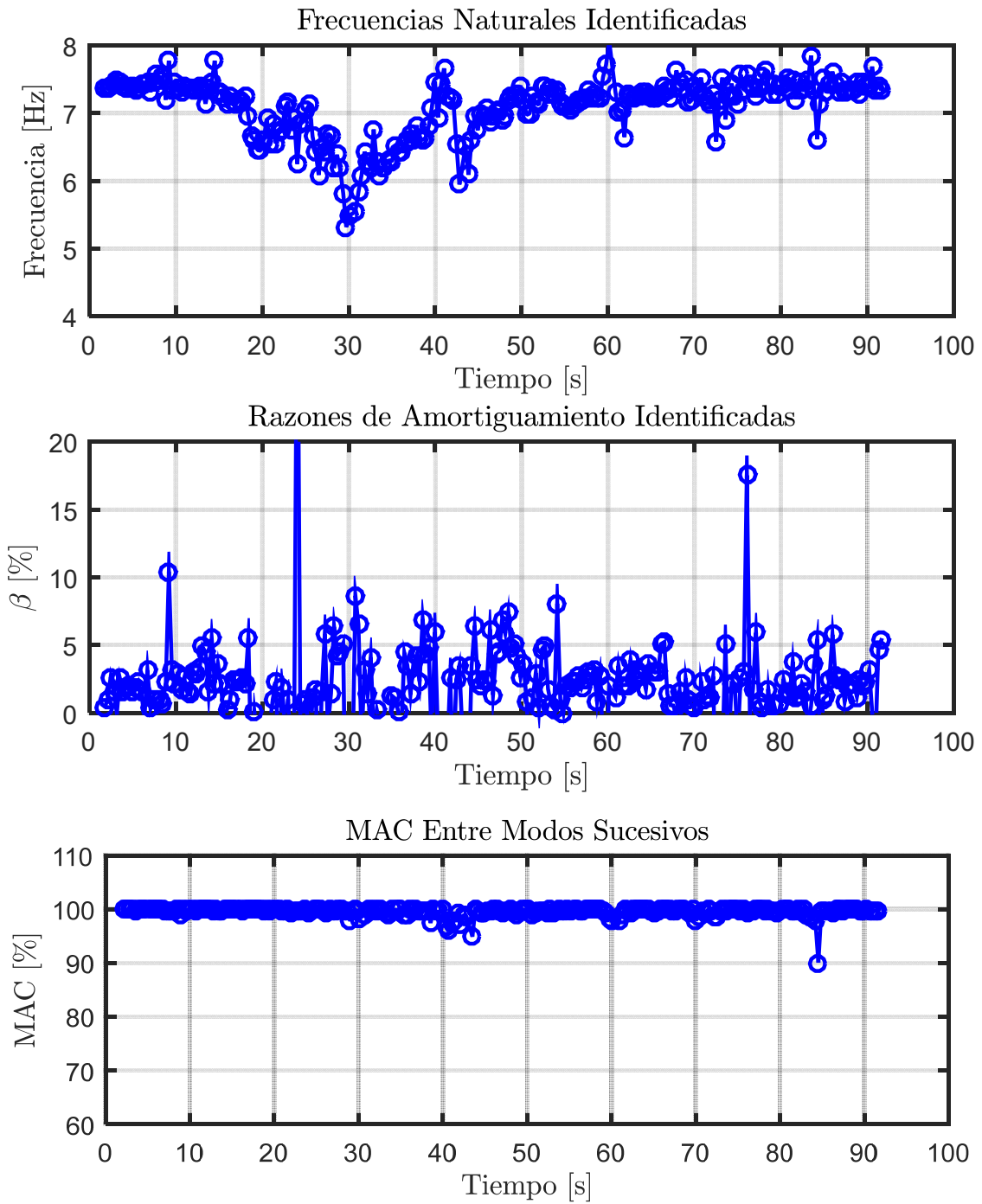


Figura 10.159: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.

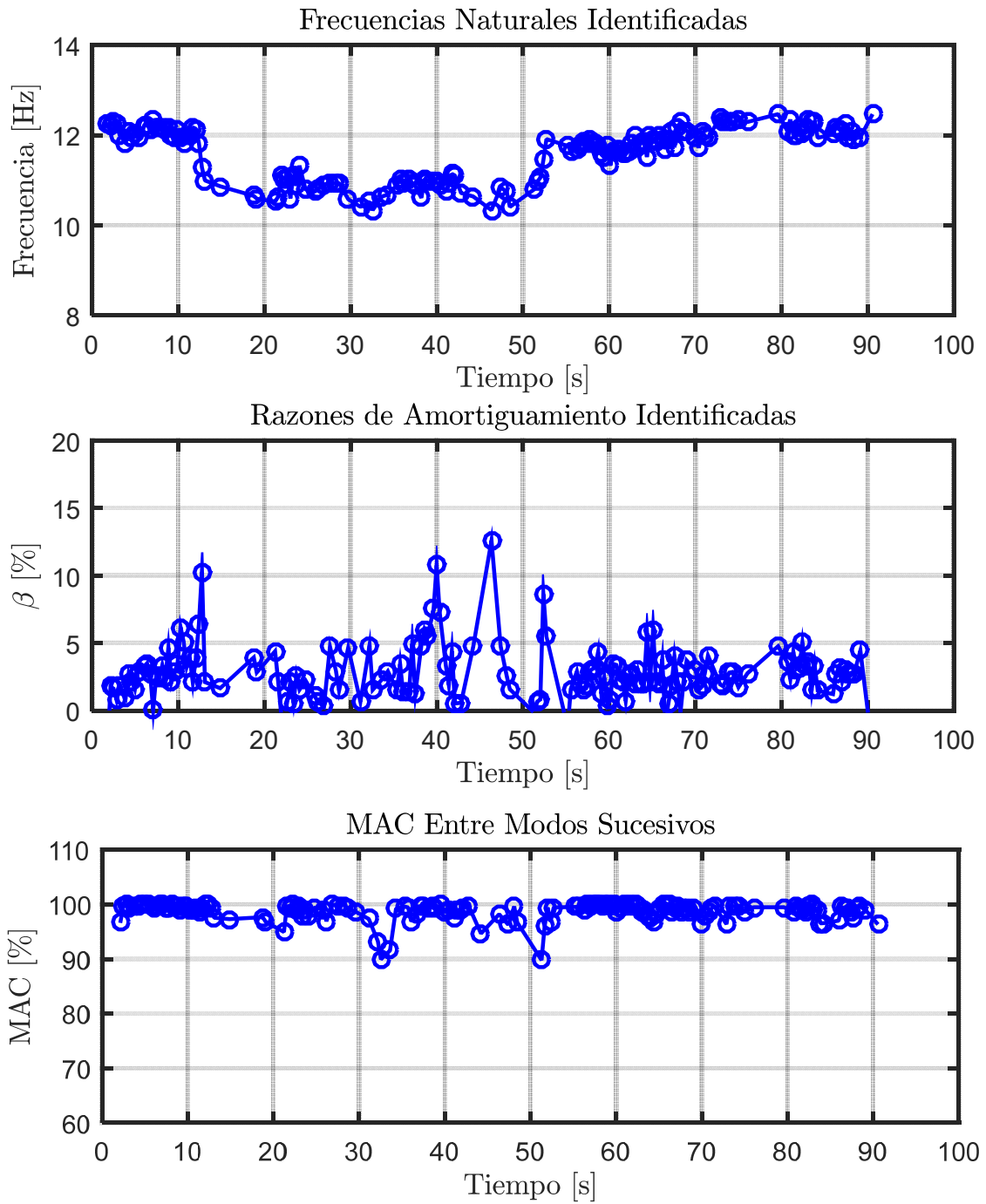
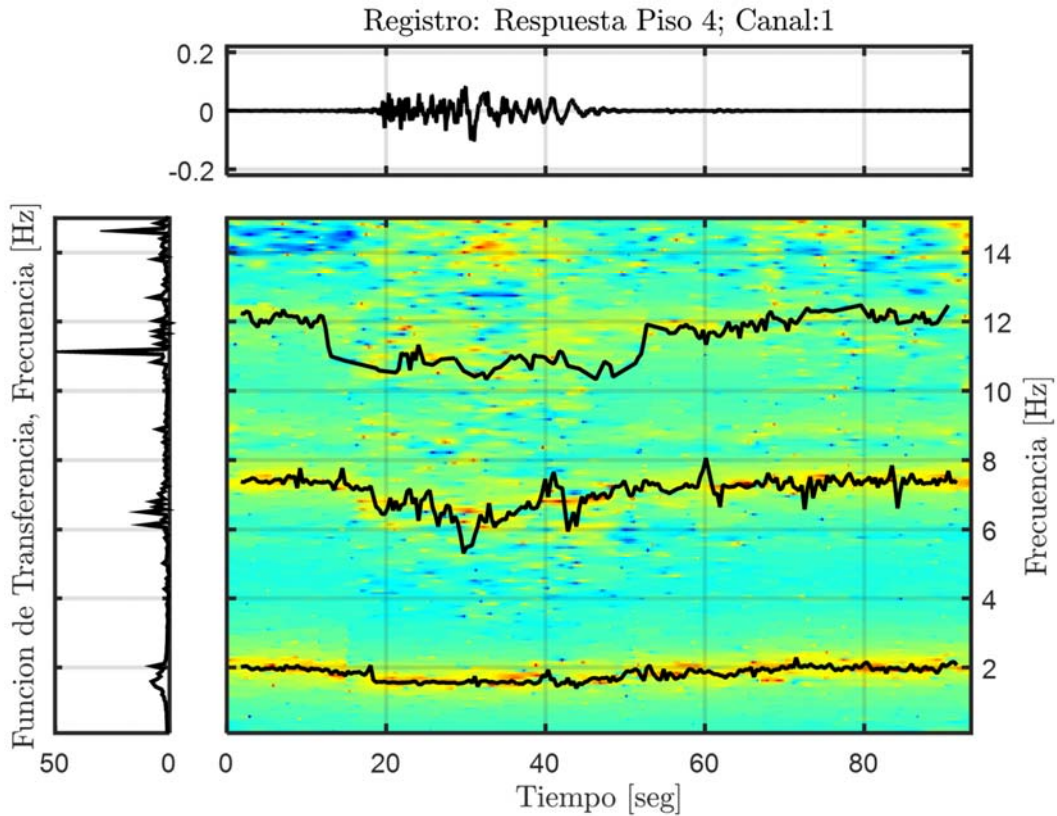


Figura 10.160: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B13-LAC100 2.

#### 10.3.2.3.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.



**Figura 10.161:** Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2.

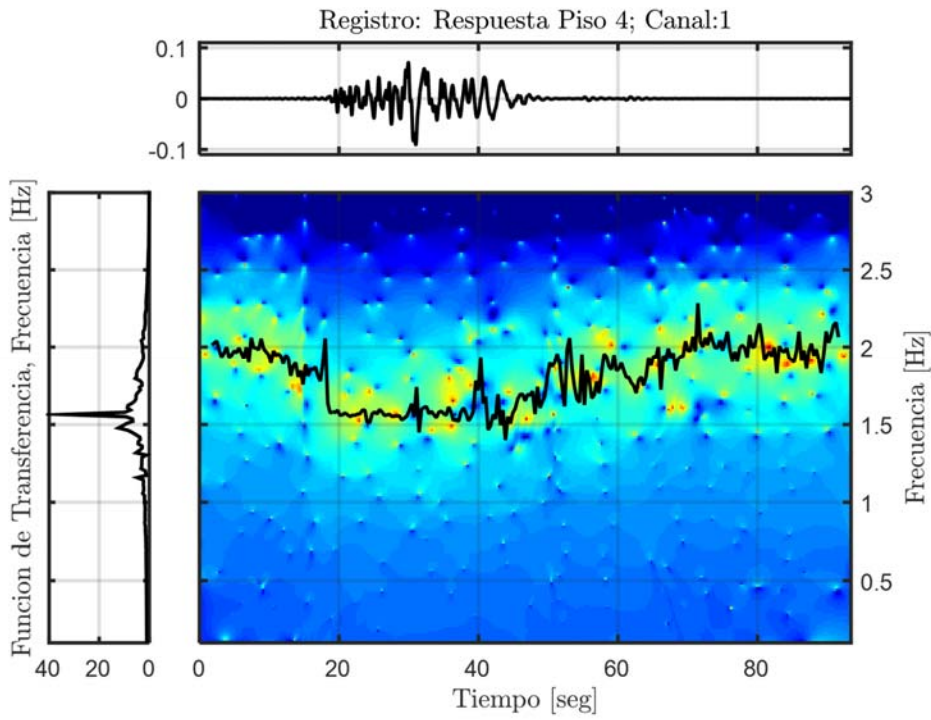


Figura 10.162: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI3-LAC100 2.

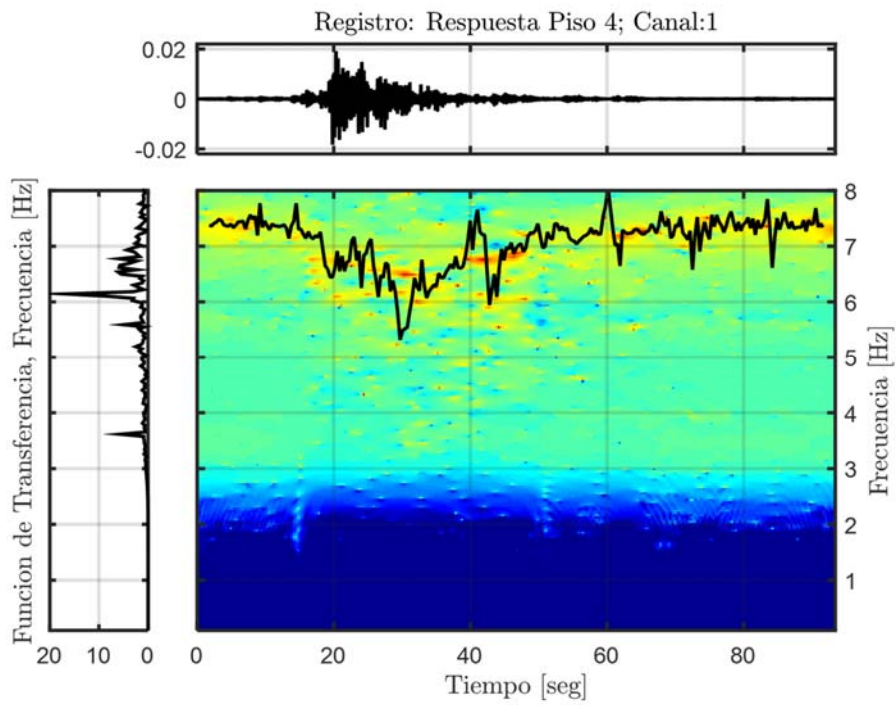


Figura 10.163: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI3-LAC100 2.



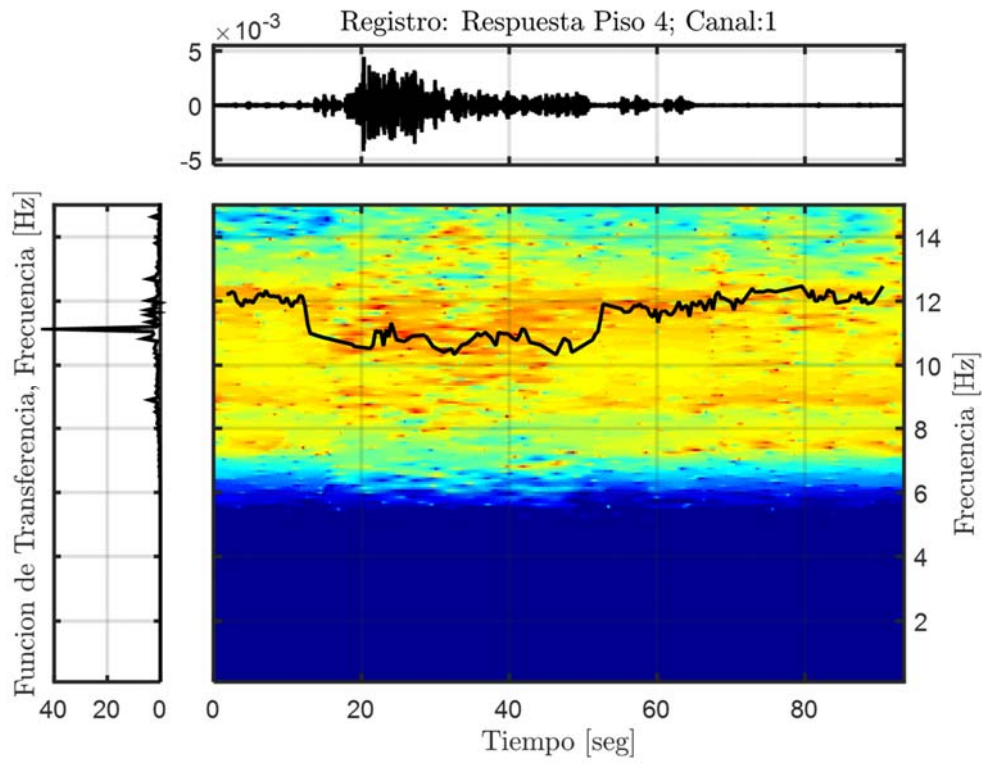


Figura 10.164: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI3-LAC100 2.

### 10.3.2.3.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.44: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI3-LAC100 2.**

Modos	f <sub>AI</sub> [Hz]	f <sub>Gutiérrez</sub> (inicial) [Hz]	f <sub>AV</sub> (inicial) [Hz]	f <sub>Gutiérrez</sub> (mínima) [Hz]	f <sub>AV</sub> (mínima) [Hz]	f <sub>Gutiérrez</sub> (final) [Hz]	f <sub>AV</sub> (final) [Hz]
1	1,570	1,598	1,992	1,053	1,548	1,568	1,874
2	6,667	6,675	7,426	4,740	6,016	6,706	7,178
3	11,092	10,877	12,25	9,000	10,560	10,772	12,29

### 10.3.2.4 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI5-ICA50

#### 10.3.2.4.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras, la respuesta a nivel sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.165. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.166.

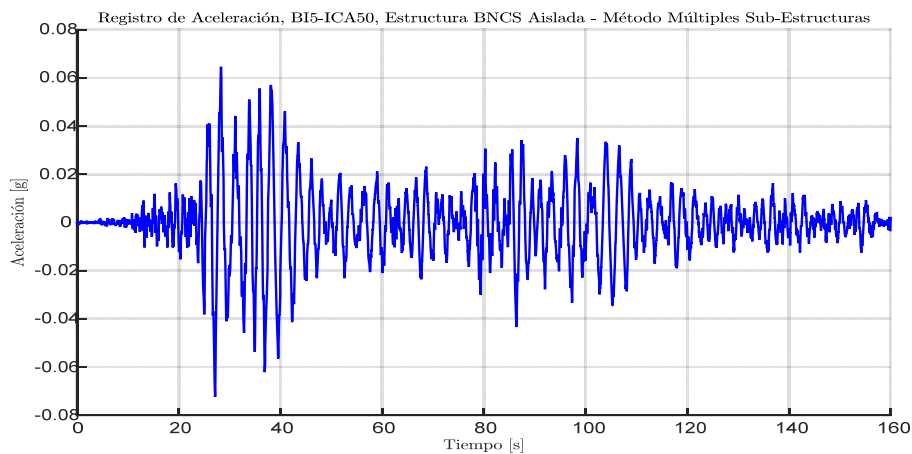


Figura 10.165: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50.

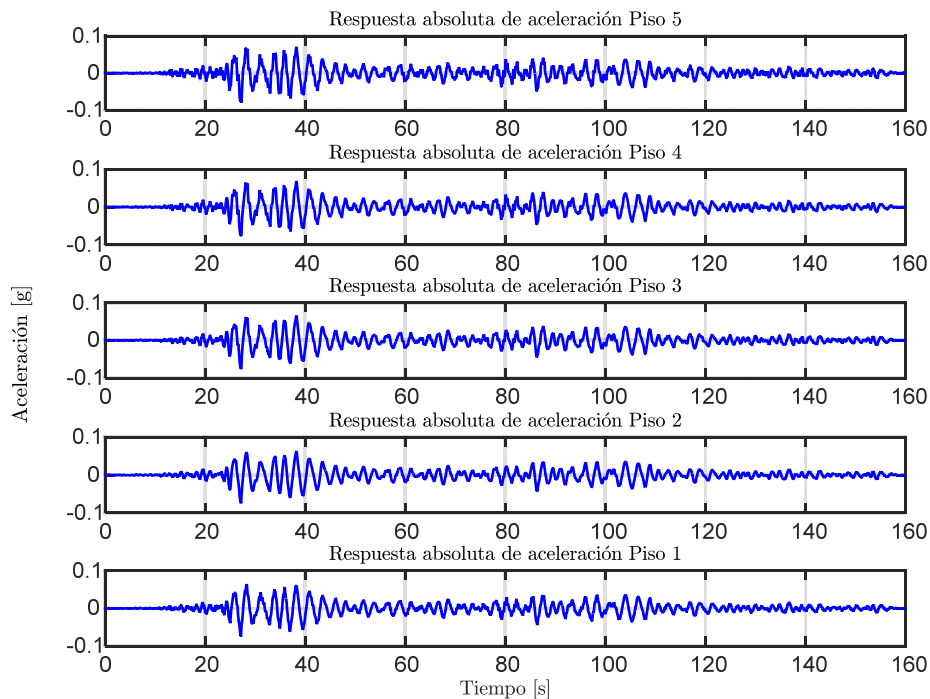


Figura 10.166: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50.

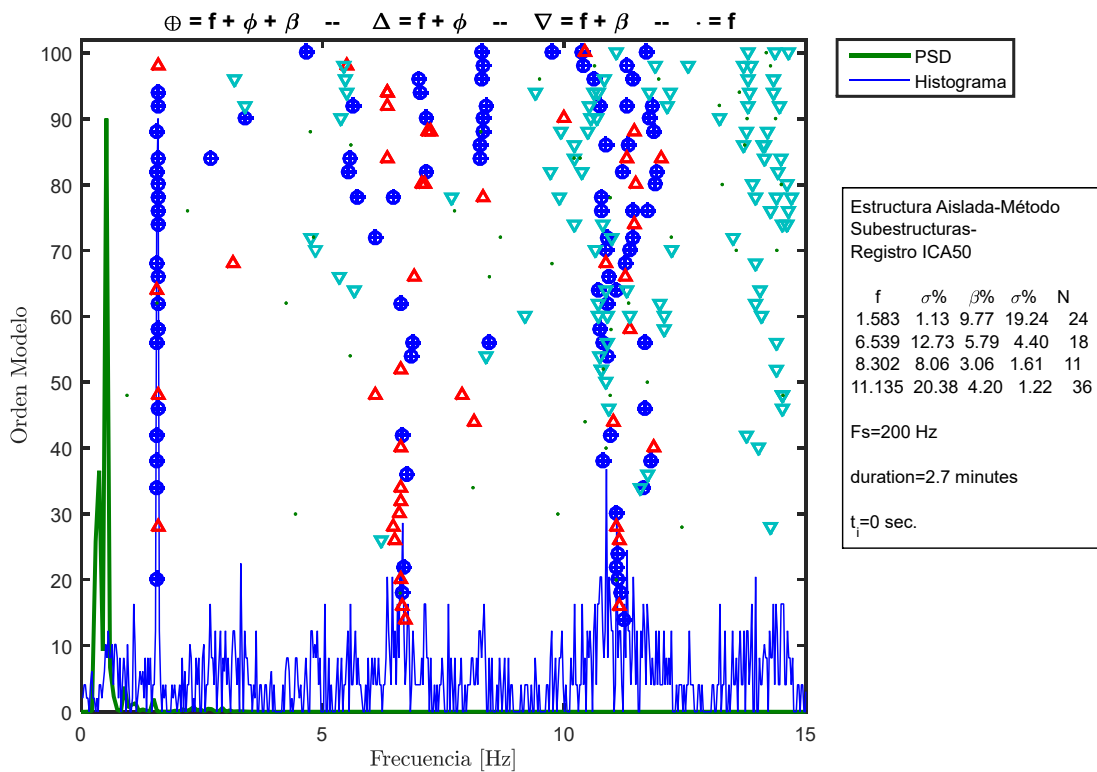
### 10.3.2.4.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

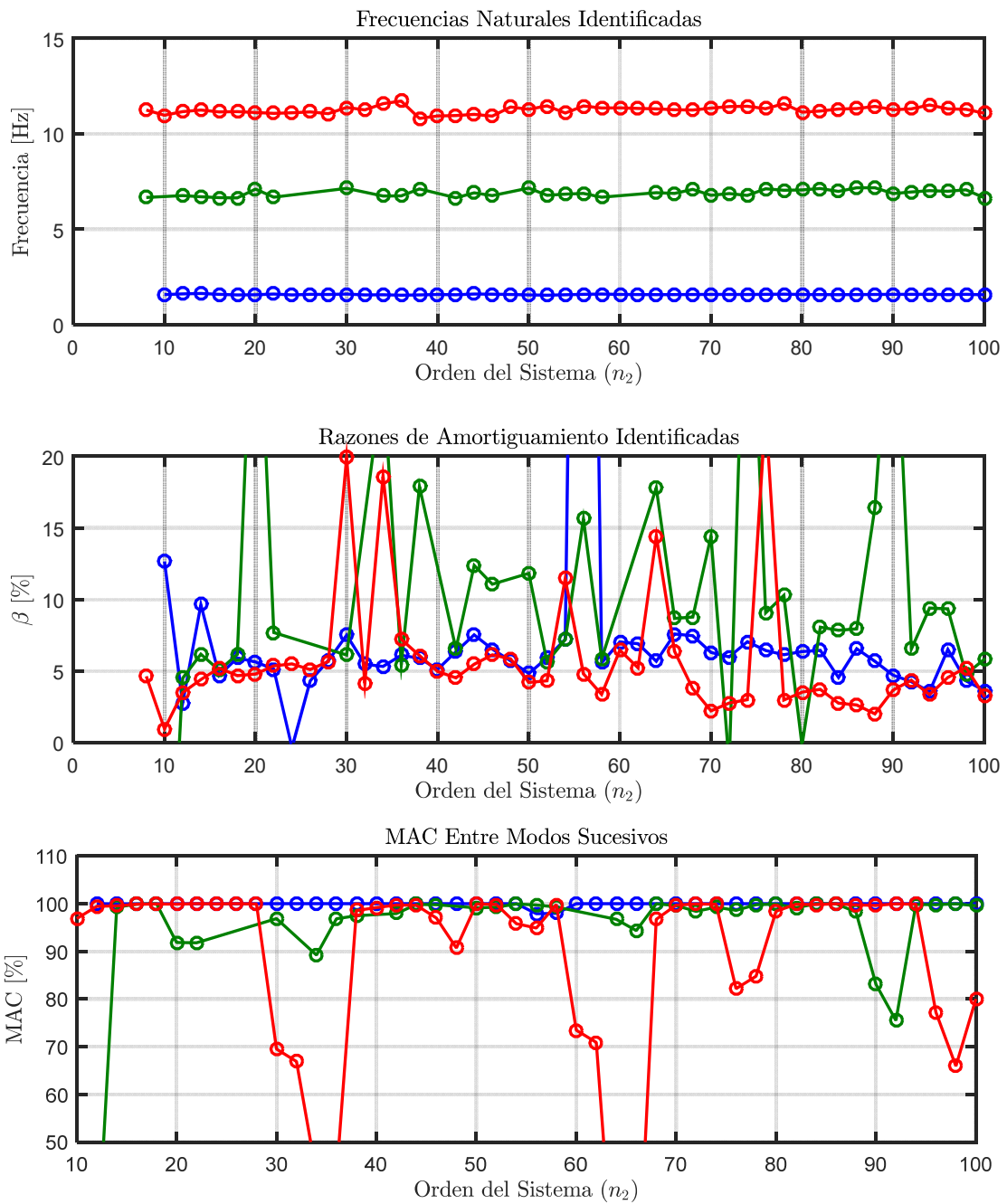
Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.45.

**Tabla 10.45: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS método de múltiples sub-estructuras. Registro B15-ICA50.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 10.167: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS método de múltiples sub-estructuras, registro B15-ICA50.**



**Figura 10.168:** Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.

### 10.3.2.4.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.46.

**Tabla 10.46: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B15-ICA50.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	90
Smin	2543
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,23
Cantidad de ventanas	367
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,1
Ventana 2	59
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	25
Ventana 3	279
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	140
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.169, Figura 10.170 y Figura 10.171 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

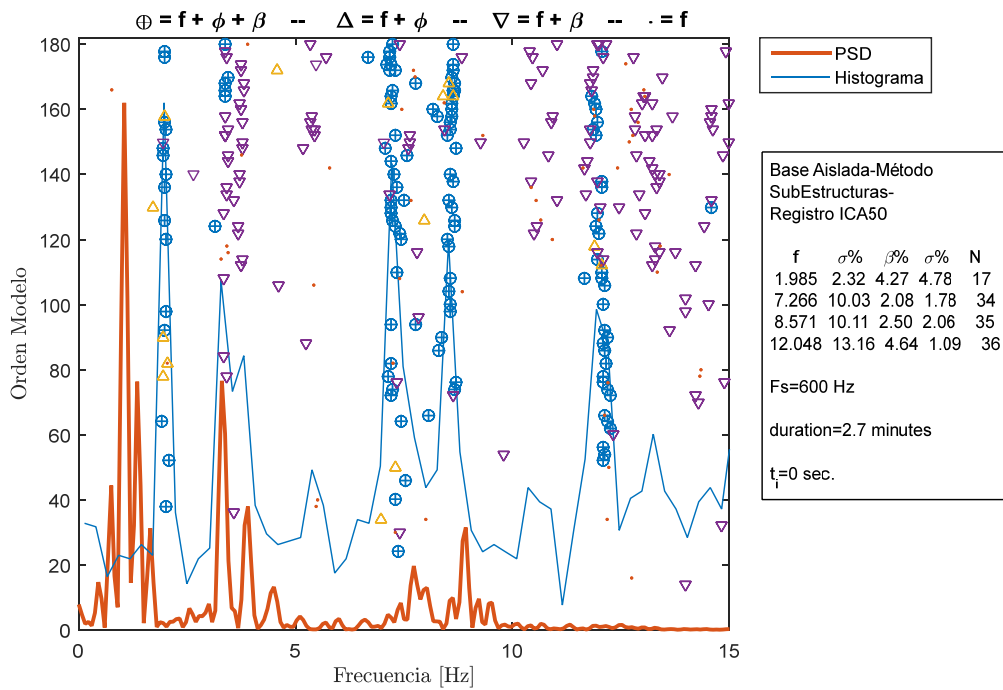


Figura 10.169: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro B15-ICA50.

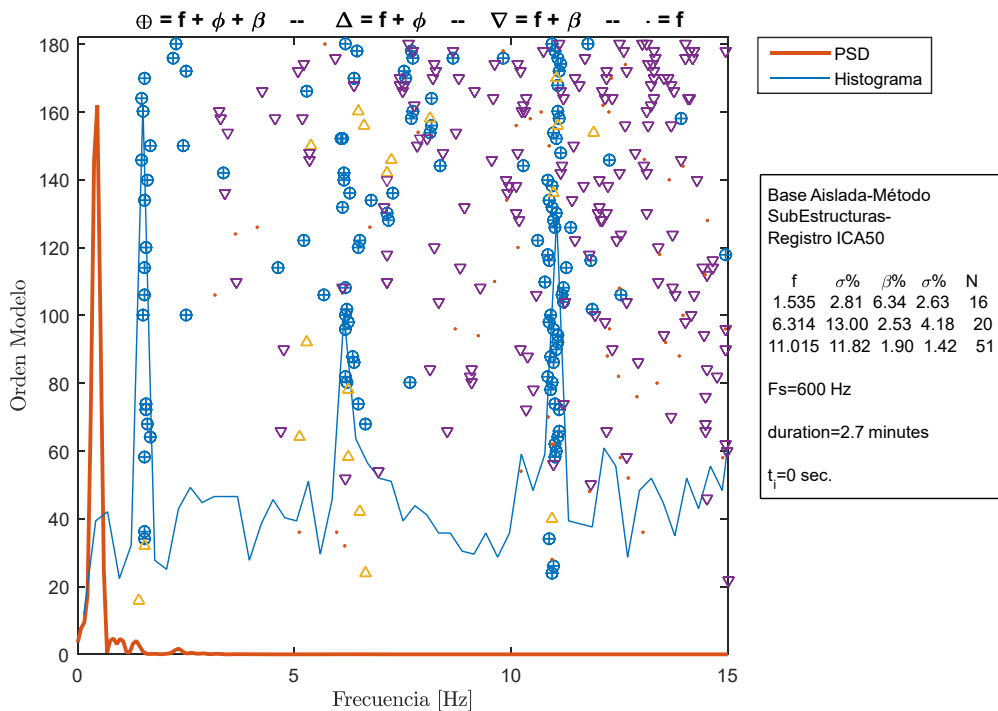
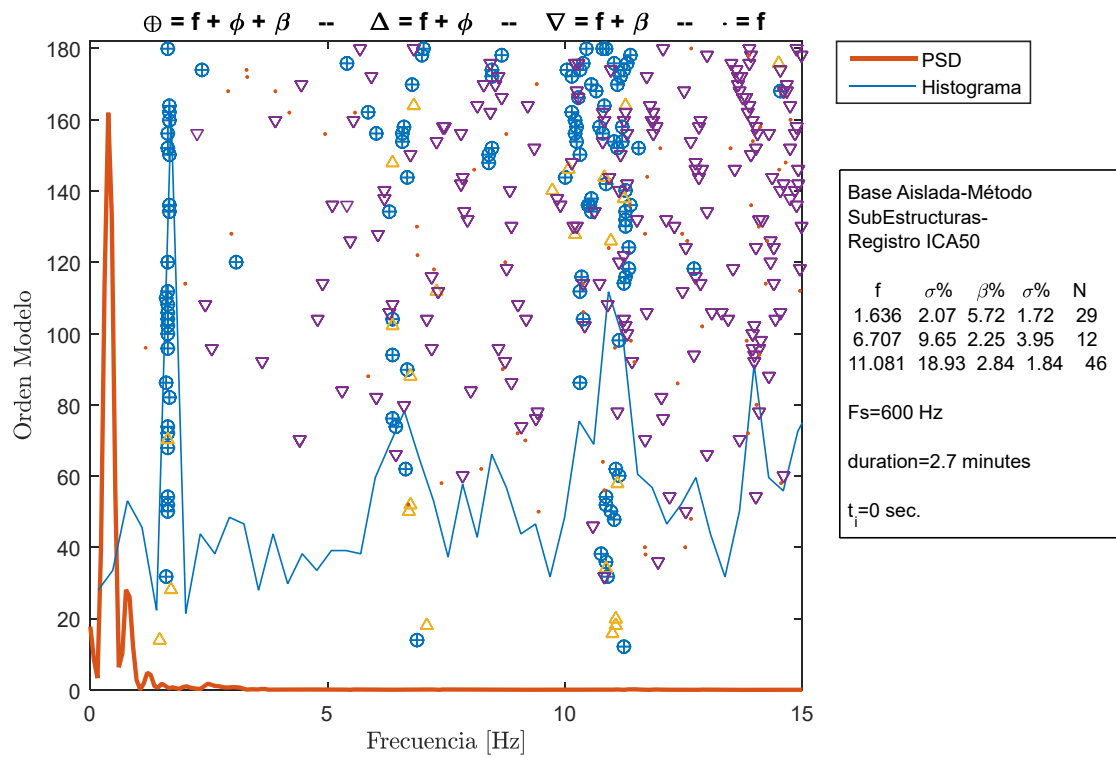


Figura 10.170: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro B15-ICA50.



**Figura 10.171: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B15-ICA50.**



Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.172 hasta la Figura 10.175.

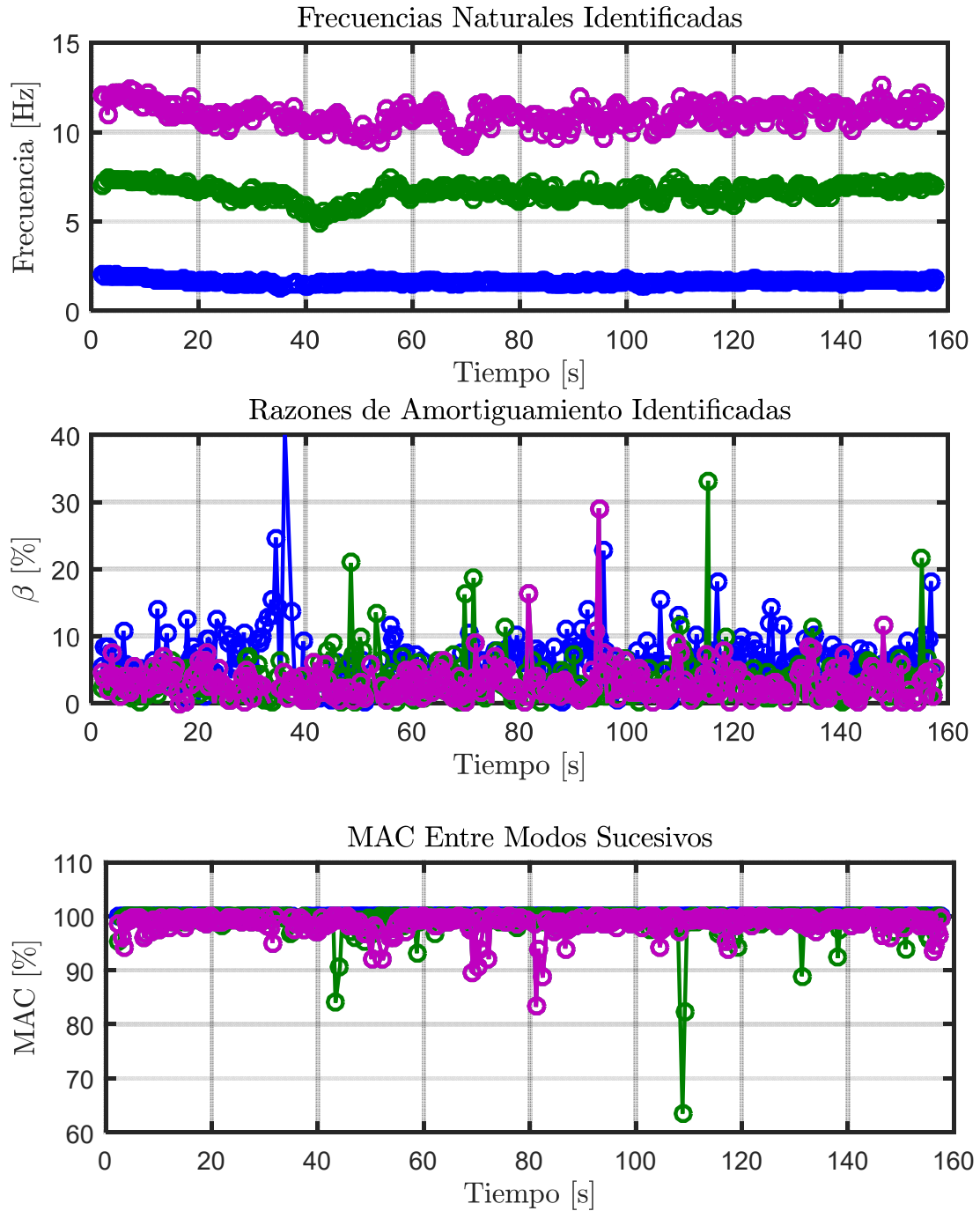
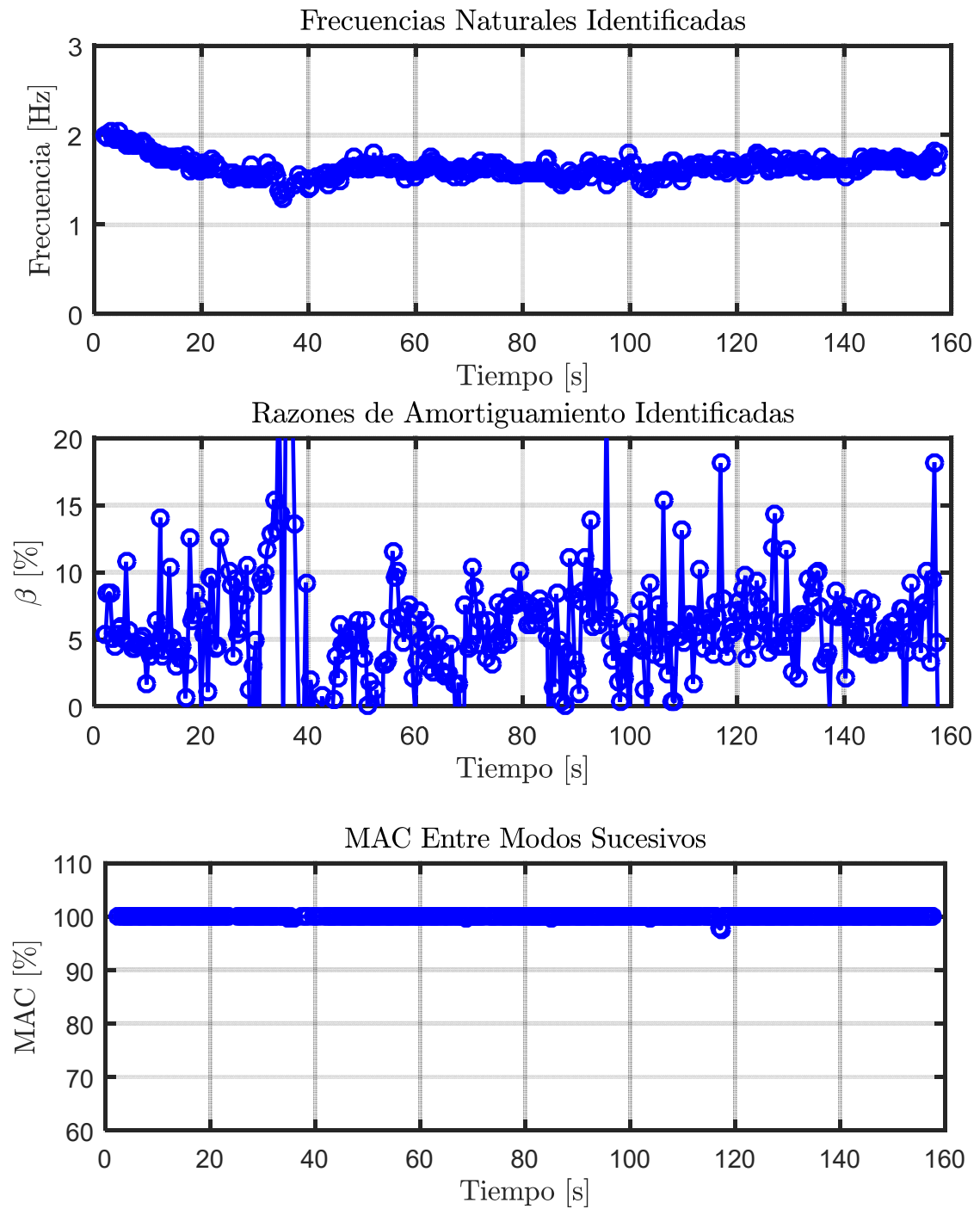


Figura 10.172: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro B15-ICA50.



**Figura 10.173: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.**

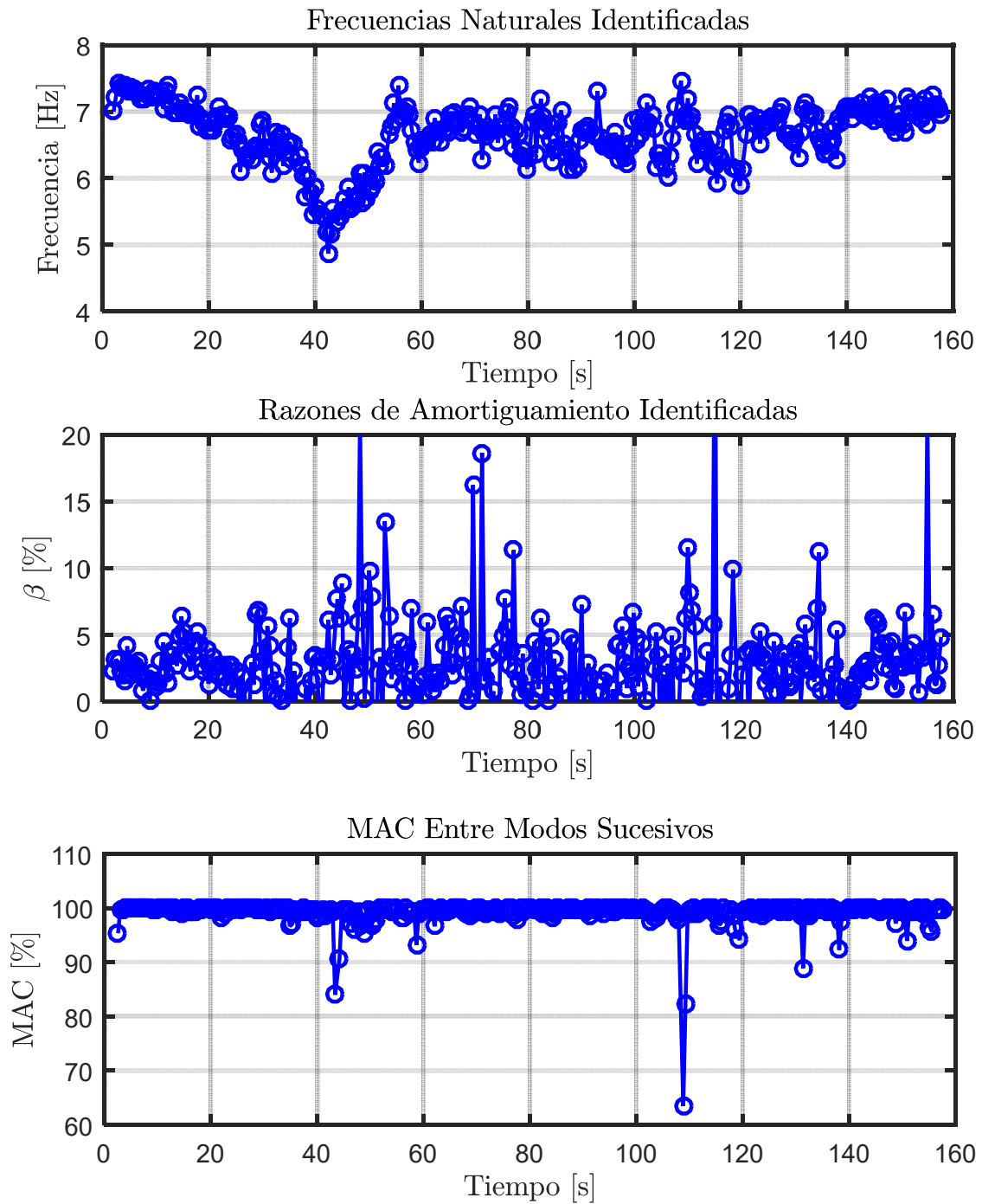


Figura 10.174: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.

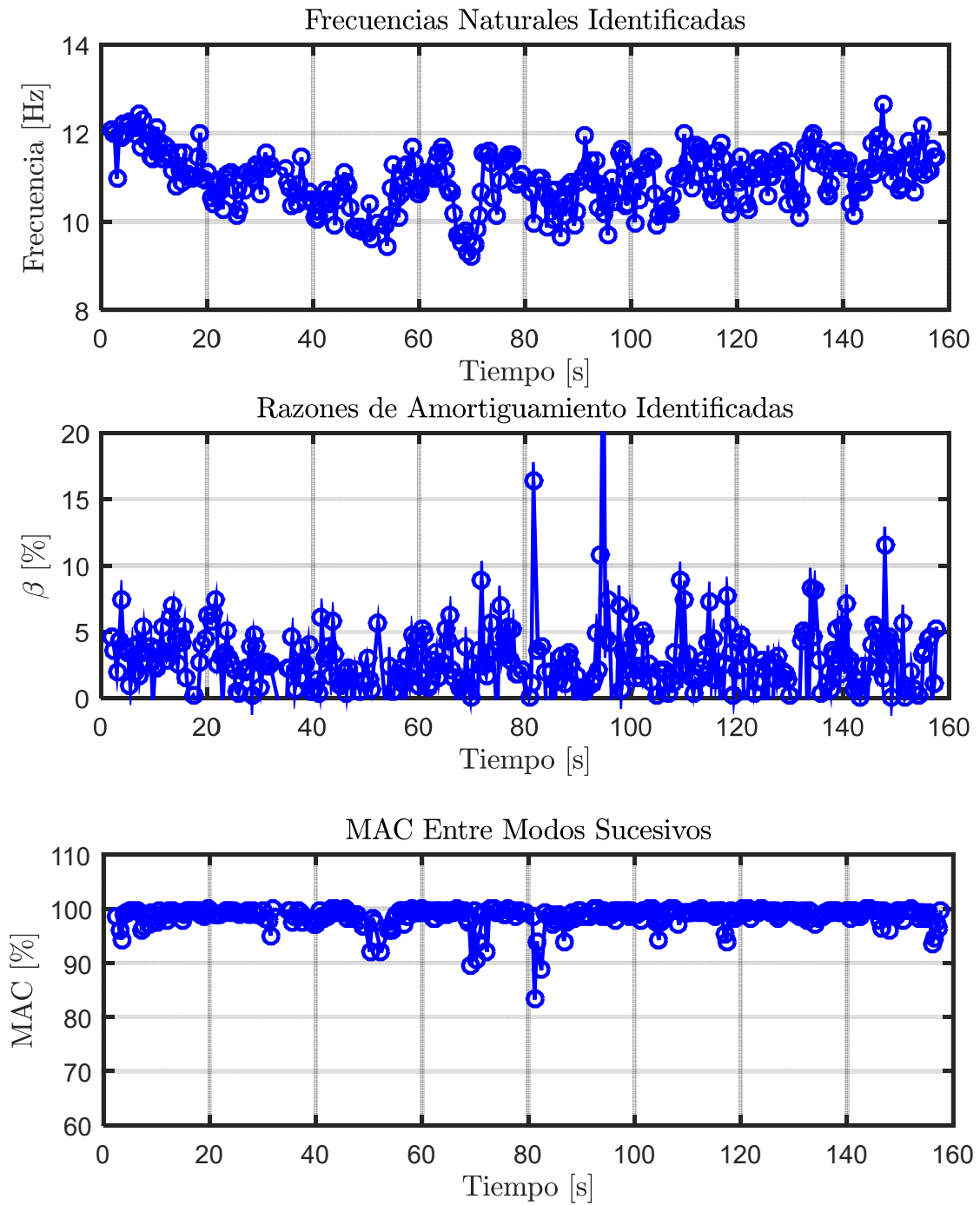


Figura 10.175: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.

#### 10.3.2.4.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

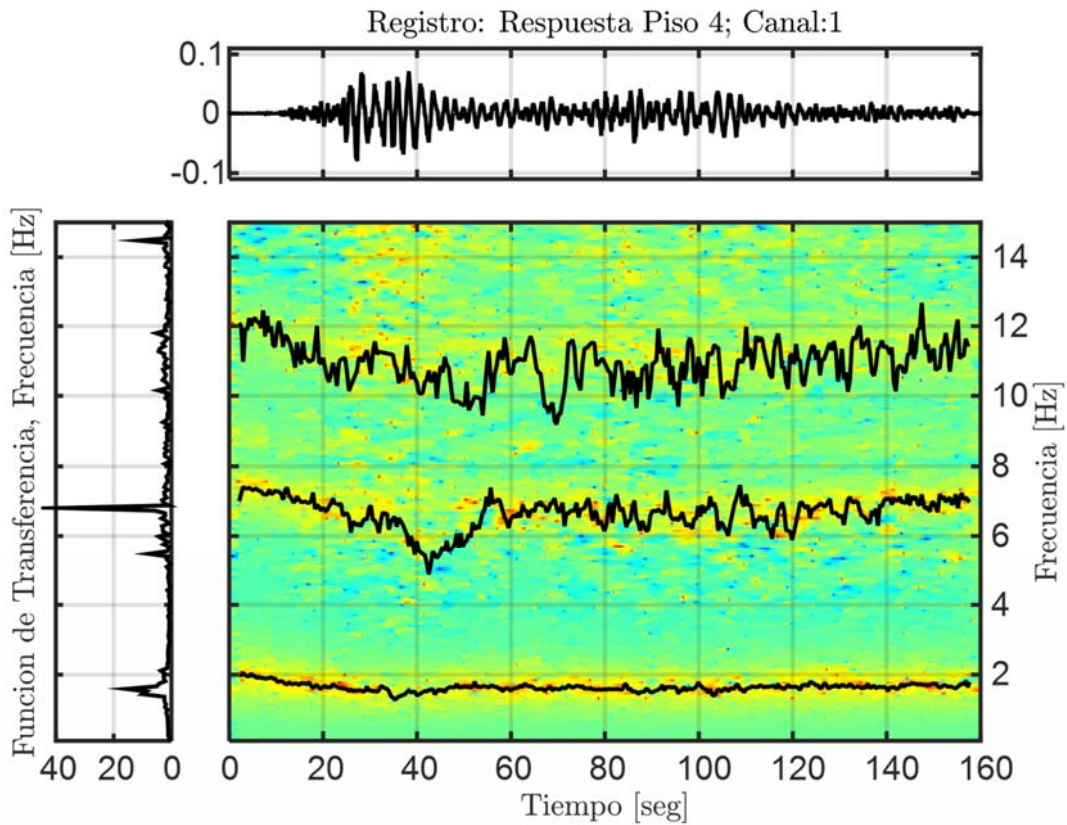


Figura 10.176: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI5-ICA50.

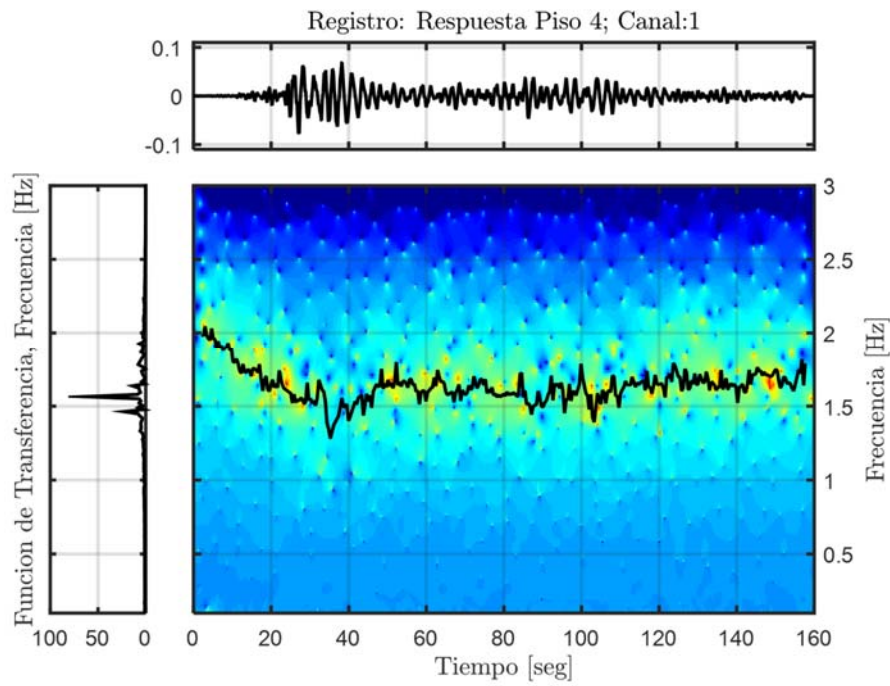


Figura 10.177: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro B15-ICA50.

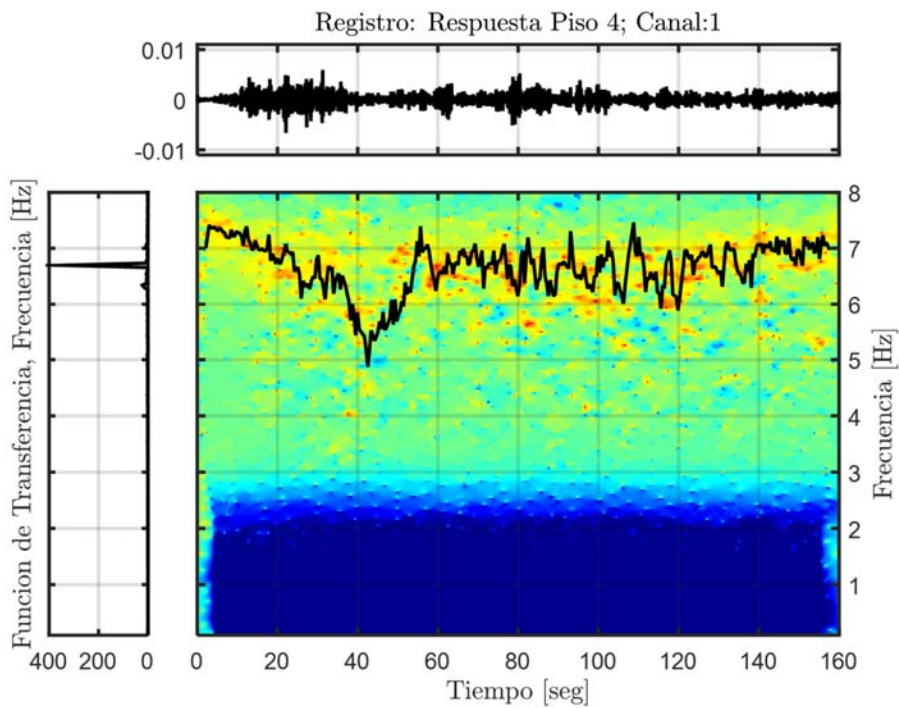


Figura 10.178: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro B15-ICA50.

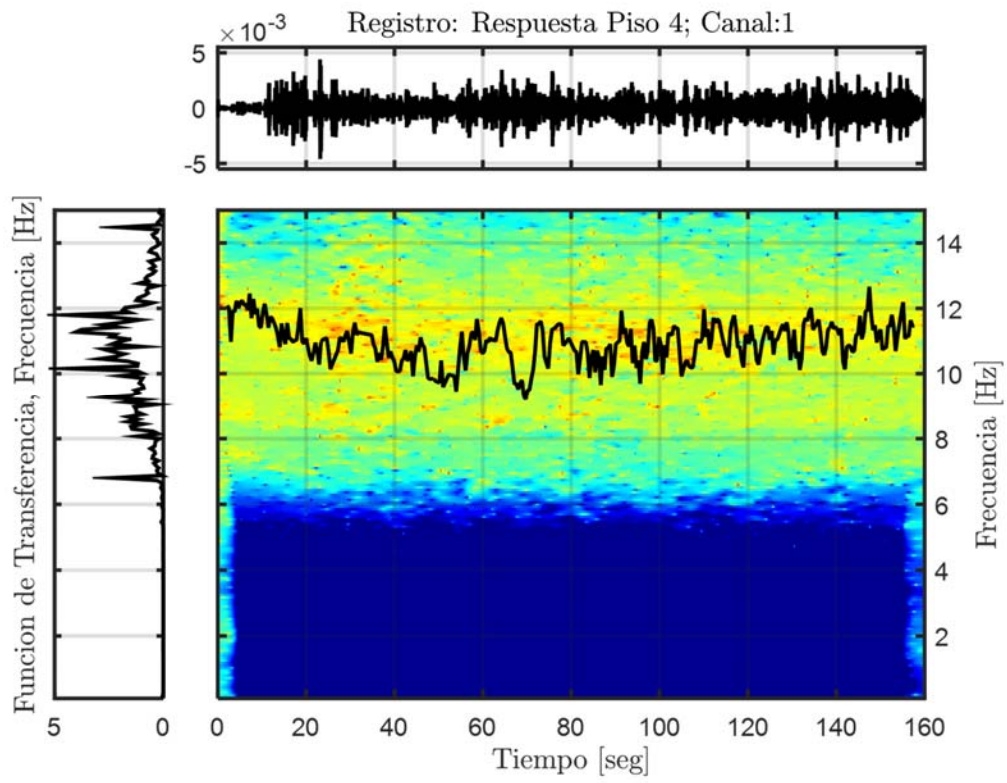


Figura 10.179: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI5-ICA50.

### 10.3.2.4.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.47: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI5-ICA50.**

Modos	f <sub>AI</sub> [Hz]	f <sub>Gutiérrez</sub> (inicial) [Hz]	f <sub>AV</sub> (inicial) [Hz]	f <sub>Gutiérrez</sub> (mínima) [Hz]	f <sub>AV</sub> (mínima) [Hz]	f <sub>Gutiérrez</sub> (final) [Hz]	f <sub>AV</sub> (final) [Hz]
1	1,583	1,598	2,045	1,053	1,343	1,568	1,788
2	6,539	6,675	7,214	4,740	5,532	6,706	7,106
3	11,135	10,877	11,99	9,000	9,771	10,772	11,460



### 10.3.2.5 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI6-ICA100

#### 10.3.2.5.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras, la respuesta a nivel sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.180. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.181.

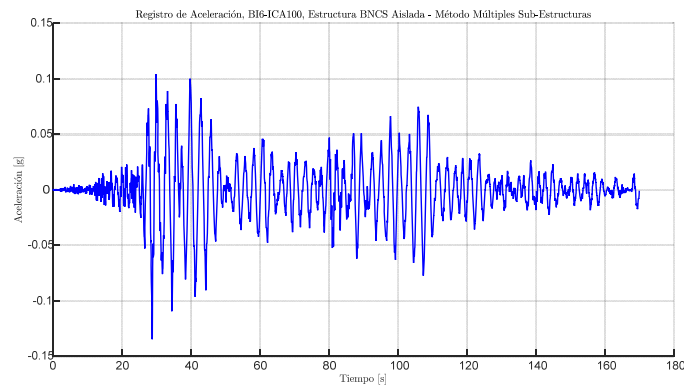


Figura 10.180: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100.

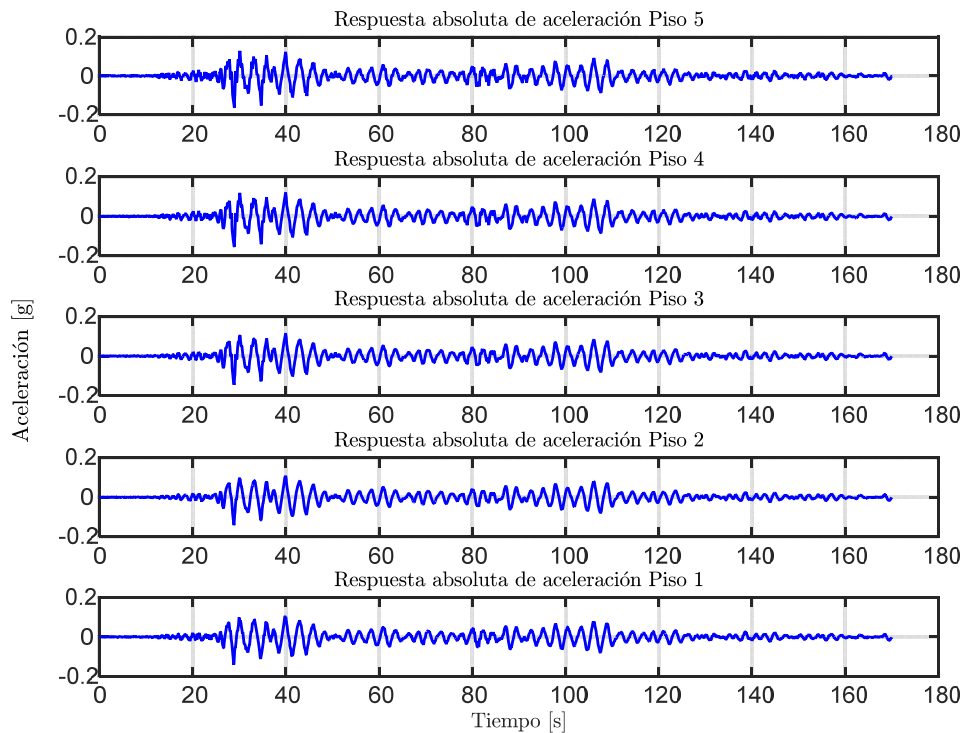


Figura 10.181: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100.

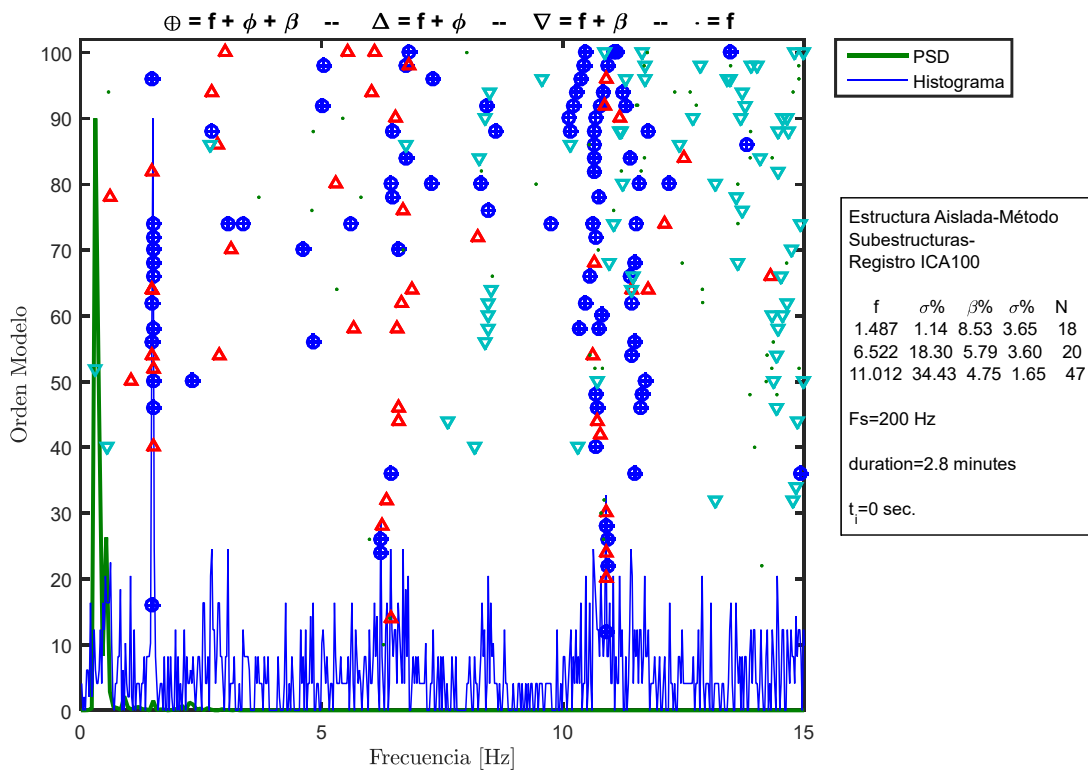
### 10.3.2.5.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

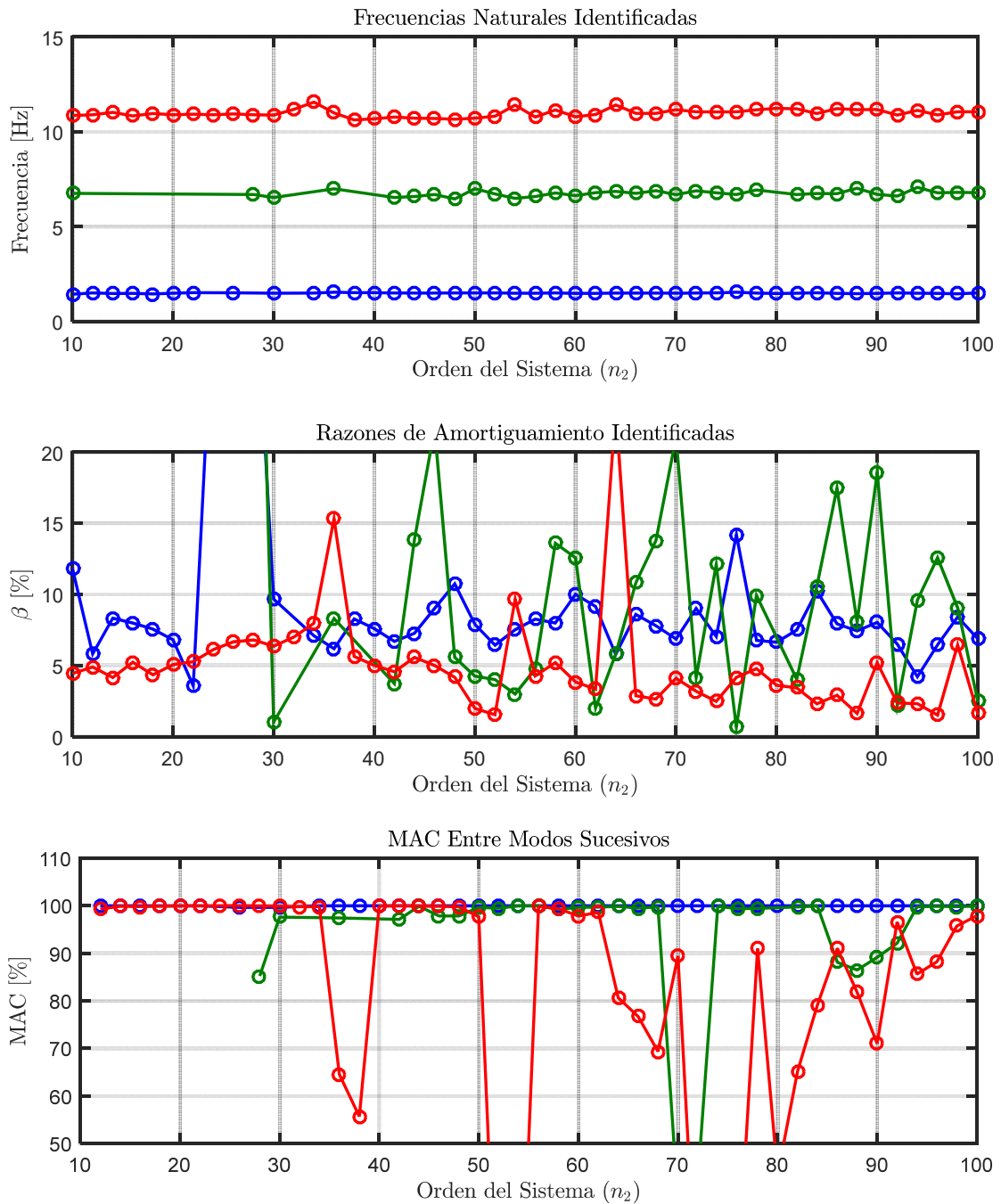
Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.48.

**Tabla 10.48: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI6-ICA100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 10.182: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.**



**Figura 10.183: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.**

### 10.3.2.5.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.49.

**Tabla 10.49: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	90
Smin	2543
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,23
Cantidad de ventanas	391
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,1
Ventana 2	65
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	25
Ventana 3	354
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	140
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.184, Figura 10.185 y Figura 10.186 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

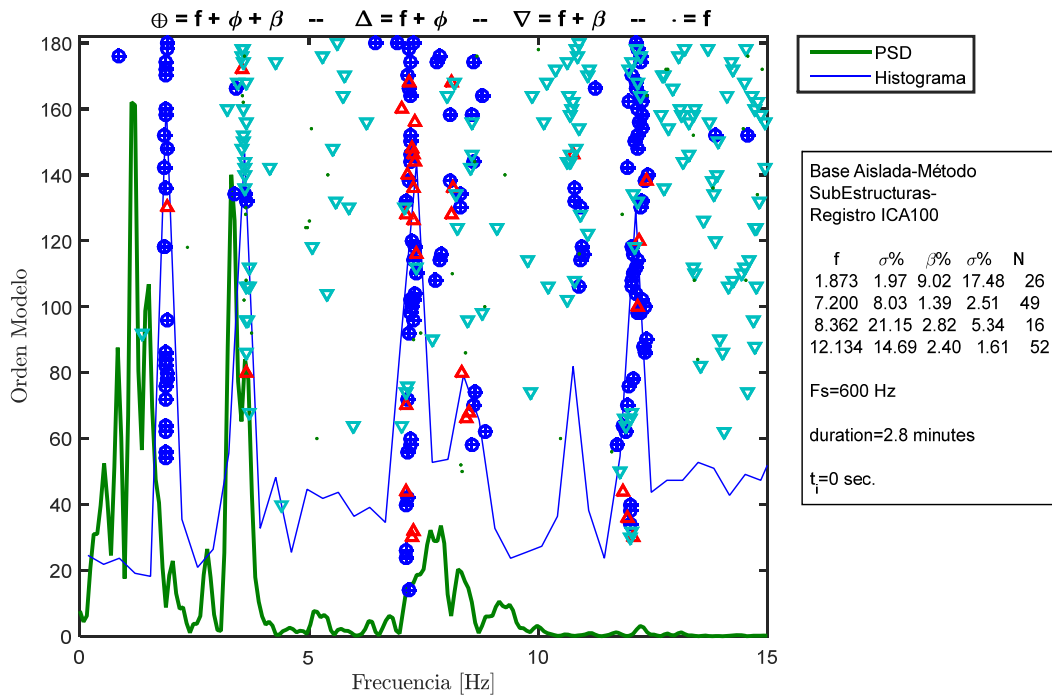


Figura 10.184: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI6-ICA100.

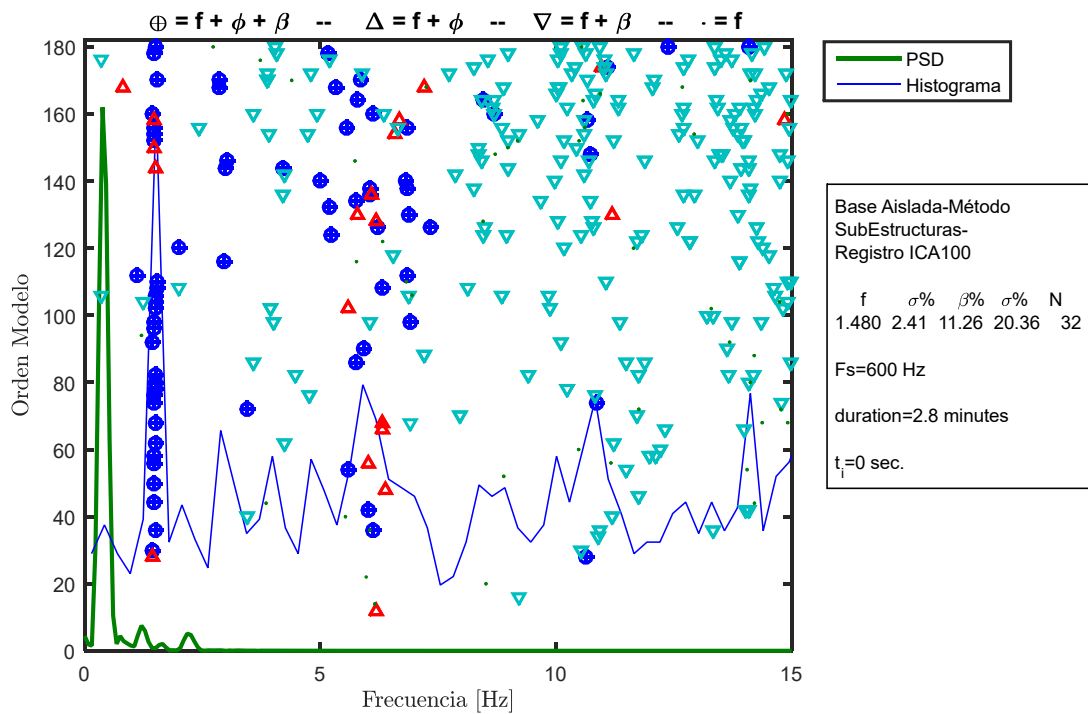
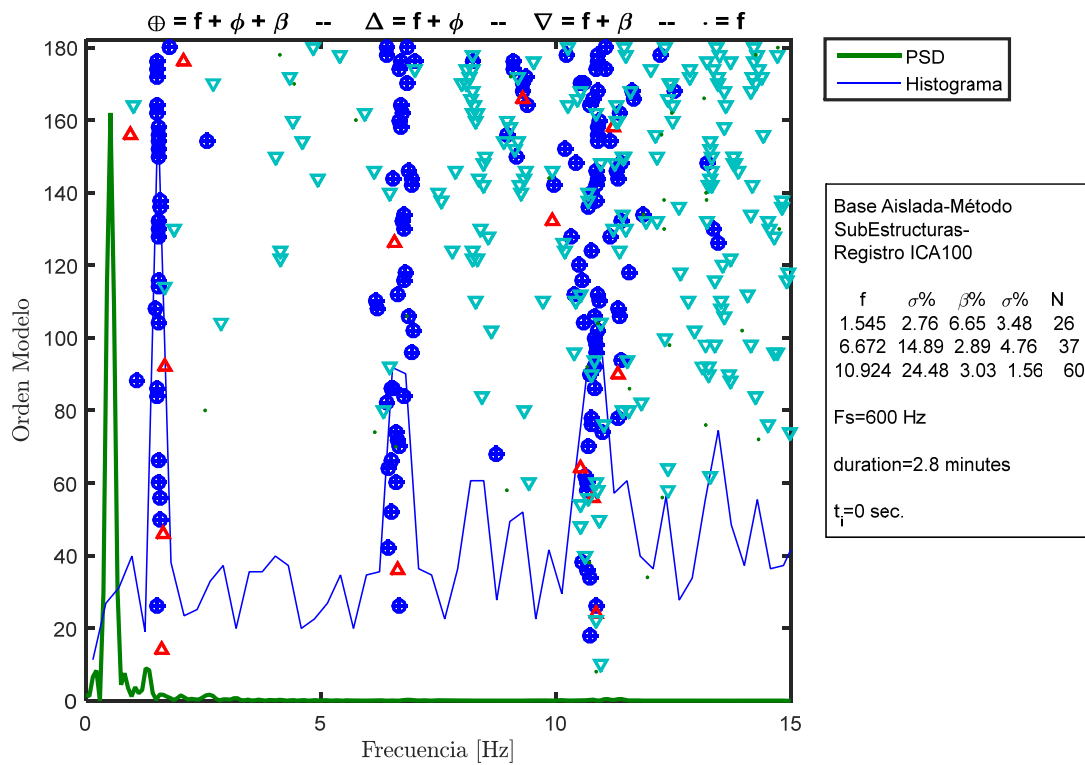


Figura 10.185: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI6-ICA100.



**Figura 10.186: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.**

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.187 hasta la Figura 10.190.

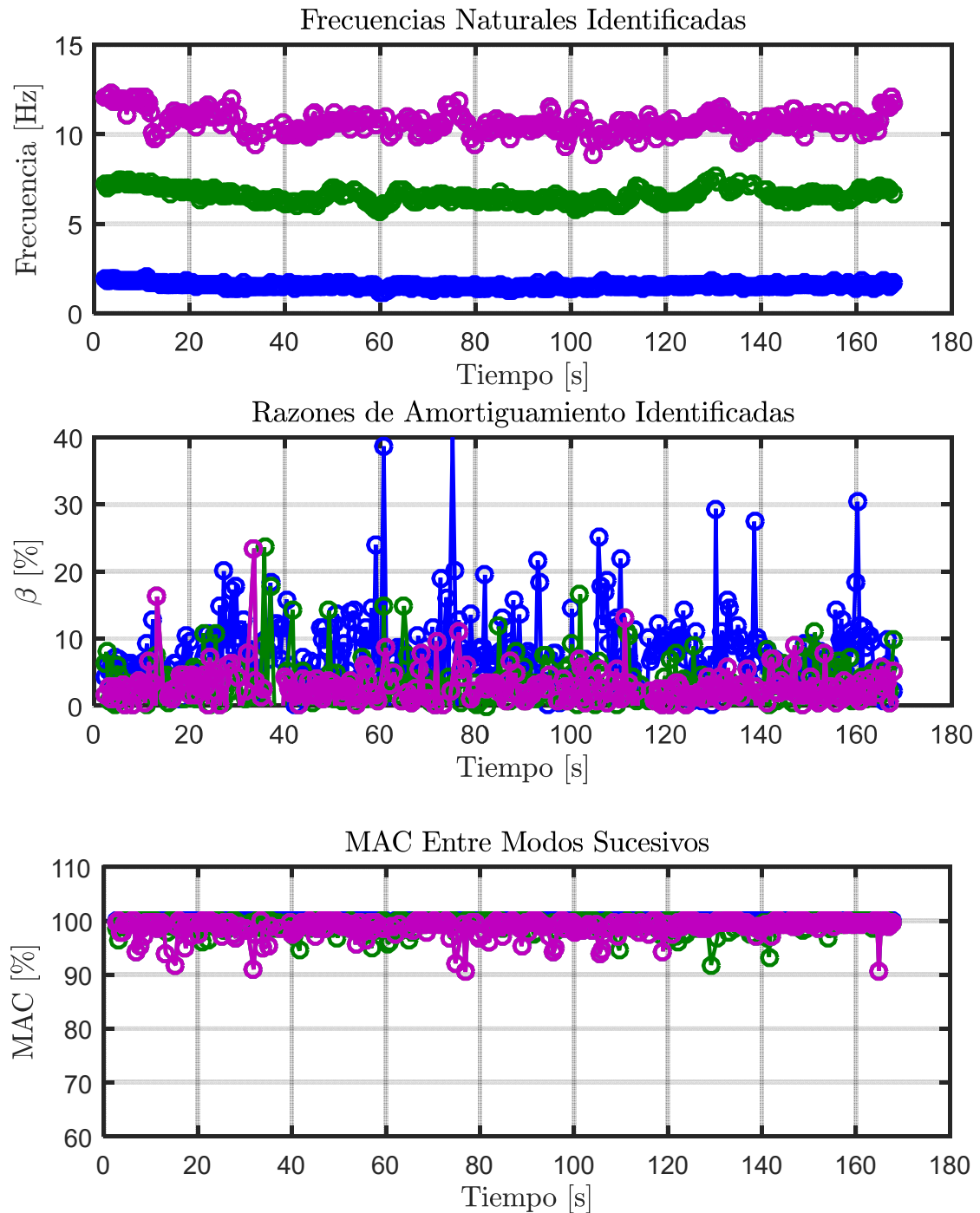
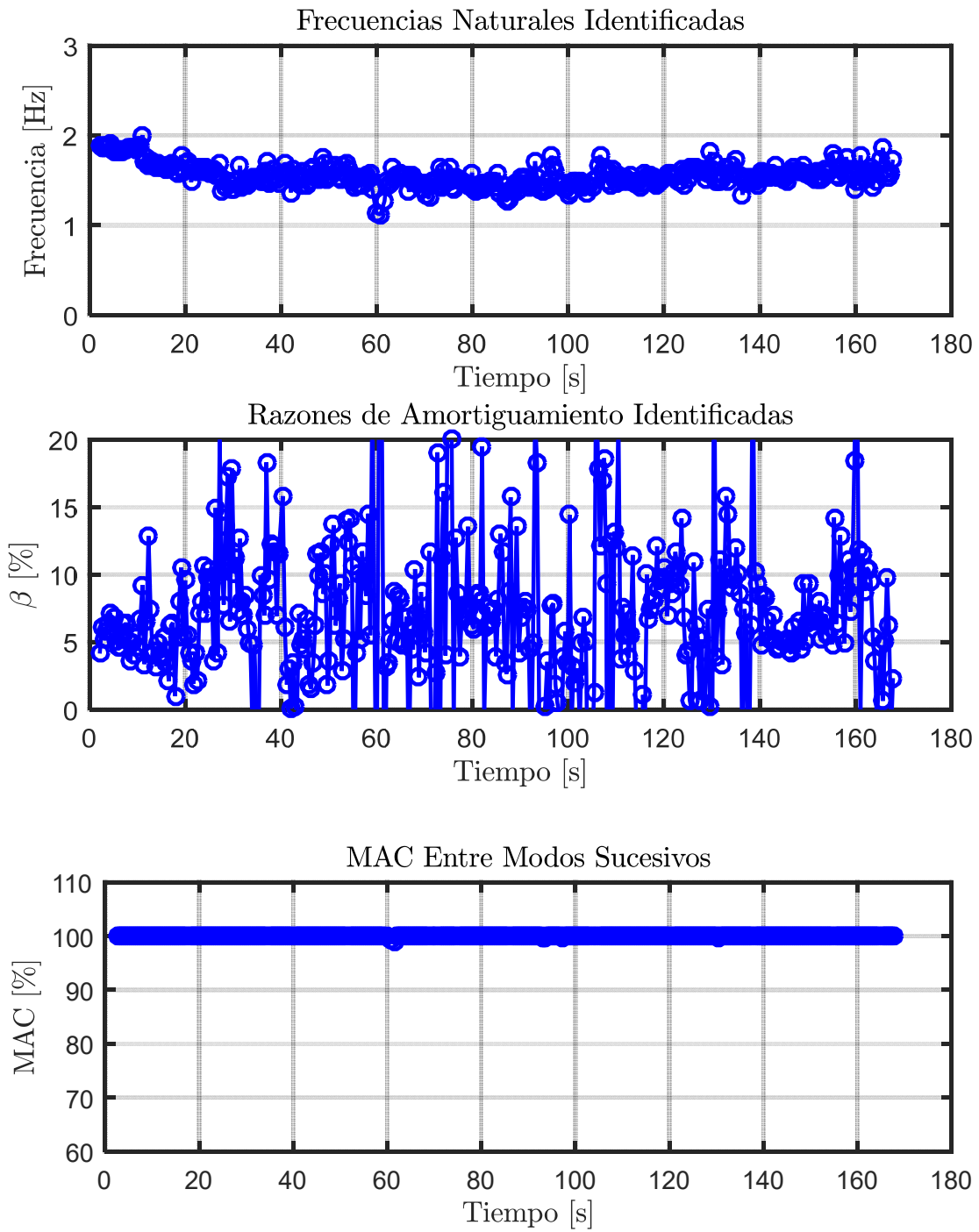


Figura 10.187: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI6-ICA100.



**Figura 10.188: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B16-ICA100.**



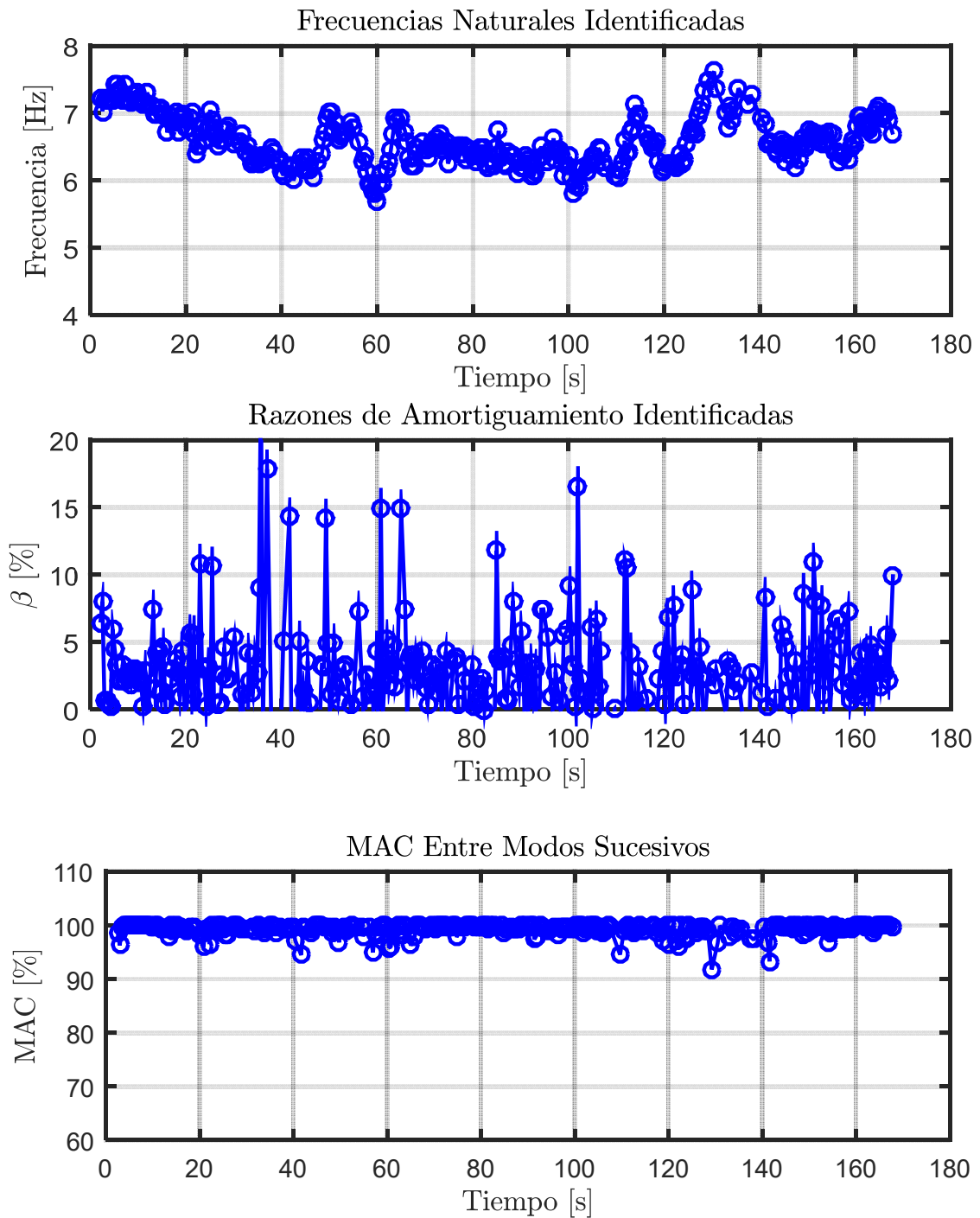


Figura 10.189: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.

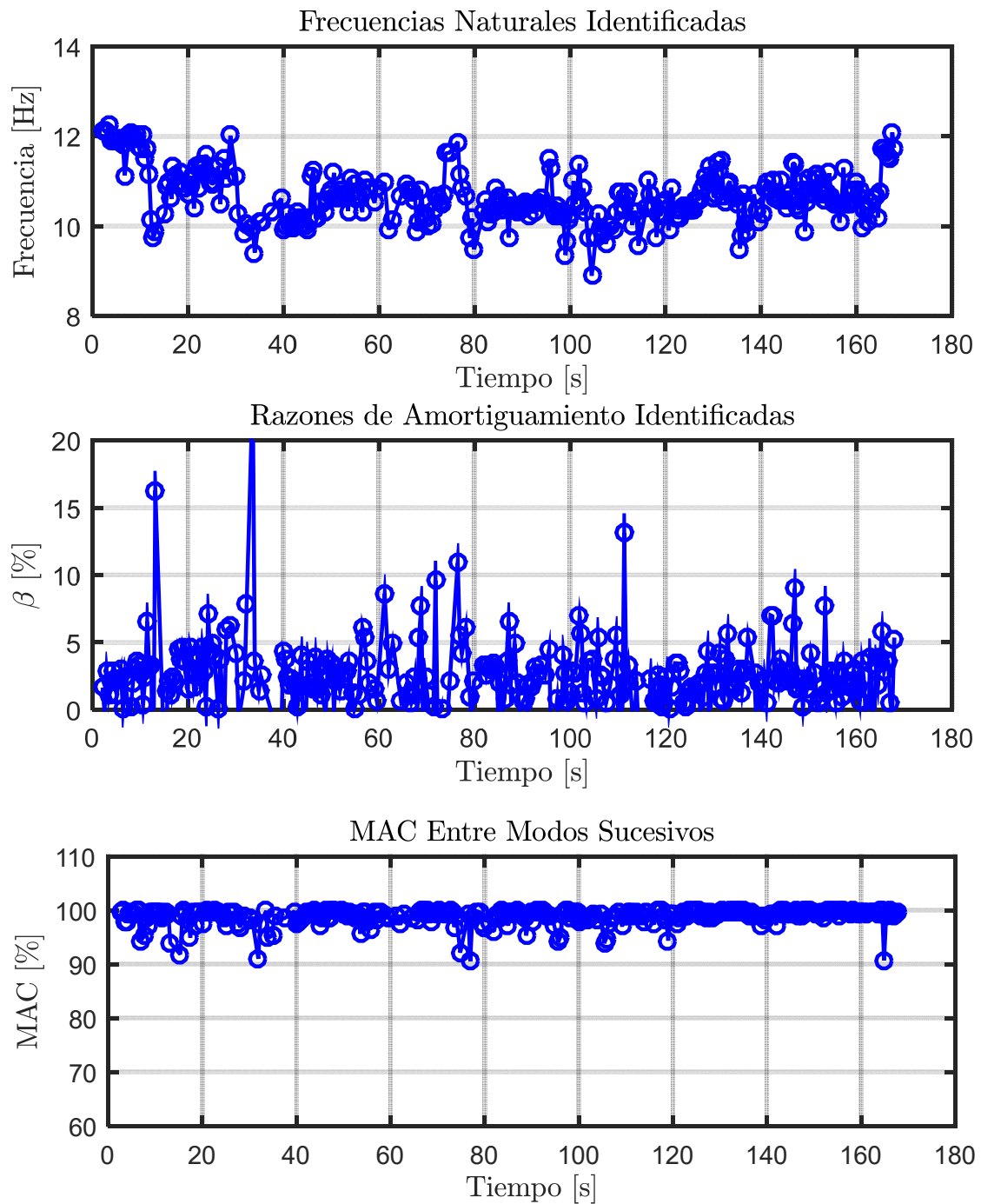


Figura 10.190: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI6-ICA100.

#### 10.3.2.5.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

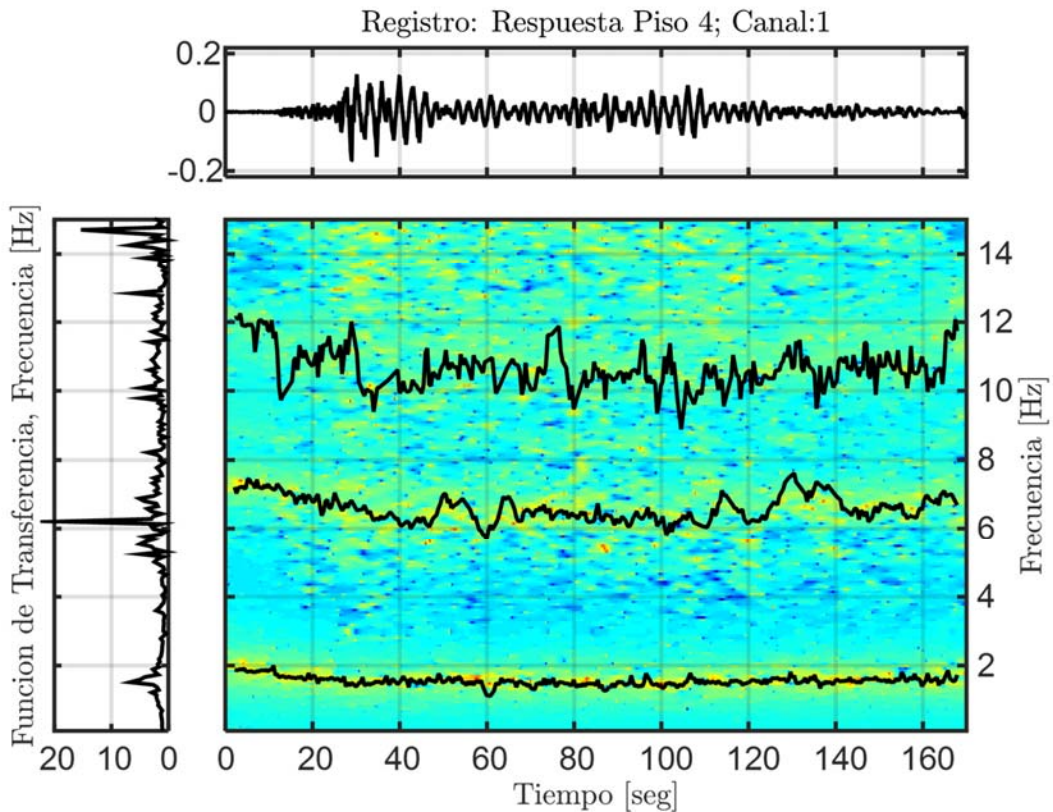


Figura 10.191: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI6-ICA100.

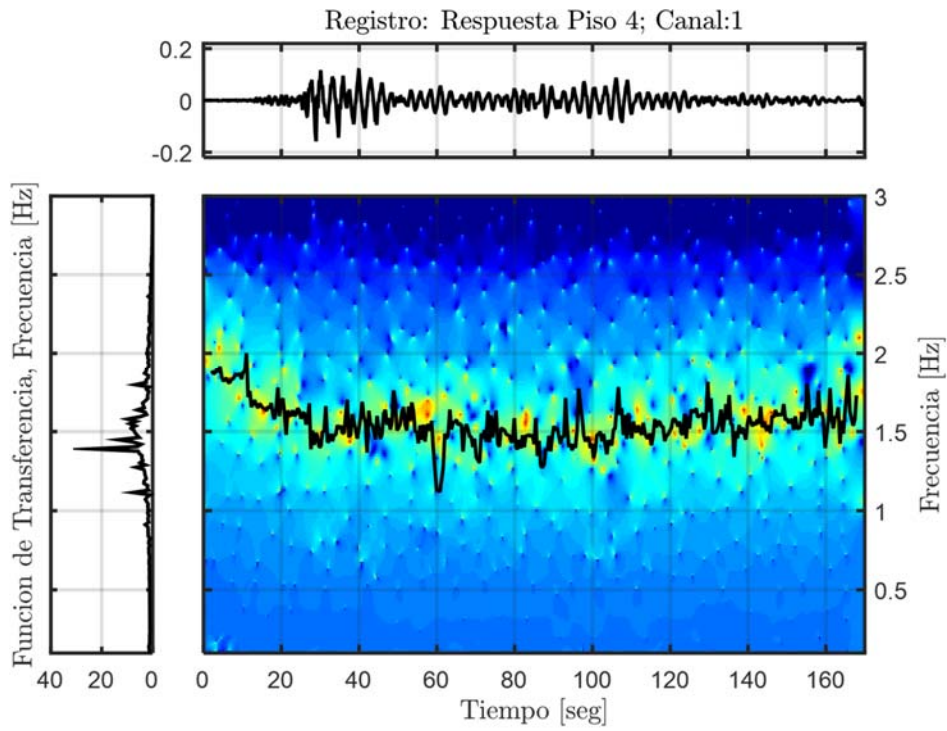


Figura 10.192: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI6-ICA100.

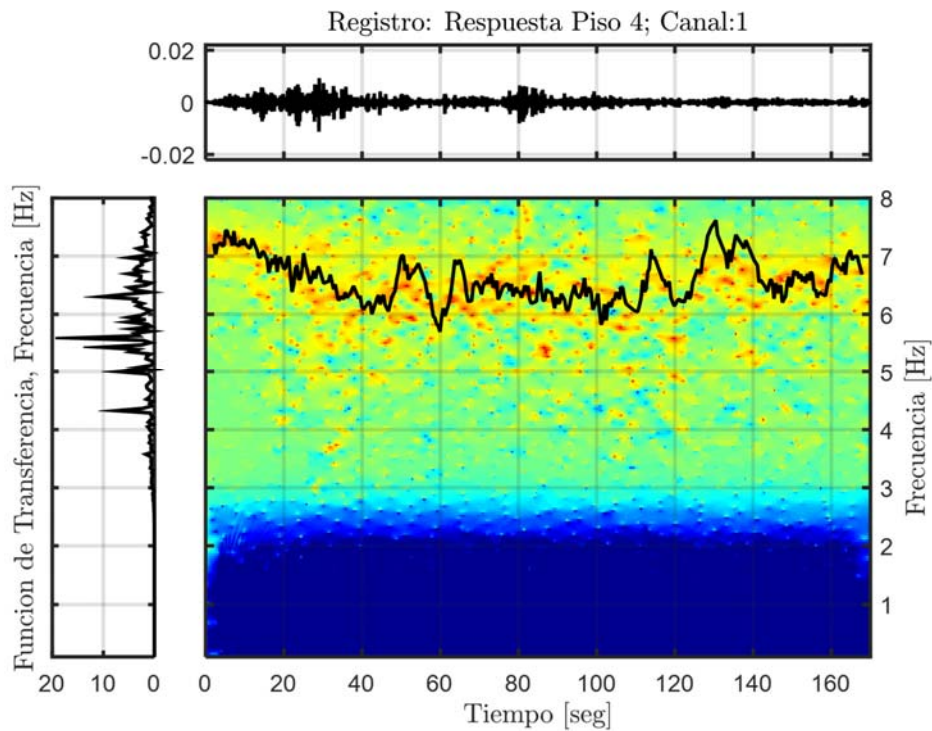


Figura 10.193: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI6-ICA100.

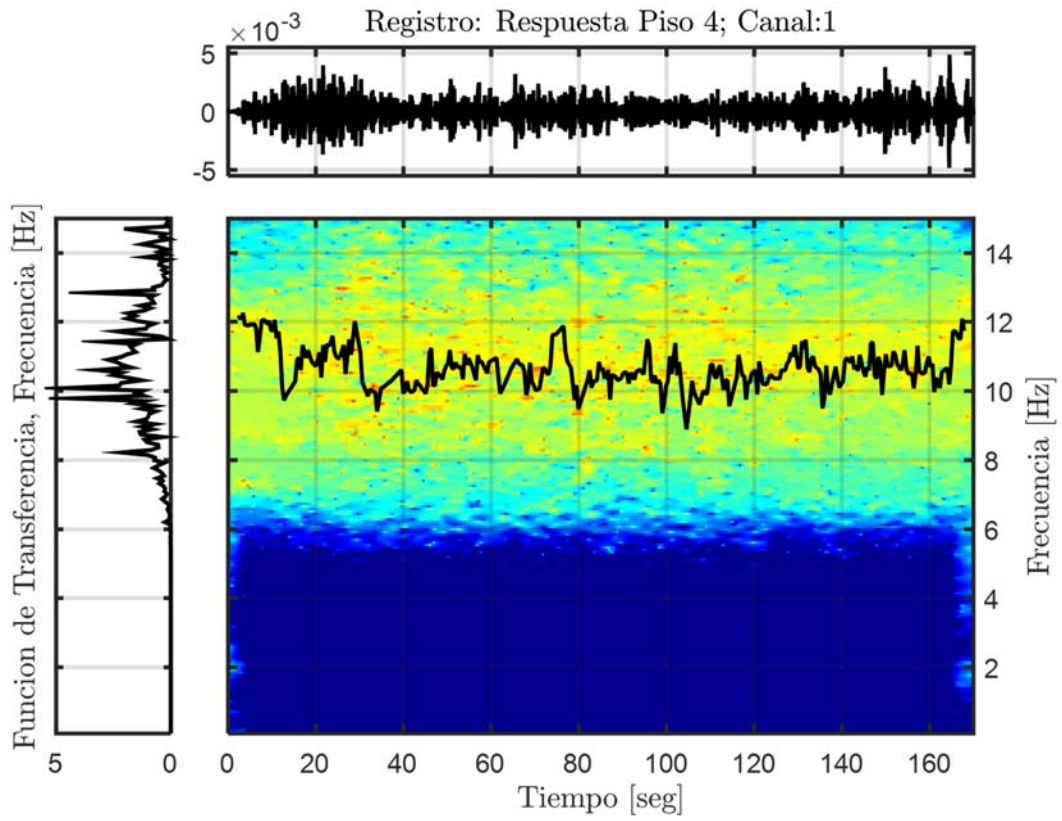


Figura 10.194: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI6-ICA100.

### 10.3.2.5.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.50: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B16-ICA100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	1,487	1,598	1,886	1,053	1,436	1,568	1,577
2	6,522	6,675	7,186	4,740	6,000	6,706	7,003
3	11,012	10,877	12,08	9,000	9,978	10,772	11,740

### 10.3.2.6 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento BI7-ICA140

#### 10.3.2.6.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura Aislada

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura aislada analizada con el método de múltiples sub-estructuras, la respuesta a nivel sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.195. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.196.

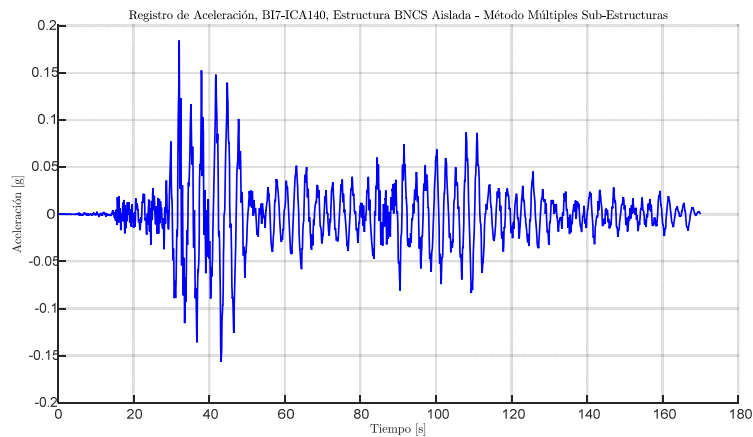


Figura 10.195: Input estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.

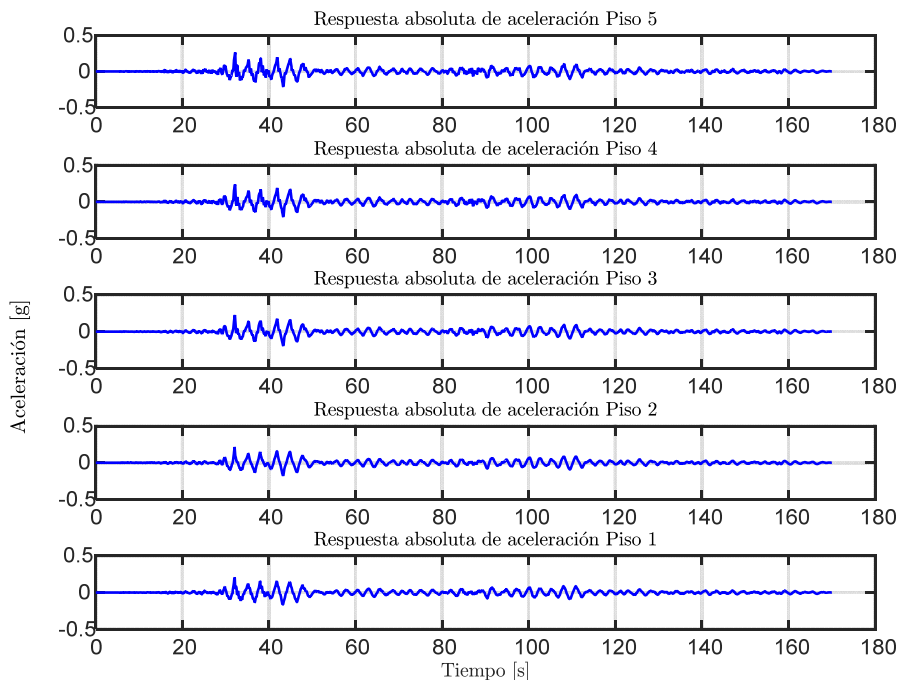


Figura 10.196: Output estructura aislada, método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.

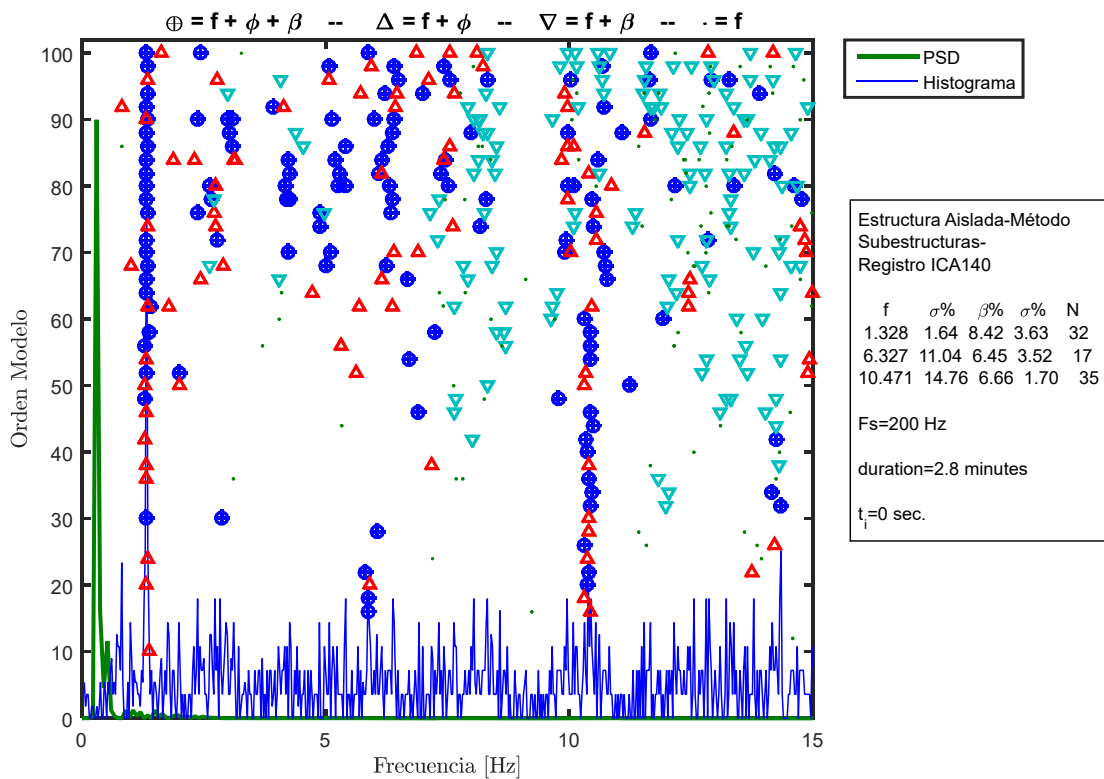
### 10.3.2.6.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.51.

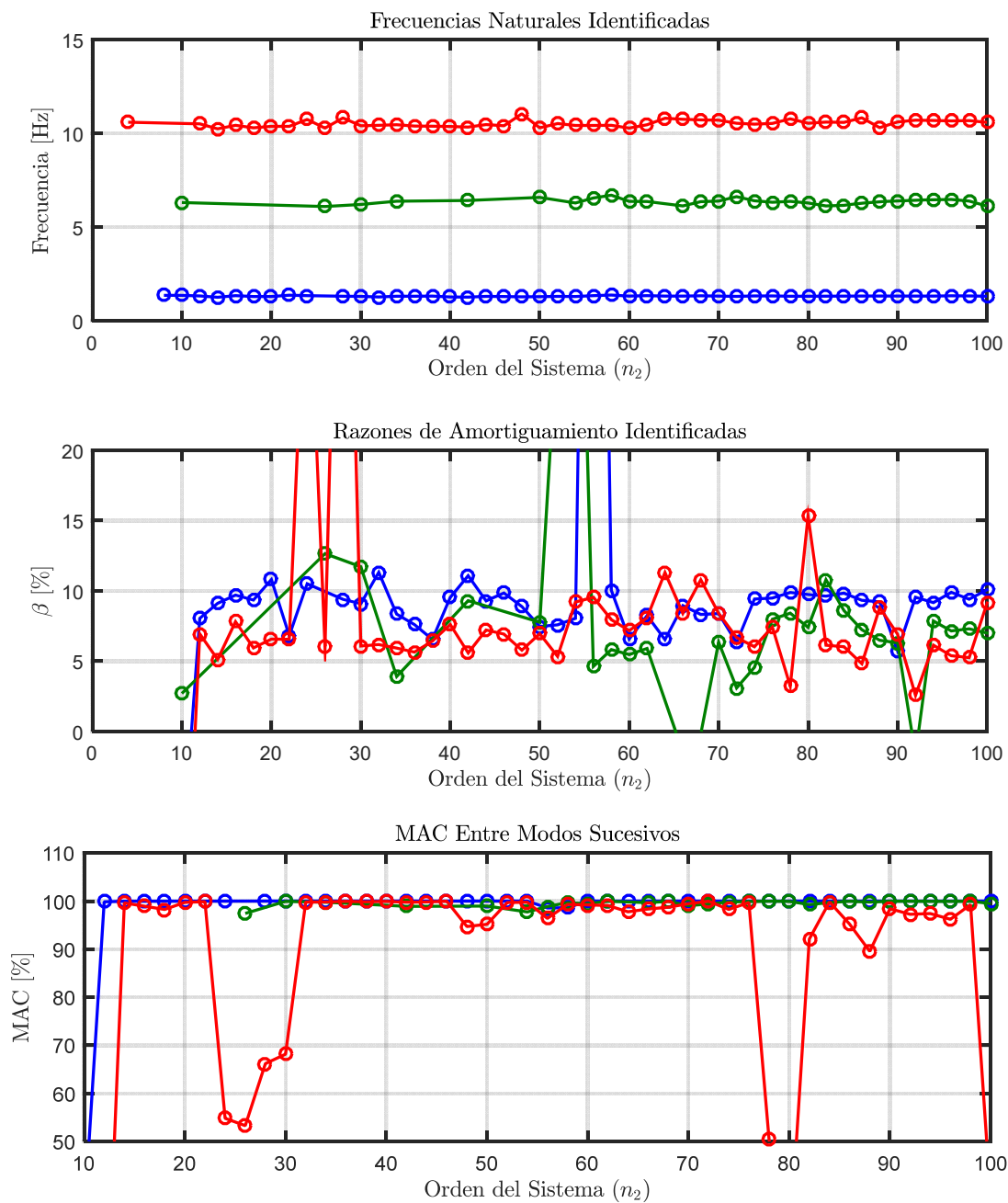
**Tabla 10.51: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras. Registro BI7-ICA140.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	2
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	5
GDL o n'	50



**Figura 10.197: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.**





**Figura 10.198:** Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B17-ICA140.

### 10.3.2.6.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.52.

**Tabla 10.52: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	8
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	120
Smin	3383
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,22
Cantidad de ventanas	392
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,1
Ventana 2	63
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	25
Ventana 3	290
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	140
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	10
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	90
Frecuencia de resampleo [Hz]	800

En la Figura 10.199, Figura 10.200 y Figura 10.201 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

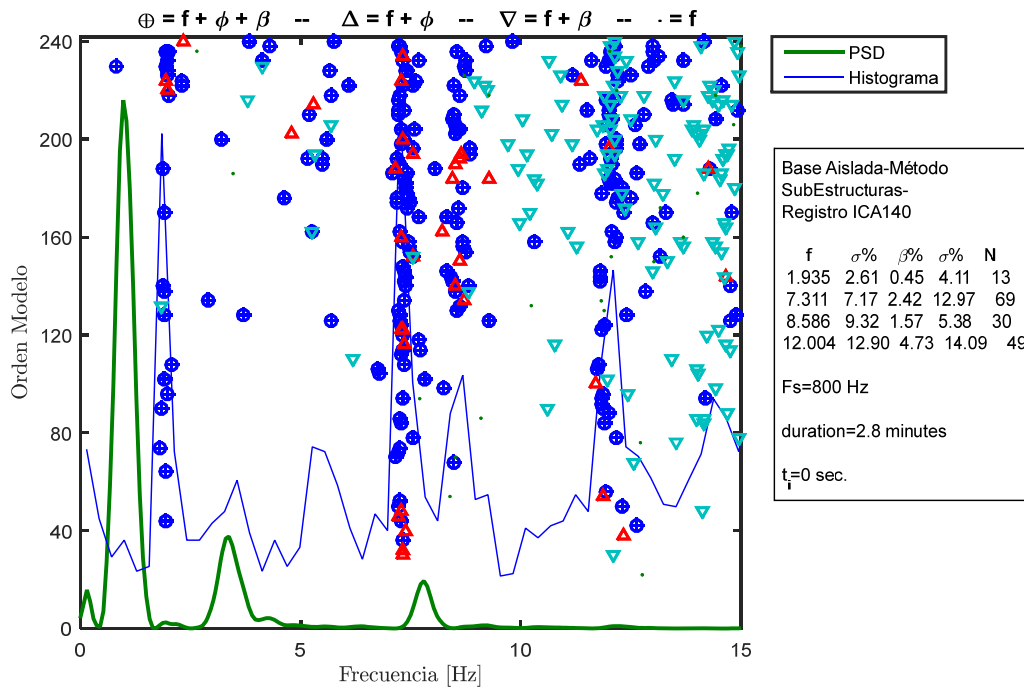


Figura 10.199: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro B17-ICA140.

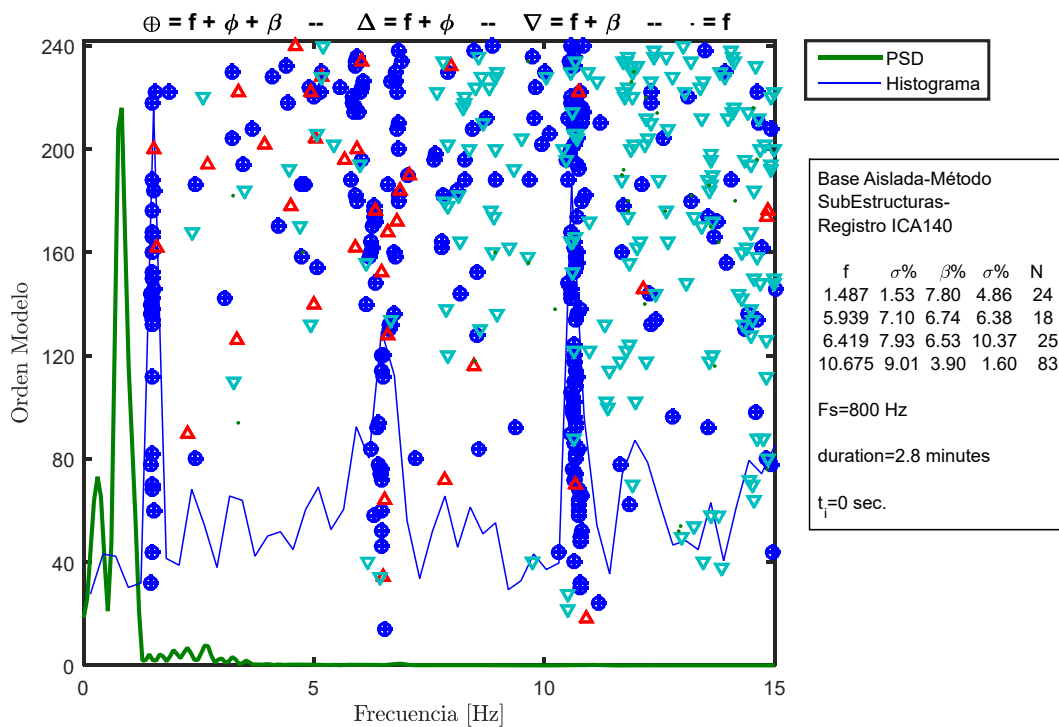


Figura 10.200: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro B17-ICA140.

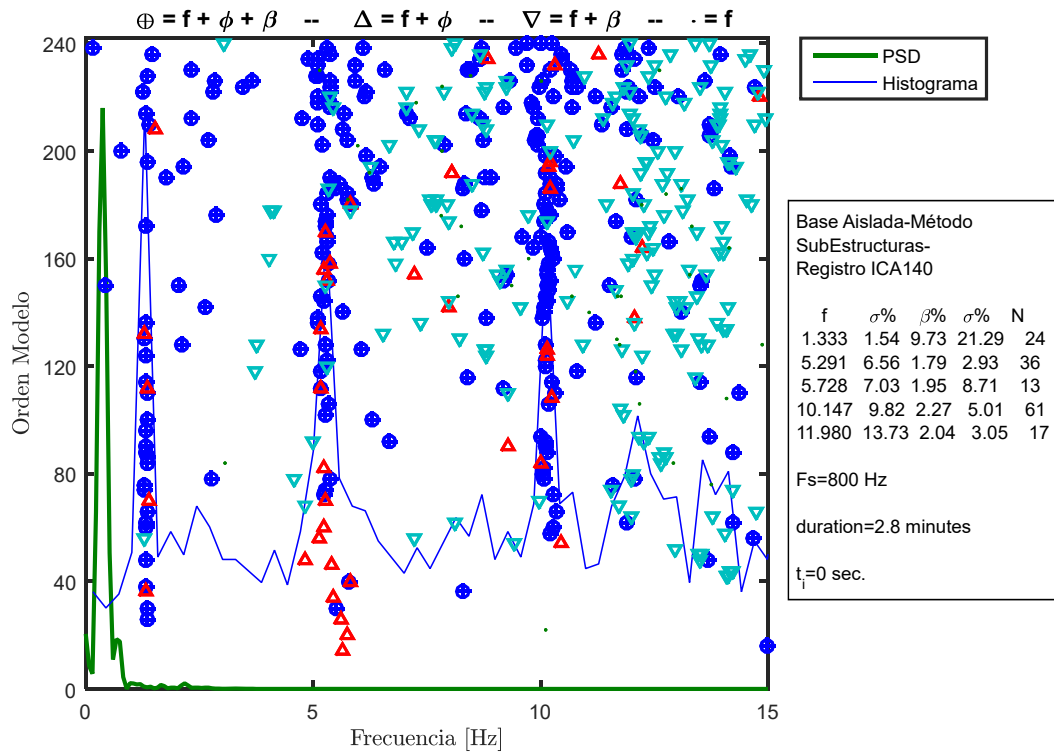


Figura 10.201: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.202 hasta la Figura 10.205.

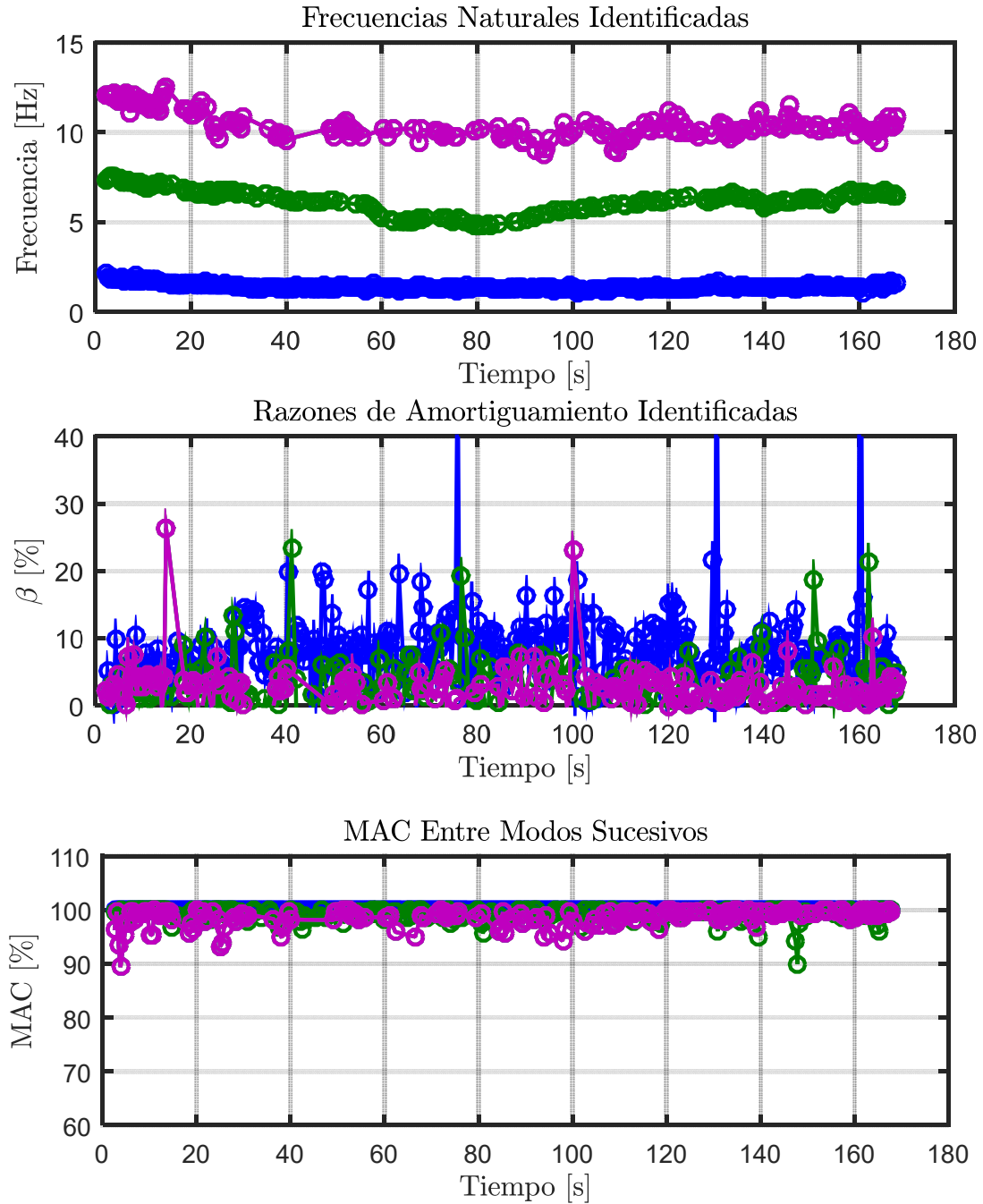


Figura 10.202: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples subestructuras, registro BI7-ICA140.

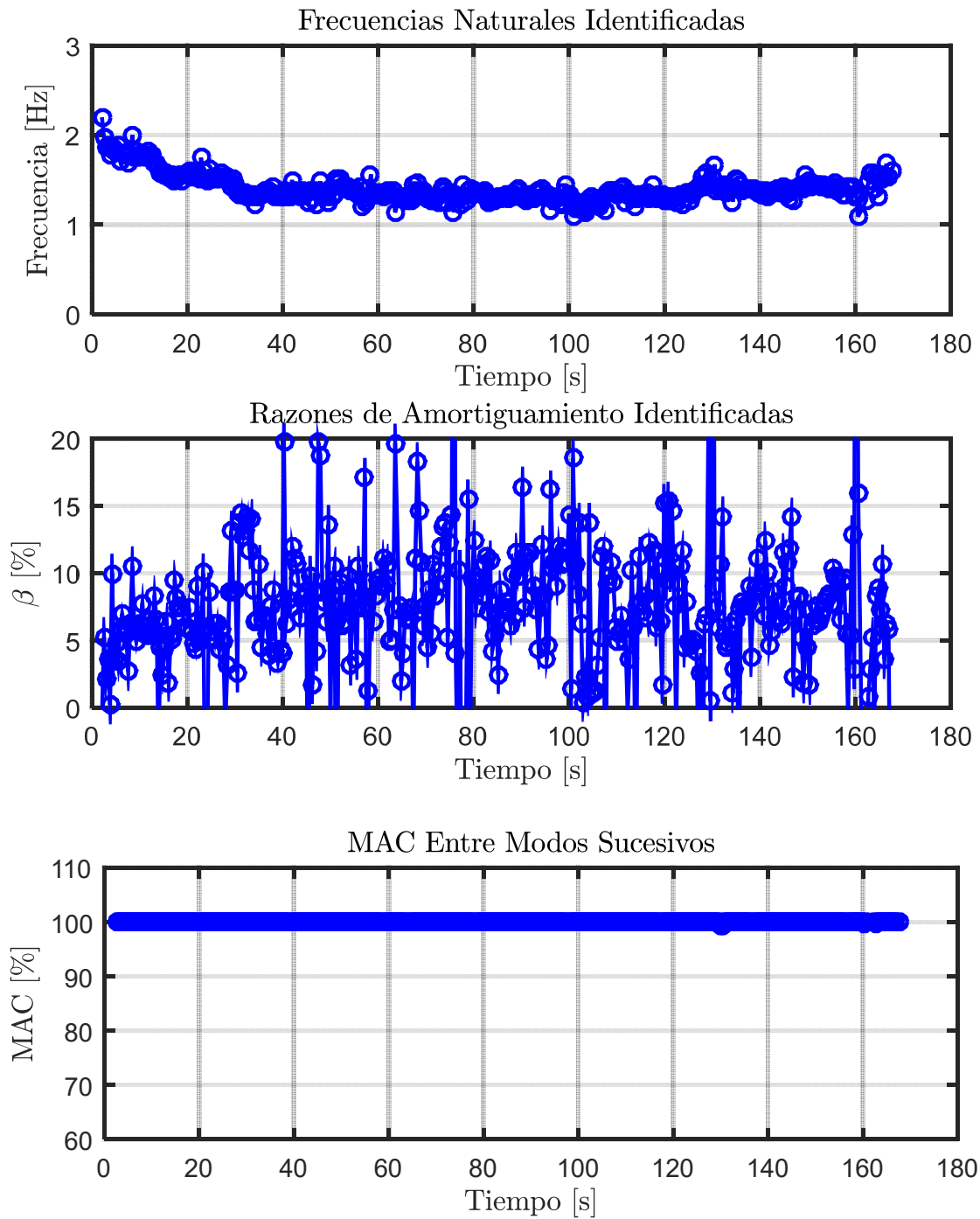
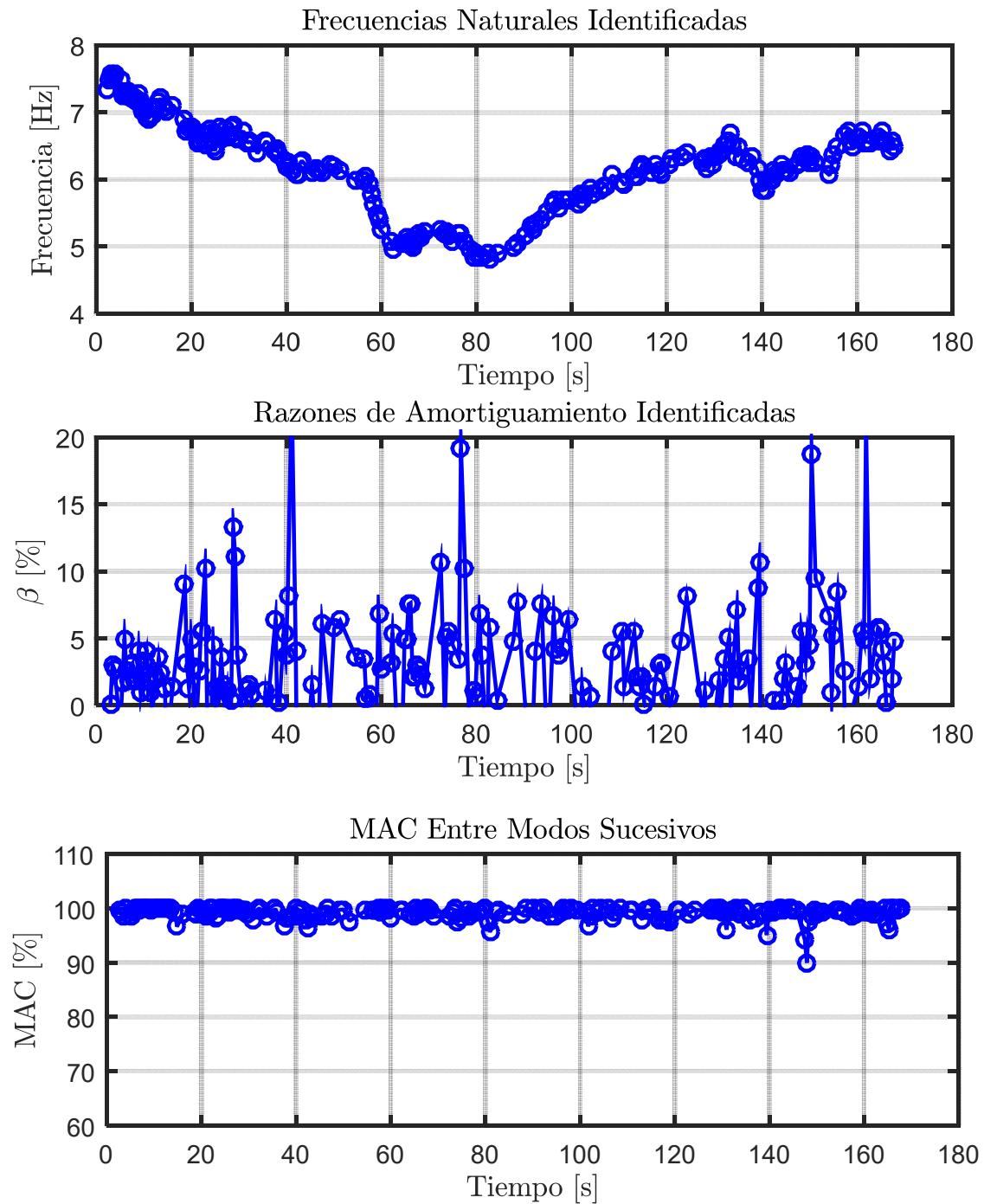


Figura 10.203: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.



**Figura 10.204: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro B17-ICA140.**

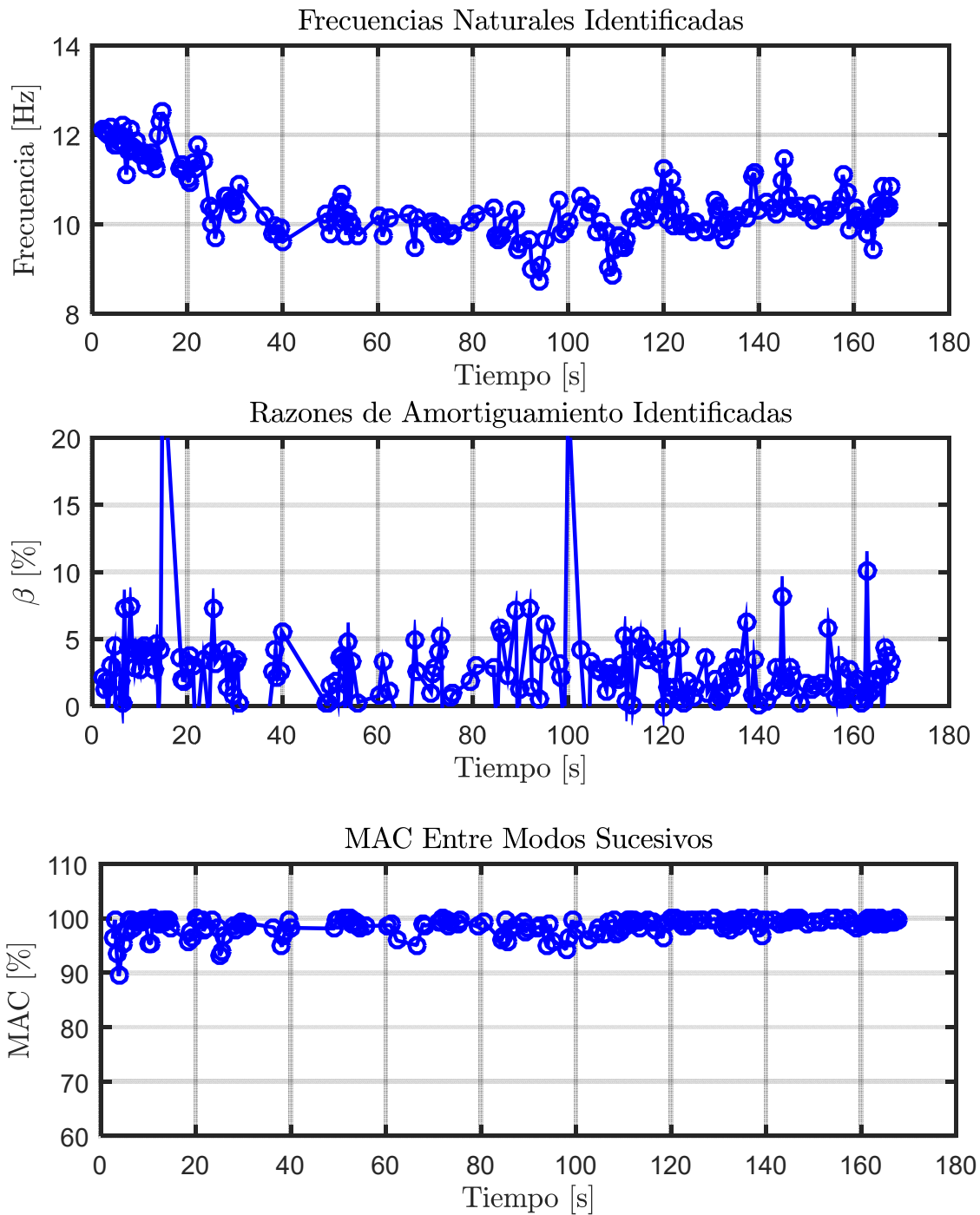


Figura 10.205: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.



#### 10.3.2.6.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

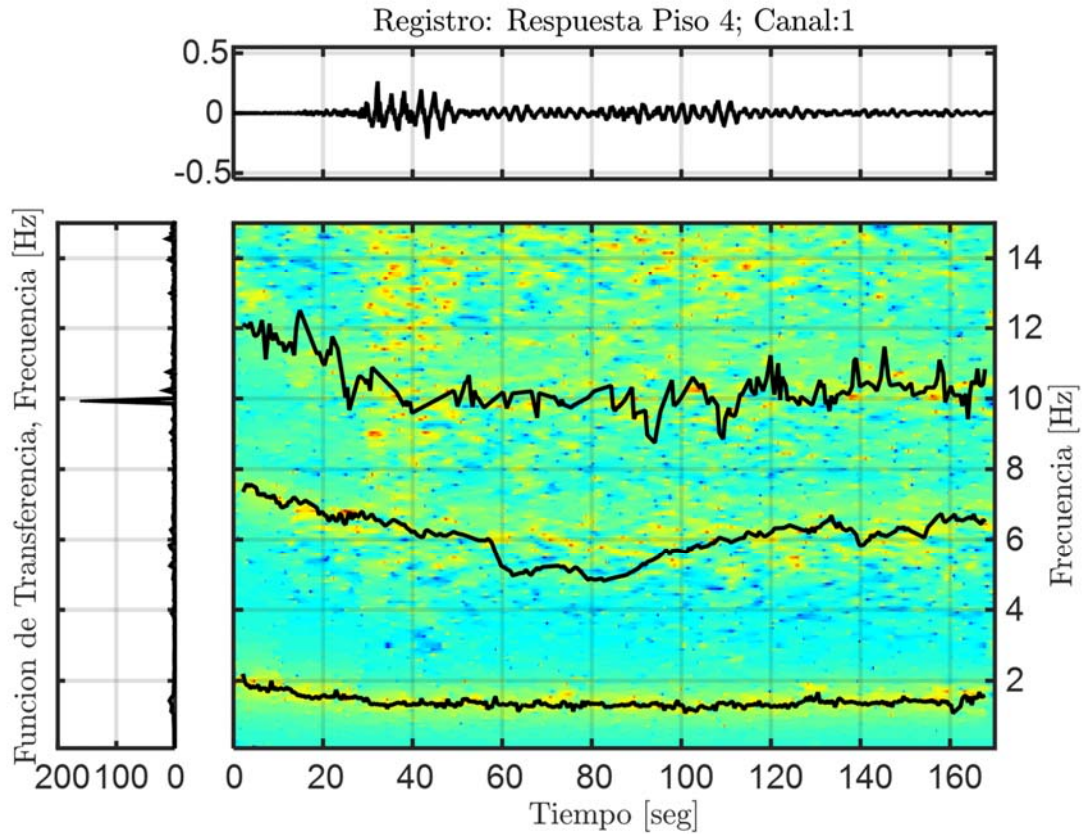


Figura 10.206: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.

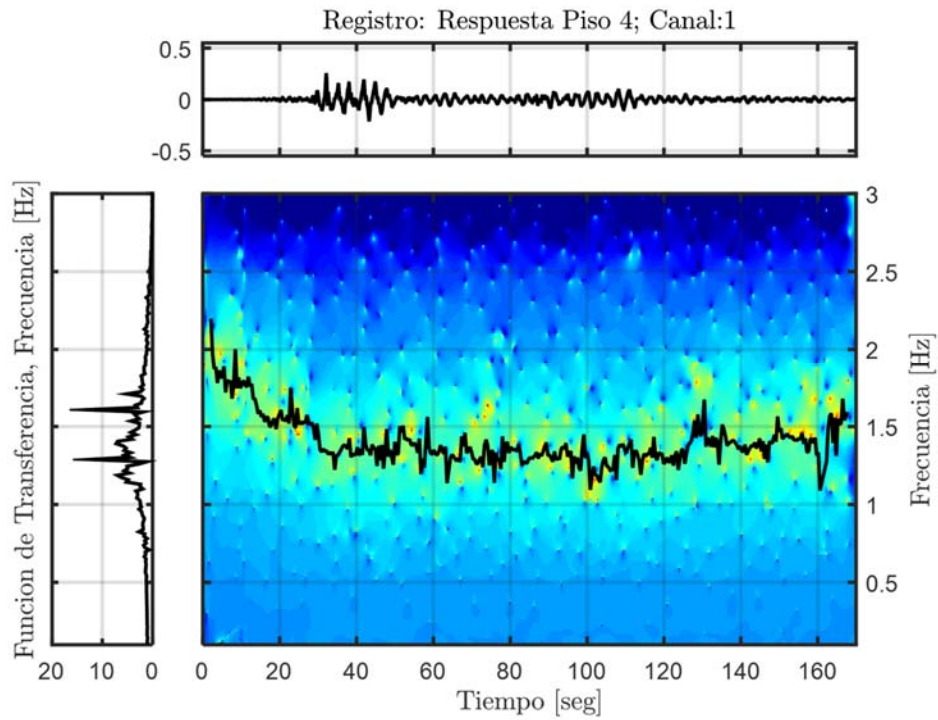


Figura 10.207: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI7-ICA140.

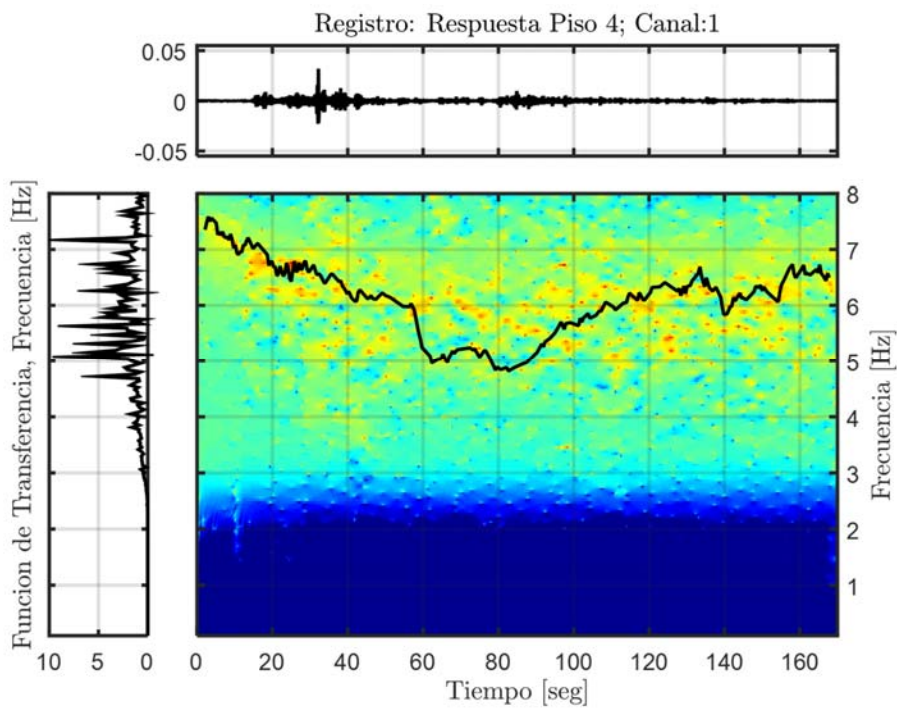
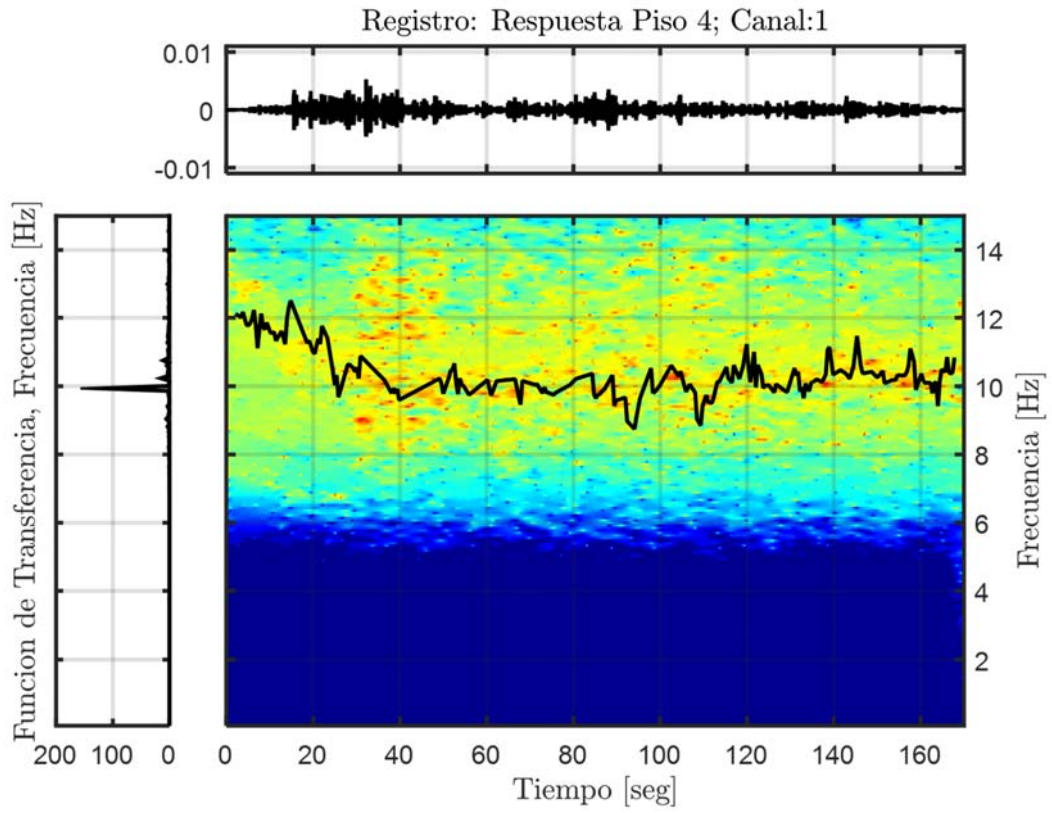


Figura 10.208: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura aislada, Método de múltiples subestructuras, Registro BI7-ICA140.



**Figura 10.209:** Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura aislada, Método de múltiples sub-estructuras, Registro BI7-ICA140.

### 10.3.2.6.5 Resumen y Análisis de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.53: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura aislada BNCS, método de múltiples sub-estructuras, registro BI7-ICA140.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	1,328	1,598	1,969	1,053	1,231	1,568	1,593
2	6,327	6,675	7,473	4,740	4,847	6,706	6,575
3	10,471	10,877	12,060	9,000	9,746	10,772	10,840

### 10.3.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Estructura BNCS Base Fija

#### 10.3.3.1 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento FB-LAC100

##### 10.3.3.1.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura sin Aislación

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura sin aislación, la respuesta sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.210. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.211.

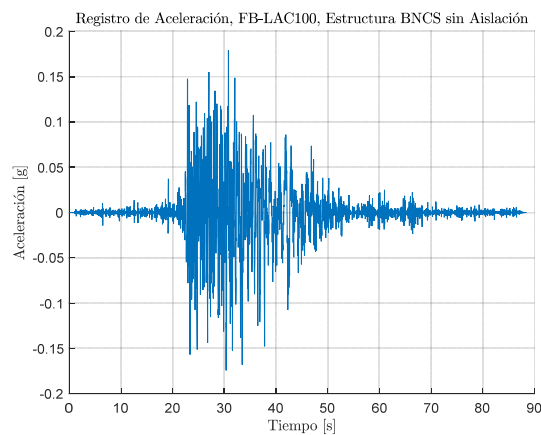


Figura 10.210: Input estructura aislada, Registro FB-LAC100.

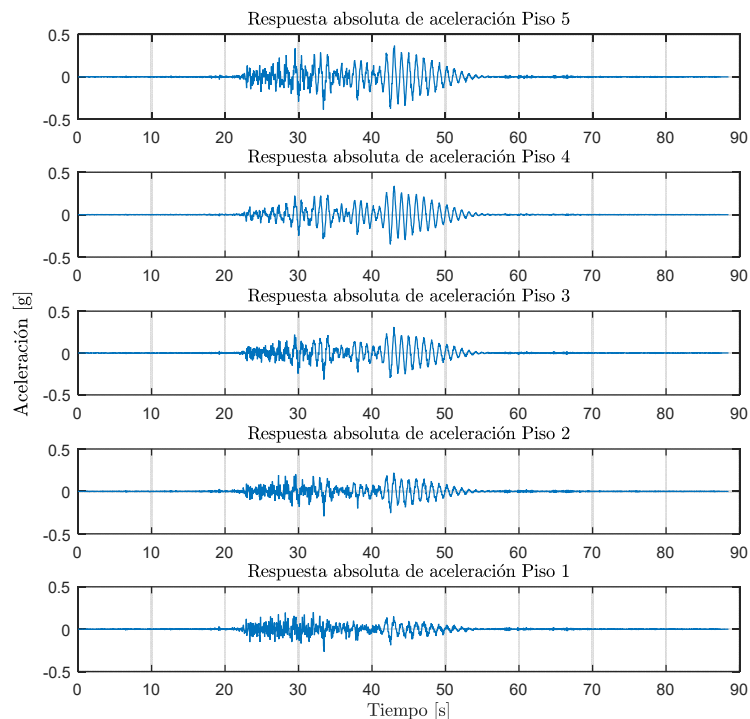


Figura 10.211: Output estructura aislada, Registro FB-LAC100.

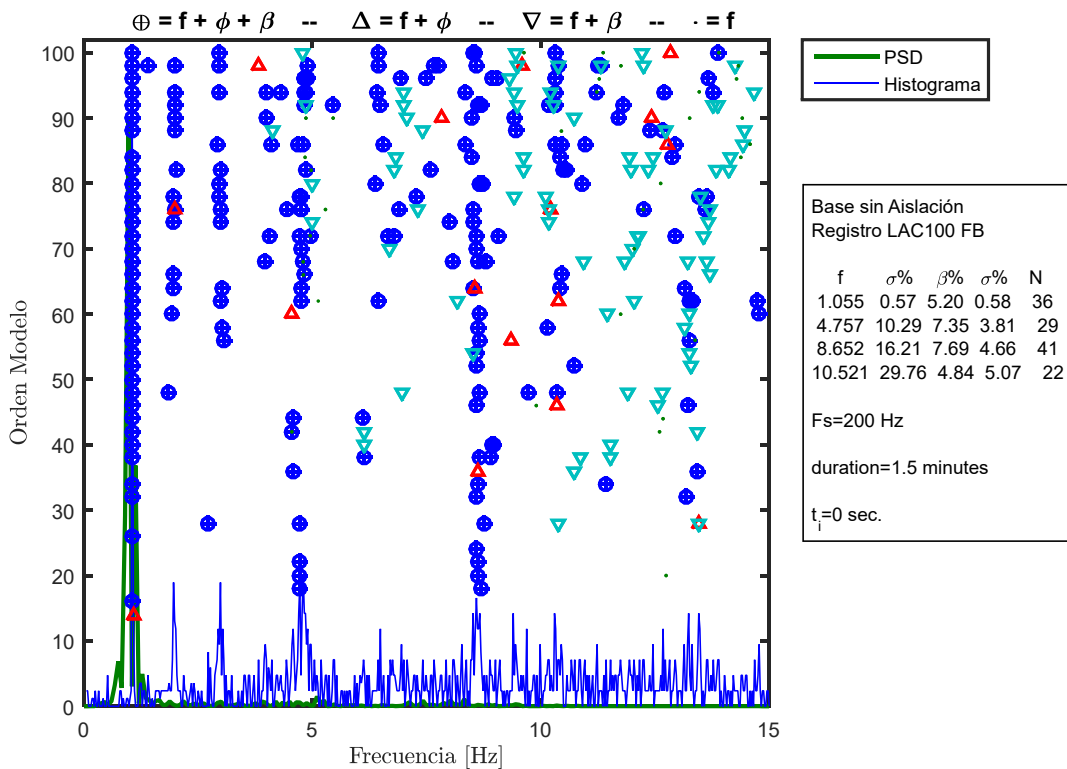
### 10.3.3.1.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.54.

**Tabla 10.54: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-LAC100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	10
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	50



**Figura 10.212: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.**

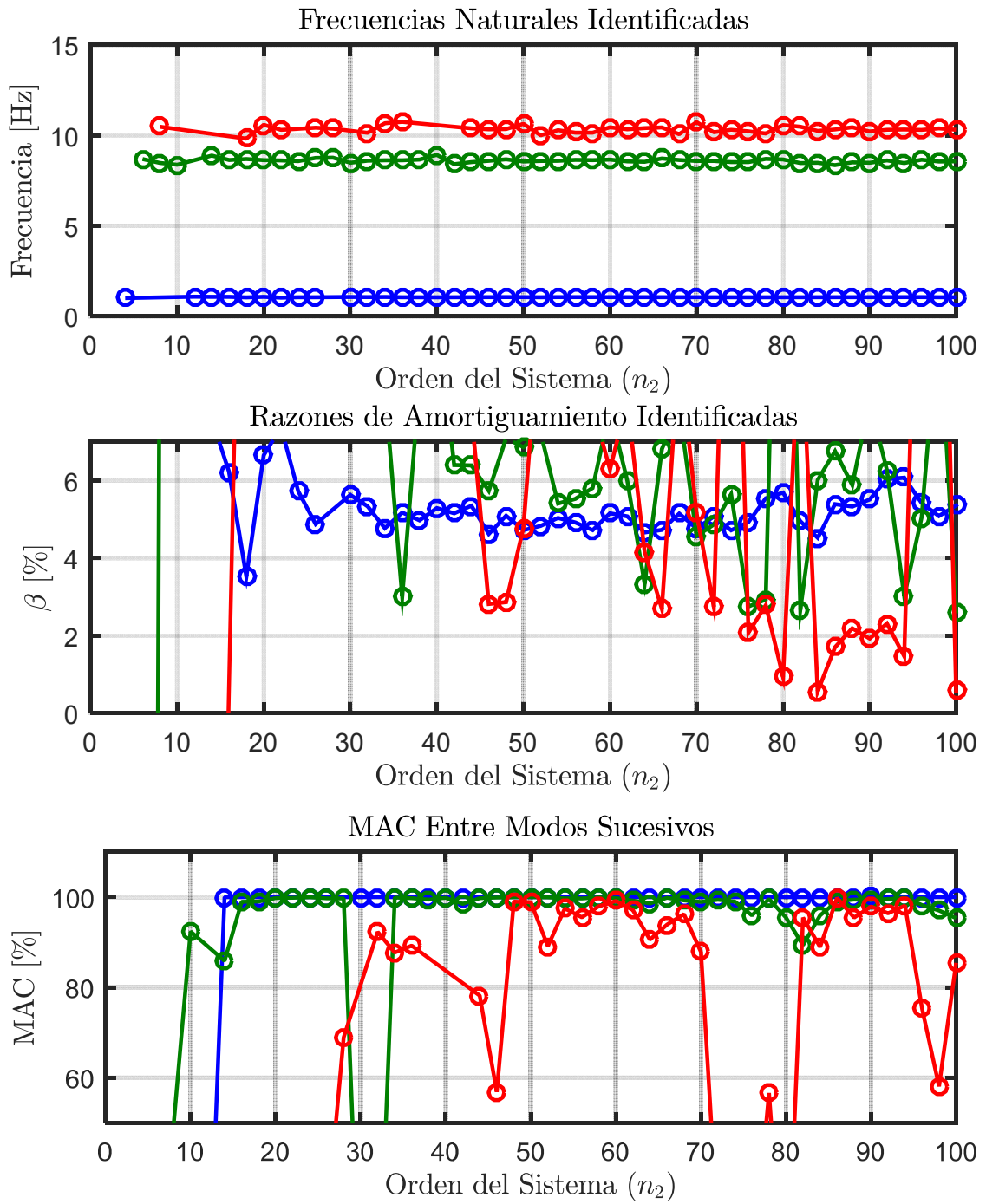


Figura 10.213: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.

### 10.3.3.1.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.55.

**Tabla 10.55: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	60
Smin	1703
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,257
Cantidad de ventanas	198
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,1
Ventana 2	60
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	30
Ventana 3	165
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	70
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	15
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	70
Frecuencia de resampleo [Hz]	400

En la Figura 10.214, Figura 10.215 y Figura 10.216 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.



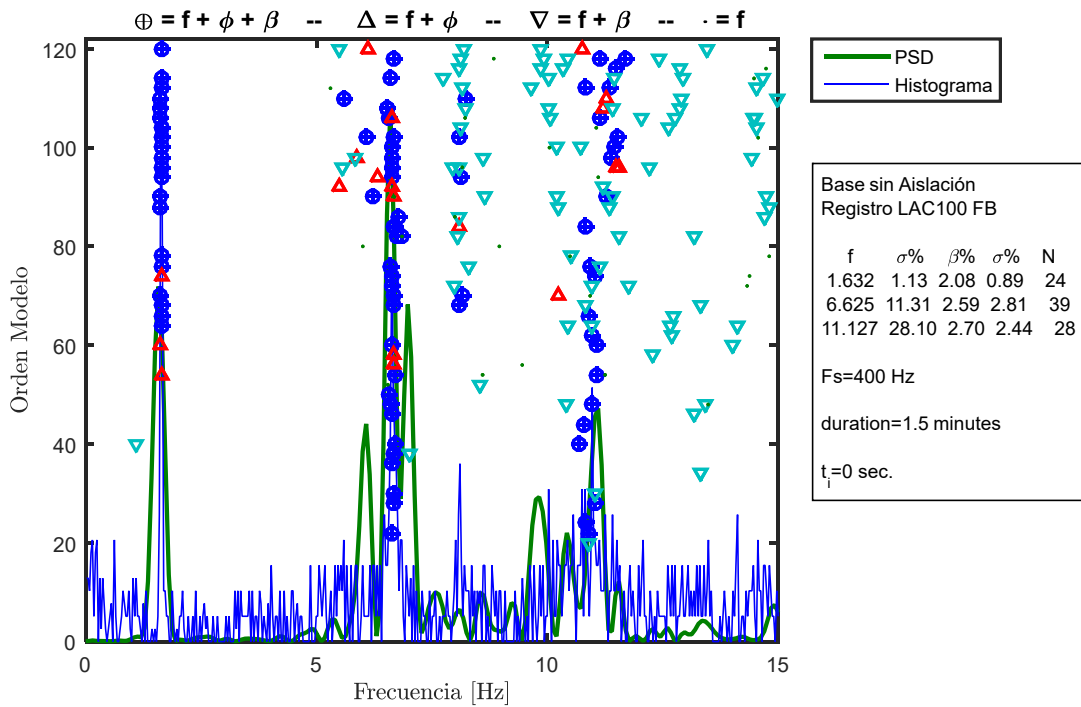


Figura 10.214: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-LAC100.

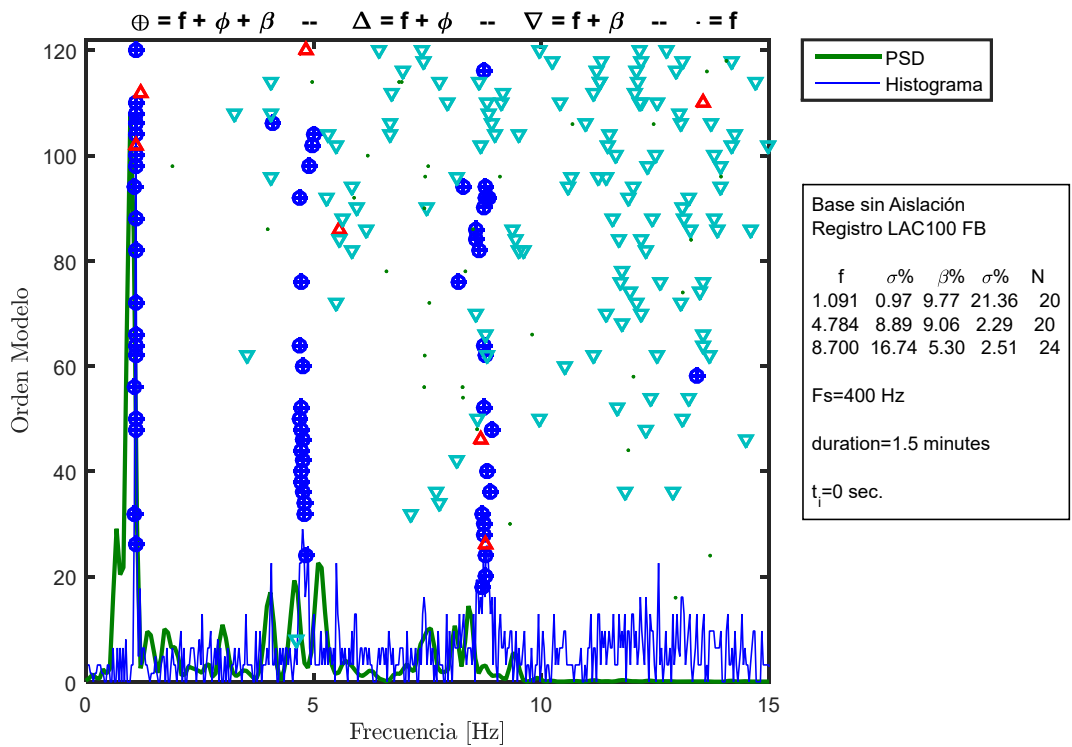


Figura 10.215: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-LAC100.

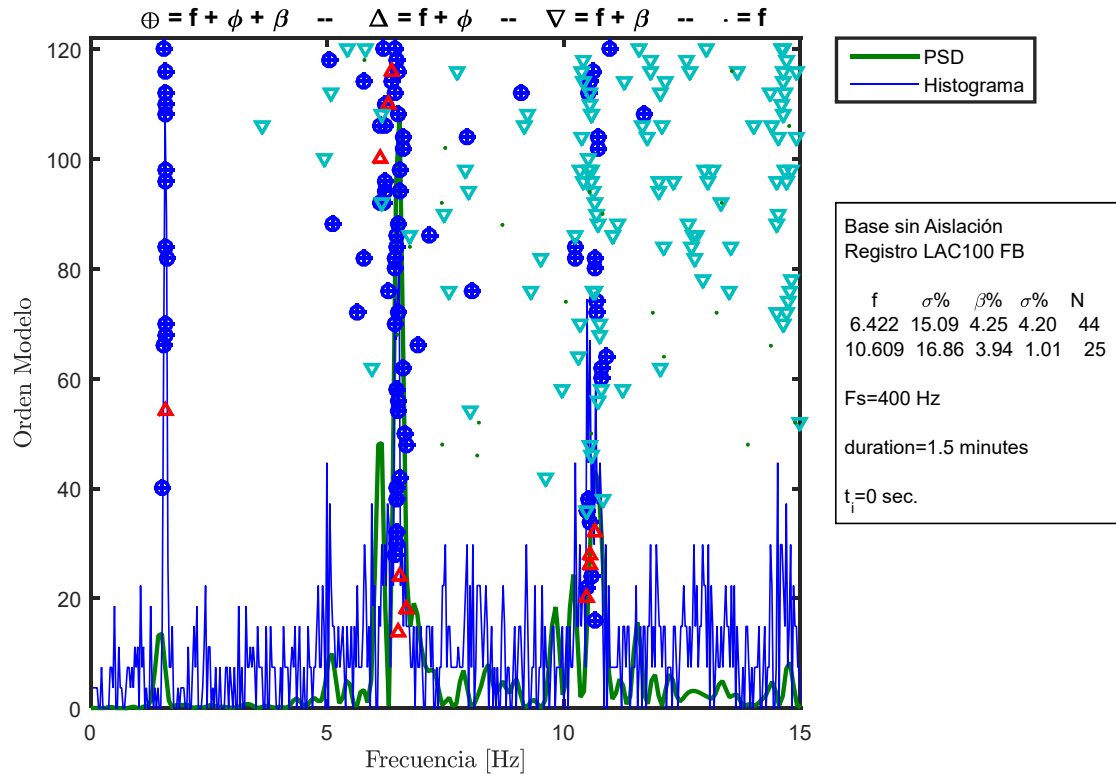


Figura 10.216: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-LAC100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.217 hasta la Figura 10.220.

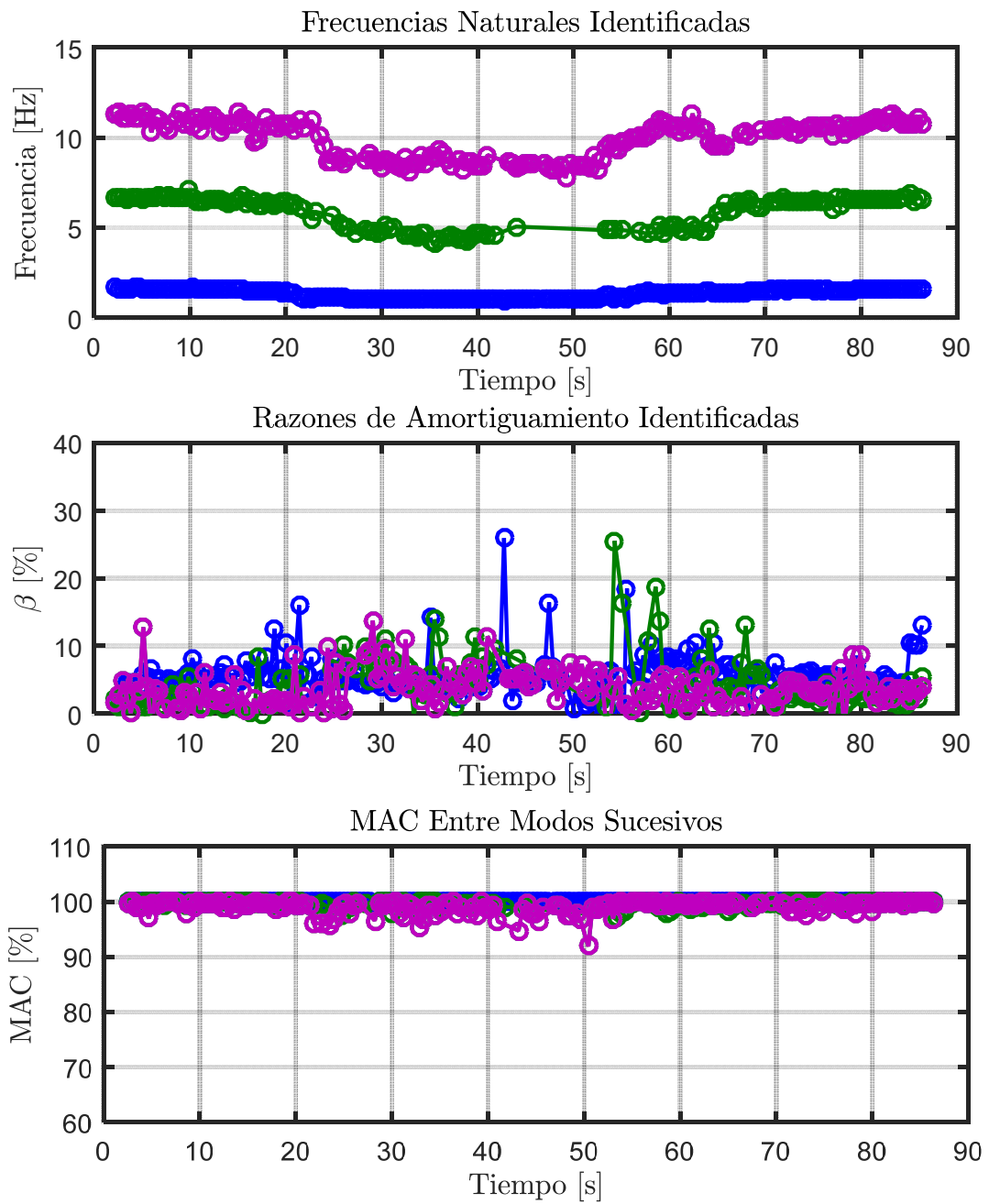


Figura 10.217: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCs, registro FB-LAC100.

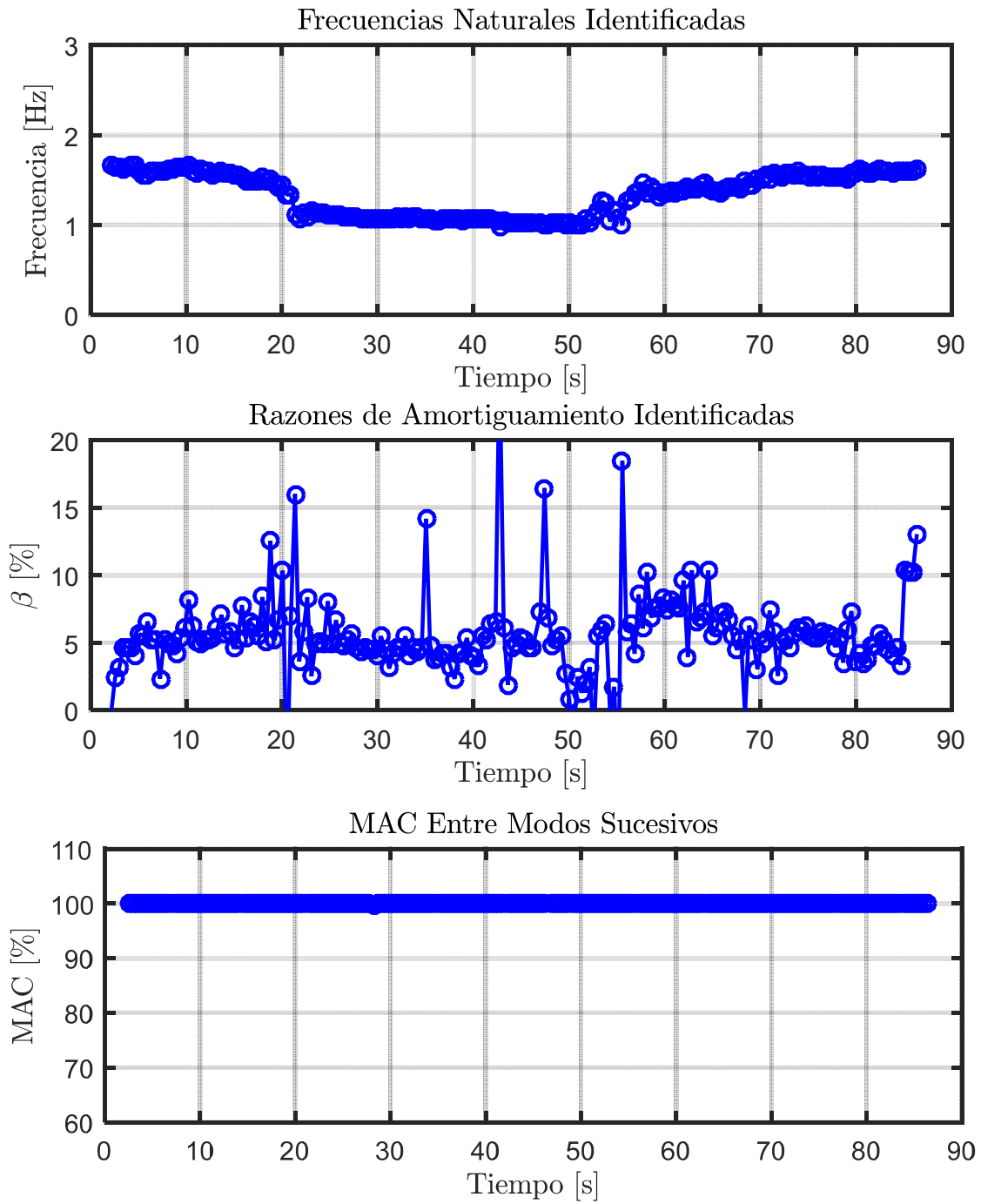


Figura 10.218: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.

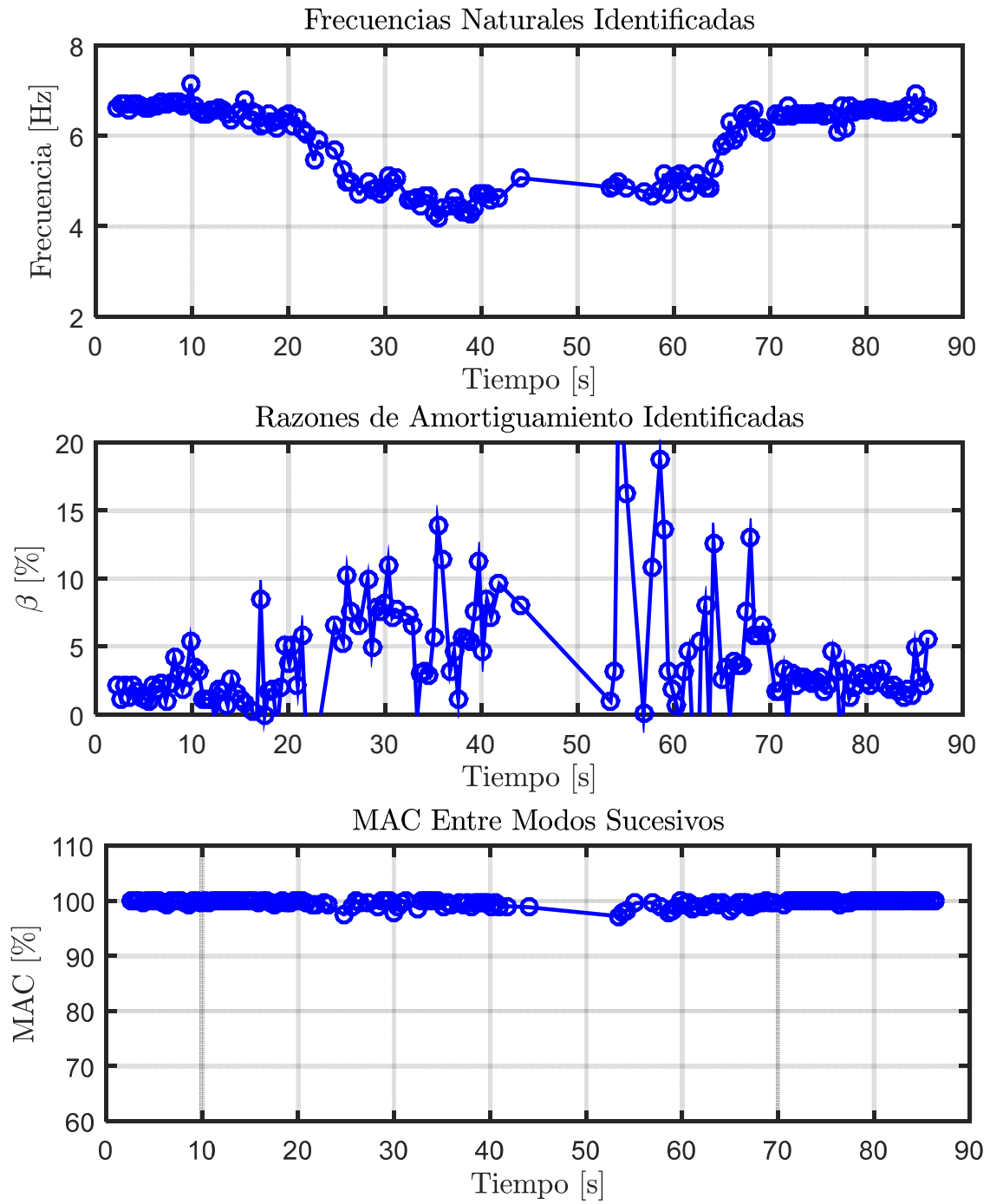


Figura 10.219: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.

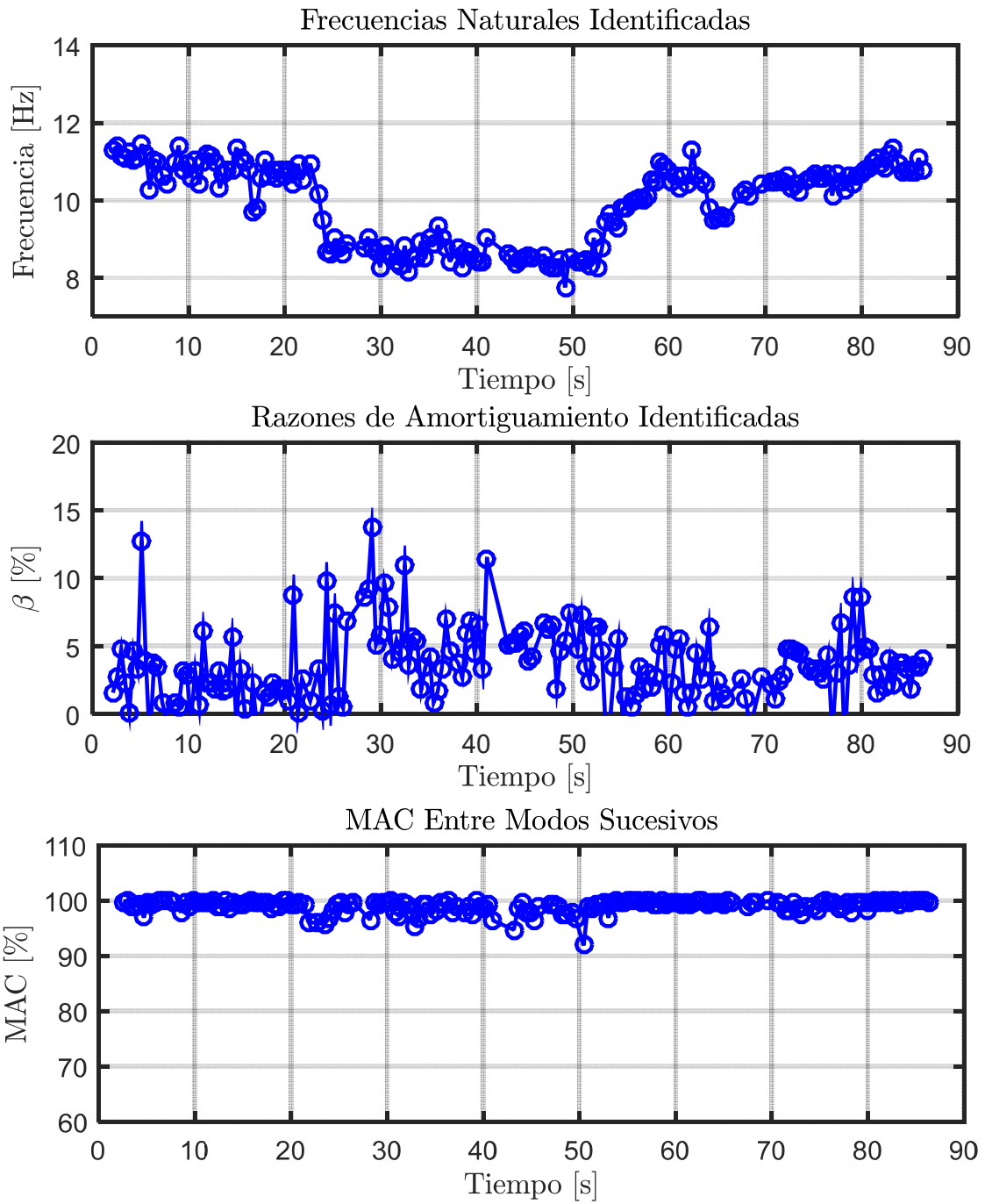


Figura 10.220: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.

#### 10.3.3.1.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

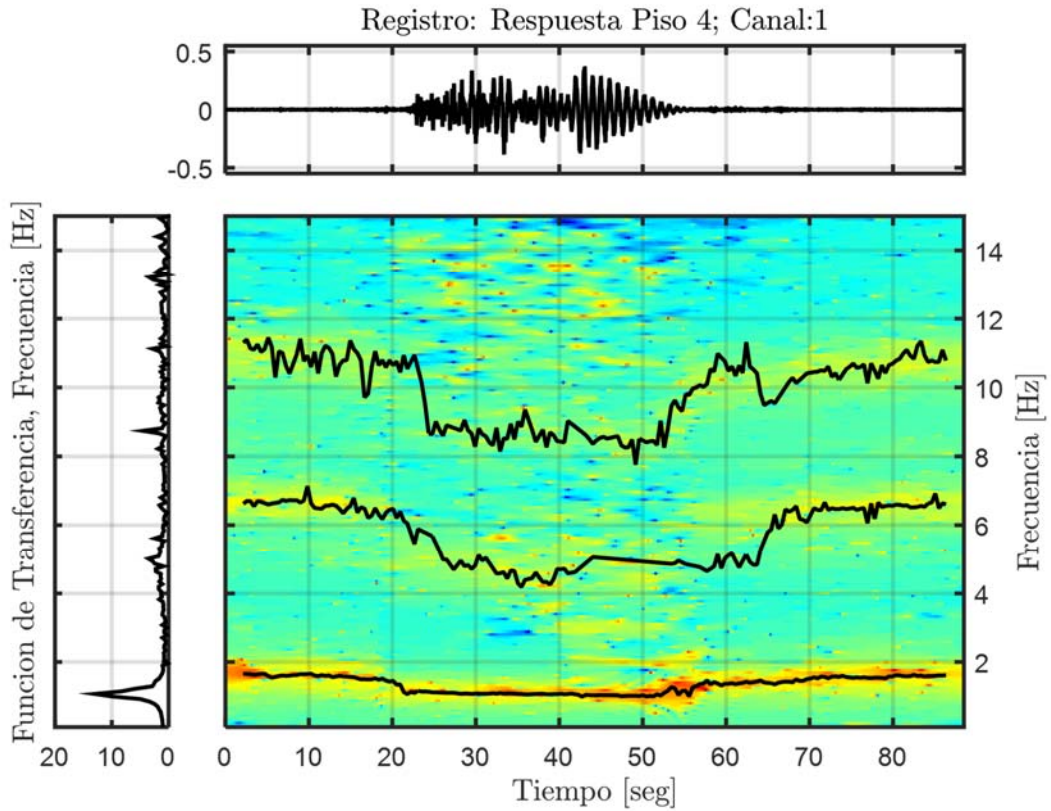


Figura 10.221: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100.

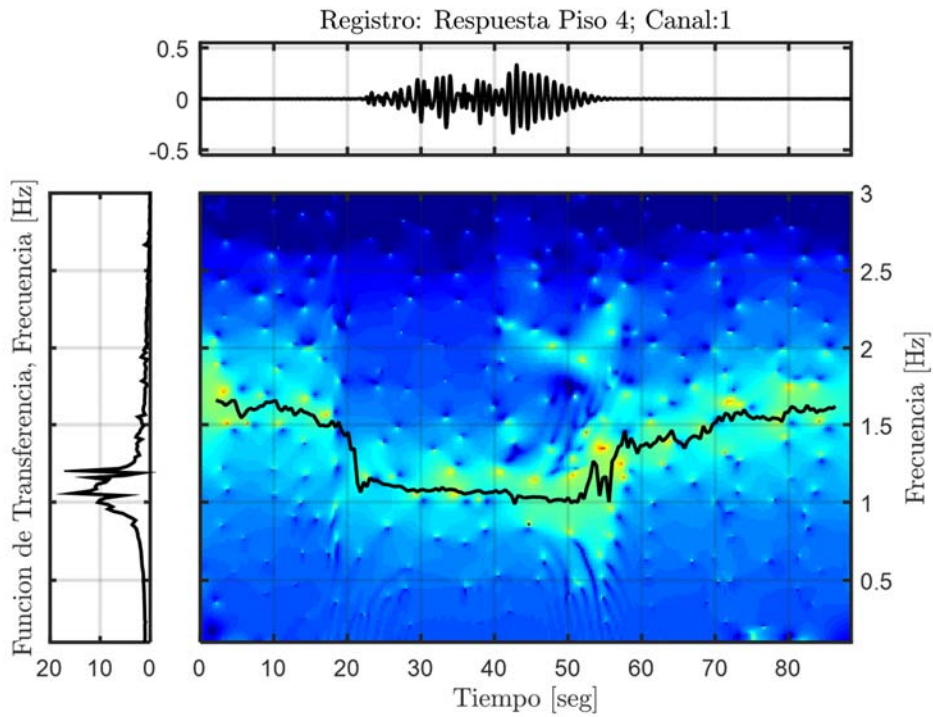


Figura 10.222: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100.

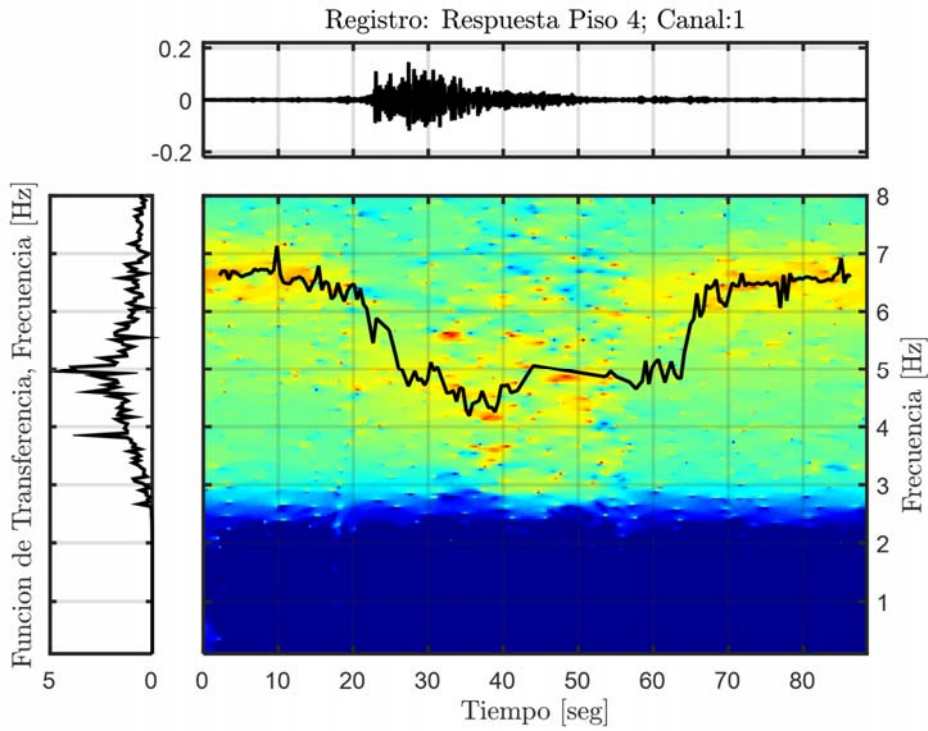


Figura 10.223: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100.



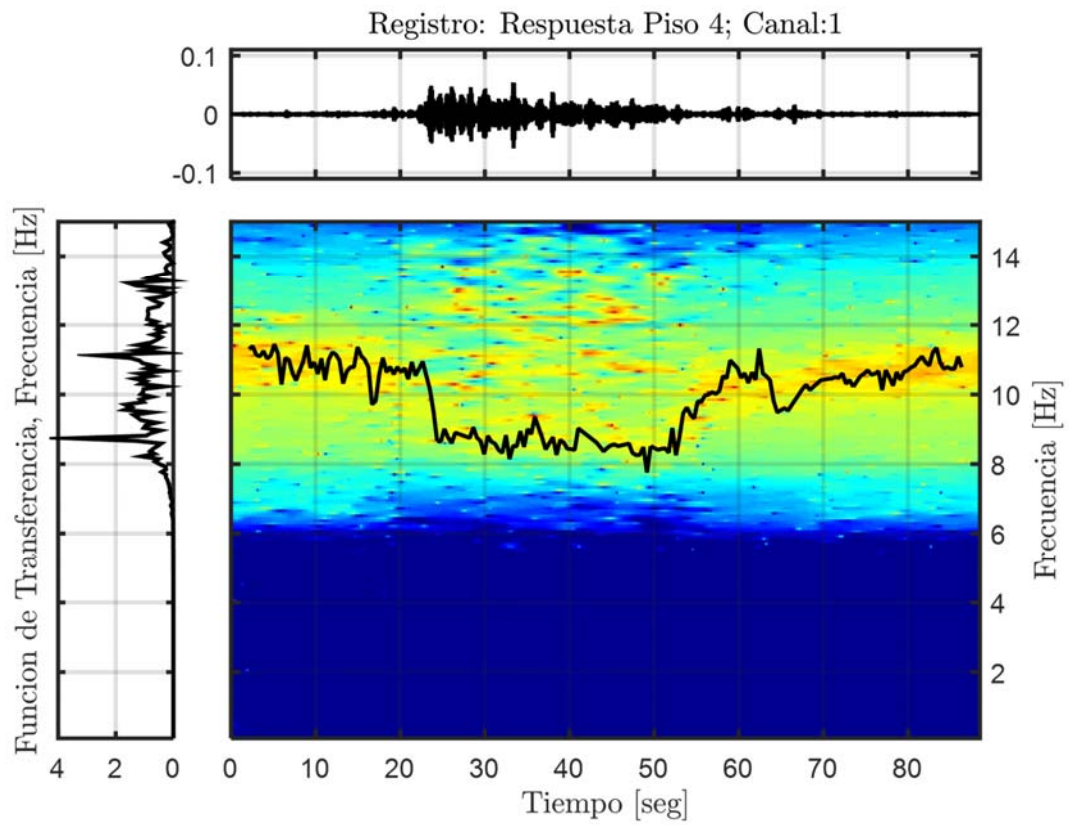


Figura 10.224: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-LAC100.

### 10.3.3.1.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.56: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-LAC100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	1,055	1,659	1,651	1,053	1,063	1,621	1,609
2	4,757	6,780	6,551	4,711	4,397	6,603	6,536
3	10,521	11,035	11,140	8,666	8,512	10,789	10,740

### 10.3.3.2 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento FB-ICA50

#### 10.3.3.2.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura sin Aislación

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura sin aislación, la respuesta sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.225. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.211.

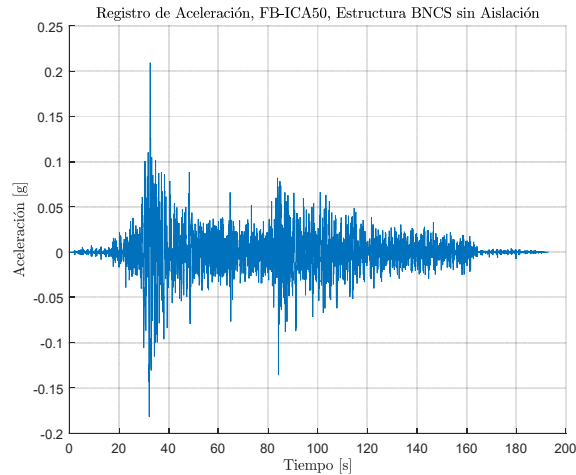


Figura 10.225: Input estructura aislada, Registro FB-ICA50.

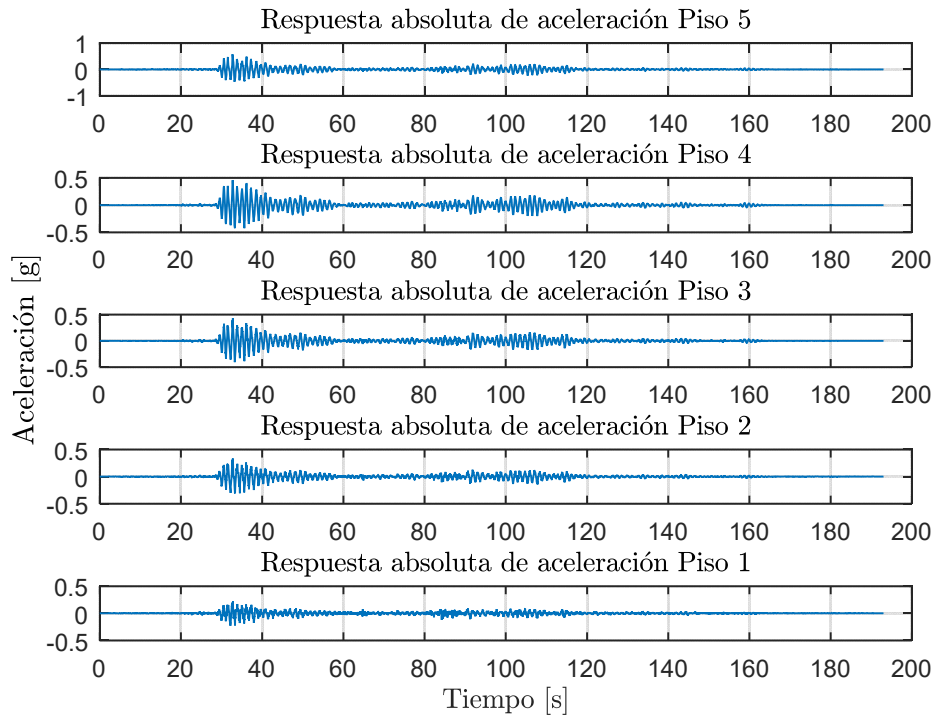


Figura 10.226: Output estructura aislada, Registro FB-ICA50.

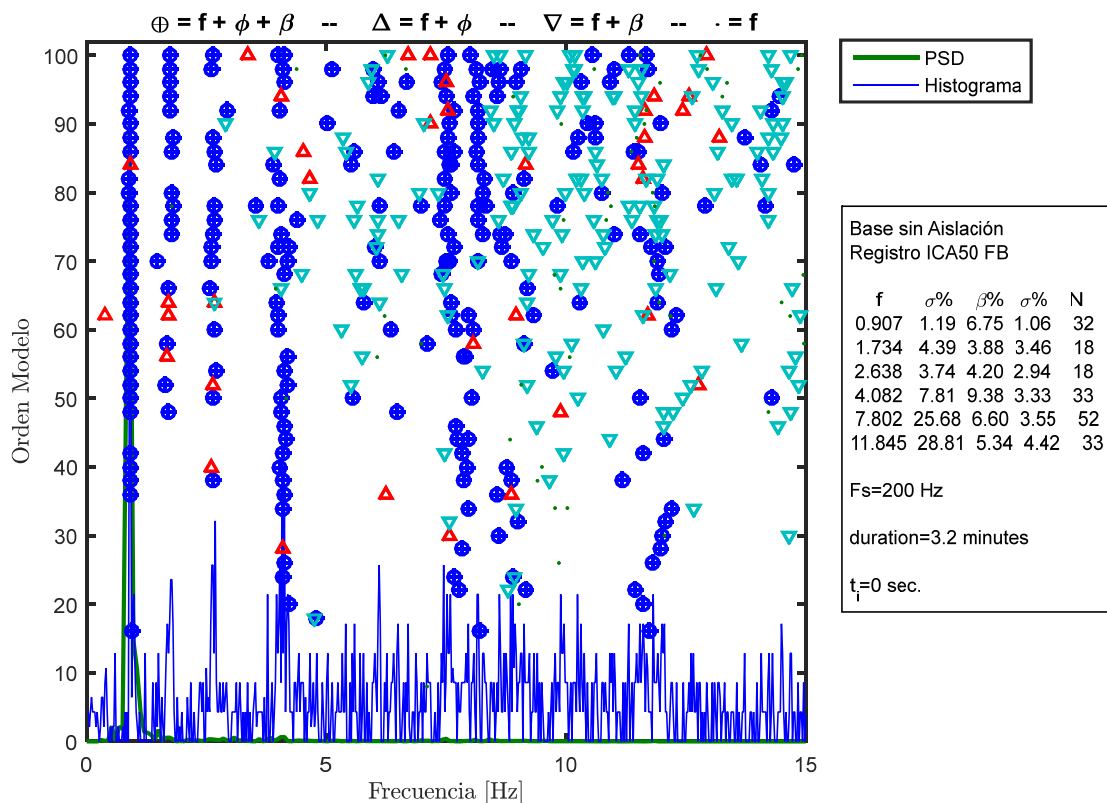
### 10.3.3.2.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.57.

**Tabla 10.57: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCS. Registro FB-ICA50.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	2
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	10
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	50



**Figura 10.227: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.**

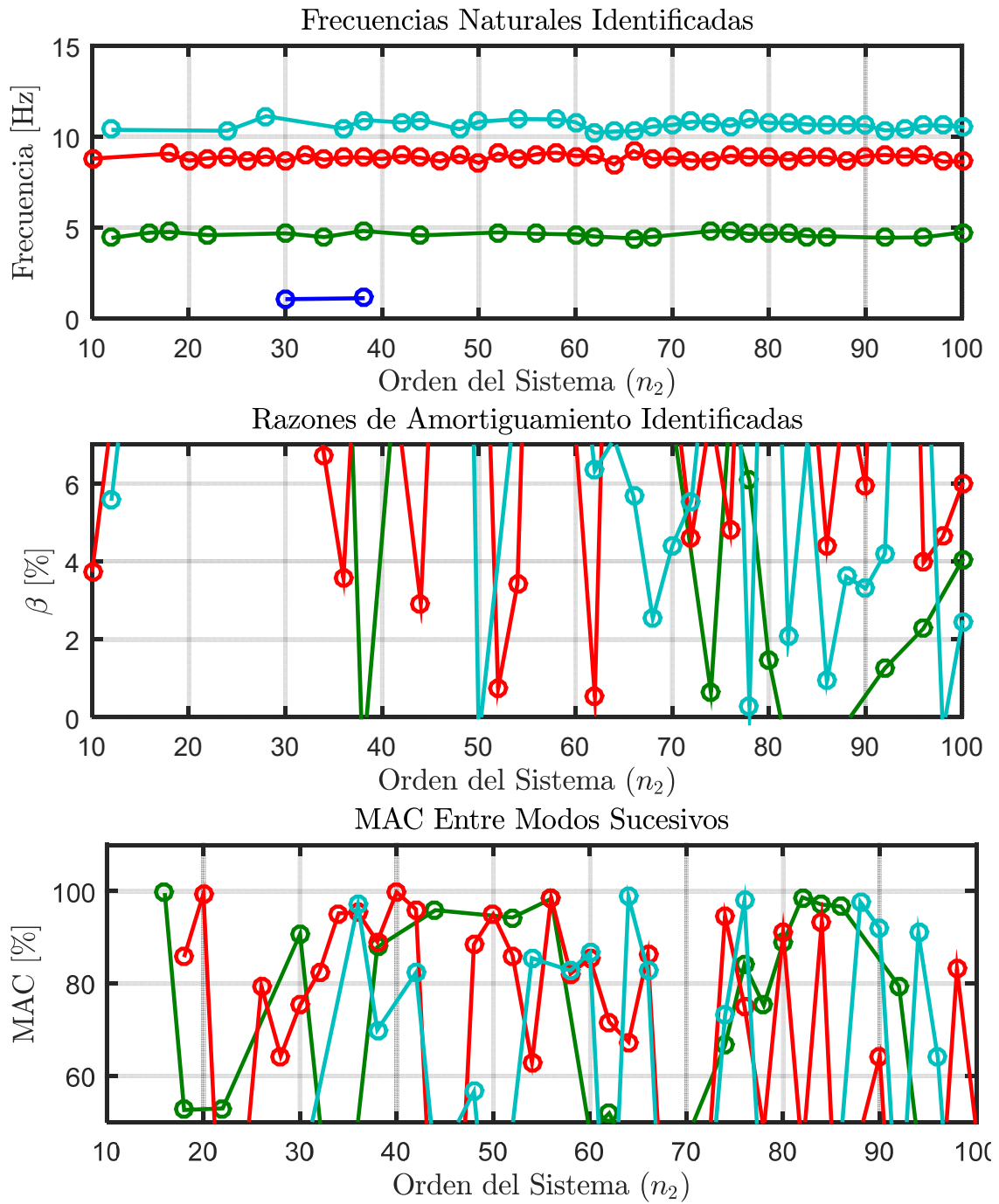


Figura 10.228: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.

### 10.3.3.2.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.58.

**Tabla 10.58: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	2
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	80
Smin	2263
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	3,771
Cantidad de ventanas	501
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	1,8
Ventana 2	80
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	30
Ventana 3	442
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	170
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	15
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	70
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.229, Figura 10.230 y Figura 10.231 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

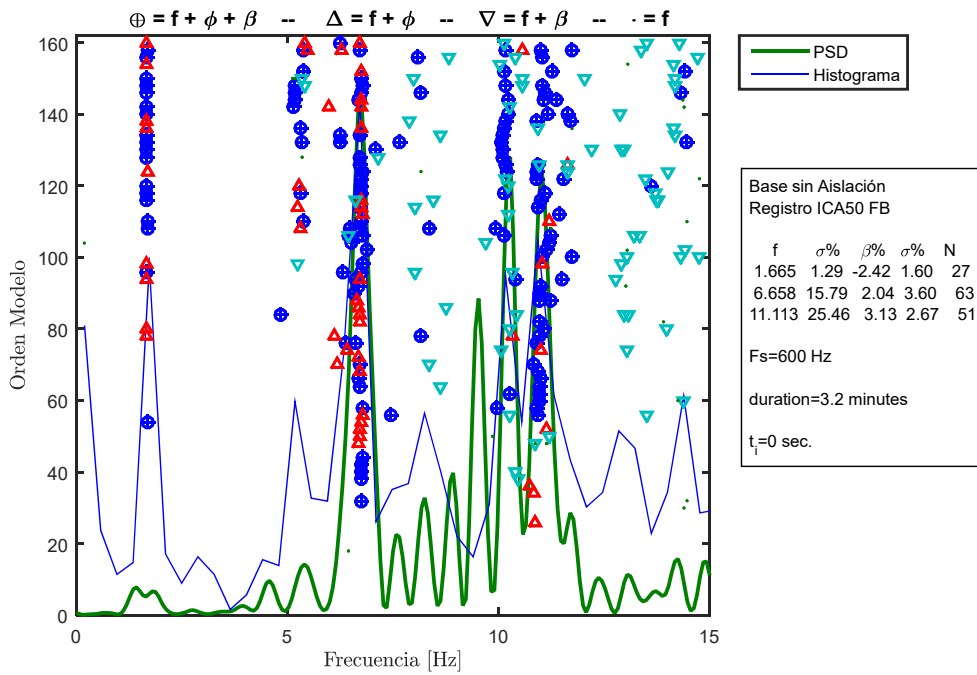


Figura 10.229: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-ICA50.

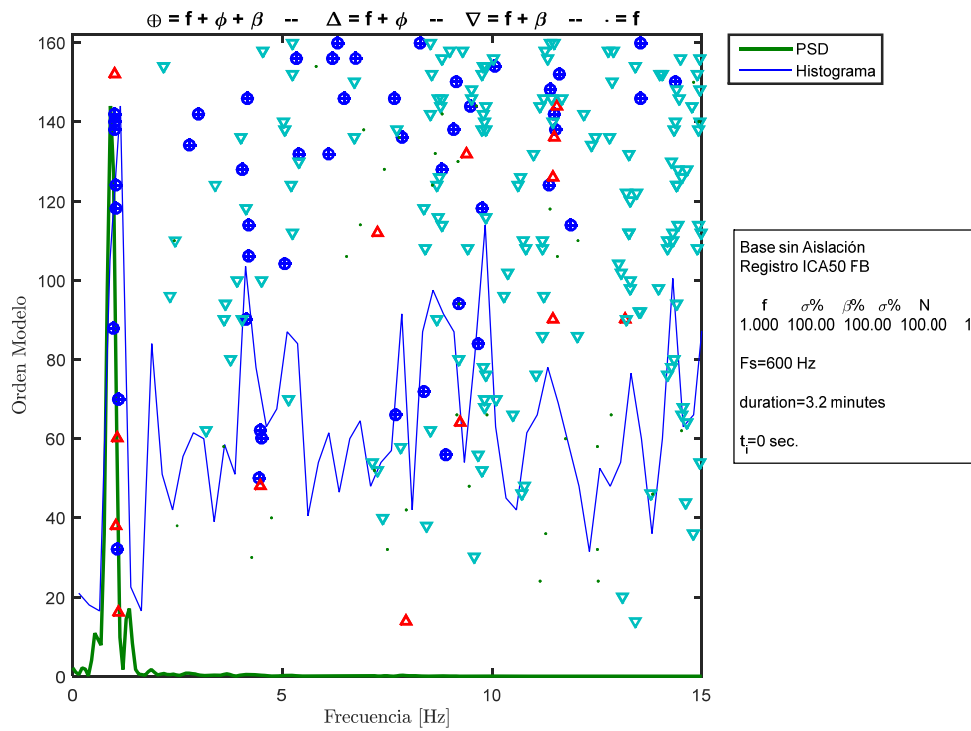


Figura 10.230: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-ICA50.

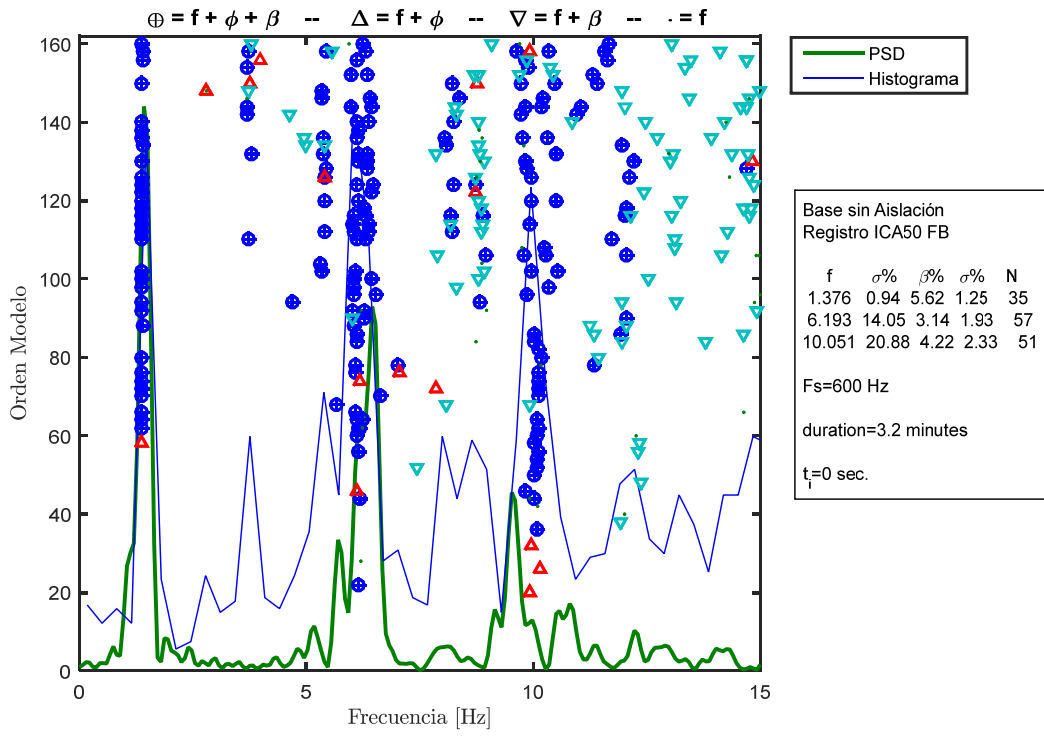


Figura 10.231: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.



Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.232 hasta la Figura 10.235.

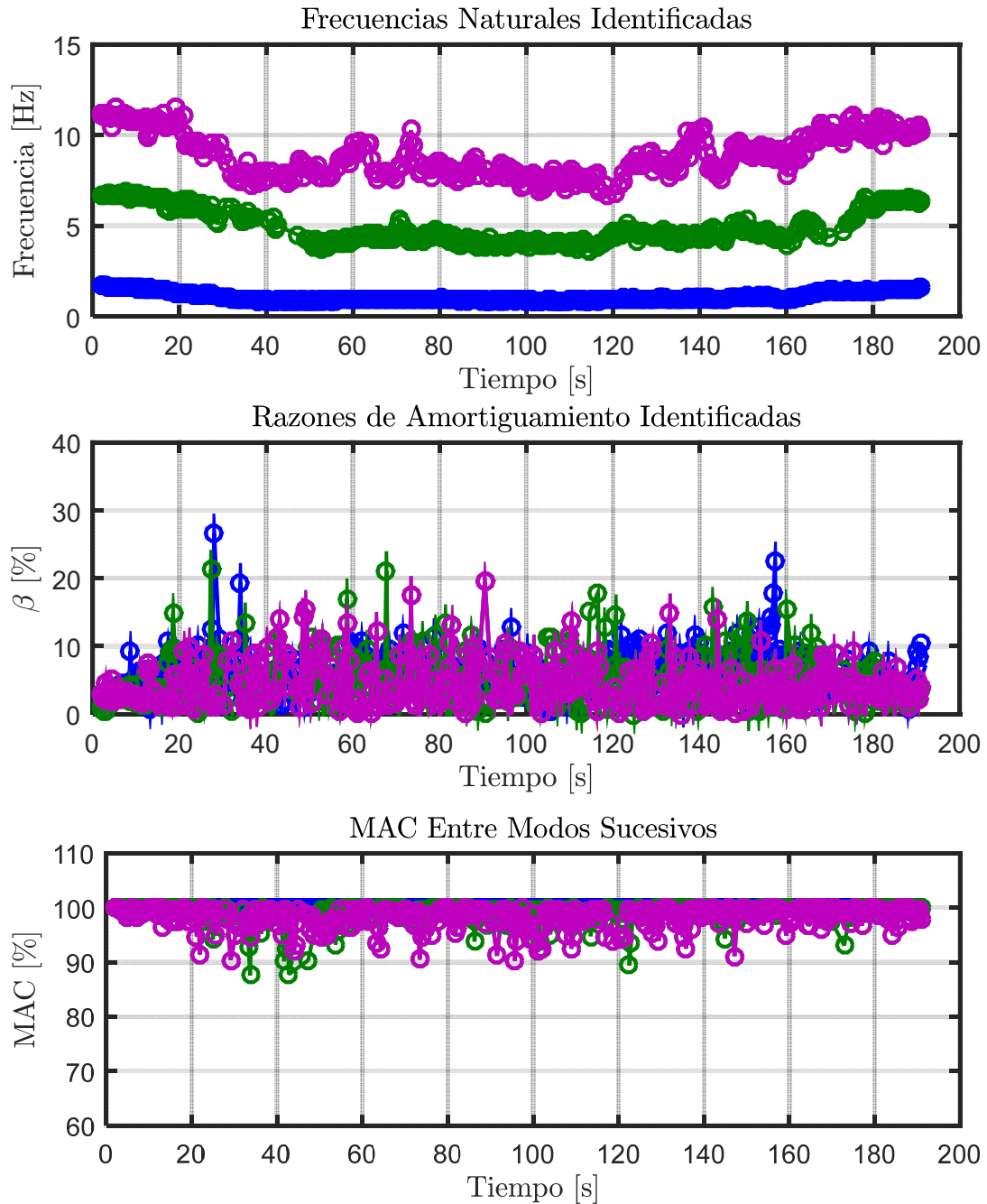


Figura 10.232: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.

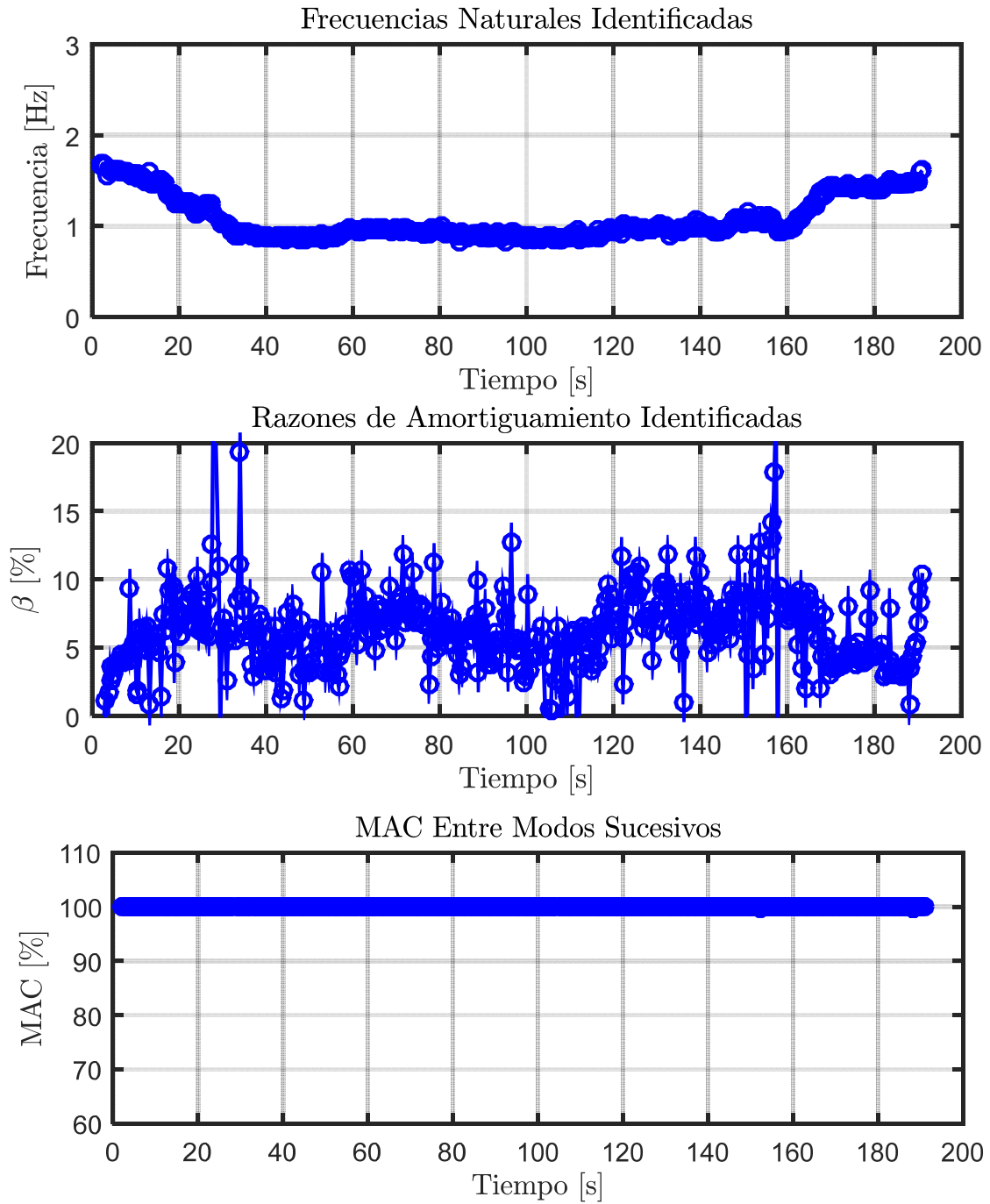
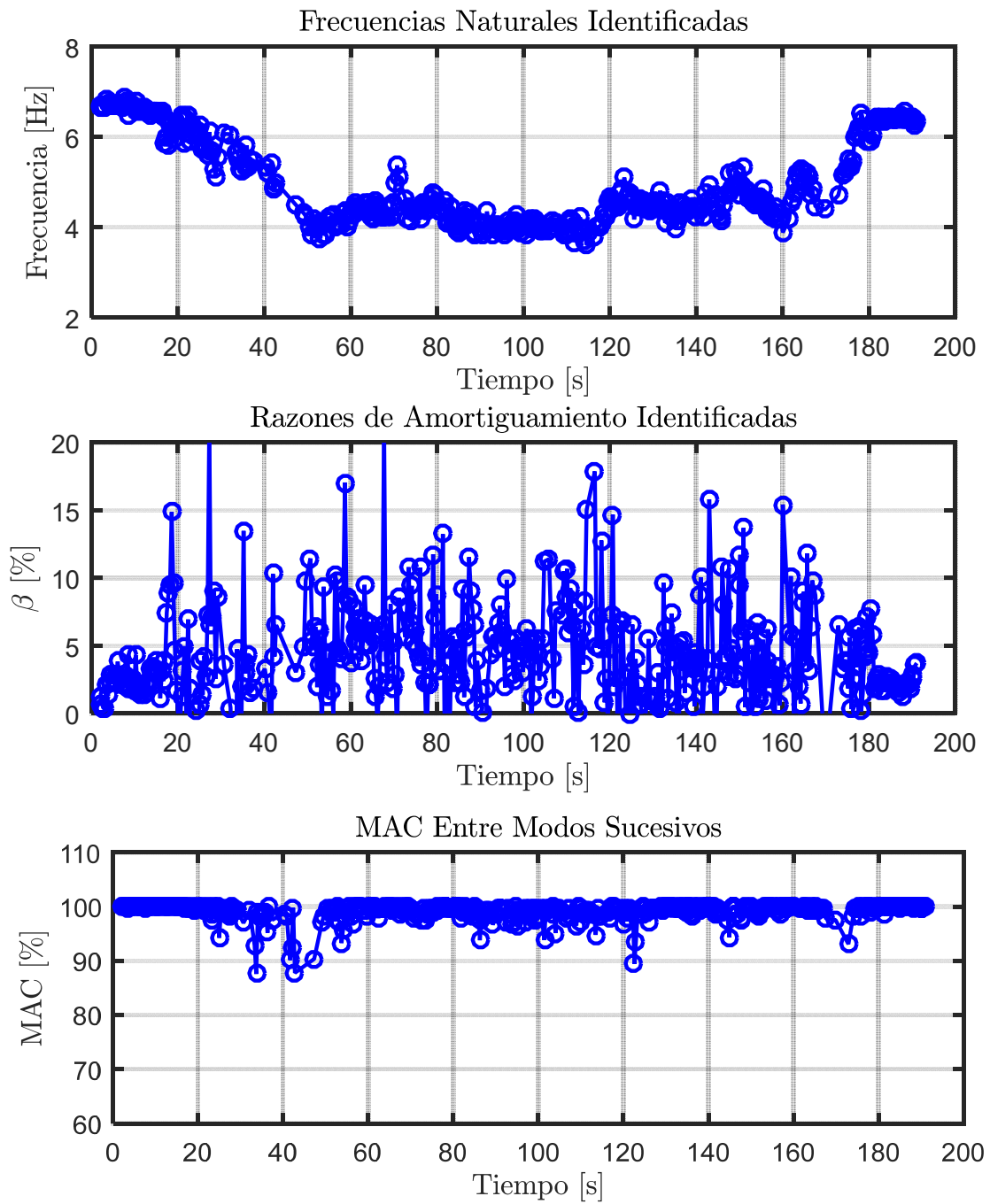


Figura 10.233: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.



**Figura 10.234: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.**

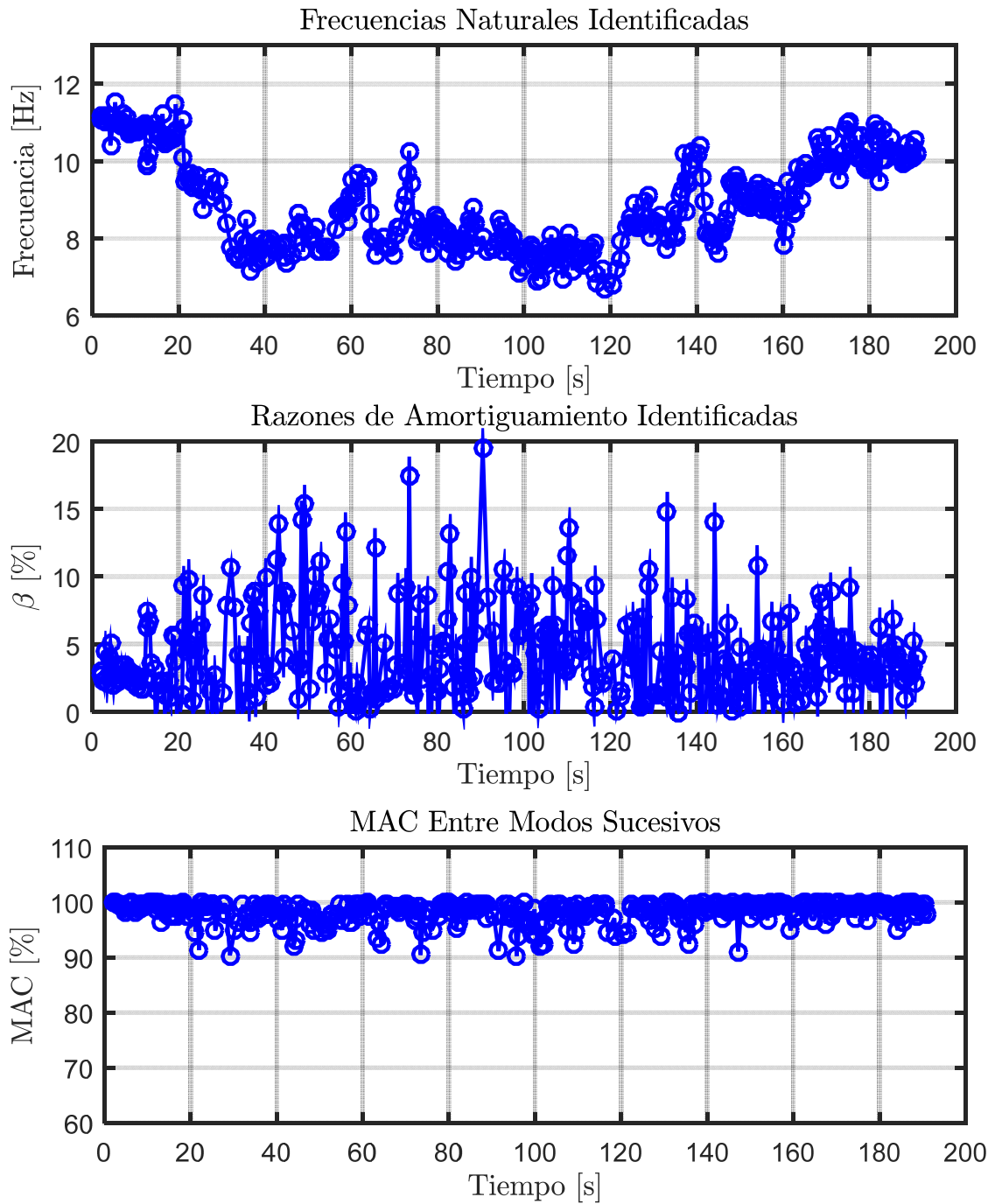
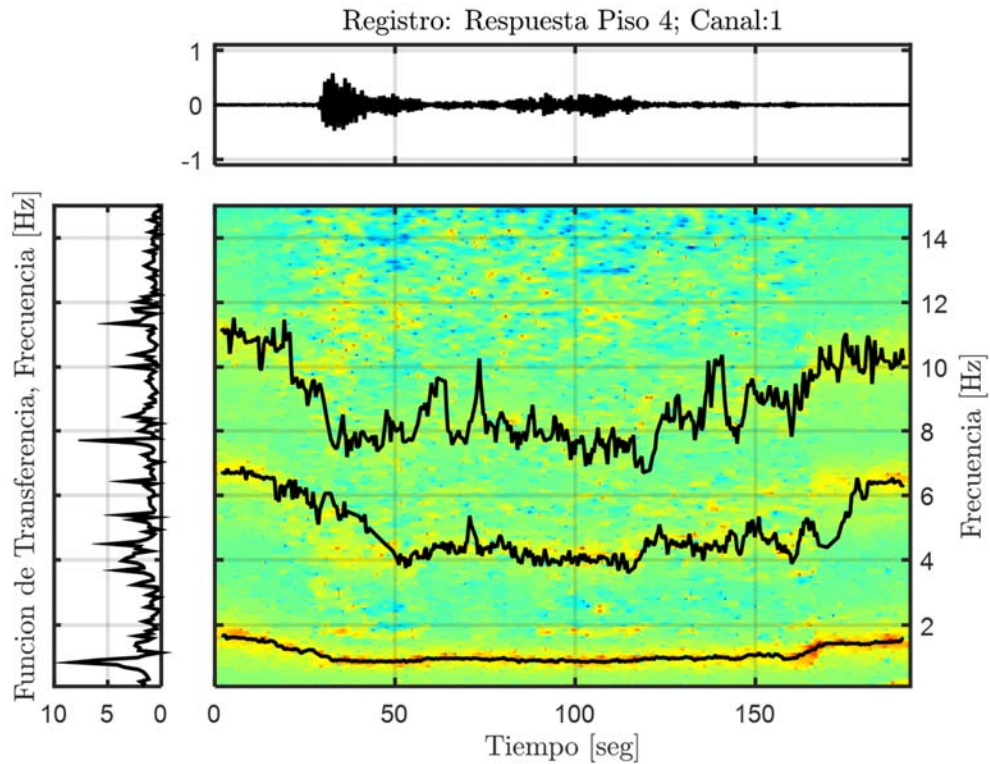


Figura 10.235: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-ICA50.

#### 10.3.3.2.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.



**Figura 10.236: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50.**

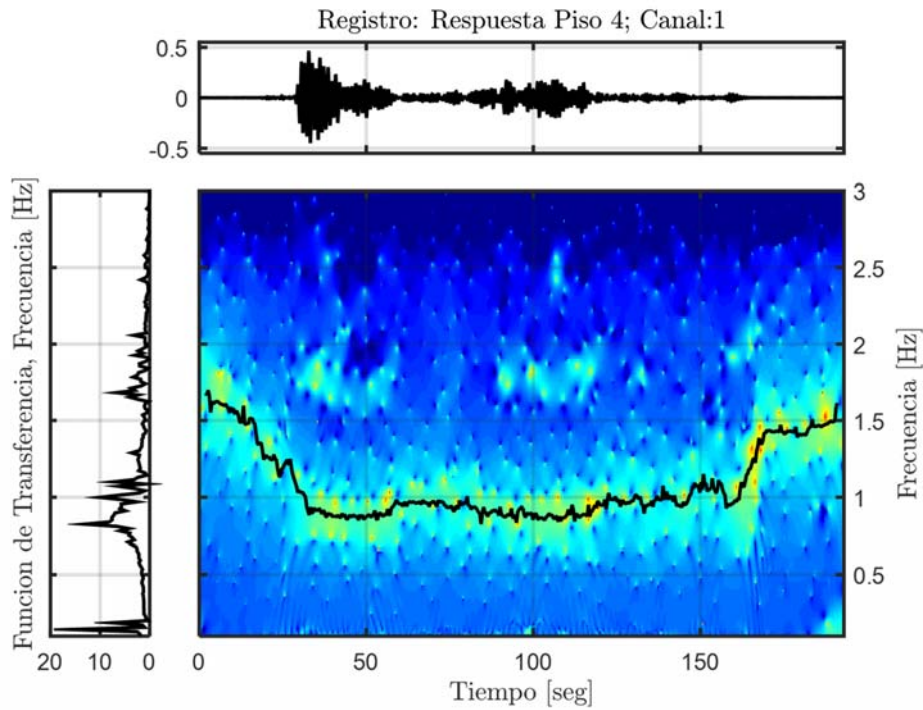


Figura 10.237: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50.

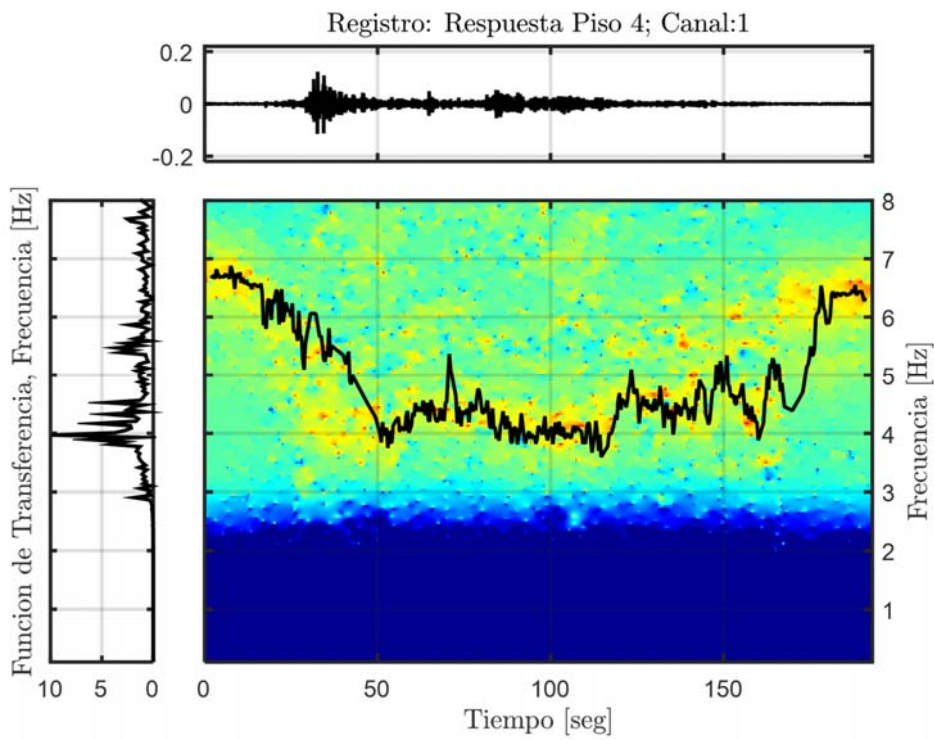


Figura 10.238: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50.

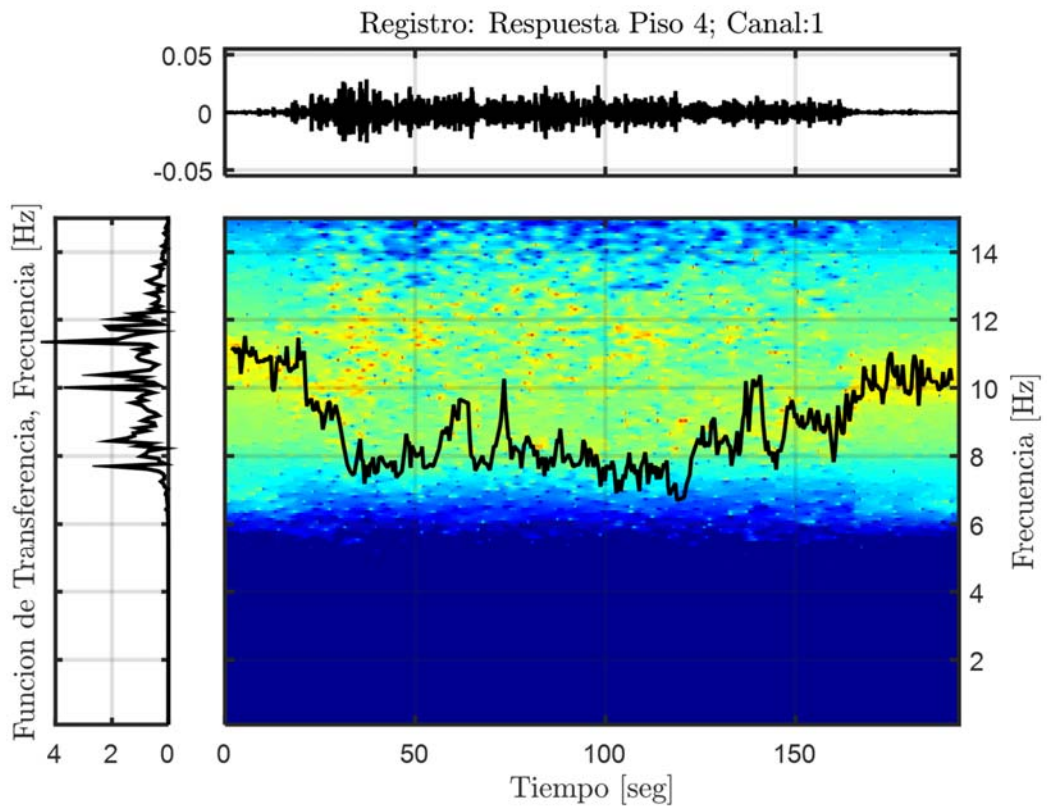


Figura 10.239: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA50.

### 10.3.3.2.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.59: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA50.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,907	1,636	1,677	0,863	0,854	1,492	1,494
2	4,082	6,678	6,657	3,999	3,821	6,324	6,377
3	11,845	-	11,170	-	7,531	-	10,200



### 10.3.3.3 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento FB-ICA100

#### 10.3.3.3.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura sin Aislación

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura sin aislación, la respuesta sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.240. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.241.

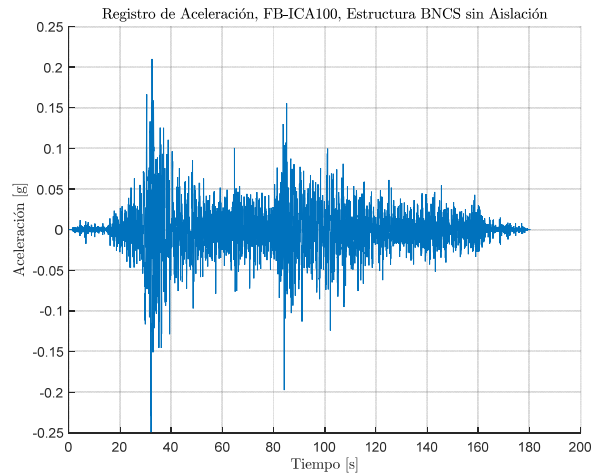


Figura 10.240: Input estructura aislada, Registro FB-ICA100.

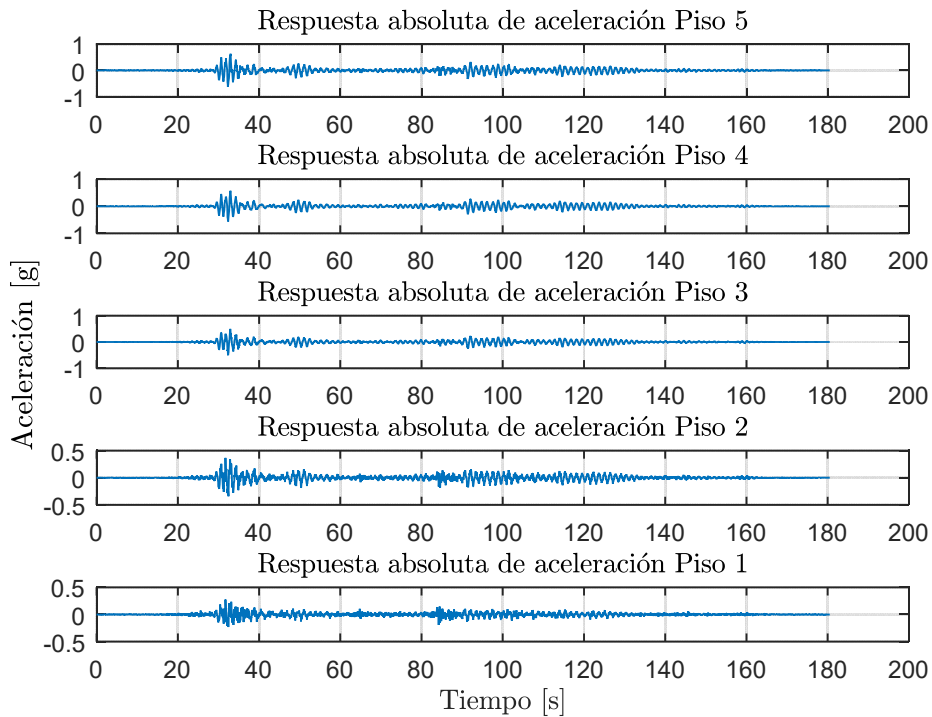


Figura 10.241: Output estructura aislada, Registro FB-ICA100.

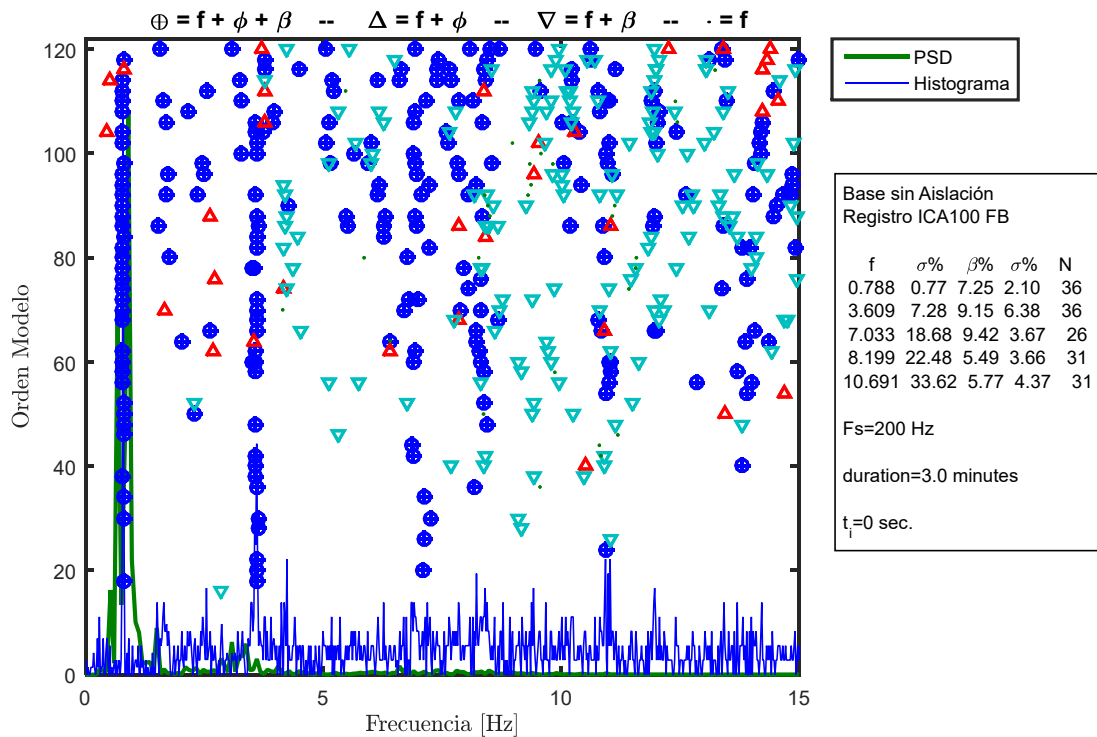
### 10.3.3.3.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.60.

**Tabla 10.60: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCs. Registro FB-ICA100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	10
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	60



**Figura 10.242: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCs, registro FB-ICA100.**

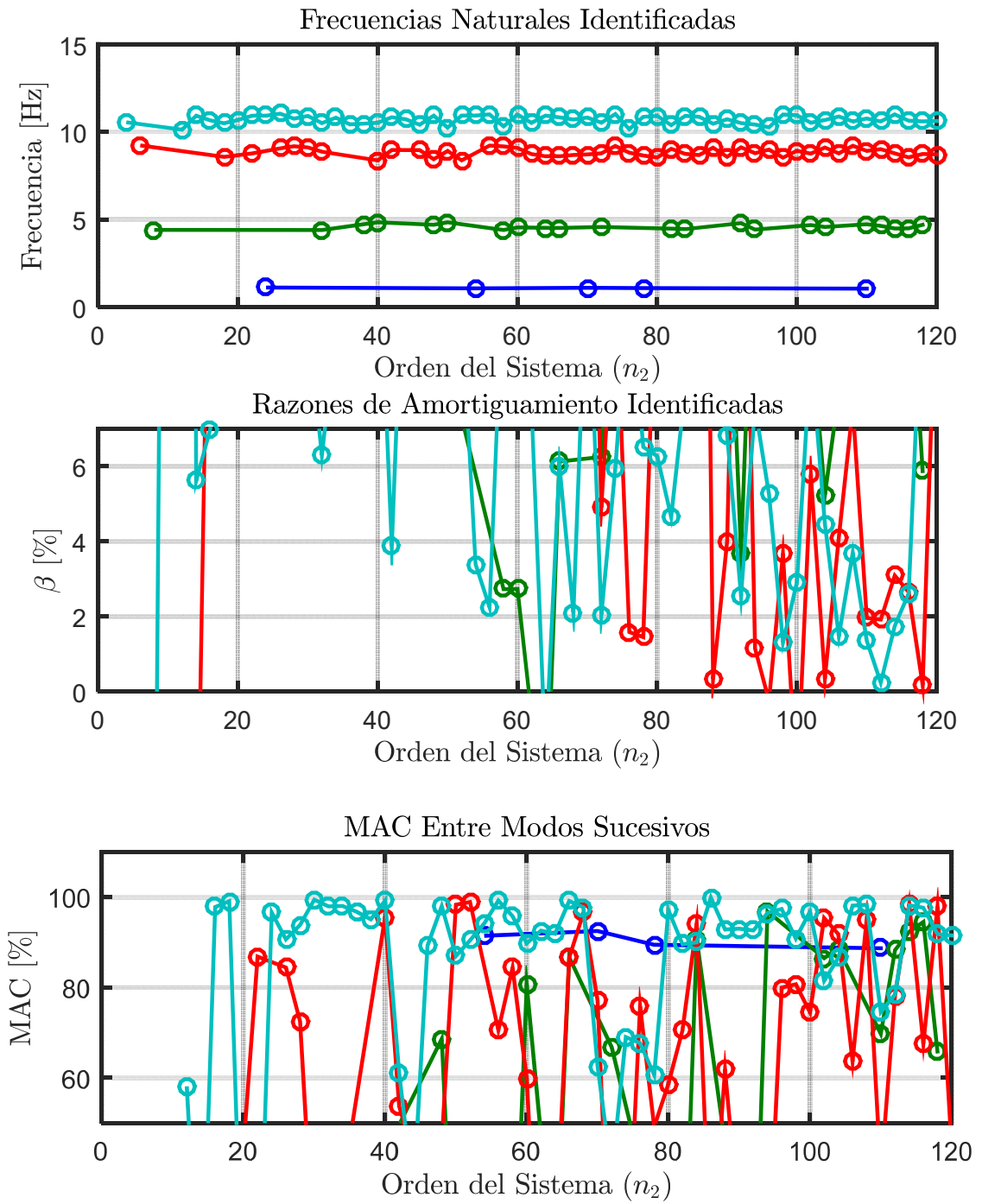


Figura 10.243: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.

### 10.3.3.3.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.61.

**Tabla 10.61: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	80
Smin	2263
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	3,771
Cantidad de ventanas	468
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	1,8
Ventana 2	80
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	30
Ventana 3	442
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	170
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	15
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	70
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.229, Figura 10.245 y Figura 10.246 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

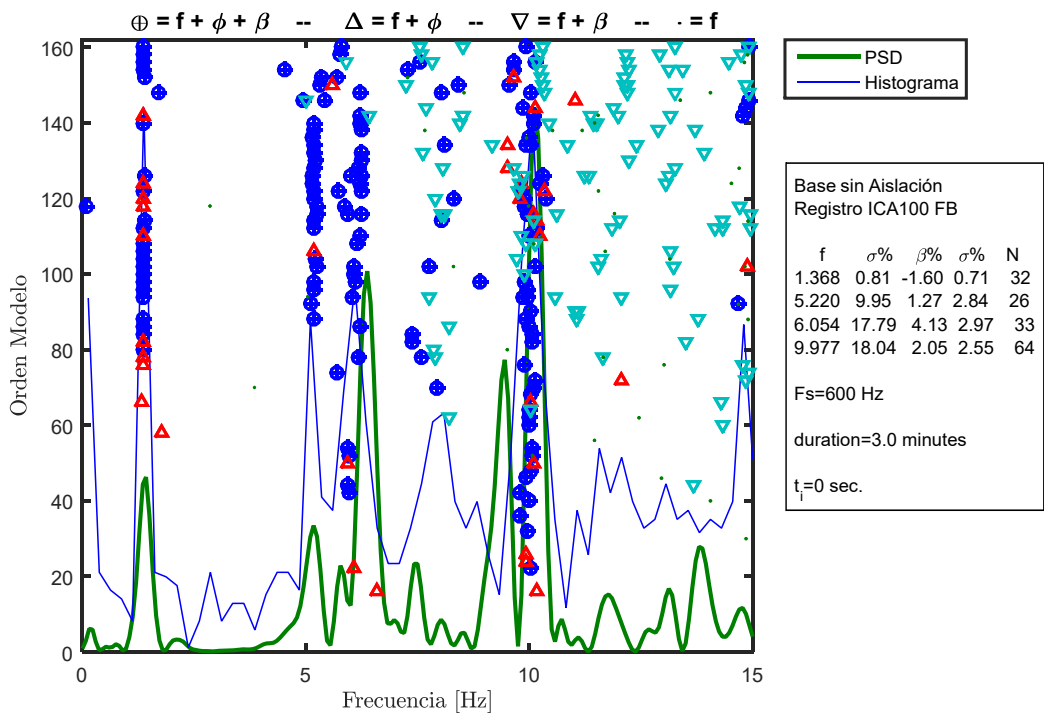


Figura 10.244: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-ICA100.

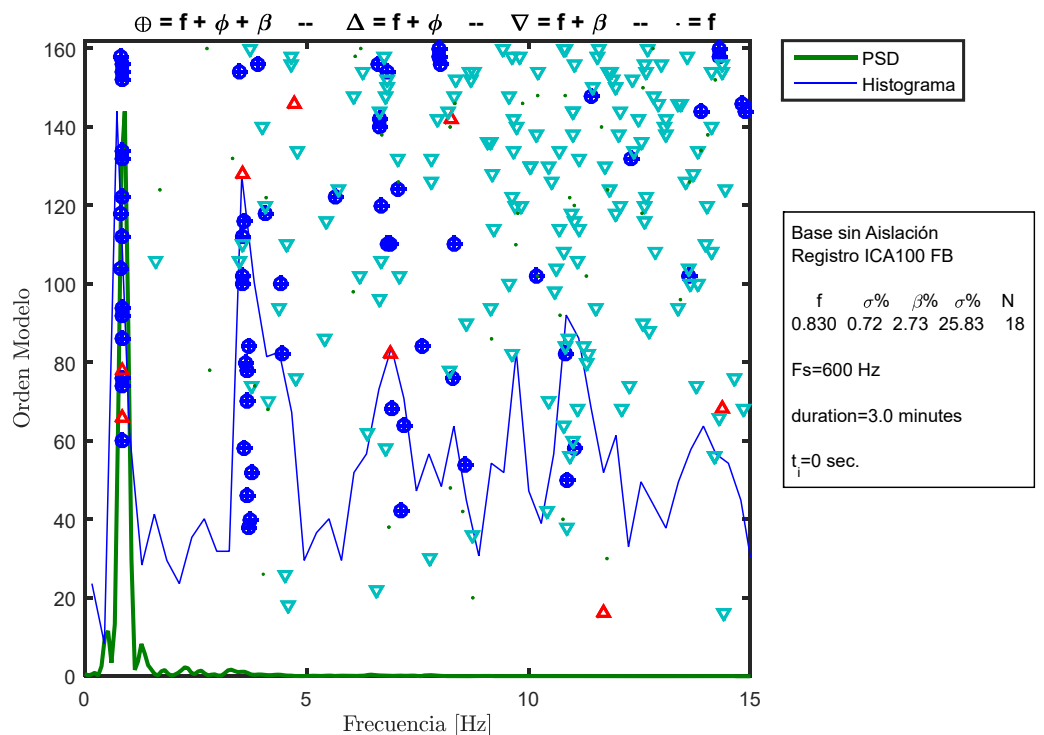


Figura 10.245: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-ICA100.

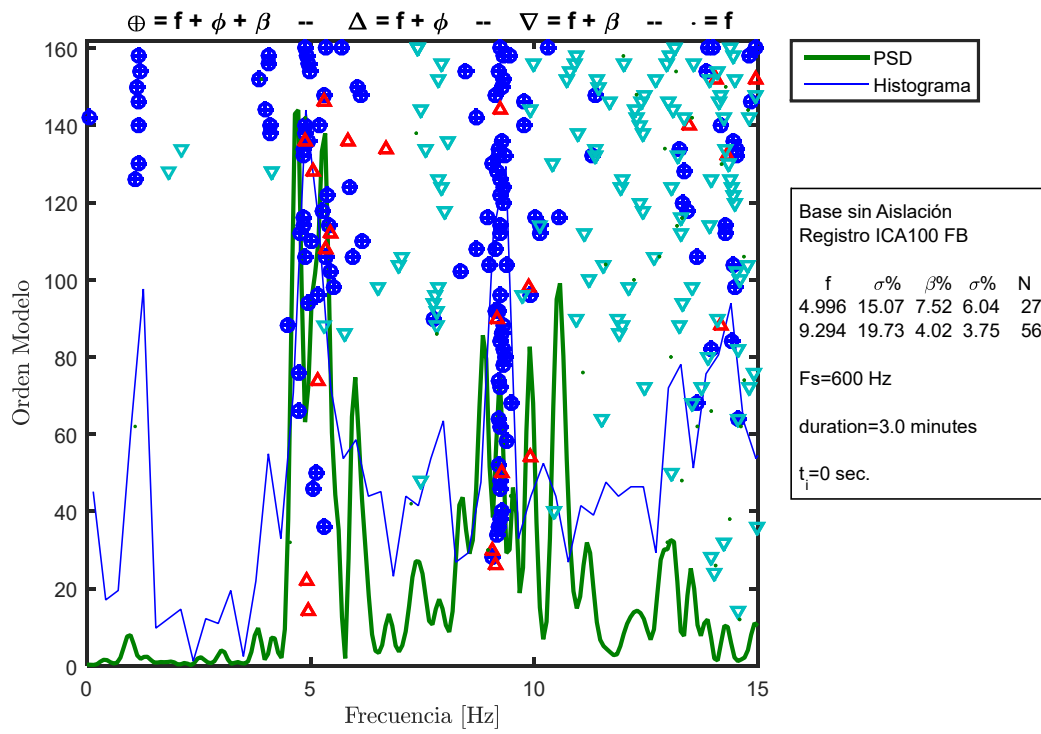


Figura 10.246: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.247 hasta la Figura 10.250.

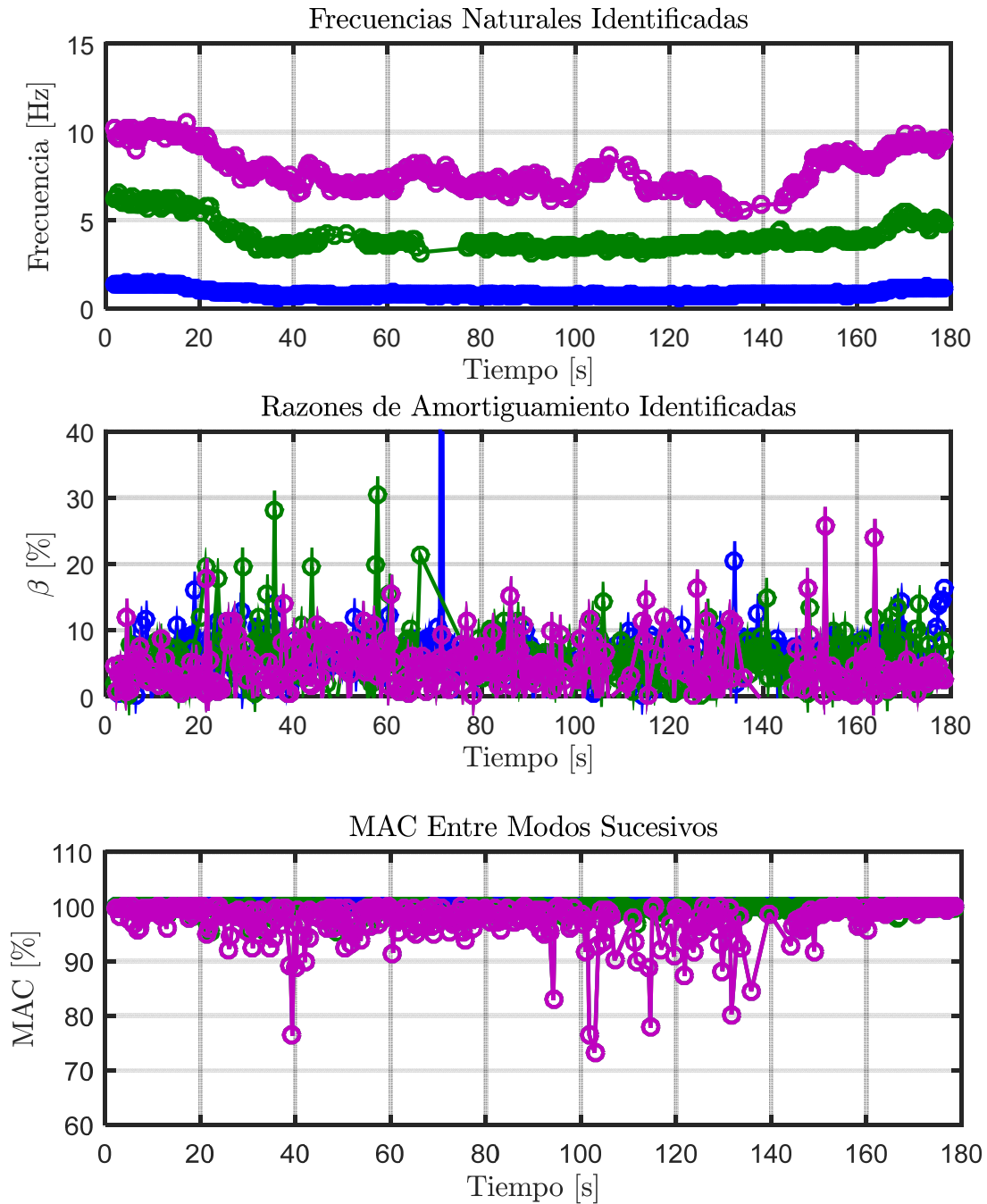


Figura 10.247: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.

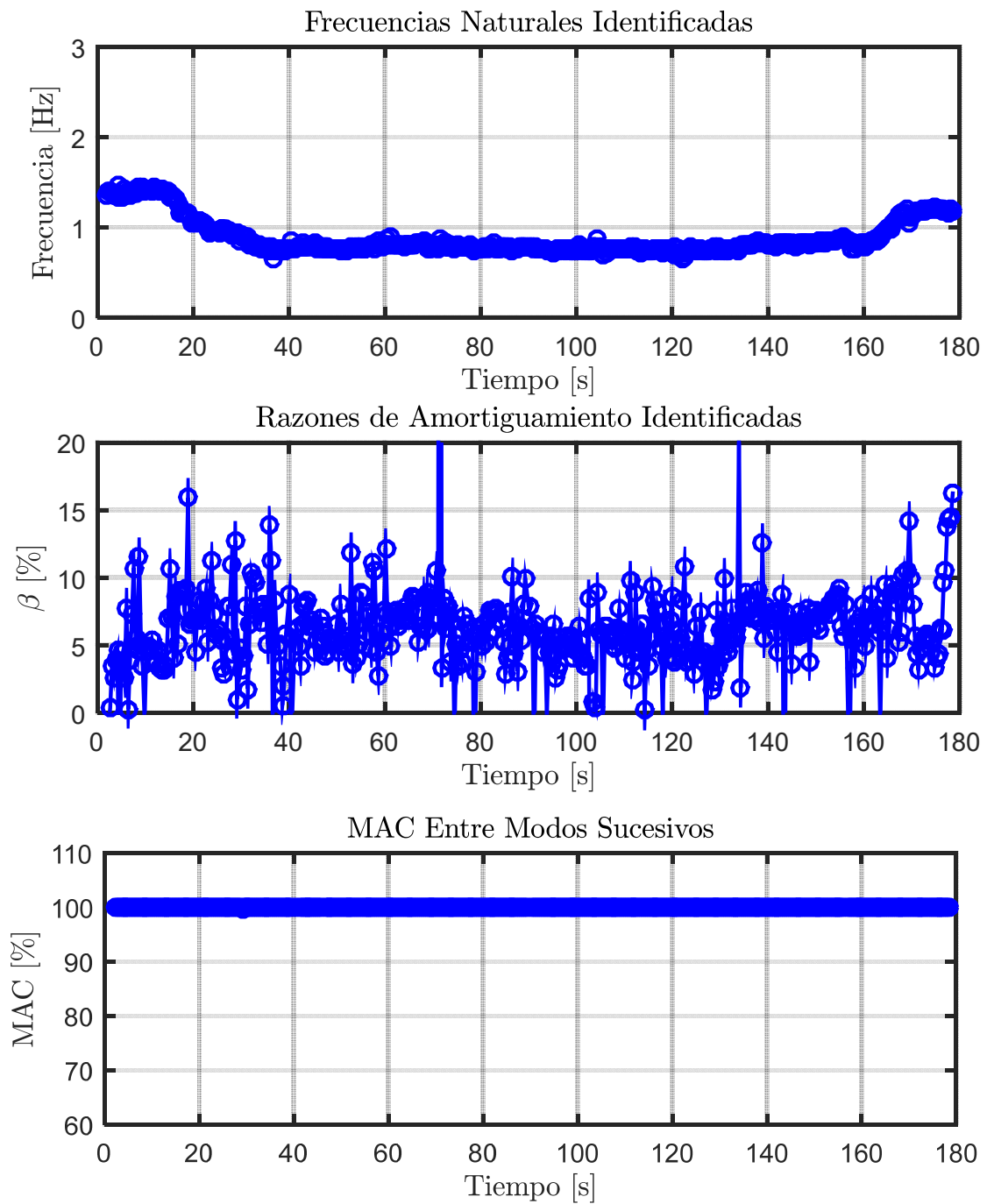


Figura 10.248: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-ICA100.



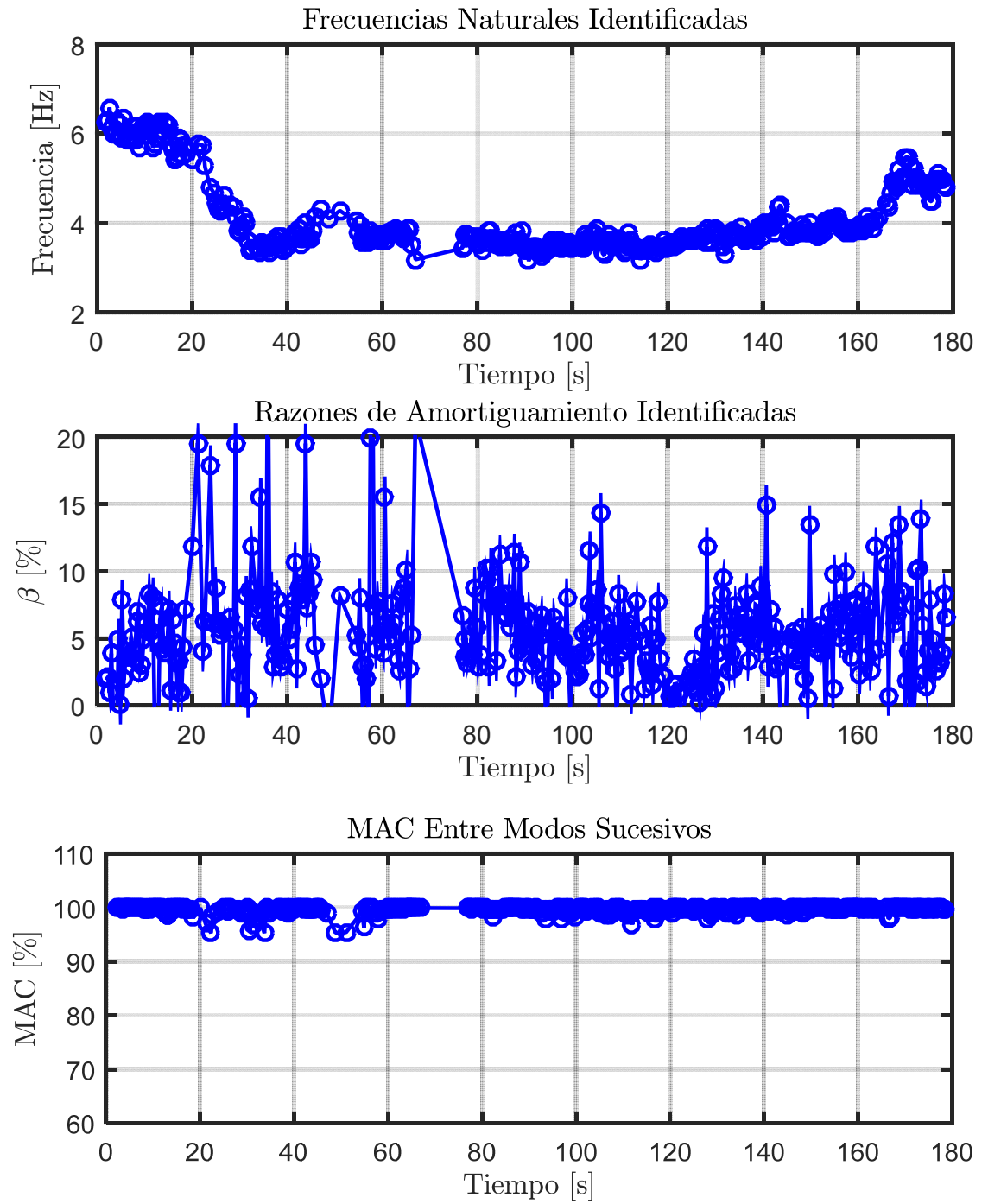


Figura 10.249: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.

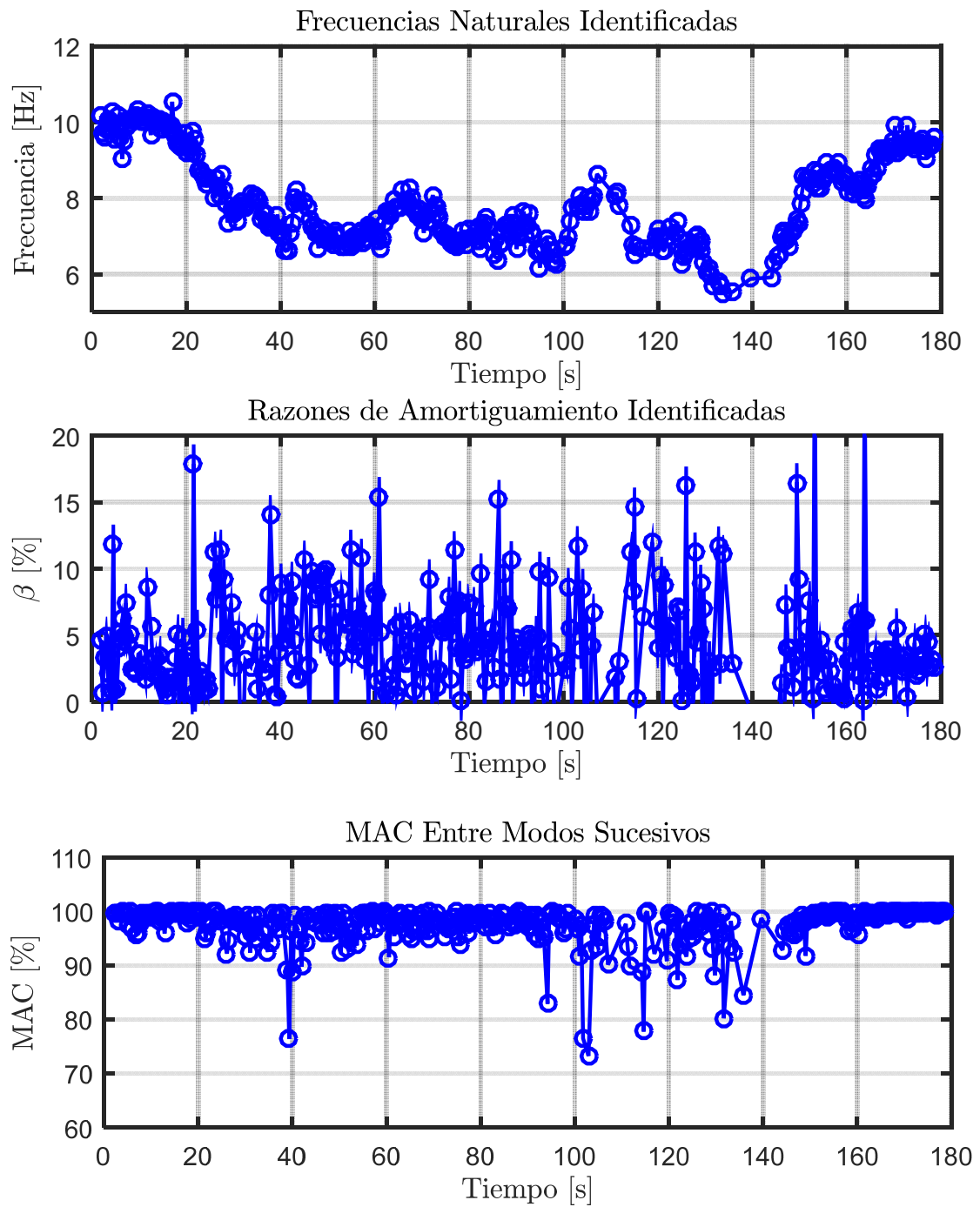


Figura 10.250: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.

#### 10.3.3.3.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

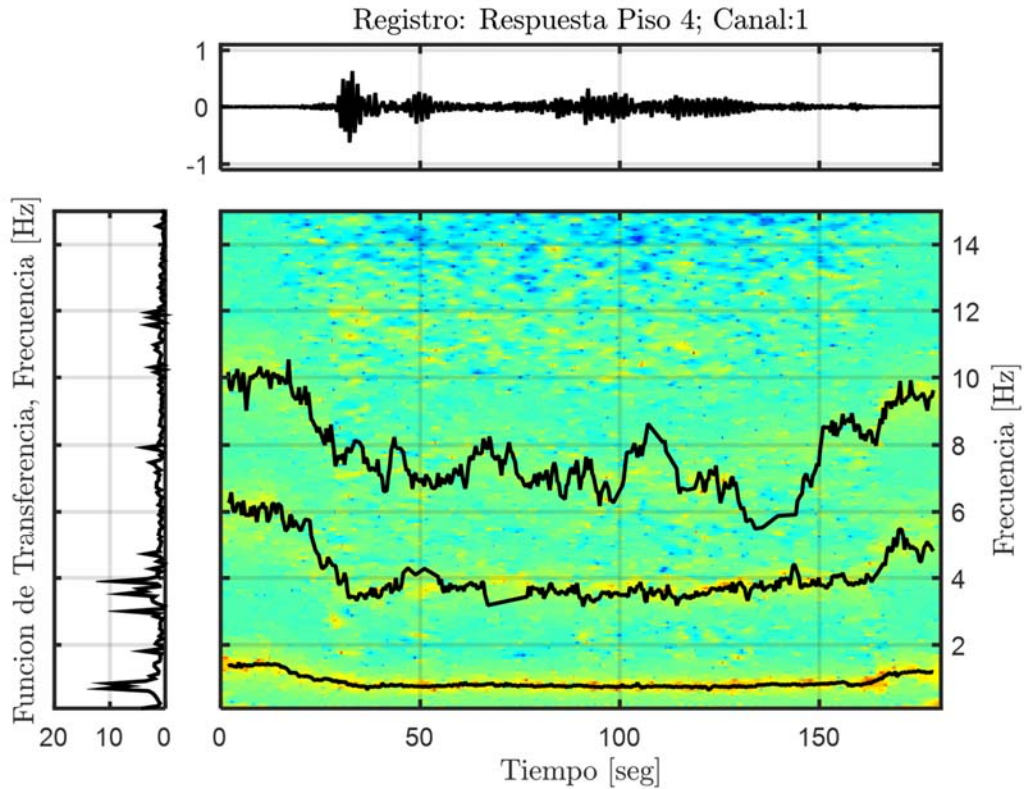


Figura 10.251: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA100.

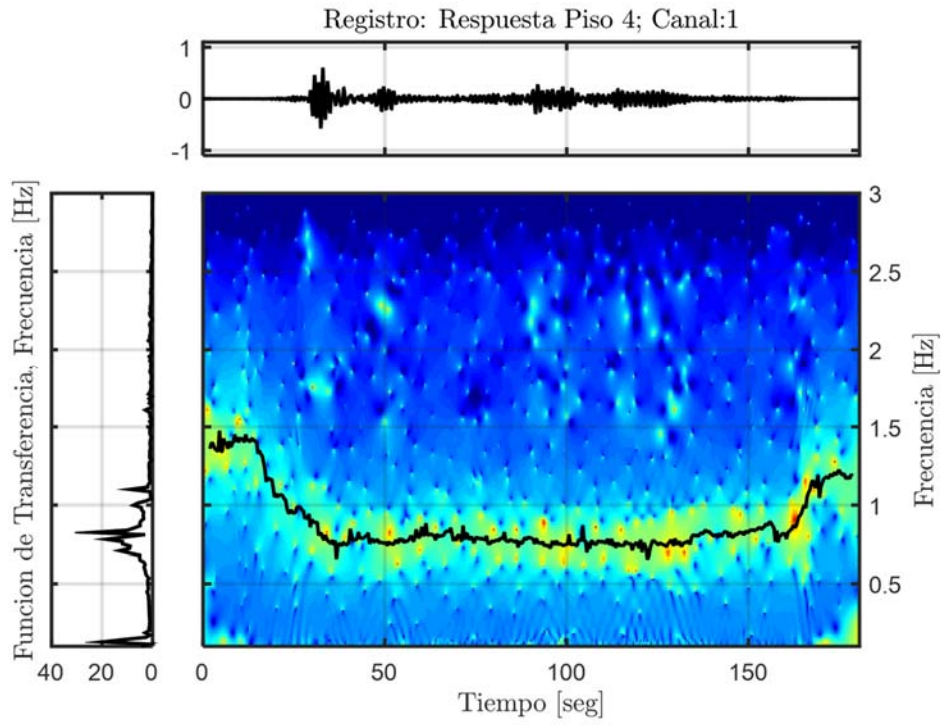


Figura 10.252: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA100.

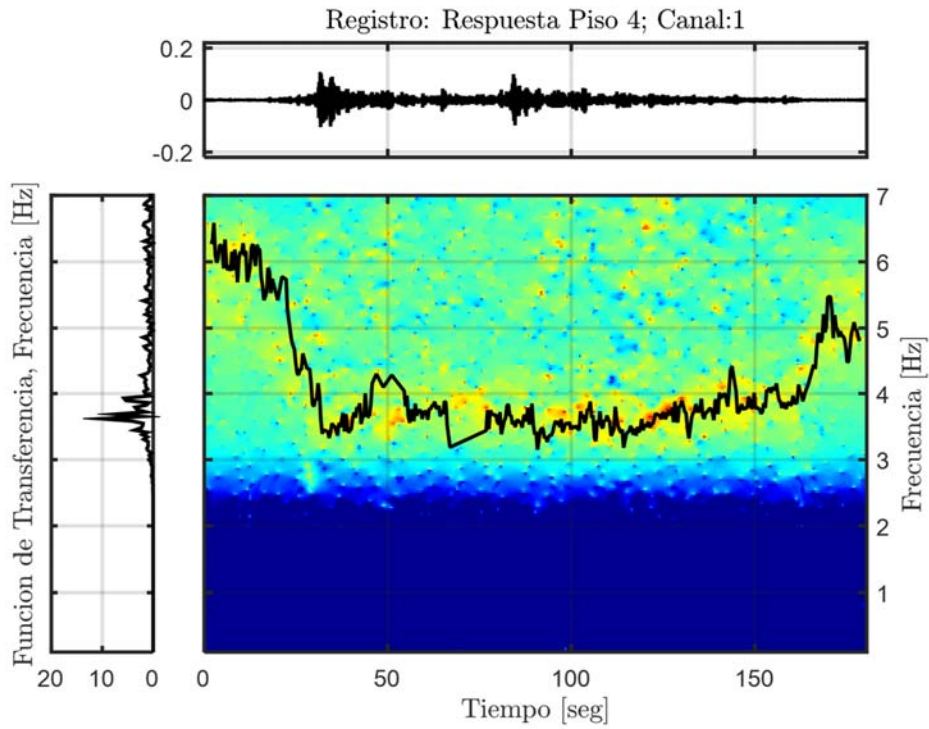


Figura 10.253: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-ICA100.

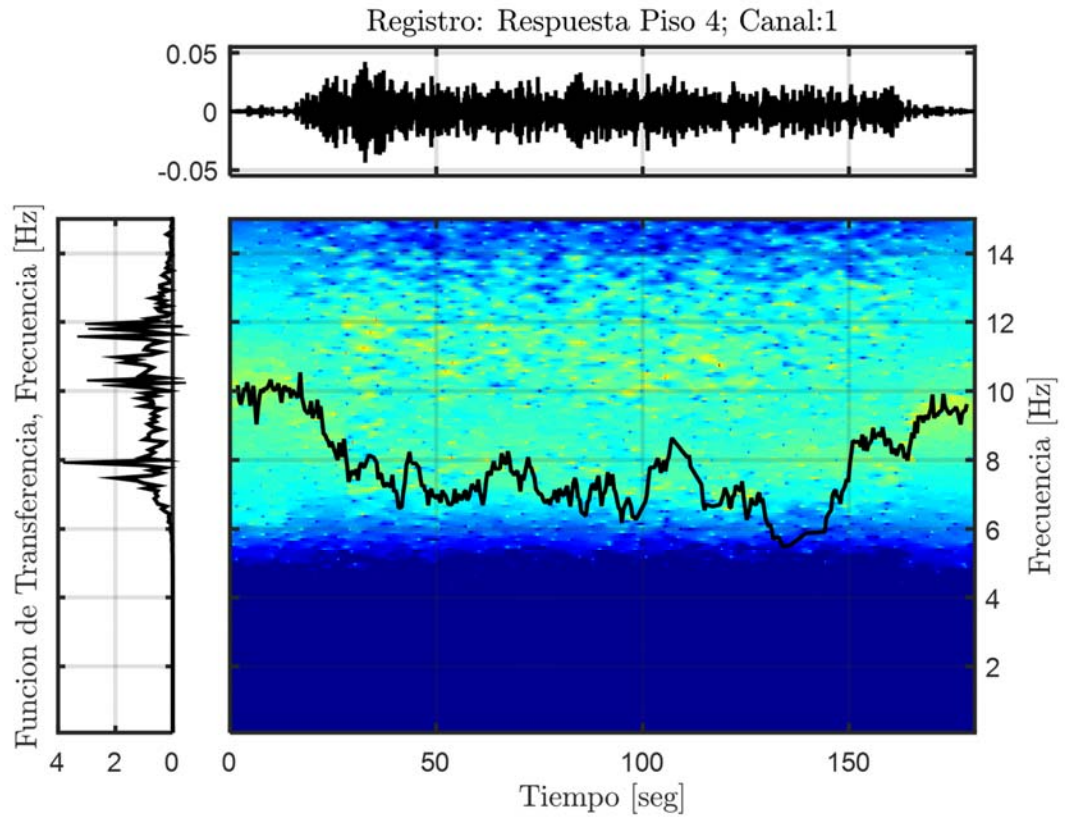


Figura 10.254: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislamiento, Registro FB-ICA100.

### 10.3.3.3.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.62: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-ICA100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,788	1,416	1,360	0,750	0,861	1,234	1,172
2	3,609	6,413	6,104	3,601	3,367	5,225	4,846
3	8,199	-	9,944	-	6,856	-	9,491

### 10.3.3.4 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento FB-DEN67

#### 10.3.3.4.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura sin Aislación

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura sin aislación, la respuesta sobre la fundación, es decir el canal 66, presente en la Figura 10.255. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (6, 18, 30, 42, 54), presentes en la Figura 10.256.

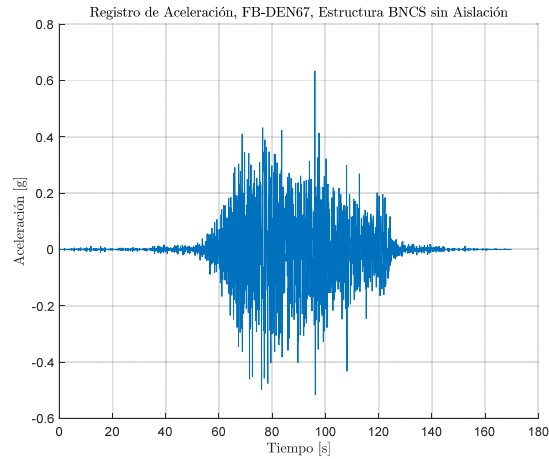


Figura 10.255: Input estructura aislada, Registro FB-DEN67.

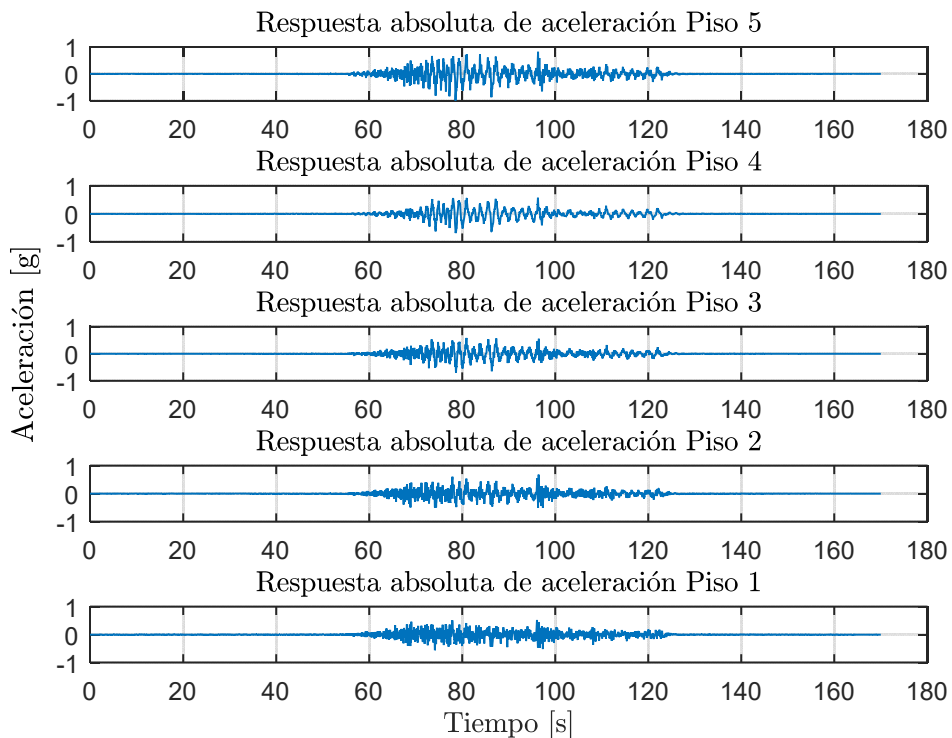


Figura 10.256: Output estructura aislada, Registro FB-DEN67.

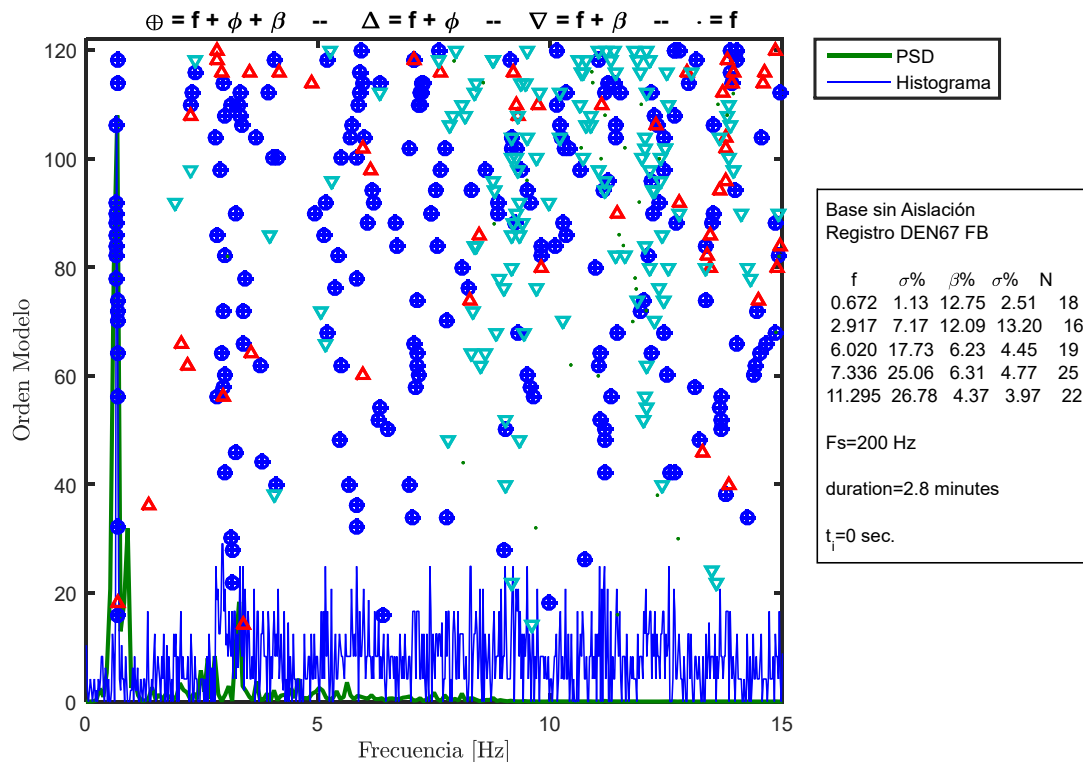
### 10.3.3.4.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.63.

**Tabla 10.63: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCs. Registro FB-DEN67.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	10
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	60



**Figura 10.257: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCs, registro FB-DEN67.**



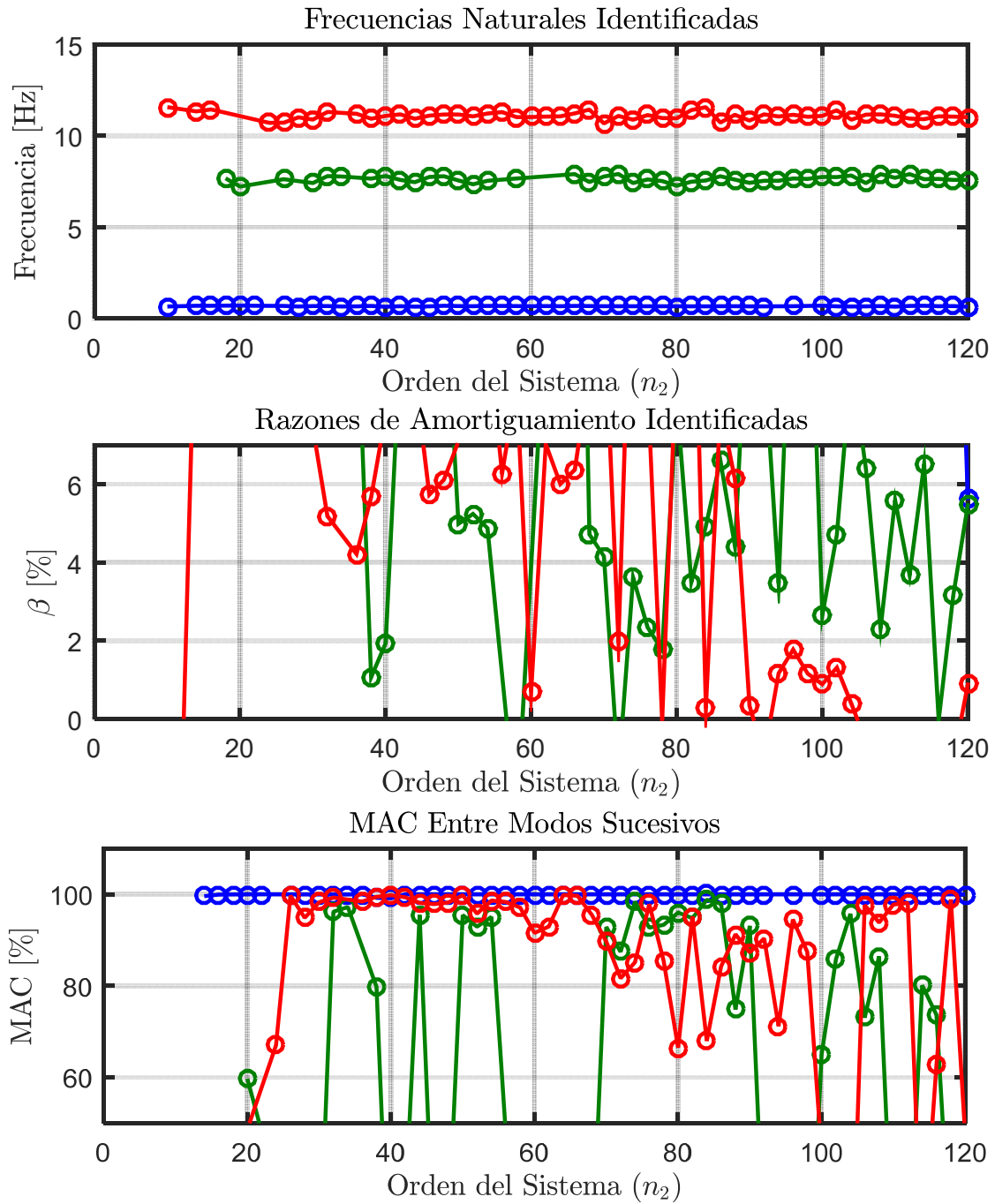


Figura 10.258: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.

### 10.3.3.4.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.64.

**Tabla 10.64: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	1
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	5
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	80
Smin	2263
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	3,771
Cantidad de ventanas	440
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	1,8
Ventana 2	213
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	75
Ventana 3	442
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	170
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	15
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	70
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.259, Figura 10.260 y Figura 10.261 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.

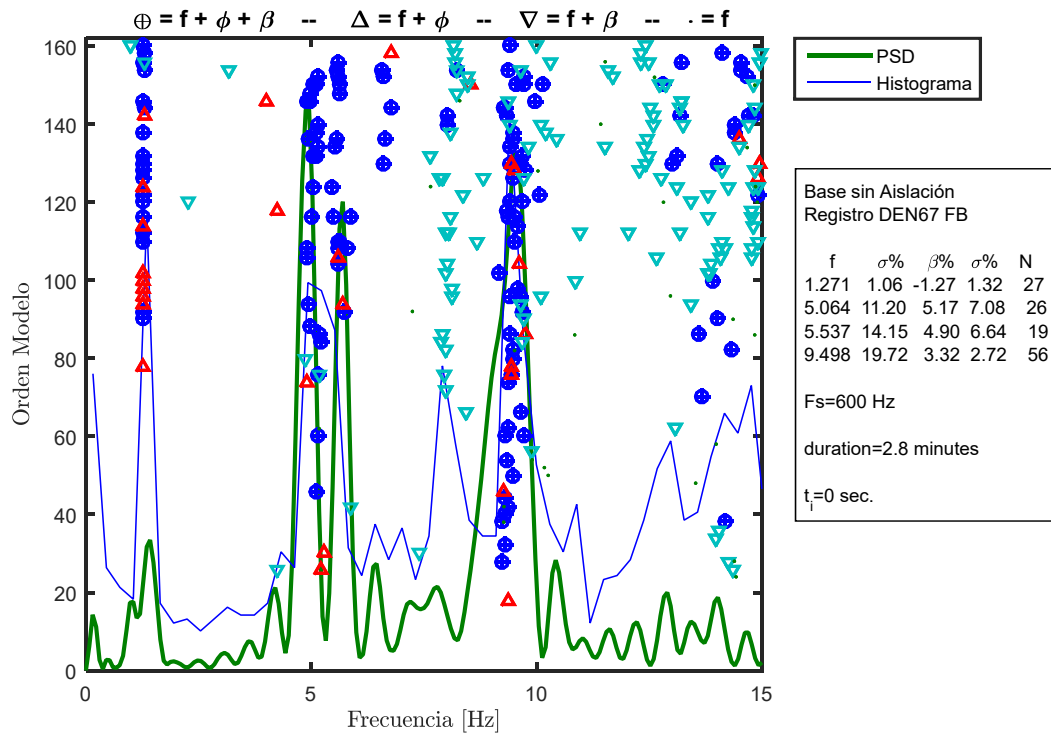


Figura 10.259: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.

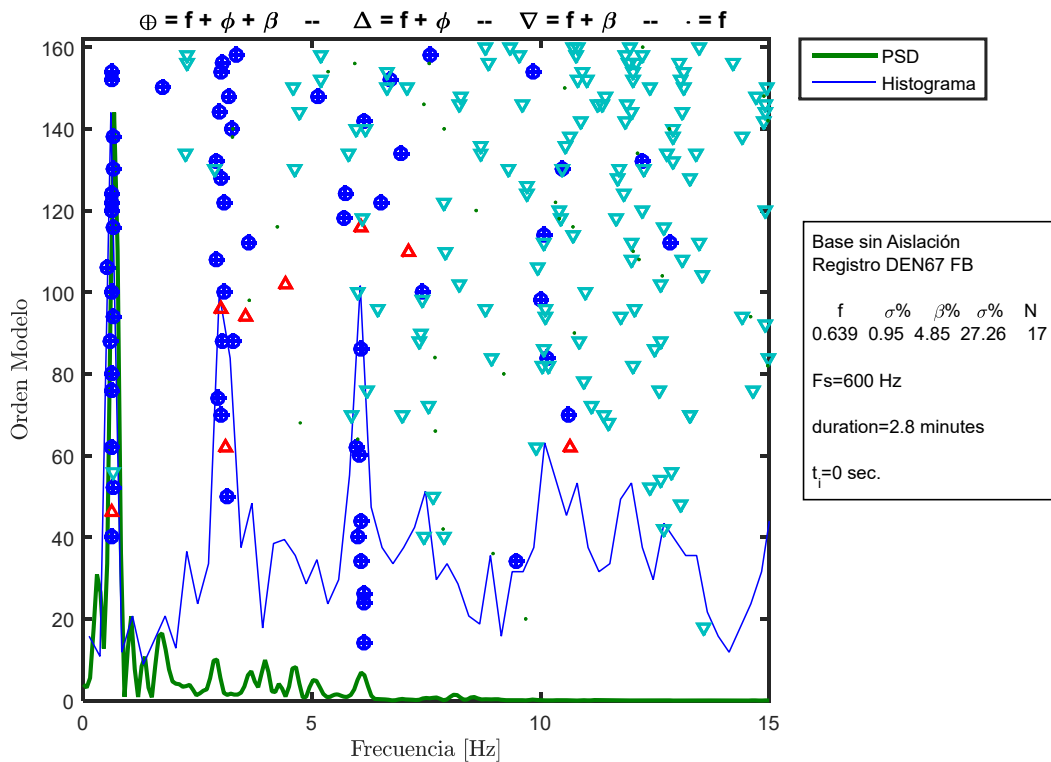


Figura 10.260: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.

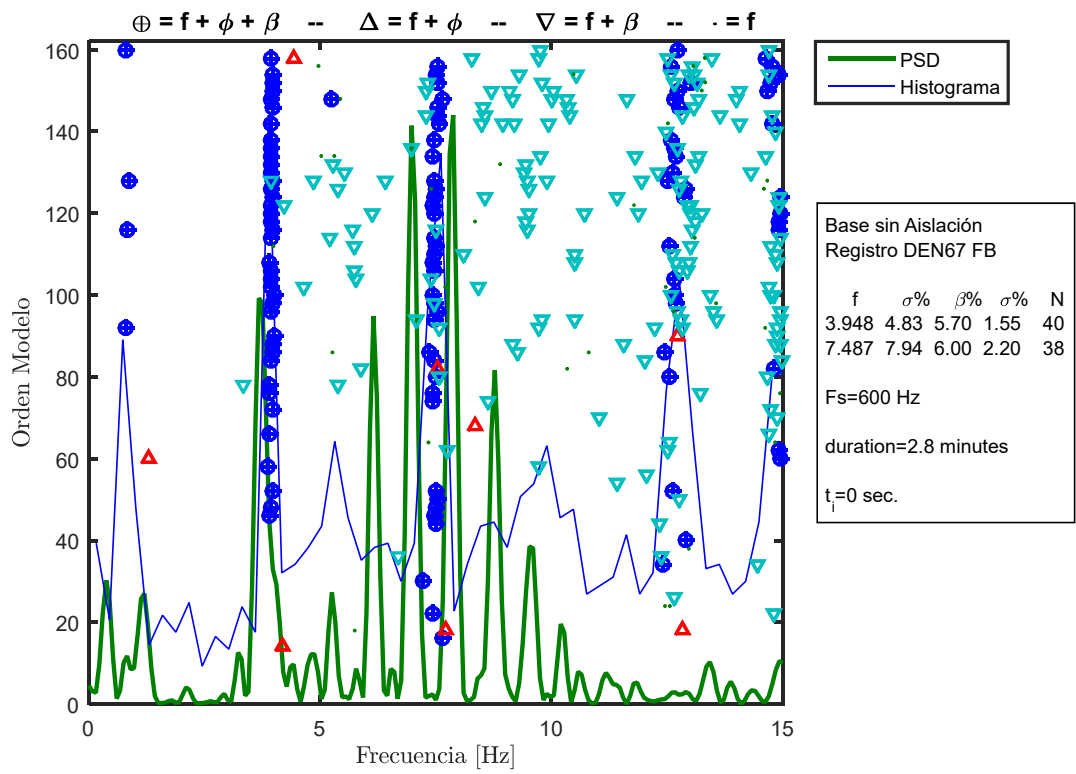


Figura 10.261: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislamiento BNCs, registro FB-DEN67.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.262 hasta la Figura 10.265.

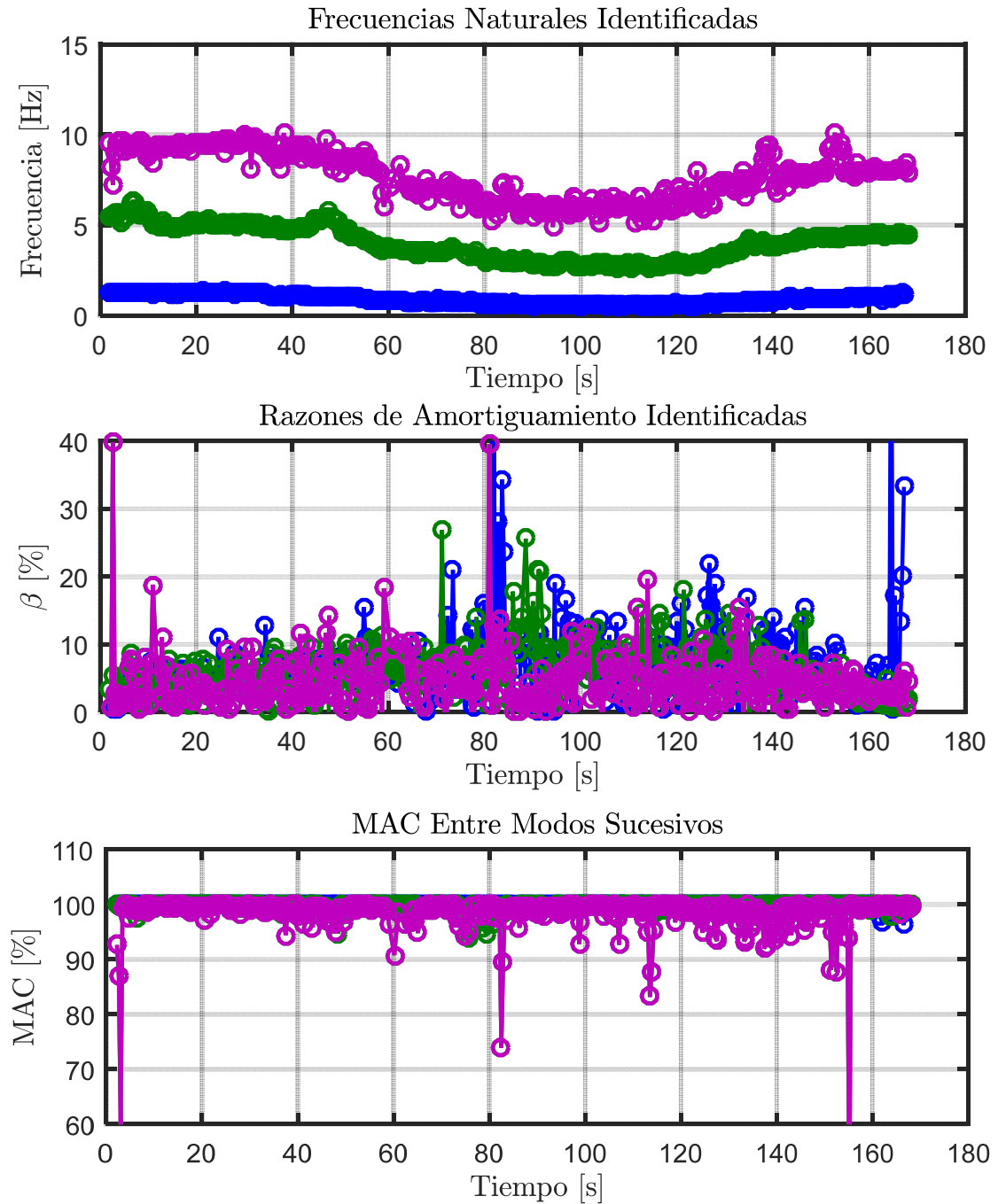


Figura 10.262: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.

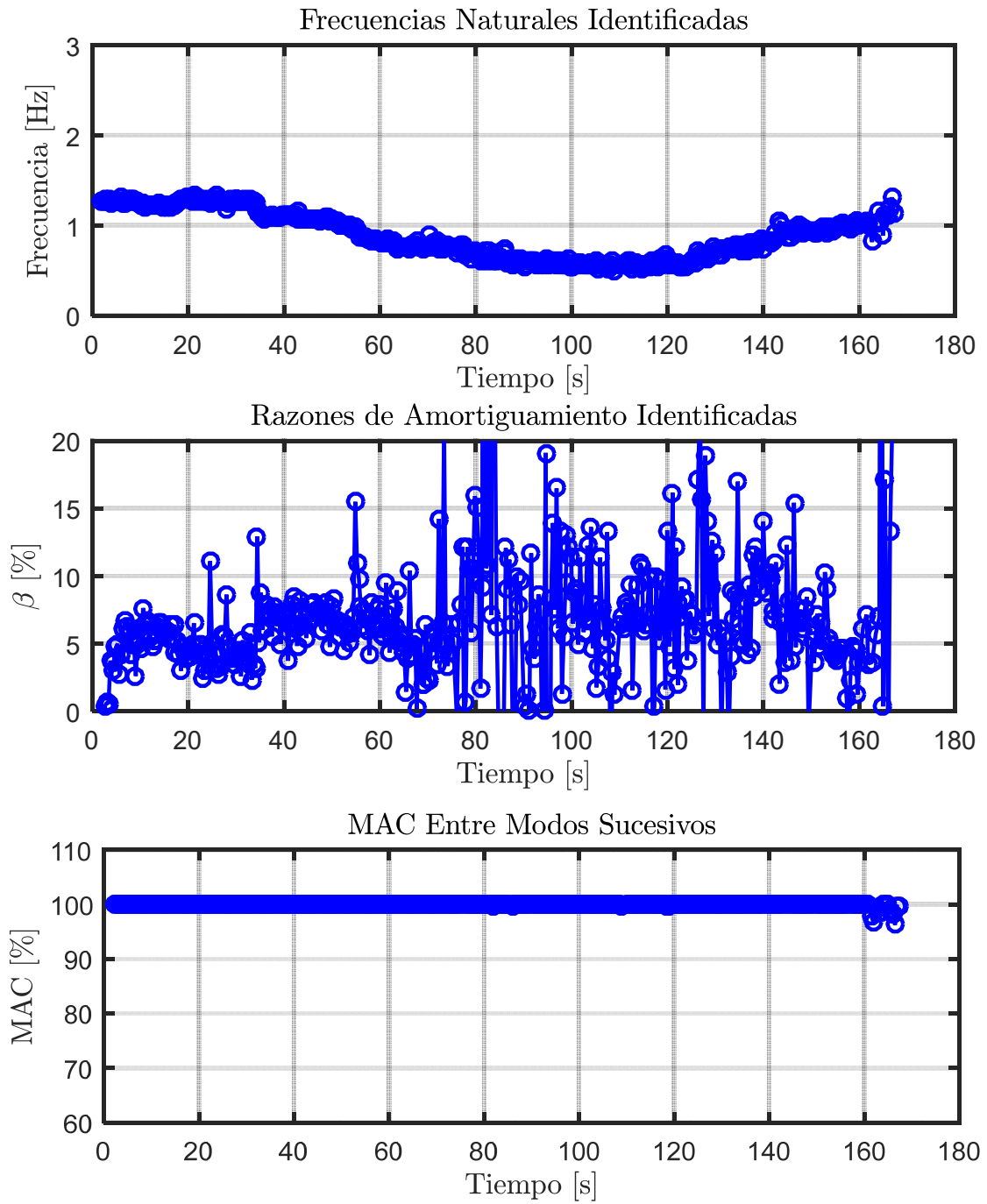


Figura 10.263: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.

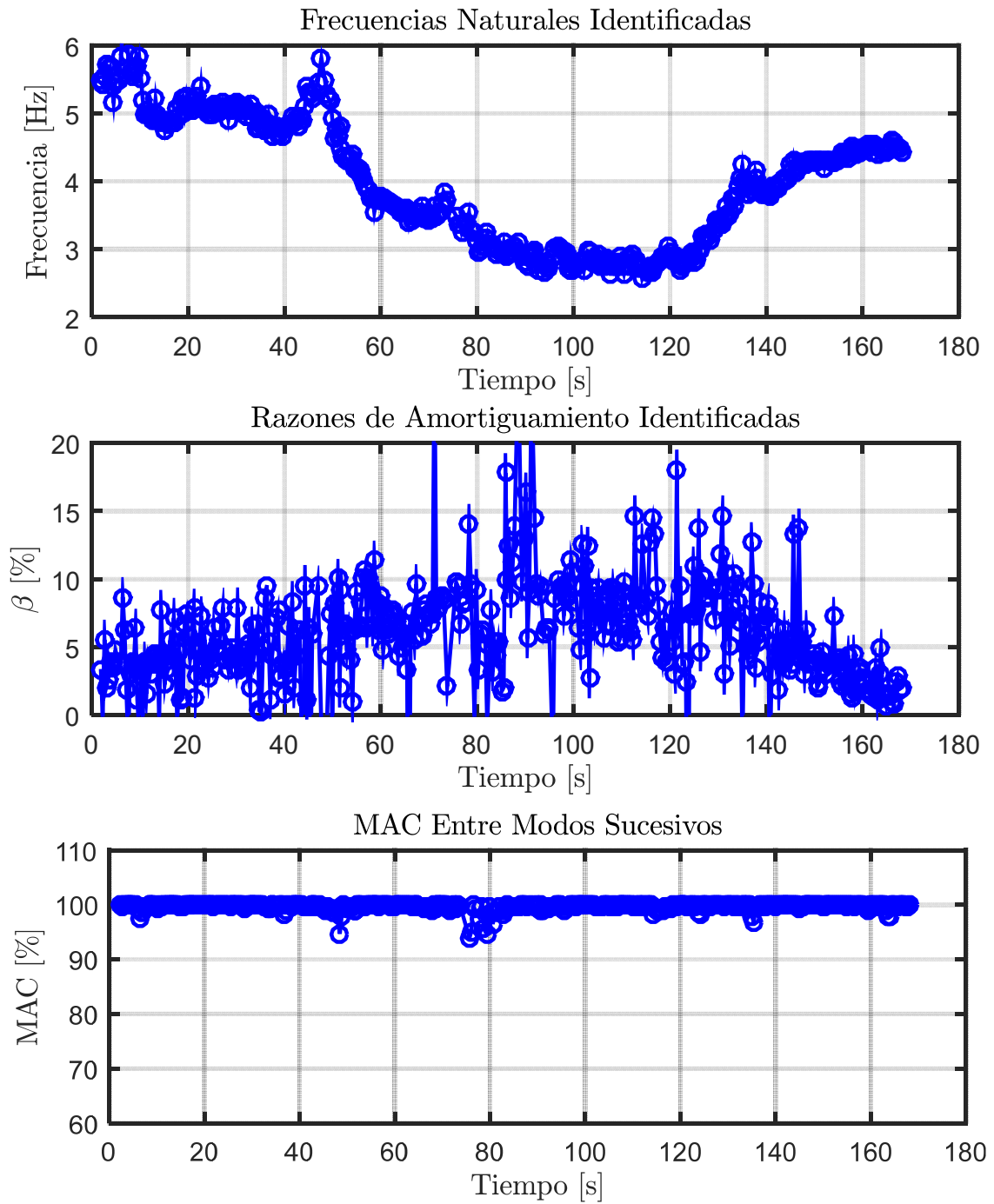


Figura 10.264: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.

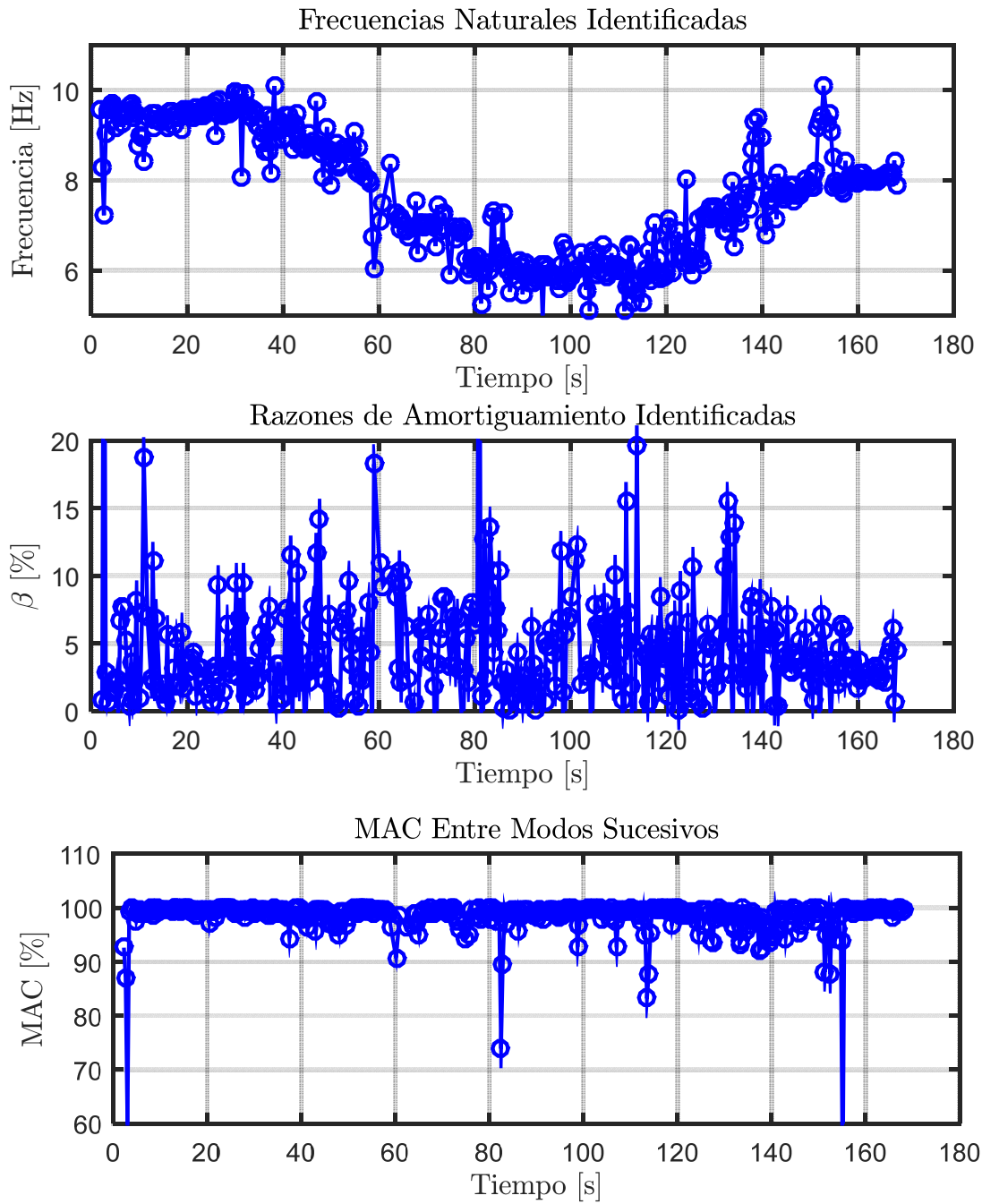


Figura 10.265: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.



#### 10.3.3.4.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.

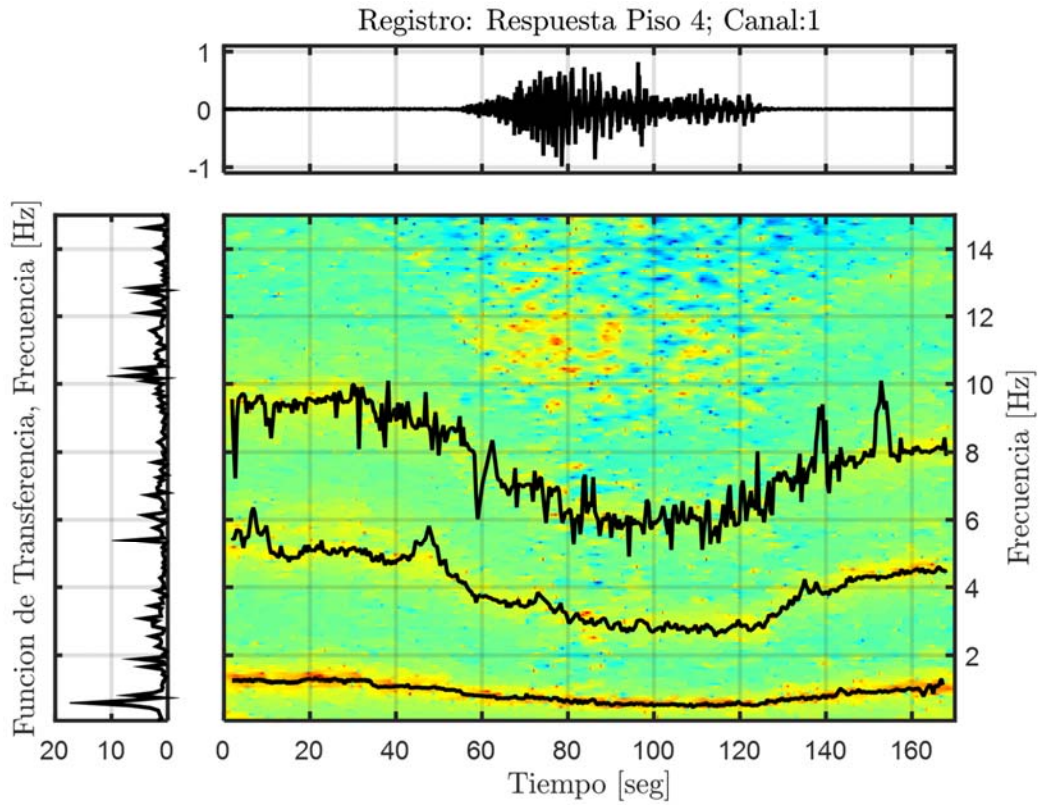


Figura 10.266: Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67.

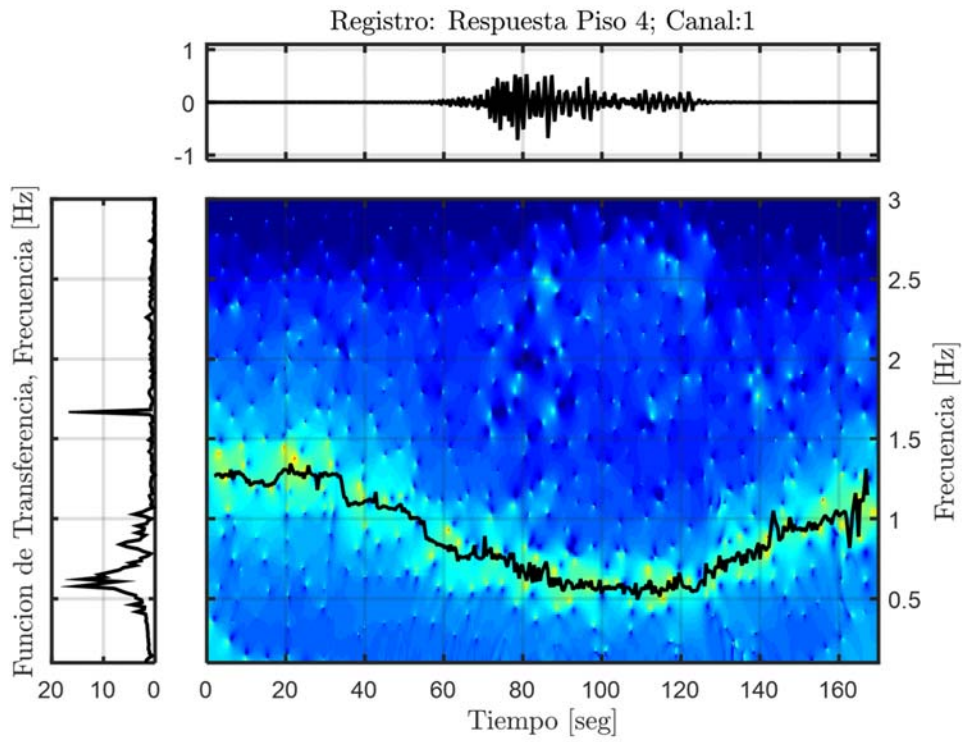


Figura 10.267: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67.

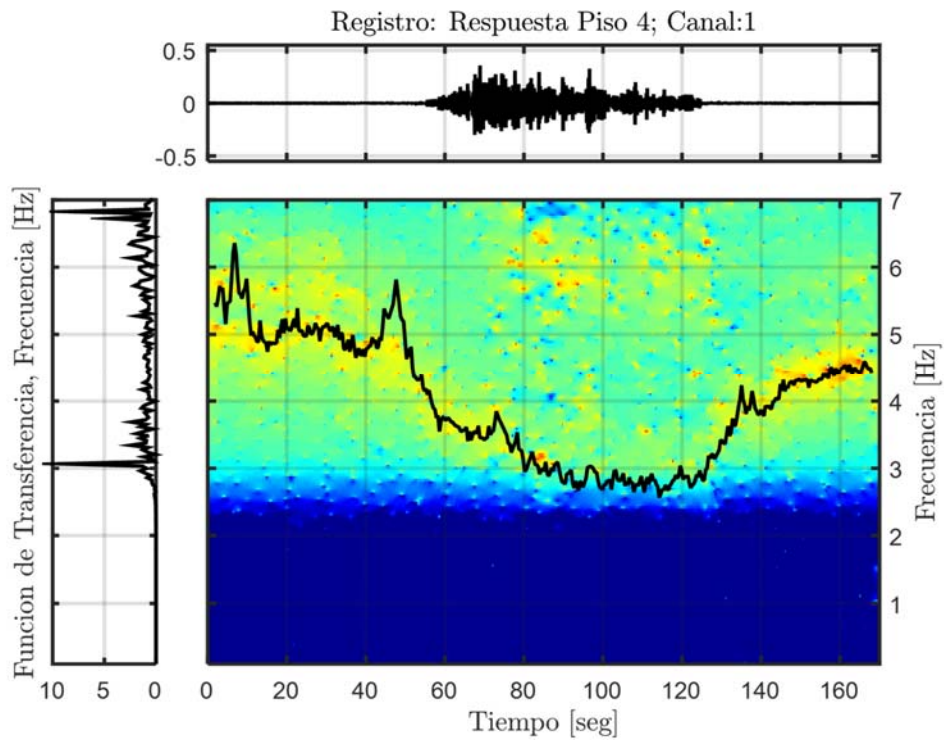


Figura 10.268: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67.

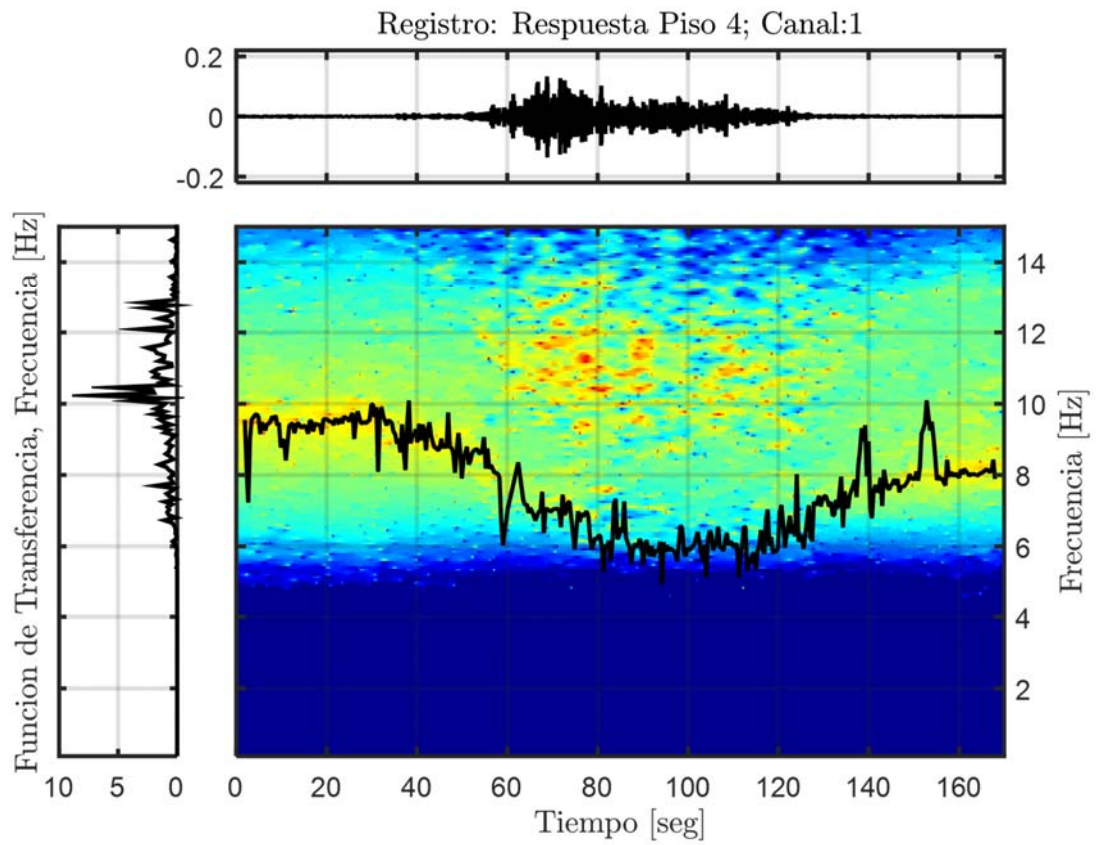


Figura 10.269: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN67.

### 10.3.3.4.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.65: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN67.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,672	1,303	1,281	0,583	0,528	0,962	1,035
2	2,917	5,404	5,404	2,771	2,810	4,484	4,450
3	7,336	-	9,621	-	5,843	-	8,078

### 10.3.3.5 Identificación de Propiedades Dinámicas – Evento FB-DEN100

#### 10.3.3.5.1 Inputs y Outputs sobre la Estructura sin Aislación

De acuerdo a las respuestas mencionadas anteriormente, se considera como input para el análisis de la estructura sin aislación, la respuesta sobre la fundación, es decir el canal 72, presente en la Figura 10.270. Mientras que como outputs se consideran los asociados a los canales (12, 24, 36, 48, 60), presentes en la Figura 10.271.

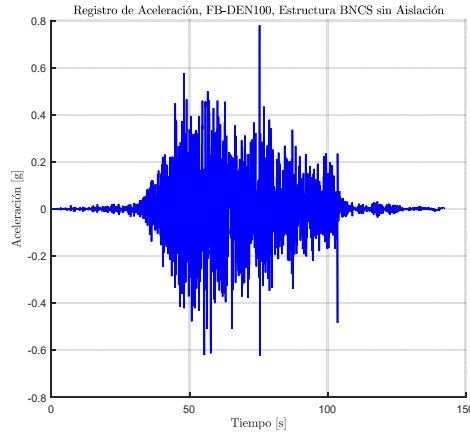


Figura 10.270: Input estructura aislada, Registro FB-DEN100.

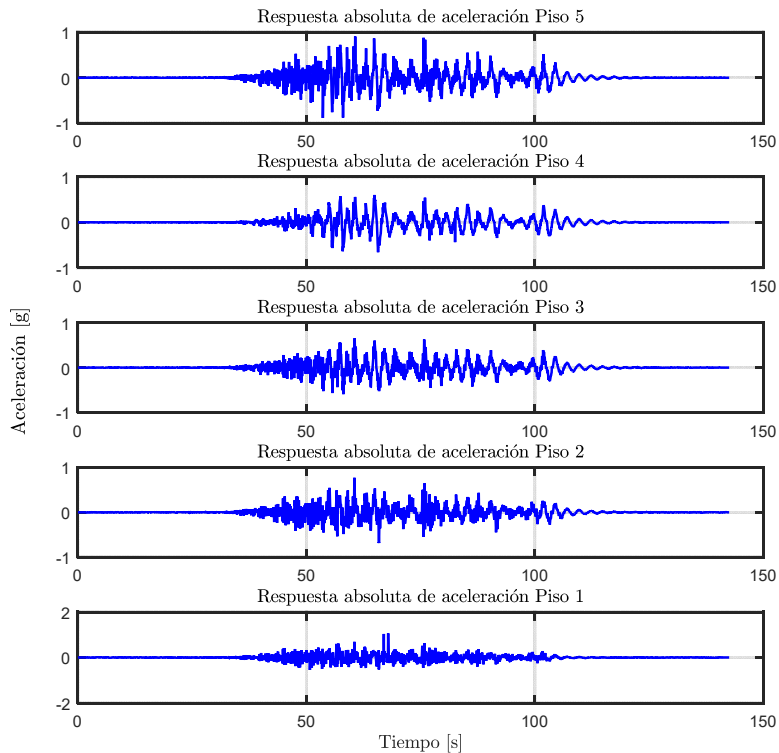


Figura 10.271: Output estructura aislada, Registro FB-DEN100.

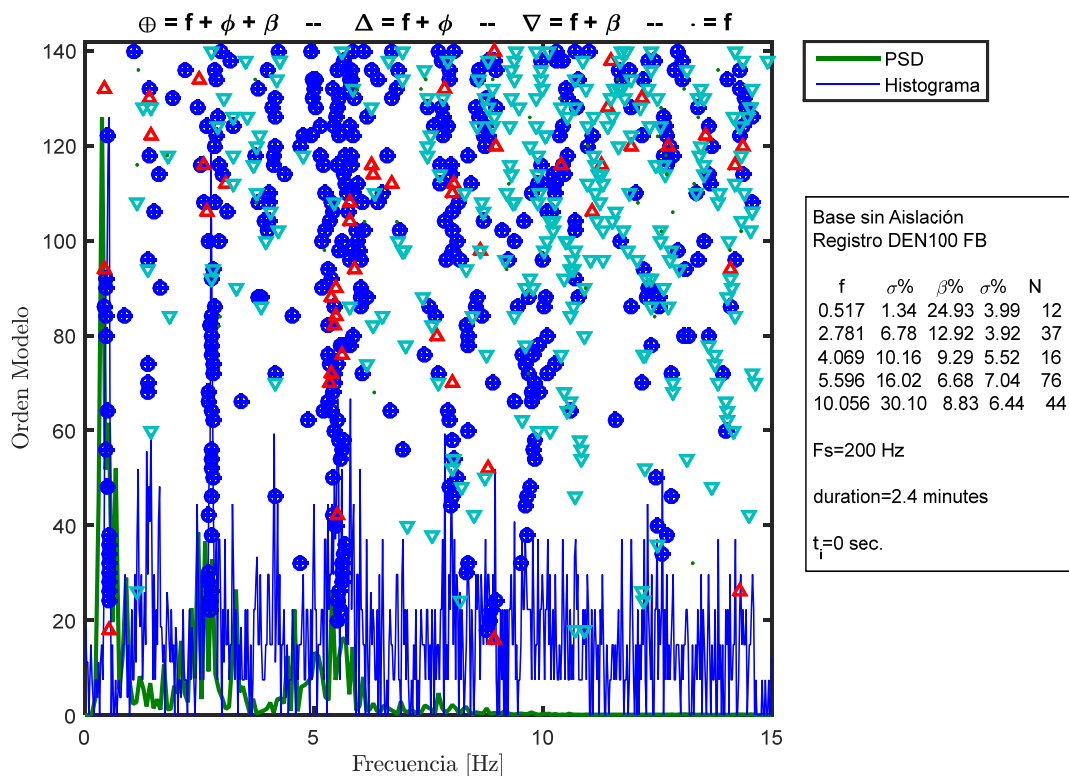
### 10.3.3.5.2 Identificación de Propiedades Dinámicas Invariantes

Se identifican las propiedades dinámicas considerando que estas no varían durante la sollicitación del registro, es decir, se considera durante el registro completo que las propiedades dinámicas permanecen constantes, lo cual no es cierto para el caso de la estructura aislada ya que posee elementos no-lineales (aisladores con comportamiento bilineal).

Para este proceso de identificación, se consideran los inputs y outputs mencionados anteriormente, además de los siguientes parámetros, presentes en la Tabla 10.66.

**Tabla 10.66: Parámetros para la identificación de propiedades dinámicas invariantes. Estructura sin aislación BNCs. Registro FB-DEN100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	2
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	10
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	70



**Figura 10.272: Diagrama de estabilidad considerando propiedades dinámicas invariantes, estructura sin aislación BNCs, registro FB-DEN100.**

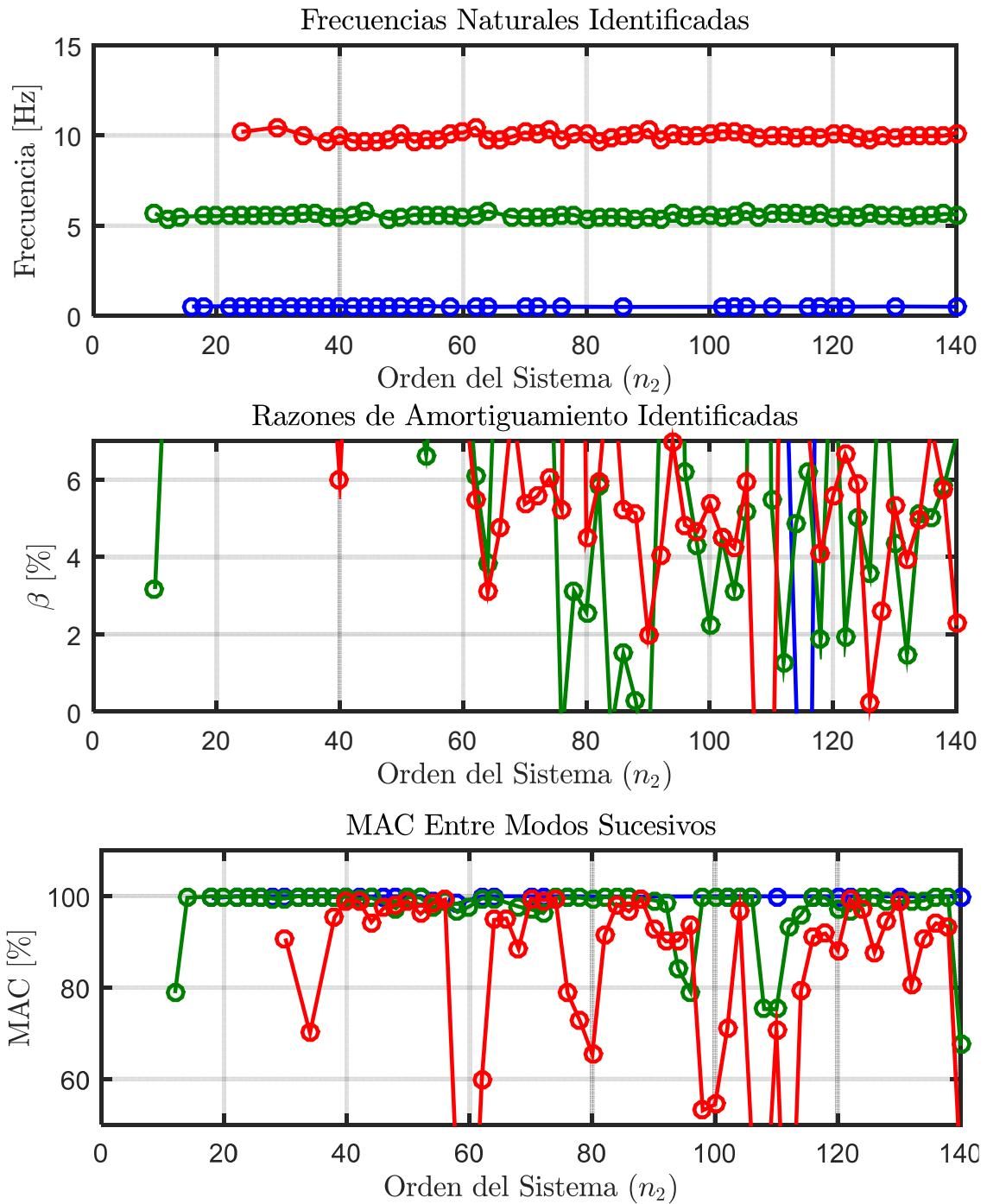


Figura 10.273: Variación de propiedades dinámicas estimadas, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-DEN100.

### 10.3.3.5.3 Identificación de Propiedades Dinámicas Variantes

Se realiza un análisis considerando pequeñas ventanas de tiempo de los datos de entrada y salida, asociados al análisis del método de múltiples sub-estructuras, en las cuales se considera que la estructura se comporta lineal e invariante. De esta forma se espera poder capturar la variación de las propiedades dinámicas a lo largo del tiempo.

Los parámetros considerados para realizar la identificación son los presentes en la Tabla 10.67.

**Tabla 10.67: Parámetros para identificación de propiedades dinámicas variantes, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100.**

Criterio de similitud en frecuencias, cf [%]	2
Criterio de similitud en amortiguamiento, cam [%]	8
Criterio de similitud en MAC, cm [%]	15
GDL o n'	100
Smin	2823
Traslapo	90%Smin
Duración de la ventana de tiempo [s]	4,705
Cantidad de ventanas	293
Ventana 1	1
Tiempo de ubicación de la ventana 1 [s]	2,2
Ventana 2	108
Tiempo de ubicación de la ventana 2 [s]	60
Ventana 3	215
Tiempo de ubicación de la ventana 3 [s]	100
Criterio de similitud en frecuencias entre ventanas, cff [%]	15
Criterio de similitud en MAC entre ventanas, cmm [%]	70
Frecuencia de resampleo [Hz]	600

En la Figura 10.274, Figura 10.275 y Figura 10.276 se presentan los diagramas de estabilidad asociados a la ventana 1, 2 y 3.



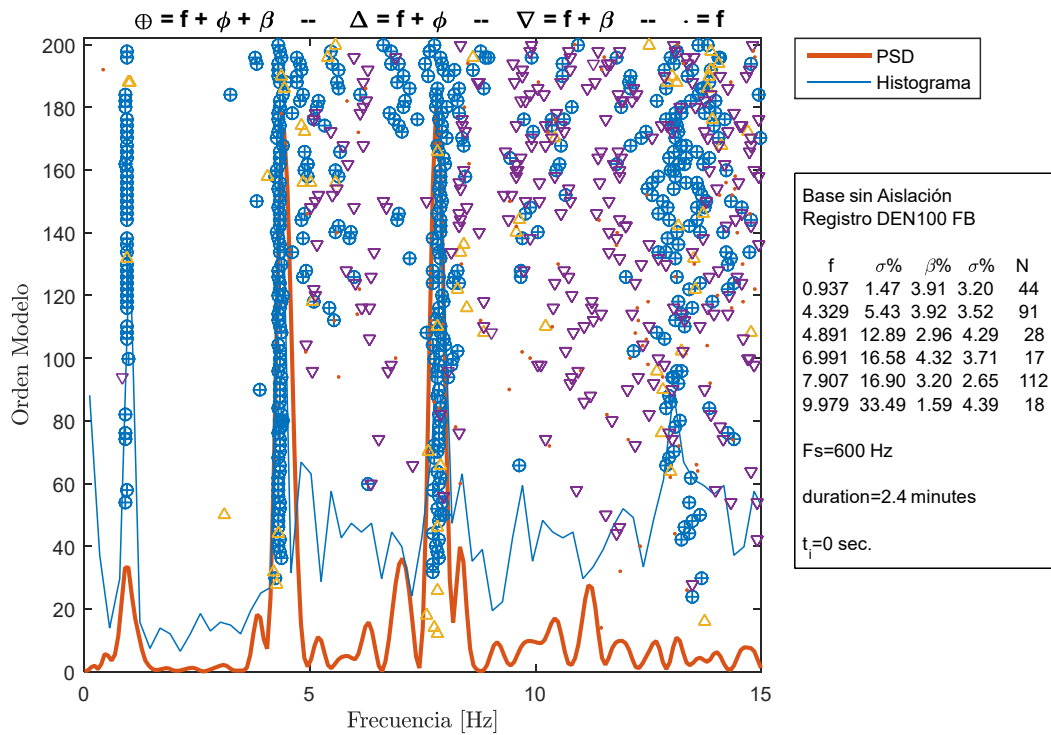


Figura 10.274: Diagrama de estabilidad para la ventana 1, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-DEN100.

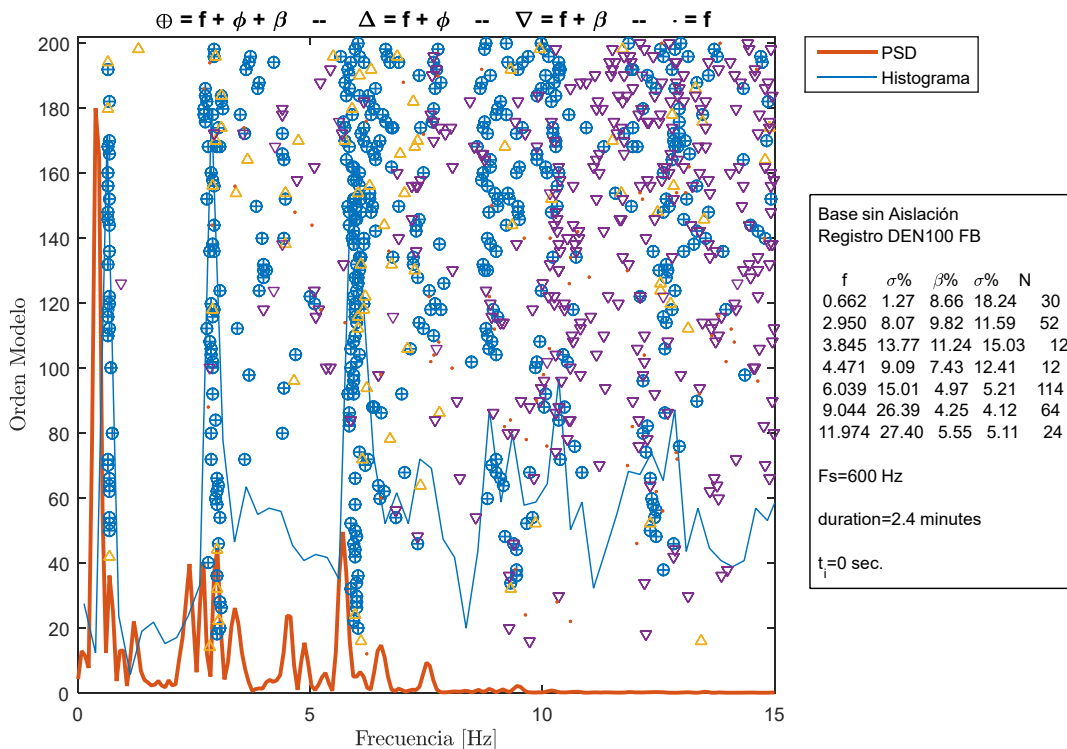


Figura 10.275: Diagrama de estabilidad para la ventana 2, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-DEN100.

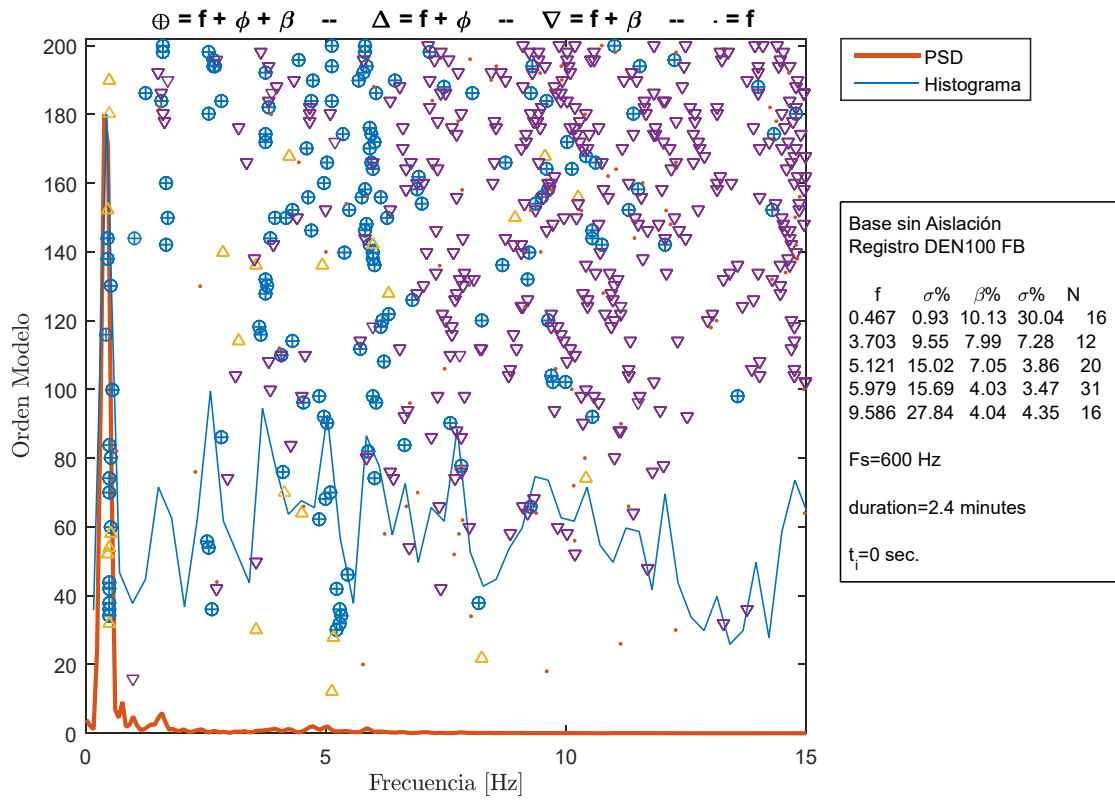


Figura 10.276: Diagrama de estabilidad para la ventana 3, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-DEN100.

Las propiedades dinámicas estimadas por pequeñas ventanas se encuentran presentes desde la Figura 10.277 hasta la Figura 10.280.

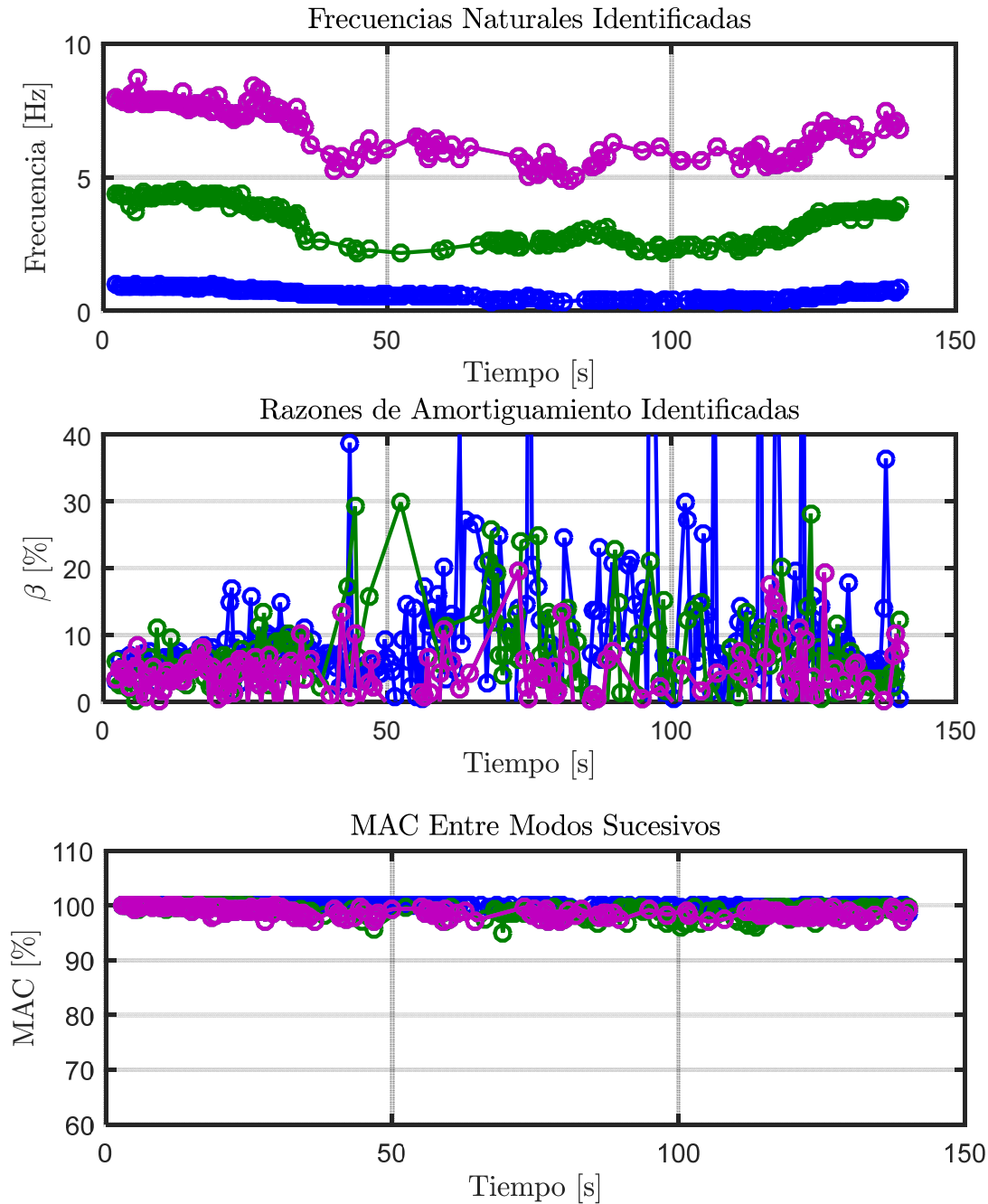


Figura 10.277: Propiedades dinámicas variantes estimadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100.

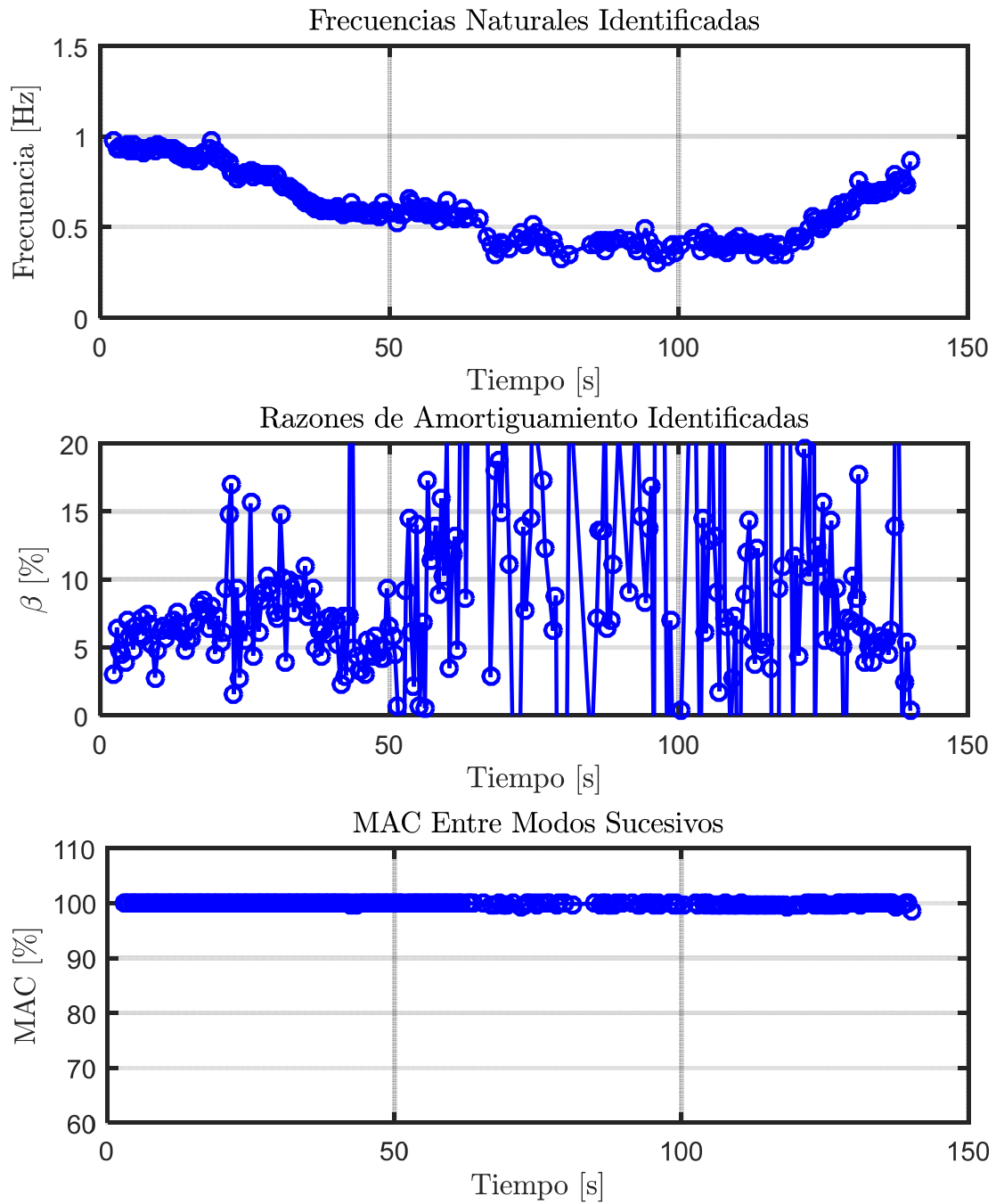


Figura 10.278: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 1, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100.

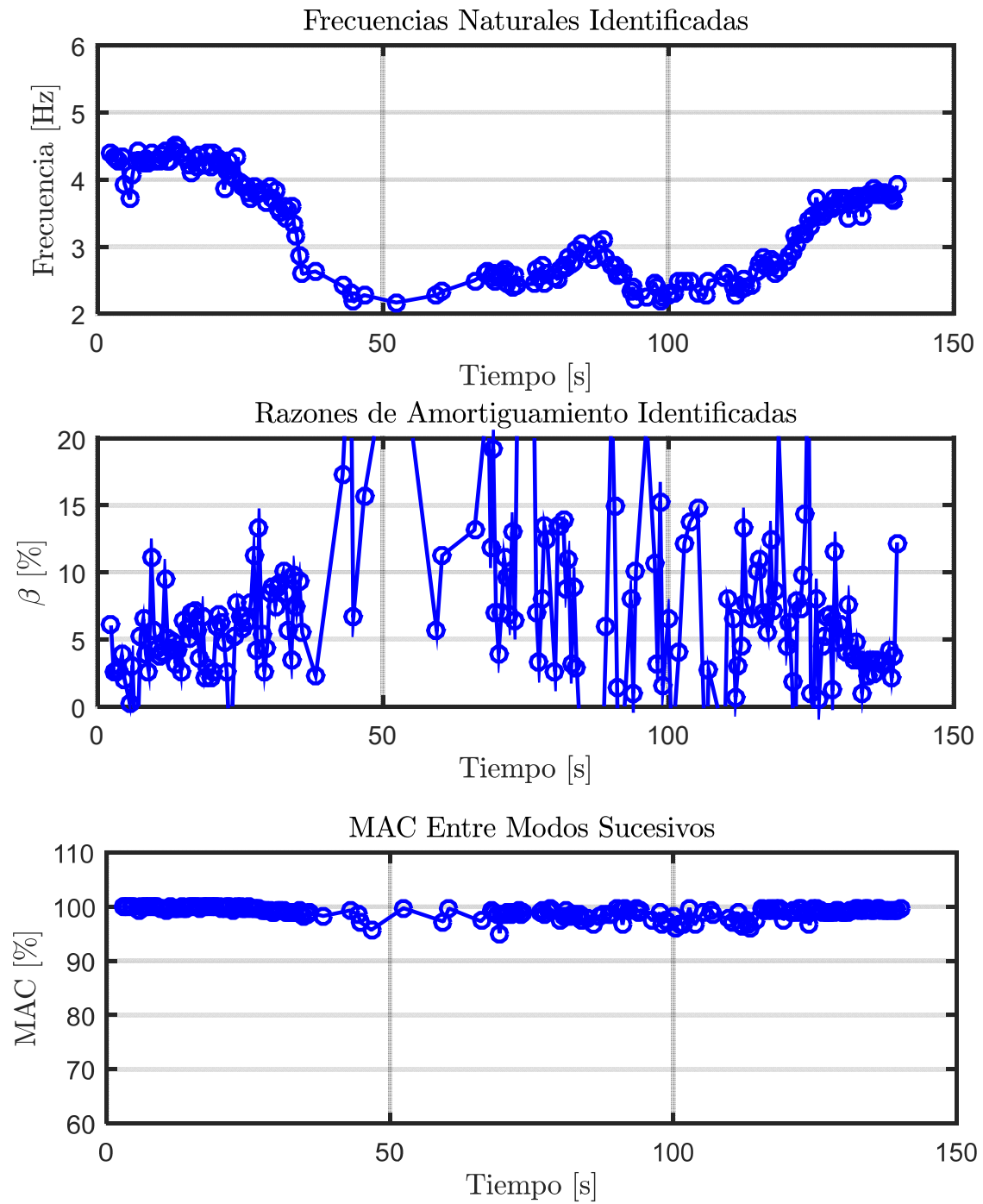
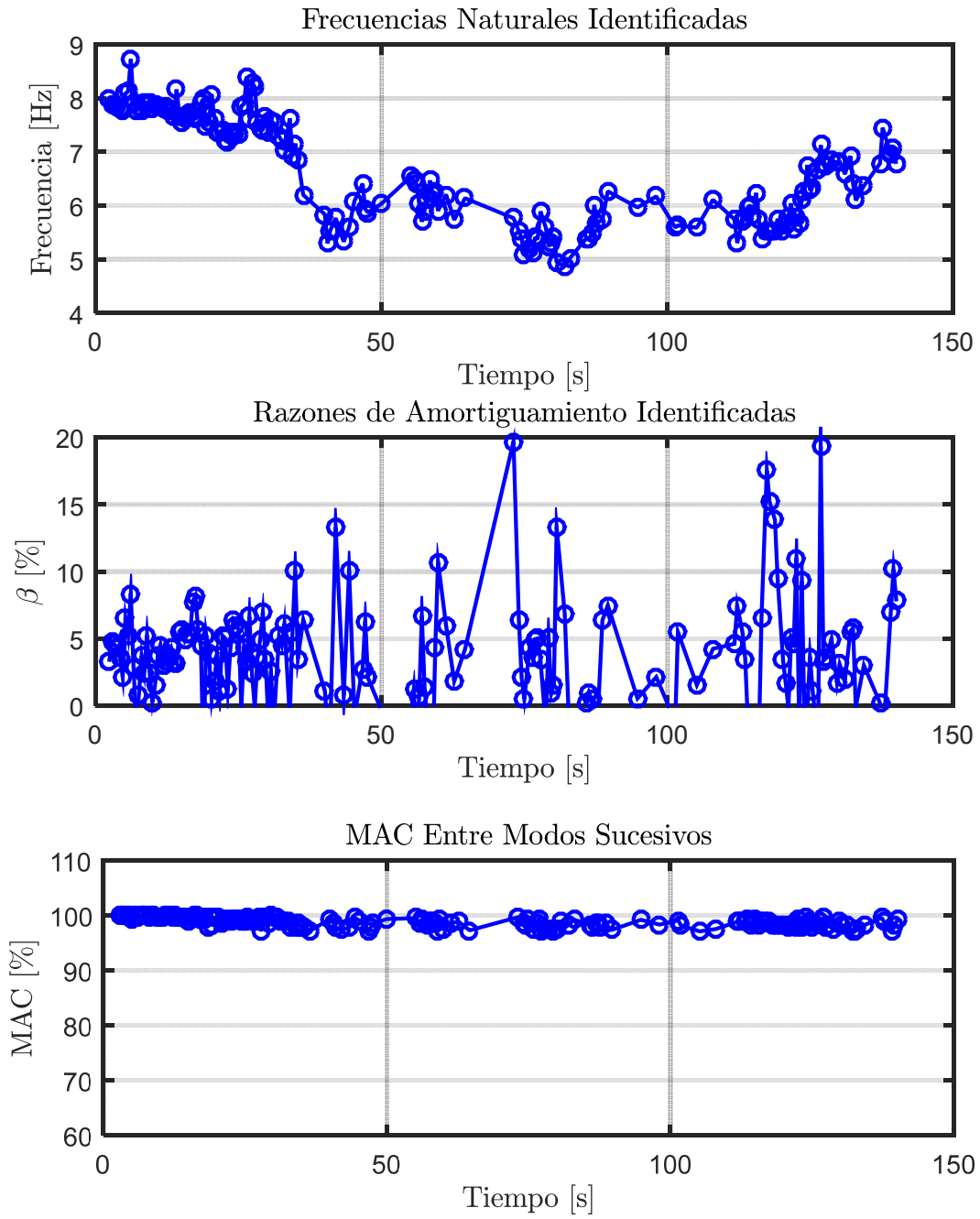


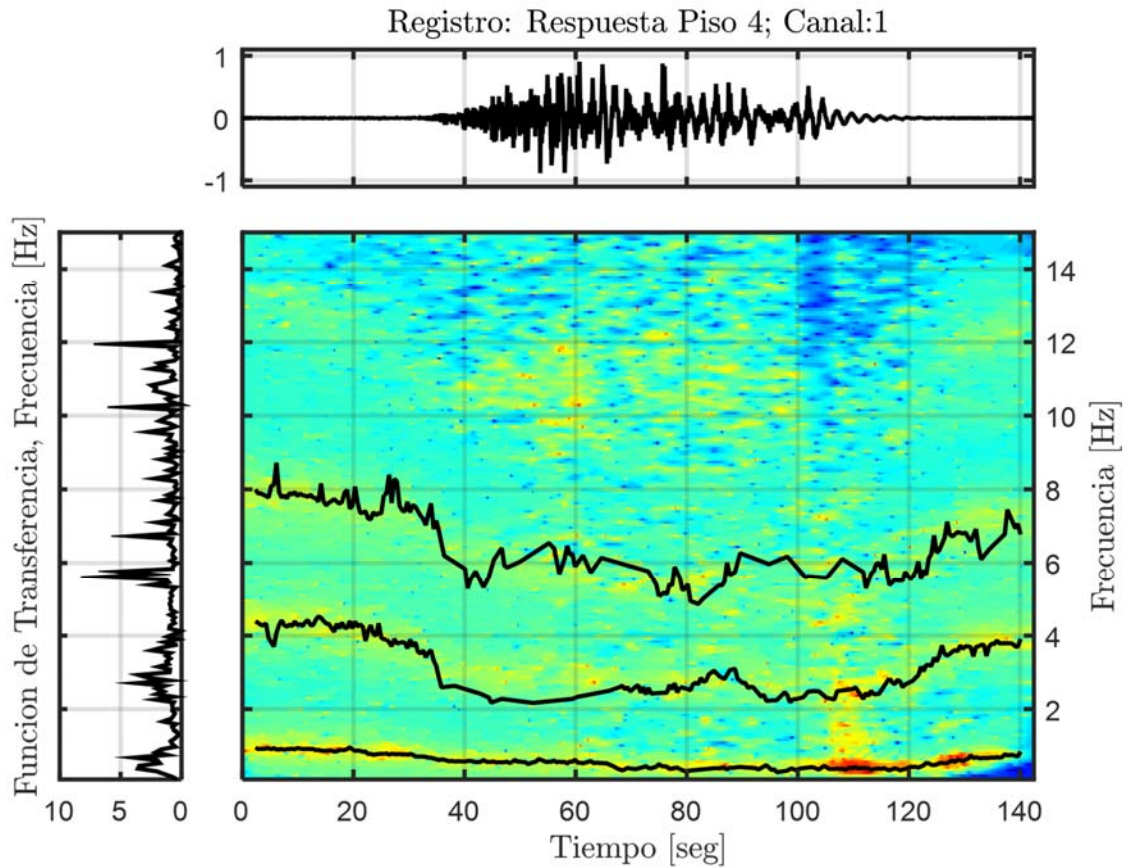
Figura 10.279: Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 2, estructura sin aislamiento BNCS, registro FB-DEN100.



**Figura 10.280:** Propiedades dinámicas variantes asociadas al modo 3, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100.

#### 10.3.3.5.4 Identificación de Frecuencias Modales Mediante Función de Transferencia

De igual forma que para el análisis de los registros anteriores, se realiza una comparación entre las frecuencias modales identificadas por el método DSI y el estudio en el tiempo de las frecuencias mediante Función de Transferencia.



**Figura 10.281:** Función de transferencias por pequeñas ventanas con frecuencias identificadas por DSI, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100.

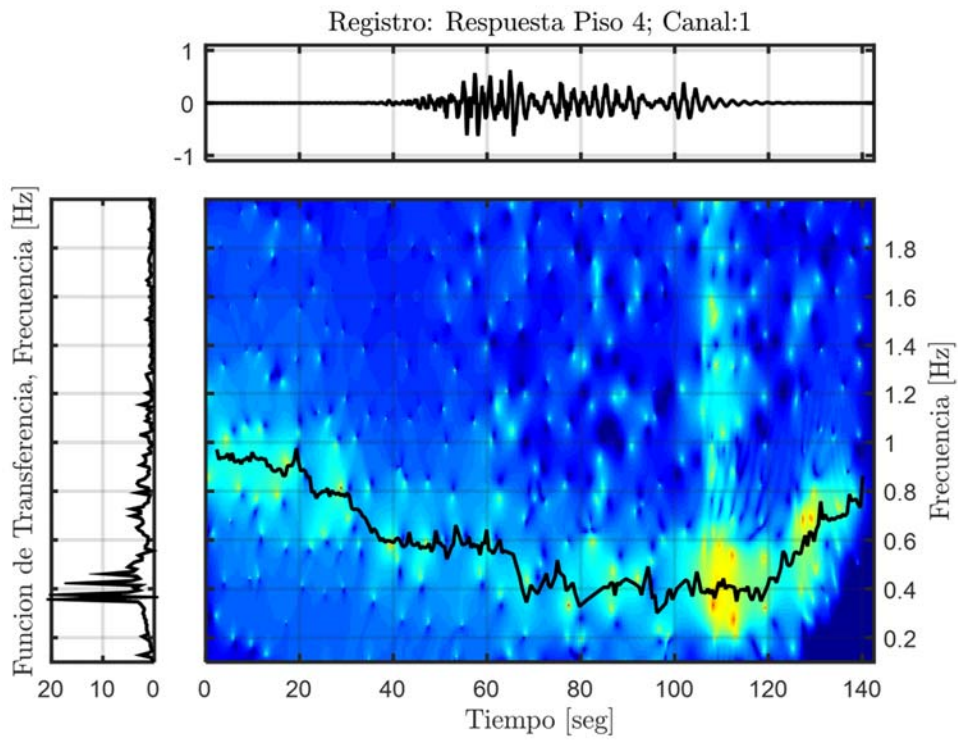


Figura 10.282: Función de transferencia filtrada para el modo 1, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100.

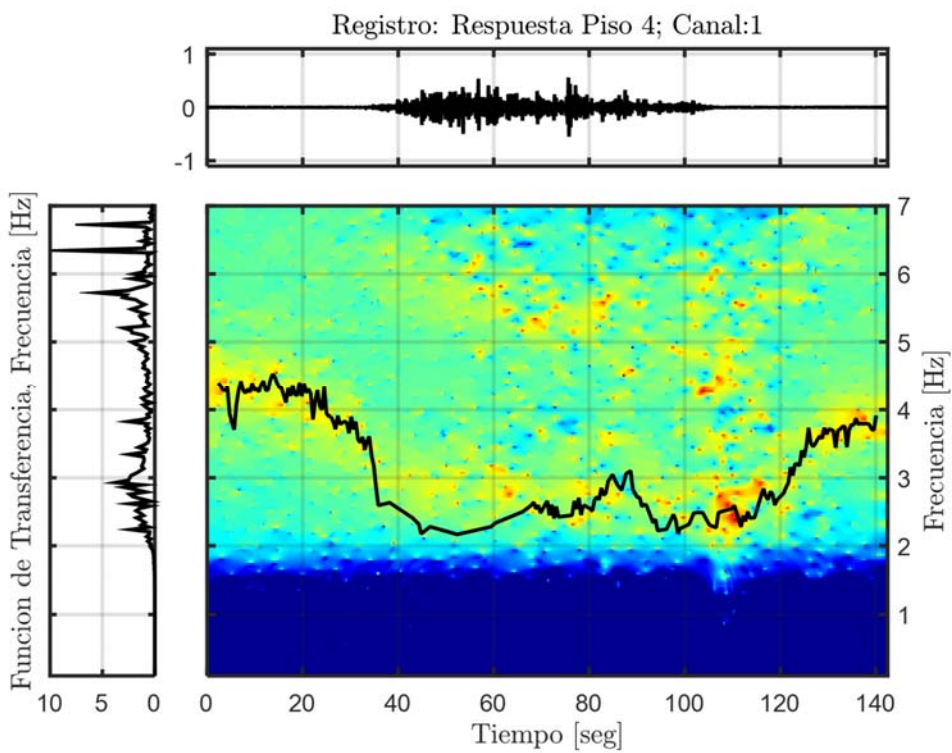


Figura 10.283: Función de transferencia filtrada para el modo 2, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100.



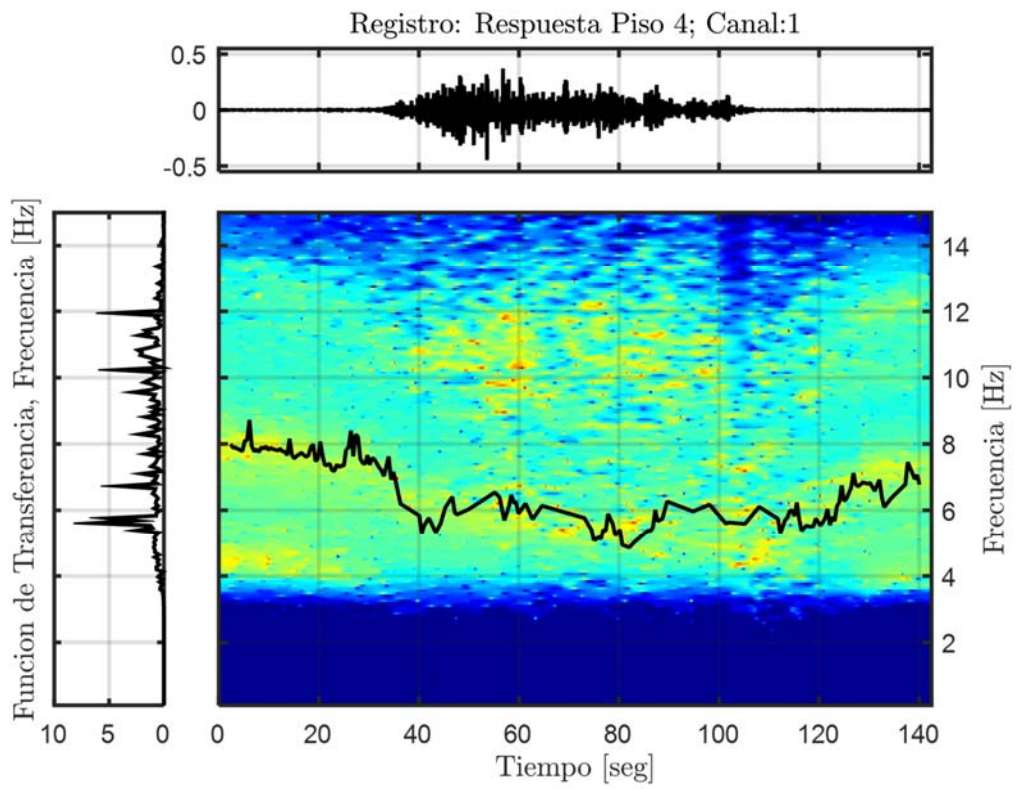


Figura 10.284: Función de transferencia filtrada para el modo 3, Estructura sin aislación, Registro FB-DEN100.

### 10.3.3.5.5 Resumen de las Propiedades Identificadas

**Tabla 10.68: Resumen de las propiedades dinámicas identificadas, estructura sin aislación BNCS, registro FB-DEN100.**

Modos	$f_{AI}$ [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (inicial) [Hz]	$f_{AV}$ (inicial) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (mínima) [Hz]	$f_{AV}$ (mínima) [Hz]	$f_{Gutiérrez}$ (final) [Hz]	$f_{AV}$ (final) [Hz]
1	0,517	0,947	0,930	0,386	0,352	0,727	0,734
2	2,781	4,320	4,396	2,743	2,167	3,802	3,914
3	5,596	7,964	7,893	5,245	5,130	7,403	7,450