



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Propuesta metodológica para el procesamiento  
y análisis de la información del estudio en mesa  
vibradora de un modelo de mampostería  
rehabilitado**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Mauricio Juárez Gutiérrez

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Gerardo Rodríguez Gutiérrez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL  
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION DEL ESTUDIO EN MESA VIBRADORA DE UN MODELO DE MAMPOSTERIA REHABILITADO que presenté para obtener el título de INGENIERO CIVIL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

---

**MAURICIO JUÁREZ GUTIERREZ**  
Número de cuenta: 314237079

# ÍNDICE

Índice de tablas

Índice de figuras

Agradecimientos

Resumen

**Introducción..... 2**

Antecedentes ..... 2

Alcances del trabajo..... 3

Objetivos ..... 4

**Capítulo 1 Pruebas experimentales en mesa vibradora ..... 5**

1.1 Introducción ..... 5

1.2 Descripción de las pruebas experimentales..... 5

1.3 Descripción del modelo rehabilitado (MCR2)..... 8

1.4 Pruebas experimentales ..... 9

1.5 Instrumentación..... 11

1.5.1 Transductores de aceleración ..... 12

1.5.2 Transductores de desplazamiento..... 14

1.5.3 Transductores de deformación ..... 16

**Capítulo 2. Metodología experimental parte I: Acondicionamiento de las señales**

**19**

2.1 Introducción ..... 19

2.2 Criterio para la elección de la aceleración base en las pruebas experimentales MCR1 y MCR2..... 20

2.3 Sincronización de señales ..... 21

2.4 Acondicionamiento de las señales de aceleración..... 22

2.4.1	Corrección de línea base .....	22
2.4.2	Recorte de las señales de aceleración en la parte final.....	24
2.4.3	Filtrado y suavizado.....	24
2.5	Acondicionamiento de las señales de desplazamiento .....	26
2.5.1	Corrección de valor inicial.....	26
2.5.2	Recorte de señales de desplazamiento en la parte final .....	28
2.5.3	Filtrado y suavizado.....	29
2.6	Acondicionamiento de las señales de deformación .....	30
2.6.1	Corrección de valor de inicio .....	30
2.6.2	Recorte de las señales de deformación en la parte final .....	32
2.6.3	Filtrado y suavizado.....	32
<b>Capítulo 3. Metodología experimental parte II: Análisis de resultados .....</b>		<b>33</b>
3.1	Introducción .....	33
3.2	Comportamiento de MCR2 y MCR1 a nivel de aceleraciones .....	34
3.2.1	Modelo MCR2 (Reforzado).....	34
3.2.2	Modelo MCR1 (Original) .....	36
3.2.3	Modelo reforzado MCR2 y modelo original MCR1 comparativa	38
3.3	Análisis de la variación de los periodos fundamentales de vibrar .....	42
3.3.1	Obtención del periodo por medio de la función de transferencia	44
3.3.2	Obtención de la rigidez por medio de las pruebas de ruido .....	46
3.4	Obtención de momentos, fuerzas cortantes y fuerzas laterales.....	48
3.4.1	Modelo MCR2 (reforzado) .....	51
3.4.2	Modelo MCR1 (original).....	55
3.4.3	Comparativa con el EJE 1 y EJE 2. ....	59

3.5	Análisis de los desplazamientos experimentales y distorsiones de entrepiso .....	69
3.5.1	Obtención de los desplazamientos de los modelos. ....	69
3.5.2	Distorsión de entrepisos por desplazamientos .....	72
3.5.3	Análisis de distorsiones de entrepiso.....	75
3.6	Análisis de las deformaciones experimentales en elementos de confinamiento.....	81
<b>Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>		<b>96</b>
4.1	A cerca del comportamiento de los modelos a nivel de aceleraciones .	96
4.2	A cerca de la variación de los periodos fundamentales de vibrar .....	97
4.3	A cerca de los desplazamientos experimentales .....	98
4.4	A cerca de las deformaciones experimentales.....	98
4.5	A cerca del comportamiento general de los dos modelos.....	99
4.6	Comentarios y recomendaciones.....	100
<b>Referencias .....</b>		<b>101</b>
<b>Anexos</b>		

## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Programa de pruebas experimentales MCR1 y MCR2 .....	10
Tabla 1.2 Identificación y ubicación de los transductores de aceleración .....	13
Tabla 1.3 Identificación y ubicación de los transductores de desplazamiento .....	15
Tabla 1.4 Posiciones de los transductores de deformación. ....	18
Tabla 2.1 Comparación de datos entre los modelos MCR1 Y MCR2. ....	20
Tabla 2.2 Recorte inicial de los datos de MCR1 Y MCR2 .....	22
Tabla 3.1 Resumen de aceleraciones máximas eje central obtenidas para los modelos MCR1 Y MCR2 .....	39
Tabla 3.2 Resumen de aceleraciones máximas eje central obtenidas para los modelos MCR1 Y MCR2 .....	40
Tabla 3.3 Resumen de aceleraciones máximas eje 2 obtenidas para los modelos MCR1 Y MCR2	41
Tabla 3.4 Tabla de periodos del modelo MCR1 original y variación de la rigidez.....	44
Tabla 3.5 Tabla de periodos del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez .....	45
Tabla 3.6 Tabla de periodos RB del modelo MCR1 original y variación de la rigidez.....	46
Tabla 3.7 Tabla de periodos RB del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez .....	47
Tabla 3.8 Características del modelo para obtención de fuerzas .....	50
Tabla 3.9 Canales seleccionados para obtener desplazamientos MCR1 Y MCR2 .....	69
Tabla 3.10 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR1 20% EJE1 Y EJE 2 .....	77
Tabla 3.11 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR1 120% EJE1 Y EJE 2 .....	78
Tabla 3.12 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR1 280% EJE1 Y EJE 2 .....	78
Tabla 3.13 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR2 25% EJE1 Y EJE 2 .....	79
Tabla 3.14 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR2 150% EJE1 Y EJE 2 .....	80
Tabla 3.15 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR2 350% EJE1 Y EJE 2 .....	80

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Dimensiones principales del modelo original de mampostería MCR1.....	6
Figura 1.2 Armado de losa del modelo MCR1.....	7
Figura 1.3 Armado de castillos y dalas del modelo MCR1.....	8
Figura 1.4 Modelo MCR2 de mampostería rehabilitado por encamisado de malla tomada de (Gonzalez Parra, 2020) .....	9
Figura 1.5 Aceleración sismo sintético de Acapulco- Guerrero.....	10
Figura 1.6 Vista general de la mesa vibradora (MV) previa a la instalación de los modelos .....	11
Figura 1.7 Acelerómetro SETRA MOD141B. ....	12
Figura 1.8 Localización de los transductores de aceleración en el modelo. ....	13
Figura 1.9 Diagrama general de un transductor LVDT (Mendoza García & Duran Hernández, 2008) .....	14
Figura 1.10 Ubicación de los transductores de desplazamiento en el modelo .....	16
Figura 1.11 Deformímetros instalados en barras metálicas. ....	17
Figura 1.12 Localización de transductores de deformación en el modelo .....	18
Figura 2.1 Gráfica de aceleración prueba 5 canal 12 sin corrección de línea base.....	23
Figura 2.2 Gráfica de aceleración prueba 5 canal 12 con corrección de línea base .....	23
Figura 2.3 de Espectro de Fourier indicando los limites en Hz .....	25
Figura 2.4 Gráfica de aceleración prueba 5 canal 12 procesada.....	26
Figura 2.5 Gráfica de desplazamiento prueba 5 canal 17 sin corrección de valor inicial.....	27
Figura 2.6 Gráfica de desplazamiento prueba 5 canal 17 con corrección de valor inicial .....	27
Figura 2.7 de Zona de rechazo en datos de desplazamiento. ....	28
Figura 2.8 Gráfica de desplazamientos procesada. ....	29
Figura 2.9 Gráfica de desplazamiento prueba 5 canal 17 con filtrado MCR2.....	30
Figura 2.10 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal original .....	31
Figura 2.11 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal corregida.....	31
Figura 2.12 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal corregida datos finales .....	32
Figura 2.13 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal filtrada y corregida .....	33

Figura 3.1 Gráfica de aceleraciones por nivel eje 1 MCR2 25%.....	35
Figura 3.2 Gráfica de aceleraciones por nivel eje Central MCR2 25% .....	35
Figura 3.3 Gráfica de aceleraciones por nivel eje Central MCR2 25% .....	36
Figura 3.4 Gráfica de aceleraciones por nivel eje 1 MCR1 20%.....	37
Figura 3.5 Gráfica de aceleraciones por nivel eje Central MCR1 20% .....	37
Figura 3.6 Gráfica de aceleraciones por nivel eje 2 MCR1 20%.....	38
Figura 3.7 Comparativa de aceleraciones máximas eje 1 modelos MCR1 Y MCR2.....	40
Figura 3.8 Comparativa de aceleraciones máximas eje central modelos MCR1 Y MCR2.....	41
Figura 3.9 Comparativa de aceleraciones máximas eje 2 modelos MCR1 Y MCR2.....	42
Figura 3.10 Gráfica de Espectro de Fourier indicando los limites en Hz .....	43
Figura 3.11 Gráfica de espectro de Fourier canal 2 prueba 5 FILTRADO Y SUAVIZADO.....	43
Figura 3.12 Periodos del modelo MCR1 original y variación de la rigidez.....	45
Figura 3.13 Periodos del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez.....	45
Figura 3.14 Periodos RB del modelo MCR1 original y variación de la rigidez.....	47
Figura 3.15 Periodos RB del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez.....	48
Figura 3.16 Representación de las fuerzas, fuerzas cortantes y momentos.....	50
Figura 3.17 Gráfica de FUERZAS en el Eje 1 modelo MCR2.....	52
Figura 3.18 Gráfica de FUERZAS en el Eje Central modelo MCR2.....	52
Figura 3.19 Gráfica de FUERZAS en el Eje 2 MCR2.....	53
Figura 3.20 Gráfica de Cortante en el Eje 1 MCR2.....	53
Figura 3.21 Gráfica de Momento en el Eje 1 MCR2.....	54
Figura 3.22 Gráfica de Cortante en el Eje 1 MCR2.....	54
Figura 3.23 Gráfica de Momento en el Eje 2 MCR2.....	55
Figura 3.24 Gráfica de FUERZAS en el Eje 1 modelo MCR1.....	56
Figura 3.25 Gráfica de FUERZAS en el Eje Central modelo MCR1.....	56
Figura 3.26 Gráfica de FUERZAS en el Eje 2 MCR1.....	57
Figura 3.27 Gráfica de Cortante en el Eje 1 MCR1.....	57
Figura 3.28 Gráfica de Momento en el Eje 1 MCR1.....	58



Figura 3.29 Gráfica de Cortante en el Eje 2 MCR1.....	58
Figura 3.30 Gráfica de Momento en el Eje 2 MCR1.....	59
Figura 3.31 Gráfica de Fuerzas 20% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	60
Figura 3.32 Gráfica de Fuerzas 120% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	60
Figura 3.33 Gráfica de Fuerzas 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	61
Figura 3.34 Gráfica de Cortante 20% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	61
Figura 3.35 Gráfica de Cortante 120% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	62
Figura 3.36 Gráfica de Cortante 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	62
Figura 3.37 Gráfica de Momento 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	63
Figura 3.38 Gráfica de Momento 120% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	63
Figura 3.39 Gráfica de Momento 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.....	64
Figura 3.40 Gráfica de Fuerzas 25% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	65
Figura 3.41 Gráfica de Fuerzas 150% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	65
Figura 3.42 Gráfica de Fuerzas 350% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	65
Figura 3.43 Gráfica de Cortante 25% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	66
Figura 3.44 Gráfica de Cortante 150% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	66
Figura 3.45 Gráfica de Cortante 350% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	67
Figura 3.46 Gráfica de Momento 25% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	67
Figura 3.47 Gráfica de Momento 150% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	68
Figura 3.48 Gráfica de Momento 350% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.....	68
Figura 3.49 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR2 eje 1.....	70
Figura 3.50 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR1 eje 1.....	71
Figura 3.51 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR2 eje 2.....	71
Figura 3.52 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR1 eje 2.....	72
Figura 3.53 Gráfica de distorsiones por nivel MCR2 eje 1.....	73
Figura 3.54 Gráfica de distorsiones por nivel MCR1 eje 1.....	74
Figura 3.55 Gráfica de distorsiones por nivel MCR2 eje 2.....	74
Figura 3.56 Gráfica de distorsiones por nivel MCR2 eje 1.....	75

Figura 3.57 Tabla de límite de distorsión y ductilidad por estructuración (Gaceta de la Ciudad de México, 2020). .....	76
Figura 3.58 Tabla de límite de distorsión por sistema estructural. (Comisión Federal de Electricidad, 2015). .....	76
Figura 3.59 Imagen con los canales seleccionados para el análisis de deformación.....	82
Figura 3.60 Gráfica 25% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles. ....	83
Figura 3.61 Gráfica 25% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.....	84
Figura 3.62 Gráfica 25% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo. ....	84
Figura 3.63 Gráfica 25% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos. ....	85
Figura 3.64 Gráfica 150% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles. ....	85
Figura 3.65 Gráfica 150% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.....	86
Figura 3.66 Gráfica 150% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo. ....	86
Figura 3.67 Gráfica 150% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos. ....	87
Figura 3.68 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles. ....	87
Figura 3.69 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.....	88
Figura 3.70 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo. ....	88
Figura 3.71 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos. ....	89
Figura 3.72 Gráfica 20% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles. ....	90
Figura 3.73 Gráfica 20% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.....	91
Figura 3.74 Gráfica 20% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo. ....	91
Figura 3.75 Gráfica 20% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos. ....	92
Figura 3.76 Gráfica 120% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles. ....	92
Figura 3.77 Gráfica 120% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.....	93
Figura 3.78 Gráfica 120% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo. ....	93
Figura 3.79 Gráfica 120% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos. ....	94
Figura 3.80 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles. ....	94
Figura 3.81 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.....	95
Figura 3.82 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo. ....	96
Figura 3.83 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos. ....	96

## Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por haberme brindado como institución, la posibilidad de tener una formación profesional en forma gratuita.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por haberme permitido llevar a cabo el desarrollo del trabajo que aquí se presenta.

Le manifiesto mi más sincero agradecimiento al Dr. Héctor Guerrero Bobadilla. Este trabajo no hubiera sido posible sin la información de los ensayos experimentales que se analizaron en este trabajo, y que fue proporcionada amablemente por él.

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento, al Dr. Gerardo Rodríguez Gutiérrez. Su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a la realización de este trabajo, donde recibí su apoyo en todo momento para cumplir con el trabajo y estar pendiente de las dudas personales y académicas.

Asimismo, quiero expresar mi gratitud a todos mis profesores que contribuyeron mi desarrollo personal y educativo, para llegar a este momento.

A mis amigos y compañeros, gracias por su compañía y apoyo en los momentos más estresantes, para lograr completar nuestras metas y superarnos en el trayecto.

Gracias infinitas a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro.

## Dedicatorias

A mis padres, Mauricio y María de la Paz, todo esto no habría sido posible sin ellos. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico.

A mi familia, quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme, supieron estar cuando más los necesitaba.

A mi pareja, María Fernanda, estuvo en todo momento para levantarme el ánimo para continuar con este trabajo, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

A las personas, que actualmente me cuidan desde el cielo y estuvieron en este camino.

Finalmente, a todas las personas que creyeron en mí y me apoyaron a lo largo de mi vida.

# Introducción

## Antecedentes

Dentro de la diversidad de construcciones para vivienda que existen en México, las estructuras de mampostería representan el mayor sector en cuanto a número. Lo anterior, aunado a qué por su ubicación geográfica, México forma parte de la zona conocida como Cinturón Circumpacífico, la cual es notable por su gran actividad sísmica, hace que el estudio de las estructuras de mampostería resulte relevante para la ingeniería estructural del país.

Dentro de los sismos más recientes de gran importancia que han afectado la infraestructura y las vidas de miles de personas en México, se encuentran el sismo del 19 de septiembre de 1985 de magnitud 8.1, y el del 19 de septiembre de 2017 de magnitud 8.2. De manera particular los daños producidos por ambos eventos en el sector vivienda, han sido motivo para impulsar trabajos de investigación con el propósito de obtener un conocimiento más profundo de la respuesta sísmica de estructuras de mampostería y que finalmente se vea reflejado en la mejora de los reglamentos de construcción. Lo anterior con el fin de proteger de afectaciones futuras al mayor número posible de habitantes.

Al respecto y desde hace algunos años, en México diversos investigadores especialistas en el tema han estudiado en forma experimental el comportamiento de estructuras típicas de mampostería sujetas a acciones sísmica (Alcocer, et al 2004, Alcocer y Casas, 2019, Pérez-Gavilán y Flores, 2020).

Una de las líneas experimentales de investigación con mayor potencial en este sentido, es el estudio de la respuesta de modelos a escala en mesa vibradora. Este tipo de estudios son de gran utilidad en la comprensión del comportamiento de diversos sistemas y elementos estructurales bajo acciones sísmicas. Si aunado a lo anterior, se cuenta con un sistema de adquisición de datos que permita medir adecuadamente diferentes parámetros estructurales en una gran cantidad de puntos, se tendrá la posibilidad de conocer en profundidad aspectos que pueden

resultar relevantes para comprender de una mejor manera el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería (Rodríguez et al. 2022).

El presente trabajo se basa en los resultados experimentales obtenidos previamente en dos estudios realizados en forma independiente en la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM (MV-IIUNAM). El primero realizado por Pérez Gavilán y Flores (Pérez Gavilán y Flores, 2020), y el segundo por Guerrero y González (González, 2020). El aspecto que une a ambos estudios fue el uso de un mismo modelo de 3 niveles de mampostería confinada construido a escala 1:2. En el primer estudio se analizó la respuesta del modelo ante un sismo sintético escalado ascendientemente para dañar el modelo gradualmente y en forma considerable. Posteriormente, el modelo fue reparado y vuelto a ensayar por segunda vez bajo condiciones similares. Gracias a que la MV-IIUNAM cuenta con un sistema de adquisición de datos que permite la captura de información en un importante número de puntos de medición, en ambos estudios se obtuvieron una gran cantidad de datos para poder realizar un análisis sumamente completo de la respuesta del modelo antes y después de ser rehabilitado.

### Alcances del trabajo

Ambos modelos fueron ensayados en un medio controlado e instrumentados en un gran número de puntos. El presente trabajo consistió en procesar y analizar en profundidad la información generada principalmente durante el segundo estudio experimental con el modelo rehabilitado.

Para entender mejor su comportamiento ante diferentes fuerzas sísmicas, el modelo se instrumentó durante los dos estudios, en una serie de puntos seleccionados estratégicamente y en los cuales fueron colocados diferentes transductores por medio de los cuales se obtuvieron registros de aceleración, desplazamiento y deformación.

El alcance principal de este trabajo consistió en establecer una metodología para revisar y acondicionar adecuadamente la gran cantidad de datos experimentales obtenidos, y posteriormente realizar un análisis confiable de la

respuesta del modelo por medio de los datos registrados con cada tipo de transductor.

En forma complementaria, también se realizó una comparación con la información generada con el modelo original sin rehabilitación, y se llegaron a obtener algunas conclusiones al respecto.

## Objetivos

Objetivo general:

Proponer una metodología que ayude al procesamiento y a la interpretación de los datos obtenidos en estudios experimentales en los cuales se genera una gran cantidad de información.

Objetivos particulares:

- En forma particular la metodología se aplica en el acondicionamiento y análisis de la información generada en un modelo de mampostería a escala 1:2 rehabilitado, instrumentado y ensayado en mesa vibradora.
- Obtención de la respuesta experimental del modelo rehabilitado a través de diferentes parámetros estructurales (aceleraciones, desplazamientos y deformaciones).
- Comparación de algunos resultados, con los obtenidos del modelo original no rehabilitado, por medio de la metodología propuesta en este trabajo.

# 1 Capítulo 1 Pruebas experimentales en mesa vibradora

## 1.1 Introducción

Con base en la información previa de los dos estudios experimentales mencionados con anterioridad (Pérez Gavilán, *et al* 2020 y González, 2020) en este capítulo se describe la metodología propuesta para acondicionar y analizar la información de la segunda etapa de pruebas experimentales realizadas con el modelo de mampostería de 3 niveles a escala 1:2, en la MV-IIUNAM.

Primeramente, se hace referencia a las principales características del modelo de mampostería original. Posteriormente se describe en que consistió el proceso de rehabilitación y refuerzo del mismo modelo, para así hacer una distinción y poder referirse a dos modelos diferentes a lo largo del trabajo. Después, se hace una *descripción general del tipo de pruebas experimentales realizadas* y cuáles son sus principales objetivos.

Se da paso a la *descripción de la instrumentación* utilizada durante las pruebas experimentales. Se muestran los *tres diferentes tipos de sensores* utilizados, su número y localización en los modelos. A partir de aquí, dentro de todo el conjunto de pruebas realizadas en ambos estudios, se hace *una selección de una serie de pruebas* que serán las que se analizarán a lo largo de este trabajo.

## 1.2 Descripción de las pruebas experimentales

El modelo original denominado MCR1 consistió en una edificación de mampostería confinada de 3 niveles a escala 1:2, con una altura de 3.75 m. Sus principales dimensiones en dirección longitudinal y transversal se muestran en la Figura 1.1.

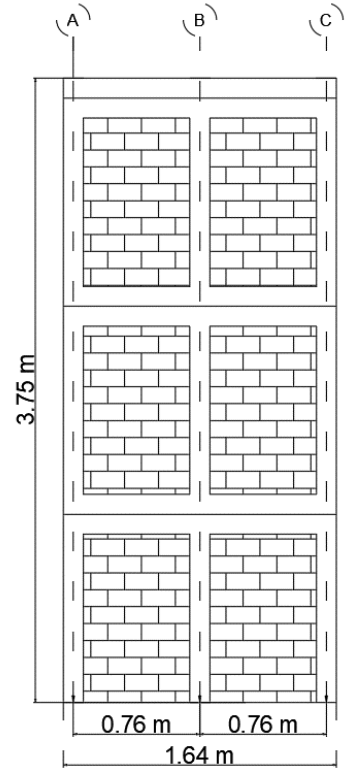
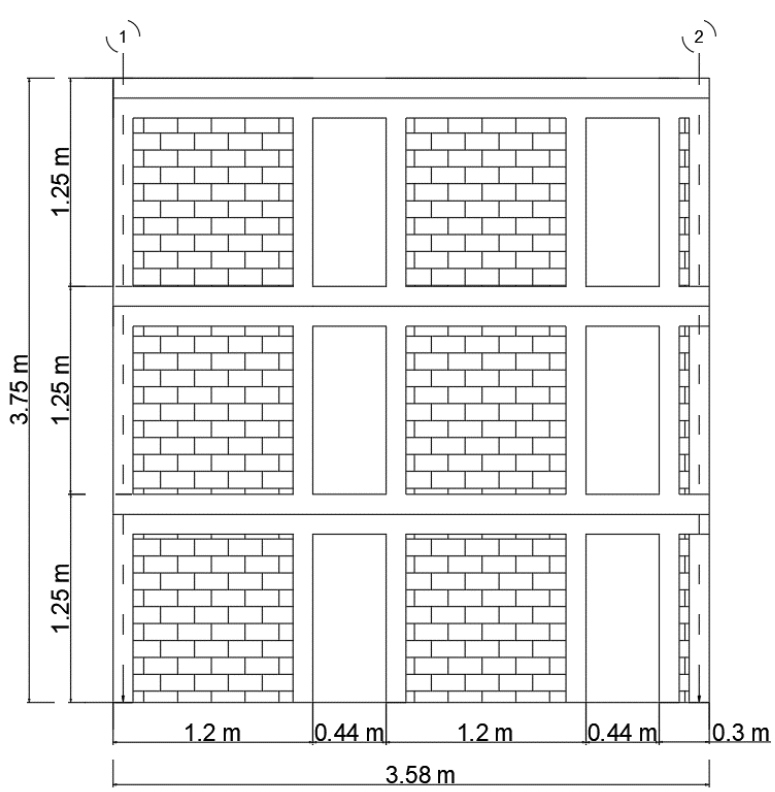
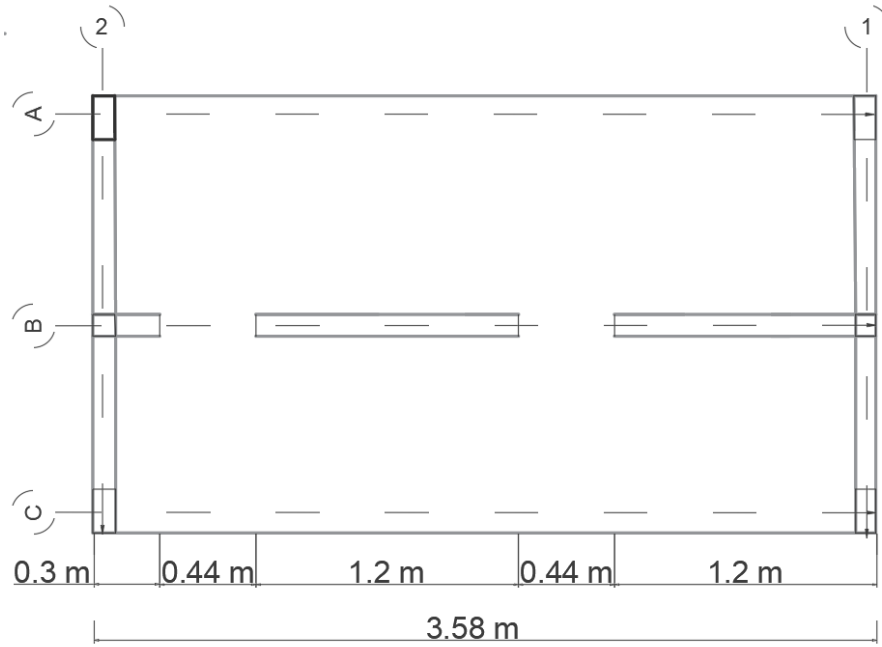


Figura 1.1 Dimensiones principales del modelo original de mampostería MCR1.



Su estructuración estuvo conformada por muros de ladrillo de dimensiones  $6 \times 6 \times 12$  cm, que fue el mismo tipo de pieza que se utilizó en un estudio previo en un modelo que sirvió para estudiar el comportamiento de muro aislado (Gonzalez Parra, 2020).

El sistema de piso consistió en una losa maciza de  $1.64$  m  $\times$   $3.58$  m y que tenía un peralte de  $8$  cm. Estaba armada con barras de  $3/16$ " a cada  $15$  cm en ambas direcciones y tenía  $11$  bastones de  $60$  cm sobre el muro del eje B. (Gonzalez Parra, 2020). La Figura 1.2 muestra el armado de la losa.

Los castillos y las dalas fueron de las mismas dimensiones que las del modelo de muro aislado, así como también los armados. Los castillos tenían barras de refuerzo con diámetro de  $6$  mm y estribos de diámetro de  $3.25$ . El esfuerzo especificado de fluencia del acero longitudinal fue de  $412$  MPa y el del acero transversal de  $210$  MPa." (Gonzalez Parra, 2020). En la Figura 1.3 se observan estos armados

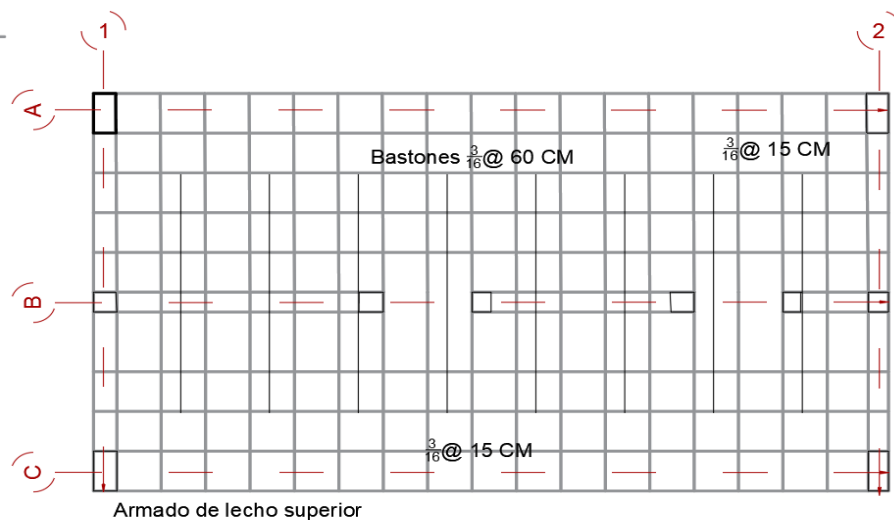


Figura 1.2 Armado de losa del modelo MCR1

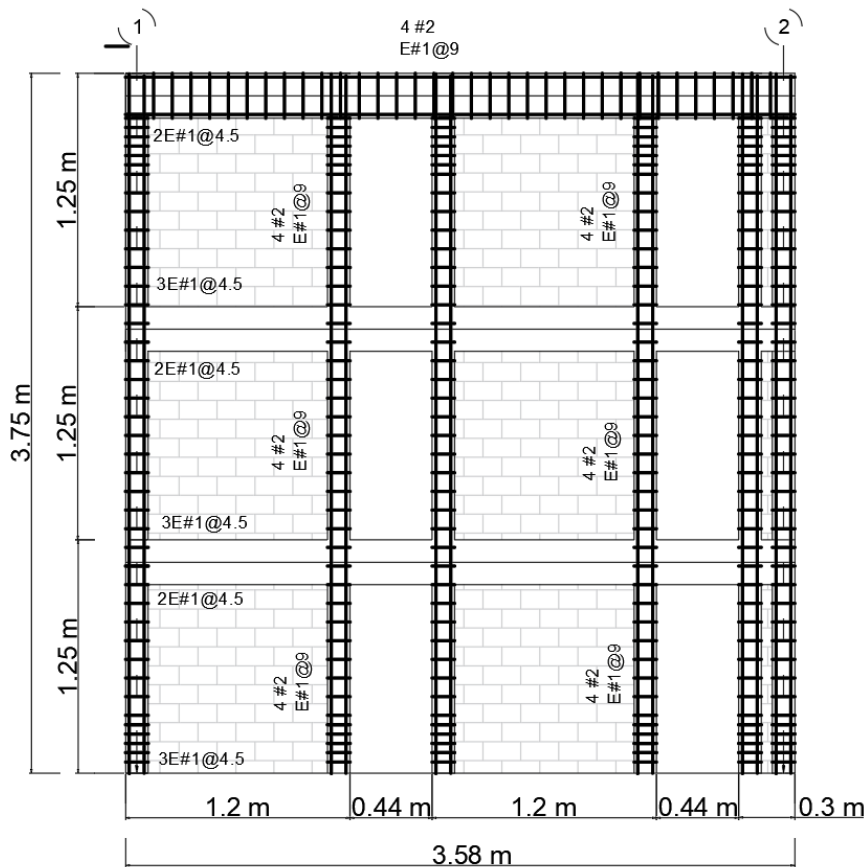


Figura 1.3 Armado de castillos y dalas del modelo MCR1.

### 1.3 Descripción del modelo rehabilitado (MCR2)

Las primeras pruebas concluyeron cuando el modelo MCR1 presentó el nivel de daño estructural conveniente para los objetivos de la primera etapa del estudio. Posteriormente, como se muestra en la Figura 1.4, para conformar el modelo MCR2, se procedió a realizar la reparación y el refuerzo del modelo por medio de los procedimientos que se describen a continuación:

1. Se retiró el concreto de acabado del muro y se reemplazaron las piezas de mampostería dañadas por medio de la elaboración de rajuelas.
2. Se aplicó a todos los muros reparados una primera capa de mortero sika monotop 412-S (Mortero de reparación estructural con inhibidor de

corrosión, aplicación manual y por proyección) de aproximadamente medio centímetro de espesor.

3. Posteriormente se colocó sobre cada muro, un sistema de refuerzo conformado por una malla de fibra de vidrio Sika wrap-350.
4. Después de colocar la malla de refuerzo se aplicó una segunda capa final de mortero Sika monotop 412-s sobre la malla y el espesor final del encamisado parcial fue de aproximadamente de 1 cm de espesor. (Gonzalez Parra, 2020)



*Figura 1.4 Modelo MCR2 de mampostería rehabilitado por encamisado de malla tomada de (Gonzalez Parra, 2020)*

#### 1.4 Pruebas experimentales

Los programas experimentales realizados con los modelos MCR1 y MCR2 fueron similares. En ambos, se utilizó un acelerograma sintético con un contenido de frecuencias tal que, al escalarse progresivamente se asegurara dañar a los modelos MCR1 y MCR2. En la Figura 1.5 se muestra el acelerograma que fue escalado en diferentes porcentajes para producir cada vez mayores niveles de aceleración. El objetivo de ambos estudios fue estudiar en forma detallada la respuesta de cada modelo ante diferentes niveles de sollicitaciones dinámicas, en este caso la simulación de un sismo escalado en forma ascendente.

Sismo sintético de Acapulco- Guerrero

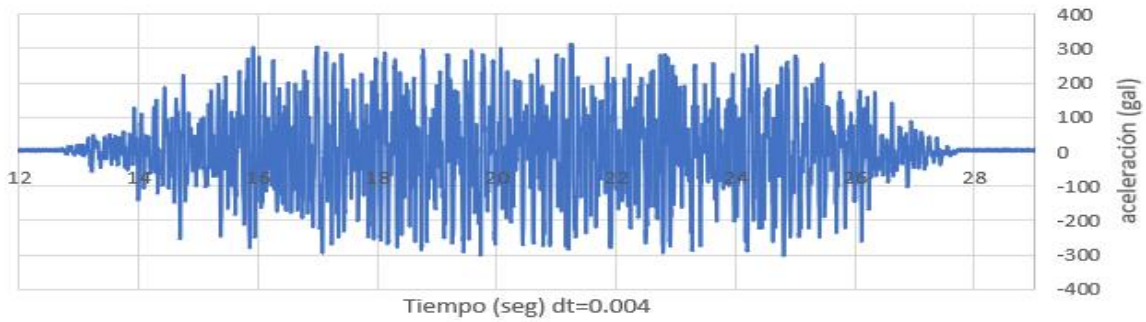


Figura 1.5 Aceleración sismo sintético de Acapulco- Guerrero

Los programas de pruebas experimentales para los modelos MCR1 y MCR2 se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 1.1 Programa de pruebas experimentales MCR1 y MCR2

MCR1							
Prueba	1	2	3	4	5	6	7
	RB1	Sismo 20%	Sismo 60%	Sismo 80%	Sismo 120%	RB2	Sismo 160%
Prueba	8	9	10	11	12	13	14
	RB3	Sismo 200%	RB4	Sismo 240%	RB5	Sismo 280%	RB6
MCR2							
Prueba	1	2	3	4	5	6	7
	RB1	Sismo 25%	Sismo 25%	Sismo 75%	Sismo 100%	Sismo 150%	Sismo 200%
Prueba	8	9	10	11	12	13	14
	Sismo 250%	Sismo 300%	Sismo 350%	Sismo 400%	RB2	Sismo 450%	NULA
Prueba	15	16	17	18	19	20	21
	RB3	Sismo 500%	RB4	Sismo 550%	RB5	Sismo 600%	RB6

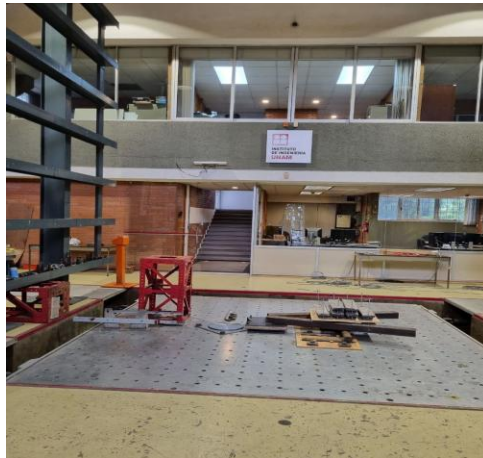
Se observa en la Tabla 1.1 que los programas de pruebas entre ambos estudios tuvieron algunas diferencias. En el primer estudio los porcentajes a los que se escaló el acelerograma sintético, fueron seleccionados para asegurar que la mesa vibradora produjera los niveles de aceleración deseados para reproducir una respuesta similar del modelo MCR1 a la calculada a través de un modelo numérico incluyendo la presencia de daño (Pérez-Gavilan y Flores, 2019). Para el segundo modelo MCR2 el cual fue reparado con mortero Sika monotop 412-s, los porcentajes de escalado del acelerograma fueron mayores. Lo anterior debido a que uno de los objetivos del segundo estudio, fue comprobar la mayor capacidad en resistencia y

deformación del modelo MCR2 con respecto al modelo MCR1. En la Figura 1.6 se muestra una vista general de la mesa vibradora previamente a la instalación de los modelos.

Cabe señalar que en ambos estudios tanto al inicio como al final de cada programa de pruebas, se aplicó una señal de ruido blanco (RB) al modelo, esto con el objetivo de obtener los periodos de vibrar iniciales y finales de cada modelo. También, con el propósito de obtener la variación de los periodos fundamentales de vibrar de los modelos, después de la aplicación del acelerograma sintético escalado un determinado porcentaje. En la Tabla 1.1 se indica que se realizaron pruebas de RB intermedias.

### 1.5 Instrumentación

La instrumentación utilizada en las dos pruebas estuvo conformada por 13 transductores de aceleración, 15 de desplazamiento (LVDT) y 27 de deformación (deformímetros o strain gauge). Cada uno de estos transductores se identifica con un canal, cuya señal es recibida y almacenada por un sistema de adquisición de datos conectado directamente al sistema de control de la mesa vibradora. En ambos estudios se obtuvieron 55 canales con información referente a aceleración, desplazamiento y deformación.



*Figura 1.6 Vista general de la mesa vibradora (MV) previa a la instalación de los modelos*

### 1.5.1 Transductores de aceleración

Los transductores de aceleración o acelerómetros utilizados durante las pruebas fueron de la marca Setra Systems Modelo 141B, con rango de captura de  $\pm 2g$  en unidades de aceleración. La Figura 1.7 muestra un ejemplo de este tipo de acelerómetros. Se caracterizan por sus reducidas dimensiones, ligereza y porque son unidireccionales. Cuando varía la aceleración, la corriente eléctrica que pasa por el sistema cambia las condiciones eléctricas del transductor y este cambio es obtenido por los equipos de medición para su posterior conversión a unidades de aceleración.

En el modelo se colocaron los acelerómetros como se puede observar en la Figura 1.8 y Tabla 1.2 la distribución y ubicación de cada uno de los 13 acelerómetros instalados. Esto permitió identificar los registros de aceleración de cada nivel y su referencia durante las pruebas.



Figura 1.7 Acelerómetro SETRA MOD141B.

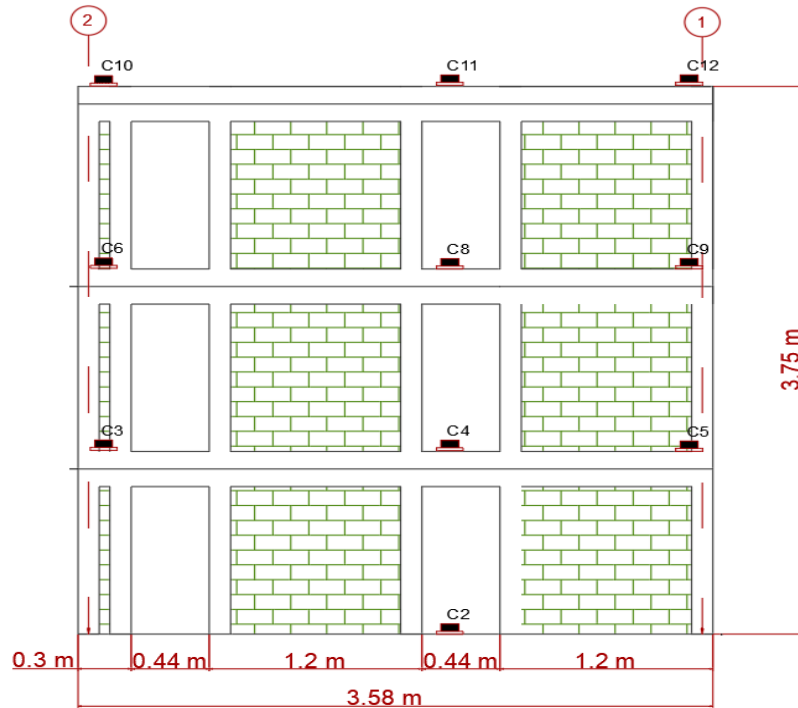


Figura 1.8 Localización de los transductores de aceleración en el modelo.

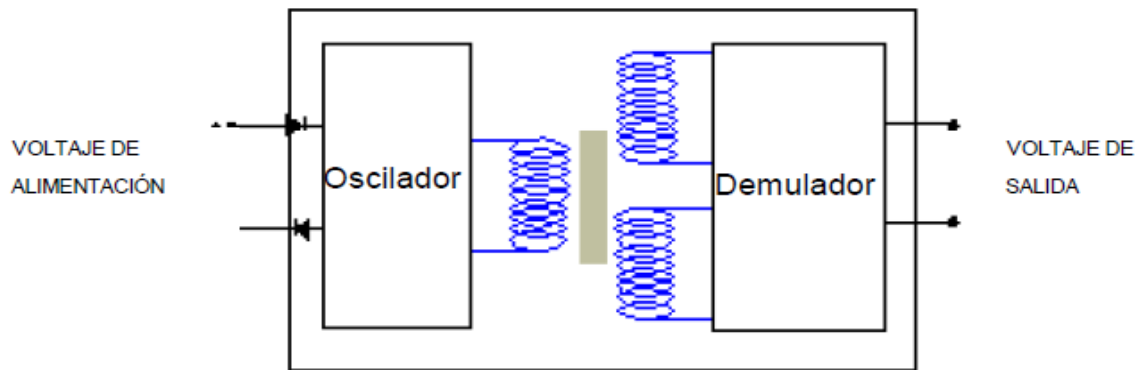
- El canal 0 representa la información de la aceleración del sismo de Acapulco-Guerrero enviada a la mesa vibradora.
- El canal 1 se encuentra al lado del modelo, representa la información de la aceleración que actúa en el modelo.

Tabla 1.2 Identificación y ubicación de los transductores de aceleración

Canal	Transductor	unidades	Ubicación	Componente
0	aceleración inicial	gal	sistema	
1	Referencia MV	gal	MV	
2	Acelerómetro	gal	Base Centro	L
3	Acelerómetro	gal	N1 eje 2	L
4	Acelerómetro	gal	N1 Centro	L
5	Acelerómetro	gal	N1 eje1	L
6	Acelerómetro	gal	N2 eje 2	L
8	Acelerómetro	gal	N2 Centro	L
9	Acelerómetro	gal	N2 eje1	L
10	Acelerómetro	gal	Az eje 2	L
11	Acelerómetro	gal	Az Centro	L
12	Acelerómetro	gal	Az eje 1	L
45	Acelerómetro 726	gal	BASE	
46	Acelerómetro 906	gal	BASE	

### 1.5.2 Transductores de desplazamiento

Los transductores de desplazamiento también conocidos como LVDT (Linear Variable Differential Transformer), trabajan por medio de inductancia, que es la propiedad de un circuito eléctrico para resistir el cambio de corriente, variando el flujo magnético.



*Figura 1.9 Diagrama general de un transductor LVDT (Mendoza García & Duran Hernández, 2008)*

En la Figura 1.9 se observa que un LVDT está compuesto por un oscilador y un demodulador. El primero convierte el voltaje de DC, con el que se alimenta al transductor, a un voltaje de AC, para alimentar al devanado primario. El voltaje de salida de los devanados secundarios es también de AC, por lo que el demodulador se utiliza para convertir el voltaje de AC de los secundarios en un voltaje de DC que es proporcional a la posición que guarda el núcleo con respecto a los devanados secundarios. (Mendoza García & Duran Hernández, 2008).

Los transductores de desplazamiento empleados en el modelo son los siguientes, se muestran en la Figura 1.10 y se identifican en la Tabla 1.3:

- Transductores de desplazamiento de 200 mm (LVDT 200) colocados en los laterales, 8 instalados.
- Transductores de desplazamiento de 50 mm (LVDT 50), ubicación en los diagonales, 11 instalados.
- Transductores de desplazamiento de 25 mm (LVDT 25), en las horizontales 6 instalados.



Tabla 1.3 Identificación y ubicación de los transductores de desplazamiento

Canal	Transductor	unidades	Ubicación	Componente
13	LVDT 200	mm	N1 eje 1	L
14	LVDT 200	mm	N1 eje 2	L
15	LVDT 200	mm	N2 eje 1	L
16	LVDT 200	mm	N2 eje 2	L
17	LVDT 200	mm	N3 eje 1	L
19	LVDT 200	mm	N3 eje 2	L
20	LVDT 25	mm	PB eje1	V
21	LVDT 25	mm	PB	V
22	LVDT 25	mm	PB	V
23	LVDT 25	mm	PB	V
24	LVDT 25	mm	PB eje2	V
25	LVDT 50	mm	PB eje1	D1
26	LVDT 50	mm	PB eje1	D2
27	LVDT 50	mm	PB	D1
28	LVDT 50	mm	PB	D2
29	LVDT 25	mm	N1	V
30	LVDT 50	mm	N1 D2	V
31	LVDT 50	mm	N1 eje1 D1	D1
32	LVDT 50	mm	N1 eje1 D2	D2
33	LVDT 50	mm	N1 D1	D1
34	LVDT 50	mm	N1 D2	D2
35	LVDT 50	mm	N2 D1	D1
36	LVDT 50	mm	N2 D2	D2
70	LVDT 200	mm	BASE eje 1	L
71	LVDT 200	mm	BASE eje 2	L

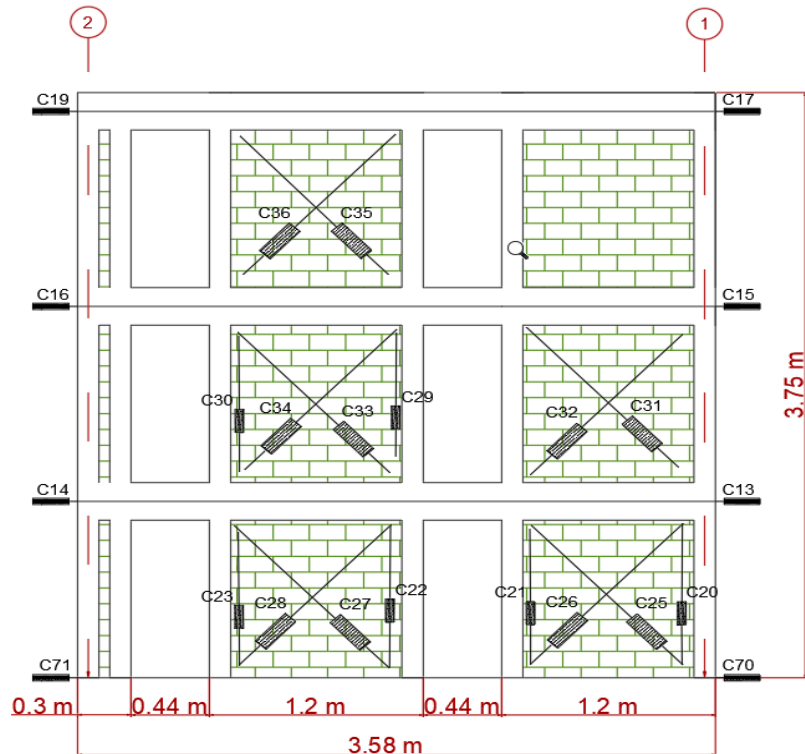


Figura 1.10 Ubicación de los transductores de desplazamiento en el modelo

### 1.5.3 Transductores de deformación

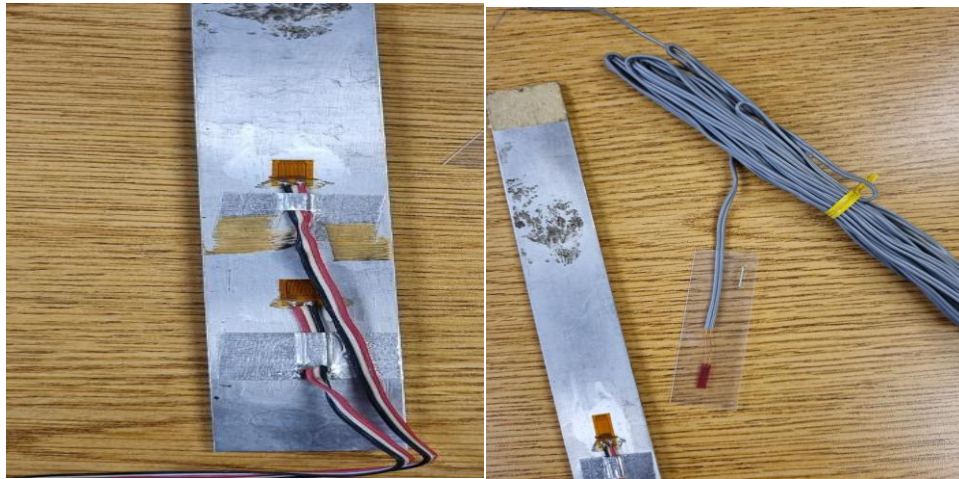
Los transductores de deformación o deformímetros están conformados por un semiconductor o conductor el cual al adherirse al modelo sufre una deformación por medio del cambio de su resistencia. El funcionamiento es simple, pero una mala colocación del sistema puede llegar a averiar el instrumento y arrojar datos erróneos.

Aunque el objetivo de esta sección es presentar la forma de conexión de los deformímetros eléctricos a los acondicionadores de la MV, a continuación, se presentan algunos puntos que se deben tomar en cuenta en la utilización de este tipo de deformímetros. (Mendoza García & Duran Hernández, 2008).

- **Preparación de la superficie de pegado:** La limpieza y el pulido de la zona donde se va a pegar el deformímetro es importante; ya que de esto depende su buen funcionamiento. No existe un método específico para el acondicionamiento de la superficie donde se colocará el deformímetro, pero ésta debe ser lo suficientemente plana para garantizar una buena

adhesión del deformímetro a la superficie. (Mendoza García & Duran Hernández, 2008).

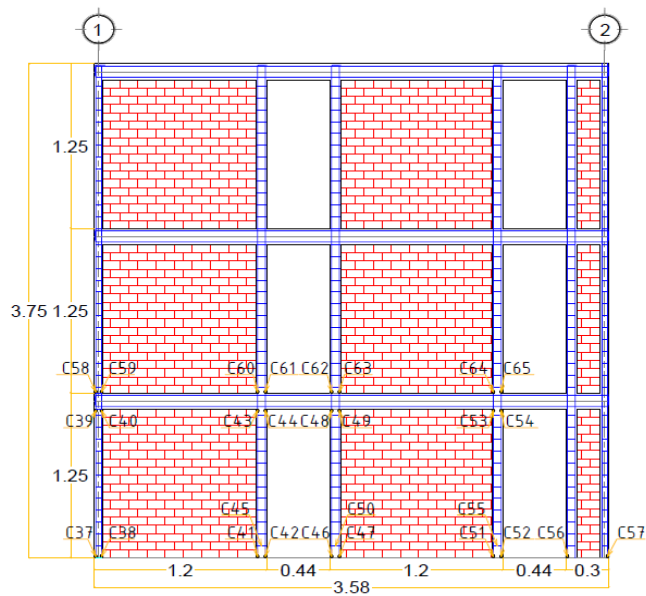
- **Tipo del deformímetro:** El tipo a utilizar depende básicamente de dos consideraciones: máxima deformación esperada y tamaño del elemento a instrumentar. En el primer caso, la selección se puede realizar tomando en cuenta el rango de trabajo, elástico o post-fluencia, o las máximas deformaciones esperadas y utilizar así deformímetros apropiados para cada caso. (Mendoza García & Duran Hernández, 2008).



*Figura 1.11 Deformímetros instalados en barras metálicas.*

En la Figura 1.11 se muestran físicamente los deformímetros utilizados durante ambos estudios, y un ejemplo de su instalación en una barra metálica.

Previamente al primer ensaye y durante la fabricación del modelo MCR1, se colocaron de manera interna en el acero de refuerzo de los castillos y las dalas de confinamiento de los muros de la planta baja, los 27 sensores de deformación. En la Figura 1.12 se muestra la localización de los transductores de deformación, y en la Tabla 1.4 se muestran los canales asignados y su identificación.



**DISTRIBUCION DE INSTRUMENTACION INTERNA**  
ESC. 1:100

Figura 1.12 Localización de transductores de deformación en el modelo

Tabla 1.4 posición de los transductores de deformación.

Canal	Transductor	unidades	Ubicación
37	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE eje 1 i
38	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE eje 1 i
39	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1 s
40	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1 s
41	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE eje 1'
42	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE eje 1'
43	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1' i
44	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1' i
47	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE
48	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 i
49	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 i
50	FLA 2	$\mu\epsilon$	
51	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE
52	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE
53	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 i
54	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 i
55	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE
56	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE eje2
57	FLA 2	$\mu\epsilon$	BASE eje2
58	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1 s

59	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1 s
60	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1' s
61	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 eje1' s
62	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 s
63	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 s
64	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 s
65	FLA 2	$\mu\epsilon$	N1 s

## 2 Capítulo 2. Metodología experimental parte I: Acondicionamiento de las señales

### 2.1 Introducción

En este capítulo se describe la primera parte de propuesta metodológica por medio de la cual se acondicionó la información experimental obtenida de las pruebas realizadas con los modelos MCR1 y MCR2.

Primeramente, tanto para el modelo MCR1 como para el modelo MCR2, se compararon todas las aceleraciones producidas a nivel de la base de la MV-IIUNAM durante todas las pruebas realizadas. El acelerograma original se escaló en forma progresiva y ascendente hasta que, en ambas etapas los modelos presentaran un nivel de daño considerable. De esta comparación y para los objetivos principales de este trabajo, se seleccionaron para su análisis las respuestas de ambos modelos con los porcentajes de aceleración más semejantes y que resultaran más representativos del comportamiento de los modelos.

Posteriormente todas las señales obtenidas, fueron graficadas con el fin de detectar posibles diferencias en los tiempos de inicio de cada señal, y llevar a cabo un proceso de sincronización.

Por último, con base en un análisis preliminar de la información experimental, se propuso una serie de procedimientos para acondicionar la información, y poder realizar una interpretación correcta de la respuesta estructural del modelo en cada una de las diferentes etapas que conformaron los estudios experimentales realizados.

## 2.2 Criterio para la elección de la aceleración base en las pruebas experimentales MCR1 y MCR2

Para comparar la información obtenida entre los dos modelos se aplicó una aceleración similar en su base. Para ambos modelos se obtuvieron las aceleraciones máximas en cada una de las pruebas.

En la Tabla 2.1 se muestra la comparación entre los diferentes porcentajes de escala del acelerograma original en los dos ensayos, las aceleraciones máximas obtenidas a nivel de la base de la mesa vibradora (canal 0) y las diferencias que se presentaron.

Tabla 2.1 Comparación de datos entre los modelos MCR1 Y MCR2.

Modelo original MCR1			Modelo reforzado MCR2			Diferencia
Tipo de prueba	prueba	acel. (g) Max sin corregir	Tipo de prueba	prueba	acel. (g) Max sin corregir	
sismo 20%	1	79.2121	sismo 25%	3	81.6034	-2.93%
sismo 60%	2	237.935	sismo 75%	4	234.9461	1.27%
sismo 80%	3	309.9734	sismo 100%	5	311.7668	-0.58%
sismo 120%	4	469.8921	sismo 150%	6	464.2128	1.22%
sismo 160%	5	617.25	sismo 200%	7	625.6261	-1.34%
sismo 200%	6	771.7949	sismo 250%	8	770.8991	0.12%
sismo 240%	7	920.65	sismo 300%	9	934.7027	-1.50%
sismo 280%	8	1099.4	sismo 350%	10	1078.77	1.91%

Al obtener la diferencia de variación entre las aceleraciones máximas sin corrección, podemos observar diferencias poco significativas, lo que corrobora la posibilidad de realizar más adelante comparaciones entre los dos modelos y observar su comportamiento.

En los siguientes capítulos se tomarán solamente los datos de las pruebas siguientes:

1. Modelo MCR1 las pruebas a utilizar de la tabla 5 son las de 20%,120% y 280%.

2. Modelo MCR2 se usarán los datos correspondientes de la tabla 5 pruebas del 25%,150% y 350%.

Lo anterior se decidió debido a que, por los límites de este trabajo mostrar la gran cantidad de información obtenida de los 55 transductores instalados durante las dos etapas de ensayos, resultaba demasiado extenso. Fue así como se optó por valorar el comportamiento de los modelos en al menos en tres etapas diferentes, la primera al considerar que con un aumento de entre 20 y el 25 % de aceleración en la base, ambos modelos aún no se encontraban dañados. Posteriormente, con un aumento en el porcentaje de aceleración en la base de entre 120 y 150 %, los modelos ya presentaban cierto nivel de daño, y por último con un aumento de 280 a 350 %, con el propósito de valorar su respectiva condición final.

La información de la respuesta de los dos modelos se obtuvo sin ninguna clase de modificación por lo cual, para mejorar su interpretación se aplicaron varios procesos de corrección a los resultados obtenidos. A continuación, y de acuerdo con los diferentes transductores utilizados, se describen cada uno de estos procesos, que en general se aplican para realizar una mejor interpretación de la información. A este conjunto de procedimientos se le denomina acondicionamiento de la señal.

### 2.3 Sincronización de señales

Durante las diferentes pruebas todas las señales obtenidas con los tres tipos de transductores se revisaron en términos de su duración en el tiempo. Para llevar a cabo una correcta correlación e interpretación de los diferentes datos obtenidos experimentalmente, su sincronía, es decir su coincidencia en el tiempo, es una condición necesaria. Al comparar estas señales por medio de gráficas, se observaron diferencias en sus tiempos de inicio, por lo que se tuvo que recurrir a su sincronización. Por lo anterior, se procedió a recortar las señales para solamente procesar los tiempos de información válida en función de la duración de cada prueba y que todas las señales presentaran un inicio común. En la Tabla 2.2 se indica el tiempo del recorte en cada una de las pruebas realizadas con los modelos MCR1 y MCR2.

Tabla 2.2 Recorte inicial de los datos de MCR1 Y MCR2

Prueba	Tipo de prueba	Tiempo inicial
1	Ruido Blanco	10 s
2	sismo 25%	10 s
3	sismo 25%	10 s
4	sismo 75%	8 s
5	sismo 100%	12 s
6	sismo 150%	10 s
7	sismo 200%	10 s
8	sismo 250%	10 s
9	sismo 300%	8 s
10	sismo 350%	10 s
11	sismo 400%	13 s
12	Ruido Blanco	10 s
13	sismo 450%	19 s
14	Ruido Blanco	10 s
15	Ruido Blanco	10 s
16	sismo 500%	10 s
17	Ruido Blanco	10 s
18	sismo 550%	13 s
19	Ruido Blanco	10 s

## 2.4 Acondicionamiento de las señales de aceleración

Se utilizará el canal 12 que se encuentra en el eje 1 en el nivel de la azotea del modelo MCR2 con la prueba 5 (sismo al 100%), para explicar el procedimiento a realizar con los datos de los transductores aceleración.

### 2.4.1 Corrección de línea base

Como se puede observar en la Figura 2.1, la señal de aceleraciones inicia en un valor distinto a cero, por lo que se tuvo que proceder a realizar una corrección línea base. En el caso de las señales de aceleración, la corrección de línea base se obtuvo por medio de la suma de todas las aceleraciones, cuyo valor promedio se restó punto a punto a la señal original, con el fin de lograr un inicio de las señales de aceleración con un valor muy próximo a cero.



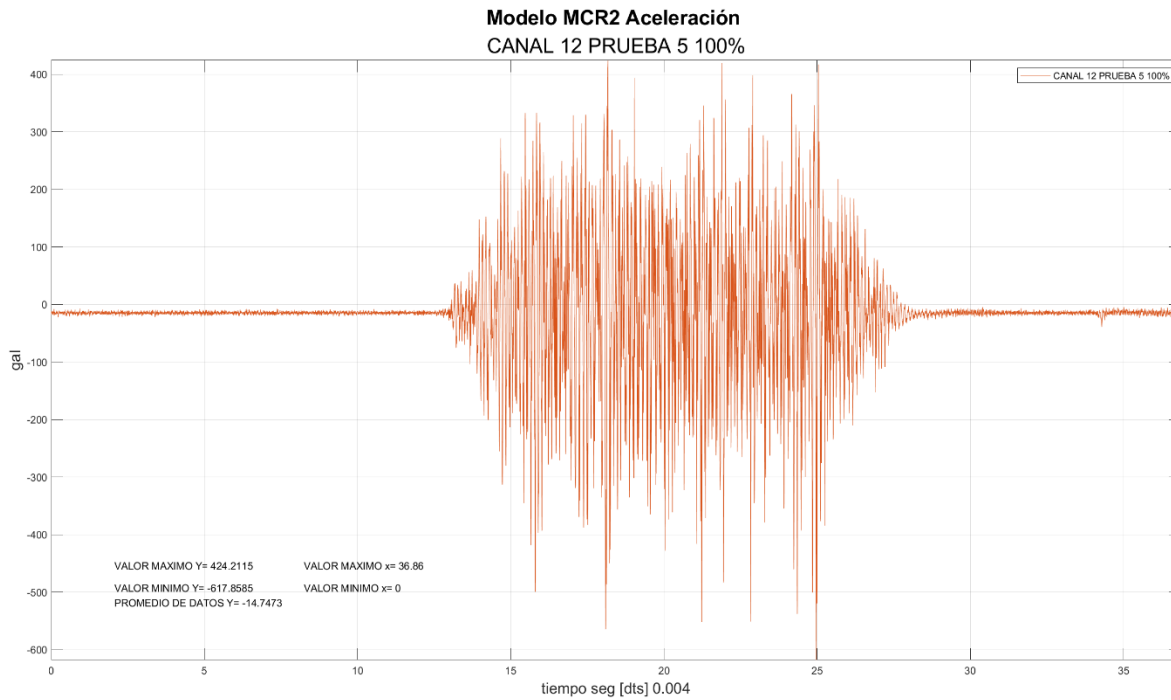


Figura 2.1 Gráfica de aceleración prueba 5 canal 12 sin corrección de línea base

La Figura 2.1 muestra la señal de aceleración del canal 12, sin corrección de línea base y que tiene un promedio resultante de -14.7473 gal.

Para realizar la corrección de línea base de los registros de aceleración, se procedió a crear un programa en Matlab ver Anexo 1.

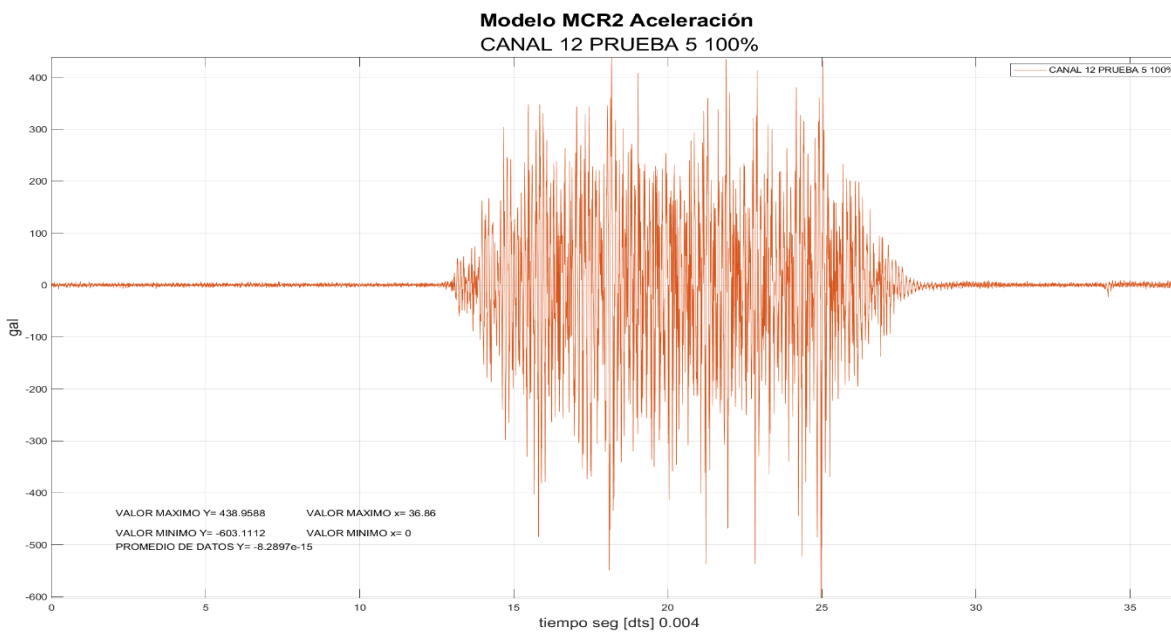


Figura 2.2 Gráfica de aceleración prueba 5 canal 12 con corrección de línea base

La señal del canal 12 que se muestra en la Figura 2.2, corresponde al eje 1 de la esquina del nivel de azotea de los modelos. El promedio resultante con corrección de línea base fue de  $-8.2897e-15 \approx 0$ , lo cual indica que el valor inicial de la señal de aceleración se corrigió y su inicio es prácticamente con un valor de cero.

#### 2.4.2 Recorte de las señales de aceleración en la parte final

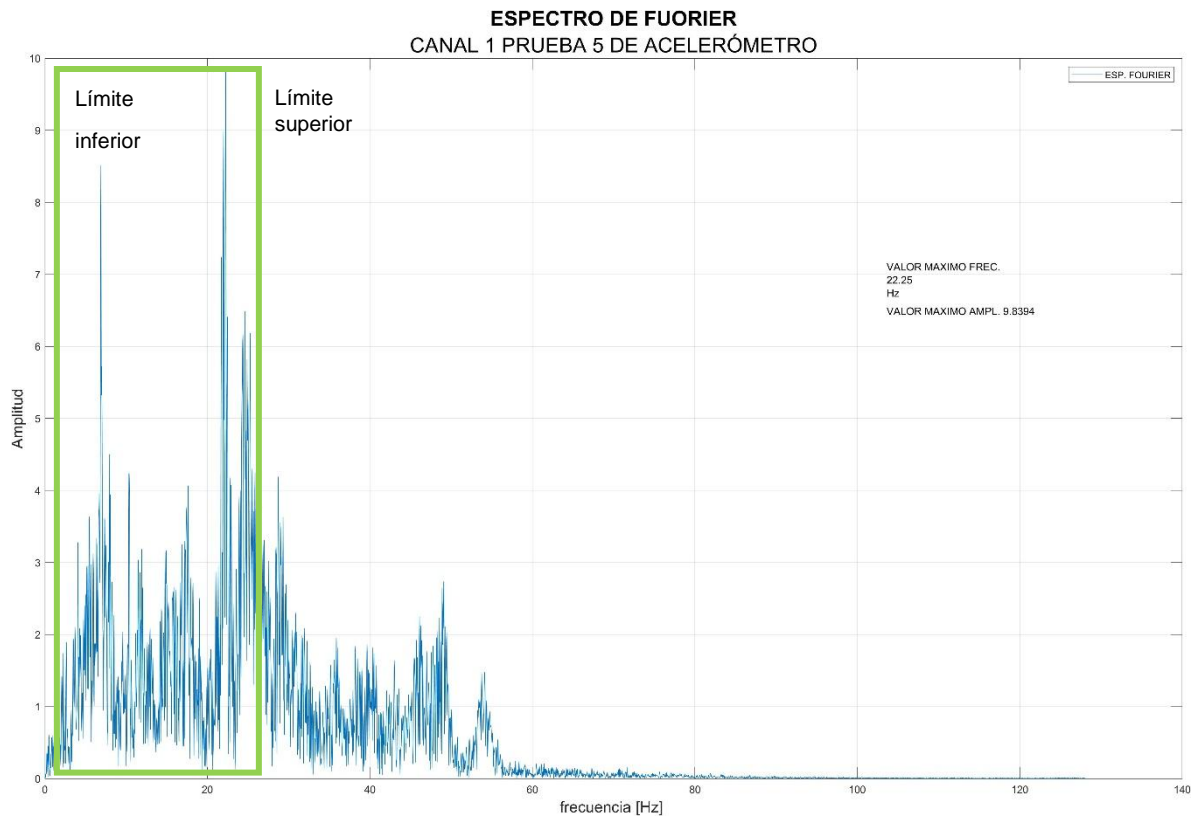
Los datos obtenidos de los modelos tienen un intervalo de incremento  $\Delta t=0.004$ , se seleccionará 8192 datos es una cantidad que puede ser expresada como  $2^{13}$ , es decir con base 2, lo cual es muy conveniente para posteriormente obtener el espectro de Fourier correspondiente de cada señal de aceleración y así conocer sus frecuencias predominantes, sobre todo de las señales obtenidas con los transductores de aceleración colocados en los diferentes niveles dentro de los modelos.

Esto corresponde a  $0.004 \cdot 8192 = 32.76$  segundos, esto obliga a que todos los datos analizados tengan la misma duración de 32.76 s.

Para los datos de las pruebas de ruido blanco no se aplicará una corrección de datos, al ser pruebas calibradoras las cuales miden el ruido ambiental de los modelos, que nos permiten saber el comportamiento de una estructura después de una afectación sísmica. Esto indicara si el modelo comprende cambios en su periodo o en su resistencia.

#### 2.4.3 Filtrado y suavizado

Con el propósito de eliminar las frecuencias bajas y altas de las señales obtenidas que no resultaban de interés en los dos modelos, para ello se calculó el espectro de Fourier del canal 1 prueba 5 que se encuentra afuera del modelo el cual indica la verdadera aceleración que recibe la estructura, la figura 2.3 indica el rango de frecuencias que tiene mayor interés en los modelos.



*Figura 2.3 de Espectro de Fourier indicando los limites en Hz*

Se utilizó un filtro Butterworth pasa banda con un corte inicial y final de 3 Hz y 24 Hz respectivamente. También y después de varias pruebas para lograr un suavizado de las señales aceptable, se seleccionó un número de polos igual a 6 véase en la Figura 2.3.

Las frecuencias de corte fueron seleccionadas con base en el intervalo de frecuencias asociado a las respuestas máximas en aceleración que se obtuvieron del espectro de respuesta de la señal correspondiente al acelerograma sintético que sirvió de excitación. En el espectro de repuesta, las frecuencias asociadas a las repuestas máximas, se encontraron entre los 9 y 12 Hz. En la Figura 2.4, se muestra como ejemplo la señal acondicionada de aceleración del canal 12.

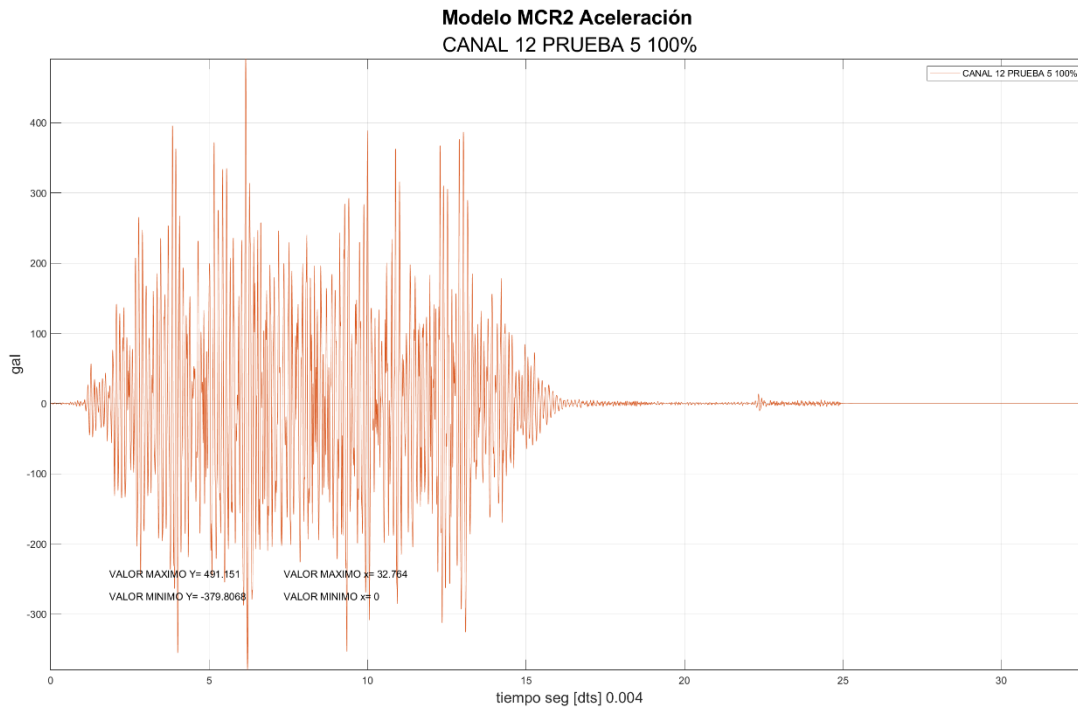


Figura 2.4 Grafica de aceleración prueba 5 canal 12 procesada

## 2.5 Acondicionamiento de las señales de desplazamiento

A todas las señales de desplazamiento obtenidas con los LVDT durante las diferentes pruebas se les aplicó el mismo acondicionamiento. En esta sección se utiliza el canal 17 del modelo MCR2 de la prueba 5, con el 100% de desplazamientos, para la explicación de este proceso. El canal 17 correspondió a un transductor de desplazamientos LDVT que se colocó en la parte más alta del modelo con el propósito de registrar los máximos desplazamientos horizontales (Figura 1.10).

### 2.5.1 Corrección de valor inicial

Al revisar la señal obtenida en el canal 17, se puede observar en la Figura 3.5 que los desplazamientos inician en un valor distinto a cero. Por lo anterior se llevó a cabo un proceso de corrección de valor inicial. Este proceso consistió solamente en restar el primer valor registrado a todos los datos posteriores, con el propósito de que el valor inicial de la señal de desplazamientos sea cero.

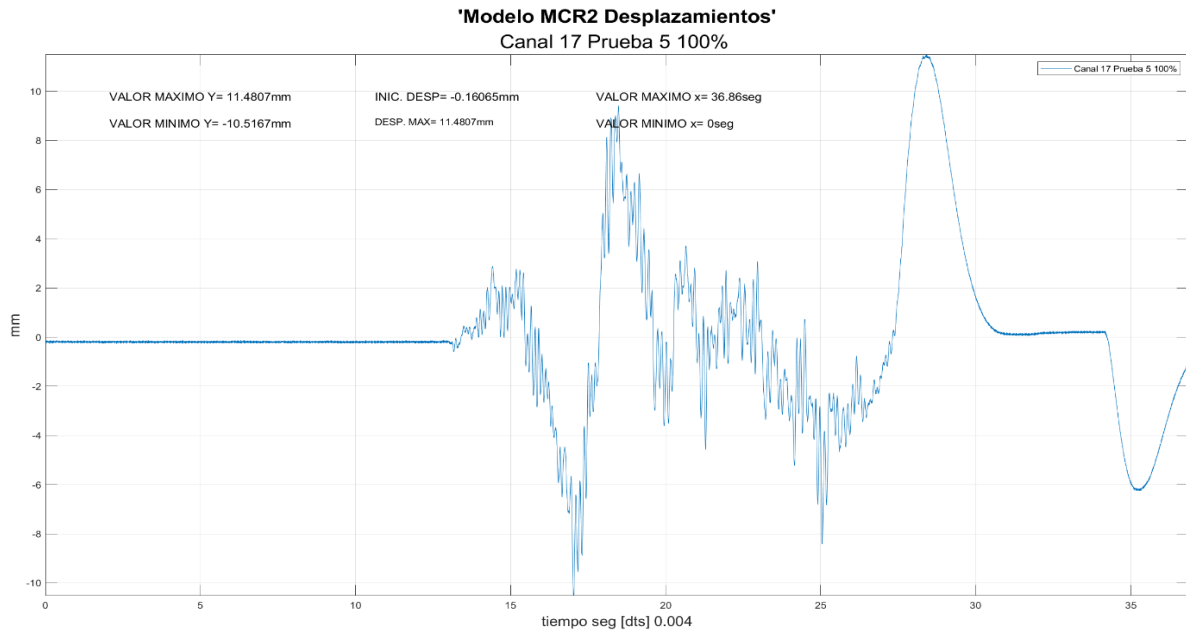


Figura 2.5 Gráfica de desplazamiento prueba 5 canal 17 sin corrección de valor inicial

Valor inicial: **-0.16065 mm**

Para realizar este procedimiento con mayor facilidad y rapidez, se creó una rutina de corrección de valor de inicio por medio del programa de cómputo Matlab, el cual se muestra en el Anexo 2.

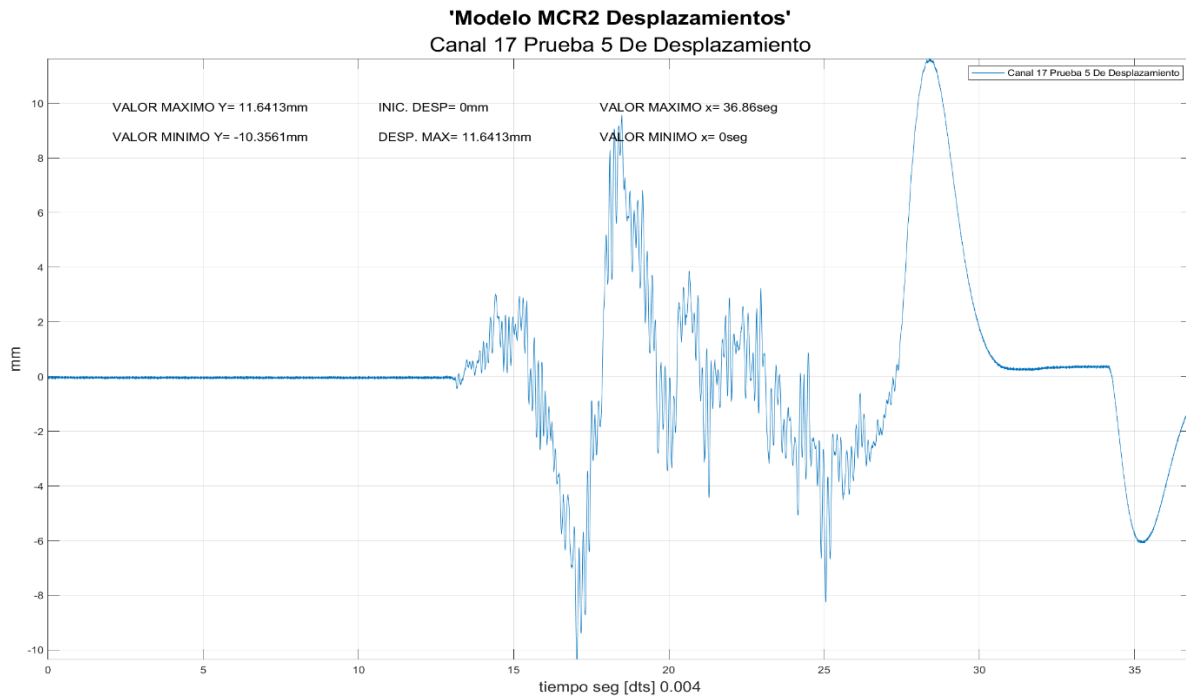


Figura 2.6 Gráfica de desplazamiento prueba 5 canal 17 con corrección de valor inicial

Valor inicial: **0 mm**

En la Figura 2.6 se pueda apreciar el mismo registro, pero ahora con el valor inicial igual a cero.

### 2.5.2 Recorte de señales de desplazamiento en la parte final

Durante la revisión de las señales de desplazamiento, se pudo observar que al finalizar cada prueba se presentaron desplazamientos con amplitudes considerables y asociados a frecuencias de oscilación sumamente bajas. En la Figura 2.7 se muestra un ejemplo de lo descrito con anterioridad. Estos desplazamientos finales son producidos por el reacomodo de posición que se efectúa en la mesa vibradora después de concluida una prueba y los cuales fueron registrados por los transductores de desplazamiento. También en la Figura 3.7 se destaca con un recuadro la zona de movimiento de la mesa vibradora.

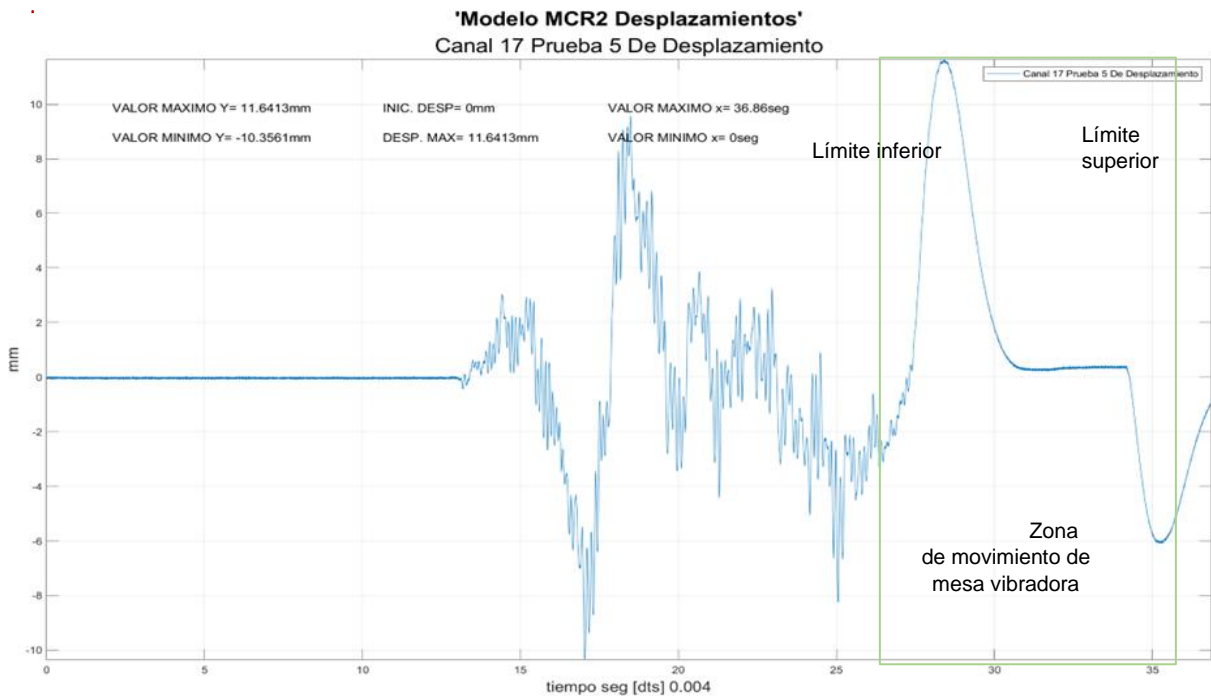
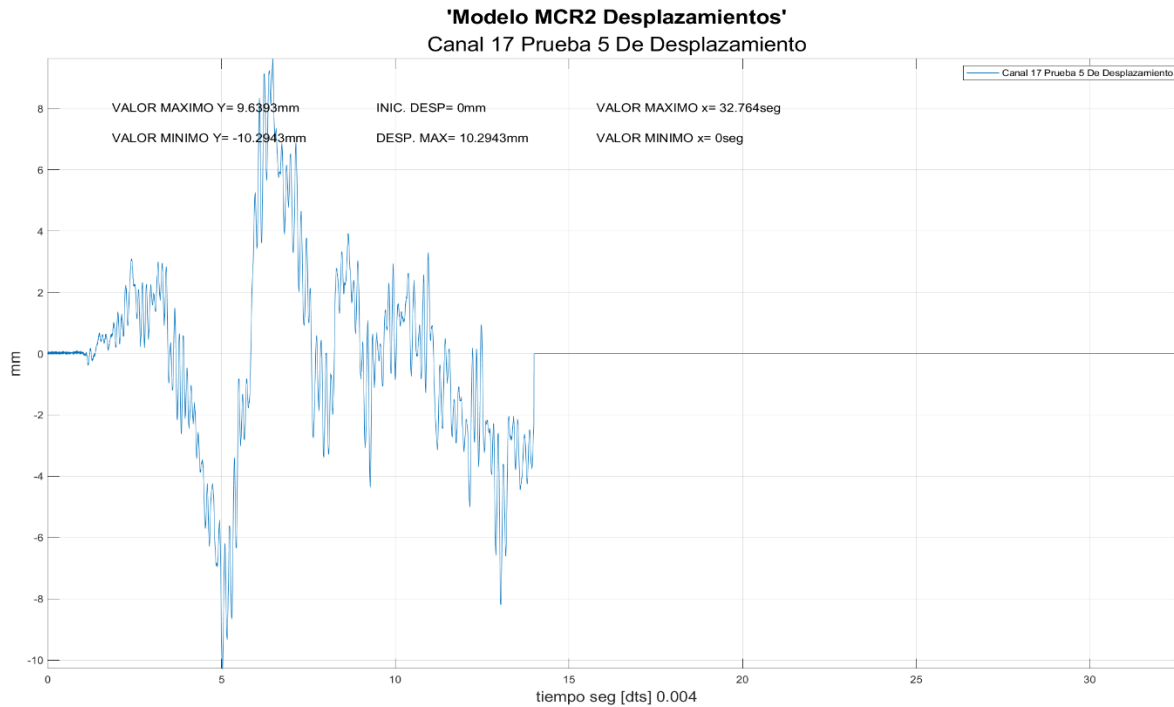


Figura 2.7 Gráfica de Zona de rechazo en datos de desplazamiento.

Por lo anterior se realizó un proceso de recorte de las señales de desplazamiento en su parte final a partir de los registros producidos por los movimientos independientes de la mesa vibradora. La Figura 2.8 muestra un ejemplo de una de las señales obtenidas.



*Figura 2.8 Gráfica de desplazamientos procesada.*

### 2.5.3 Filtrado y suavizado

El filtrado Butterworth pasa banda, el suavizado con 6 polos y las frecuencias de corte inicial y final de 3 y 24 Hz respectivamente, también se utilizaron para acondicionar las señales de desplazamiento.

Así, como en los anteriores procedimientos, el filtrado se programó en Matlab para facilitar la interpretación de los datos. (ver Anexo 2).

En la Figura 2.9 se muestra como ejemplo, la señal de desplazamientos que finalmente se obtuvo en el canal 17, después de los procesos de corrección de línea base, sincronización y filtrado.

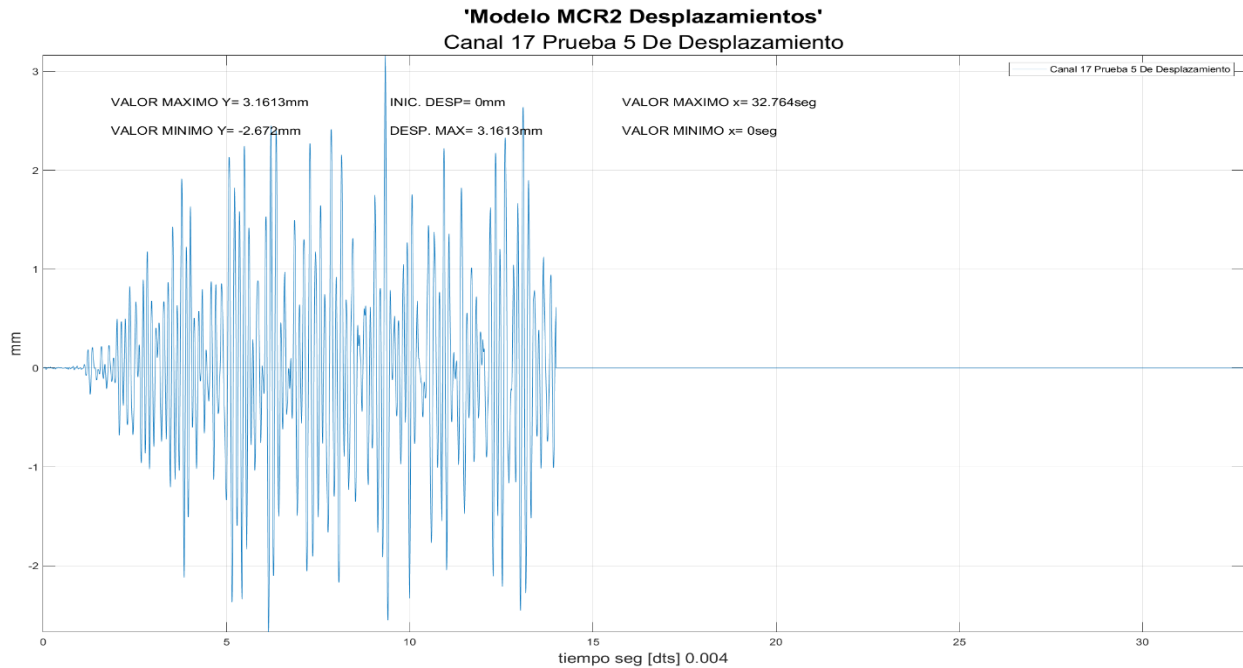


Figura 2.9 Gráfica de desplazamiento prueba 5 canal 17 con filtrado MCR2

Al realizar los pasos anteriores, ya podemos presentar las gráficas de desplazamiento corregidas y depuradas para su interpretación.

## 2.6 Acondicionamiento de las señales de deformación

Las señales de deformación obtenidas con los transductores de deformación durante las diferentes pruebas se les aplicó el mismo acondicionamiento. En esta sección se utiliza el canal 37 del modelo MCR2 de la prueba 5, con el 100% de deformación, para la explicación de este proceso. El canal 37 correspondió a un transductor de deformación FLA que se colocó en la varilla del castillo que se encuentra en la base del eje 1 con el propósito de registrar las deformaciones unitarias del acero (Figura 1.12).

### 2.6.1 Corrección de valor de inicio

Observando la señal obtenida en el canal 37, se puede observar en la Figura 2.10 que los deformímetros inician en un valor distinto a cero. Por lo anterior se llevó a cabo un proceso de corrección de valor de inicio. Este proceso consistió solamente en restar el primer valor registrado a todos los datos posteriores, con el propósito de que el valor inicial de la señal de deformación sea cero.



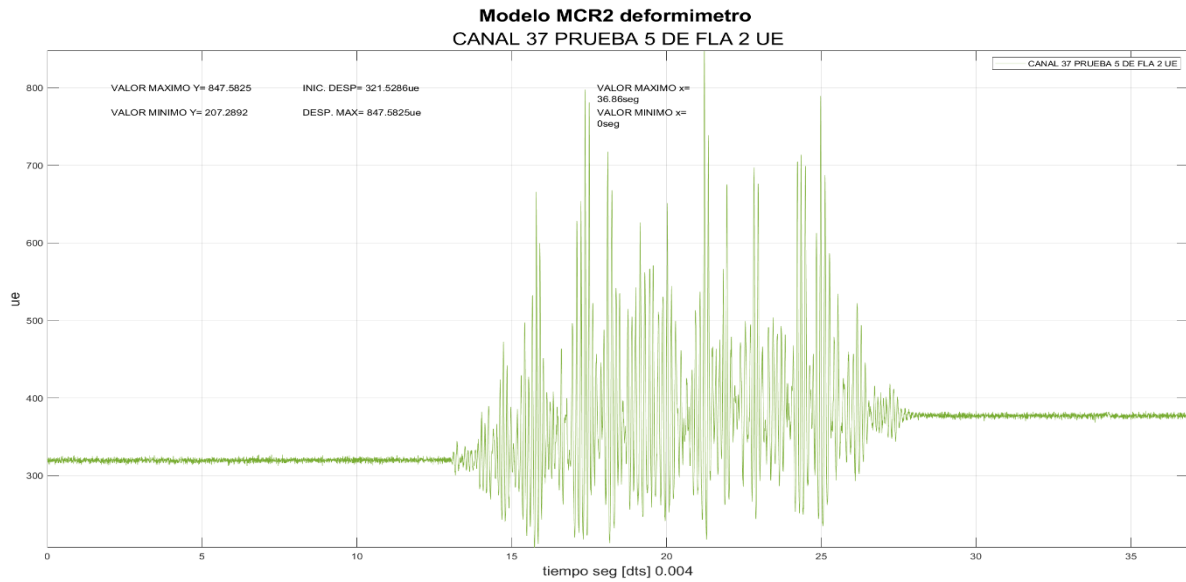


Figura 2.10 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal original

Valor inicial: **321.5286 ue**

Para realizar este procedimiento con mayor facilidad y rapidez, se creó una rutina de corrección de valor de inicio por medio del programa de cómputo Matlab, el cual se muestra en el Anexo 3.

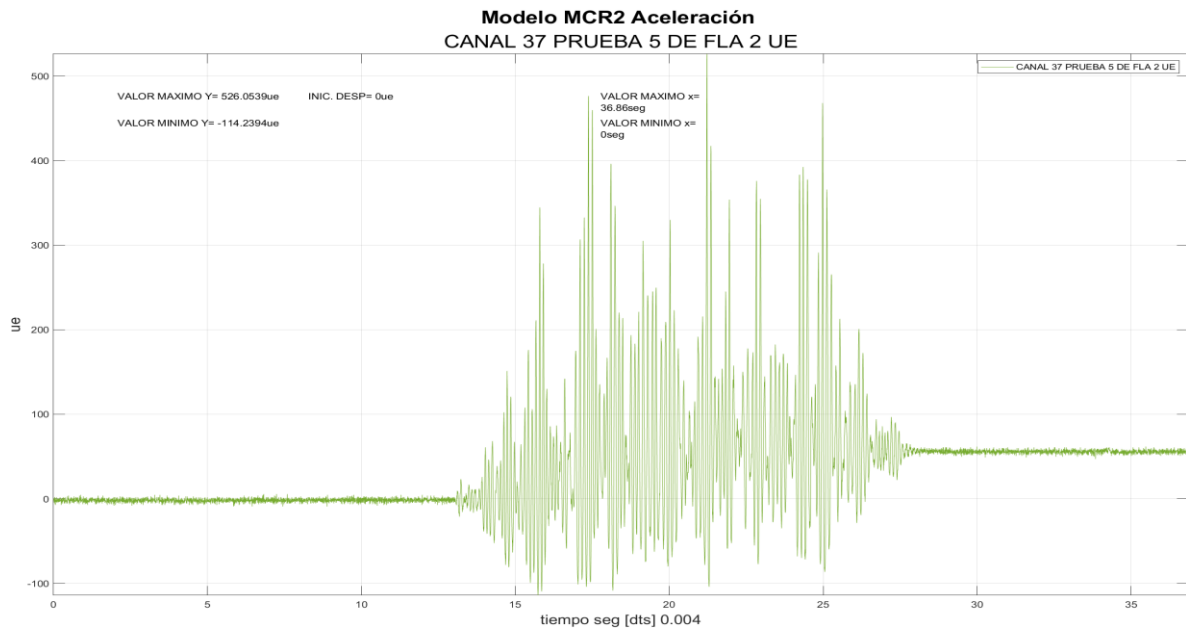


Figura 2.11 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal corregida

Valor inicial: **0 ue**

En la Figura 2.11 se pueda apreciar el mismo registro, pero ahora con el valor inicial igual a cero.

### 2.6.2 Recorte de las señales de deformación en la parte final

Se realizó el mismo recorte de datos de 8192 que se mencionaron en los transductores de aceleración, para mantener una correlación entre los resultados de desplazamiento, deformímetros y aceleraciones (Figura 2.12).

Esto obliga a que todos los datos analizados tengan la misma duración de 32.76 s, permitiendo comparar los resultados entre cada uno.

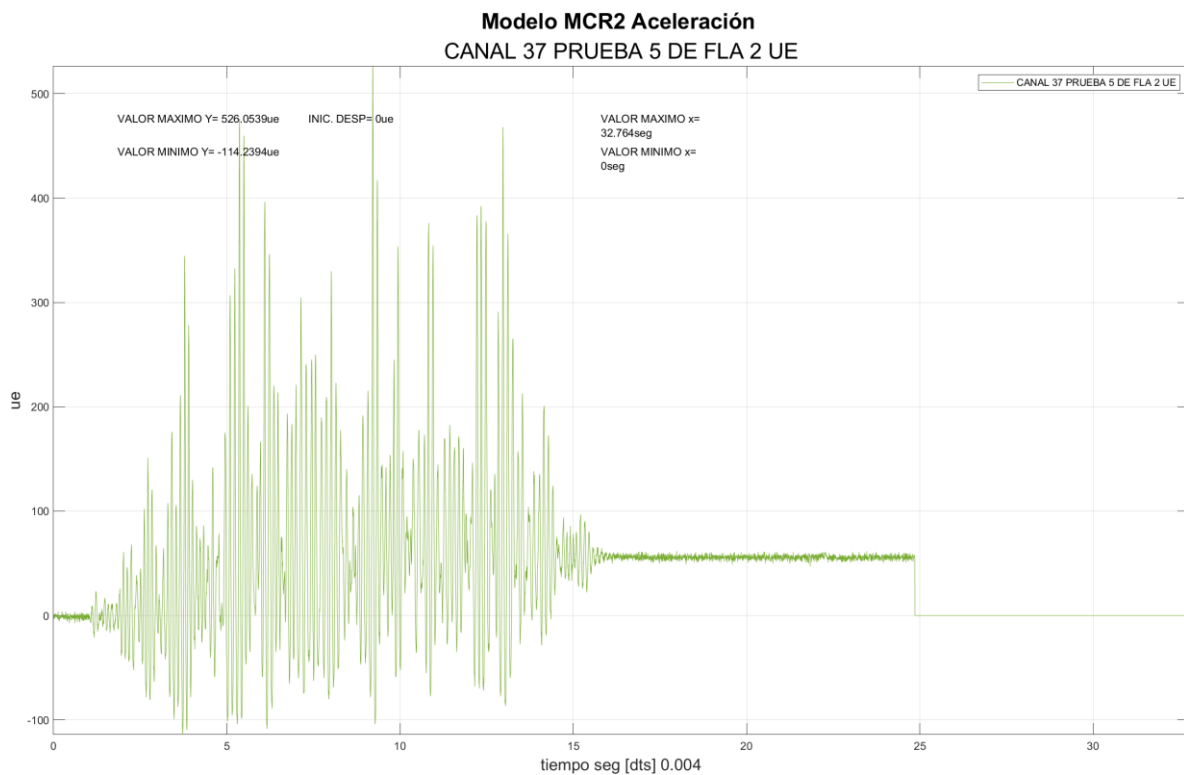


Figura 2.12 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal corregida datos finales

### 2.6.3 Filtrado y suavizado

Aplicando filtrado Butterworth pasa banda, el suavizado con 6 polos y las frecuencias de corte inicial y final de 3 y 24 Hz respectivamente, también se utilizaron para acondicionar las señales de deformímetros.

Así, como en los anteriores procedimientos, el filtrado se programó en Matlab para facilitar la interpretación de los datos. (ver Anexo 3).

En la Figura 3.13 se muestra como ejemplo, la señal de deformación que finalmente se obtuvo en el canal 37, después de los procesos de corrección de valor de inicio, sincronización y filtrado.

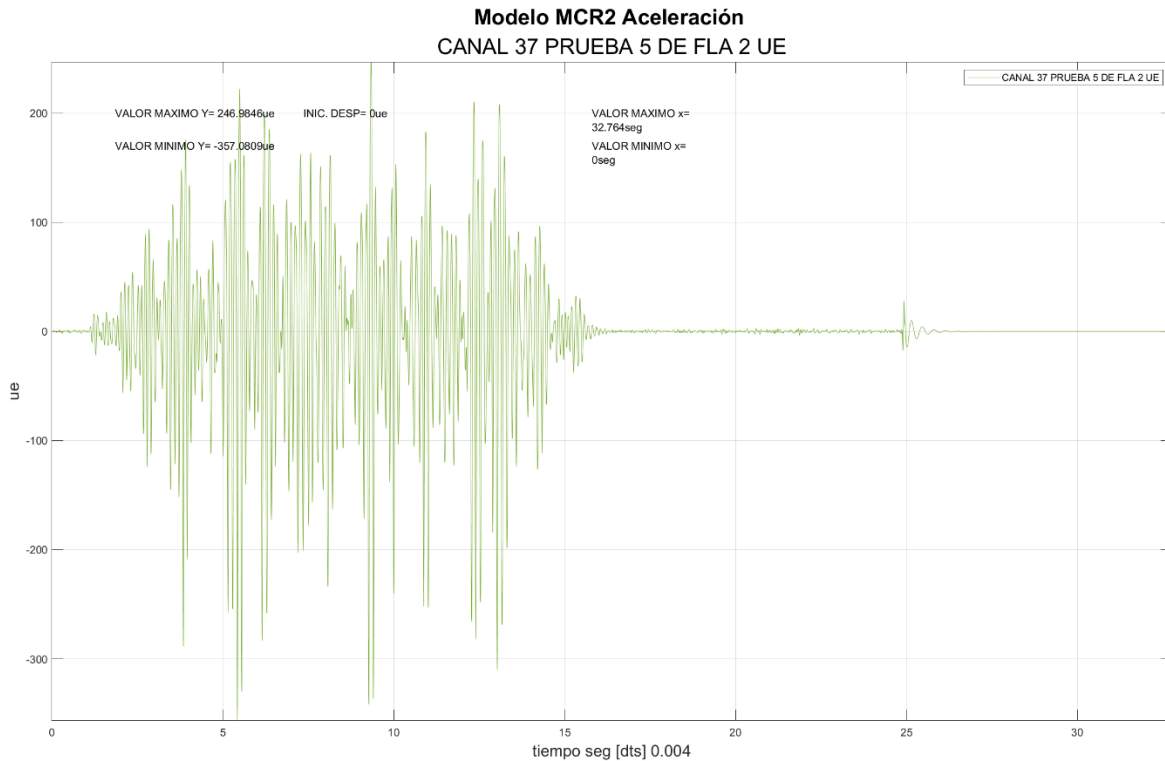


Figura 2.13 Gráfica de deformímetro prueba 5 canal filtrada y corregida

Al realizar los pasos anteriores, ya podemos presentar las gráficas de deformímetros corregidas y depuradas para su interpretación.

## 3 Capítulo 3. Metodología experimental parte II: Análisis de resultados

### 3.1 Introducción

Al procesar la información de los transductores visto en el anterior capítulo, se procede a obtener las características y comportamiento de los modelos MCR1 Y MCR2 recopilando sus datos para realizar un análisis comparativo.

Esto conlleva a obtener las fuerzas, momentos, cortantes, desplazamientos, deformaciones, periodos, rigidez del modelo y entre otros datos que nos indicaran lo que sucedió al experimento y sus respuestas.

Se busca observar por medios gráficos los comportamientos y realizar un análisis para entender, si su comportamiento es el esperado al ser reforzado o porque se dieron resultados distintos a los esperados.

### 3.2 Comportamiento de MCR2 y MCR1 a nivel de aceleraciones

Para entender el comportamiento de las aceleraciones en los modelos, se deberá de hacer un análisis individual del modelo MCR2 Y MCR1 para descartar posibles datos erróneos o indicar alguna información que no permita mostrar correctamente el comportamiento de la estructura.

Posteriormente se realizará una comparación entre los modelos para intentar concluir el comportamiento del modelo basado en los datos obtenidos.

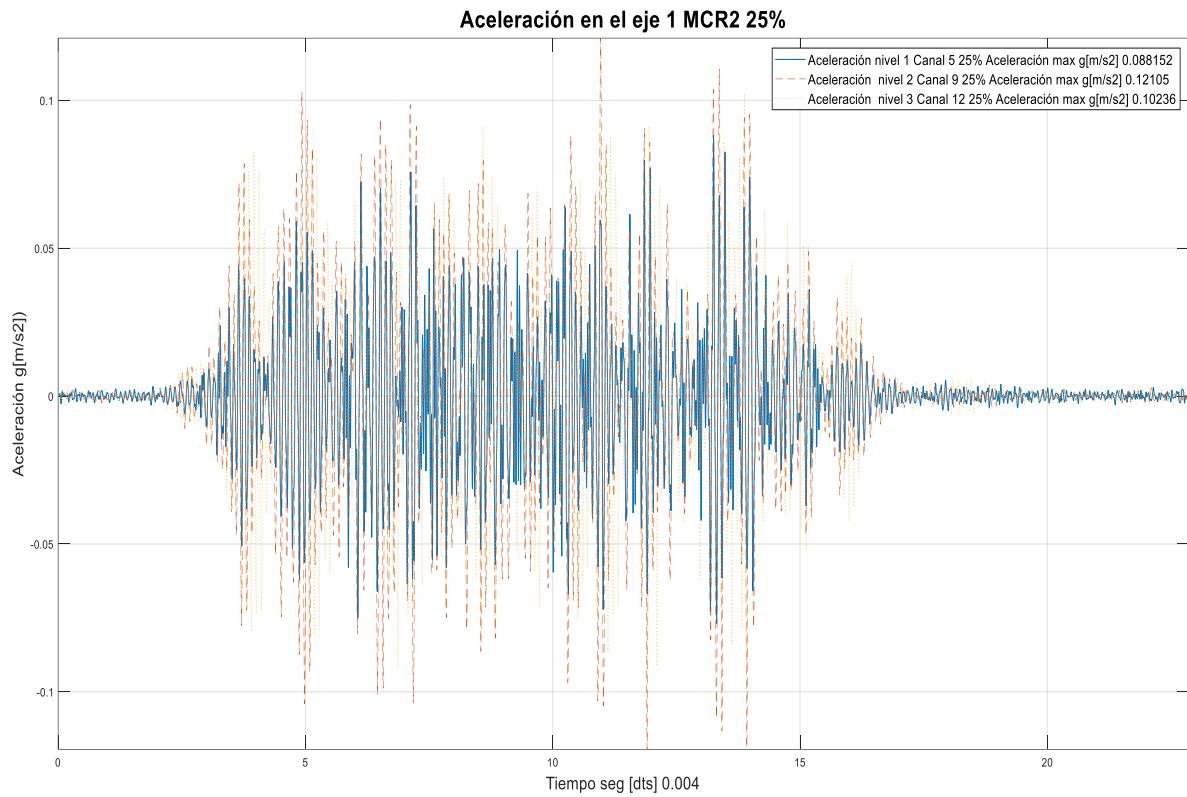
#### 3.2.1 Modelo MCR2 (Reforzado)

Se mostrarán las gráficas obtenidas de aceleración por cada uno de los ejes para la prueba del 25%:

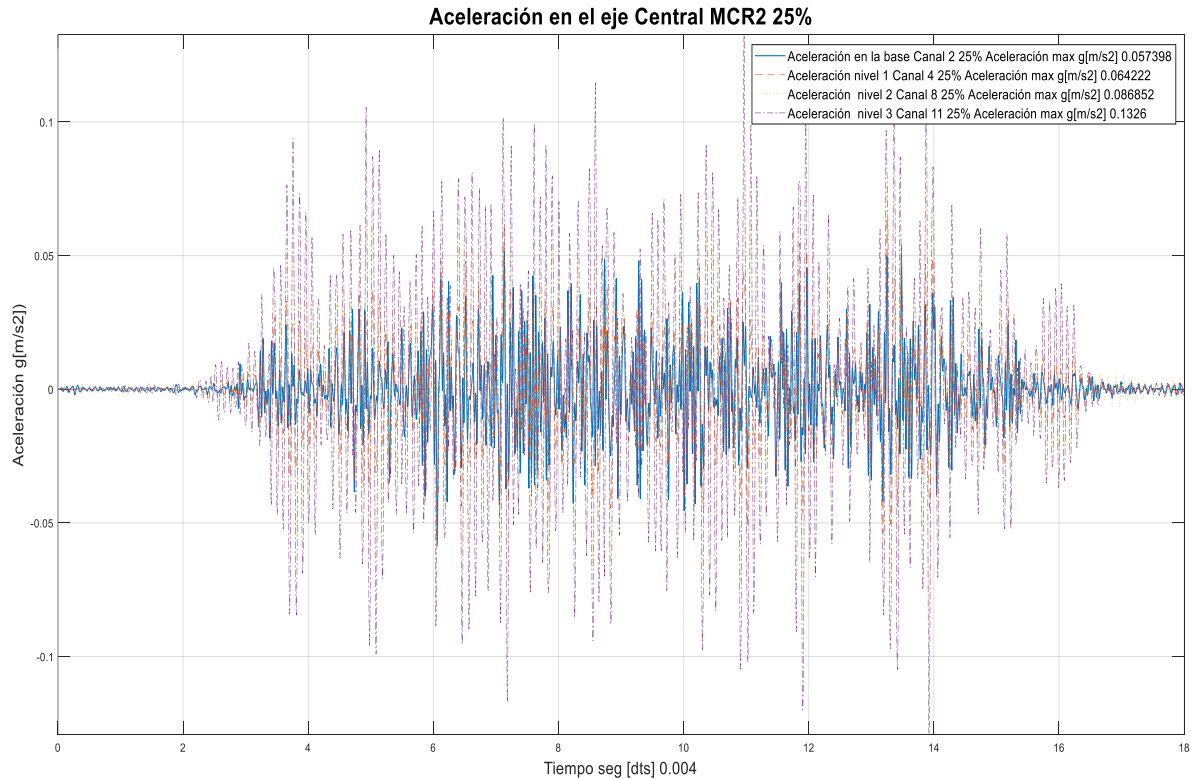
El comportamiento del eje 1 nos muestra que en el nivel 2 tuvo el mayor valor de aceleración de  $0.1205 \text{ g[m/s}^2]$ , donde se debió observar un crecimiento exponencial por cada nivel. Esto podría indicar un mal comportamiento del sensor o una disminución de la rigidez (Figura 3.1).

El eje central tiene una actuación conforme a lo esperado teóricamente al tener un incremento en cada uno de los niveles hasta llegar al nivel 3 (Figura 3.2).

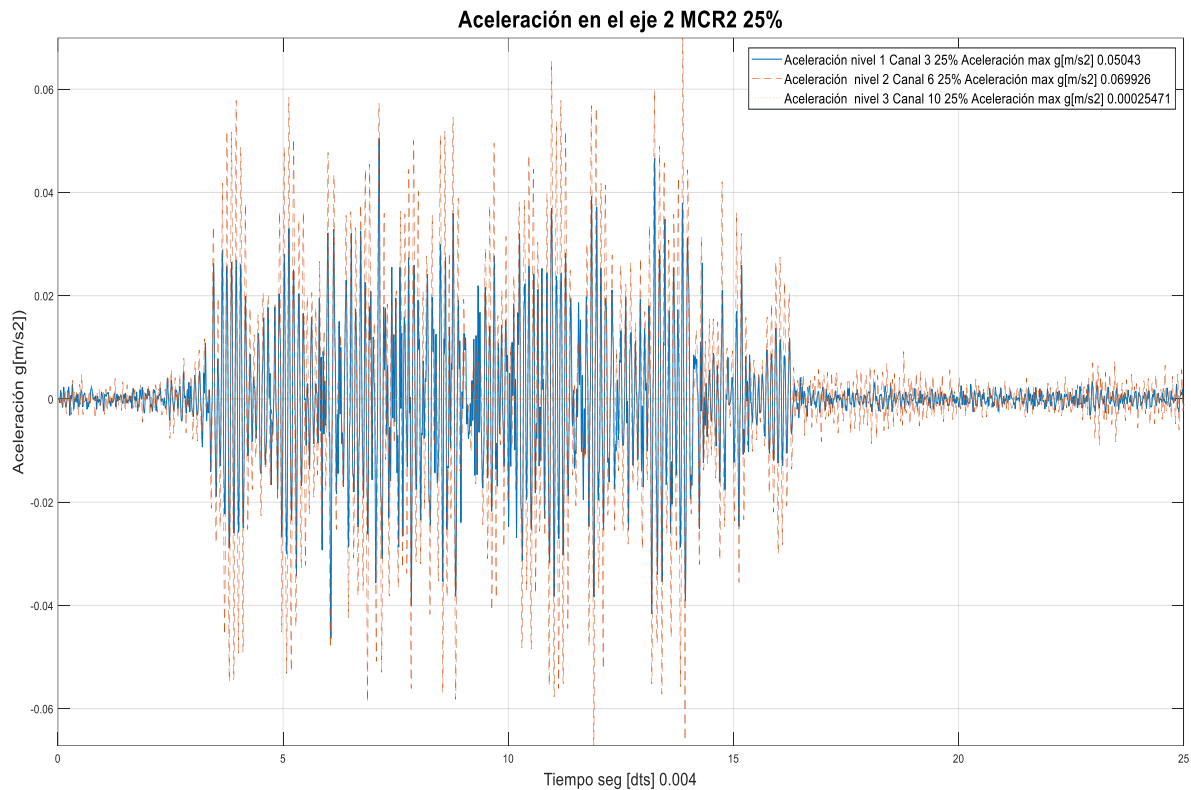
Se puede observar en el eje 2, el canal 10 mostrando datos erróneos por falla del transductor de aceleración o mala instalación, por lo que será descartado para futuros análisis. (Figura 3.3).



*Figura 3.1 Gráfica de aceleraciones por nivel eje 1 MCR2 25%*



*Figura 3.2 Gráfica de aceleraciones por nivel eje Central MCR2 25%*



*Figura 3.3 Gráfica de aceleraciones por nivel eje Central MCR2 25%*

### 3.2.2 Modelo MCR1 (Original)

Graficando los ejes 1 y central al 20%, se puede observar que tiene el comportamiento correcto al crecer la altura del modelo aumenta las aceleraciones obtenidas por lo que corresponde a la actuación teórica y se descarta una mala instalación de los transductores. (Figura 3.4, Figura 3.5).

Observando el eje 2 en el nivel 2 canal 6, se obtuvo la menor aceleración esto podría indicar que la estructura presente una mayor resistencia a las aceleraciones producidas en ese punto. (Figura 3.6).

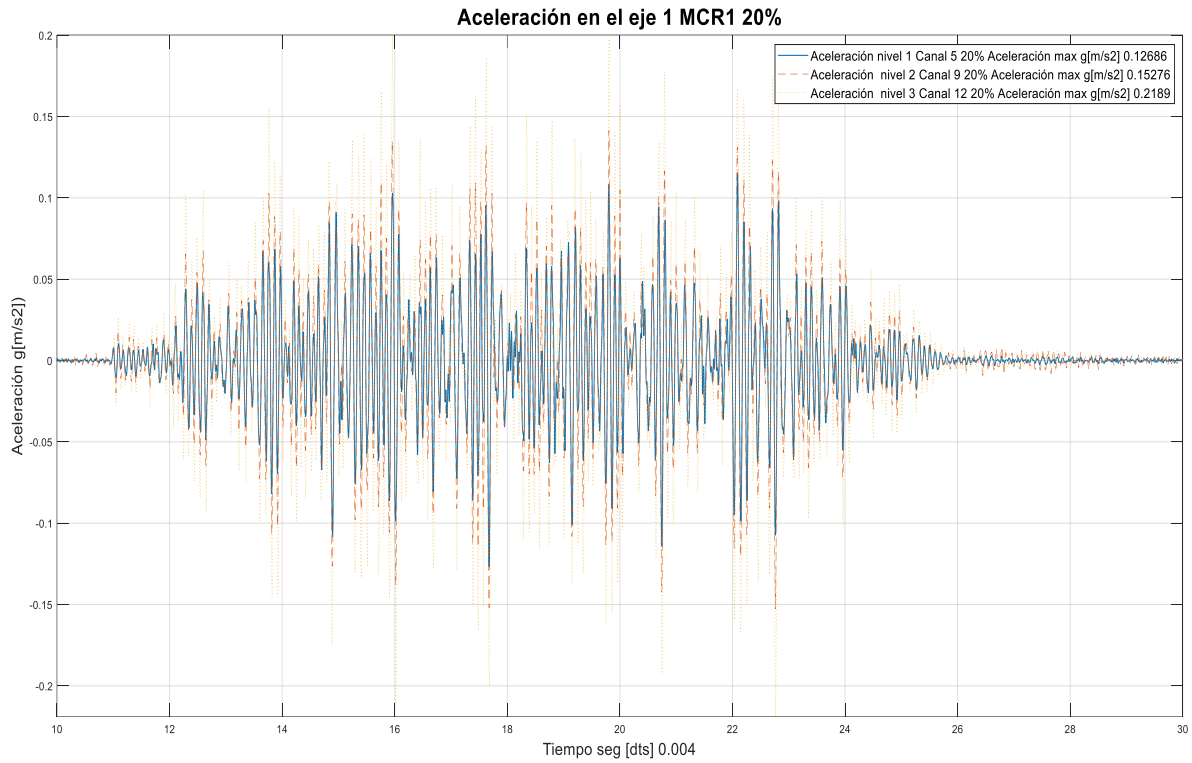


Figura 3.4 Gráfica de aceleraciones por nivel eje 1 MCR1 20%

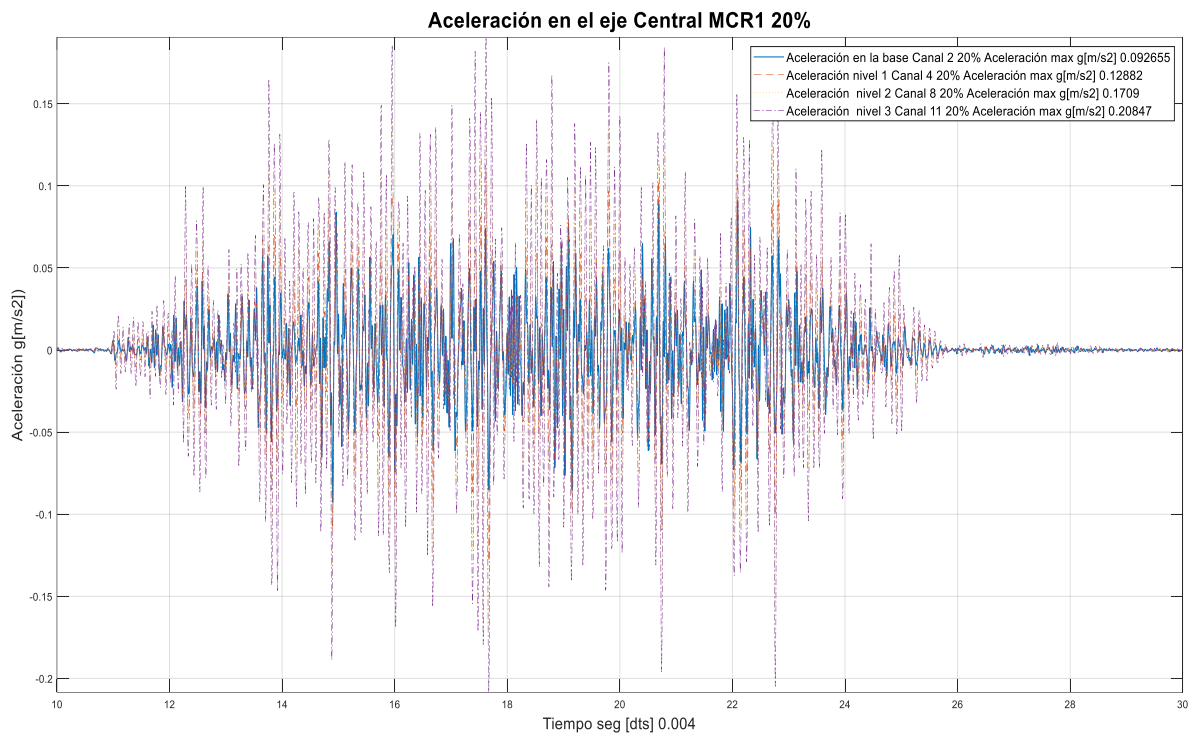
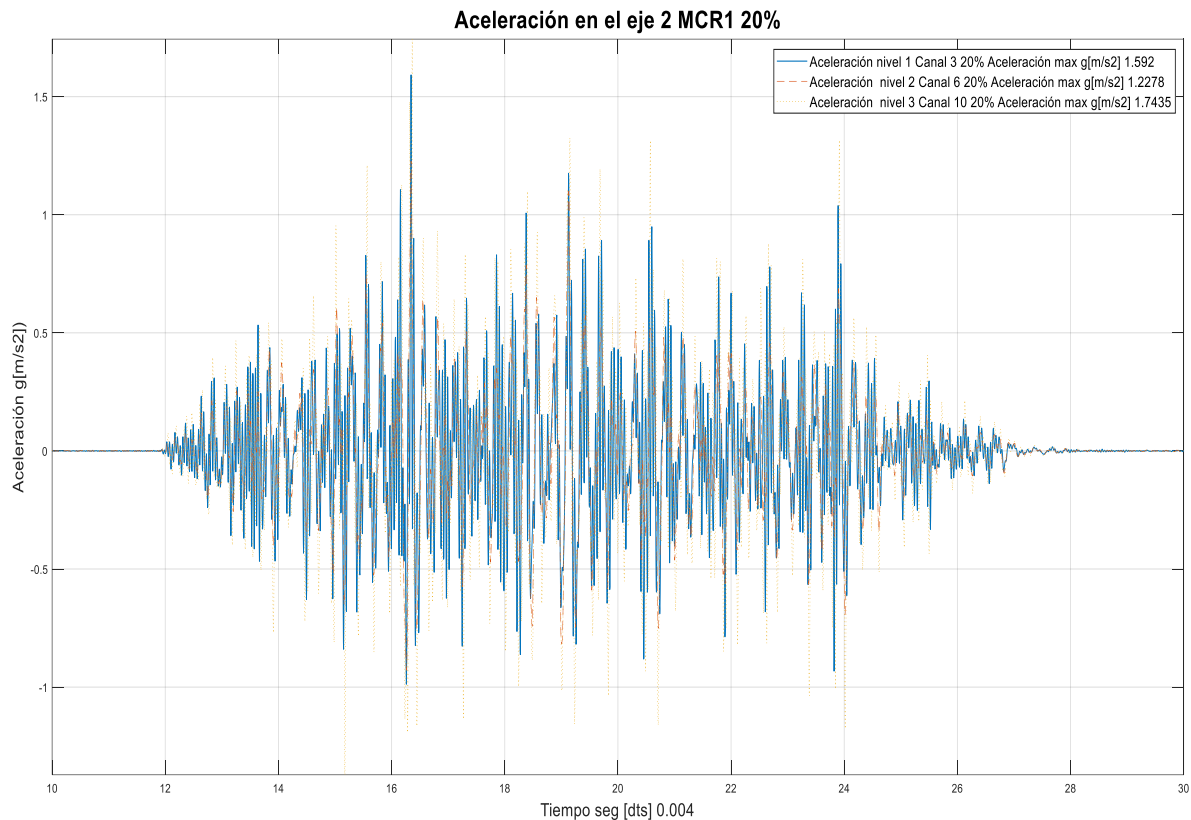


Figura 3.5 Gráfica de aceleraciones por nivel eje Central MCR1 20%



*Figura 3.6 Gráfica de aceleraciones por nivel eje 2 MCR1 20%*

### 3.2.3 Modelo reforzado MCR2 y modelo original MCR1 comparativa

Al observar el comportamiento de los ejes del modelo de mampostería por medio de las aceleraciones obtenidas y procesadas:

- El eje 1 del modelo MCR1 Original mantiene una mayor aceleración que el modelo reforzado, a excepción del canal 9 y canal 12 sismo 280% véase Tabla 4.1.
- El eje central del modelo MCR1 Original mantiene una mayor aceleración que el modelo reforzado, a excepción del canal 8 y canal 11 sismo 280% véase Tabla 4.2.
- El eje 2 del modelo MCR1 Original mantiene una mayor aceleración que el modelo reforzado, a excepción del canal 6 y canal 10 sismo 280% véase Tabla 4.3.
- El eje 2 del modelo MCR2 Reforzado contiene datos inválidos para el canal 10, esto debido a un mal funcionamiento por el transductor de aceleración.



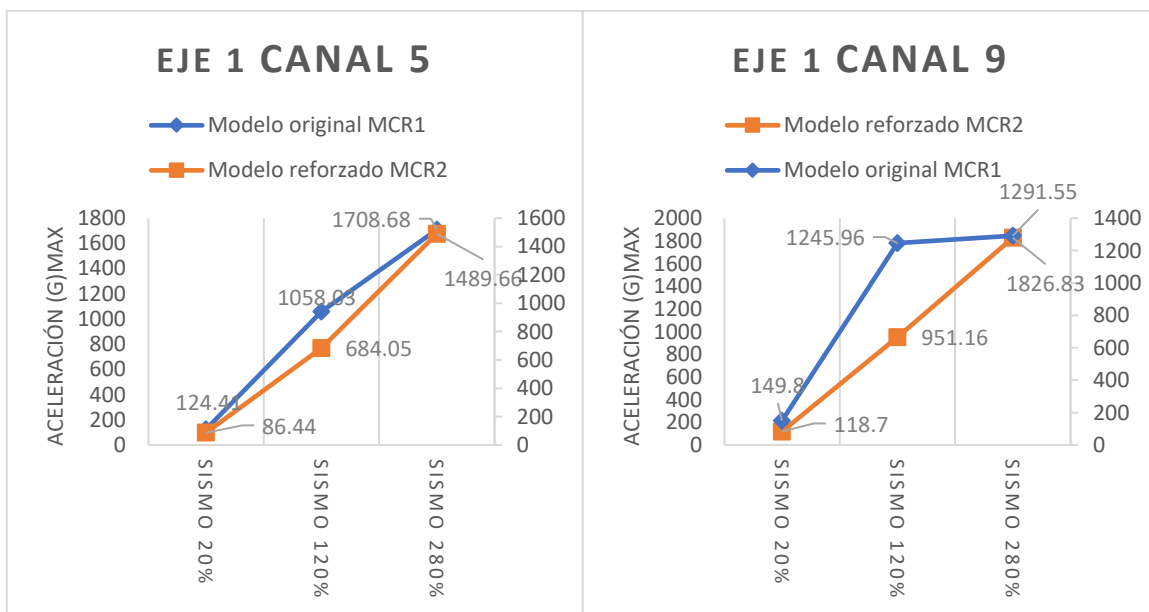
- El modelo MCR1 tiene mayores aceleraciones en el eje 2 que el eje 1, para el modelo MCR2 sucede lo contrario.

El comportamiento que tiene modelo original MCR1 en el sismo a 280% se deduce que es debido a se encuentra en proceso de falla.

Observando los datos obtenidos podemos confirmar que el modelo MCR2 tiene una menor afectación a los sismos en comparación del modelo original, pero las aceleraciones afectaron de diferente manera a los ejes 1 y 2 esto debido posiblemente por un error de obtención de datos o interpretación.

Tabla 3.1 Resumen de aceleraciones máximas eje 1 obtenidas para los modelos MCR1 Y MCR2

Modelo original MCR1				Modelo reforzado MCR2			
Eje 1				Eje 1			
	nivel 1	nivel 2	nivel 3		nivel 1	nivel 2	nivel 3
SISMO	canal 5 acel. (g) Max	canal 9 acel. (g) Max	canal 12 acel. (g) Max	SISMO	canal 5 acel. (g) Max	canal 9 acel. (g) Max	canal 12 acel. (g) Max
sismo 20%	124.41	149.8	214.67	sismo 25%	86.44	118.7	100.37
sismo 120%	1058.03	1245.96	1827.24	sismo 150%	684.05	951.16	775.64
sismo 280%	1708.68	1291.55	2064	sismo 350%	1489.66	1826.83	2308.24



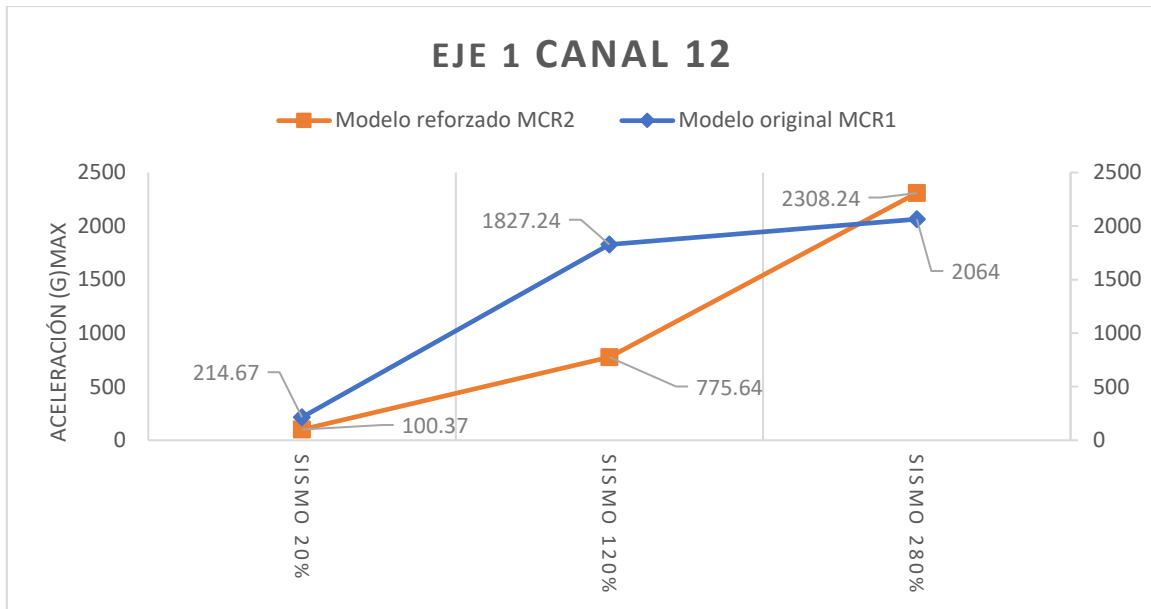


Figura 3.7 Comparativa de aceleraciones máximas eje 1 modelos MCR1 Y MCR2.

Tabla 3.2 Resumen de aceleraciones máximas eje central obtenidas para los modelos MCR1 Y MCR2

Modelo original MCR1					Modelo reforzado MCR2				
Eje central					Eje central				
	base	nivel 1	nivel 2	nivel 3		base	nivel 1	nivel 2	nivel 3
SISMO	canal 2 acel. (g) Max	canal 4 acel. (g) Max	canal 8 acel. (g) Max	canal 11 acel. (g) Max	SISMO	canal 2 acel. (g) Max	canal 4 acel. (g) Max	canal 8 acel. (g) Max	canal 11 acel. (g) Max
sismo 20%	90.86	126.32	167.59	204.43	sismo 25%	56.28	62.98	85.17	130.03
sismo 120%	764.63	1011.85	1162.86	1606.36	sismo 150%	428.11	512.72	951.16	1025.78
sismo 280%	1251.9	1585.84	1257.81	1809.76	sismo 350%	1056.33	1207.98	1666.14	2354.9

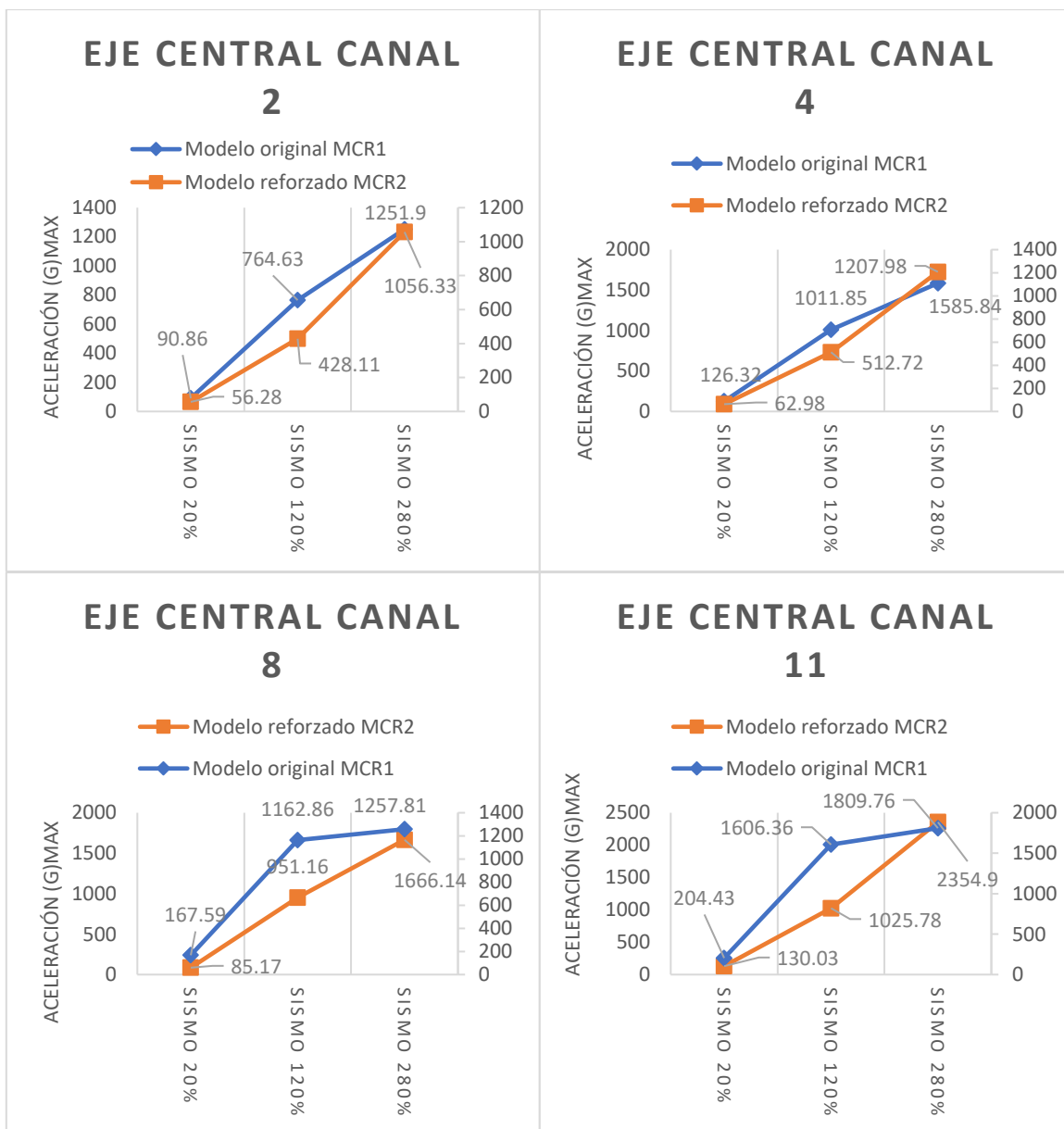


Figura 3.8 Comparativa de aceleraciones máximas eje central modelos MCR1 Y MCR2.

Tabla 3.3 Resumen de aceleraciones máximas eje 2 obtenidas para los modelos MCR1 Y MCR2

Modelo original MCR1				Modelo reforzado MCR2			
Eje 2				Eje 2			
	nivel 1	nivel 2	nivel 3		nivel 1	nivel 2	nivel 3
SISMO	canal 3 acel. (g) Max	canal 6 acel. (g) Max	canal 10 acel. (g) Max	SISMO	canal 3 acel. (g) Max	canal 6 acel. (g) Max	canal 10 acel. (g) Max
sismo 20%	137.57	211.69	245.65	sismo 25%	49.45	68.57	invalido
sismo 120%	1031.43	1216.17	1541.75	sismo 150%	401.85	504.85	invalido
sismo 280%	1561.19	1204.08	1709.75	sismo 350%	1120.84	1705.31	invalido

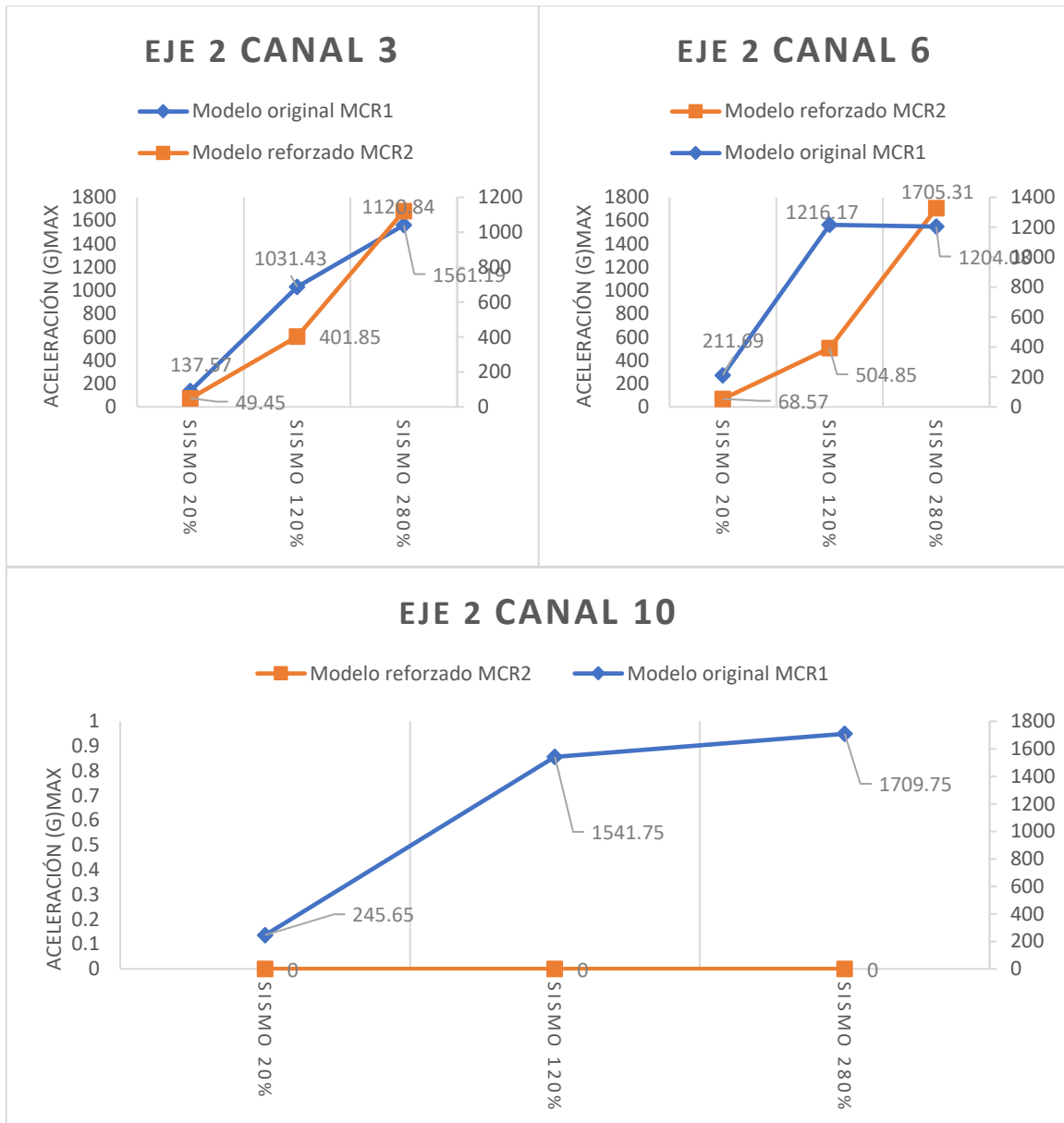


Figura 3.9 Comparativa de aceleraciones máximas eje 2 modelos MCR1 Y MCR2.

### 3.3 Análisis de la variación de los periodos fundamentales de vibrar

Para la obtención de los periodos primero se debe obtener el espectro de Fourier, se decidió programar en Matlab por medio de la transformada rápida de Fourier, utilizando las aceleraciones obtenidas en la sección anterior ver Anexo 1.

Identificando que en el espectro se encuentra frecuencias que son fuera de nuestro interés por no afectar de manera considerable la estructura (Figura 3.10).

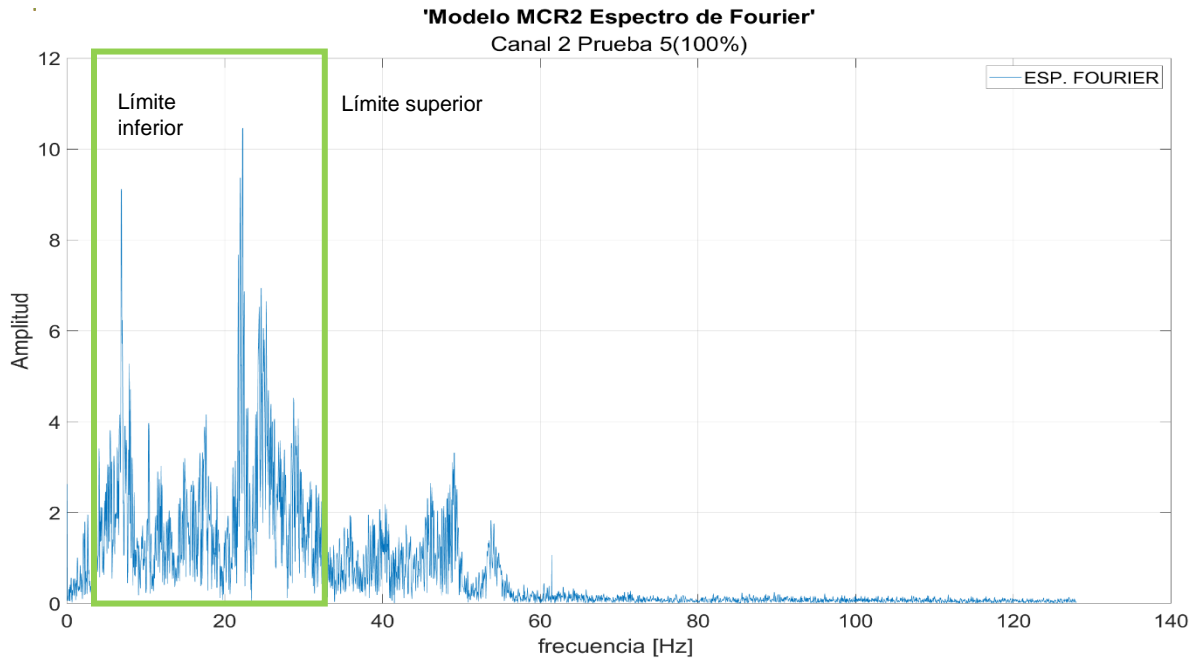


Figura 3.10 Gráfica de Espectro de Fourier indicando los limites en Hz

Se decidió programar un filtrado y suavizado por medio de Butterworth pasa banda en Matlab indicando un corte inicial de 3 hz y un corte final de 24 hz, para seleccionar los datos de mayor importancia con número de polos igual a 6. Logrando obtener una gráfica con mejor interpretación de las frecuencias y amplitudes que nos interesan. (Figura 3.11)

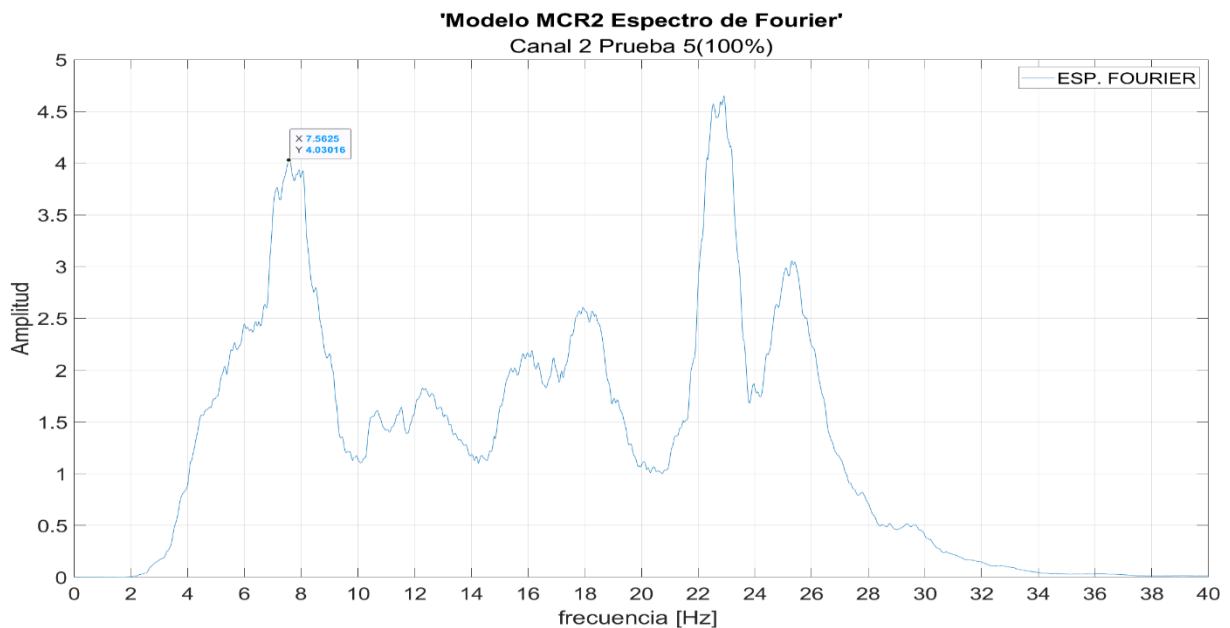


Figura 3.11 Gráfica de espectro de Fourier canal 2 prueba 5 FILTRADO Y SUAVIZADO.

Al mejorar los datos del espectro de Fourier podemos obtener el primer pico del espectro que nos indica la frecuencia obtenida por medio del acelerómetro, solo quedaría obtener el periodo.

### 3.3.1 Obtención del periodo por medio de la función de transferencia

Para obtener de forma más precisa el periodo de los modelos se utilizó la función de transferencia, se utilizaron los espectros de Fourier obtenidos para el canal 11 y canal 2, que se encuentran en el eje central geométrico del modelo.

Se procede a dividir los espectros del modelo MCR1 y MCR2 del canal 11 / canal 2 para obtener la función de transferencia y obtener las gráficas de frecuencia (Figura 3.12, Figura 3.13).

Obteniendo los periodos de los modelos las pruebas 20%, 120% y 280% del modelo MCR1 Tabla 4.4 nos indica una variación del 68% de rigidez. Mientras que las pruebas del modelo MCR2 25%, 150% y 350% tiene una variación del 49% Tabla 3.5, esto confirma que el comportamiento del modelo reforzado a un sismo es mayor al modelo original.

*Tabla 3.4 Tabla de periodos del modelo MCR1 original y variación de la rigidez*

<b>Modelo MCR1 (Original)</b>			
Prueba	Frecuencia (Hz)	Periodo	Rigidez Variación (%)
<b>20%</b>	13.06	0.077	-
<b>120%</b>	6.62	0.151	49%
<b>280%</b>	4.12	0.241	68%

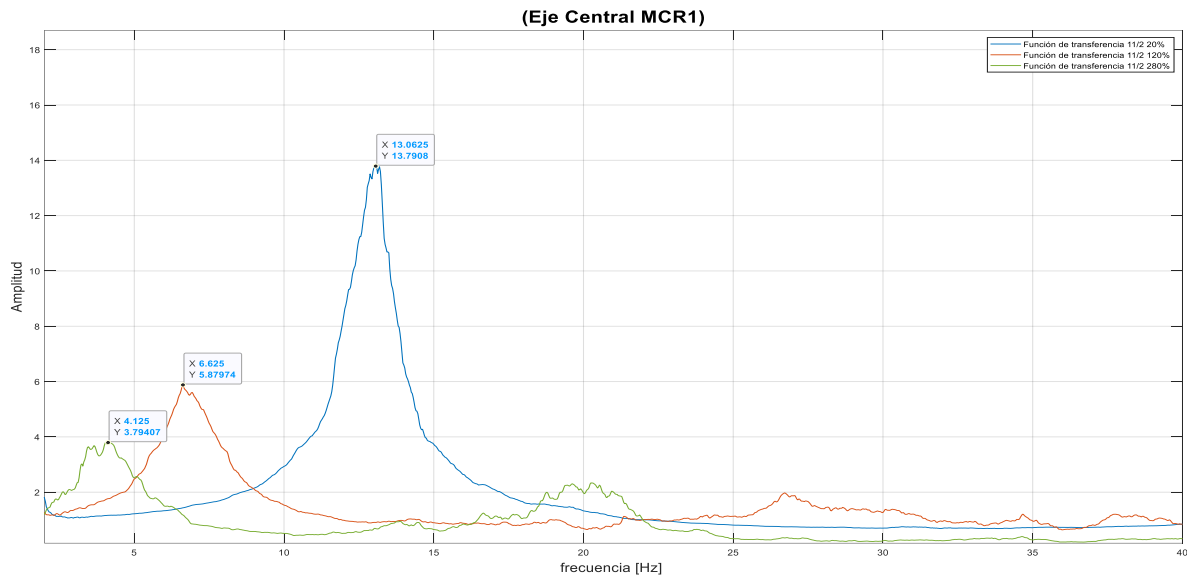


Figura 3.12 Periodos del modelo MCR1 original y variación de la rigidez.

Tabla 3.5 Tabla de periodos del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez

Modelo MCR2 (Rehabilitado)			
Prueba	Frecuencia (Hz)	Periodo	Rigidez Variación (%)
<b>25%</b>	11.12	0.090	-
<b>150%</b>	8.93	0.112	31%
<b>350%</b>	6.59	0.152	49%

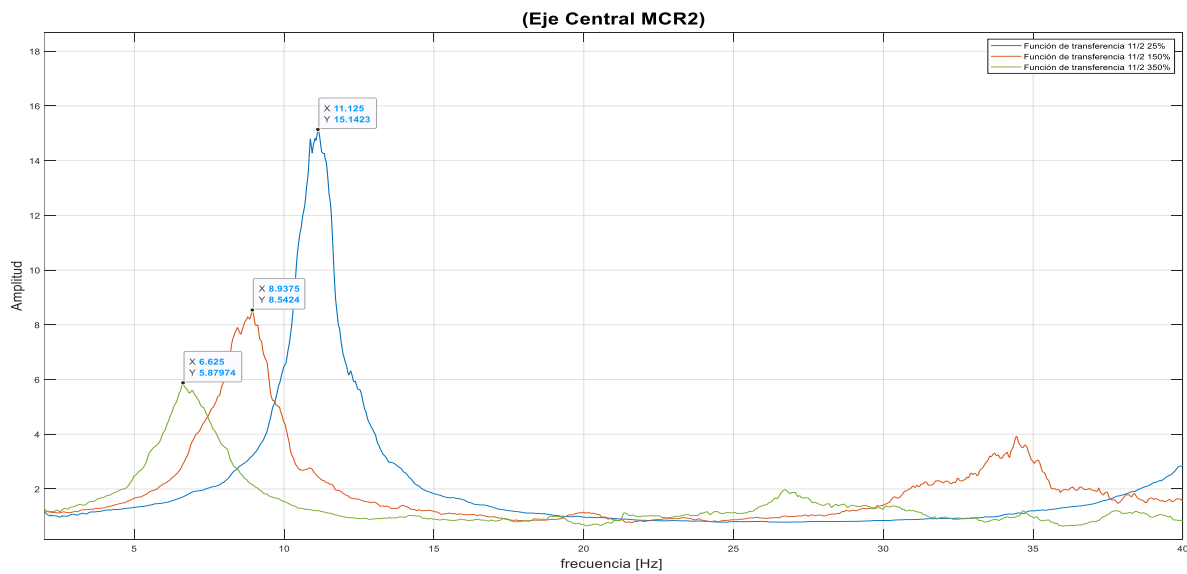


Figura 3.13 Periodos del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez.

### 3.3.2 Obtención de la rigidez por medio de las pruebas de ruido

Dentro de las pruebas aplicadas a los modelos se realizaron 7 pruebas de ruido blanco, éstas se realizan después de aplicarle aceleraciones al modelo para obtener un periodo más preciso después de obtener un daño. Se procedió a graficar la función transferencia de los dos modelos para observar la frecuencia y así obtener el periodo.

El modelo MCR1 disminuyó su rigidez hasta llegar a la falla por lo observado en la Tabla 3.6, la prueba de RB5 a RB6 tuvo una variación considerable del 31% esto indicando que el modelo llegó a su límite.

*Tabla 3.6 Tabla de periodos RB del modelo MCR1 original y variación de la rigidez*

<b>Modelo MCR1 (Original) RB</b>			
Prueba	Frecuencia (Hz)	Periodo	Rigidez Variación (%)
<b>RB 1</b>	13.03	0.077	-
<b>RB 2</b>	10.75	0.093	17%
<b>RB 3</b>	9.15	0.109	30%
<b>RB 4</b>	7.87	0.127	40%
<b>RB 5</b>	6.21	0.161	52%
<b>RB 6</b>	3.46	0.289	73%



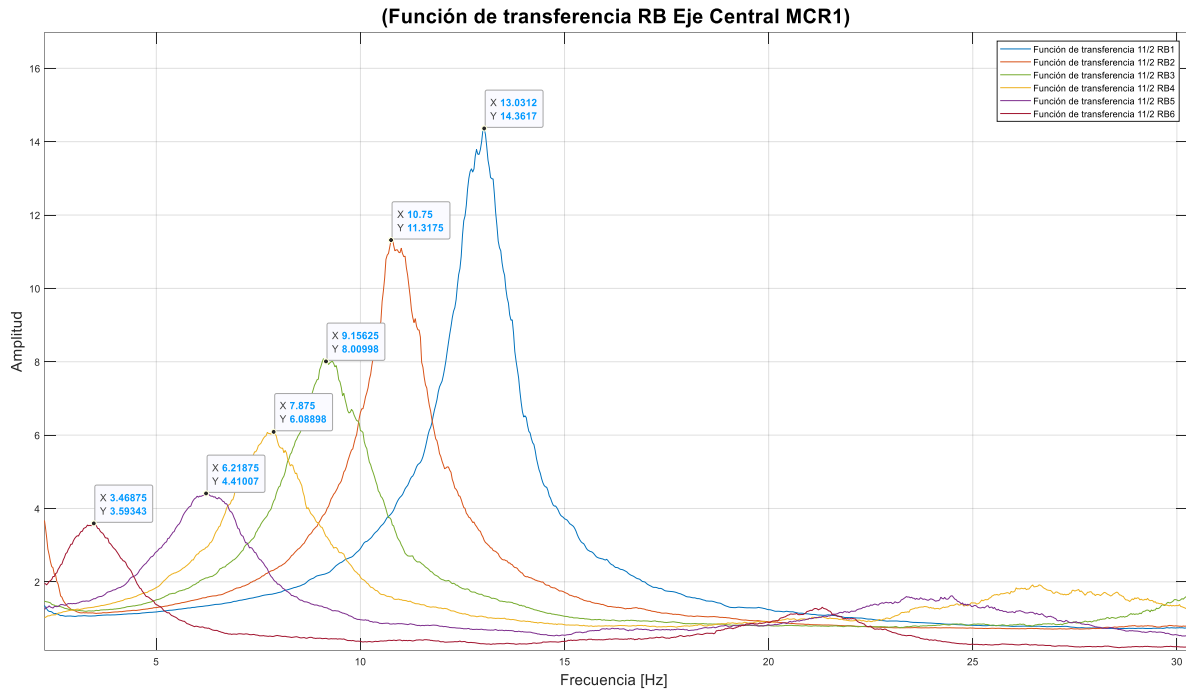


Figura 3.14 Periodos RB del modelo MCR1 original y variación de la rigidez.

El modelo MCR2 reforzado mantuvo su disminución de la rigidez al mínimo véase Tabla 3.7 durante todas las pruebas, por lo que se confirma que el reforzamiento aplicado mantiene una mayor rigidez y adherencia en los materiales de mampostería.

Tabla 3.7 Tabla de periodos RB del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez

Modelo MCR2 (Rehabilitado) RB			
Prueba	Frecuencia (Hz)	Periodo	Rigidez Variación (%)
<b>RB 1</b>	11.53	0.087	-
<b>RB 2</b>	9.34	0.107	28%
<b>RB 3</b>	<i>Dato no valido Error canal 11</i>		
<b>RB 4</b>	9.13	0.110	30%
<b>RB 5</b>	9.15	0.109	30%
<b>RB 6</b>	8.9	0.112	32%

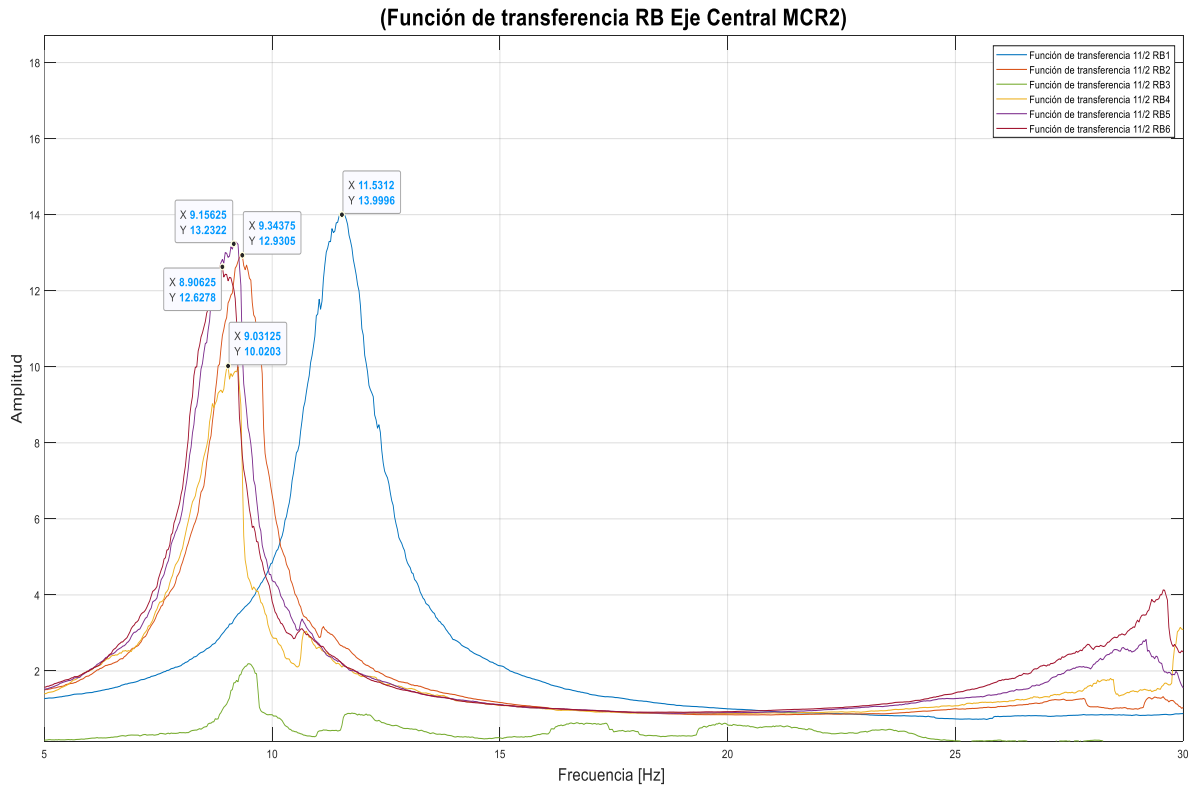


Figura 3.15 Periodos RB del modelo MCR2 Rehabilitado y variación de la rigidez.

Emplear elementos de mampostería no aislados a la estructura produce un daño considerable al material empleado después de una acción de un sismica, causando el agrietamiento y desprendimiento del material por lo que disminuye la rigidez del modelo.

### 3.4 Obtención de momentos, fuerzas cortantes y fuerzas laterales

Al obtener las aceleraciones filtradas y calibradas, se procede a obtener las fuerzas laterales del modelo por medio de la ecuación (1).

$$F_x = m_x * a_x \dots \dots (1)$$

$F$ ; Fuerza.

$a_x$ : Aceleración en la estructura

$m_x$ ; masa

Teniendo las fuerzas de cada nivel, se procede a obtener las fuerzas cortantes del modelo por medio de la ecuación (2).

$$V_x = V_s + F_x \dots \dots (2)$$

$V_x$ ; Fuerza Cortante.

$V_s$ ; Fuerza Cortante superior al nivel.

$F$ ; Fuerza.

Para obtener los momentos de cada nivel, se procede a obtener las fuerzas cortantes del modelo por medio de la ecuación (3).

$$M_x = F_x * (h_x) + F_s * (h_s + h_n) \dots \dots (3)$$

$M_x$ ; Momento en el nivel actual.

$F_x$ ; Fuerza nivel actual.

$F_s$ ; Fuerza superior al nivel.

$h_x$ ; altura nivel actual.

$h_s$ ; altura superior al nivel.

Aplicando las ecuaciones anteriores al modelo actual obtenemos las siguientes ecuaciones para obtener las características del modelo.

Fuerzas:

$$F_3 = m_3 * a_3$$

$$F_2 = m_2 * a_2$$

$$F_1 = m_1 * a_1$$

Fuerzas Cortantes:

$$V_3 = F_3$$

$$V_2 = V_3 + F_2$$

$$V_1 = V_2 + F_1$$

Momentos:

$$M_3 = F_3 * (h_3)$$

$$M_2 = F_2 * (h_2) + F_3 * (h_3 + h_2)$$

$$M_1 = F_1 * (h_1) + F_2 * (h_2 + h_1) + F_3 * (h_3 + h_2 + h_1)$$

Utilizando la Tabla 3.8 y la Figura 3.16 se obtienen las fuerzas y momentos para los modelos MCR1 Y MCR2, para su análisis de las características.

Tabla 3.8 Características del modelo para obtención de fuerzas

Características de modelo MCR2 y MCR1		
Nivel	Masa (Ton)	Altura(m)
h1	2.435	1.25
h2	2.435	1.25
h3	1.99	1.25

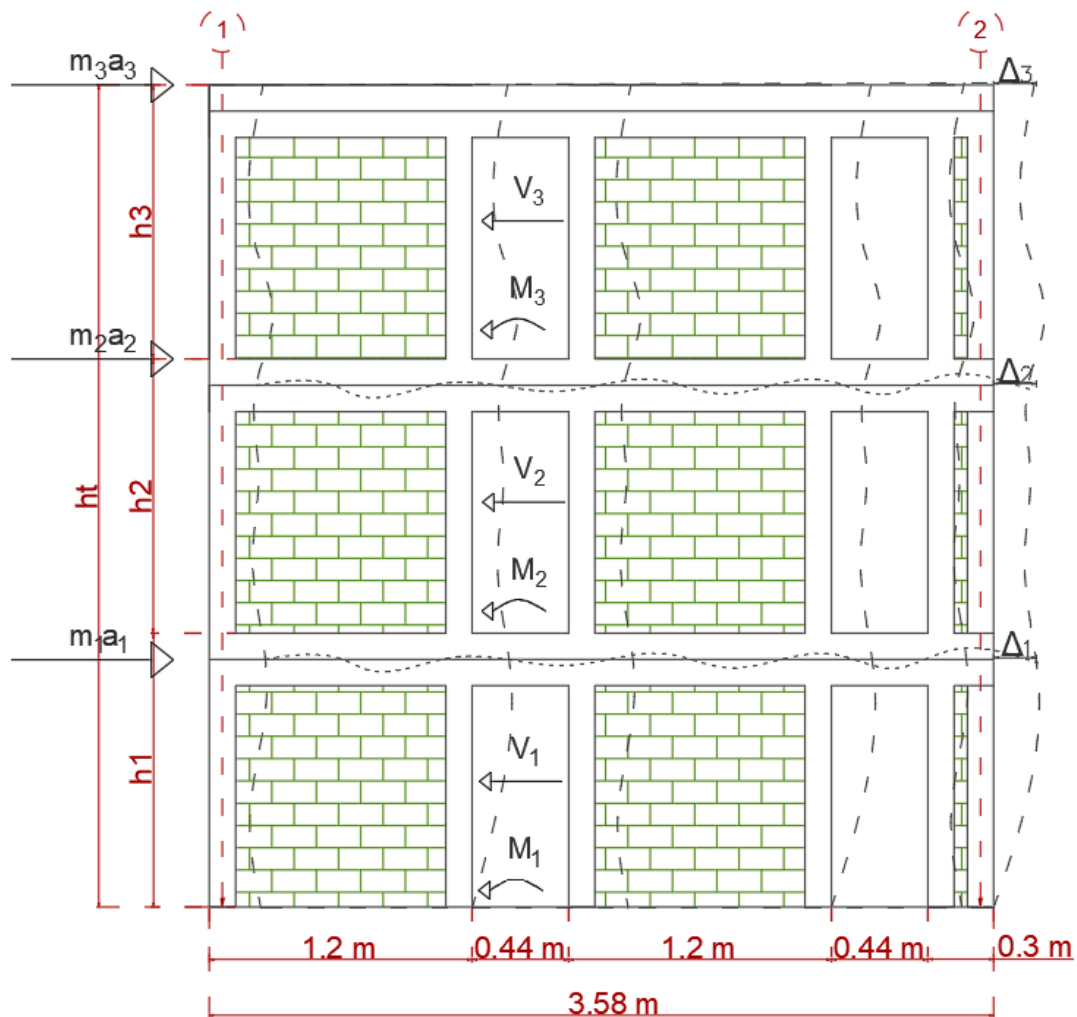


Figura 3.16 Representación de las fuerzas, fuerzas cortantes y momentos.

### 3.4.1 Modelo MCR2 (reforzado)

Si observamos la Figura 3.17 el crecimiento de la fuerza observada por nivel 1 al 2 se debe al incremento de la aceleración, dentro del tercer nivel se logra a una disminución considerable al reducir la masa del tercer nivel debido a la relación proporcional de masa y aceleración.

En el eje central el comportamiento del nivel 3 resulto a una fuerza mayor a los niveles subsecuentes esto al obtener una mayor aceleración que permitió compensar la disminución de la masa, indicando que fue el punto más afectado en las aceleraciones para el modelo reforzado Figura 3.17. El nivel de la base no se obtiene una fuerza al no estar relacionada con una masa que afecte a su aceleración.

Viendo la Figura 3.18 el nivel 3 indica una fuerza errónea esto debido al fallo del sensor de transductores de aceleraciones canal 10, que se viene arrastrando desde la obtención de los datos de aceleración.

Obteniendo las fuerzas de cortante si nos dirigimos a la Figura 3.20, el crecimiento de las fuerzas corresponde a una respuesta de la suma de las fuerzas de cada uno de los niveles por lo que en el nivel 1 obtiene la mayor fuerza cortante de 0.616 tonf en el eje 1. Indicándonos que el mayor daño con respecto de las aceleraciones se presentara en el 1 nivel del modelo.

El momento del eje 1 tiene una fuerza considerable de volteo en el nivel 1 Figura 3.21, por lo que se puede suponer que al eje 2 al tener una menor área de contacto tiende a recibir más daño en esa zona.

Se reitera la falla del transductor de aceleración en el eje 2 en el nivel 3, no se pueden obtener fuerzas, cortantes y momentos correctos para realizar una comparación correcta por lo que serán suposiciones con los datos validos de los niveles adyacentes.

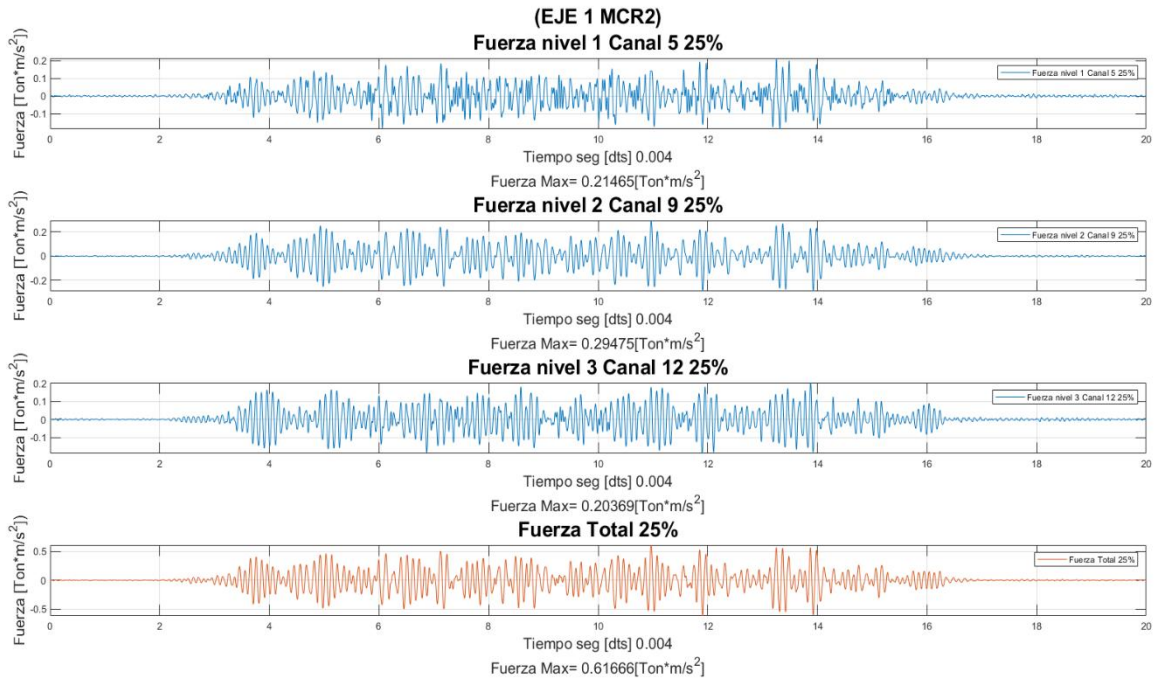


Figura 3.17 Gráfica de FUERZAS en el Eje 1 modelo MCR2.

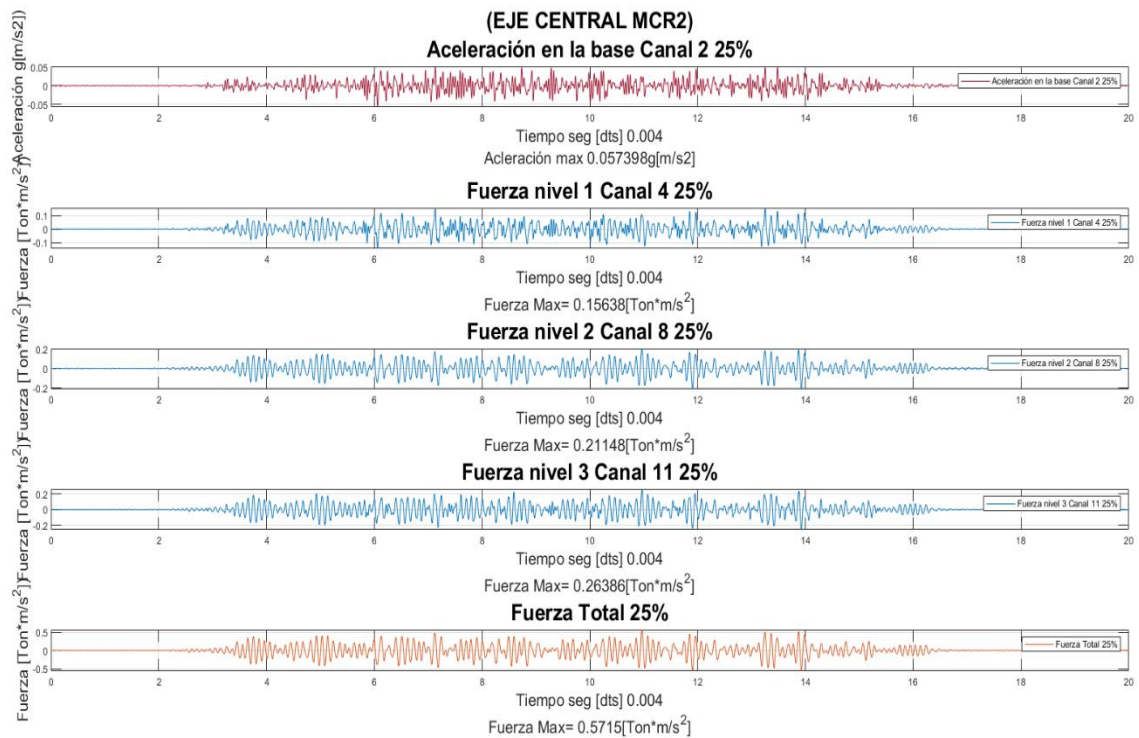
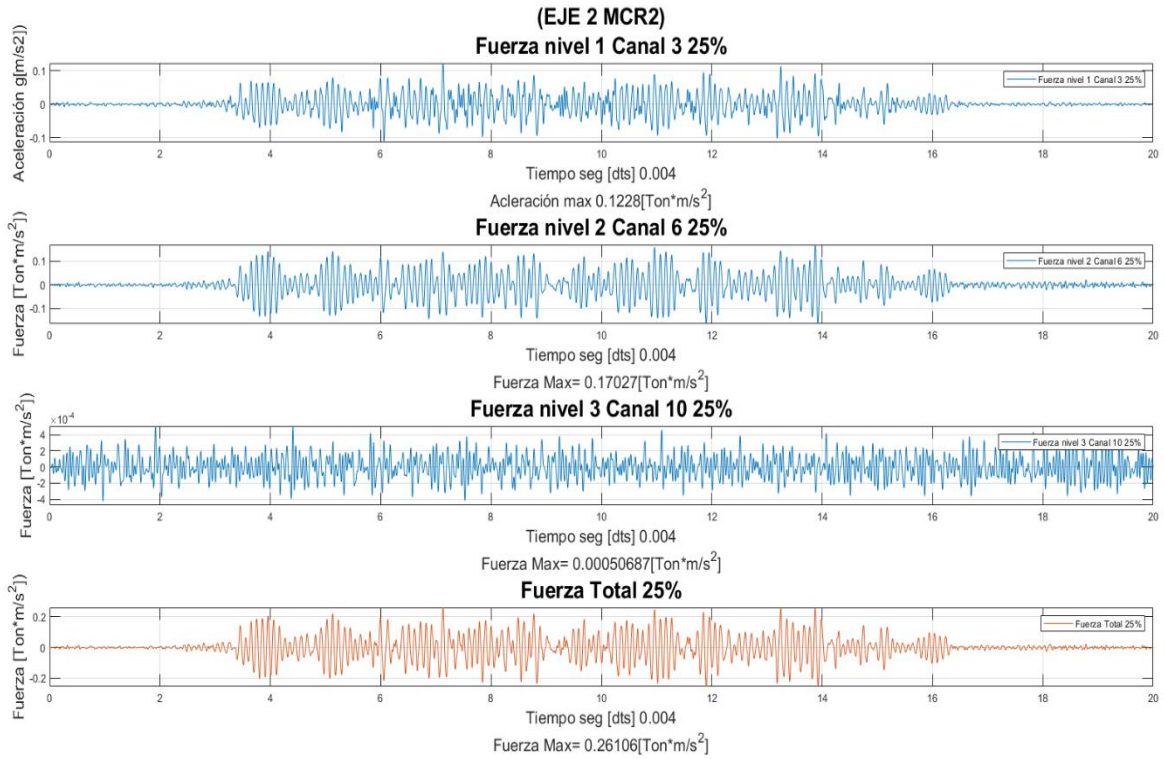
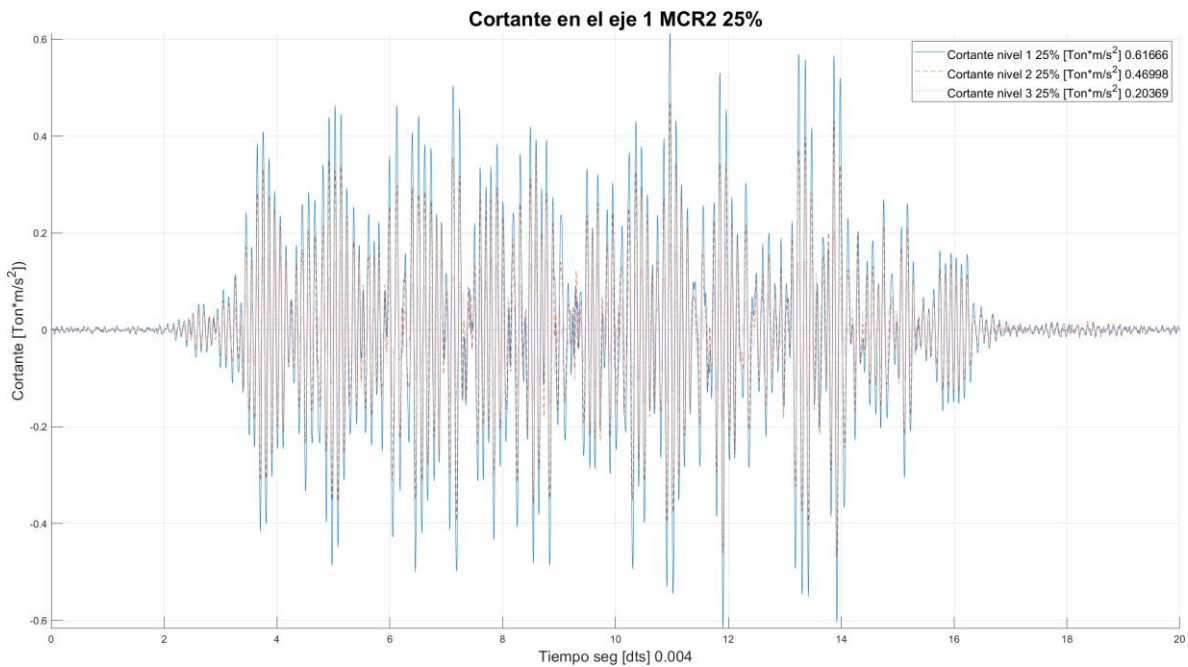


Figura 3.18 Gráfica de FUERZAS en el Eje Central modelo MCR2.



*Figura 3.19 Gráfica de FUERZAS en el Eje 2 MCR2.*



*Figura 3.20 Gráfica de Cortante en el Eje 1 MCR2.*

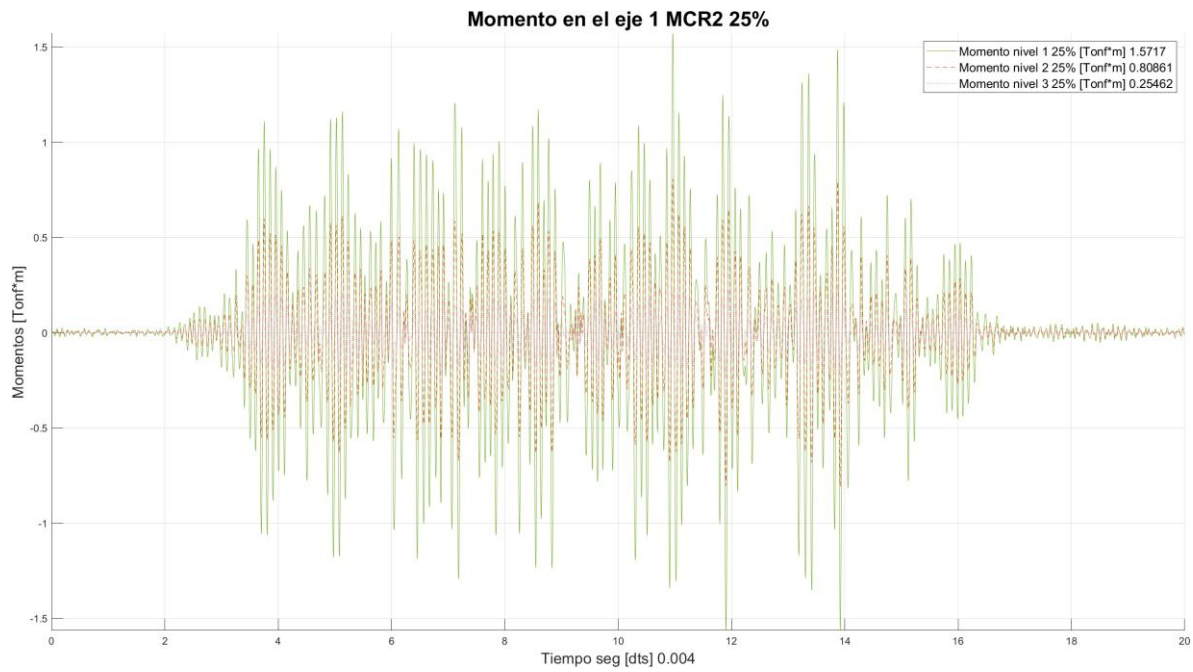


Figura 3.21 Gráfica de Momento en el Eje 1 MCR2.

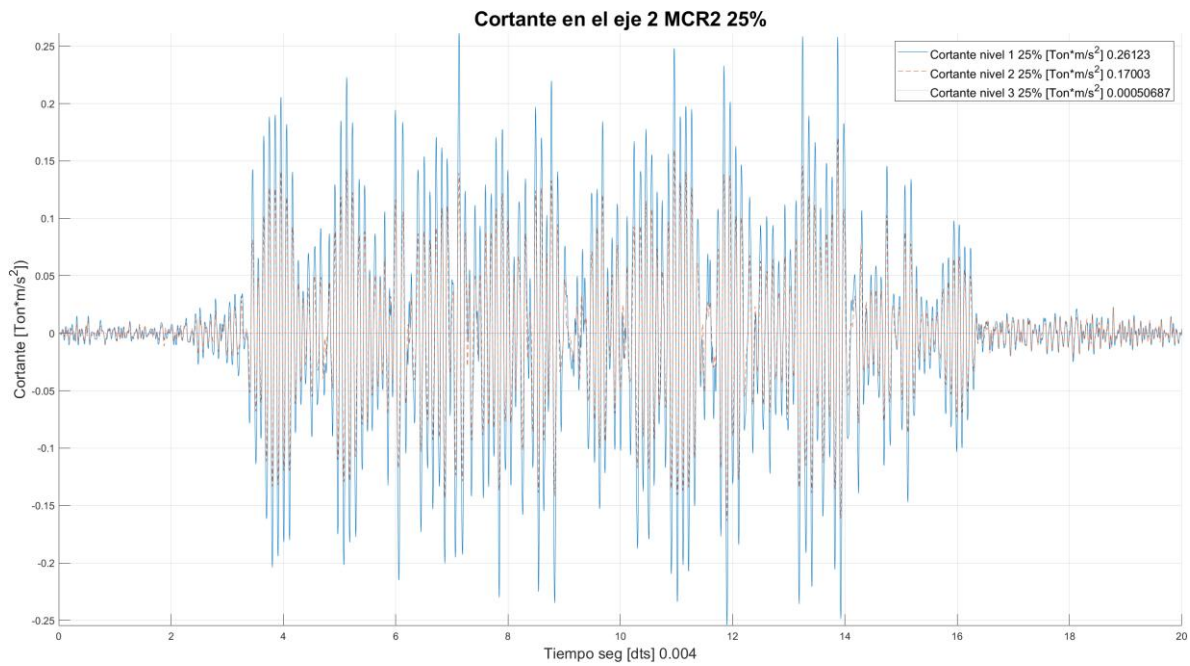


Figura 3.22 Gráfica de Cortante en el Eje 1 MCR2.





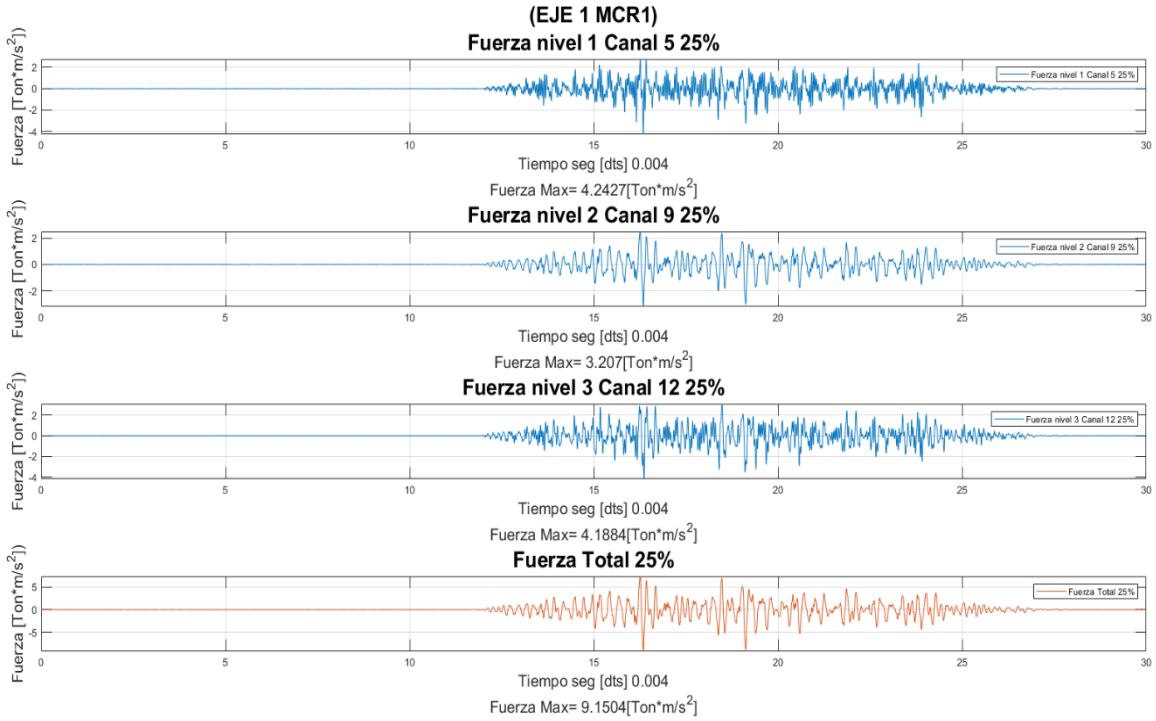


Figura 3.24 Gráfica de FUERZAS en el Eje 1 modelo MCR1.

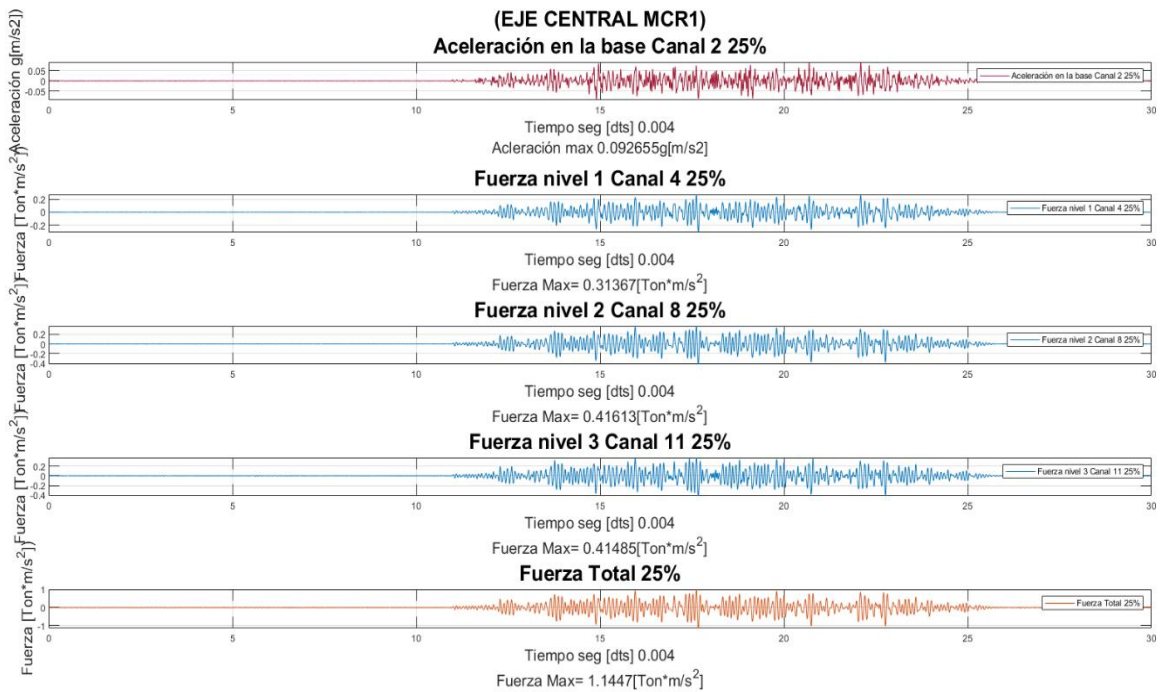


Figura 3.25 Gráfica de FUERZAS en el Eje Central modelo MCR1.

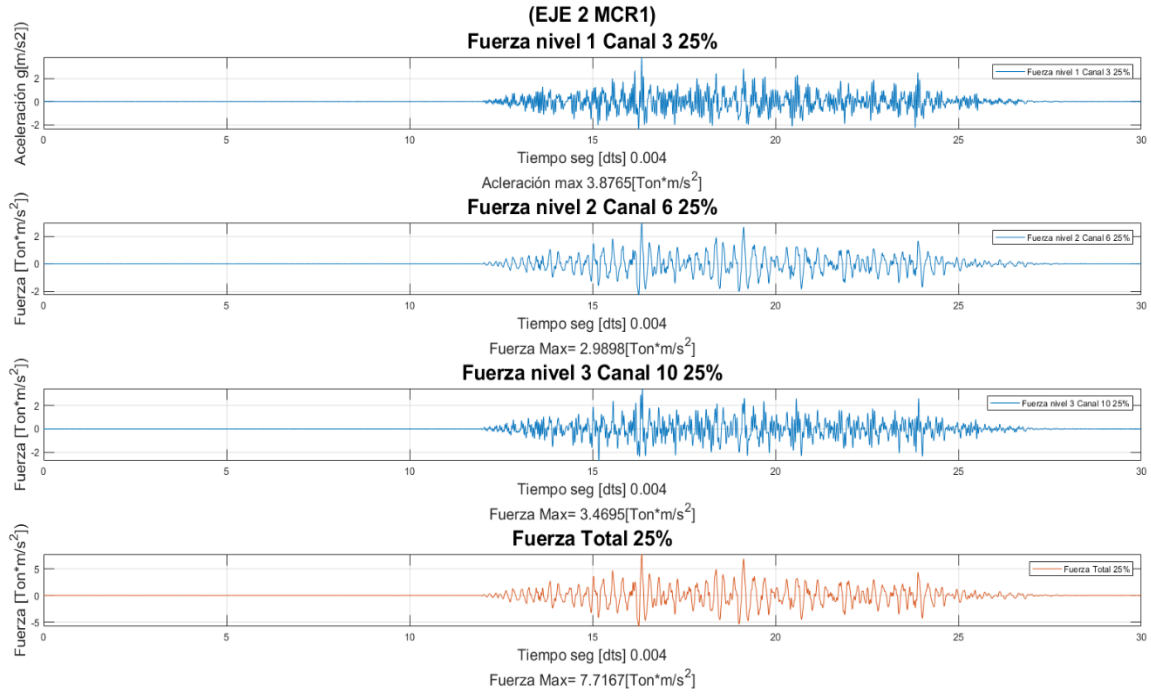


Figura 3.26 Gráfica de FUERZAS en el Eje 2 MCR1.

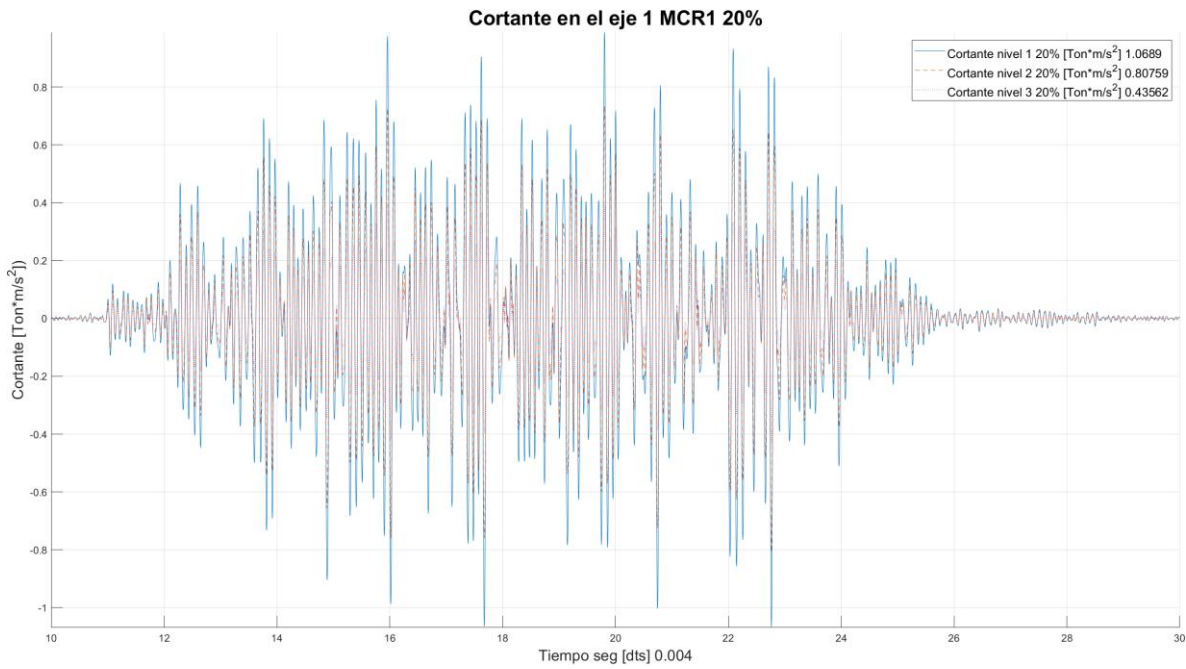


Figura 3.27 Gráfica de Cortante en el Eje 1 MCR1.

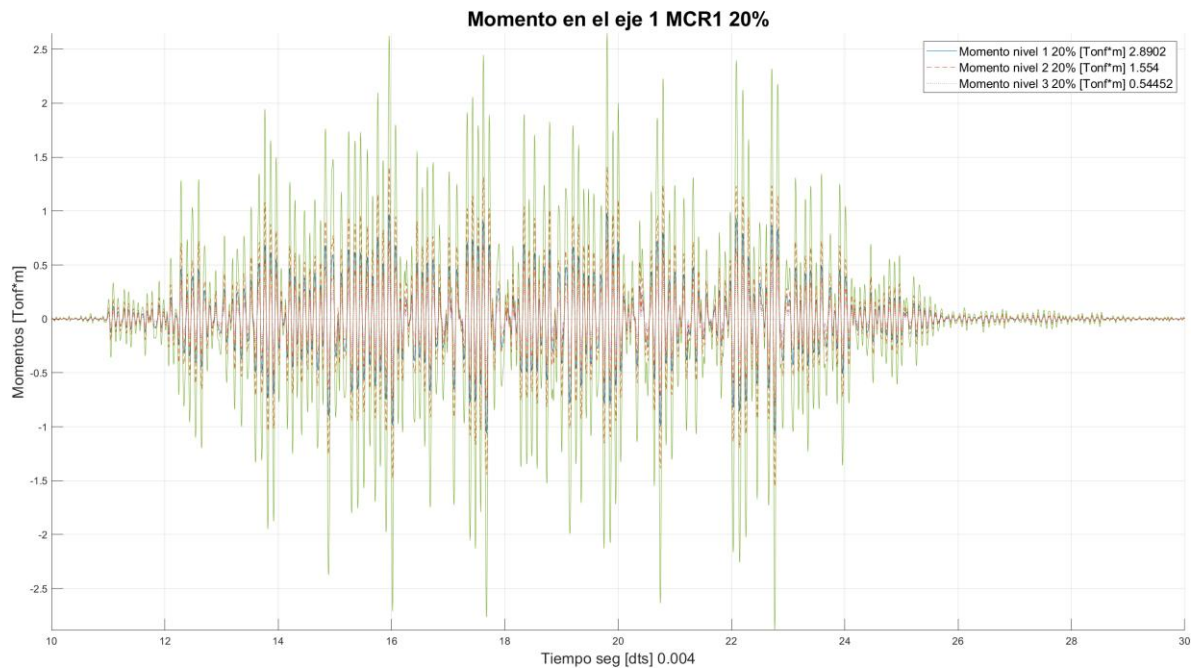


Figura 3.28 Gráfica de Momento en el Eje 1 MCR1.

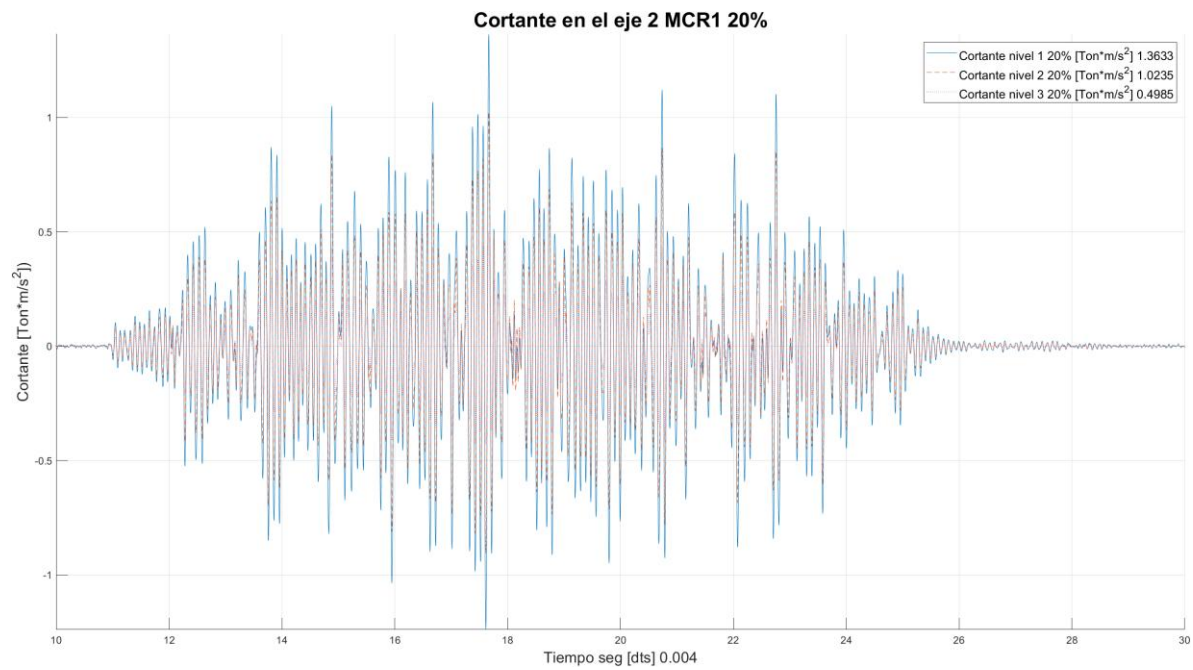


Figura 3.29 Gráfica de Cortante en el Eje 2 MCR1.

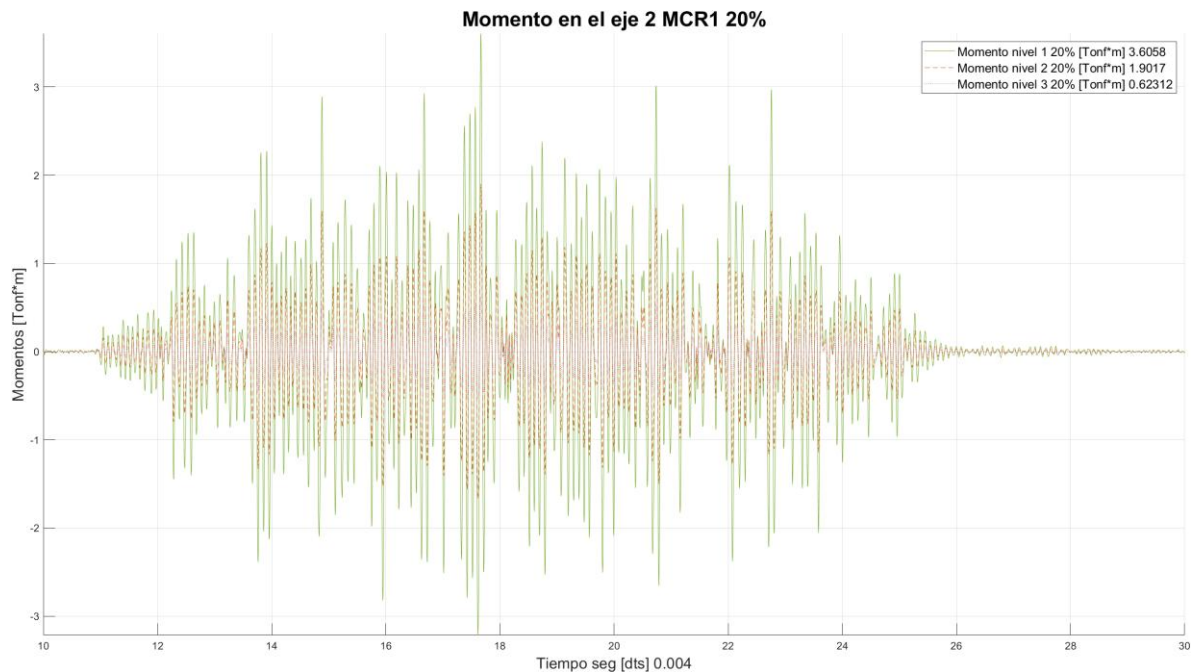


Figura 3.30 Gráfica de Momento en el Eje 2 MCR1.

### 3.4.3 Comparativa con el EJE 1 y EJE 2.

Observando la Graficas el comportamiento de las fuerzas aplicadas en el eje 2 son mayores a las del eje 1, esto debido al diseño del modelo de muro de mampostería al tener una menor área de resistencia en la dirección del eje permite una mayor aceleración.

El modelo MCR1 obtuvo un incremento en cada una de las pruebas en la fuerza excepción de las pruebas superiores al 280%, donde el incremento fue menor esto debido que el modelo se encontraría fallando, disminuyendo su resistencia. (Figura 3.34)

EL modelo MCR2 mostro una mayor fuerza con respecto al original manteniendo su resistencia gracias al reforzamiento aplicado, pero los datos fallaron al nivel 3 debido algún fallo de la instrumentación. (Figura 3.37)

Comparativa con el EJE 1 y EJE 2 laterales MCR1.

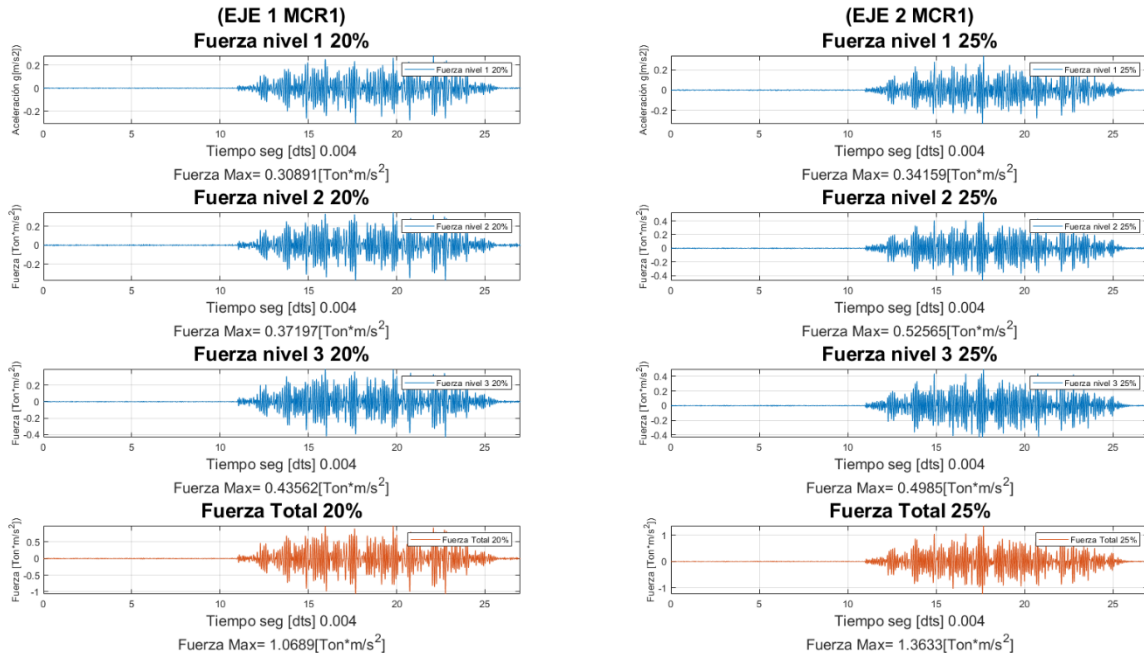


Figura 3.31 Gráfica de Fuerzas 20% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

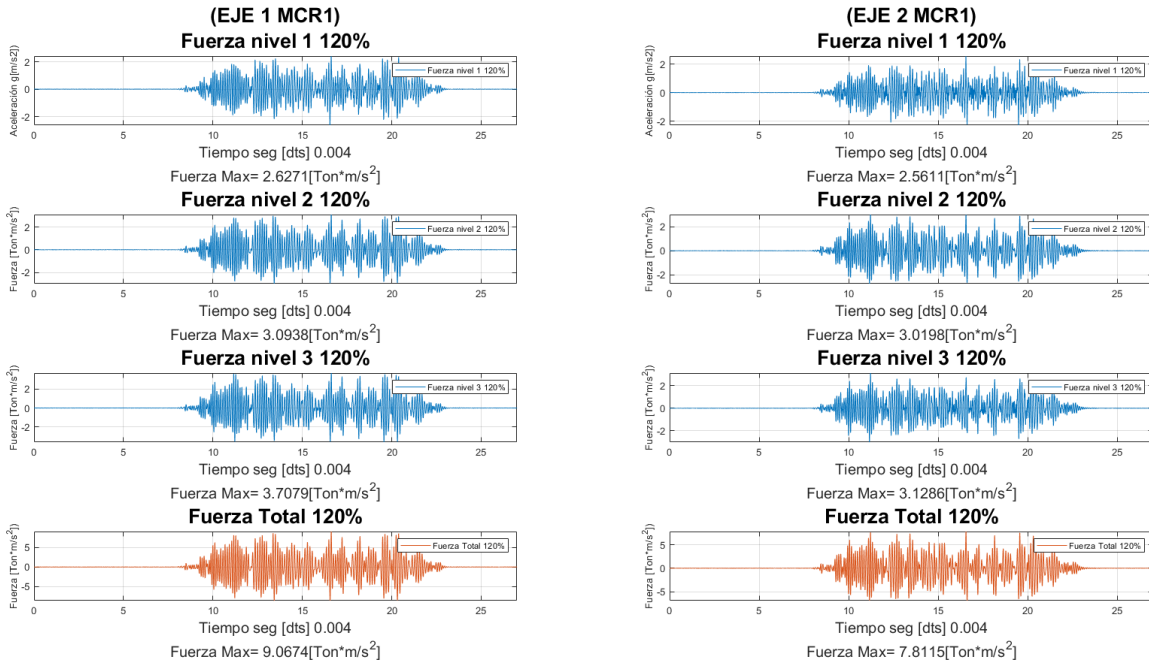


Figura 3.32 Gráfica de Fuerzas 120% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

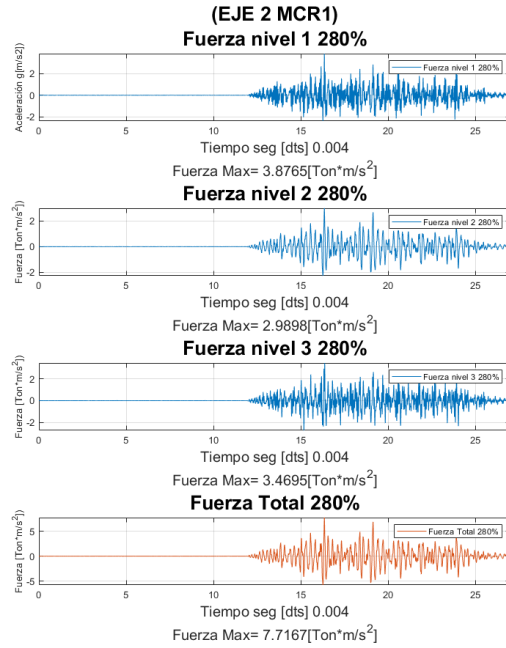
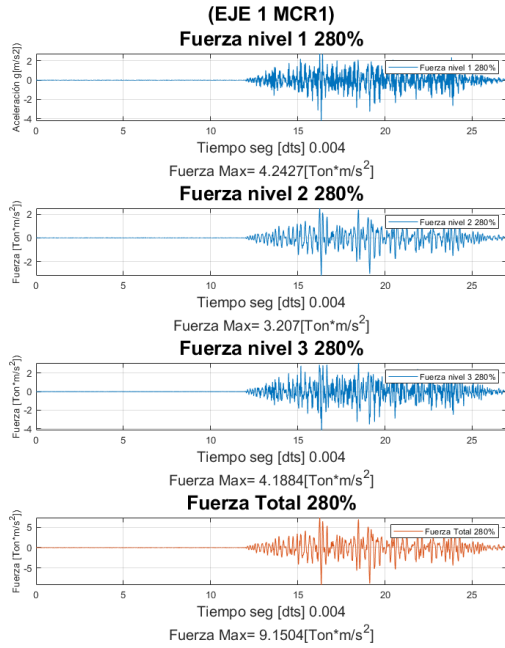


Figura 3.33 Grafica de Fuerzas 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

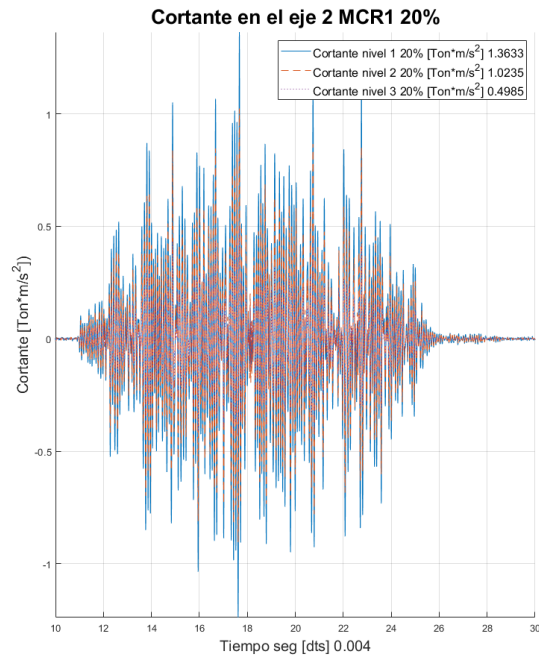
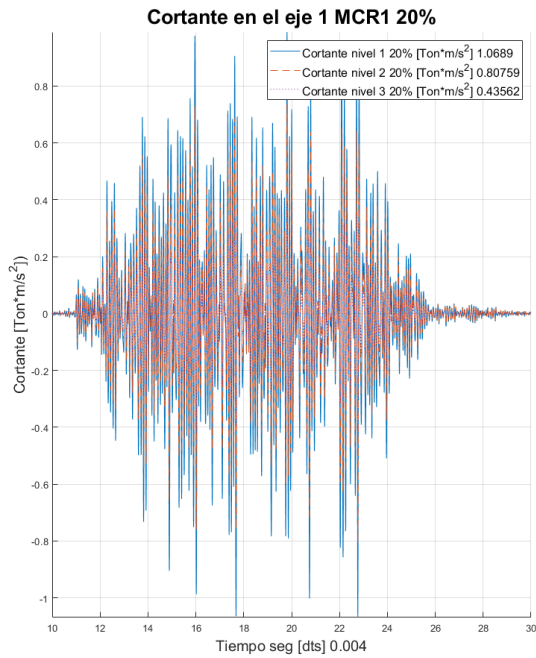


Figura 3.34 Gráfica de Cortante 20% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

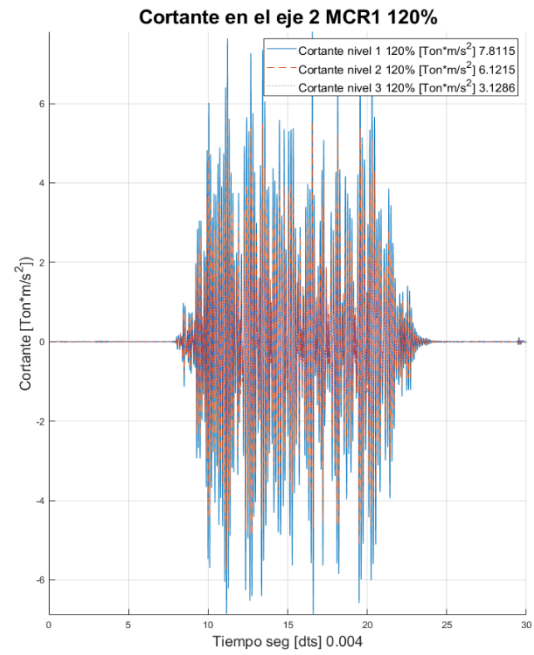
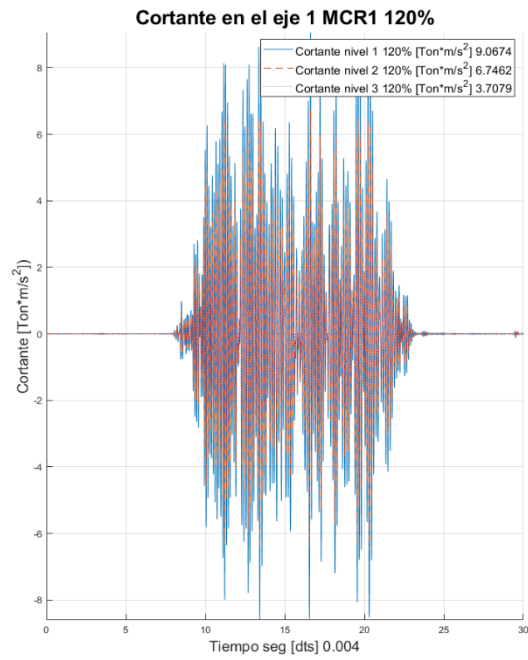


Figura 3.35 Gráfica de Cortante 120% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

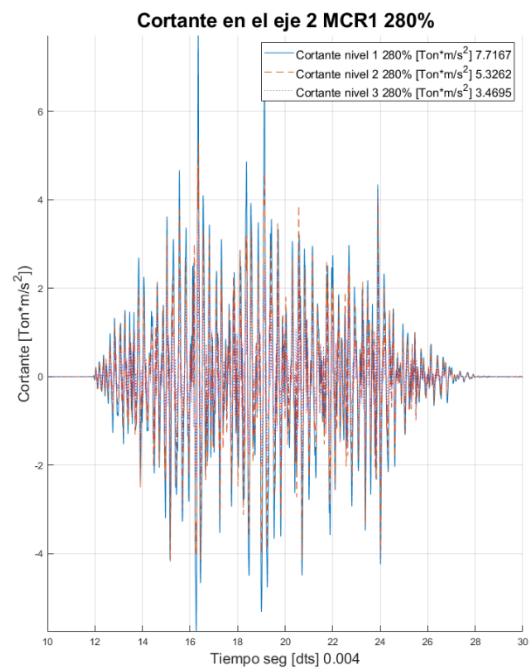
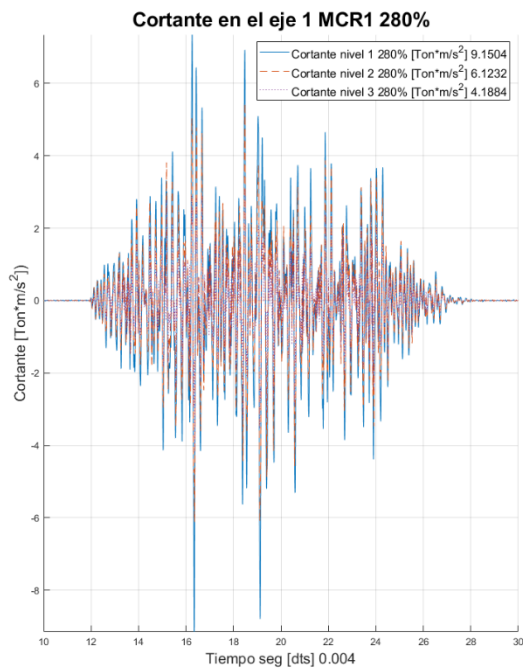


Figura 3.36 Gráfica de Cortante 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.



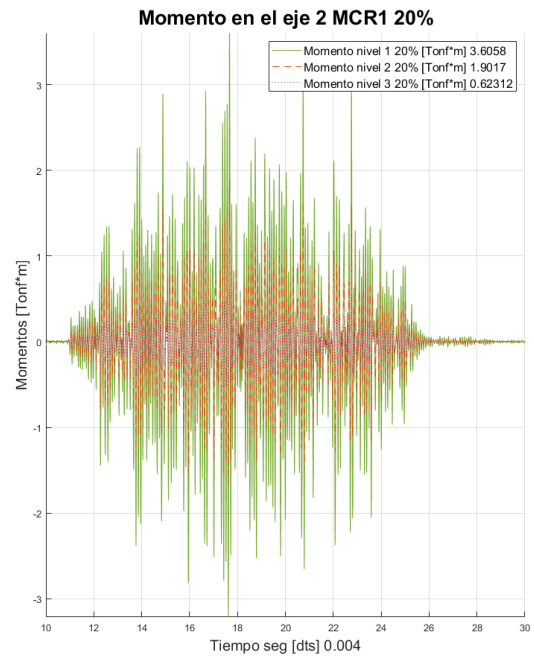
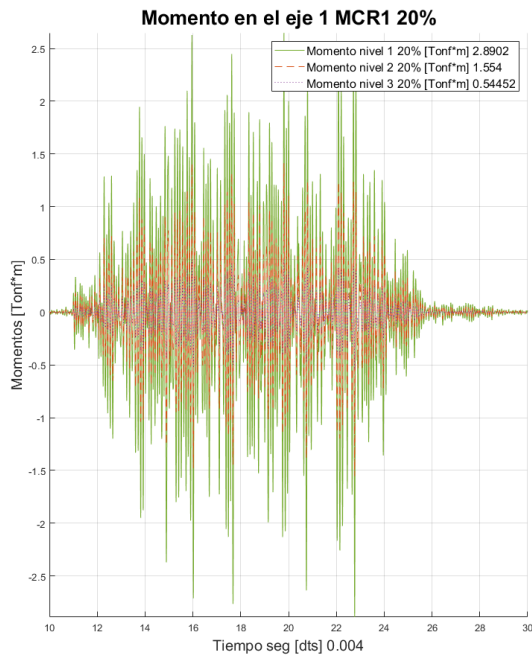


Figura 3.37 Gráfica de Momento 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

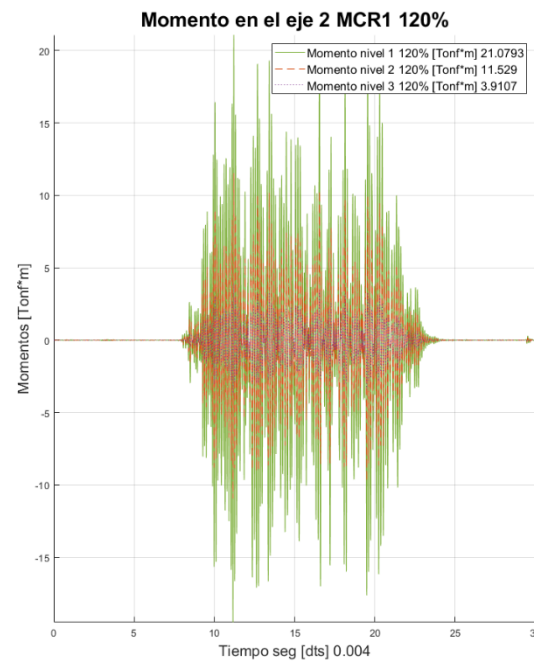
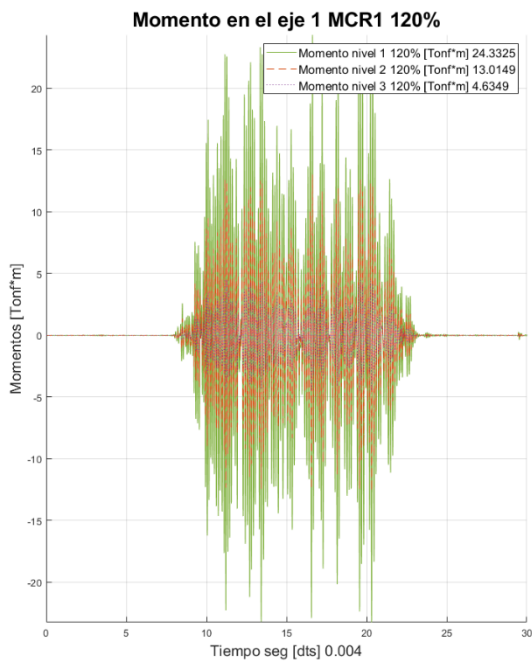


Figura 3.38 Gráfica de Momento 120% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

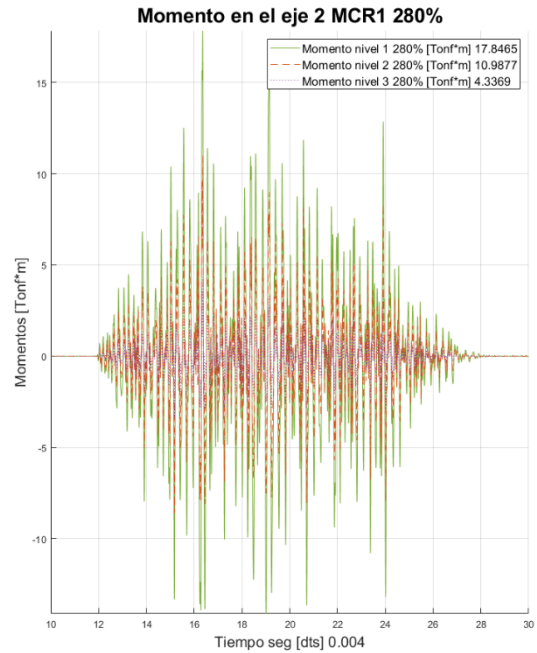
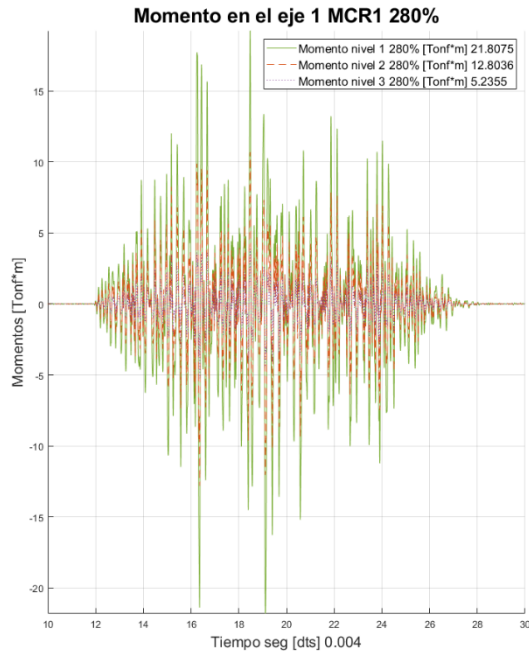


Figura 3.39 Gráfica de Momento 280% laterales en el Eje 2 y 1 MCR1.

### Comparativa con el EJE 1 y EJE 2 laterales MCR2.

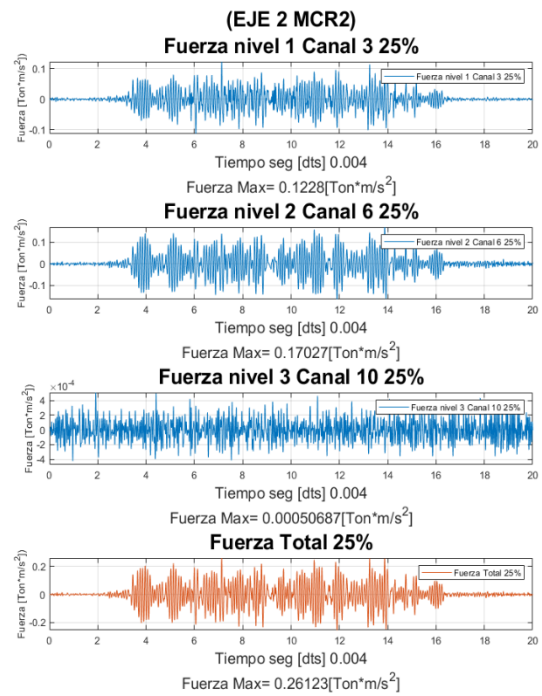
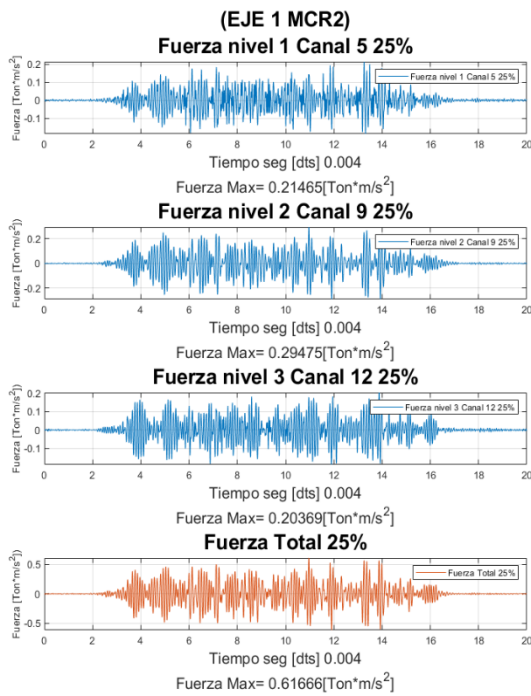


Figura 3.40 Gráfica de Fuerzas 25% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

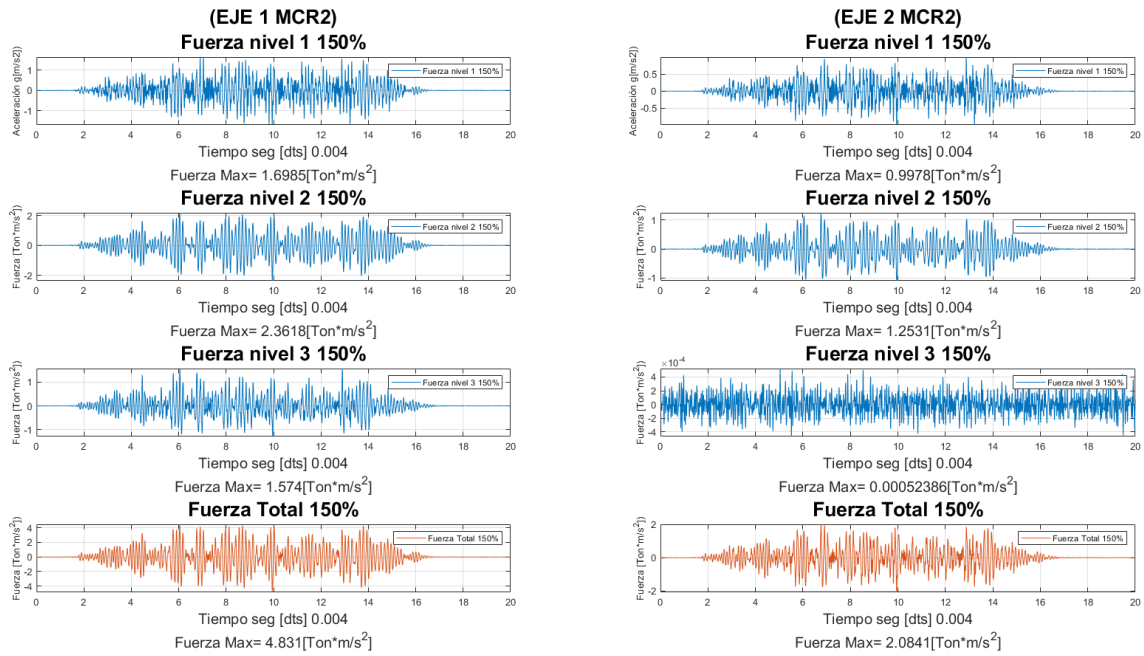


Figura 3.41 Gráfica de Fuerzas 150% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

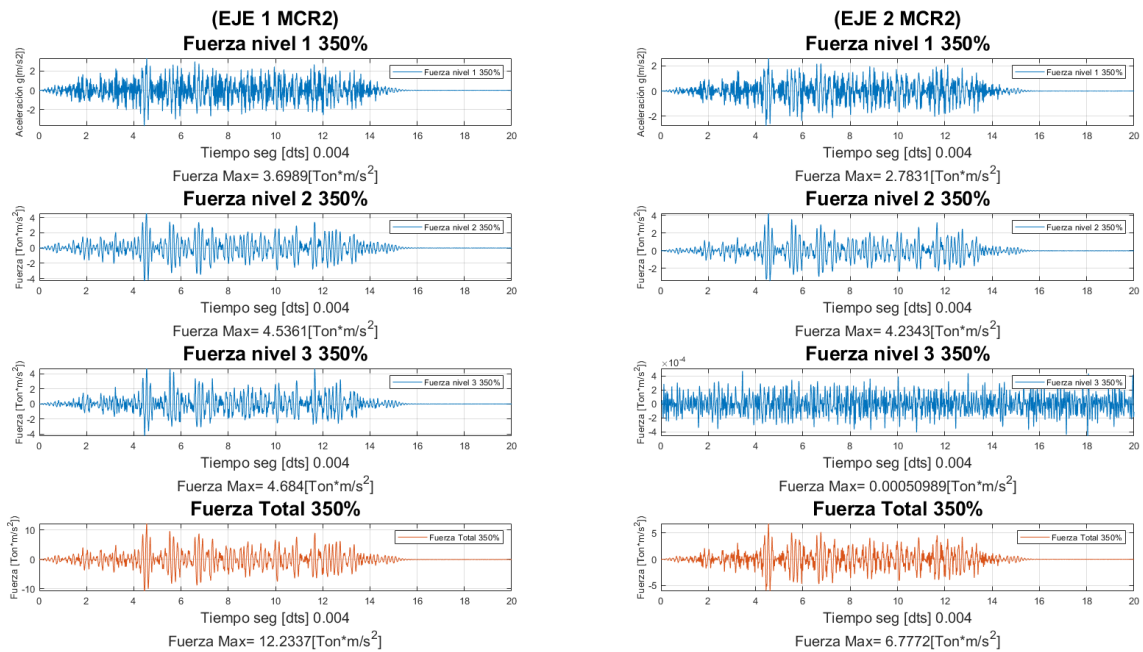


Figura 3.42 Gráfica de Fuerzas 350% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

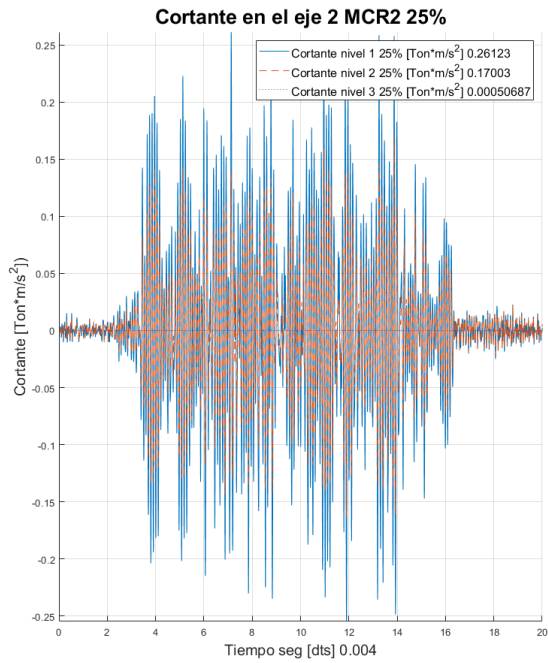
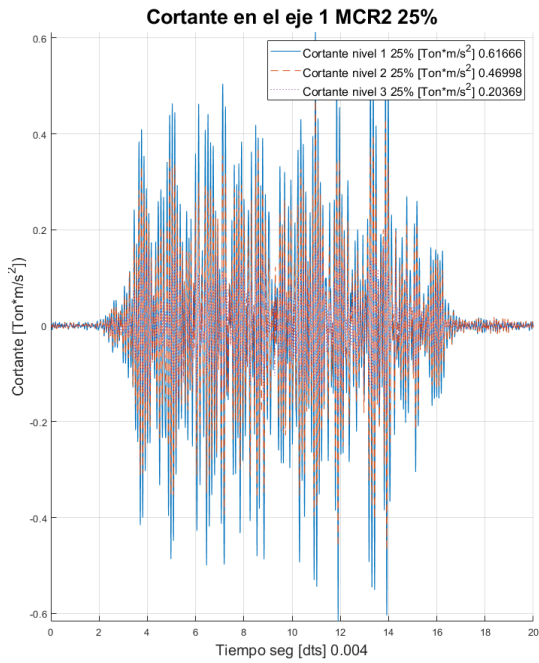


Figura 3.43 Gráfica de Cortante 25% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

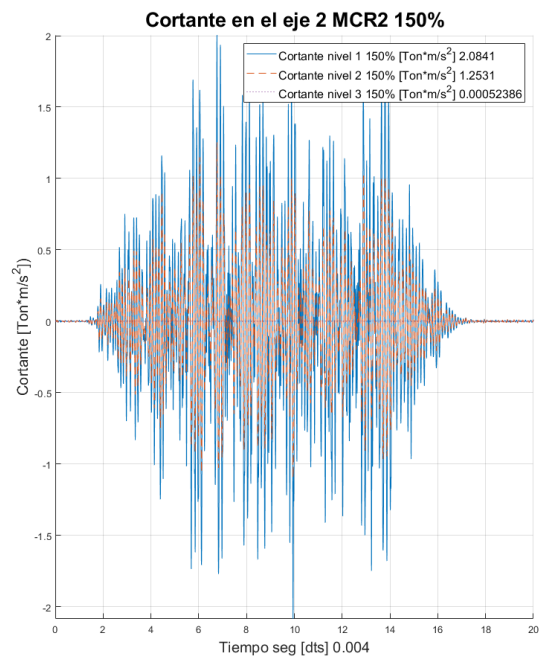
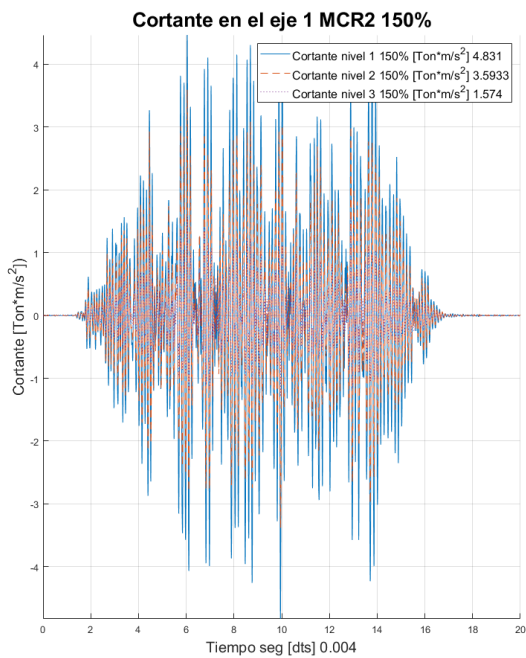


Figura 3.44 Gráfica de Cortante 150% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

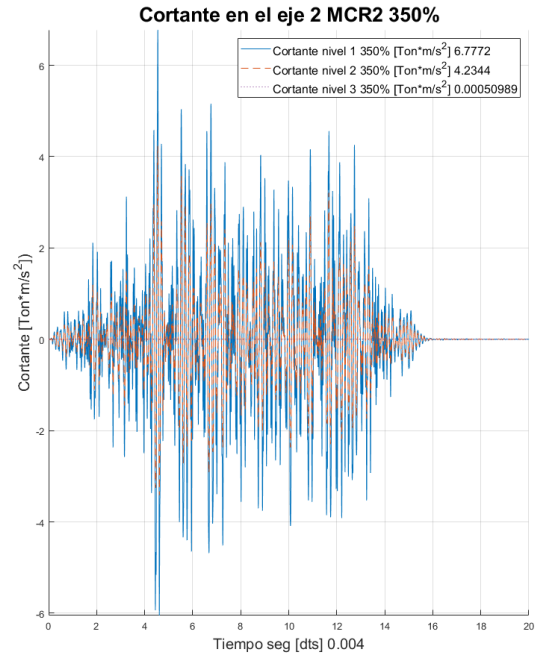
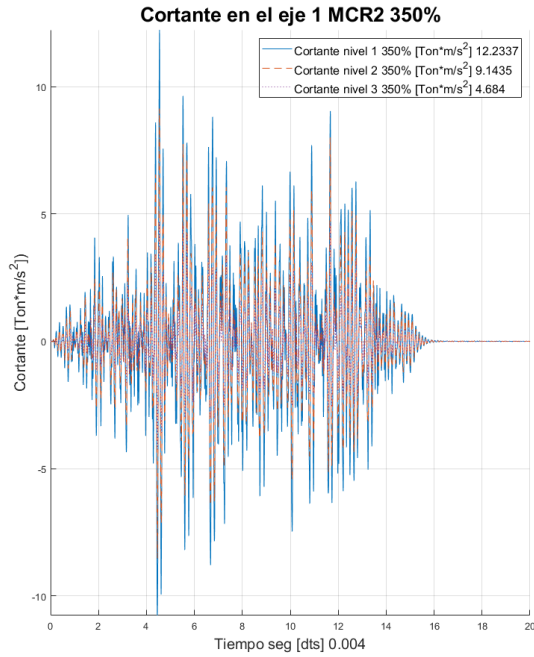


Figura 3.45 Gráfica de Cortante 350% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

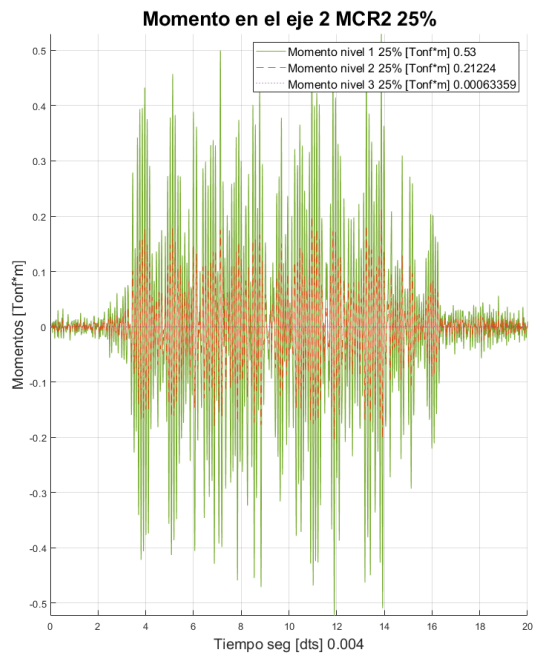
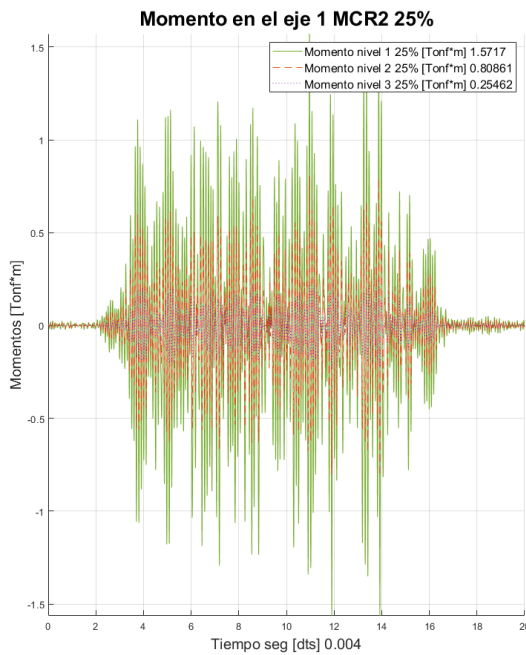


Figura 3.46 Gráfica de Momento 25% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

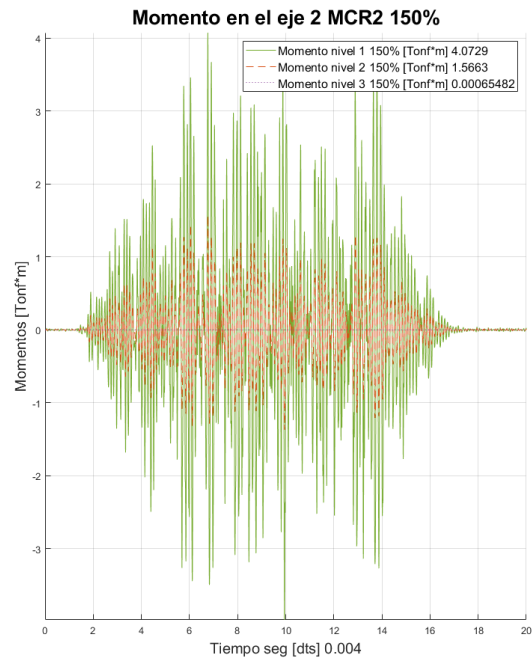
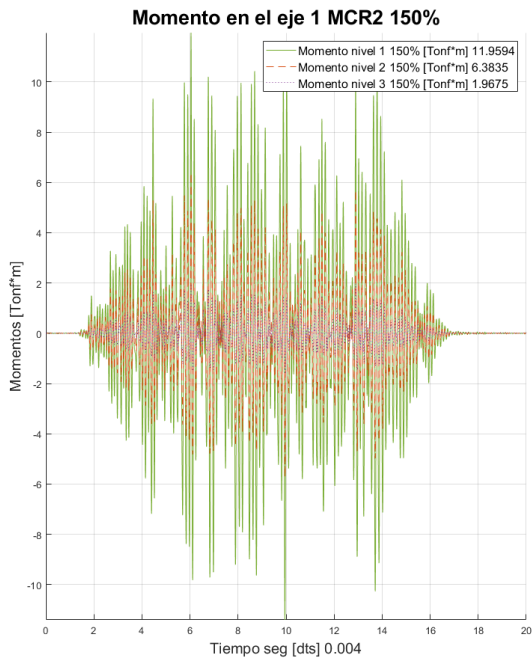


Figura 3.47 Gráfica de Momento 150% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

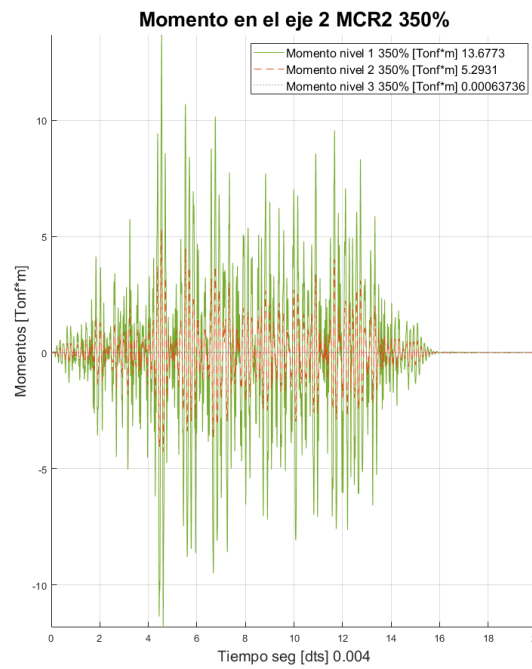
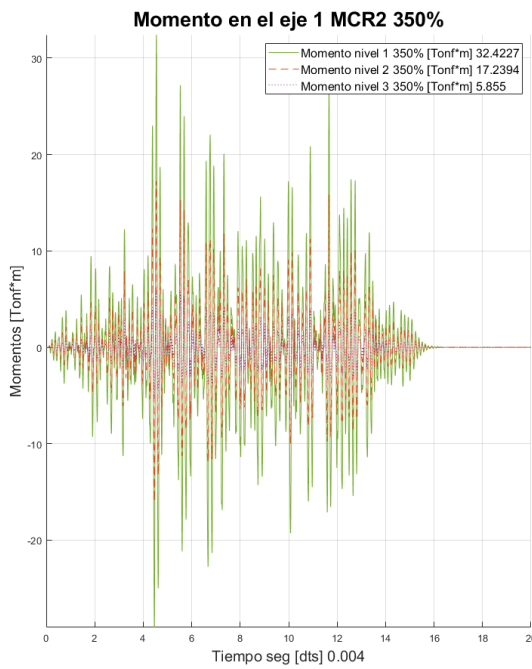


Figura 3.48 Gráfica de Momento 350% laterales en el Eje 2 y 1 MCR2.

### 3.5 Análisis de los desplazamientos experimentales y distorsiones de entrepiso

Habiendo realizado la calibración de los datos de desplazamientos explicados en la sección anterior, ya podemos presentar las gráficas de desplazamiento corregidas y depuradas para su interpretación.

Por medio de los desplazamientos obtenidos se consiguieron las distorsiones de los modelos, para su interpretación y verificación ante las normativas de la Ciudad de México.

#### 3.5.1 Obtención de los desplazamientos de los modelos.

Los canales seleccionados para su interpretación son los ejes 1 y 2, estos se encuentran en los extremos por lo que el desplazamiento es mayor.

*Tabla 3.9 Canales seleccionados para obtener desplazamientos MCR1 Y MCR2*

Prueba Sismo 100%		
Posición (m)	Eje 2	Eje 1
3.75	Canal 19	Canal 17
2.5	Canal 16	Canal 15
1.25	Canal 14	Canal 13
0	Canal 71	Canal 70

- Para obtener los datos de desplazamiento del nivel 1 en el eje 1 se restará el Canal 13-Canal 70
- .
- Para obtener los datos de desplazamiento del nivel 2 en el eje 1 se restará el Canal 15-Canal 13.
- Para obtener los datos de desplazamiento del nivel 3 en el eje 1 se restará el Canal 17-Canal 15.
- Para obtener los datos de desplazamiento Totales en el eje 1 se restará el Canal 17-Canal 70.

- Para obtener los datos de desplazamiento del nivel 1 en el eje 2 se restará el Canal 14-Canal 71.
- Para obtener los datos de desplazamiento del nivel 2 en el eje 2 se restará el Canal 16-Canal 14.
- Para obtener los datos de desplazamiento del nivel 3 en el eje 2 se restará el Canal 19-Canal 16.
- Para obtener los datos de desplazamiento Totales en el eje 1 se restará el Canal 19-Canal 71.

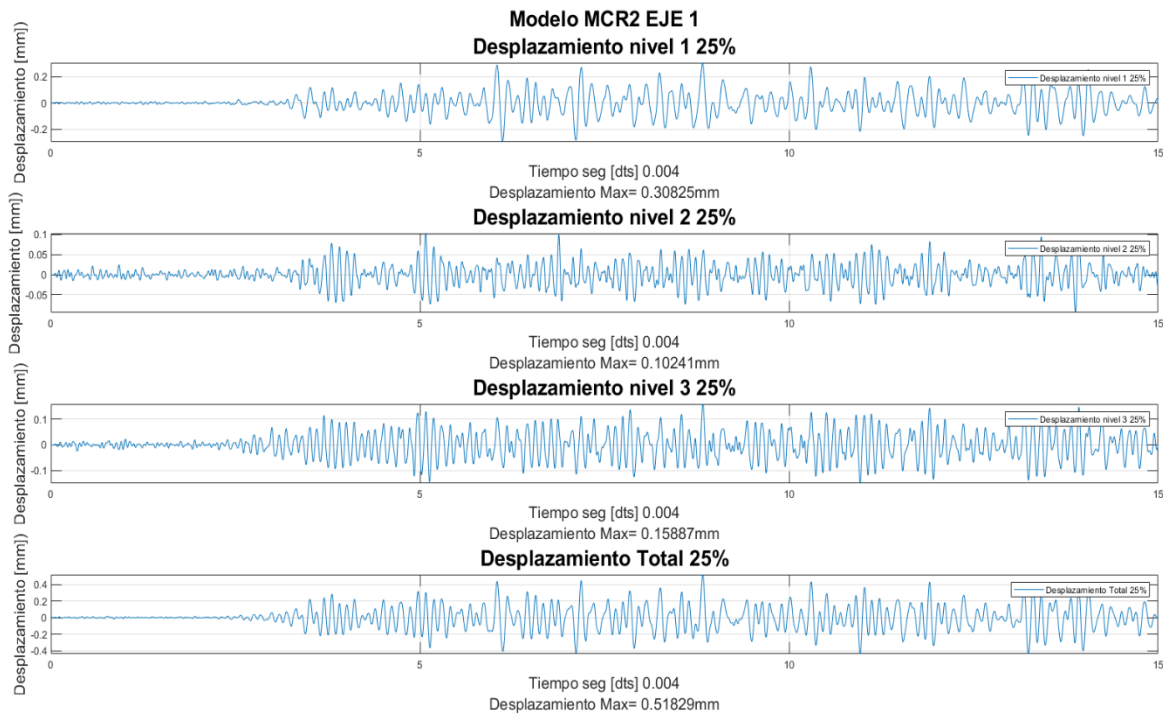


Figura 3.49 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR2 eje 1.



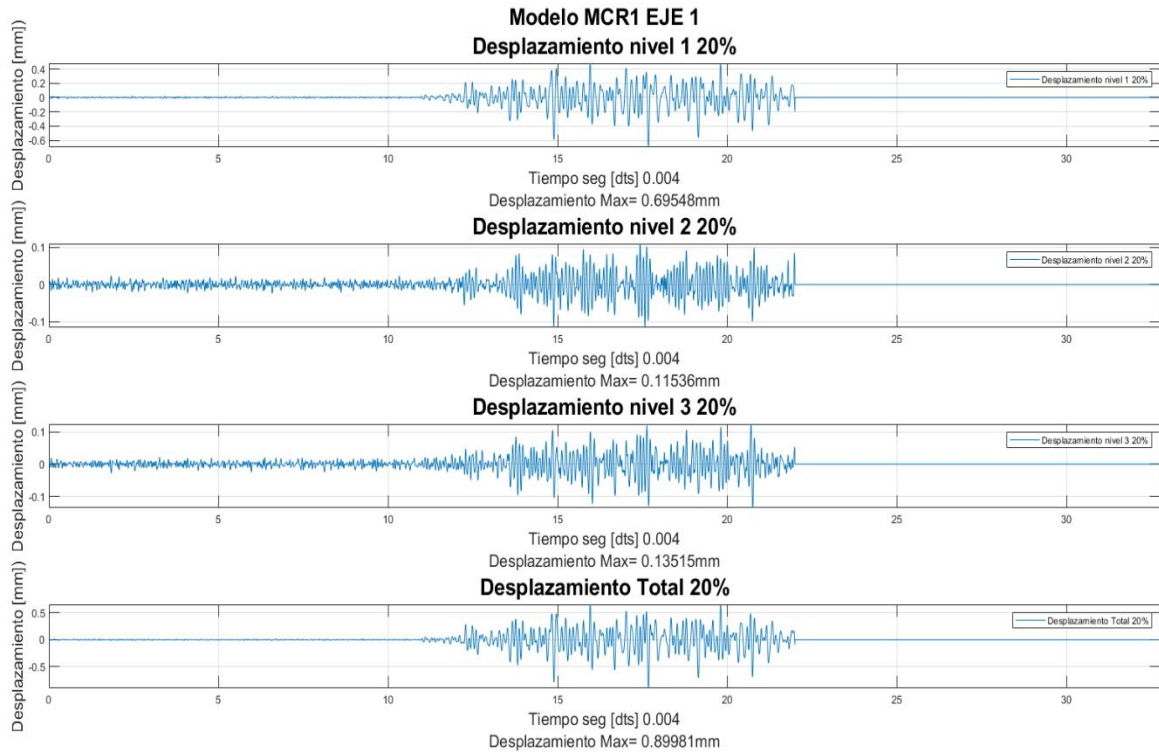


Figura 3.50 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR1 eje 1.

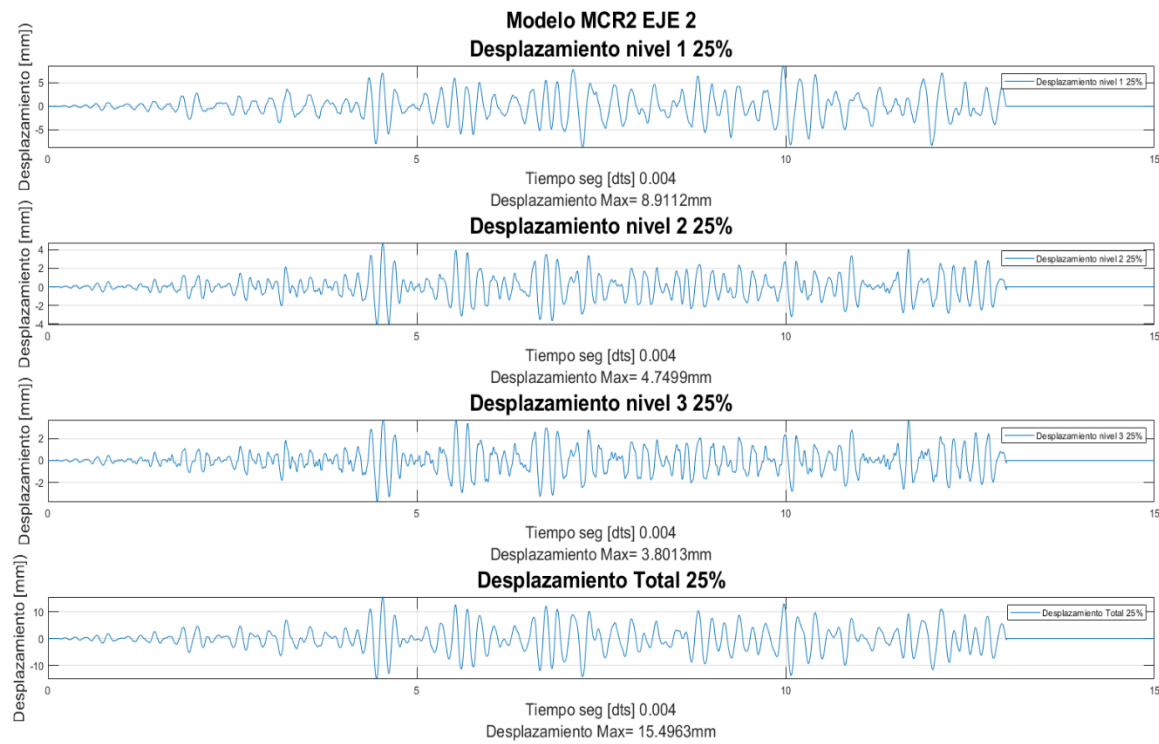


Figura 3.51 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR2 eje 2.

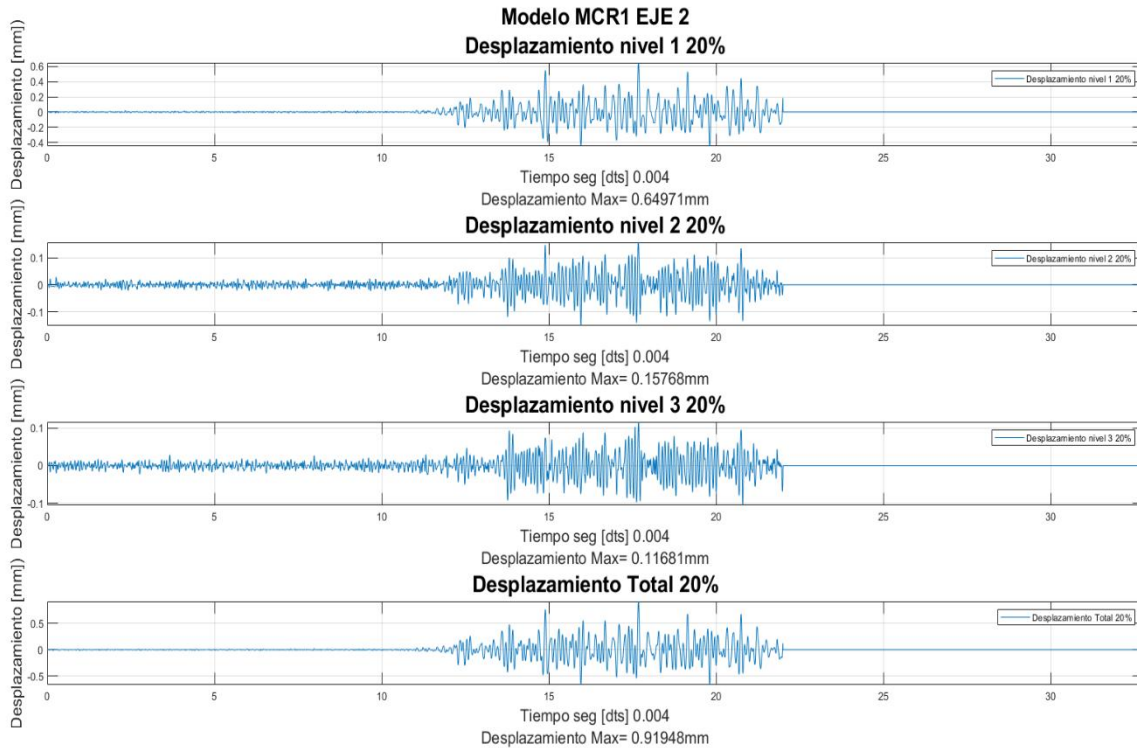


Figura 3.52 Gráfica de desplazamientos por nivel MCR1 eje 2.

### 3.5.2 Distorsión de entrepisos por desplazamientos

Al obtener los desplazamientos del modelo MCR1 y MCR2, se procede a obtener la distorsión de entrepisos del modelo por medio de la ecuación (1).

$$\epsilon = \frac{l2-l1}{h} \dots\dots\dots(2)$$

$\epsilon$ ; Distorsión.

$l2$ ; Desplazamiento superior.

$l1$ ; Desplazamiento inferior.

$h$ ; Altura.

- Para obtener los datos de distorsión del nivel 1 en el eje 1 se restará el Canal 13-Canal 70/la distancia entre canales.
- Para obtener los datos de distorsión del nivel 2 en el eje 1 se restará el Canal 15-Canal 13/la distancia entre canales.

- Para obtener los datos de distorsión del nivel 3 en el eje 1 se restará el Canal 17-Canal 15/la distancia entre canales.
- Para obtener los datos de distorsión Total en el eje 1 se restará el Canal 17- Canal 70/la distancia entre canales.
- Para obtener los datos de distorsión del nivel 1 en el eje 2 se restará el Canal 14-Canal 71/la distancia entre canales.
- Para obtener los datos de distorsión del nivel 2 en el eje 2 se restará el Canal 16-Canal 14/la distancia entre canales.
- Para obtener los datos de distorsión del nivel 3 en el eje 2 se restará el Canal 19-Canal 16/la distancia entre canales.
- Para obtener los datos de distorsión Total en el eje 1 se restará el Canal 19- Canal 71/la distancia entre canales.

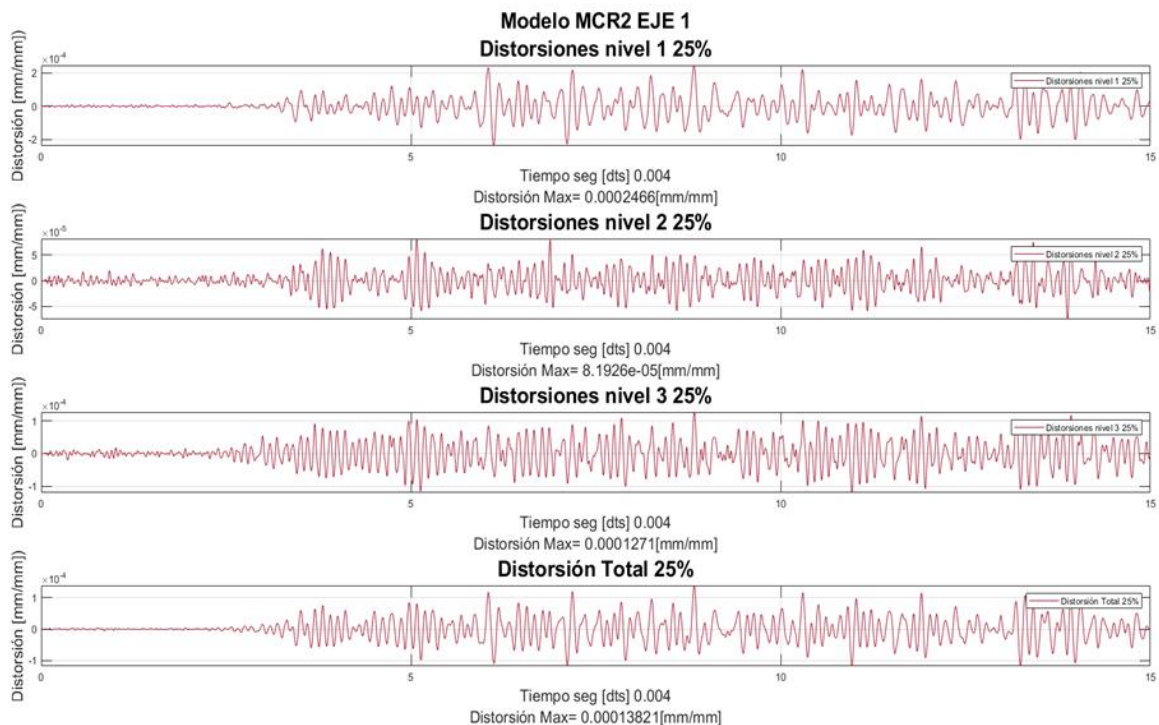


Figura 3.53 Gráfica de distorsiones por nivel MCR2 eje 1.

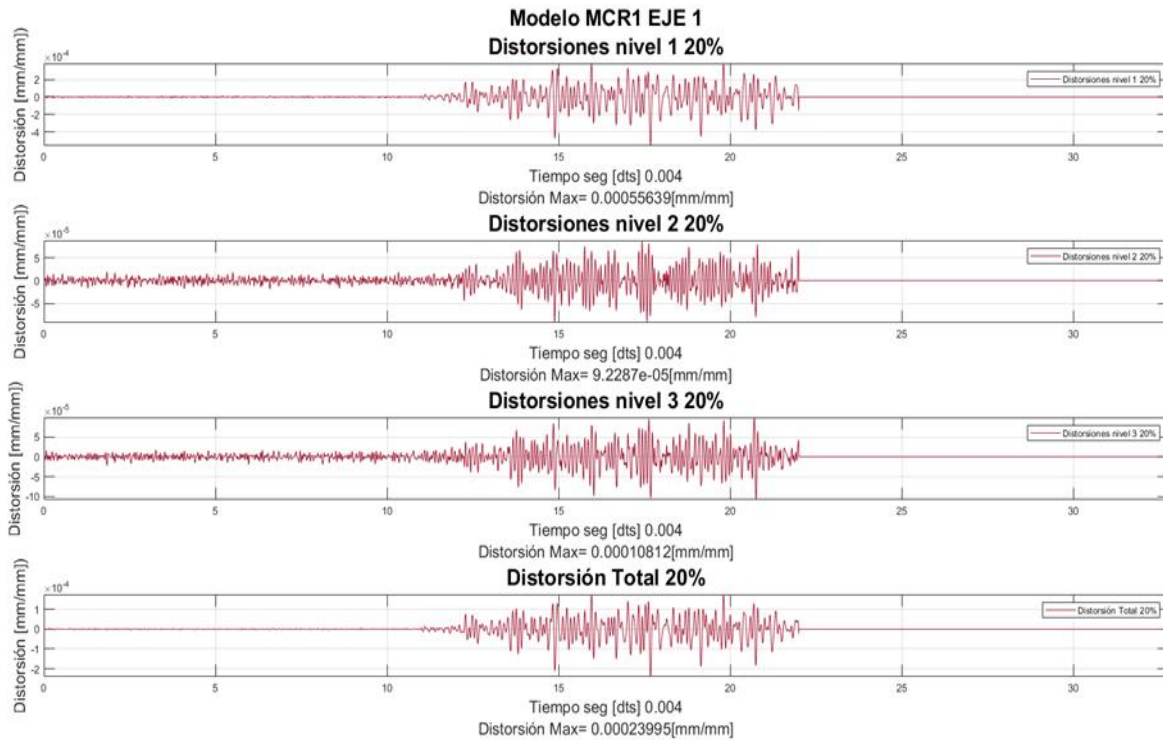


Figura 3.54 Gráfica de distorsiones por nivel MCR1 eje 1.

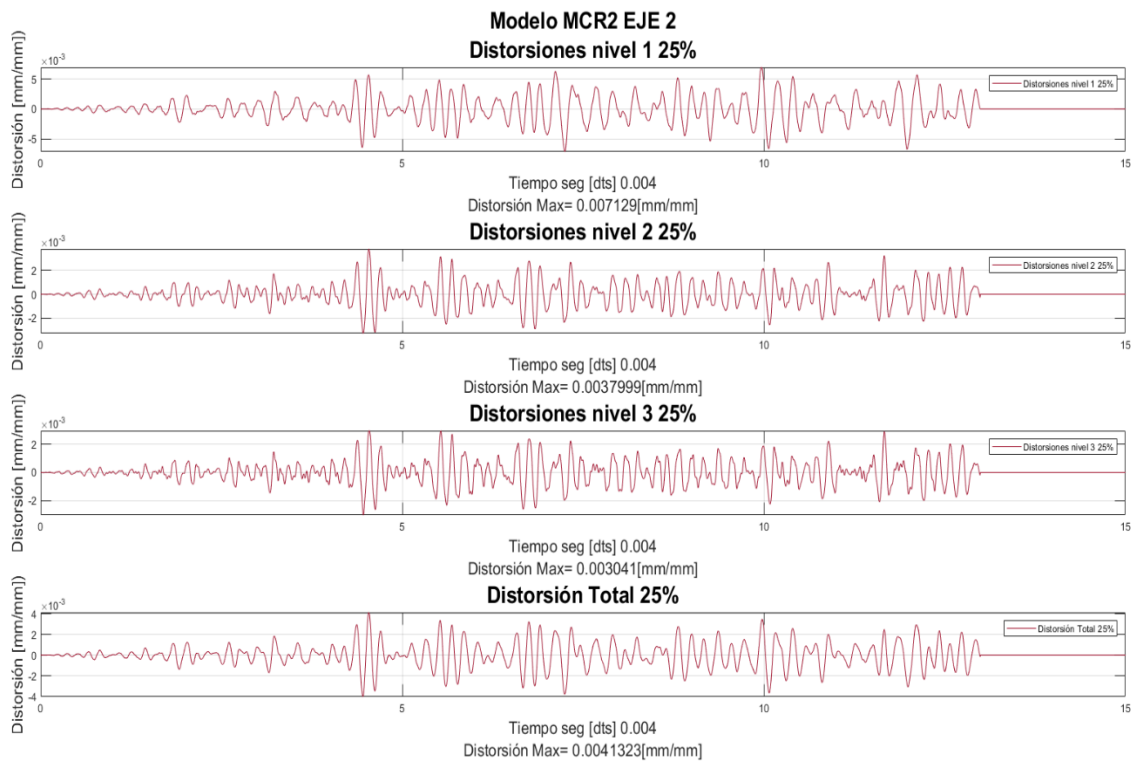


Figura 3.55 Gráfica de distorsiones por nivel MCR2 eje 2.

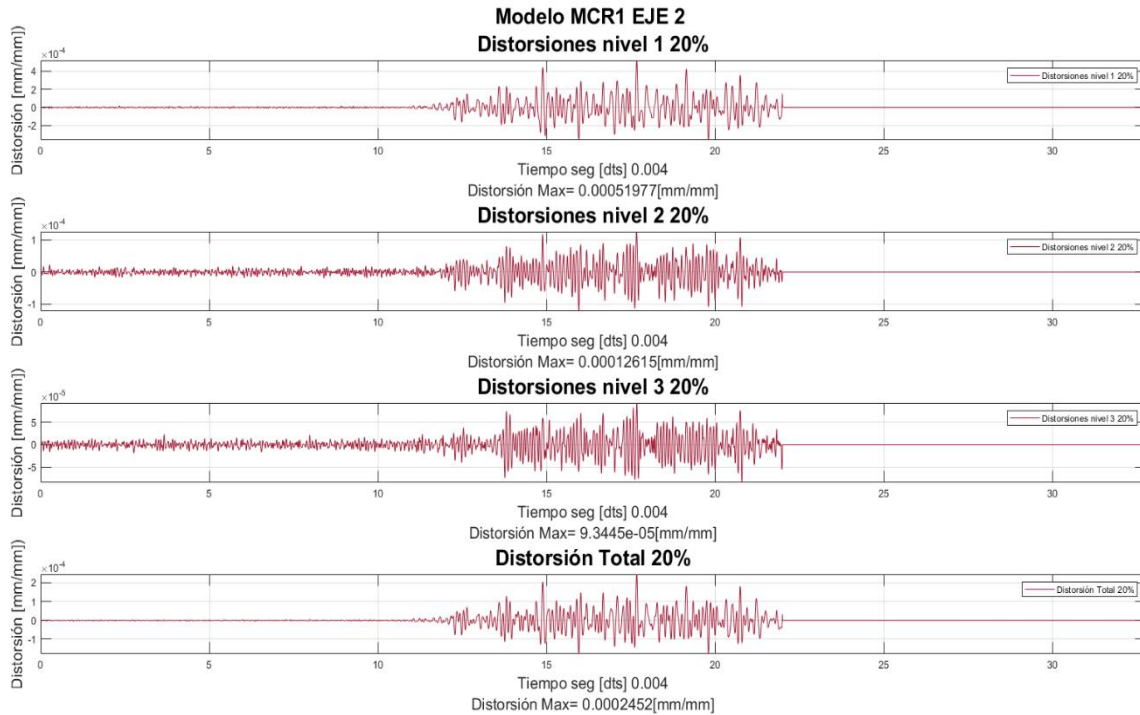


Figura 3.56 Gráfica de distorsiones por nivel MCR2 eje 1.

### 3.5.3 Análisis de distorsiones de entrepiso

Basándonos en el Manual de diseño NTC CDMX en la tabla “Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería” (Gaceta de la Ciudad de México, 2020).

Nos menciona los valores de distorsión máxima permisibles, dependiendo de la ductilidad y el tipo de estructura. (Figura 3.57)

Diseño de la NTC 2020:

- Modelo MCR1 “Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas” (0.005).
- Modelo MCR2 “Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal” (0.010). (Figura 3.57)

**Tabla 4.2.3 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería <sup>(1)</sup>**

Estructuración	Q	$\gamma_{max}$
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal <sup>(2)</sup>	2.0	0.010
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas	2.0	0.005
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas con refuerzo horizontal <sup>(2)</sup>	2.0	0.008
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas	1.5	0.004
Muros de carga de mampostería de piezas huecas reforzadas interiormente	1.5	0.006
Muros diafragma	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería confinada en combinación con otro sistema estructural de concreto o acero	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería de piezas huecas o macizas no confinados ni reforzados <sup>(5)</sup>	1.0	0.002
Mampostería de piedras naturales	1.0	0.002

<sup>(1)</sup> Los sistemas estructurales de mampostería deben cumplir los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. La presente tabla es válida para edificaciones de hasta 6 niveles. Para estructuras con un mayor número de niveles, se reducirá Q en 0.5, pero en ningún caso Q será menor que la unidad.

<sup>(2)</sup> Para que el sistema estructural sea considerado en esta categoría, todos los muros estructurales deben tener refuerzo horizontal.

*Figura 3.57 Tabla de límite de distorsión y ductilidad por estructuración (Gaceta de la Ciudad de México, 2020).*

Usando el Manual de diseño por sismo CFE 2015 (Comisión Federal de Electricidad, 2015).pag.57. Se encuentra los límites de distorsión por el sistema estructural seleccionado. (Figura 3.58)

SISTEMA ESTRUCTURAL	DISTORSIÓN
Marcos dúctiles de concreto reforzado (Q = 3 ó 4)	0.030
Marcos dúctiles de acero (Q = 3 ó 4)	0.030
Marcos de acero o concreto con ductilidad limitada (Q = 1 ó 2)	0.015
Losas planas sin muros o contravientos	0.015
Marcos de acero con contravientos excéntricos	0.020
Marcos de acero o concreto con contravientos concéntricos	0.015
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto (Q= 3)	0.015
Muros combinados con marcos de concreto con ductilidad limitada(Q = 1 ó 2)	0.010
Muros diafragma	0.006
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla	0.004
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla o mampostería combinada y confinada.	0.003
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior o muros de mampostería confinada de bloques huecos de concreto	0.002
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	0.0015

*Figura 3.58 Tabla de límite de distorsión por sistema estructural. (Comisión Federal de Electricidad, 2015).*

Sistema estructural seleccionado para la revisión por medio del manual de Diseño de la CFE:

- Modelo MCR1 “muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas” (0.003).
- Modelo MCR2 “muro de mampostería de piezas macizas con refuerzo de malla y horizontal” (0.004).

Analizando el modelo MCR1 a través de las distorsiones y desplazamientos de las Tablas 3.10, 3.11 y 3.12. Véase anexo 4 para más información de las gráficas.

Se observa que el comportamiento del eje 1 y del eje 2 tiene variaciones datos, pero el de mayor afectación es el eje 1, esto se puede considerar debido a que en el eje 2 tiene una menor área bajando su resistencia a las afectaciones sísmicas.

Identificando que el modelo cumple con las normas NTC 2020 en distorsión por lo que no se acepta como medio de identificación y diagnóstico, al ser un modelo a escala de mampostería en medios controlados posiblemente la demanda sísmica lateral es menor que la capacidad del modelo para distribuirla.

Considerando lo anterior podemos observar que en la prueba de 280% no cumple con las normativas de CFE 2015, por lo que debería presentar daños en la estructura en el primer nivel y en el nivel de azotea. Esto se confirma por la experimentación realizada por los compañeros indicando que el modelo empezó fallar el modelo. (Gonzalez Parra, 2020).

Tabla 3.10 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR1 20% EJE1 Y EJE 2

Modelo MCR1 20%				
Eje 1			Ymax NTC 2020	Ymax CFE 2015
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.005	0.003
nivel 1	0.69548	0.00056	Cumple	Cumple
nivel 2	0.11536	0.00009	Cumple	Cumple
nivel 3	0.13515	0.00011	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	0.89980	0.00024	Cumple	Cumple
Modelo MCR1 20%				

Eje 2			Ymax NTC 2020	Ymax CFE 2015
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.005	0.003
<b>nivel 1</b>	0.64970	0.00052	Cumple	Cumple
<b>nivel 2</b>	0.15768	0.00013	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	0.11681	0.00009	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	0.91948	0.00025	Cumple	Cumple

Tabla 3.11 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR1 120% EJE1 Y EJE 2

Modelo MCR1 120%				
Eje 1			Ymax NTC 2020	Ymax CFE 2015
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.005	0.003
<b>nivel 1</b>	5.30780	0.00425	Cumple	No cumple
<b>nivel 2</b>	2.26620	0.00181	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	3.31530	0.00265	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	7.90950	0.00211	Cumple	Cumple
Modelo MCR1 120%				
Eje 2			Ymax NTC 2020	Ymax CFE 2015
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.005	0.003
<b>nivel 1</b>	5.33570	0.00427	Cumple	No cumple
<b>nivel 2</b>	1.67550	0.00134	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	1.32600	0.00106	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	7.76490	0.00207	Cumple	Cumple

Tabla 3.12 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR1 280% EJE1 Y EJE 2

Modelo MCR1 280%				
Eje 1			Ymax NTC 2020	Ymax CFE 2015
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.005	0.003
<b>nivel 1</b>	12.37060	0.00990	No cumple	No cumple
<b>nivel 2</b>	3.28720	0.00263	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	2.95030	0.00236	Cumple	Cumple



<b>Total</b>	17.15560	0.00458	Cumple	No cumple
<b>Modelo MCR1 280%</b>				
<b>Eje 2</b>			<b>Ymax NTC 2020</b>	<b>Ymax CFE 2015</b>
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.005	0.003
<b>nivel 1</b>	12.30680	0.00985	No cumple	No cumple
<b>nivel 2</b>	3.28480	0.00263	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	5.41090	0.00433	Cumple	No cumple
<b>Total</b>	17.08050	0.00455	Cumple	No cumple

Analizando el modelo MCR2 a través de las distorsiones y desplazamientos de las Tablas 3.13, 3.14 y 3.15. Se observa un comportamiento similar al modelo original, superando las distorsiones máximas del Diseño por sismo CFE 2015, pero este no recibió daños considerables en la experimentación.

Se debe mencionar que el modelo MCR1(Original) obtuvo mayor desplazamiento y distorsión que el modelo MCR2 (Reforzado). Este comportamiento reafirma que el reforzamiento aplicado al modelo permitió resistir mayores aceleraciones para seguir con su funcionamiento.

Tabla 3.13 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR2 25% EJE1 Y EJE 2

<b>Modelo MCR2 Reforzado 25%</b>				
<b>Eje 1</b>			<b>Ymax NTC 2020</b>	<b>Ymax CFE 2015</b>
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.01	0.004
<b>nivel 1</b>	0.30825	0.00025	Cumple	Cumple
<b>nivel 2</b>	0.10241	0.00008	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	0.15887	0.00013	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	0.51829	0.00138	Cumple	Cumple
<b>Modelo MCR2 Reforzado 25%</b>				
<b>Eje 2</b>			<b>Ymax NTC 2020</b>	<b>Ymax CFE 2015</b>
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.01	0.004
<b>nivel 1</b>	0.88769	0.00071	Cumple	Cumple
<b>nivel 2</b>	0.12001	0.00010	Cumple	Cumple

<b>nivel 3</b>	0.12296	0.00010	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	0.93888	0.00025	Cumple	Cumple

Tabla 3.14 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR2 150% EJE1 Y EJE 2

<b>Modelo MCR2 Reforzado 150%</b>				
<b>Eje 1</b>			<b>Ymax NTC 2020</b>	<b>Ymax CFE 2015</b>
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.01	0.004
<b>nivel 1</b>	2.69350	0.00215	Cumple	Cumple
<b>nivel 2</b>	1.97870	0.00158	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	3.19120	0.00255	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	4.83140	0.00129	Cumple	Cumple
<b>Modelo MCR2 Reforzado 150%</b>				
<b>Eje 2</b>			<b>Ymax NTC 2020</b>	<b>Ymax CFE 2015</b>
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.01	0.004
<b>nivel 1</b>	3.18410	0.00255	Cumple	Cumple
<b>nivel 2</b>	1.53820	0.00123	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	1.31470	0.00105	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	5.48440	0.00146	Cumple	Cumple

Tabla 3.15 Tabla de distorsiones y desplazamientos máximos del modelo MCR2 350% EJE1 Y EJE 2

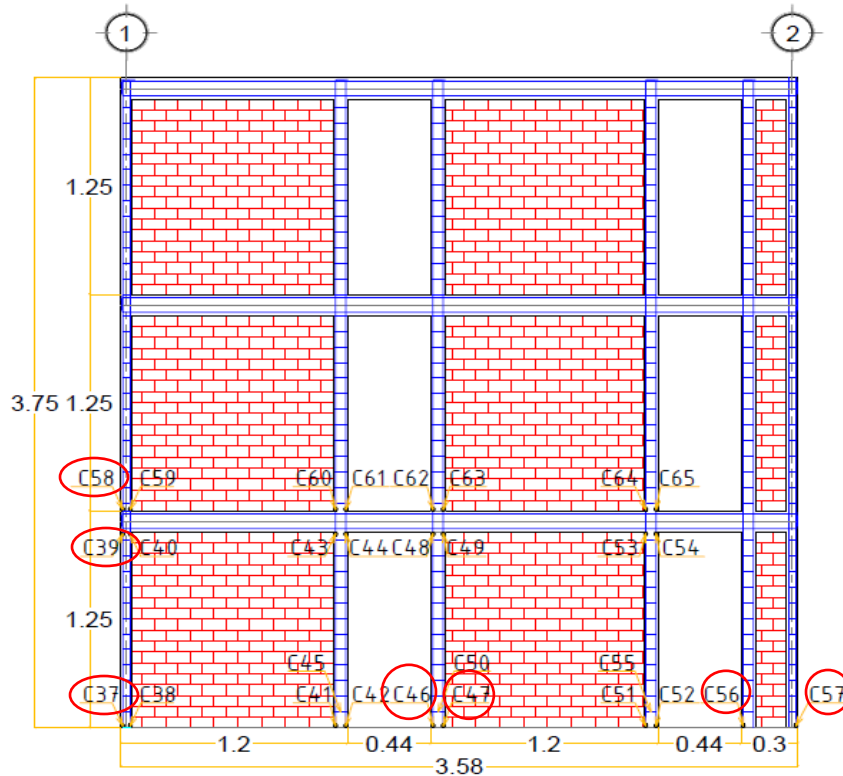
<b>Modelo MCR2 Reforzado 350%</b>				
<b>Eje 1</b>			<b>Ymax NTC 2020</b>	<b>Ymax CFE 2015</b>
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.01	0.004
<b>nivel 1</b>	6.51030	0.00521	Cumple	No cumple
<b>nivel 2</b>	8.29030	0.00663	Cumple	No cumple
<b>nivel 3</b>	16.48490	0.01319	No cumple	No cumple
<b>Total</b>	13.77960	0.00367	Cumple	Cumple
<b>Modelo MCR2 Reforzado 350%</b>				
<b>Eje 2</b>			<b>Ymax NTC 2020</b>	<b>Ymax CFE 2015</b>
Ubicación	Desplazamiento (mm)	Distorsión (mm/mm)	0.01	0.004

<b>nivel 1</b>	8.91120	0.00713	Cumple	No cumple
<b>nivel 2</b>	4.74990	0.00380	Cumple	Cumple
<b>nivel 3</b>	3.80130	0.00304	Cumple	Cumple
<b>Total</b>	15.49630	0.00413	Cumple	No cumple

### 3.6 Análisis de las deformaciones experimentales en elementos de confinamiento

Se decidió realizar 4 comparativas para entender el comportamiento del acero indebido en los castillos, esto debido a que varios transductores de deformación no obtuvieron datos correctos:

1. Comparativa entre los niveles el comportamiento del canal 37 que se encuentra en la base en el eje 1, contra los canales 39 debajo de la losa del primer nivel y el canal 58 se encuentra después de la losa. (Figura 3.59)
2. Observar el comportamiento de las esquinas por medio de los canales 37 eje 1 y 57 eje 2. (Figura 3.59)
3. Identificar las deformaciones de las varillas en cada lado del castillo correspondiente al canal 46 y el canal 47. (Figura 3.59)
4. Comparativa del comportamiento de dos castillos entre el muro de mampostería más pequeño ubicado en el eje 2, correspondiendo a los canales 56 y 57. (Figura 3.59)



**DISTRIBUCION DE INSTRUMENTACION INTERNA**  
 ESC. 1:100

*Figura 3.59 Imagen con los canales seleccionados para el análisis de deformación*

### Modelo MCR2 reforzado

Observado las gráficas correspondientes al canal 37 tiene una mayor deformación debido a que se encontraba en la base, por lo que tiende a fallar más rápidamente considerándose un punto crítico. El canal 39 y 58 mantuvieron un comportamiento similar, pero al aumentar las aceleraciones se puede notar que el canal 58 tiende a diferir esto debido a su ubicación del lecho superior de la losa (Figura 3.60, Figura 3.64 y Figura 3.68).

Analizando las esquinas del canal 37 y 57, el eje 1 tiene una menor deformación que el eje 2 esto debido a que en el canal 37 tiene una mayor área de contacto con la mampostería y tiene una mayor rigidez, pero al aumentar las aceleraciones su comportamiento tiende a ser más similar, posiblemente por una disminución en la rigidez por el daño ocasionado en el modelo (Figura 3.61, Figura 3.65 y Figura 3.69).

El castillo compuesto por el canal 46 y 47, mantuvieron su comportamiento similar al aumento de las aceleraciones, pero hubo ligeras variaciones en el canal 47 esto es interesante se encuentra en contacto con la mampostería. (Figura 3.63, Figura 3.66 y Figura 3.70).

Las gráficas de la comparativa de castillos entre muros nos indicaron que el canal 57 tuvo una mayor deformación que el canal 56, manteniendo la idea de que al tener un muro de mampostería colindante y encontrarse más cerca del centro tiende a tener menor movimiento, aunque con el incremento tiende a disminuir su rigidez (Figura 3.64, Figura 3.67 y Figura 3.71).

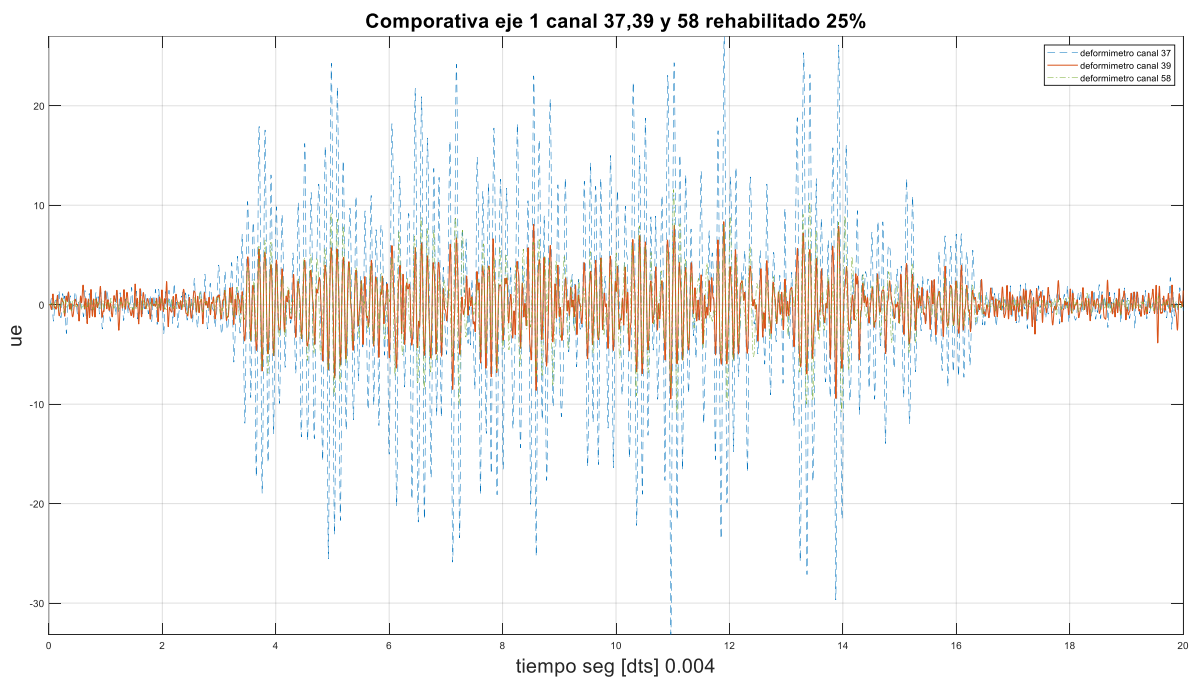


Figura 3.60 Gráfica 25% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles.

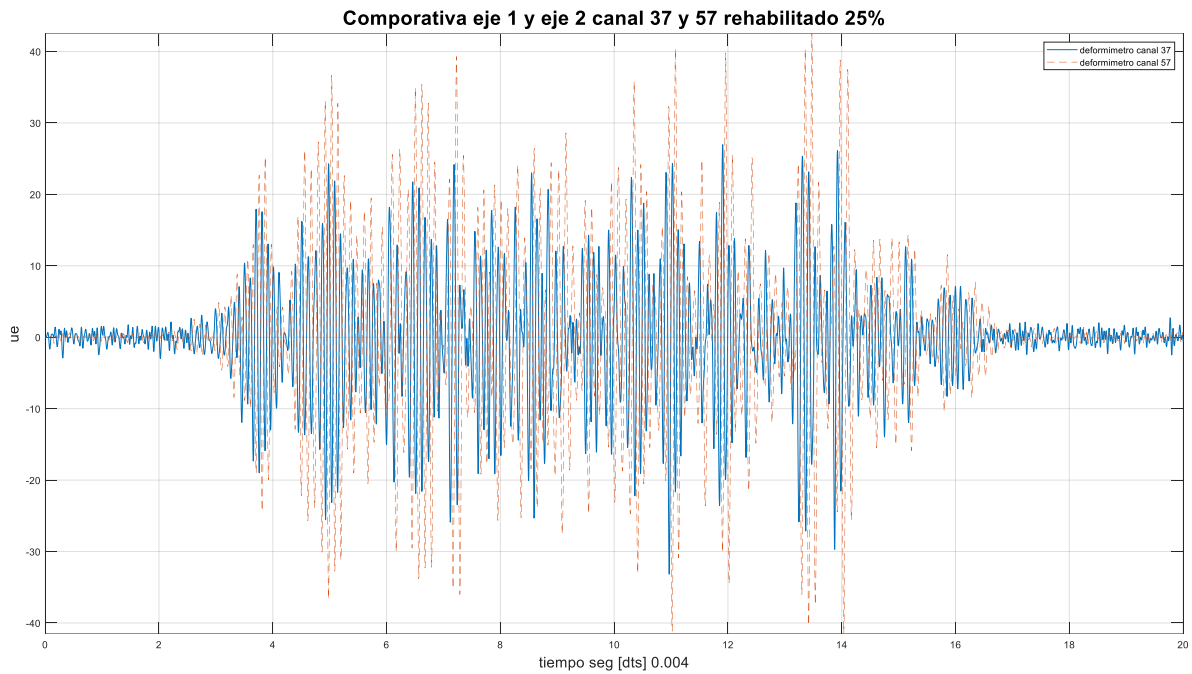


Figura 3.61 Gráfica 25% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.

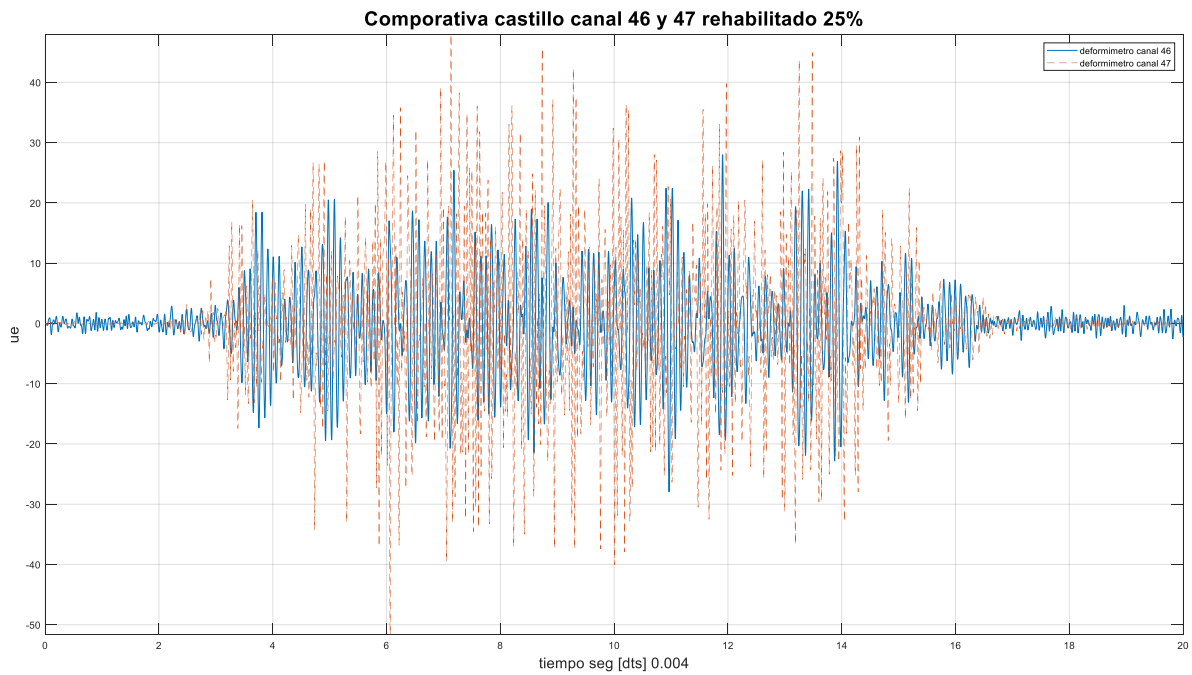


Figura 3.62 Gráfica 25% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo.

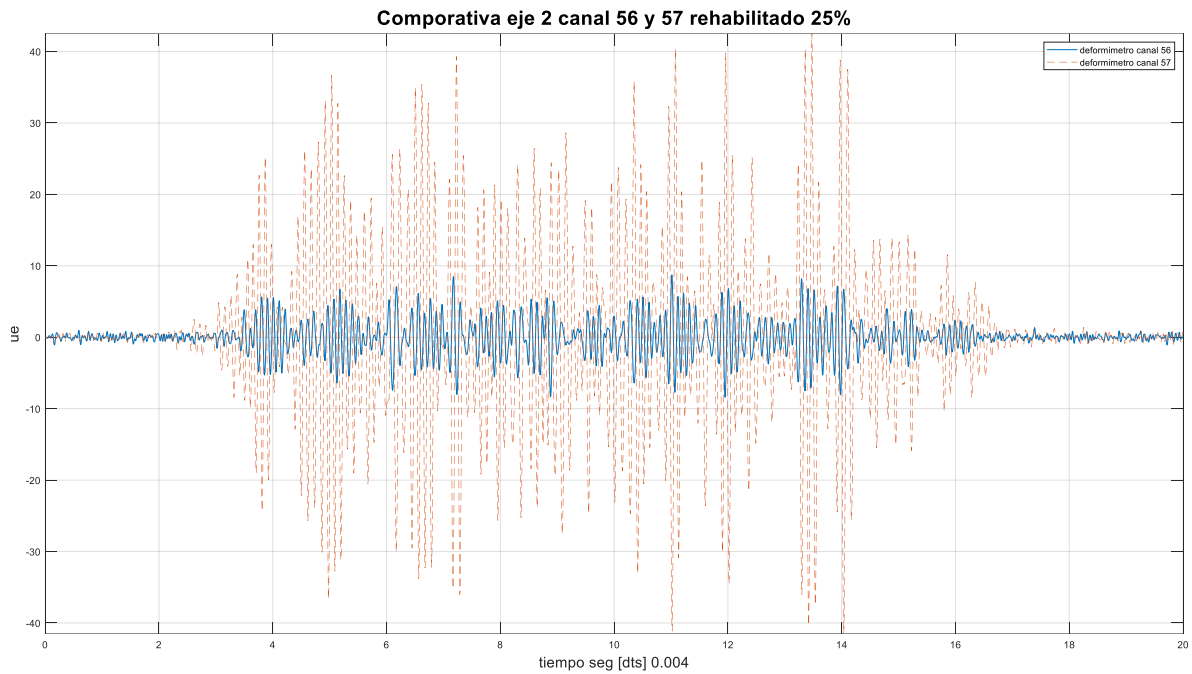


Figura 3.63 Grafica 25% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos.

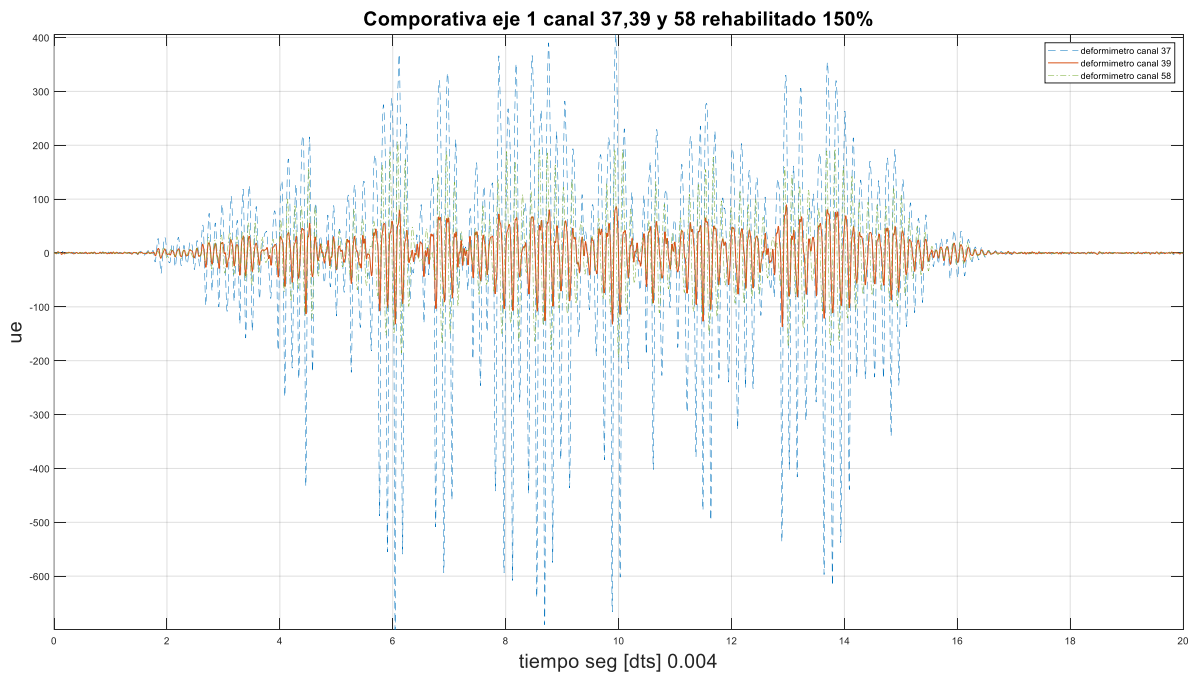
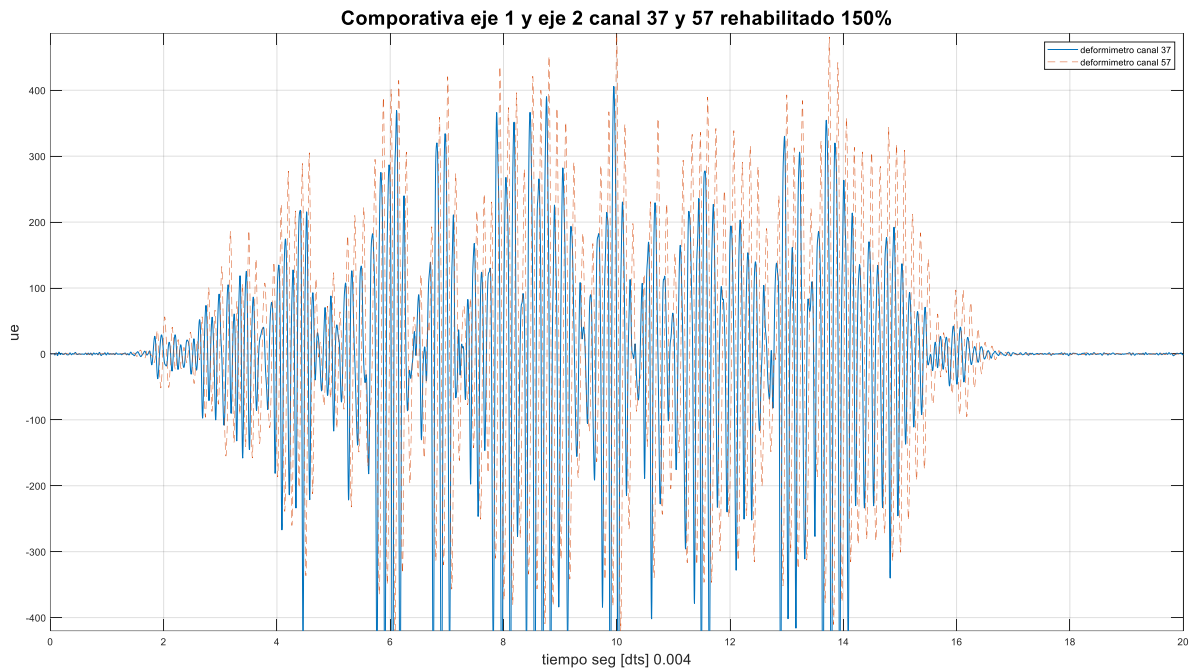
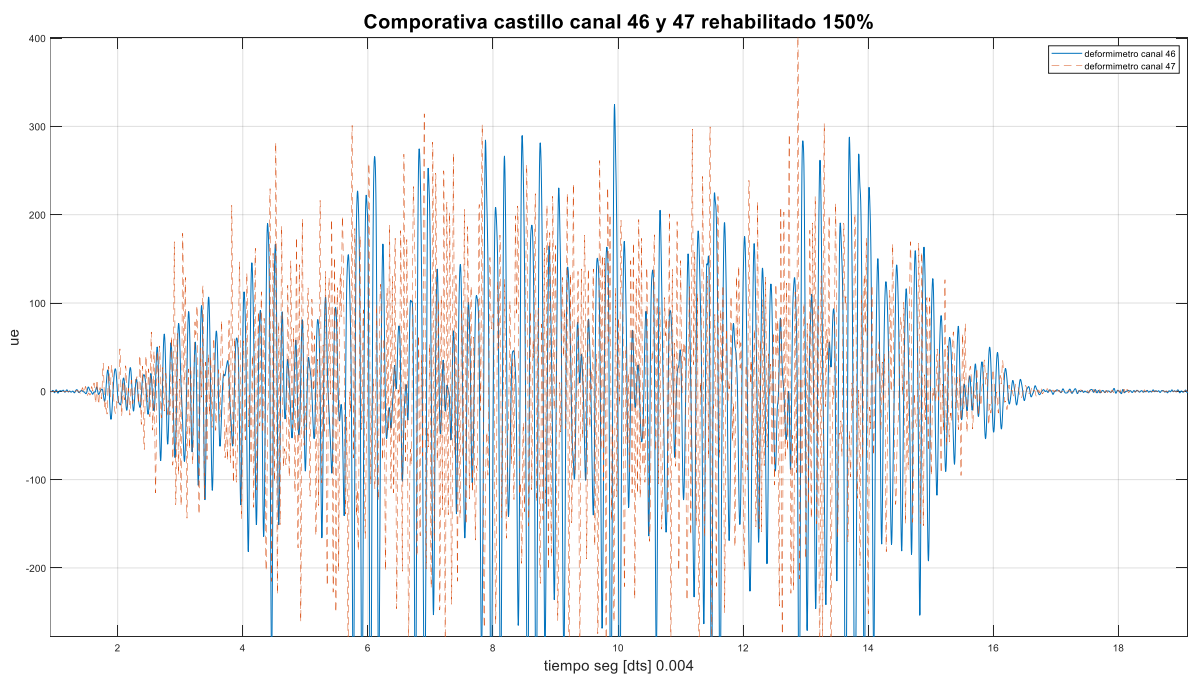


Figura 3.64 Gráfica 150% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles.

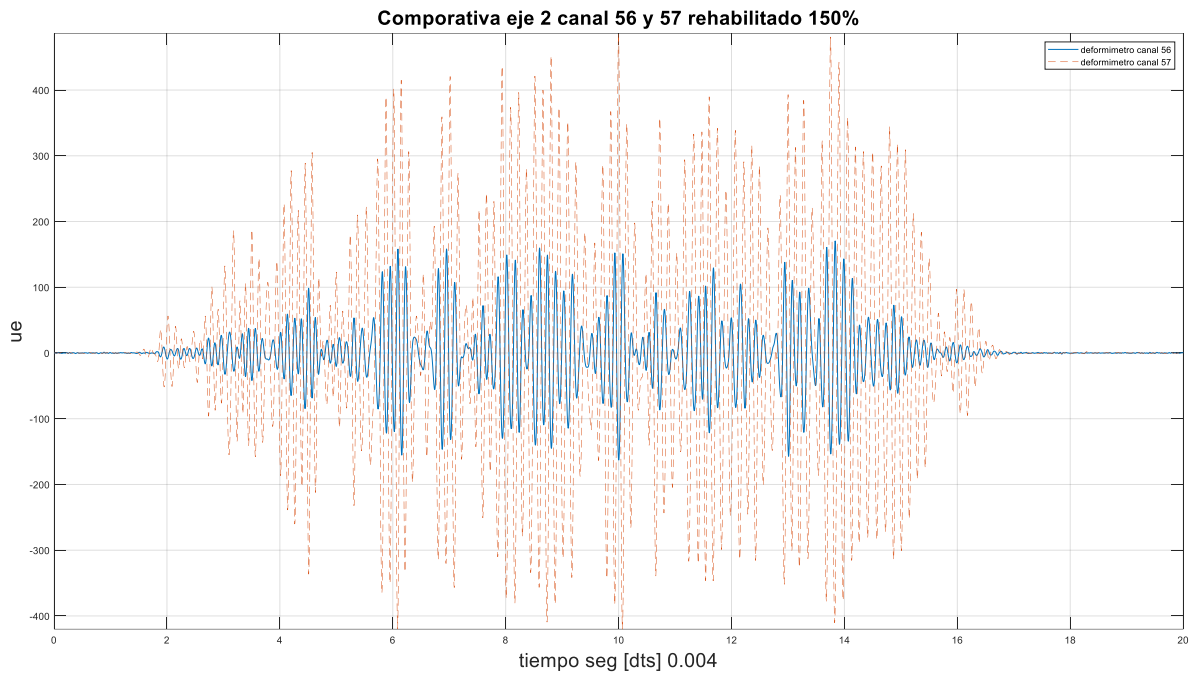


*Figura 3.65 Gráfica 150% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.*

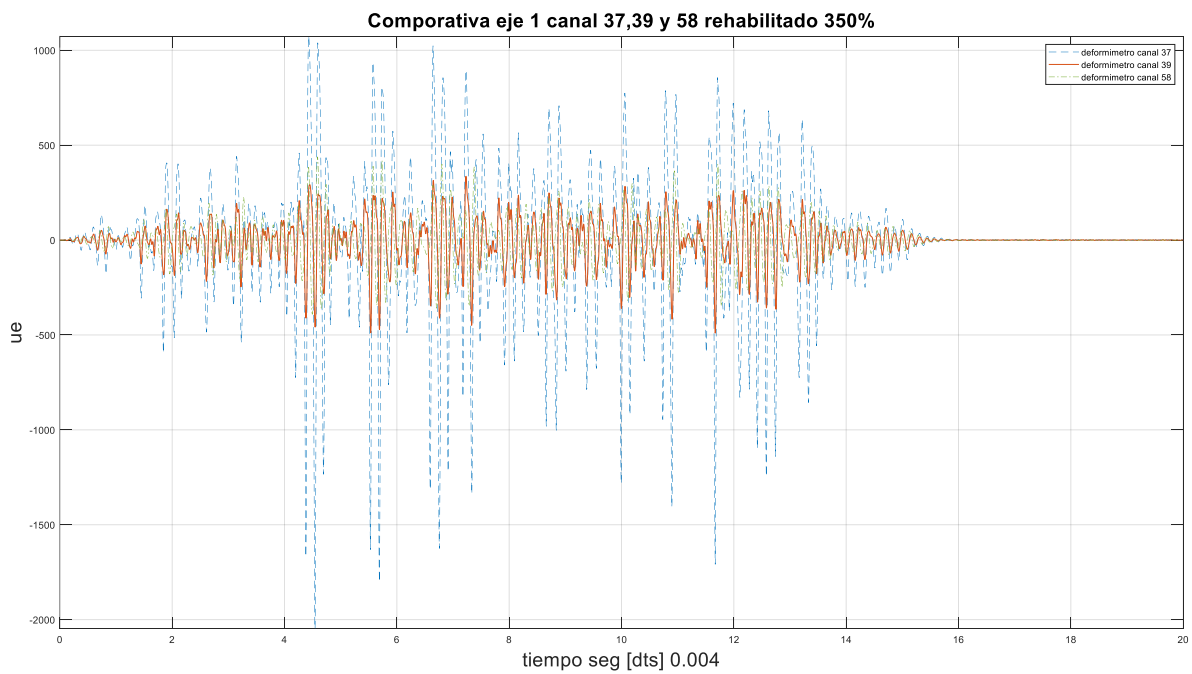


*Figura 3.66 Gráfica 150% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo.*





*Figura 3.67 Grafica 150% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos.*



*Figura 3.68 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles.*

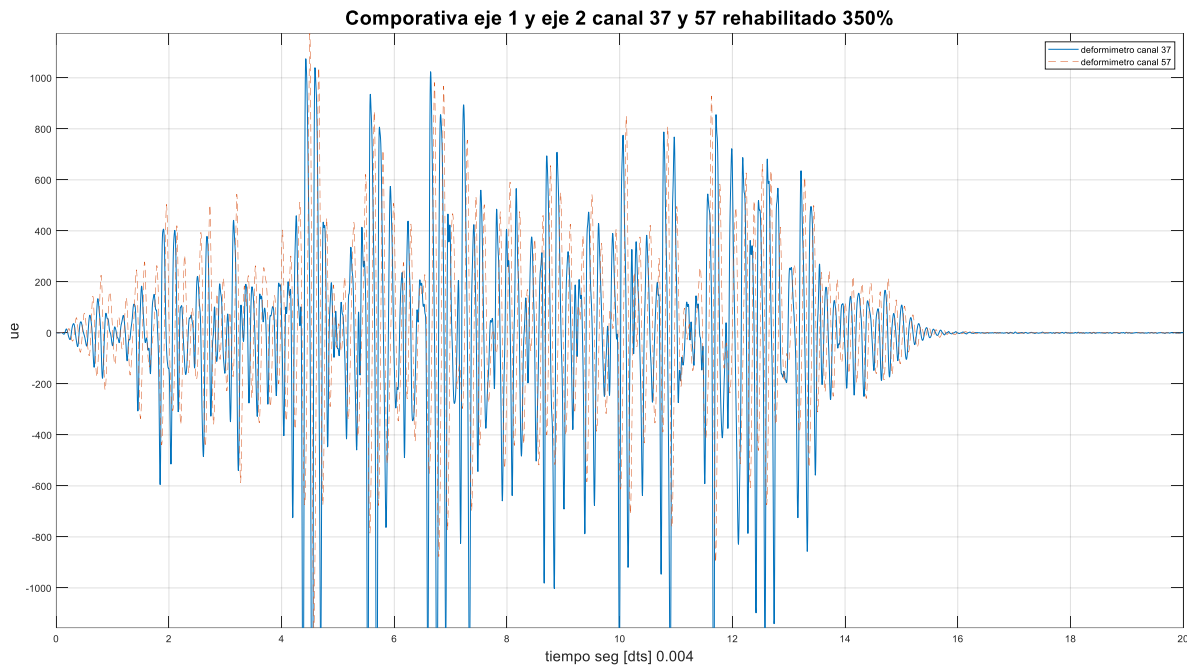


Figura 3.69 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.

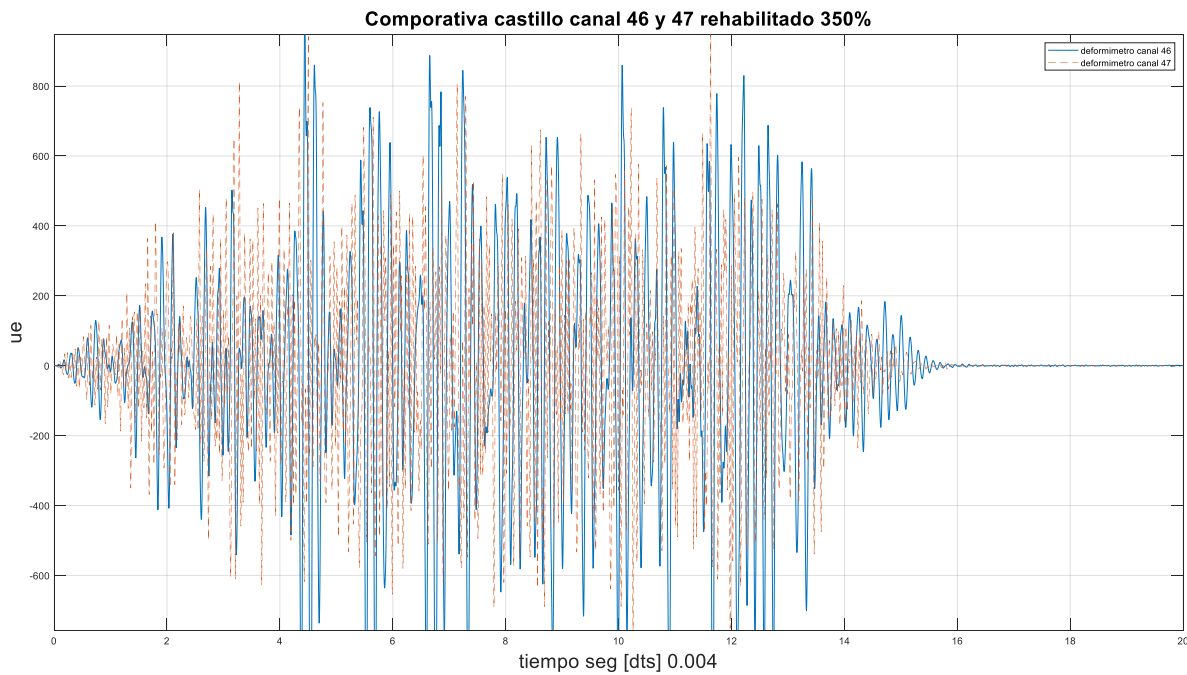


Figura 3.70 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo.

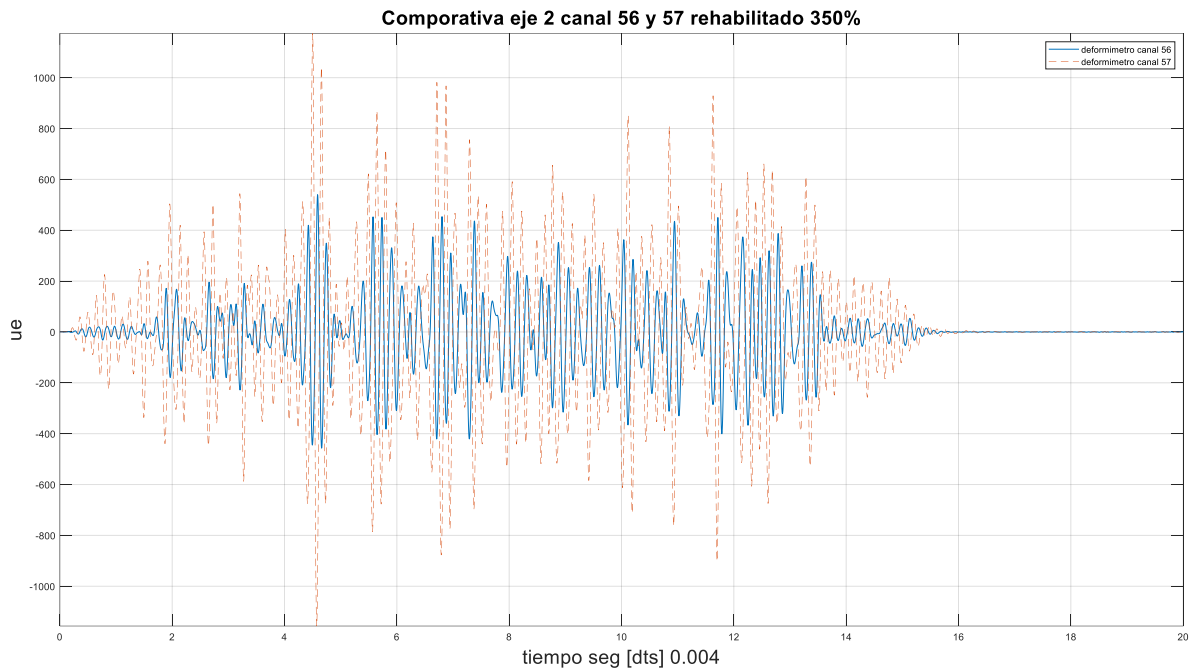


Figura 3.71 Gráfica 350% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos.

### Modelo MCR1 original

Mirando las gráficas correspondientes el modelo original tuvo un comportamiento similar con los canales 37 39 y 58, pero lo interesante es que en la prueba del 280% similar a la prueba del 120% esto indicando que pudo fluir el acero o dañarse por no incrementar su deformación (Figura 3.72, Figura 3.76 y Figura 3.80).

En las esquinas del canal 37 y 57, tendió a un comportamiento contrario al del modelo reforzando, teniendo una mayor deformación en el canal 37 hasta tener un comportamiento similar con el canal 57, posiblemente el castillo del canal 37 tuvo serios daños y al reforzarlo adquirió mayor resistencia a las deformaciones. (Figura 3.73, Figura 3.77 y Figura 3.81).

El castillo compuesto por el canal 46 y 47, mantuvieron su comportamiento similar al aumento de las aceleraciones, pero al final el canal 46 dejó de deformarse debido al daño y fluyó más el acero del canal 47 que tienen contacto directo con la mampostería. (Figura 3.74, Figura 3.78 y Figura 3.82).

Las gráficas de la comparativa de castillos entre muros nos indicaron que el canal 57 tuvo una mayor deformación que el canal 56, manteniendo la idea de que al tener un muro de mampostería colindante y encontrarse más cerca del centro tiende a tener menor movimiento, pero en el caso contrario del modelo reforzado al final disminuyó su deformación en la prueba del 280% indicando una posible falla (Figura 3.75, Figura 3.79 y Figura 3.83).

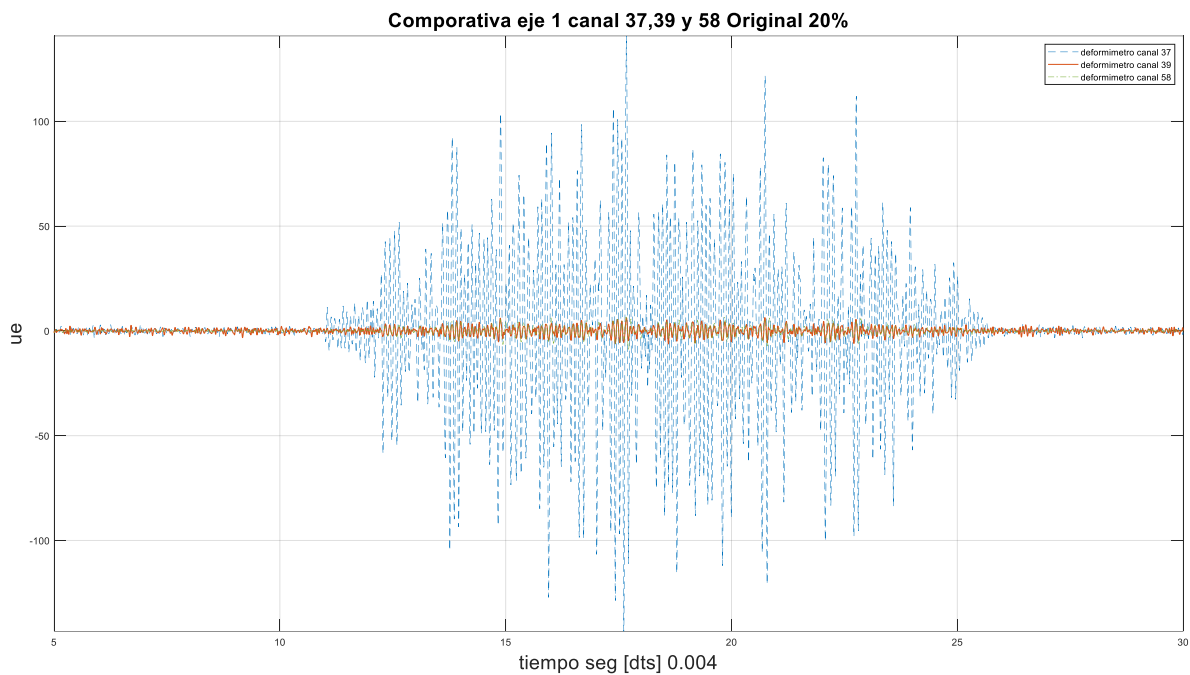


Figura 3.72 Gráfica 20% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles.

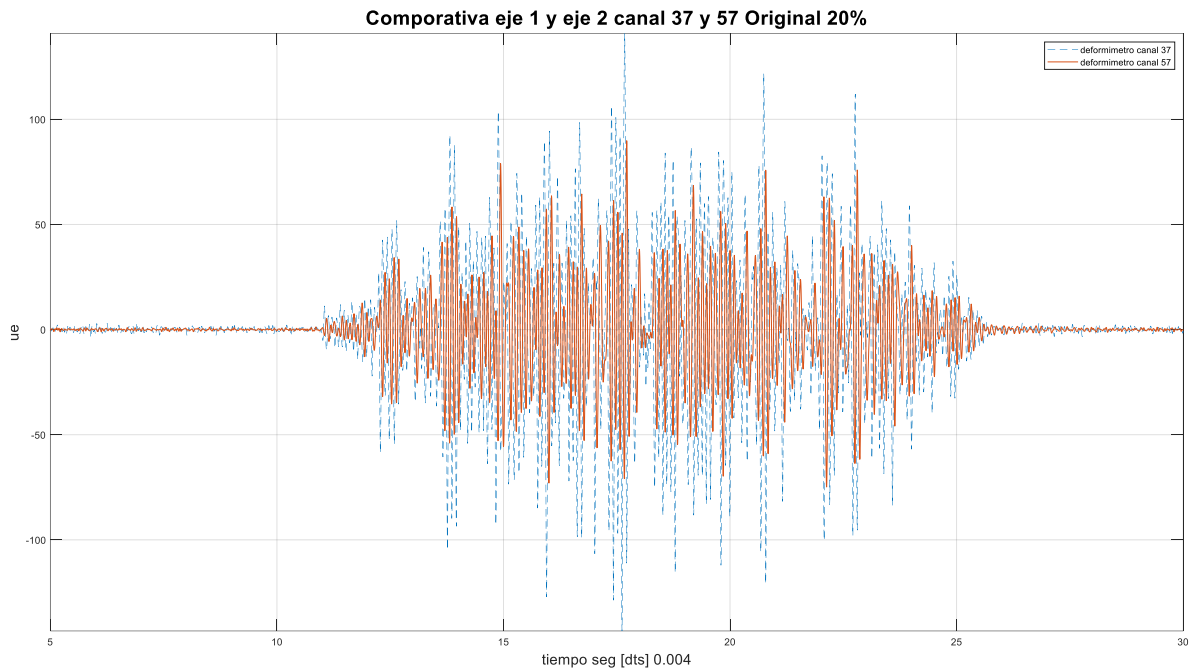


Figura 3.73 Gráfica 20% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.

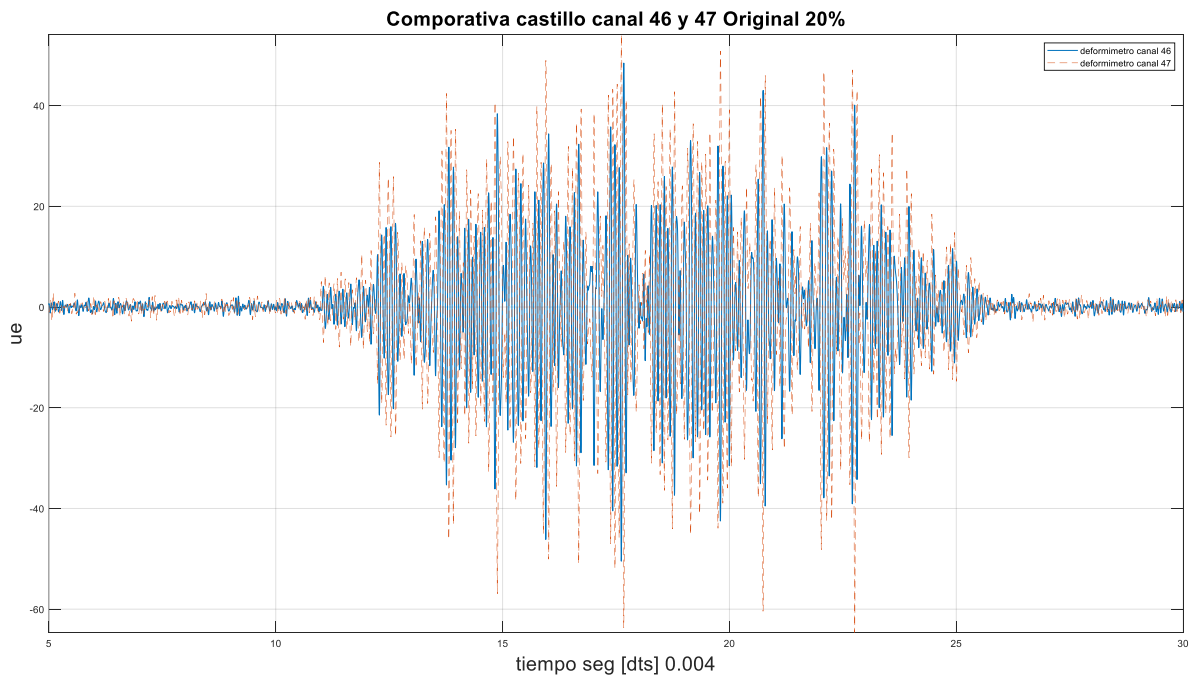


Figura 3.74 Gráfica 20% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo.

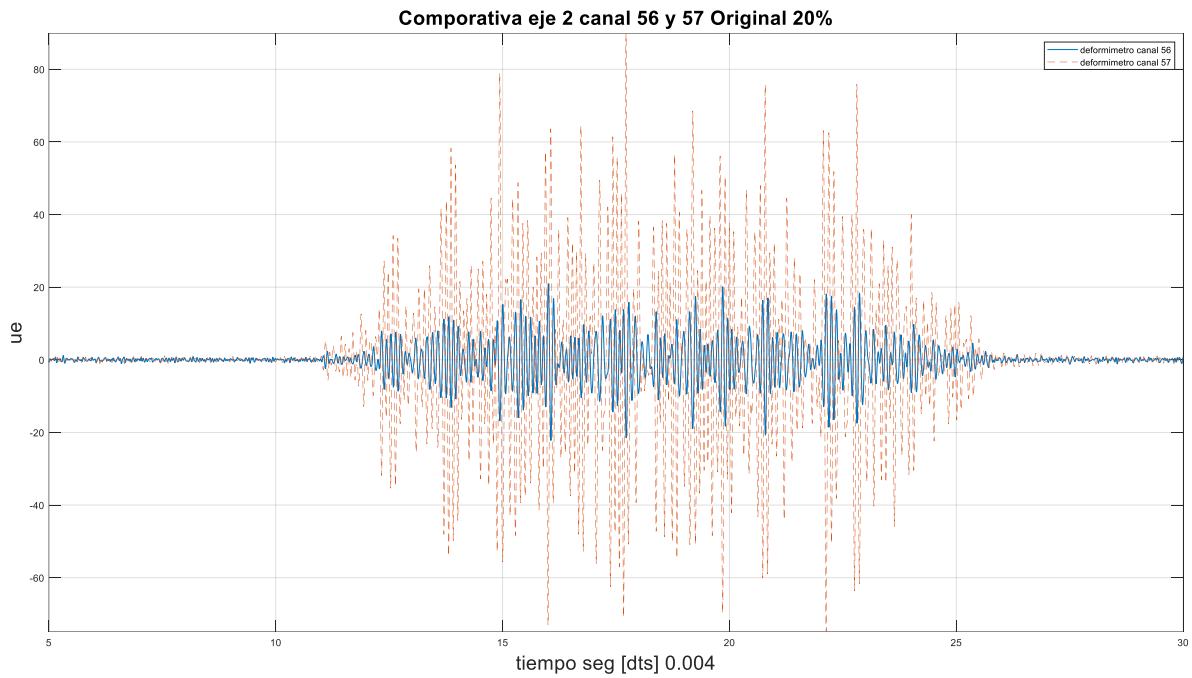


Figura 3.75 Grafica 20% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos.

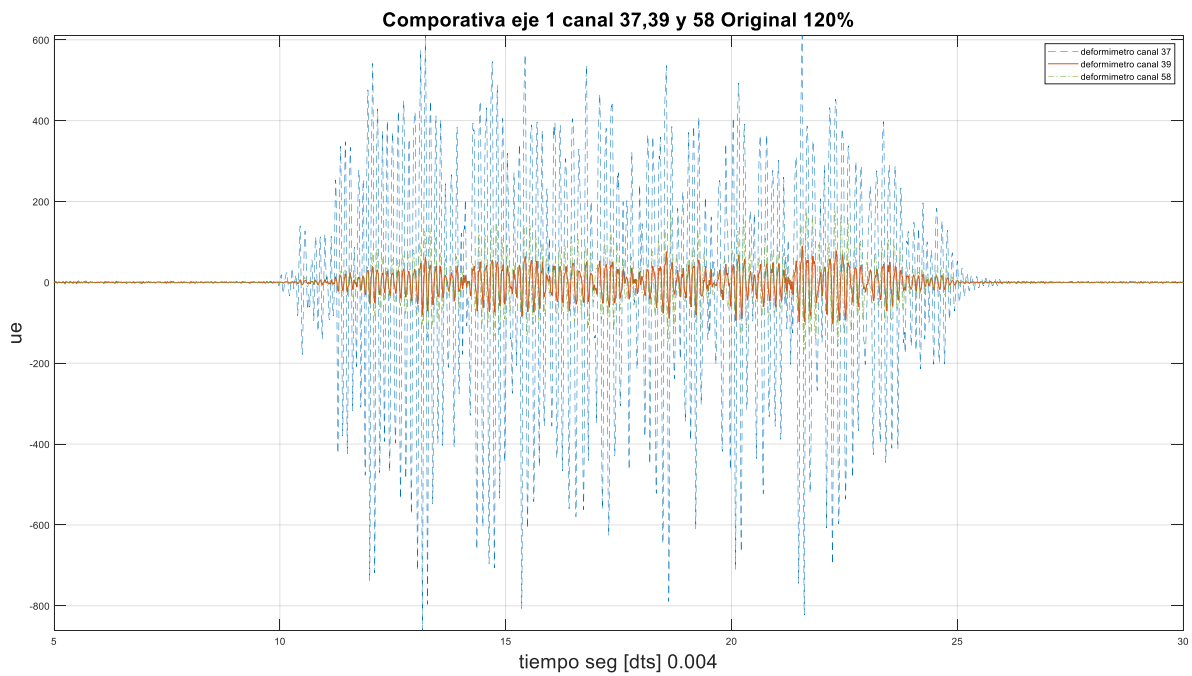


Figura 3.76 Gráfica 120% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles.

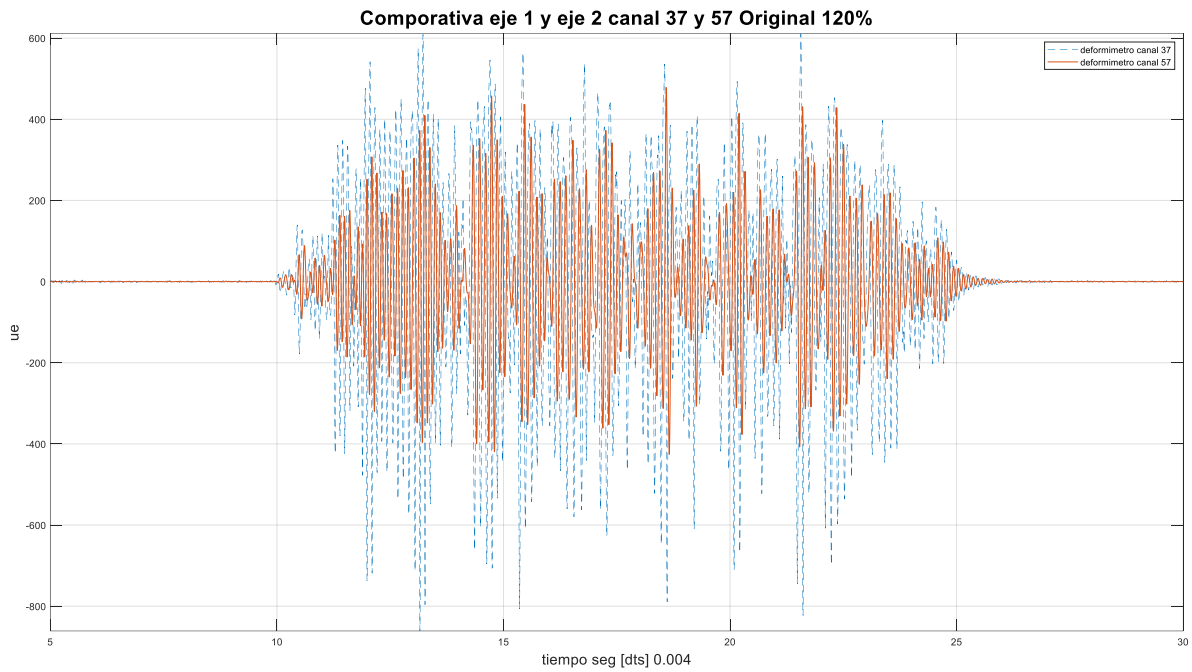


Figura 3.77 Gráfica 120% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.

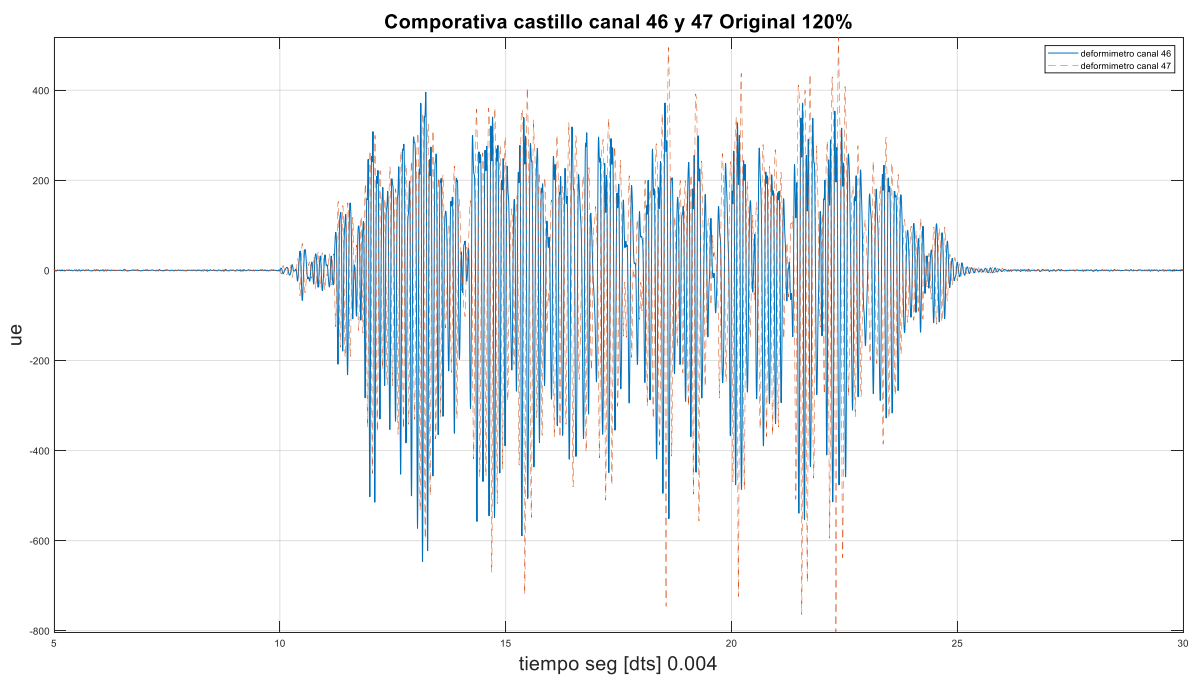


Figura 3.78 Gráfica 120% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo.

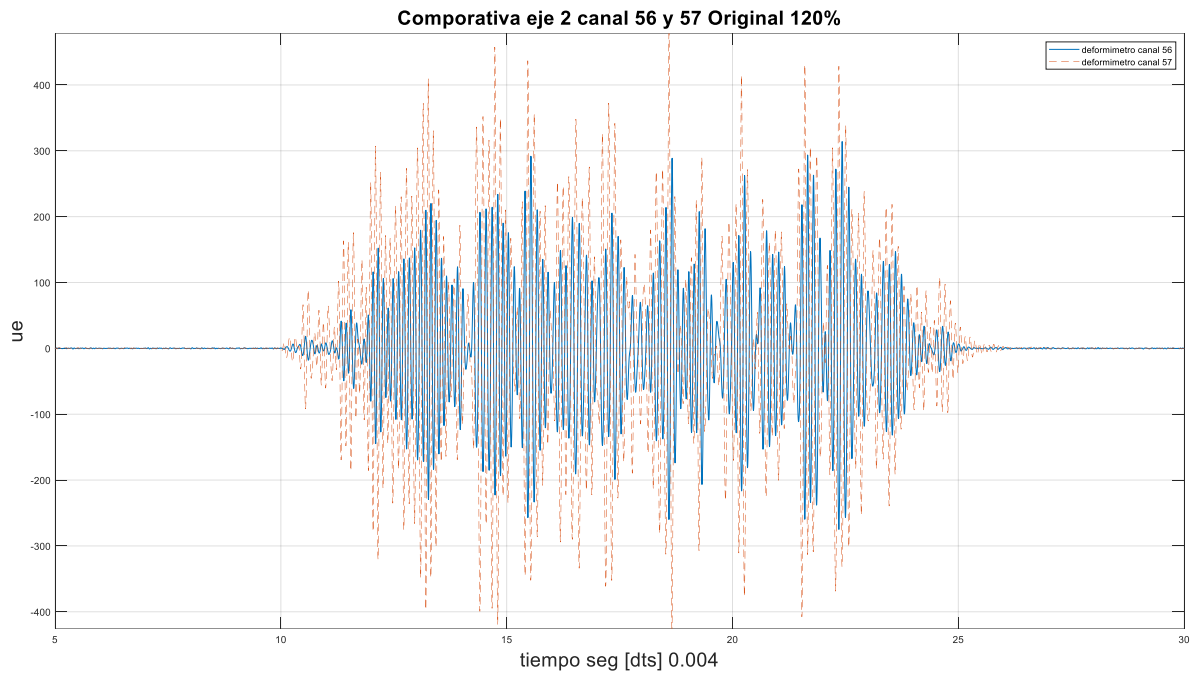


Figura 3.79 Grafica 120% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos.

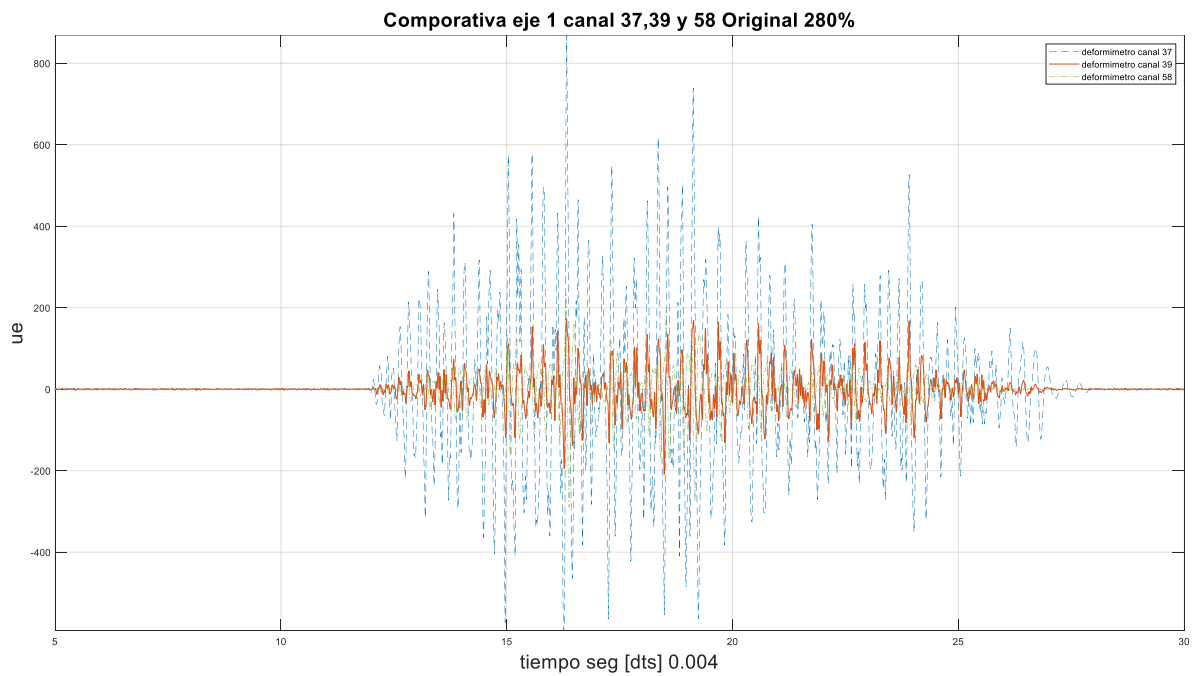


Figura 3.80 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa entre niveles.



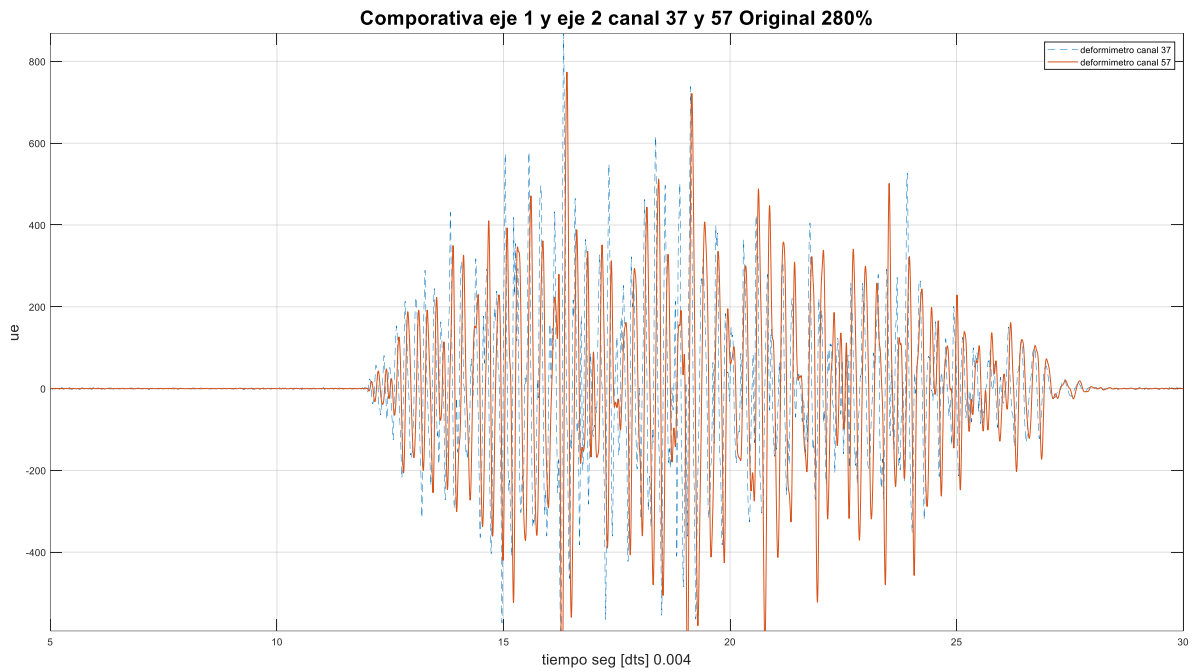


Figura 3.81 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa entre esquinas.

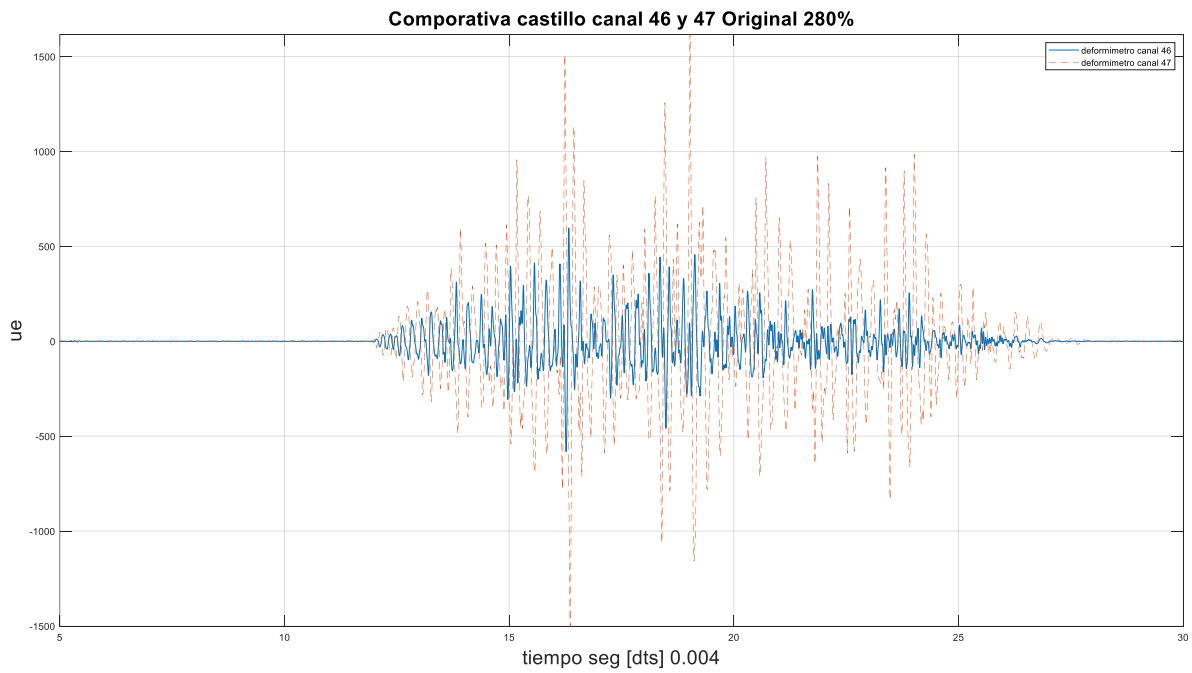


Figura 3.82 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa de varillas en un castillo.

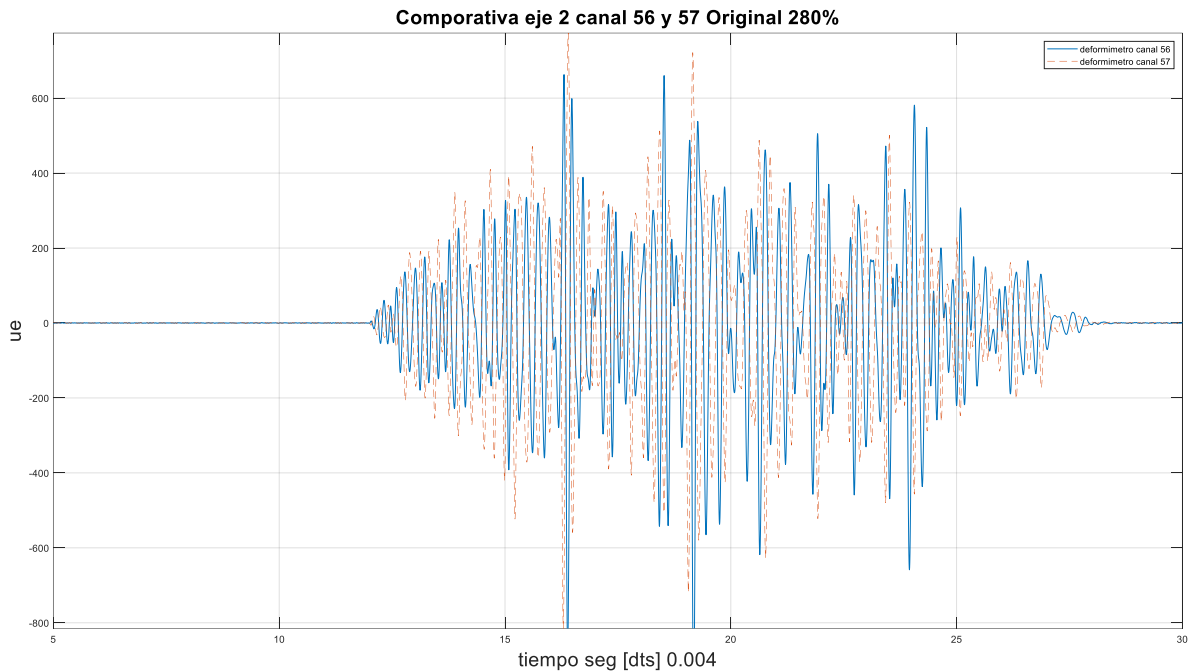


Figura 3.83 Gráfica 280% de deformímetros en varilla comparativa entre 2 castillos opuestos.

## 4 Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 A cerca del comportamiento de los modelos a nivel de aceleraciones

Se logró analizar el comportamiento del modelo MCR2 por medio de los transductores de aceleración, obtuvimos un comportamiento esperado al tener una mayor resistencia, dando una diferencia del 22.5% promedio en contra del modelo original MCR1. Se encontraron variaciones en algunos canales donde los niveles superiores disminuyeron su aceleración, esto debido a una disminución en la rigidez de los modelos por algún daño.

Con base en los registros de aceleración, se obtuvieron las fuerzas laterales a las que estuvieron sujetos los modelos. Se observó un incremento de fuerza por cada nivel, producto del aumento de las aceleraciones. Sin embargo, en el último nivel la masa es menor esto ocasiona que la fuerza lateral disminuyera. Se logró identificar los puntos más vulnerables en los modelos por aceleración, en este caso

es el eje 2 por tener menor área de contacto y el nivel 1 que tiene mayor estrés por los movimientos sísmicos.

Gracias a que obtuvimos el momento de volteo de los ejes 1 y 2 de los modelos, se identificaron las zonas del modelo con mayor afectación por este fenómeno. En este caso se observó que el eje 1 tenía mayor posibilidad al volteo gracias a que el eje 2 tiene una menor área de resistencia al movimiento. Se obtuvieron resultados inesperados en la comparación de los modelos, en el modelo MCR1 el eje 2 tenía más posibilidad del volteo, pero el modelo MCR2 el eje 1 tenía más probabilidad de un volteo. Se estima que es por un fallo de alguno de los transductores de aceleración o por una alteración de las masas al reforzarlo.

#### 4.2 A cerca de la variación de los periodos fundamentales de vibrar

Es fundamental realizar este análisis para obtener el comportamiento más detallado de cambio de rigidez en la estructura, realizando un análisis con ruido ambiental para ver las afectaciones de cada modelo. El modelo MCR1 obtuvo una variación del 17% hasta el 73% de rigidez, mientras que el modelo MCR2 mostro una variación del 28% hasta el 32% manteniendo un comportamiento más estable.

Los resultados obtenidos durante el análisis nos indicaron en gran medida que el reforzamiento realizado al modelo MCR2 permitió resistir a las aceleraciones que causaron su falla previamente en el modelo MCR1 sin refuerzo.

Para los periodos obtenidos por las pruebas sísmicas, el modelo MCR1 se observaron variaciones de hasta un 68% relacionado a la prueba sísmica del 280%, mientras que el modelo MCR2 solo llego hasta una variación de la rigidez del 49% con la prueba sísmica del 350% indicándonos que el modelo reforzado cumple con las pruebas y permite soportar una mayor aceleración sísmica.

Puede existir una variación en los resultados de los periodos, esto debido al tipo de filtrado y suavizado utilizado, recordando que el rango de los datos de interés es indicando por el usuario, esto puede llevar a omitir valores o utilizar valores de poco interés. Para esto se debe utilizar el mismo procedimiento de filtrado antes mencionado para obtener los mismos resultados.

### 4.3 A cerca de los desplazamientos experimentales

Observando el comportamiento del modelo MCR1 original deja de cumplir con la distorsión de 0.003 de las normativas de la CFE 2015 en la prueba de 120% solo en el nivel 1, pero en la prueba de sismo de 280% deja de cumplir en casi todos los niveles y solo el nivel 1 no cumple con la distorsión de 0.005 de las Normas técnicas y complementarias 2020. Esto nos confirma que no cumplió con la normativa, por lo que el modelo MCR1 tiende a tener daños considerables.

El modelo MCR2 reforzado logro tener un mejor comportamiento tanto en las distorsiones y desplazamientos al cumplir con la distorsión de 0.004 de la CFE 2015, pero esta se supero en la prueba de 350% llegando hasta obtener una distorsión en el nivel 3 de 0.01319 superando la distorsión permitida por la NTC 2020 de .01. Esto nos indica que, aunque tuvo un mejor comportamiento se encuentra a punto de superar la normativa principalmente en el eje 2.

Al incrementar la altura del modelo se esperaría un mayor valor de desplazamiento, pero se encontraron variaciones debido al cambio de masa de los niveles; por ejemplo, en el modelo MCR1 en la prueba de 280% el desplazamiento del nivel 2 es de 3.28 mm, pero el desplazamiento en el nivel 3 es de 2.95 mm. Esta tendencia en el modelo MCR2 disminuyo, posiblemente al rigidizar el modelo permitió tener un mejor comportamiento.

Destacamos el hecho de que el modelo MCR1 en el nivel 1 tiende a tener los valores más altos de desplazamientos de 12.30 mm y distorsiones de 0.0098, caso contrario que el modelo MCR2 llega a un valor máximo de desplazamiento 16.48 mm, pero en diferentes niveles. Nos indica que el modelo original fallo en gran medida en el nivel 1, al reforzar esa sección no permitió tener mayores desplazamientos, por lo que se distribuyo en otros niveles.

### 4.4 A cerca de las deformaciones experimentales

Observamos que varios transductores de deformación tenían valores erróneos, esto debido a una mala colocación o un error en el transductor, por lo que la información del comportamiento deformación fue más escasa. Esto nos llevó a

reducir la comparativas para ver los puntos críticos de los cuales si teníamos datos de los modelos.

Si hubieras obtenido todos los datos podríamos observar el comportamiento de los castillos interiores del modelo, para reconocer una tendencia de los sitios que pueden ser más propensos a daños.

El modelo MCR2 nos dimos cuenta de que el canal 37 en el eje 1 tiende a ser un punto crítico de daño hasta lograr deformaciones de 1126 ue, teniendo un comportamiento muy similar con el canal 57 que se encuentra en el eje 2, pero con deformaciones mayores. Estas deformaciones llegan a ser muy cercanas al aumentar la aceleración sísmica, nos indica un posible daño en esos puntos lo que permite la fluencia del acero.

Lo interesante del modelo MCR1 es que pudimos observar el momento del acero en el cual deja de fluir, ya que en la prueba de 120% se obtuvieron resultados muy similares que la prueba de 280% en los canales 37 y 59, al no tener un incremento se observa que el eje 1 presenta daños en el acero del castillo. Esto permitió localizar los daños en el modelo original y al realizar un procedimiento de reforzamiento, permitiendo alcanzar mayores deformaciones en las varillas del castillo que se observó en el modelo MCR2.

Se recomienda tener el dato de la deformación unitaria del acero utilizado en el modelo, para permitir una comparación con las deformaciones obtenidas de los transductores de deformación y observar en que momento el acero esta mas cerca del limite de fluencia o de ruptura.

#### 4.5 A cerca del comportamiento general de los dos modelos

En general el modelo original MCR1 tuvo un comportamiento esperado al aumentar las aceleraciones se mostró un crecimiento en sus características al mismo tiempo, excepto al llegar a la prueba del 280% mostrando que el modelo se encontraba fallando en algunos de sus niveles y provocando la disminución de la rigidez ante los movimientos de la mesa vibradora. Esto permitió observar los puntos

críticos de algunos elementos que sufrieron gran daño para decidir repararlos en el modelo reforzado.

El modelo reforzado MCR2 se comportó de una mejor manera soportando mayores aceleraciones, manteniendo sus características con cambios pequeños, pero mostrando puntos cercanos a fallar o ser dañados por las aceleraciones. Sin embargo, varios transductores y deformímetros se encontraban con errores de datos por lo que tenía más fallos en las capturas de información.

Nos permite concluir que el reforzamiento realizado al modelo original permitió mejorar su comportamiento ante futuros movimientos sísmicos, manteniendo sus características.

#### 4.6 Comentarios y recomendaciones

La depuración y filtrado es esencial para poder tener una mejor perspectiva de los datos analizados por medios gráficos, se recomienda mantener un orden adecuado en el análisis de los datos esto debido a que pueden mostrarse resultados no esperados al confundir o intercambiarlos. Sin embargo, dependiendo del acondicionamiento realizado puede existir variaciones en los resultados por lo que se recomienda la misma metodología para obtener resultados cercanos.

Aunque el modelo fue instrumentado en un laboratorio de medios controlados puede representar de una manera aproximada el comportamiento ante varios sismos, esto permite que identifiquemos puntos críticos el tener en cuenta para el diseño y construcción de las estructuras en zonas sísmicas.

Utilizar programas nos pueden ayudar a facilitar el análisis de datos, pero se debe tener una idea o perspectiva del proceso para evitar tener incoherencias en los resultados, se recomienda el uso de Matlab por su capacidad de procesamiento de información y al mismo tiempo graficar el comportamiento. El método gráfico nos permite observar el comportamiento de los transductores y determinar si hay incoherencias en los resultados.

Se recomienda para futuras experimentaciones un análisis de deformación unitaria a la varilla utilizada, para realizar una comparación de pérdida de ductilidad

y deformación en el acero instrumentado obteniendo información más precisa. Al obtener el diagrama de esfuerzo-deformación de la varilla se podría buscar la deformación obtenida de los transductores de deformación y observar su comportamiento del acero, indicando si tiene un comportamiento elástico plástico o de ruptura.

En este caso solo hicimos la comparativa de 3 pruebas que consideramos críticas para el análisis, se recomienda ver el análisis de las 21 pruebas para identificar más a detalle comportamientos irregulares de los modelos. Con ello se podría observar los puntos de los modelos como van cambian a lo largo de las pruebas hasta llegar a su falla o un daño. También nos permitiría obtener un comportamiento para futuros modelos que tengan las mismas características, al establecer un patrón de comportamiento más detallado.

## Referencias

Acosta, J. G. (s.f.). Ensayos en mesa vibradora de un modelo a escala 1:2 de edificio de mampostería confinada de tres niveles. *Tesis de Maestría*. Estudios de Posgrados Unam, CDMX.

Alcocer, D. S. (2008). *Guía para el Análisis de estructuras de Mampostería*. Mexico: CONACYT.

Chopra, A. k. (2013). *Dinámica de estructuras*. Ciudad de Mexico: Pearson.

Comisión Federal de Electricidad. (2015). *Manual de diseño de obras civiles por sismo*. Mexico: CFE.

Gaceta de la Ciudad de México. (2020). *Normas Técnicas Complementarias*. Ciudad De México.

Gerardo Rodríguez Gutiérrez. (2023). Estudio De La Respuesta Experimental En Mesa Vibradora De Un Modelo. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 1-3.

- Gonzalez Parra, O. E. (2020). Rehabilitación Sísmica De Estructuras De Mampostería Con Mortero. *Tesis Maestría*. Facultad De Ingeniería Ingeniería Civil – Estructuras, CDMX.
- Guzik, N. C. (2019). Ensaye de un edificio de mampostería confinada de 5 niveles a escala en mesa vibradora. *Maestra en ingeniería*. Universidad nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CDMX.
- Holly, M. (2007). *Matlab para ingenieros*. México: Pearson educación.
- Jean, G. B. (2019). *Edificaciones de mampostería*. México: Limusa.
- Mendoza García, M. Á., & Duran Hernández, R. (2008). *Guía De Conexión De Transductores Al Sistema De Captura De La Mesa Vibradora*. Cdmx: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Ordaz, M., zapata, A., & Castellanos, F. (2005). *Manual DEGTRA*. Ciudad de México: Instituto de Ingeniería.
- Trinidad, R. B. (2005). *Ensaye de una vivienda a escala de dos niveles de mampostería confinada*. Mexico: UNAM Tesis de Maestría.

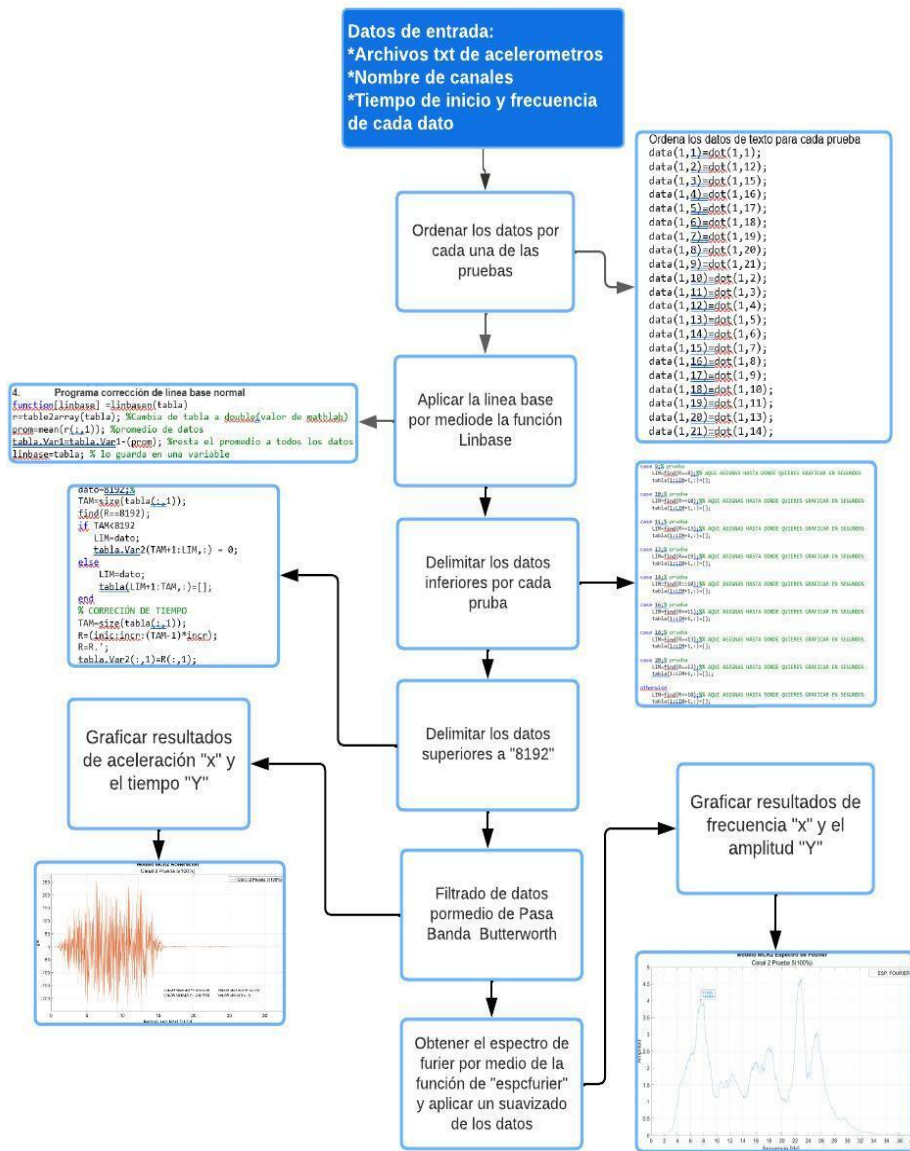


# Anexos

## Anexo 1 Programa para procesamiento de información de acelerómetros

### DIAGRAMA DE PROGRAMA DE MATLAB ACELERACIONES

Mauricio Juarez | January 31, 2024

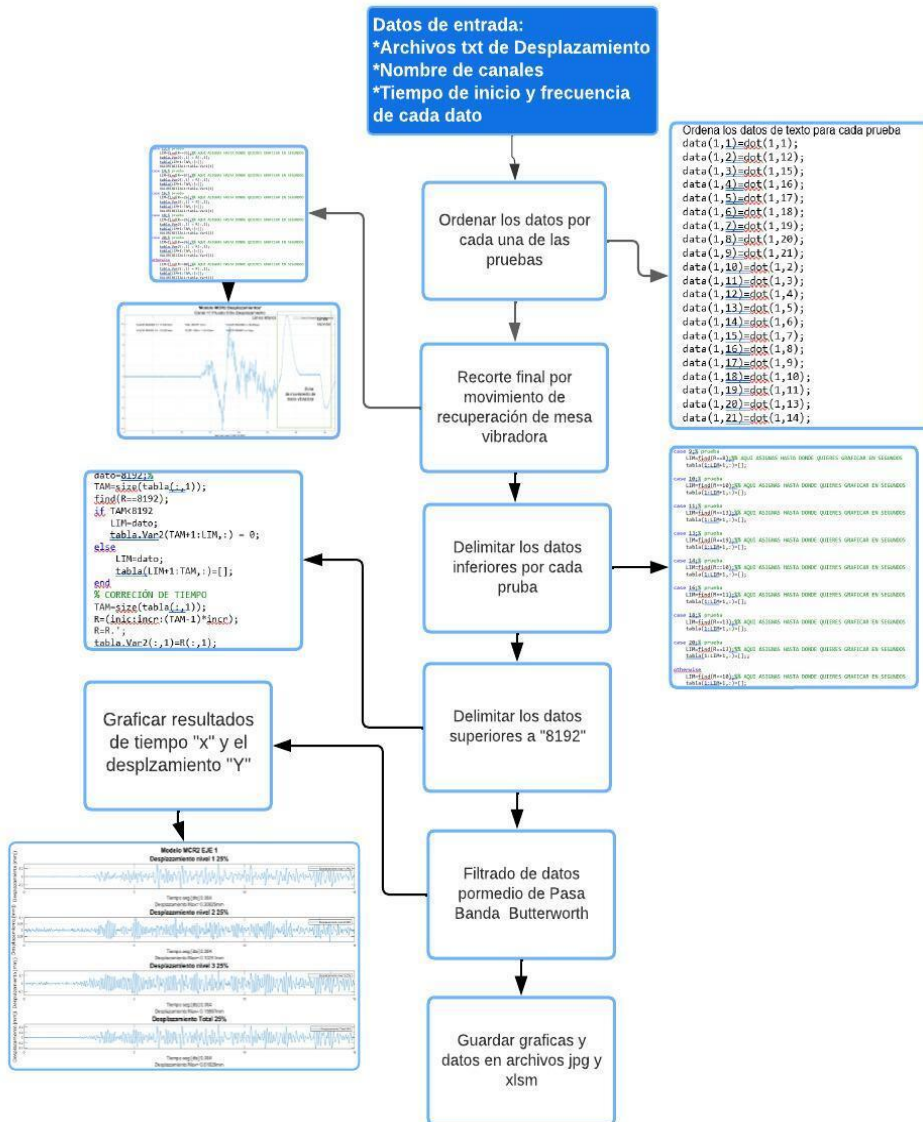


Para más información del programa enviar un correo: [mauricio161998@hotmail.es](mailto:mauricio161998@hotmail.es)

# Anexo 2 Programa para procesamiento de información de desplazamientos

## DIAGRAMA DE PROGRAMA DE MATLAB DESPLAZAMIENTOS

Mauricio Juarez | January 31, 2024

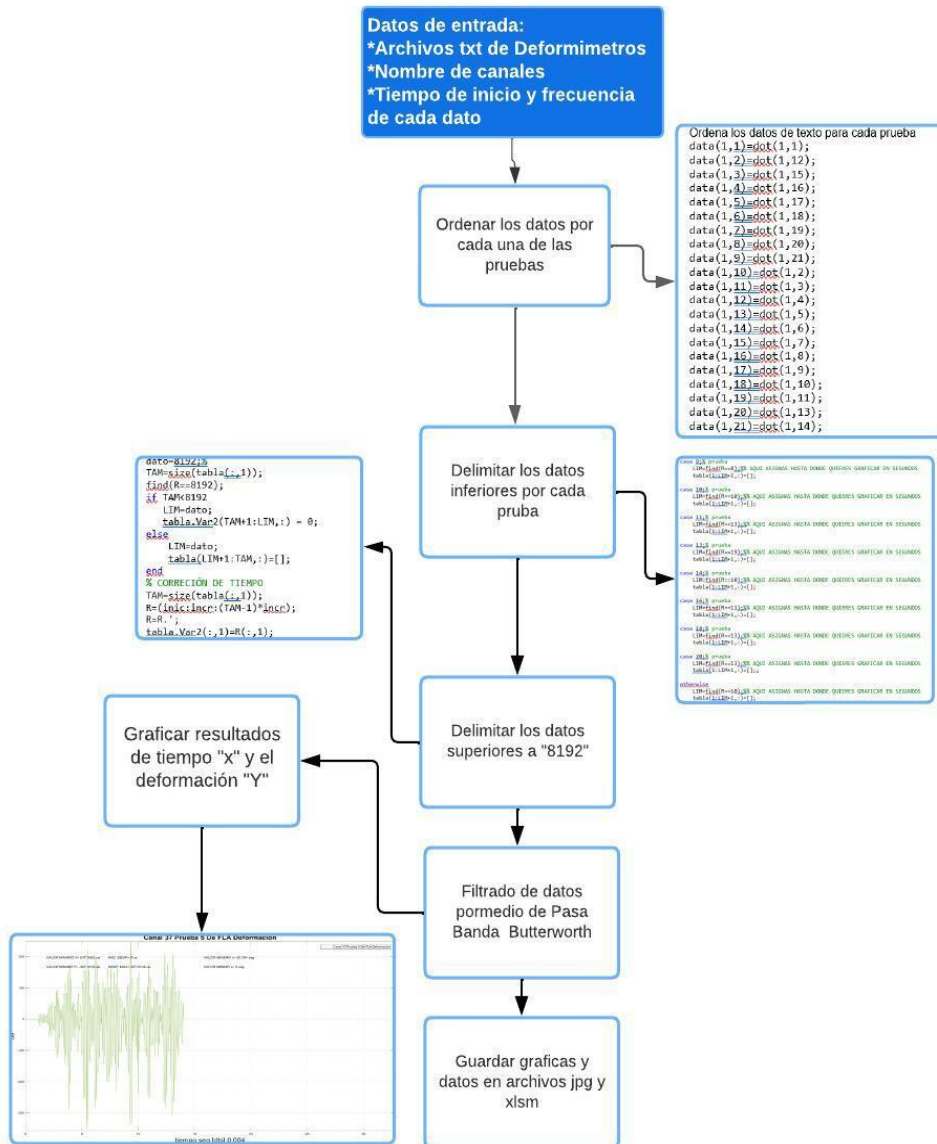


Para más información del programa enviar un correo: [mauricio161998@hotmail.es](mailto:mauricio161998@hotmail.es)

# Anexo 3 Programa para procesamiento de información de deformímetros

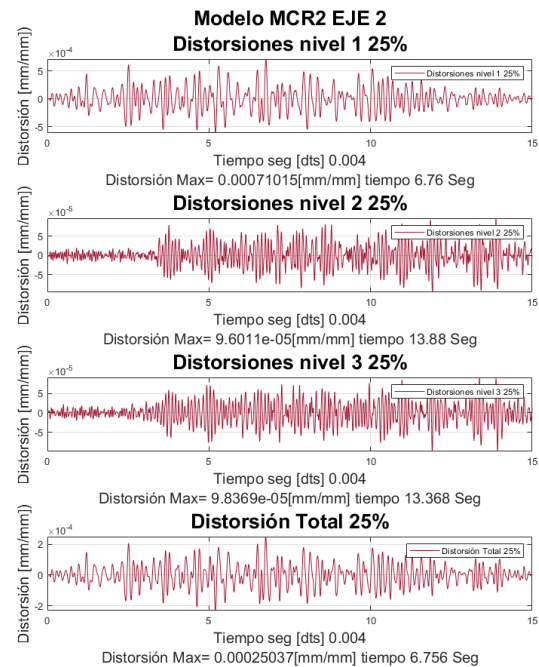
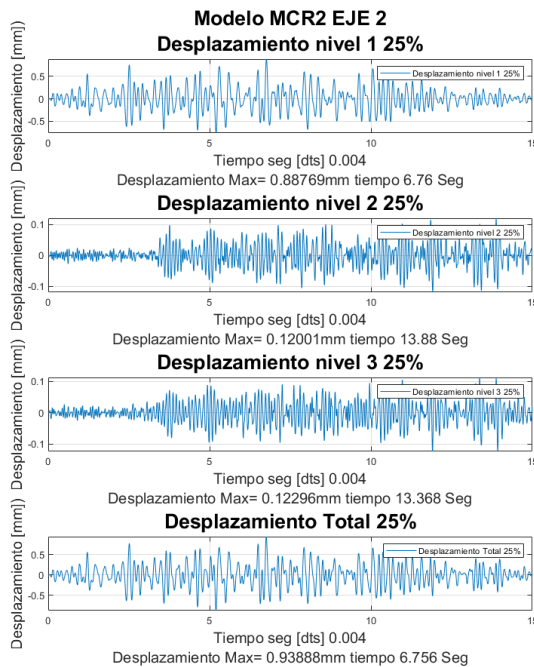
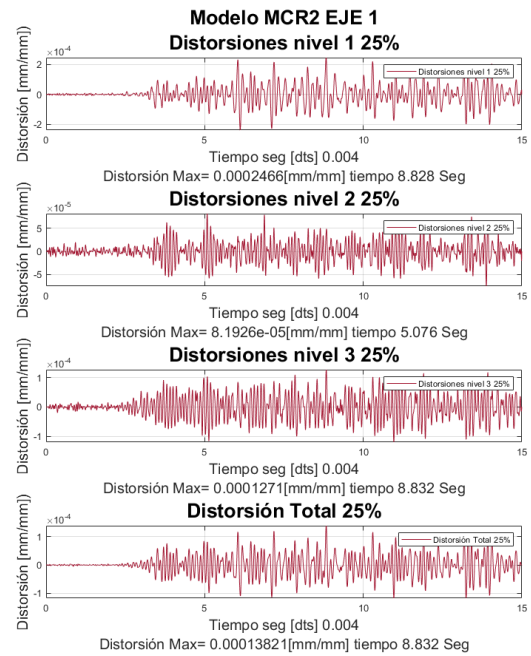
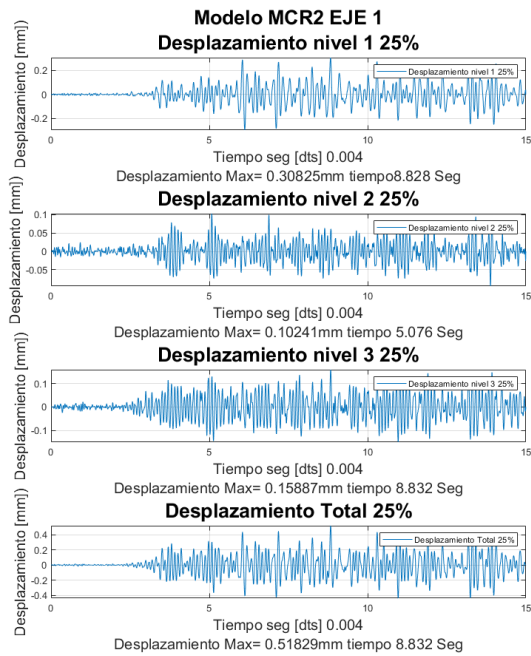
## DIAGRAMA DE PROGRAMA DE MATLAB DEFORMACIÓN

Mauricio Juarez | January 31, 2024

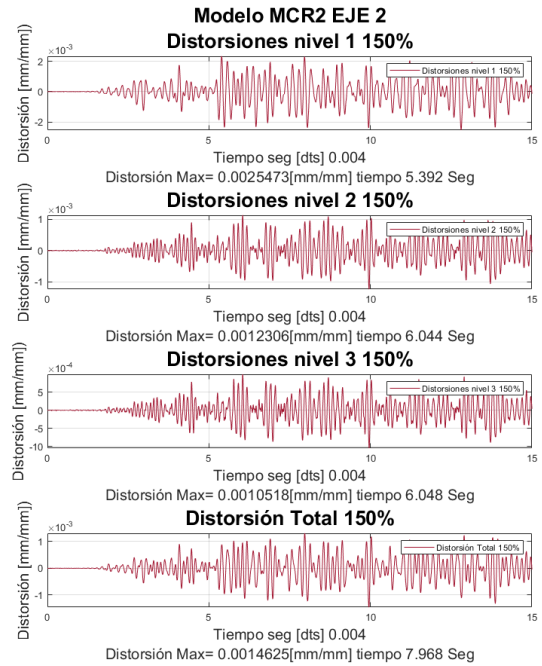
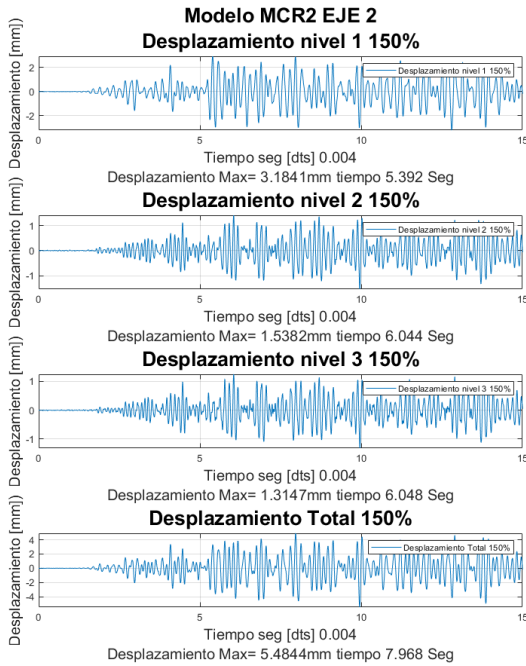
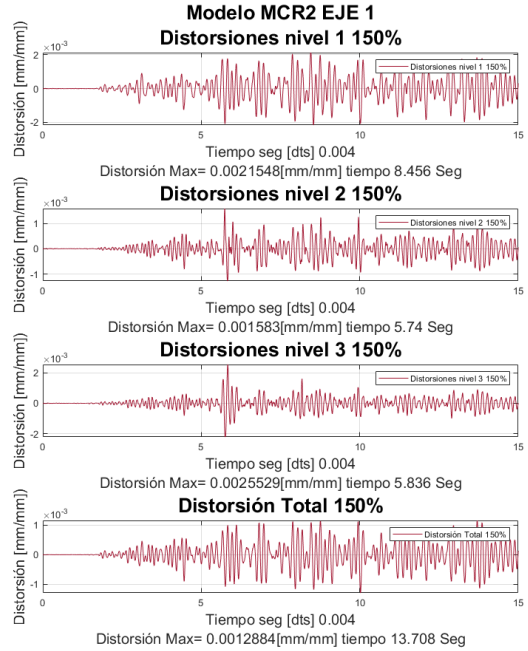
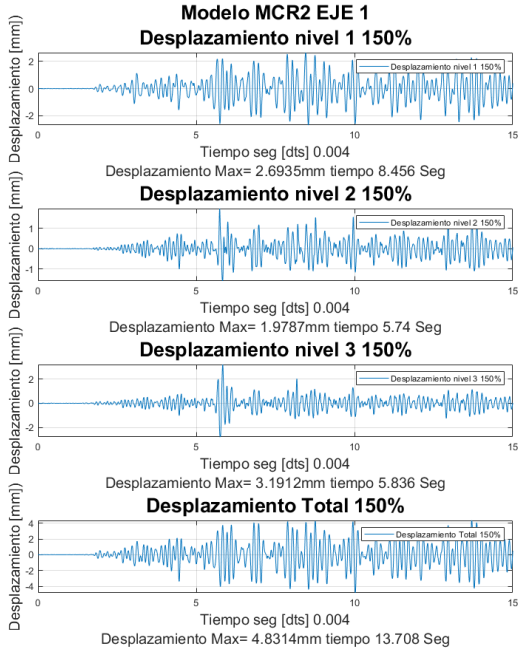


Para más información del programa enviar un correo: [mauricio161998@hotmail.es](mailto:mauricio161998@hotmail.es)

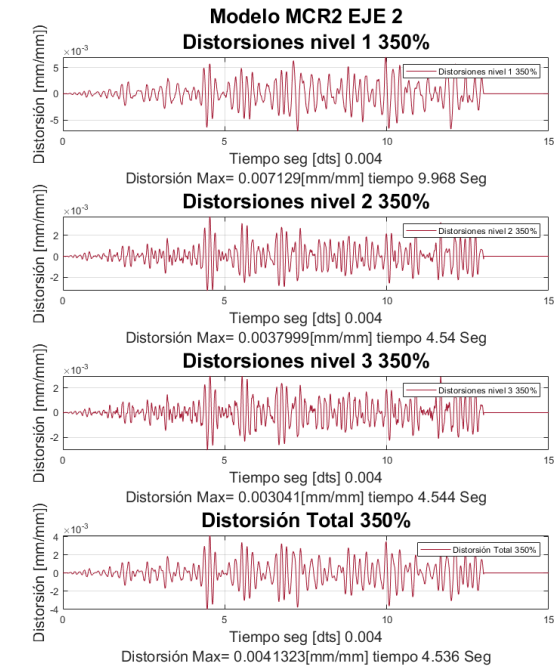
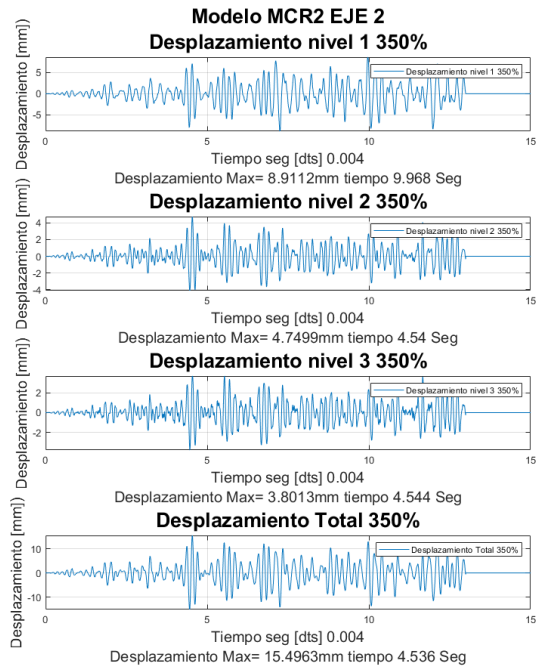
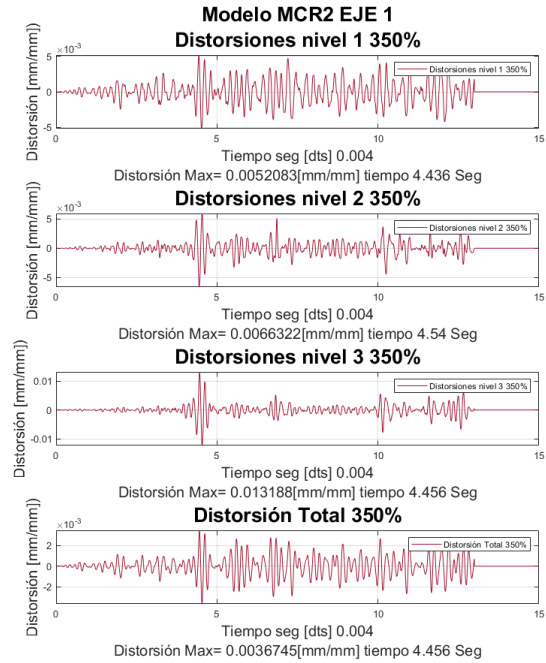
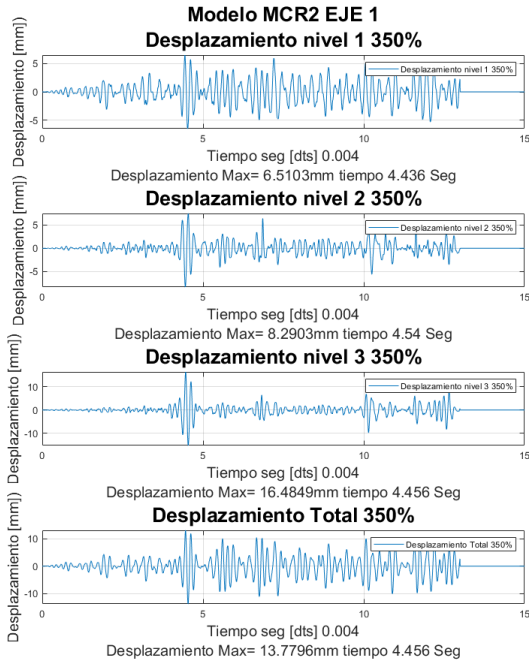
## Anexo 4 Graficas de distorsiones y desplazamientos de los modelos MCR1 y MCR2



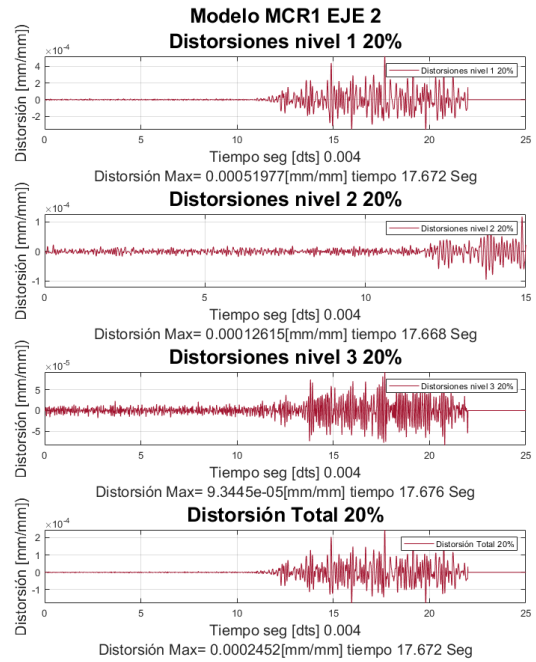
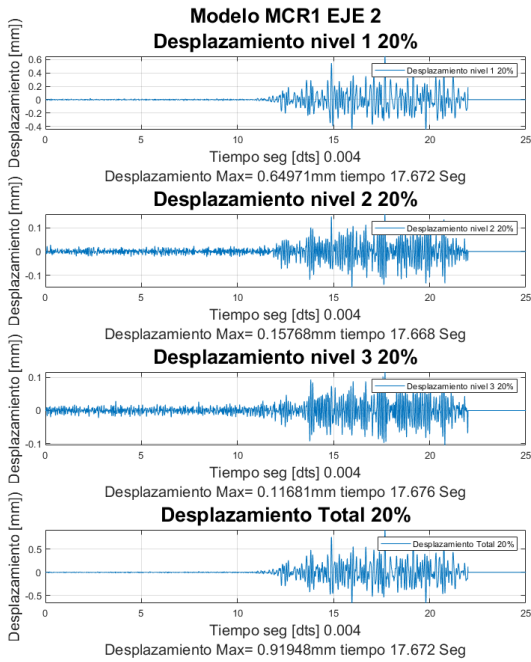
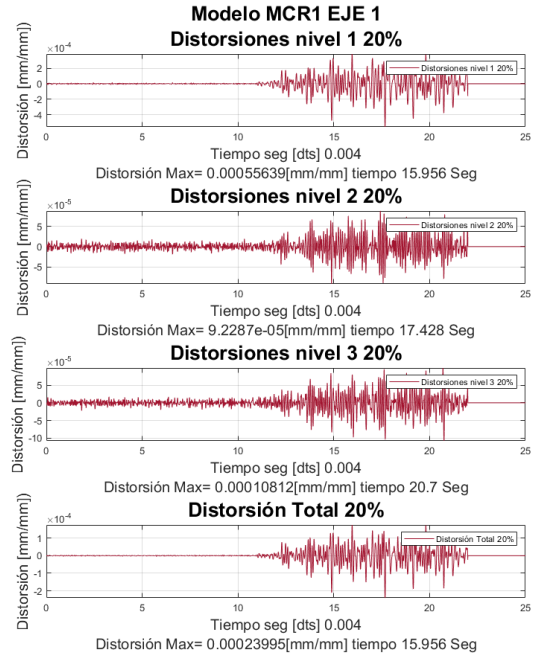
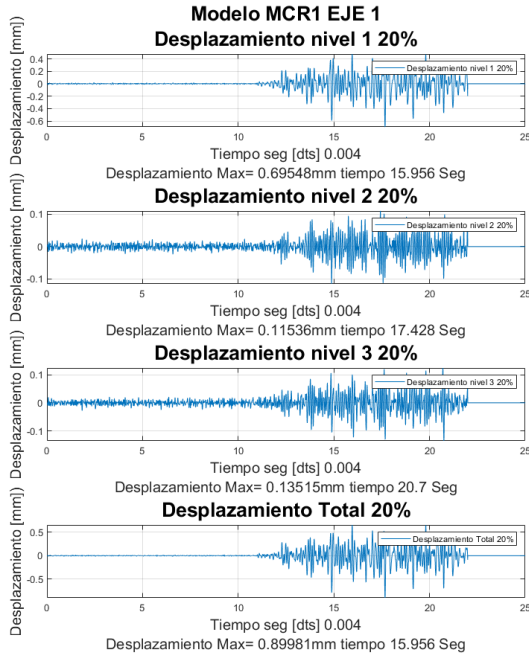
Gráfica de Desplazamientos y Distorsiones 25% en el Eje 1 y 2 MCR2.



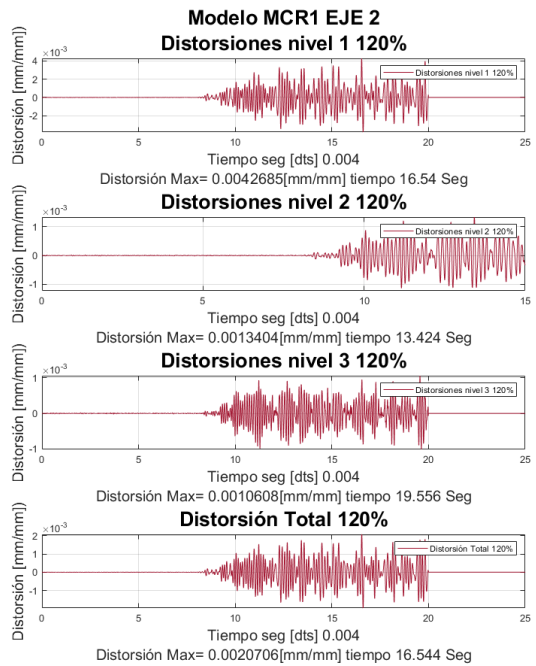
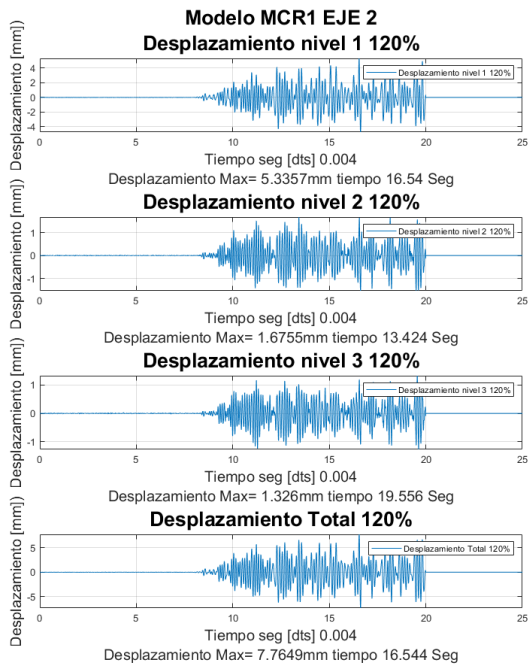
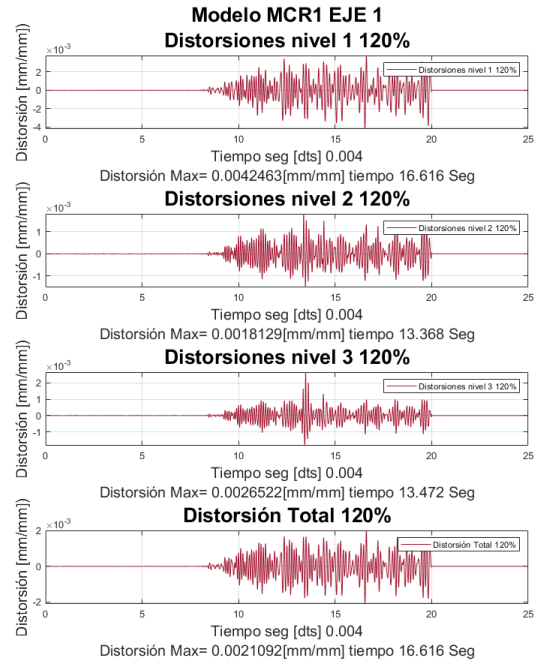
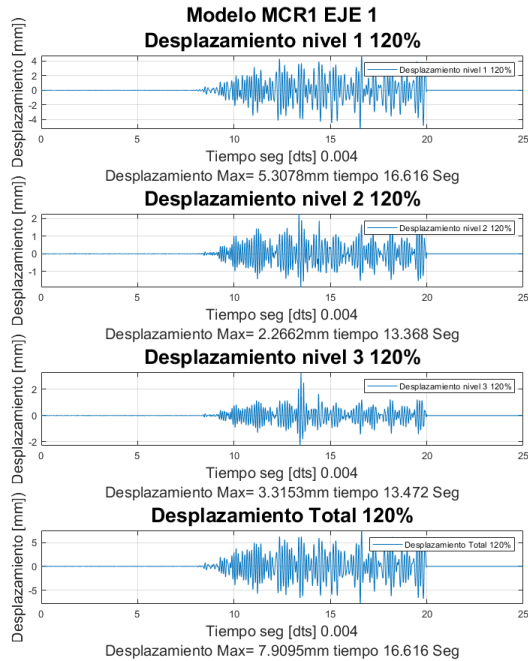
Gráfica de Desplazamientos y Distorsiones 150% en el Eje 1 y 2 MCR2.



Gráfica de Desplazamientos y Distorsiones 350% en el Eje 1 y 2 MCR2.

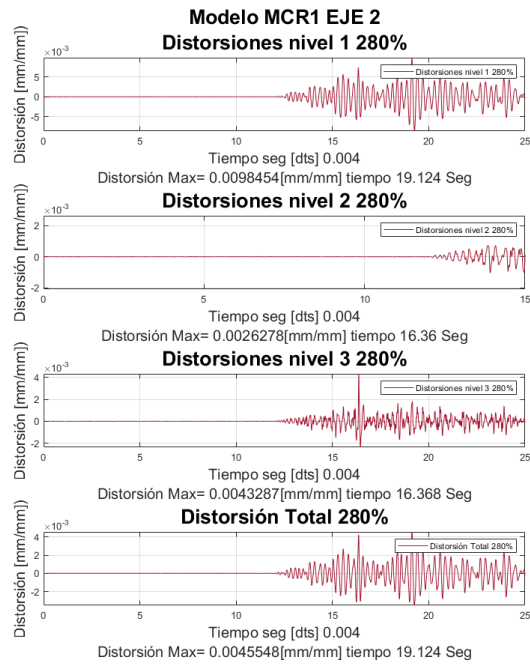
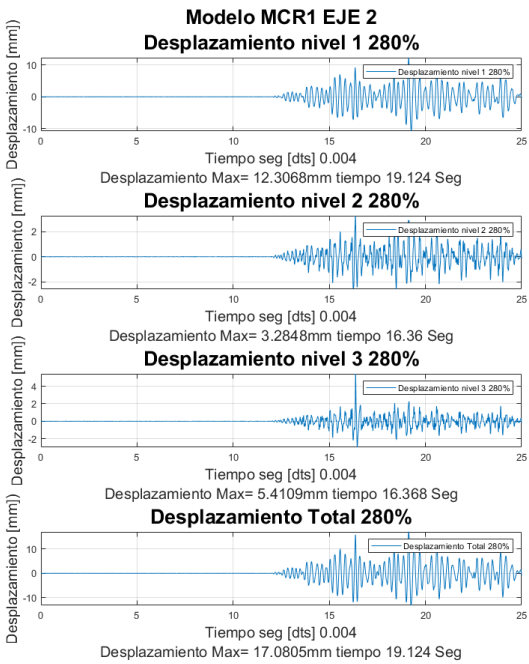
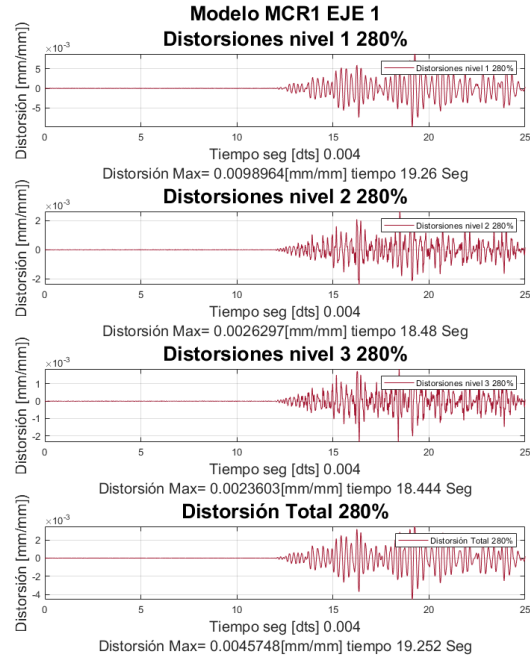
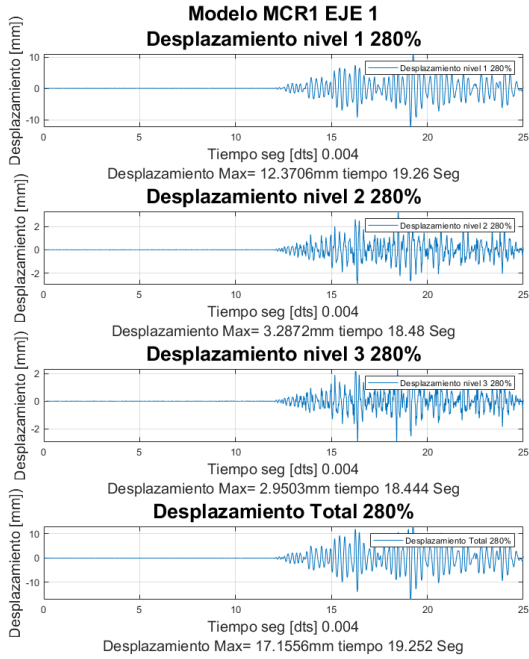


Gráfica de Desplazamientos y Distorsiones 20% en el Eje 1 y 2 MCR1.



Gráfica de Desplazamientos y Distorsiones 120% en el Eje 1 y 2 MCR1.





Gráfica de Desplazamientos y Distorsiones 280% en el Eje 1 y 2 MCR1.