

**ANÁLISIS DE LA AMPLIFICACIÓN DINÁMICA EN EL DISEÑO DE
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**



Trabajo de grado en la modalidad de trabajo de investigación

Presentado por:

ALEJANDRO MONTES ROJAS

Código: 100412020107

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN**

2018

**ANÁLISIS DE LA AMPLIFICACIÓN DINÁMICA EN EL DISEÑO DE
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**

Alejandro Montes Rojas

COD:100412020107

Trabajo de grado en la modalidad de trabajo de investigación para optar por el
título de:

Ingeniero Civil

Director:

Msc. Yessica Milena Menza

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
POPAYÁN**

2018

Nota de aceptación:

Firma del director de tesis.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Popayán, ____ Septiembre del 2018

RESUMEN

Esta investigación se propuso para comparar el procedimiento de la NSR-10, con el cual se obtiene la aceleración máxima de diseño de un elemento no estructural, con el procedimiento realizado con análisis en el tiempo. El análisis de respuesta en el tiempo fue compatible con el método establecido por la NSR-10 utilizando un sismo artificial.

Por una parte, la NSR-10 plantea un procedimiento que parte de un espectro de diseño definido; mientras que, por el otro lado, se decidió partir de un registro sísmico artificial compatible con dicho espectro. Utilizando SAP2000 se modelaron cinco estructuras definidas durante la investigación, y se sometieron dichas estructuras a los sismos artificiales obtenidos. Con lo anterior se calculó la *aceleración en el punto de soporte del elemento no estructural*. Adicionalmente, se obtuvo los registros de aceleraciones de piso de todas las estructuras. Al comparar las aceleraciones obtenidas en SAP2000 con las obtenidas por el método de la NSR-10, se observó que la Norma suele sobreestimar la aceleración de los pisos bajos y sub-estimar la de los pisos altos de las edificaciones.

Posteriormente, se modeló en SAP2000 dos muros empotrados en su base y sometidos a las aceleraciones de piso previamente calculadas. Para el primero se asumió que el sismo llegaba en su dirección fuerte, y para el segundo se asumió el sismo perpendicular al muro. Se determinaron las aceleraciones en el tope de cada muro, las cuales representaban las aceleraciones amplificadas de los elementos no estructurales. Luego, se calculó la *amplificación dinámica del elemento no estructural* por medio de la relación entre la aceleración amplificada del elemento no estructural y la aceleración de piso respectiva. Paralelamente, se definió un modelo analítico, con el cual, usando principios básicos de la dinámica estructural para un sistema discreto de un grado de libertad, se calcularon nuevamente las aceleraciones en el tope del muro. La *amplificación dinámica del elemento no estructural*, se calculó igual que como se realizó con las aceleraciones obtenidas en SAP2000.

La NSR-10 define que la *amplificación dinámica del elemento no estructural* para muros en voladizo es igual a 2.5. Sin embargo, en los resultados obtenidos se destacan valores que sobrepasan este valor, los cuáles se recomienda sean estudiados con mayor detalle en un futuro.

ABSTRACT

This research was proposed in order to compare the method used to obtain the maximum acceleration of design of a non-structural component of the NSR-10 with a procedure developed with time history analysis.

On the one hand, the NSR-10 set a procedure based on a design spectra defined; while, on the other hand, for the thesis the decision was to base the method on an artificial time history record defined to be compatible with the spectra mentioned above. Five structures defined during the research were modelled using SAP2000, which were later tested by the application of the compatible time histories. Subsequently, the *acceleration in the support point of the non-structural component* was determined. Additionally, floor acceleration time history records were obtained for all the tested structures. Comparing the floor accelerations obtained using SAP2000 and the ones obtained by the NSR-10 method, it was observed that the code usually overestimate the floor acceleration in lower floors and underestimate it in high floors.

Later, two walls were modelled using SAP2000 and tested by the application of the floor acceleration time histories determined previously. For the first wall it was assumed that the earthquake was parallel to the wall, which represents its “strong” direction. On the other side, for the second wall it was assumed an earthquake perpendicular to the wall, which represents its “weak” direction. The acceleration in the top of each wall was determined, which represented the amplified acceleration of the non-structural components. Afterwards, the *dynamic amplification of the non-structural component* was determined using the division of the amplified acceleration of the non-structural component and the respective floor acceleration. Parallel, an analytical model was defined, which was used to determine the acceleration in the top of the non-structural component using basic principles of structural dynamics for a single degree of freedom system. The *dynamic amplification of the non-structural component* was determined as it was done in the procedure were SAP2000 was used.

The NSR-10 defines that the *dynamic amplification of the non-structural component* for cantilever walls is 2.5. However, in the obtained results some values are greater than 2.5, which are recommended to be studied with more detail in a future.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado:

A Dios, que me ha permitido encaminarme para lograr los objetivos que me he trazado, y me ha puesto en el camino personas que han puesto su grano de arena para ayudarme a conseguirlo.

A mi Hermosa madre, Consuelo, quien ha sido mi apoyo y más grande motivación durante toda mi carrera. Este triunfo, al igual que todos los que están por venir, te los dedico a ti.

A la memoria de mi abuelita, Nohemy. Siempre he querido que desde donde estés te sientas muy orgullosa de mi. Espero que este logro sea un motivo de alegría para ti.

A toda mi familia, que me ha impulsado a hacer las cosas bien y ha creído en mí siempre.

Alejandro Montes Rojas

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a mi madre por su apoyo constante durante todo este proceso, además de su ayuda siempre que la necesité. Su confianza y motivación fueron claves para lograr culminar este trabajo satisfactoriamente.

Agradezco a la directora del trabajo, la MSc. Yessica Milena Menza quien, sin siquiera conocerme, decidió darme la oportunidad de desarrollar este trabajo con ella. Durante este largo proceso, su paciencia fue muy importante, además de su capacidad para ayudarme a solucionar algunos de los problemas que se presentaron.

Agradezco a mi primo, el MSc. Jorge Andrés Bernal, cuya ayuda me permitió encontrar respuestas a múltiples dudas que me surgieron durante el proceso. Además, su conocimiento y su buena voluntad para compartirlo conmigo también fueron muy importantes para solucionar los problemas que se presentaron en el proceso.

Agradezco al Ingeniero Roger Ortega, quien me impulsó a buscar mi directora para realizar este trabajo de investigación.

Agradezco a los Ingenieros Juan Manuel Mosquera y Alfer Silva, quienes además de ser los jurados de la tesis, me mostraron el camino a seguir en los momentos más críticos por los que pasé durante el proyecto.

Agradezco a mis compañeros, quienes se convirtieron en grandes amigos con el transcurrir de la carrera. Su compañía y apoyo hizo que este proceso fuera una experiencia inolvidable.

CONTENIDO

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTOS	7
1 INTRODUCCIÓN	13
1.1 GENERAL.....	13
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
2 MARCO TEÓRICO	17
2.1 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, <i>E.N.E</i>	17
2.2 DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN COLOMBIA..	17
2.3 SISMO COMPATIBLE CON UN ESPECTRO DE DISEÑO	19
2.4 ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO DE ESTRUCTURAS.....	20
2.4.1 Modelamiento y Análisis, <i>SAP2000</i>	20
2.4.2 Modelo analítico	20
2.5 ANTECEDENTES.....	21
3 METODOLOGIA	25
3.1 DEFINICIÓN DE ESTRUCTURAS.....	25
3.2 CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE ESPECTRO DE DISEÑO (NSR-10)	25
3.3 ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO	26
3.3.1 Aceleración de piso, a_x	26
3.3.2 Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p	26
3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	27
4 OBTENCIÓN DE DATOS DE ENTRADA COMPATIBLES QUE PERMITIERAN COMPARAR EL MÉTODO DE LA NSR-10 CON EL ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO	28
4.1 DETERMINACIÓN DE SISMOS COMPATIBLES CON ESPECTROS DE DISEÑO DEFINIDOS EN LA NSR-10	28
4.1.1 Espectros de diseño de trabajo según el procedimiento NSR-10 .	29
4.1.2 Sismos compatibles con los espectros de diseño seleccionados..	31

4.2	CALCULO DE ESPECTROS DE RESPUESTA PARA REGISTROS DE SISMOS CONOCIDOS	33
4.2.1	Obtención de los registros sísmicos de trabajo	33
4.2.2	Determinación de los espectros de respuesta correspondientes a cada sismo.....	35
5	ESTRUCTURAS USADAS EN LA VALIDACION DE RESULTADOS	37
5.1	PÓRTICO 1.....	37
5.2	PÓRTICO 2.....	38
5.3	PÓRTICO 3.....	39
5.4	PÓRTICO 4.....	41
5.5	ESTRUCTURA EN 3 DIMENSIONES.....	42
6	ACELERACIÓN EN LA BASE DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL	44
6.1	ACELERACIÓN DE PISO, PROCEDIMIENTO DE LA NSR-10.....	44
6.2	DETERMINACIÓN DE ACELERACIÓN DE PISO POR MEDIO DE ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO.....	45
6.3	COMPROBACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD DE LOS SISMOS ARTIFICIALES GENERADOS.....	46
6.4	RESULTADOS.....	47
6.4.1	Pórtico 1	48
6.4.2	Pórtico 2	48
6.4.3	Pórtico 3	49
6.4.4	Pórtico 4	50
6.4.5	Estructura en tres dimensiones	53
6.5	CÁLCULO DE ACELERACIÓN HORIZONTAL EN LA BASE DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL PARA ALGUNOS SISMOS CONOCIDOS Y SUS RESPECTIVOS ESPECTROS DE RESPUESTA	54
7	AMPLIFICACIÓN DINÁMICA DEL ELEMENTO NO ESTUCTURAL.....	58
7.1	CARACTERÍSTICAS DE LA MAMPOSTERÍA.....	59
7.1.1	Materiales.....	59
7.1.2	Módulo de elasticidad de la mampostería, E_m	60
7.1.3	Peso de la mampostería por m^3 de muro	61
7.2	DEFINICIÓN DE MUROS A UTILIZAR.....	62
7.2.1	Sentido fuerte del Muro	62
7.2.2	Sentido débil del Muro.....	62
7.3	ANÁLISIS UTILIZANDO SAP2000.....	63
7.3.1	Análisis en la dirección fuerte del muro	65

7.3.2	Análisis en la dirección débil del muro.....	66
7.4	MODELO ANALÍTICO.....	66
7.4.1	Análisis en la dirección fuerte del muro.....	68
7.4.2	Análisis en la dirección débil del muro.....	69
7.5	RESULTADOS.....	71
7.5.1	Análisis en la dirección fuerte del muro.....	71
7.5.2	Análisis en la dirección débil del muro.....	75
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
8.1	CONCLUSIONES.....	81
8.2	RECOMENDACIONES.....	82
9	BIBLIOGRAFIA.....	84
	ANEXOS	86
A.	CONTROL DE DERIVAS DE LAS ESTRUCTURAS UTILIZADAS.....	87
B.	CÓDIGO DE MATLAB DESARROLLADO PARA LA PRESENTE TESIS.....	96
C.	OTROS CÓDIGOS DE MATLAB UTILIZADOS.....	102
D.	REGISTROS DE ACELERACIONES DE PISO.....	110
E.	REGISTROS DE ACELERACIONES EN EL TOPE DEL MURO.....	138
F.	DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE k.....	186

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1. Parámetros, espectros de diseño seleccionados para la ciudad de Popayán.....	29
Tabla 4-2. Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento.	29
Tabla 5-1. Secciones Pórtico 3.....	39
Tabla 6-1. Aceleración de piso. Pórtico 1, primer piso	48
Tabla 6-2. Aceleración de piso. Pórtico 1, segundo piso.....	48
Tabla 6-3. Aceleración de piso. Pórtico 2, Espectro Suelo E	49
Tabla 6-4. Aceleración de piso. Pórtico 2, Espectro Suelo D	49
Tabla 6-5. Aceleración de piso. Pórtico 3, Espectro Suelo E	50
Tabla 6-6. Aceleración de piso. Pórtico 3, Espectro Suelo D	50
Tabla 6-7. Aceleración de piso. Pórtico 4.....	52
Tabla 6-8. Aceleración de piso. Estructura en tres dimensiones.....	53
Tabla 6-9. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 3, Imperial Valley 1940	55
Tabla 6-10. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 3, Northridge 1994	56
Tabla 6-11. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 4, Imperial Valley 1940	56
Tabla 6-12. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 4, Northridge 1994	57
Tabla 7-1. Medidas de los muros para análisis en sentido fuerte del muro.....	62
Tabla 7-2. Masa muros de 3 metros de longitud	68
Tabla 7-3. Rigidez muros de 3 metros de longitud.....	69
Tabla 7-4. Frecuencia Natural muros de 3 metros de longitud.....	69
Tabla 7-5. Masa muros de 1 metro de longitud.....	70
Tabla 7-6. Rigidez muros de 1 metro de longitud.....	70
Tabla 7-7. Frecuencia Natural muros de 1 metro de longitud	71
Tabla 7-8. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 1, dir. fuerte	72
Tabla 7-9. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 2, dir. fuerte	72
Tabla 7-10. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 3, dir. fuerte	73
Tabla 7-11. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 4, dir. fuerte	74
Tabla 7-12. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p	75
Tabla 7-13. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 1, dir. débil	76
Tabla 7-14. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 2, dir. débil	77
Tabla 7-15. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 3, dir. débil	77
Tabla 7-16. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 4, dir. débil	79
Tabla 7-17. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 4, dir. débil	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Sistema de un grado de libertad.....	21
Figura 4-1. Espectro de diseño 1 (Suelo E).....	30
Figura 4-2 Espectro de diseño 2 (Suelo D).....	30
Figura 4-3. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos del Sismo compatible 1.....	31
Figura 4-4. Comparación entre el espectro de diseño 1, el espectro del sismo compatible 1 y el espectro del sismo base predeterminado del programa ArtifQuakeLetII.....	32
Figura 4-5. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos del Sismo compatible 2.....	32
Figura 4-6. Comparación entre el espectro de diseño 2, el espectro del sismo compatible 2 y el espectro del sismo base predeterminado del programa ArtifQuakeLetII.....	33
Figura 4-7. Registro de Aceleraciones. Imperial Valley, 1940.....	34
Figura 4-8. Registro de Aceleraciones. Northridge, 1994.....	34
Figura 4-9. Espectro de respuesta – Imperial Valley 1940.....	35
Figura 4-10. Espectro de respuesta – Northridge 1994.....	36
Figura 5-1. Vista en SAP2000 del Pórtico 1. Plano X-Z.....	37
Figura 5-2. Vista en SAP2000 del Pórtico 2. Plano X-Z.....	38
Figura 5-3. Vista en SAP2000 del Pórtico 3. Plano X-Z.....	39
Figura 5-4. Vista en SAP2000 del Pórtico3 con cargas muertas. Plano X-Z.....	40
Figura 5-5. Vista en SAP2000 del Pórtico 4. Plano X-Z.....	41
Figura 5-6. Vista en 3 dimensiones en SAP2000 del Edificio 1.....	42
Figura 5-7. Viste en planta en SAP2000 del Edificio 1.....	42
Figura 5-8. Vista en SAP2000 del Edificio 1. Plano X-Z.....	43
Figura 5-9. Vista en SAP2000 del Edificio 1. Plano Y-Z.....	43
Figura 6-1. Registro de Aceleraciones. Pórtico 1, Segundo Piso, Sismo Compatible 1.....	46
Figura 6-2. Comparación: Espectro de diseño 1 vs Espectro de respuesta del Sismo compatible.....	47
Figura 6-3. Comparación: Espectro de diseño 1 vs Espectro de respuesta del Sismo compatible.....	47
Figura 7-1. Bloque estructural 14-29 de Ladrillera Meléndez.....	59
Figura 7-2. Esquema-Análisis en el sentido fuerte del muro.....	62
Figura 7-3. Esquema-Análisis en el sentido débil del muro.....	63
Figura 7-4. Captura de Pantalla. Definición de material de mampostería en SAP2000.....	63
Figura 7-5. Captura de Pantalla. Definición de sección área de mampostería en SAP2000.....	64
Figura 7-6. Registro de aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 1, Sismo Compatible1. Dirección Fuerte.....	65
Figura 7-7. Deformada del muro de 3mx3m en SAP2000 ante aplicación de sismo en dirección X (U1).....	65
Figura 7-8. Deformada del muro de 1mx3m en SAP2000 ante.....	66
Figura 7-9. Modelo Analítico – Oscilador de un grado de libertad.....	67

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERAL

En la actualidad, las obras civiles en Colombia se diseñan teniendo en cuenta que en algún momento de su vida útil pueden llegar a verse afectadas por la ocurrencia de un evento sísmico. Con el fin de garantizar el mejor comportamiento de la estructura ante dicho acontecimiento, todo diseño se debe realizar acorde al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

El Título A del reglamento mencionado recibe el nombre de “*Requisitos Generales de diseño y construcción sismo resistente*”. En este Título se definen una serie de consideraciones que se deben tener en cuenta en el diseño de cada elemento estructural y no estructural. Los parámetros sísmicos definidos en el Título A dependen de las características propias del proyecto tales como: su ubicación geográfica, el tipo de suelo sobre el que se va a construir y el uso que tendrá la edificación, entre otras.

Además de los elementos estructurales, la norma estipula que los elementos no estructurales también requieren diseño sísmico. Establece que éste se debe llevar a cabo siguiendo lo consignado en el Capítulo A.9. En él se define que, entre dichos elementos, se incluyen:

- Acabados y elementos arquitectónicos y decorativos,
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias,
- Instalaciones eléctricas,
- Instalaciones de gas,
- Equipos mecánicos
- Estanterías e
- Instalaciones especiales

El diseño de los elementos no estructurales, se desarrolla por medio del método del espectro de diseño, el cual se encuentra definido en el reglamento. Para usar el método se realizan simplificaciones utilizando coeficientes que definen el comportamiento dinámico del elemento no estructural. Uno de estos coeficientes es denominado *Amplificación dinámica del elemento no estructural* (a_p), y sus posibles valores se encuentran consignados en las tablas A.9.5-1 y A.9.6-1. Sin embargo, estos valores presentados son aproximaciones, ya que para encontrar este coeficiente de forma exacta es necesario realizar un análisis dinámico detallado que, a pesar de ser mencionado en la norma, no es exigido por la misma.

Debido a que en el Reglamento no se explica el origen de los valores consignados en las tablas A.9.5-1 y A.9.6-1 y las atenciones hechas para llegar a cada uno de ellos, el presente proyecto se centró en desarrollar un proceso paralelo al sugerido por la NSR-10. Dicho proceso consistió en realizar un análisis de respuesta en el tiempo de los elementos no estructurales que permitiera calcular la *amplificación dinámica del elemento no estructural*. Al final se comparan los resultados con los obtenidos usando el procedimiento descrito en la NSR-10.

Además, el coeficiente a_p afecta directamente la aceleración en el punto de soporte del elemento no estructural (a_x), o aceleración de piso. Por lo tanto, también se calculó a_x utilizando un método alternativo al planteado por la NSR-10 y se compararon los resultados.

1.2 JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia se han presentado gran cantidad de eventos sísmicos que han destruido ciudades enteras y dejado pérdidas humanas. Gracias a la investigación orientada en la ingeniería, con el pasar del tiempo los daños causados por estos sucesos se han logrado minimizar, debido al control de los diseños y construcciones ejercido por los códigos sismo-resistentes. Sin

embargo, aun cuando los componentes no estructurales demandan un diseño sísmo resistente, el procedimiento planteado por la Norma y sus respectivas consideraciones se enfocan principalmente en la estructura principal. Lo anterior pese a que, en muchas ocasiones, son los elementos no estructurales los que sufren los daños más significativos.

El adecuado diseño sísmico de los componentes no estructurales es de gran importancia para la correcta respuesta de una estructura cuando se ve afectada por un evento sísmico. Estos elementos, a pesar de no tener compromiso estructural, pueden llegar a comportarse de forma tal que afectan considerablemente la estructura cuando ésta vibra a causa del movimiento mencionado. Además, su posible falla puede poner en riesgo la integridad física e incluso la vida de las personas que se encuentren en el edificio en el momento del suceso.

En algunos de los más recientes eventos sísmicos que se han presentado en el mundo, se ha evidenciado que en muchas estructuras los elementos no estructurales son los que tienden a colapsar y por consiguiente a poner en riesgo la vida de las personas junto a ellos. Por ejemplo, en el terremoto que se presentó en el año 2010 en Chile, una importante fracción de los daños presentados fue en los elementos no estructurales. Los muros de mampostería y muros divisorios se vieron gravemente afectados, lo cual demostró la importancia de realizar un adecuado control de derivas y prácticas de construcción sísmica para minimizar los daños en elementos no estructurales (Saatcioglu *et al.*, 2013). Además, debido a su localización geográfica, Colombia es un país susceptible a verse afectado por movimientos telúricos, y el Cauca en particular, se encuentra entre los departamentos que la NSR-10 define con nivel de *amenaza sísmica alta*.

Conociendo que en el país hace falta investigación sobre los elementos no estructurales, se ha decidido desarrollar un proyecto de investigación que permita tener un punto de comparación con el procedimiento actual de diseño de estos elementos. Se hará énfasis en el cálculo de las aceleraciones de piso de una estructura y en la evaluación del coeficiente de amplificación dinámica a_p .

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Analizar el procedimiento de diseño de los elementos no estructurales planteado por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente del 2010, haciendo énfasis en la aceleración del piso y en el coeficiente de amplificación dinámica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Buscar herramientas informáticas existentes y/o desarrollar un programa que permita realizar el diseño de elementos no estructurales acorde a lo establecido en la NSR-10.
- Encontrar un sismo compatible con el espectro de diseño definido por la norma, para realizar el análisis de la estructura en el dominio del tiempo
- Calcular la *aceleración en el punto de soporte del elemento no estructural* (aceleración de piso) para diferentes estructuras, y compararla con la que resulta de seguir el procedimiento planteado por la norma, a_x .
- Encontrar el procedimiento que se debe seguir para determinar la rigidez de los muros en mampostería a analizar y continuar con el cálculo del periodo de vibración del elemento, empleando la bibliografía existente.
- Determinar valores de a_p para diferentes edificaciones, por medio de un procedimiento paralelo al planteado en la NSR-10, y comparar los resultados.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, *E.N.E*

Los elementos no estructurales de una estructura son aquellos elementos de una edificación que no hacen parte de su sistema de resistencia sísmica. Entre los componentes no estructurales se pueden encontrar: Cielos, paneles, instalaciones mecánicas y sanitarias, elementos arquitectónicos, muros divisorios, entre otros. (*Ministry of business, Innovation and Employment. New Zealand*)

El fallo de los elementos no estructurales durante eventos sísmicos, representa un considerable riesgo para la seguridad y la vida de las personas, además de causar un significativo daño económico. Es importante destacar que generalmente, ante la ocurrencia de eventos sísmicos, la excitación de los elementos no estructurales es mayor que la excitación en la base de la estructura principal.

En el presente documento se estudia el comportamiento de los elementos no estructurales anclados a cualquier piso de una estructura de múltiples pisos, los cuáles se pueden representar por medio de un sistema de un grado de libertad de una pequeña masa comparada con la masa total de la estructura. (*Lepage et al., 2012*)

2.2 DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN COLOMBIA

El diseño de elementos no estructurales en Colombia se rige por el Capítulo A.9 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), cuyo objetivo es establecer los criterios de diseño de dichos elementos. En él, se definen los criterios y previsiones sísmicas a tener en cuenta en el proceso de diseño.

La Norma define tres posibles grados de desempeño de los elementos no estructurales: Superior, bueno y bajo; los cuales representan el comportamiento

que estos tendrán ante la ocurrencia de un evento sísmico. El desempeño de los elementos no estructurales, depende a su vez del grupo de uso de la estructura principal a diseñar, definido en la Tabla A.9.2-1 del Reglamento.

La NSR-10 define unas fuerzas sísmicas horizontales reducidas de diseño, las cuales parten de la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{a_x a_p}{R_p} g M_p \geq \frac{A_a I}{2} g M_p ; \quad 2-1$$

F_p = Fuerza sísmica de diseño

a_x = Aceleración en el punto de soporte del elemento

a_p = Amplificación dinámica del elemento no estructural

R_p = Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico del elemento no estructural

g = Aceleración de la gravedad

M_p = Masa del elemento

A_a = Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva

Para efectos de la norma, se supone que las fuerzas sísmicas se aplican en el centro de gravedad del elemento no estructural, y que este a su vez las transfiere a la estructura por medio de su anclaje a la misma.

La aceleración en el punto de soporte del elemento no estructural, representa la aceleración del piso dónde se encuentra apoyado. Para su determinación, se utiliza la Ecuación A.9.4-2 del reglamento, que depende de forma directa del espectro de diseño definido para las condiciones de la edificación a la que se encuentra anclado el mismo. Además, depende también de una relación entre la posición en altura del elemento no estructural y la altura equivalente definida como el 75% de la altura total de la estructura principal.

Por su parte, la amplificación dinámica del elemento no estructural, representa la amplificación de la aceleración que afecta al elemento, por los efectos inerciales generados por las propiedades dinámicas del elemento no estructural. Su valor,

depende de la rigidez, distribución de la masa y características de apoyo del elemento sobre la estructura. La norma define valores a utilizar de 1 o 2.5 dependiendo de las características mencionadas. Entre los elementos a los que se debe aplicar el factor de amplificación de 2.5, se encuentran:

- Fachadas en mampostería reforzada, separadas lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo.
- Fachadas en mampostería no reforzada, separadas lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo.
- Muros divisorios de altura parcial.
- Elementos en voladizo vertical (*áticos, parapetos y chimeneas*).

2.3 SISMO COMPATIBLE CON UN ESPECTRO DE DISEÑO

En muchas ocasiones, el diseño de estructuras se realiza por medio de un análisis dinámico no lineal, el cual requiere un acelerograma representativo de un evento sísmico esperado en determinado lugar. Exceptuando muy pocas regiones del mundo donde se cuenta con registros de diversos eventos sísmicos, se utilizan registros de sismos artificiales para desarrollar dicho análisis. Estos sismos son definidos por acelerogramas que son consistentes con un espectro de diseño, de tal manera que, si se calcula sus respectivos espectros de respuesta, el resultado será aproximadamente igual al espectro de diseño objetivo.

A Estos sismos artificiales, es a los que en la presente tesis se les ha denominado *Sismos compatibles con un espectro de diseño*. Pueden ser generados partiendo de la superposición de ondas sinusoidales con fases aleatorias y la amplitud resultante modulada por una función suavizada para tener en cuenta la forma de los registros sísmicos. (Suarez y Montejó, 2005).

La posibilidad de obtener registros que se ajusten a las recomendaciones de las normativas de diseño, hacen de éstas registros los más aconsejables para llevar a cabo análisis dinámicos. (Bonett *et al.*, 2002)

2.4 ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO DE ESTRUCTURAS

También conocido como análisis dinámico no lineal. Es una importante técnica para el análisis sísmico de estructuras, especialmente cuando la respuesta de la estructura evaluada no es lineal. Para desarrollar dicho análisis, se requiere un registro de un sismo representativo, para evaluar el comportamiento de la estructura. El análisis en el tiempo es un análisis paso a paso de la respuesta dinámica de una estructura a una carga específica que puede variar con el tiempo. El análisis en el tiempo es utilizado para determinar la respuesta sísmica de una estructura bajo la carga dinámica de un sismo representativo. (Wilkinson y Hiley, 2006)

2.4.1 Modelamiento y Análisis, SAP2000

“El software de análisis con elementos finitos SAP2000, es utilizado para crear modelos en tres dimensiones y correr todos los análisis correspondientes. El software es capaz de predecir el comportamiento geométrico no lineal de estructuras en el espacio bajo cargas estáticas o dinámicas, teniendo en cuenta la no linealidad geométrica y la inelasticidad del material”. (Patil y Kumbhar, 2013)

2.4.2 Modelo analítico

Hace referencia al conjunto de simplificaciones, suposiciones, parámetros físicos y geometría que se usan para representar la estructura y que se resumen en esquemas o dibujos. Los modelos analíticos se clasifican en continuos o discretos de acuerdo al número de grados de libertad.

Los grados de libertad son las mínimas coordenadas, (los desplazamientos o giros) que son necesarios conocer para poder determinar en forma única la configuración del sistema en todo instante.

Para esta tesis se utilizará un modelo analítico discreto. Los modelos discretos son aquellos con un número finito de grados de libertad. Para definir el número de grados de libertad a utilizar en un modelo discreto, la regla general es “usar el

modelo más simple que sea capaz de representar adecuadamente el comportamiento que se desea estudiar”. (Suárez, 2014)

Para realizar un análisis dinámico es necesario determinar las características de masa, rigidez y amortiguamiento del sistema.

2.4.2.1 Sistema de un grado de libertad

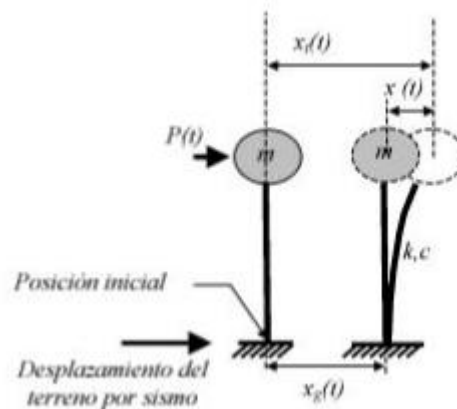


Figura 2-1. Sistema de un grado de libertad

Fuente: Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia

Este tipo de sistemas son muy importantes debido a que un sistema de n grados de libertad se puede reducir a un grado de libertad. En dicho caso, el problema se abordaría como un péndulo, como el que se muestra en la Figura 2-1.

Para calcular el desplazamiento de un sistema de un grado de libertad, se puede utilizar la integral de Duhamel.

2.5 ANTECEDENTES

Respecto al diseño de elementos no estructurales y las consideraciones que se deben tener en cuenta en el mismo, se han realizado diversos estudios. Por ejemplo, Lepage, et al. (2012) realizaron un estudio el cual buscaba determinar

las aceleraciones horizontales máximas que podían llegar a sufrir los elementos no estructurales de una estructura de múltiples niveles, cuando ésta se viera afectada por un movimiento fuerte en su base. En el estudio utilizaron diferentes estructuras de ensayo, las cuáles fueron sometidas a múltiples simulaciones de terremotos en su base. Como resultado, se obtuvo un método que deriva en la expresión que se puede ver en la Ecuación 2-2.

$$A_{pi} = A_0 \left(1 + \frac{3}{R'} \frac{h_i}{h_r} \right) a_p, \quad 2-2$$

A_{pi} = Aceleración máxima del elemento no estructural en el piso i

a_p = factor de amplificación de la aceleración a causa de la flexibilidad

del componente, 1 para componentes rígidos y 2 para componentes flexibles

h_i/h_r = relación entre la altura del piso i y la altura total de la estructura

R' = coeficiente de modificación efectiva de la respuesta de la estructura.

Para la respuesta elástica lineal de una edificación R' = 1

Por su parte, Villaverde (2006) plantea un método para estimar la respuesta no lineal de elementos no estructurales en edificaciones ante la eventualidad de un movimiento sísmico de grandes proporciones. También establece que en algunos casos el uso de métodos lineales en este análisis puede resultar en diseños alejados de la realidad. Lo anterior, debido a que el comportamiento no lineal de componentes estructurales y no estructurales, puede afectar considerablemente la respuesta del componente no estructural.

Menza (2016) desarrolló un procedimiento para calcular espectros de piso, teniendo en cuenta el fenómeno de la variabilidad espacial sísmica. Para ello utilizó una extensión del método del espectro de respuesta. El procedimiento permitió obtener espectros de piso útiles para analizar el comportamiento de componentes no estructurales flexibles. Como parte del procedimiento, se obtuvieron espectros de piso utilizando SAP2000. Para obtener dichos espectros

se utilizaron dos procesos: el primero por medio del método espectral combinando máximas respuestas modales; el segundo mediante un análisis en el tiempo, técnica considerada como el “método exacto”. Al comparar los dos espectros calculados por medio de los dos procedimientos, se concluye que: “los espectros de piso obtenidos usando como dato de entrada un espectro en la base difieren de los que se obtienen con un análisis en el tiempo”. Lo anterior debido a diversas causas como la configuración de la estructura en análisis y las características de la excitación sísmica.

Por otro lado, en busca de facilitar el proceso de diseño de muros no estructurales de acuerdo a lo especificado por la NSR-10, Trujillo (2017) realizó un estudio detallado del procedimiento definido por la Norma, y desarrolló una herramienta computacional, tipo software que permite llevar a cabo el proceso de una forma rápida y segura.

Taly (2010), plantea que el parámetro más importante que describe la resistencia de un muro es su rigidez. Con el fin de determinar dicho parámetro, Moya (2011) plantea un método que permite determinar la rigidez de un muro por medio de SAP2000. Para ello aplica una carga P en uno de los extremos del muro, y posteriormente calcula la máxima deformación en el extremo opuesto. La rigidez en este caso se calcula con base en la Ecuación 2-3. Es importante destacar que el procedimiento se planteó para determinar la rigidez del muro en su propio plano. Sin embargo, se observó que también se puede aplicar al cálculo de la rigidez perpendicular al plano del muro.

$$K = P/\delta \quad 2-3$$

Una parte fundamental del presente trabajo es la modelación por elementos finitos de muros de mampostería utilizando SAP2000. Para definir el procedimiento a seguir y las atenciones que se debían tener en cuenta en el

mismo se tuvo en cuenta lo propuesto por Marulanda (2012), cuyo método incluye la homogenización de la mampostería como un solo material. Se calibra el modelo con un solo módulo de elasticidad, para posteriormente poder utilizar los elementos planos tipo *Shell* en el proceso de modelación.

3 METODOLOGIA

Teniendo en cuenta que el principal objetivo de la tesis fue realizar un análisis del procedimiento planteado por la NSR-10 en el capítulo A.9, para el diseño de elementos no estructurales, fue necesario buscar una metodología que permitiera comparar los resultados obtenidos con el método de la Norma con los obtenidos con un análisis en el tiempo. Con dicho fin se inició definiendo los parámetros de diseño establecidos por la NSR-10. Conocidos estos datos, se elaboraron espectros de diseño para 2 tipos de suelos característicos de la ciudad de Popayán y utilizando diferentes procedimientos se determinaron sismos artificiales compatibles con dichos espectros. Con estos sismos compatibles se realizó un análisis en el dominio del tiempo para condiciones equivalentes a las determinadas según la NSR-10.

Con el fin de cumplir con el objetivo de esta investigación, fue necesario adquirir conocimientos básicos de dinámica estructural que no son contemplados en el pensum del programa de pregrado, asistiendo a clases de la especialización de estructuras.

3.1 DEFINICIÓN DE ESTRUCTURAS

Se definieron cinco estructuras con características diferentes con el fin de analizar la posible variabilidad de los resultados debido a la regularidad de las estructuras. Para la modelación de las estructuras y la determinación de sus propiedades dinámicas, se utilizó SAP2000.

3.2 CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE ESPECTRO DE DISEÑO (NSR-10)

Se siguió detalladamente el procedimiento de diseño planteado en la NSR-10. Se planteó que las estructuras estuviesen ubicadas en la ciudad de Popayán, con las condiciones más desfavorables de tipo de suelo (suelo tipo

E y D), lo que resultó en dos espectros de diseño con valores críticos de comportamiento de las mismas. Los pórticos sometidos a análisis se definieron como estructuras de ocupación normal. Es importante mencionar que las aceleraciones de piso que calcula el método de la NSR-10, resultan de una relación de equivalencias de alturas. Es decir, se relaciona la posición en altura del elemento no estructural con el 75% de la altura del edificio. Con el fin de realizar esta parte del proceso de manera eficiente, se desarrolló un programa en Matlab que permitiera agilizar el proceso. Este programa se presenta en el anexo B.

3.3 ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO

Para el análisis de respuesta en el tiempo, se usaron los espectros de diseño definidos en el numeral anterior. Se determinaron sismos compatibles con cada uno de los espectros de diseño, utilizando el programa *ArtifQuakeLetII* (Montejo, L.A, 2013).

3.3.1 Aceleración de piso, a_x

Con este método, las aceleraciones máximas de piso se obtienen directamente del programa SAP 2000 mediante registros de aceleraciones variables en el tiempo. Para lograrlo, se realizó un análisis de respuesta en el tiempo (*Time History*) con el mismo programa, pero ingresando cada sismo compatible como dato de entrada a cada modelo de pórtico.

3.3.2 Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p

Se definieron las propiedades (simetría y material) del modelo del elemento no estructural a utilizar. El modelo del muro se sometió al registro de aceleraciones de piso calculadas en el numeral anterior, con el fin de determinar la aceleración máxima en el tope del elemento no estructural.

3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con el método de la NSR-10 se compararon con los obtenidos con el análisis en el tiempo usando sismos compatibles con los espectros de diseño. Se analizaron los resultados para cada estructura y finalmente se presentaron las conclusiones de esta investigación.

4 OBTENCIÓN DE DATOS DE ENTRADA COMPATIBLES QUE PERMITIERAN COMPARAR EL MÉTODO DE LA NSR-10 CON EL ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO

Uno de los objetivos de esta investigación fue comparar las aceleraciones absolutas calculadas utilizando el procedimiento de diseño definido por la NSR-10 en el Capítulo A.9, con las aceleraciones calculadas por medio de un análisis de respuesta en el tiempo.

Debido a la falta de compatibilidad entre los resultados obtenidos con los dos procesos, fue necesario buscar la forma de generar datos compatibles que permitieran comparar los resultados. Es decir, para validar los resultados con análisis de respuesta en el tiempo el sismo usado debía ser compatible con el espectro de diseño o de respuesta previamente definido. Con dicho fin, se decidió desarrollar un procedimiento de determinación de sismos compatibles con espectros de diseño definidos en la NSR-10.

De forma complementaria se decidió calcular de espectros de respuesta para registros de sismos conocidos.

4.1 DETERMINACIÓN DE SISMOS COMPATIBLES CON ESPECTROS DE DISEÑO DEFINIDOS EN LA NSR-10

Primero se generaron espectros de diseño de acuerdo a las definiciones dadas en el Capítulo A.2.6 de la NSR-10.

Se decidió, elaborar dichos espectros para condiciones propias de la ciudad de Popayán, es decir, para una aceleración pico efectiva (A_a) de 0.25 y una velocidad pico efectiva (A_v) de 0.20; se mantuvo constante el coeficiente de importancia para estructuras de ocupación normal. En el caso de los efectos locales se decidió utilizar un suelo tipo E y otro tipo D.

4.1.1 Espectros de diseño de trabajo según el procedimiento NSR-10

En la Tabla 4-1 se resumen los parámetros asignados a los espectros de diseño que se usaron en esta investigación.

	A _a	A _v	Perfil de Suelo	Grupo de uso
Espectro de diseño 1	0.25	0.20	Suelo E	1
Espectro de diseño 2	0.25	0.20	Suelo D	1

Tabla 4-1. Parámetros de los espectros de diseño seleccionados para la ciudad de Popayán

Para determinar los coeficientes A_a y A_v se consultaron los valores de la Tabla A.2.3-2 de la NSR-10 presentada en la Tabla 4-2.

Ciudad	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincedejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Tabla 4-2. Tabla A.2.3-2 Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento.
Fuente: NSR-10

Posteriormente, se utilizó un programa desarrollado en Matlab para esta investigación (*EspectroyAceleraciones*), el cual permitió determinar los dos espectros de diseño requeridos. Este programa genera un archivo de texto con los valores de *Periodo (T)* y *Seudoaceleración (Sa)*, necesarios para definir el espectro de diseño. Los resultados obtenidos al realizar el procedimiento mencionado, se presentan en las Figuras 4-1 y 4-2.

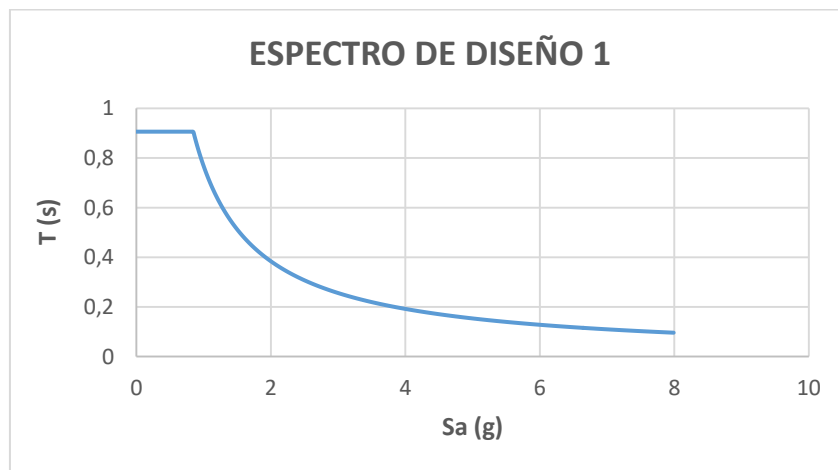


Figura 4-1. Espectro de diseño 1 (Suelo E)

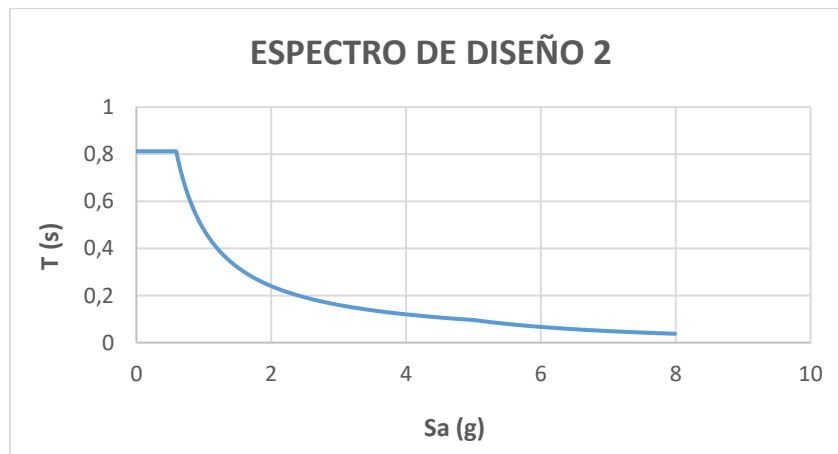


Figura 4-2 Espectro de diseño 2 (Suelo D)

4.1.2 Sismos compatibles con los espectros de diseño seleccionados

Para realizar el análisis de respuesta en el tiempo era necesario tener registros sísmicos, lo que a su vez demandaba generar un sismo compatible con cada uno de los espectros de diseño. Con dicho fin, se decide utilizar el programa de Matlab *ArtifQuakeLetII* desarrollado por el Ingeniero Luis A. Montejo, el cual genera un registro sísmico artificial partiendo de un espectro de diseño o de respuesta dado y de un registro sísmico base (*este registro sísmico es escalado para lograr la compatibilidad con el espectro objetivo*). Para este caso los espectros de diseño utilizados fueron los determinados anteriormente, y el registro sísmico base que se usó fue el que trae por defecto el programa *ArtifQuakeLetII* (*Loma Prieta, 1989*)

4.1.2.1 Sismo compatible con el espectro de diseño 1

Al utilizar el programa *ArtifQuakeLetII*, teniendo como dato de entrada el espectro de diseño del perfil de suelo E, se generó un sismo compatible con dicho espectro, cuyo registro de aceleraciones, velocidades y desplazamientos se muestran en la Figura 4-3.

Además, el programa generó un gráfico donde se puede comparar el espectro de aceleraciones originales, el espectro escalado y el espectro objetivo, dicho gráfico se encuentra en la Figura 4-4.

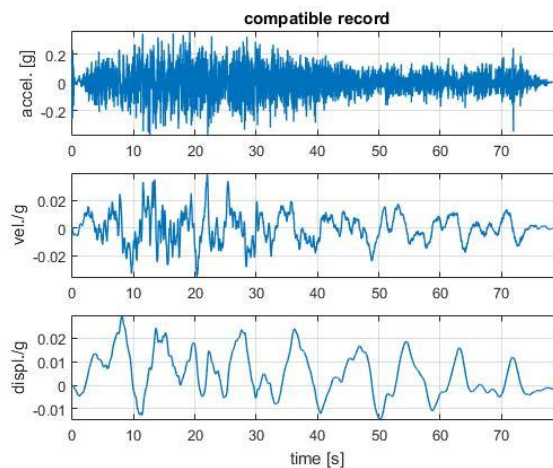


Figura 4-3. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos del Sismo compatible 1

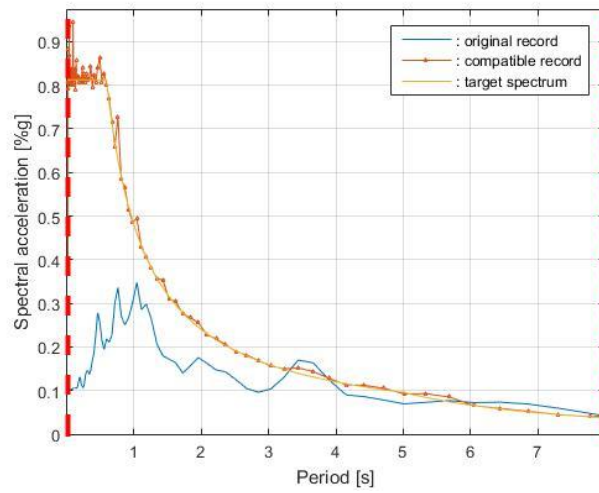


Figura 4-4. Comparación entre el espectro de diseño 1, el espectro del sismo compatible 1 y el espectro del sismo base predeterminado del programa ArtifQuakeLetII

4.1.2.2 Sismo compatible con el espectro de diseño 2

Para el espectro de diseño 2 se sigue la misma metodología y los resultados se presentan en las Figuras 4-5 y 4-6.

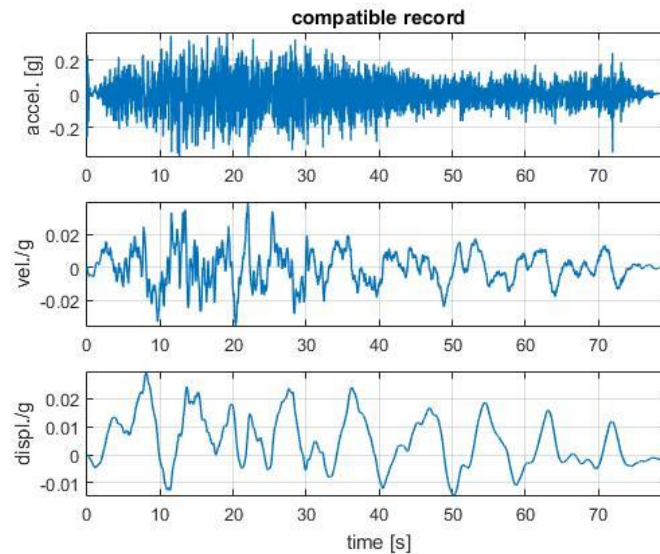


Figura 4-5. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos del Sismo compatible 2

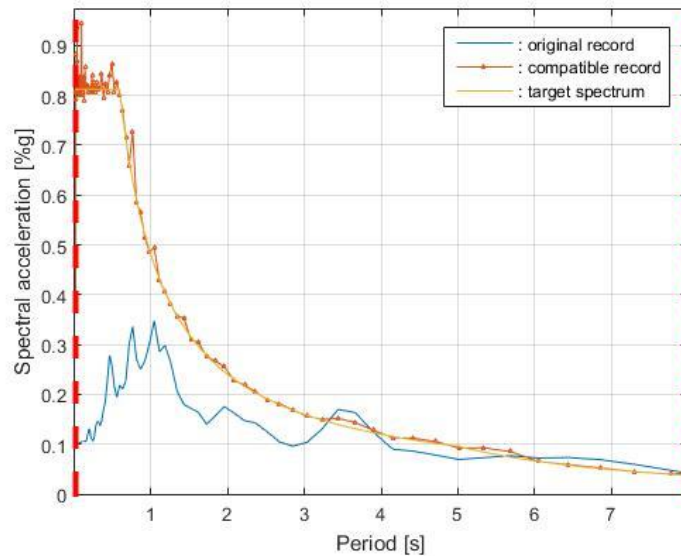


Figura 4-6. Comparación entre el espectro de diseño 2, el espectro del sismo compatible 2 y el espectro del sismo base predeterminado del programa ArtifQuakeLetll.

4.2 CALCULO DE ESPECTROS DE RESPUESTA PARA REGISTROS DE SISMOS CONOCIDOS

4.2.1 Obtención de los registros sísmicos de trabajo

Para poder desarrollar un procedimiento que no usara sismos compatibles artificiales, sino que partiera de espectros de respuesta de sismos conocidos, se decidió seguir la siguiente metodología. Usando la base de datos del *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*, se seleccionaron los siguientes eventos sísmicos:

- Imperial Valley, 05/19/1940, El Centro, USGS Station 117
- Northridge, 01/17/1994, Sylmar-Hospital, CDMG Station 24514

Los acelerogramas de estos dos sismos se muestran en las Figuras 4-7 y 4-8 respectivamente.

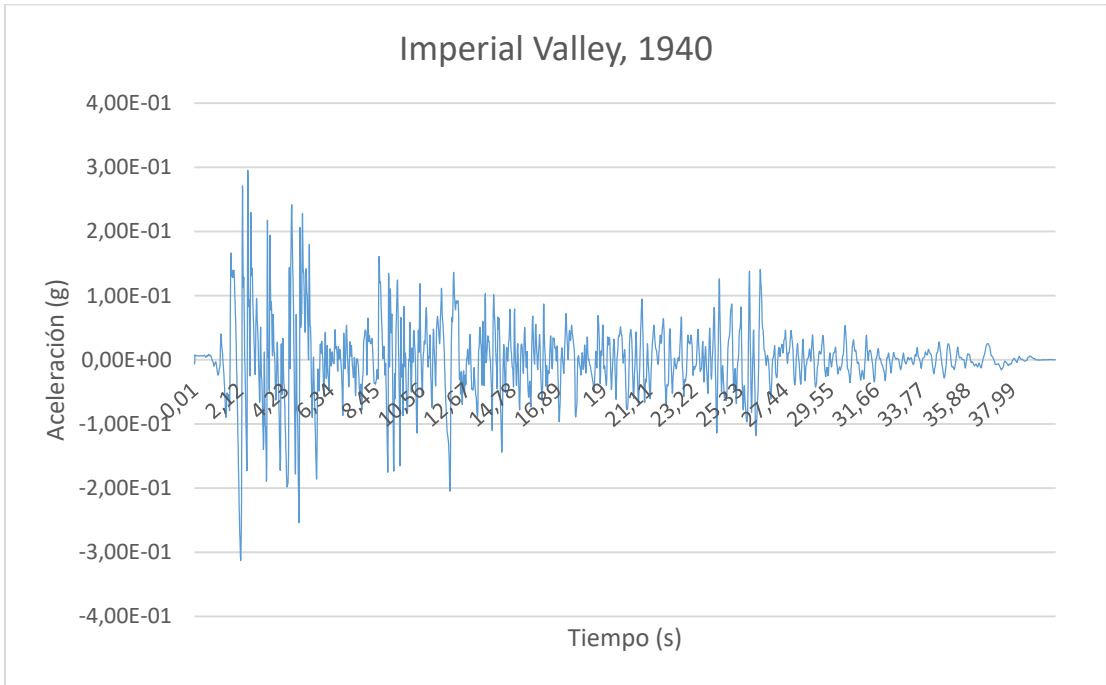


Figura 4-7. Registro de Aceleraciones. Imperial Valley, 1940

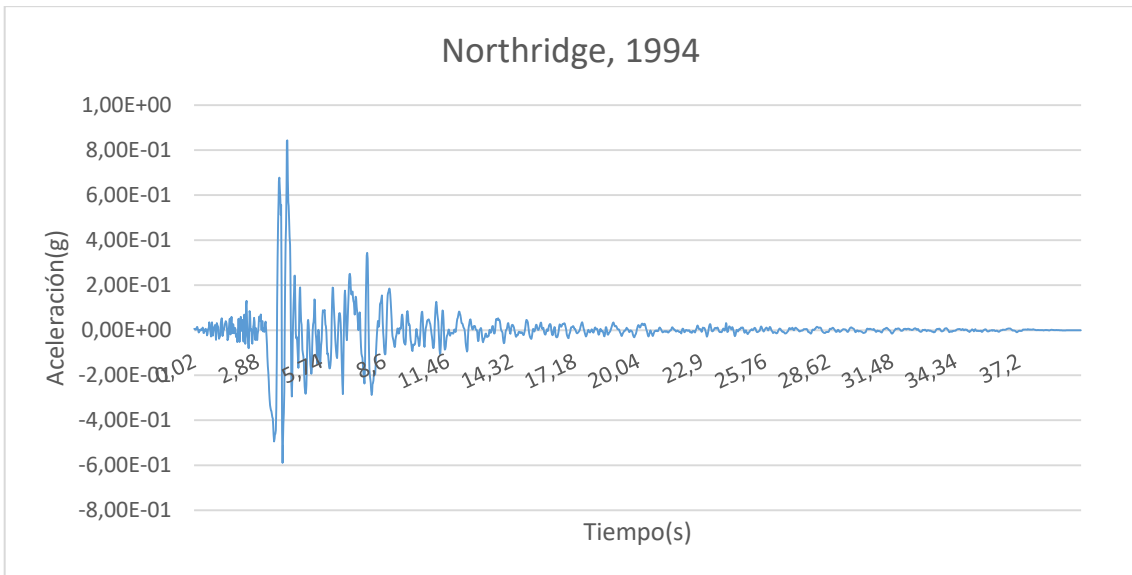


Figura 4-8. Registro de Aceleraciones. Northridge, 1994

4.2.2 Determinación de los espectros de respuesta correspondientes a cada sismo

Para generar los espectros de respuesta asociados a cada uno de los dos sismos mencionados anteriormente, se utilizó el programa de Matlab *EspectrosRespuesta* desarrollado por el Ingeniero Luis A. Montejo. Éste programa requiere ingresar un registro sísmico de aceleración contra tiempo, y para un vector de periodos y una razón de amortiguamiento definidos, genera el espectro de respuesta correspondiente a dicho sismo.

4.2.2.1 Espectro de respuesta, Imperial Valley 1940

Con el sismo Imperial Valley 1940, se calculó un valor de PGA (aceleración máxima del suelo) igual a 0.31g. Ingresando los datos necesarios al programa *EspectrosRespuesta*, se obtuvo el espectro que se muestra en la Figura 4-9.

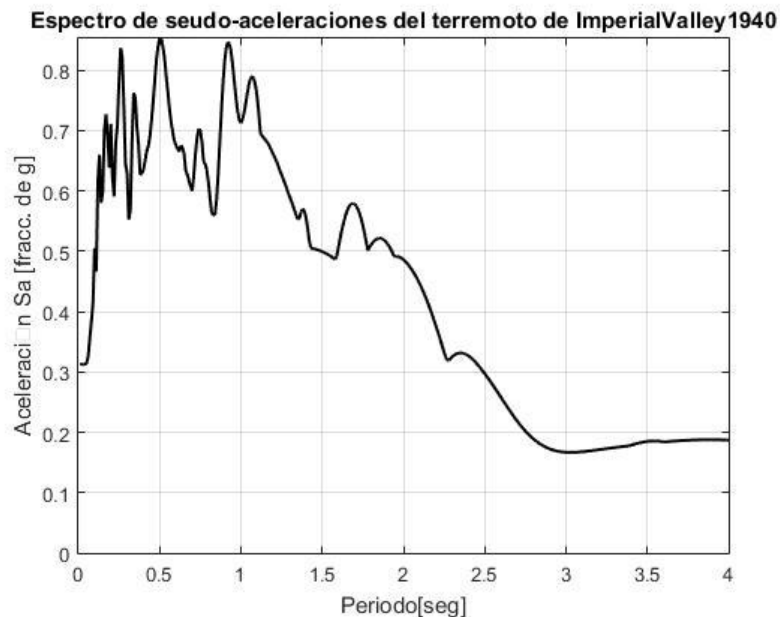


Figura 4-9. Espectro de respuesta – Imperial Valley 1940

4.2.2.2 Espectro de respuesta, Northridge 1994

El espectro de respuesta obtenido para el evento sísmico de Northridge se presenta en la Figura 4-10.

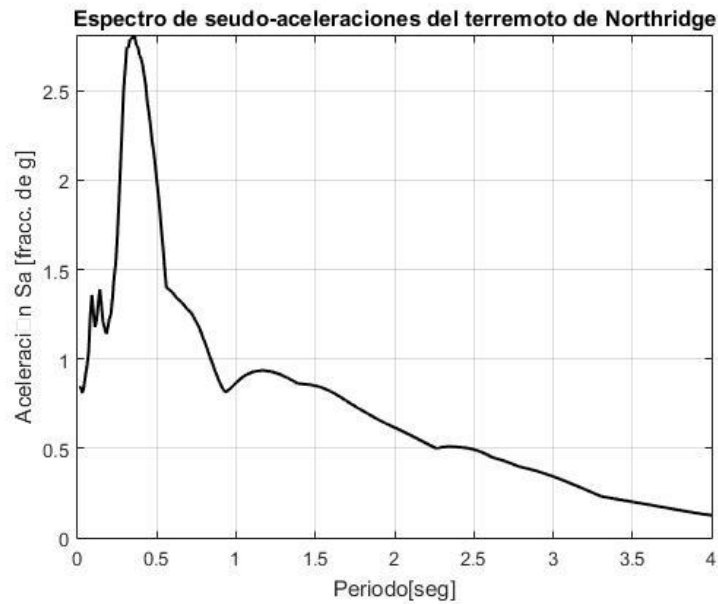


Figura 4-10. Espectro de respuesta – Northridge 1994

5 ESTRUCTURAS USADAS EN LA VALIDACION DE RESULTADOS

Para poder desarrollar el objetivo de esta investigación, se definieron estructuras planas y una en tres dimensiones con características variables que permitieran analizar y concluir respecto a los resultados obtenidos.

Para modelar dichas estructuras se utilizó el programa *SAP2000*, prestando importante atención a todas las consideraciones que se debían tener en cuenta para que los resultados arrojados por el programa fueran confiables.

5.1 PÓRTICO 1

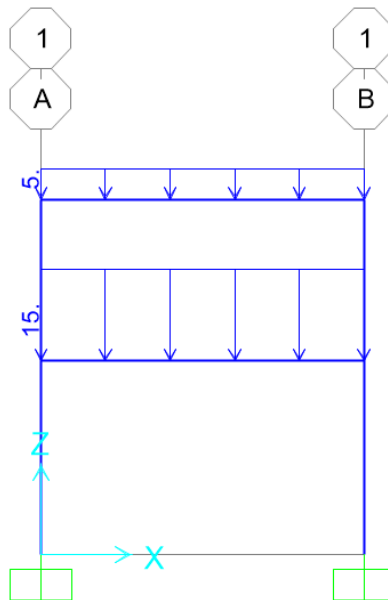


Figura 5-1. Vista en SAP2000 del Pórtico 1. Plano X-Z

La primera estructura consistió en un pórtico plano en concreto de 3000psi, de 2 pisos y un vano de 5 metros, el primer piso de 3 metros de altura y el segundo de 2.50. A las vigas y columnas se le asignaron secciones cuadradas de 0.25x0.25 metros y 0.30x0.30 metros respectivamente. Además, se le asignaron las cargas muertas adicionales que se aprecian en la Figura 5-1, las cuales se encuentran en unidades de KN/m.

Con estas características al pórtico 1 se asocia un periodo de vibración fundamental de 0.35 segundos. Resultado obtenido con el análisis modal en el programa SAP2000.

5.2 PÓRTICO 2

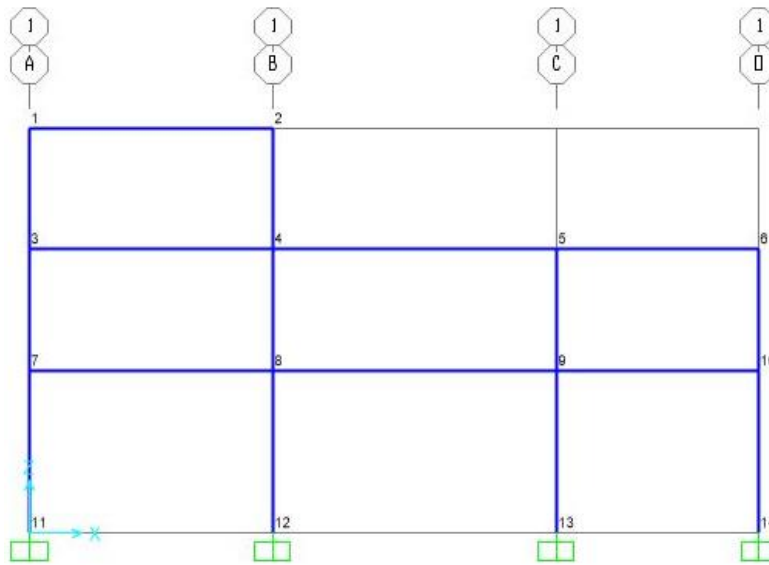


Figura 5-2. Vista en SAP2000 del Pórtico 2. Plano X-Z

Para la segunda estructura, se definió un pórtico plano en concreto de 3000psi de 3 pisos como el que se muestra en la figura 5-2. En este caso el pórtico presenta cierto grado de irregularidad comparado al pórtico 1, con el fin de analizar los resultados y la influencia de dicha irregularidad en los mismos.

Las alturas del primer al tercer piso son de 4, 3 y 3 metros respectivamente; las luces de izquierda a derecha son de 6, 7 y 5 metros; y las secciones definidas son cuadradas de 0.25x0.25 metros y 0.30x0.30 metros para las vigas y las columnas respectivamente.

Para este pórtico se obtiene un periodo de vibración de 0.37 segundos.

5.3 PÓRTICO 3

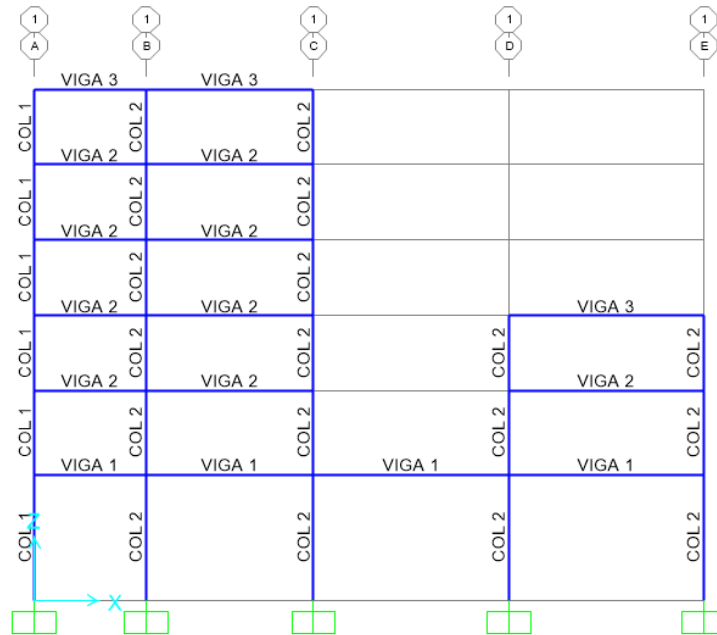


Figura 5-3. Vista en SAP2000 del Pórtico 3. Plano X-Z

Para la tercera estructura, se definió un pórtico plano en concreto de 3000psi de 6 pisos. Este pórtico también se definió con irregularidad en altura, calculando un periodo fundamental de 0.64 segundos.

La altura del primer piso es de 4.50 metros, la del segundo piso de 3 metros, y las restantes de 2.70 metros. Las luces de izquierda a derecha son de 4, 6, 7 y 7 metros. Las secciones de vigas y columnas son las que se muestran en la Tabla 5-1.

TIPO SECCIÓN	BASE (m)	ALTURA (m)
Viga 1	0.4	0.6
Viga 2	0.4	0.4
Viga 3	0.3	0.3
Columna 1	0.4	0.7
Columna 2	0.4	0.4

Tabla 5-1. Secciones Pórtico 3

Análogamente a lo realizado en el primer pórtico, en este pórtico se definieron cargas muertas adicionales al peso propio sobre los diferentes elementos de la estructura, tal y como se puede observar en la Figura 5-4. Las cargas se encuentran en unidades de KN/m.

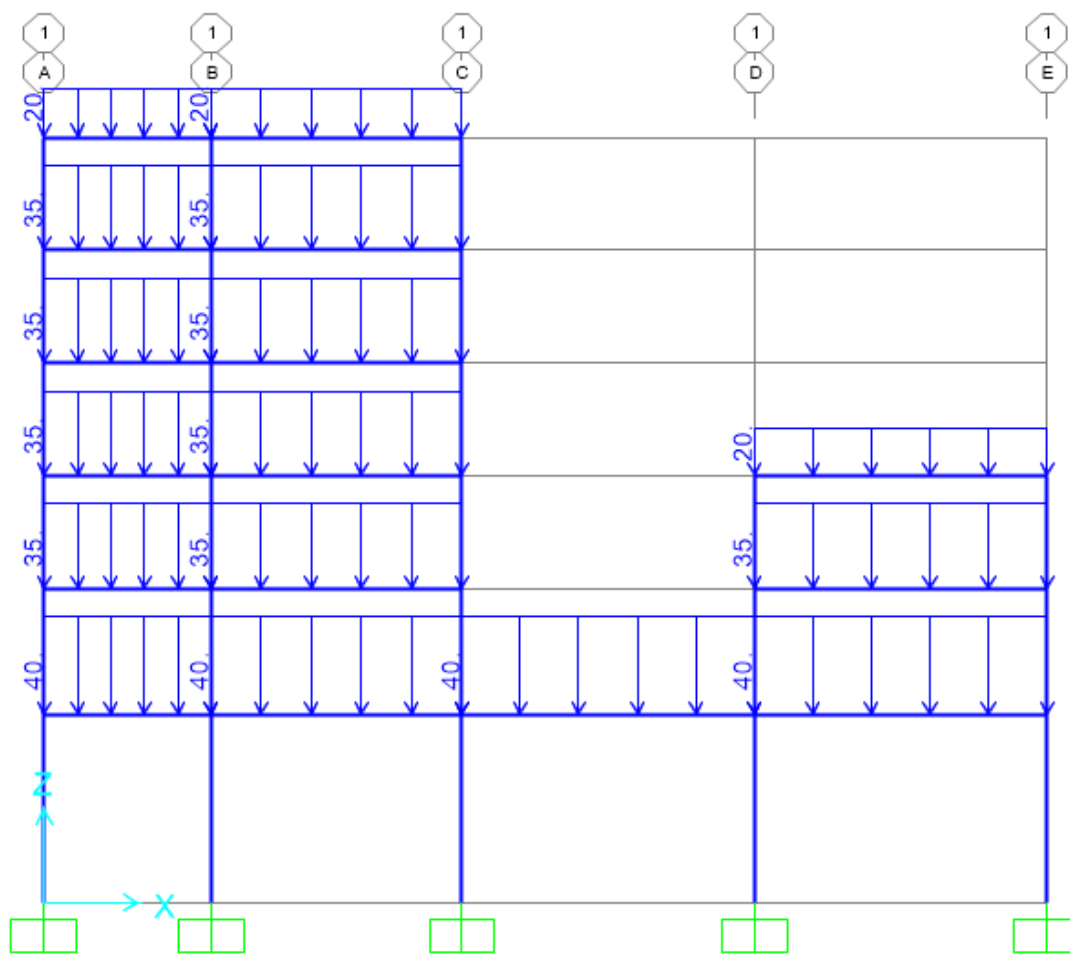
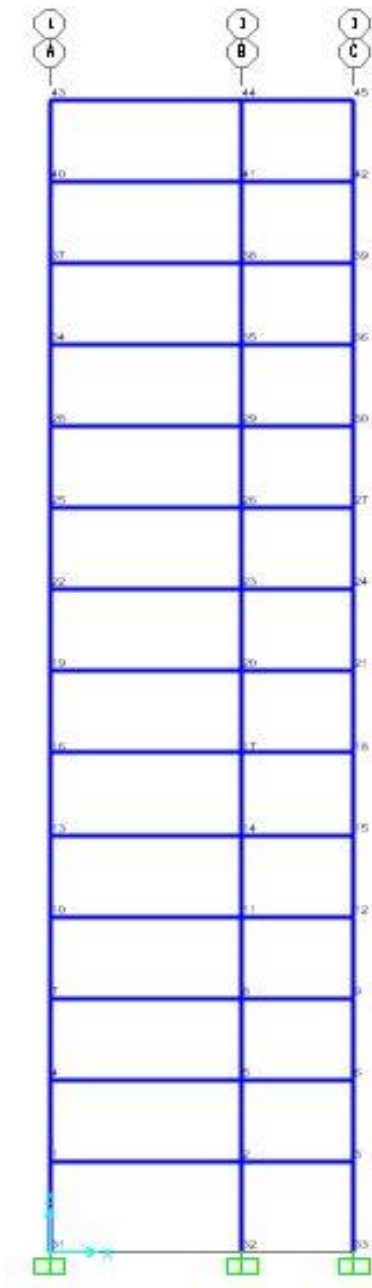


Figura 5-4. Vista en SAP2000 del Pórtico3 con cargas muertas. Plano X-Z

5.4 PÓRTICO 4



Para la cuarta estructura, se definió un pórtico en concreto de 3000psi, de 14 pisos y 2 luces como el que se muestra en la Figura 5-5. La altura del primer piso es de 3 metros y para los siguientes pisos se asignó 2.70 metros. Las luces de izquierda a derecha son de 6 y 3.50 metros. Se decidió que la sección de las vigas fuera de 0.40x0.50m y que las columnas fueran de sección cuadrada de 0.40m de lado.

El periodo de vibración fundamental correspondiente a esta estructura es de 0.96 segundos.

Figura 5-5. Vista en SAP2000 del Pórtico 4. Plano X-Z

5.5 ESTRUCTURA EN 3 DIMENSIONES

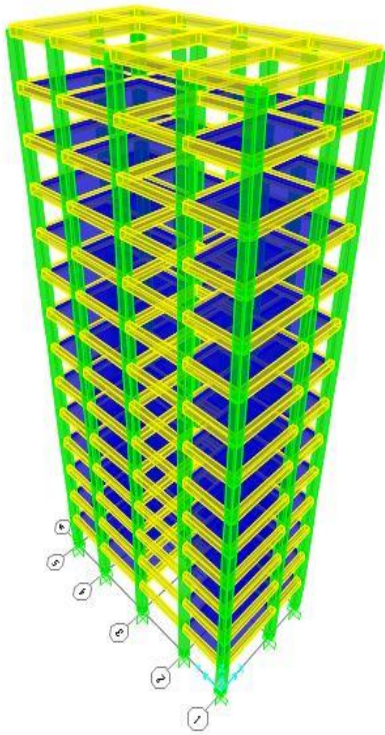


Figura 5-6. Vista en 3 dimensiones en SAP2000 del Edificio 1

Como quinta estructura, se decidió trabajar con un edificio que partiera del Pórtico 4 (Figura 5-6), sin embargo debido a que el edificio no cumplía el control de derivas con las dimensiones de los elementos estructurales del pórtico 4, se hizo necesario trabajar con vigas cuadradas de 0.75 metros de lado y columnas cuadradas de 0.6 metros de lado. La estructura parte de replicar cinco veces el pórtico con

separaciones de 4 metros en las esquinas (*entre ejes 1-2 y 4-5*) y 5 metros en entre los 3 pórticos del centro (*entre ejes 2-3 y 3-4*).

Es importante destacar que para la distribución de cargas de entrepiso se definió una losa delgada, como la que se muestra en la Figura 5-7, la cual tiene un area hueca en el cuadrante comprendido entre los ejes 2-3 y A-B.

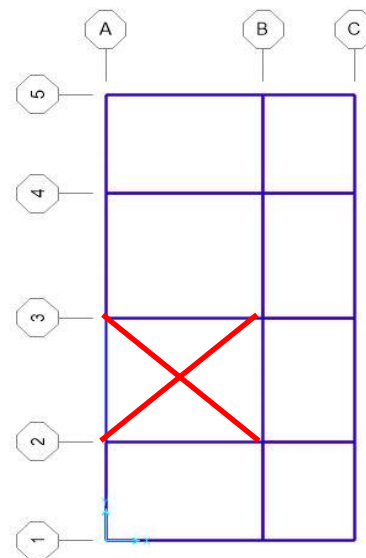


Figura 5-7. Viste en planta en SAP2000 del Edificio 1

Dicha losa, posee las mismas características geométricas en todos las pisos, a excepcion de la cubierta, dónde no se trabajó con losa sino que se distribuyó la carga de cubierta en las vigas de cubierta.

Las cargas muertas adicionales asignadas a la estructura fueron:

$$\text{Carga de entrepiso} = 4 \text{KN/m}^2$$

$$\text{Carga de cubierta} = 0.6 \text{KN/m}^2$$

El periodo fundamental de esta estructura fue de 1.00 segundos. Las vistas en perfil de la estructura se pueden observar en las Figuras 5-8 y 5-9.

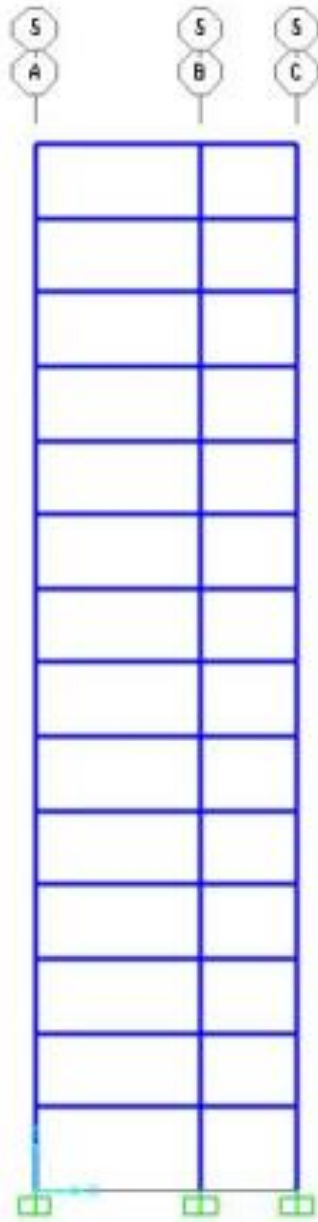


Figura 5-8. Vista en SAP2000 del Edificio 1.
Plano X-Z

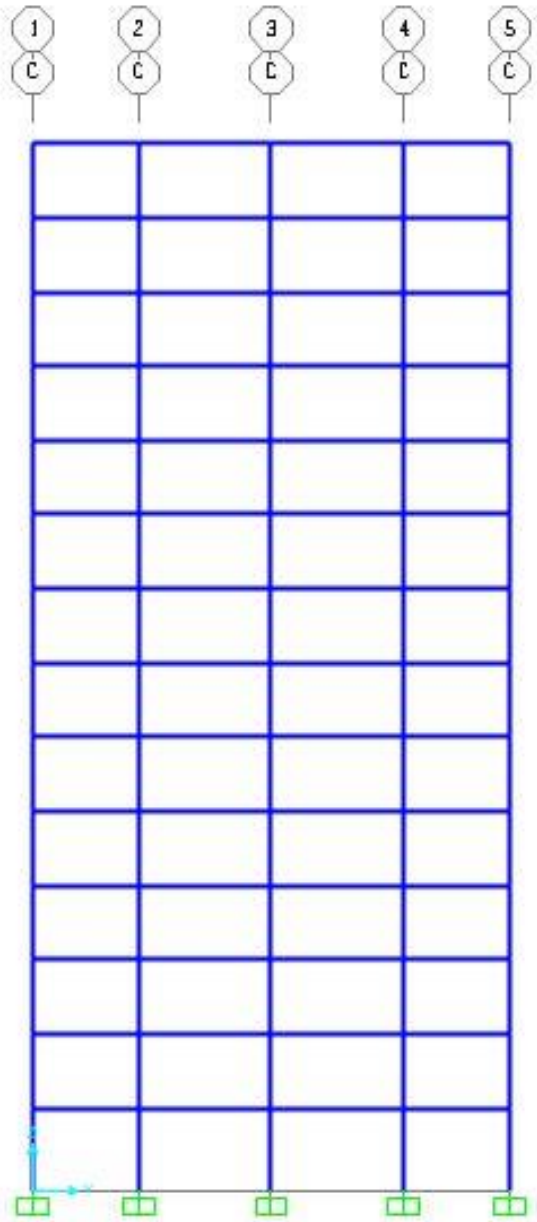


Figura 5-9. Vista en SAP2000 del Edificio 1.
Plano Y-Z

6 ACELERACIÓN EN LA BASE DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL

Al presentarse un evento sísmico, la aceleración de piso que afecta al elemento no estructural es mayor que la aceleración en la base de la estructura. Lo anterior ocurre debido a que la estructura principal amplifica el efecto sísmico a causa de sus características dinámicas.

En el presente proyecto, se decidió abordar en primera instancia el efecto de amplificación de la estructura principal. El resultado se confrontará más adelante con la *aceleración horizontal sobre el elemento no estructural localizado en un piso determinado* que define la NSR-10. Para ello, se analizarán las estructuras descritas en el capítulo 5 con los sismos y espectros definidos en el Capítulo 4 de este documento. Finalmente, se procedió a comparar los resultados obtenidos utilizando análisis de respuesta en el tiempo con los resultados del procedimiento definido en la Norma.

6.1 ACELERACIÓN DE PISO, PROCEDIMIENTO DE LA NSR-10

El diseño de los elementos no estructurales utiliza espectros de diseño para calcular la aceleración de piso. Esta aceleración está definida por la Norma como a_x y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$a_x = As + \frac{(Sa - As)h_x}{h_{eq}} \quad h_x \leq h_{eq} \quad 6-1$$

$$a_x = Sa \frac{h_x}{h_{eq}} \quad h_x \geq h_{eq} \quad 6-2$$

a_x = Aceleración en el punto de soporte del elemento

As = Aceleración máxima en la superficie del suelo estimada como la aceleración espectral correspondiente a un periodo de vibración igual a cero

Sa = Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado

h_x = Altura en metros, medida desde la base del nivel de apoyo del elemento no estructural

h_{eq} = Altura equivalente del sistema de un grado de libertad que simula la edificación

$$h_{eq} = 0.75h_n \quad 6-3$$

h_n = Altura en metros, medida desde la base, al piso más alto de la edificación

Para determinar la aceleración de cada uno de los pisos de cada estructura, según el procedimiento definido por la NSR-10, se utilizó el programa *EspectroyAceleraciones*, cuyo código e interfaz se pueden encontrar en el Anexo B de este documento.

6.2 DETERMINACIÓN DE ACELERACIÓN DE PISO POR MEDIO DE ANÁLISIS DE RESPUESTA EN EL TIEMPO

El análisis de respuesta en el tiempo realizó cargando los registros de los sismos compatibles en *SAP2000* como funciones variables en el tiempo. Se creó un caso de carga del tipo lineal, pero variable en el tiempo (*Time History*). Con esta condición se asignaron aceleraciones en los apoyos de cada pórtico para simular el efecto de los sismos en cada una de las estructuras. Para los resultados, se generó el respectivo registro de aceleraciones de cada piso, y finalmente se determinó la aceleración máxima en cada nivel de las diferentes estructuras.

Para obtener el registro de aceleraciones, se utilizó la herramienta “*Show Plot Functions*” de *SAP2000*, y se seleccionó el nodo cuyo comportamiento fuese más crítico, para cada piso de cada estructura. Es importante aclarar que la mayoría de los pórticos analizados tienen un comportamiento muy similar a un modelo de Edificio de Corte. Por lo anterior, se esperaba y se pudo comprobar que los desplazamientos en los distintos nodos de cada piso eran aproximadamente iguales en el caso de pórticos regulares.

Se continuó el procedimiento graficando el registro de aceleraciones absolutas en dirección X (*dirección en la cual se colocó el sismo*). Se obtuvo una gráfica

como la que se muestra en la Figura 6-1, y se leyó la máxima aceleración que el programa arroja de forma automática, y que está señalada con el círculo de color rojo en la misma figura. Es importante aclarar que la Figura 6-1 se obtuvo para el registro de aceleraciones del segundo piso del Pórtico 1, al someterlo al sismo compatible 1. Los otros registros se pueden encontrar en el Anexo D del presente documento.

Para el pórtico mencionado, se concluye que en el segundo piso la máxima aceleración absoluta es de 7.101 m/s^2 , que equivale a $0.72g$, siendo g la aceleración de la gravedad.

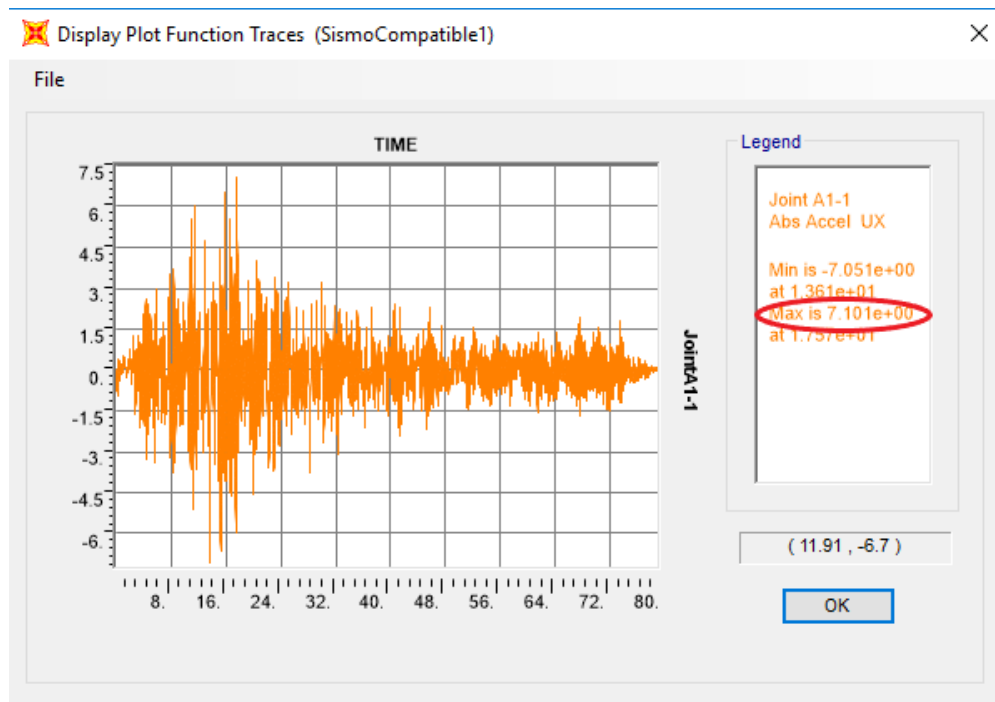


Figura 6-1. Registro de Aceleraciones. Pórtico 1, Segundo Piso, Sismo Compatible 1

6.3 COMPROBACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD DE LOS SISMOS ARTIFICIALES GENERADOS

A modo de comprobación, se generó el espectro de respuesta de cada uno de los sismos compatibles haciendo uso del programa en Matlab *EspectrosRespuesta*, desarrollado por el Ingeniero Luis Suarez. Dichos

espectros se graficaron junto a sus respectivos espectros de diseño originales (Figuras 6-2 y 6-3). Los resultados se consideraron aceptables.

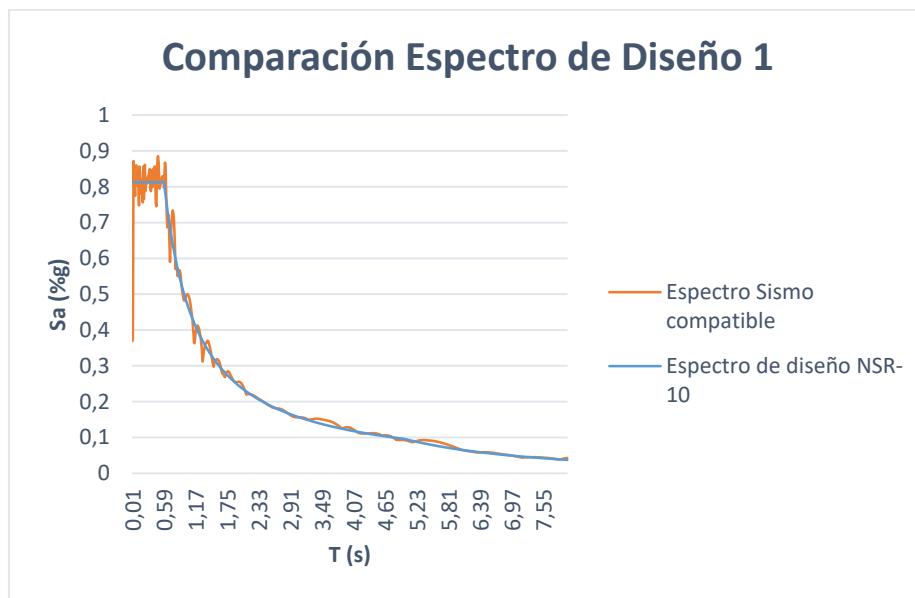


Figura 6-2. Comparación: Espectro de diseño 1 vs Espectro de respuesta del Sismo compatible

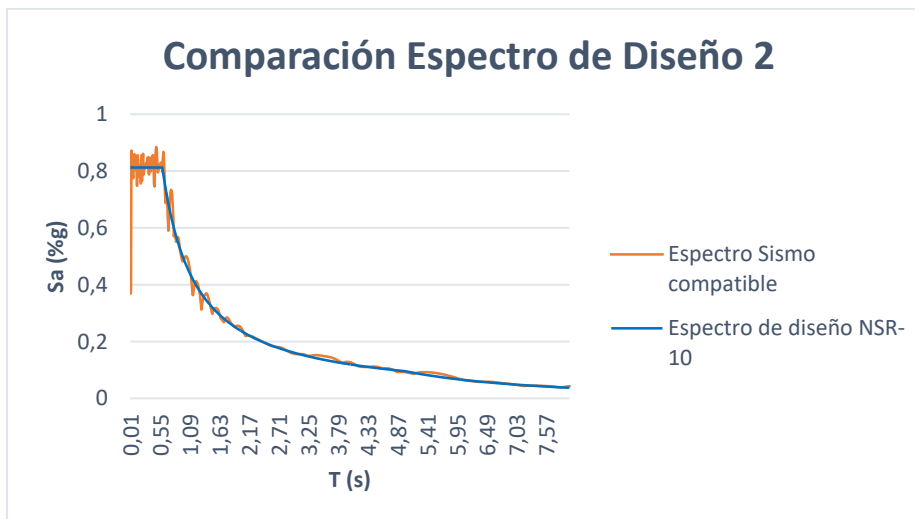


Figura 6-3. Comparación: Espectro de diseño 1 vs Espectro de respuesta del Sismo compatible

6.4 RESULTADOS

Es importante mencionar que, para efectos de organización de resultados, se consideró que cuando el resultado obtenido al seguir la Norma es conservador

con respecto al obtenido con análisis de respuesta en el tiempo, se **cumple** con lo esperado. En caso contrario, **no cumple**.

6.4.1 Pórtico 1

	Segundo Piso N +3.00				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/ Reducción
Suelo E	0,724	0,906	25,1	CUMPLE	1,25
Suelo D	0,654	0,813	24,2	CUMPLE	1,24

Tabla 6-1. Aceleración de piso. Pórtico 1, primer piso

	Cubierta N +2.50				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/ Reducción
Suelo E	1,195	1,208	1,1	CUMPLE	1,01
Suelo D	1,102	1,083	1,7	NO CUMPLE	0,98

Tabla 6-2. Aceleración de piso. Pórtico 1, segundo piso

Observando los resultados del pórtico 1 (tablas 6-1 y 6-2), se puede evidenciar que: En el segundo piso, la aceleración calculada con el procedimiento de la NSR-10 es mayor que la obtenida con análisis de respuesta en el tiempo, con un margen de seguridad significativa.

En el segundo nivel, la diferencia entre ambos resultados disminuye. Inclusive, para el caso del suelo D, el método definido por la NSR-10 arroja valores menores a los obtenidos por medio del análisis de respuesta en el tiempo.

6.4.2 Pórtico 2

En los resultados consignados en las Tablas 6-3 y 6-4, se observa que el procedimiento de la NSR-10 es conservador tan solo en el segundo piso. Para los casos del tercer piso y cubierta, el método de la Norma sub-estima la aceleración de piso con relación al análisis de respuesta en el tiempo, produciéndose una reducción de aproximadamente el 12% con respecto a dicho análisis. La tendencia se mantiene en los dos espectros de diseño analizados.

	Suelo E				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/ Reducción
Segundo Piso N+4.00	0,699	0,906	29,7	CUMPLE	1,30
Tercer Piso N+7.00	1,012	0,906	10,5	NO CUMPLE	0,90
Cubierta N+10.00	1,354	1,208	10,8	NO CUMPLE	0,89

Tabla 6-3. Aceleración de piso. Pórtico 2, Espectro Suelo E

	Suelo D				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/ Reducción
Segundo Piso N+4.00	0,612	0,813	32,7	CUMPLE	1,33
Tercer Piso N+7.00	0,915	0,813	11,2	NO CUMPLE	0,89
Cubierta N+10.00	1,241	1,083	12,7	NO CUMPLE	0,87

Tabla 6-4. Aceleración de piso. Pórtico 2, Espectro Suelo D

6.4.3 Pórtico 3

Con los resultados consignados en las tablas 6-5 y 6-6, se observa una vez más que en los pisos más altos el método de la NSR-10 sub-estima las aceleraciones de piso en relación al análisis de respuesta en el tiempo. Los resultados tienen la misma tendencia para el Espectro de diseño del suelo E y el suelo D.

Es importante señalar que este pórtico presenta una forma irregular, razón por la cual se calcularon aceleraciones en dos puntos diferentes de la estructura para algunos pisos.

Por otro lado, al observar los resultados obtenidos en el segundo piso de la estructura, es evidente que, aunque los valores cumplen respecto a las condiciones esperadas, no son valores eficientes con relación a la economía de la estructura. En el segundo piso se tiene que la aceleración de diseño de la NSR-10 está amplificada en 1,96 veces respecto a la respuesta del análisis de respuesta en el tiempo.

	Suelo E				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación / Reducción
2 ^{do} Piso N +4.50	0,494	0,906	83,3	CUMPLE	1,83
3 ^{er} Piso N +7.50 (Nodos A1-2 - C1-2)	0,689	0,906	31,5	CUMPLE	1,31
3 ^{er} Piso N +7.50 (Nodos D1-2 y E1-2)	0,758	0,906	19,6	CUMPLE	1,20
4 ^{to} Piso N +10.20 (Nodos A1-3 - C1-3)	0,950	0,906	4,6	NO CUMPLE	0,95
Cubierta Derecha (Nodos D1-3 y E1-3)	1,309	1,208	7,7	NO CUMPLE	0,92
5 ^{to} Piso N +12.90	1,203	0,906	24,7	NO CUMPLE	0,75
6 ^{to} Piso N +15.60	1,322	1,030	22,1	NO CUMPLE	0,78
Cubierta Izquierda N +18.30	1,520	1,208	20,5	NO CUMPLE	0,79

Tabla 6-5. Aceleración de piso. Pórtico 3, Espectro Suelo E

	Suelo D				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación / Reducción
2 ^{do} Piso N +4.50	0,404	0,793	96,0	CUMPLE	1,96
3 ^{er} Piso N +7.50 (Nodos A1-2 - C1-2)	0,564	0,780	38,3	CUMPLE	1,38
3 ^{er} Piso N +7.50 (Nodos D1-2 y E1-2)	0,681	0,754	10,7	CUMPLE	1,11
4 ^{to} Piso N +10.20 (Nodos A1-3 - C1-3)	0,804	0,768	4,4	NO CUMPLE	0,96
Cubierta Derecha (Nodos D1-3 y E1-3)	1,227	1,004	18,2	NO CUMPLE	0,82
5 ^{to} Piso N +12.90	1,029	0,757	26,5	NO CUMPLE	0,74
6 ^{to} Piso N +15.60	1,138	0,856	24,8	NO CUMPLE	0,75
Cubierta Izquierda N +18.30	1,334	1,004	24,7	NO CUMPLE	0,75

Tabla 6-6. Aceleración de piso. Pórtico 3, Espectro Suelo D

6.4.4 Pórtico 4

El último pórtico de trabajo es el más alto de los cuatro, pero a diferencia de los pórticos 2 y 3 se caracteriza por su forma regular. Como se puede observar en la Tabla 6-7 se mantiene la misma tendencia. En los pisos más altos de la

edificación, el método de la norma no representa lo que realmente ocurre cuando la estructura se ve sometida a aceleraciones debidas a un evento sísmico.

Además de lo anterior, es importante destacar que en la mayoría de los casos en los que el método de la NSR-10 arroja como resultado una aceleración mayor a la obtenida por medio de análisis de respuesta en el tiempo, los resultados están amplificados hasta 1.85 veces. Tomando como referencia el análisis de respuesta en el tiempo, esto podría causar problemas de sobre-diseño, generando sobrecostos innecesarios en el diseño de los anclajes de los elementos no estructurales.

Para confrontar los valores de las aceleraciones de piso con el procedimiento usado en el método de la fuerza lateral equivalente, se decidió calcular el exponente k relacionado con el periodo fundamental T (A.4.3). El análisis realizado se presenta en el Anexo F como trabajo adicional a los objetivos de esta tesis y buscando dejar un antecedente para continuar la investigación.

	Suelo E					Suelo D				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/Reducción	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/Reducción
2 ^{do} Piso N +3.00	0,543	0,895	64,9	CUMPLE	1,65	0,422	0,780	85,0	CUMPLE	1,85
3 ^{er} Piso N +5.70	0,685	0,885	29,3	CUMPLE	1,29	0,544	0,750	37,8	CUMPLE	1,38
4 ^{to} Piso N +8.40	0,692	0,875	26,4	CUMPLE	1,26	0,546	0,721	31,9	CUMPLE	1,32
5 ^{to} Piso N +11.10	0,685	0,865	26,3	CUMPLE	1,26	0,547	0,691	26,2	CUMPLE	1,26
6 ^{to} Piso N +13.80	0,631	0,855	35,5	CUMPLE	1,36	0,489	0,662	35,2	CUMPLE	1,35
7 ^o Piso N +16.50	0,719	0,845	17,5	CUMPLE	1,18	0,519	0,632	21,9	CUMPLE	1,22
8 ^{vo} Piso N +19.20	0,768	0,835	8,8	CUMPLE	1,09	0,526	0,603	14,5	CUMPLE	1,15
9 ^{no} Piso N +21.90	0,810	0,825	1,8	CUMPLE	1,02	0,536	0,573	6,9	CUMPLE	1,07
10 ^o Piso N +24.60	0,865	0,815	5,8	NO CUMPLE	0,94	0,571	0,544	4,7	NO CUMPLE	0,95
11 ^o Piso N +27.30	0,941	0,805	14,5	NO CUMPLE	0,86	0,611	0,514	15,9	NO CUMPLE	0,84
12 ^o Piso N +30.00	1,024	0,840	18,0	NO CUMPLE	0,82	0,673	0,525	22,0	NO CUMPLE	0,78
13 ^o Piso N +32.70	1,161	0,916	21,2	NO CUMPLE	0,79	0,810	0,572	29,3	NO CUMPLE	0,71
15 ^o Piso N +35.40	1,292	0,991	23,3	NO CUMPLE	0,77	0,910	0,619	32,0	NO CUMPLE	0,68
Cubierta N +38.10	1,440	1,067	25,9	NO CUMPLE	0,74	1,033	0,667	35,4	NO CUMPLE	0,65

Tabla 6-7. Aceleración de piso. Pórtico 4

6.4.5 Estructura en tres dimensiones

	Suelo E					Suelo D				
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/Reducción	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de diseño, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION	Factor de Amplificación/Reducción
2 ^{do} Piso N +3.00	0,546	0,892	63,3	CUMPLE	1,63	0,422	0,778	84,2	CUMPLE	1,84
3 ^{er} Piso N +5.70	0,650	0,879	35,1	CUMPLE	1,35	0,508	0,746	47,0	CUMPLE	1,47
4 ^{to} Piso N +8.40	0,673	0,865	28,5	CUMPLE	1,29	0,532	0,715	34,4	CUMPLE	1,34
5 ^{to} Piso N +11.10	0,608	0,852	40,3	CUMPLE	1,40	0,476	0,683	43,5	CUMPLE	1,44
6 ^{to} Piso N +13.80	0,653	0,839	28,5	CUMPLE	1,28	0,509	0,652	28,1	CUMPLE	1,28
7 ^o Piso N +16.50	0,646	0,826	27,8	CUMPLE	1,28	0,487	0,620	27,3	CUMPLE	1,27
8 ^{vo} Piso N +19.20	0,672	0,813	21,0	CUMPLE	1,21	0,461	0,589	27,6	CUMPLE	1,28
9 ^{no} Piso N +21.90	0,849	0,800	5,8	NO CUMPLE	0,94	0,551	0,557	1,2	CUMPLE	1,01
10 ^o Piso N +24.60	0,930	0,787	15,4	NO CUMPLE	0,85	0,600	0,526	12,4	NO CUMPLE	0,88
11 ^o Piso N +27.30	1,024	0,773	24,5	NO CUMPLE	0,76	0,661	0,494	25,2	NO CUMPLE	0,75
12 ^o Piso N +30.00	1,086	0,805	25,8	NO CUMPLE	0,74	0,715	0,503	29,6	NO CUMPLE	0,70
13 ^o Piso N +32.70	1,217	0,878	27,9	NO CUMPLE	0,72	0,827	0,549	33,6	NO CUMPLE	0,66
14 ^o Piso N +35.40	1,321	0,950	28,1	NO CUMPLE	0,72	0,924	0,594	35,7	NO CUMPLE	0,64
Cubierta N +38.10	1,453	1,023	29,6	NO CUMPLE	0,70	1,040	0,639	38,6	NO CUMPLE	0,61

Tabla 6-8. Aceleración de piso. Estructura en tres dimensiones

Por último, los resultados del análisis de la estructura en tres dimensiones se muestran en la Tabla 6-8. Es importante tener en cuenta que tal y cómo se explicó en un capítulo anterior, la estructura en tres dimensiones planteada fue concebida partiendo de las características del pórtico 4. En general, se tiene que en más del 50% de la estructura la aceleración calculada utilizando el espectro de diseño es menor que la que resulta de trabajar con el sismo compatible.

Además, análogamente a lo que se había observado en los dos pórticos anteriores, en los casos en los que el procedimiento de la norma cumple, el error con respecto al análisis de respuesta en el tiempo llega a ser del orden del 84% (*segundo piso*).

6.5 CÁLCULO DE ACELERACIÓN HORIZONTAL EN LA BASE DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL PARA ALGUNOS SISMOS CONOCIDOS Y SUS RESPECTIVOS ESPECTROS DE RESPUESTA

Complementando el trabajo realizado en la parte anterior del presente capítulo, se realizó un procedimiento que utilizó un registro sísmico conocido. A cada registro sísmico se le calculó su espectro de respuesta para finalmente determinar las diferentes aceleraciones de piso en los pórticos descritos en el capítulo 5.

En el caso de los registros sísmicos, el procedimiento consistió en cargar sus respectivos acelerogramas en SAP 2000. Los pórticos definidos se someten a dichos sismos, luego se genera el registro de aceleraciones en cada uno de los pisos. De esos registros se consignan en las tablas 6-9, a la 6-12 las aceleraciones máximas.

Por otro lado, con los espectros de respuesta de los distintos sismos, se calcula la aceleración horizontal en la base del elemento no estructural utilizando las fórmulas y el procedimiento definido en la NSR-10.

Sin embargo, los resultados arrojados por esta metodología no permitieron llegar a ninguna conclusión relevante para el proyecto, debido a que no presentaban

valores tales que permitieran encontrar una tendencia o un patrón lógico de su comportamiento. Lo anterior muy posiblemente debido a que el procedimiento y las fórmulas planteados en el reglamento colombiano están definidos para un espectro de diseño, y no para un espectro de respuesta como el que se utiliza en el presente numeral. Es decir, los espectros de diseño se obtienen como una envolvente de varios espectros de respuesta, por lo tanto, el resultado es una función muy suavizada. El espectro de diseño se forma a partir de funciones lineales y cuadráticas, mientras el espectro de respuesta de un sismo tiene variaciones en un rango muy corto de frecuencias. Esto genera que cuando la frecuencia natural de la estructura coincide con un pico del espectro de respuesta, el resultado de la aceleración aumente proporcionalmente.

Una parte de los resultados obtenidos de este procedimiento se muestra desde la Tabla 6-9 hasta la Tabla 6-12.

	Imperial Valley			
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de Respuesta, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION
Segundo Piso N +4.50	0,521	0,386	25,9	NO CUMPLE
Tercer Piso N +7.50 (Nodos A1-2 - C1-2)	0,510	0,434	14,9	NO CUMPLE
Tercer Piso N +7.50 (Nodos D1-2 y E1-2)	0,739	0,530	28,3	NO CUMPLE
Cuarto Piso N +10.20 (Nodos A1-3 - C1-3)	0,675	0,478	29,2	NO CUMPLE
Cuarto Piso N +10.20 (Nodos D1-3 y E1-3)	1,192	0,812	31,9	NO CUMPLE
Quinto Piso N +12.90	0,815	0,521	36,0	NO CUMPLE
Sexto Piso N +15.60	0,947	0,692	26,9	NO CUMPLE
Cubierta Piso N +18.30	1,157	0,812	29,8	NO CUMPLE

Tabla 6-9. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 3, Imperial Valley 1940

	Northridge			
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de Respuesta, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION
Segundo Piso N +4.50	0,903	1,024	13,4	CUMPLE
Tercer Piso N +7.50 (Nodos A1-2 - C1-2)	1,008	1,145	13,6	CUMPLE
Tercer Piso N +7.50 (Nodos D1-2 y E1-2)	1,599	1,384	13,5	NO CUMPLE
Cuarto Piso N +10.20 (Nodos A1-3 - C1-3)	1,388	1,253	9,7	NO CUMPLE
Cuarto Piso N +10.20 (Nodos D1-3 y E1-3)	2,508	2,105	16,1	NO CUMPLE
Quinto Piso N +12.90	1,806	1,362	24,6	NO CUMPLE
Sexto Piso N +15.60	2,111	1,794	15,0	NO CUMPLE
Cubierta N +18.30	2,405	2,105	12,5	NO CUMPLE

Tabla 6-10. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 3, Northridge 1994

	Imperial Valley			
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de Respuesta, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION
Segundo Piso N +3.00	0,301	0,350	16,2	CUMPLE
Tercer Piso N +5.70	0,406	0,383	5,7	NO CUMPLE
Cuarto Piso N +8.40	0,465	0,416	10,6	NO CUMPLE
Quinto Piso N +11.10	0,520	0,449	13,7	NO CUMPLE
Sexto Piso N +13.80	0,555	0,482	13,1	NO CUMPLE
Séptimo Piso N +16.50	0,556	0,515	7,4	NO CUMPLE
Octavo Piso N +19.20	0,573	0,548	4,4	NO CUMPLE
Noveno Piso N +21.90	0,608	0,581	4,4	NO CUMPLE
Décimo Piso N +24.60	0,590	0,614	4,1	CUMPLE
Décimo primer Piso N +27.30	0,575	0,647	12,6	CUMPLE
Décimo segundo Piso N +30.00	0,673	0,818	21,6	CUMPLE
Décimo tercer Piso N +32.70	0,755	0,892	18,2	CUMPLE
Décimo cuarto Piso N +35.40	0,813	0,965	18,8	CUMPLE
Cubierta N +38.10	0,849	1,039	22,4	CUMPLE

Tabla 6-11. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 4, Imperial Valley 1940

	Northridge			
	Análisis en el tiempo (%g)	Espectro de Respuesta, Método NSR-10 (%g)	%ERROR	REVISION
Segundo Piso N +3.00	1,0378	0,8424	18,8	NO CUMPLE
Tercer Piso N +5.70	1,2867	0,8416	34,6	NO CUMPLE
Cuarto Piso N +8.40	1,4724	0,8408	42,9	NO CUMPLE
Quinto Piso N +11.10	1,6031	0,8400	47,6	NO CUMPLE
Sexto Piso N +13.80	1,6663	0,8393	49,6	NO CUMPLE
Séptimo Piso N +16.50	1,7020	0,8385	50,7	NO CUMPLE
Octavo Piso N +19.20	1,5837	0,8377	47,1	NO CUMPLE
Noveno Piso N +21.90	1,4082	0,8369	40,6	NO CUMPLE
Décimo Piso N +24.60	1,1520	0,8361	27,4	NO CUMPLE
Décimo primer Piso N +27.30	1,1143	0,8353	25,0	NO CUMPLE
Décimo segundo Piso N +30.00	1,3439	0,8736	35,0	NO CUMPLE
Décimo tercer Piso N +32.70	1,5316	0,9522	37,8	NO CUMPLE
Décimo cuarto Piso N +35.40	1,5602	1,0309	33,9	NO CUMPLE
Cubierta N +38.10	1,7031	1,1095	34,9	NO CUMPLE

Tabla 6-12. Aceleraciones máximas de piso. Pórtico 4, Northridge 1994

7 AMPLIFICACIÓN DINÁMICA DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL

Así como la estructura principal amplifica las aceleraciones producidas a causa de un evento sísmico, el elemento no estructural también puede hacerlo dependiendo de sus características dinámicas. Por esta razón, la NSR-10 define en las Tablas A.9.5-1 y A.9.6-1 un coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p . Cuando se calcula la fuerza sísmica que actúa sobre el Elemento no estructural, la Norma indica que se debe amplificar la aceleración de piso a_x , multiplicándola por dicho coeficiente a_p .

El análisis dinámico de elementos no estructurales ofrece herramientas para calcular la aceleración máxima que sufren como consecuencia de aceleraciones en su base. Por ello, se decidió calcular directamente la aceleración en el tope del muro, y luego por medio de la Ecuación 7-1 se calculó el coeficiente a_p .

$$a_p = a_m / a_x, \quad 7-1$$

a_m = aceleración en el tope del muro

a_x = aceleración en el punto de soporte del E.N.E (aceleración de piso)

Con la aceleración en el punto de soporte del elemento no estructural calculada, el paso a seguir fue calcular la aceleración del elemento no estructural en su tope al ser sometido a dicha aceleración de piso. Para ello, se definió un muro de menor o igual altura a la de los pisos de cada estructura, se cargó como función tipo *Time History* en SAP2000 los registros de aceleraciones de cada entrepiso de las estructuras (*Anexo D*), y posteriormente se sometieron los muros a sus respectivos registros de aceleraciones de piso. Finalmente, se determinó la máxima aceleración en el tope de cada muro.

Para realizar el cálculo se trabajó con muros en mampostería reforzada, compuestos de ladrillos de perforación vertical con todas sus celdas rellenas con mortero.

Teniendo en cuenta que en el Capítulo A.9 de la NSR-10 se define que los elementos no estructurales anclados solo en su parte inferior (modelo en

voladizo), son unos de los que sufren la amplificación dinámica, se decidió trabajar con uno de ellos para poder cumplir el objetivo de la tesis. Por lo anterior se modelaron muros de mampostería empotrados al piso donde se encuentran localizados y con su extremo superior libre. Los muros se analizaron en las dos direcciones de trabajo principales, es decir, primero se asumió que el sismo llegaba en la dirección “fuerte” del muro (sentido largo), y posteriormente se repitió el procedimiento asumiendo un sismo perpendicular al anterior, es decir, en la dirección “débil”.

El procedimiento se desarrolló utilizando el programa SAP2000. Sin embargo, paralelamente se realizaron los cálculos mediante un modelo analítico, con el fin de verificar los resultados del programa con un análisis realizado con conceptos básicos de la dinámica de estructuras.

Es importante destacar que, para este tipo de Elementos no estructurales la NSR-10 define que el coeficiente a_p es igual a 2.5.

7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MAMPOSTERÍA

7.1.1 Materiales

Para los ladrillos a utilizar, se escogió el Bloque estructural 14-29 de Ladrillera Meléndez, cuyas dimensiones se pueden observar en la Figura 7-1. Su resistencia especificada a la compresión medida sobre área neta f'_{cu} es igual a 17.65 MPa.

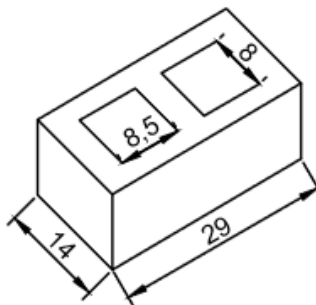


Figura 7-1. Bloque estructural 14-29 de Ladrillera Meléndez

Por su parte, el mortero de pega seleccionado fue el tipo M definido por la NSR-10, cuya resistencia especificada a la compresión f'_{cp} es de 22.5 MPa.

7.1.2 Módulo de elasticidad de la mampostería, E_m

Para calcular el módulo de elasticidad de la mampostería, se debe primero calcular su resistencia nominal a la compresión f'_m . Según la NSR-10 cuando las celdas se inyectan con mortero de relleno se debe calcular de acuerdo a la Ecuación 7-2 (D.3.7-3 en la Norma).

$$f'_m = 0.75[rR_m + 0.9k_r(1-r)f'_{cr}] \leq 0.94R_m \quad 7-2$$

$$r = A_{neta}/A_{bruta} = 0.039/0.0406 = 0.96059113 \quad 7-3$$

$$k_r = 0.75 \text{ para unidades de arcilla}$$

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h}\right) f'_{cu} + \left(\frac{50k_p}{75+3h}\right) f'_{cp} \leq 0.8f'_{cu} \quad 7-4$$

$$h = \text{altura de la unidad de mampostería en mm} = 100$$

Solucionando la Ecuación 7-4 se tiene que

$$R_m = 11.933$$

Con el valor de R_m definido, la única variable faltante para resolver la Ecuación 7-2 es f'_{cr} . Este valor se obtuvo de acuerdo a lo especificado en D.3.5.3 de la NSR-10, donde se establece que debe oscilar entre $1.25f'_m$ y $1.5f'_m$. Para la presente tesis, se decidió trabajar con $1.5f'_m$ y luego por medio de un proceso iterativo se calculó la resistencia nominal a la compresión f'_m , obteniendo lo siguiente:

$$f'_m = 8.863 \text{ MPa}$$

Luego, se procede a calcular El módulo de elasticidad de la mampostería, E_m , el cual es definido por la NSR-10 como 750 veces f'_m . Por lo tanto:

$$E_m = 6646.883 \text{ MPa}$$

7.1.3 Peso de la mampostería por m³ de muro

Para calcular el peso por m³ de muro, se obtuvo primero el peso por m² de muro utilizando la Ecuación 7-5. Luego, se determinó el peso por m³ de muro por medio de la Ecuación 7-9, obtenida de una regla de tres simple. En el procedimiento se tuvo en cuenta las siguientes masas:

- M_{MR} = Masa mortero de relleno = 2250 Kg/m³
- M_{MP} = Masa mortero de pega = 2100 Kg/m³
- M_{BM} = Masa bloques de mampostería = 3.8 Kg/unidad

Las masas de los morteros de relleno y de pega se obtuvieron de la Tabla B.3.2-1 de la NSR-10.

$$P/m^2 \text{ muro} = C * M_{BM} + Vr * M_{MR} + Vp * M_{MP}, \quad 7-5$$

$$C = \text{Cant. ladrillos} = \left(\frac{1}{X+S} * \frac{1}{Z+S} \right), \quad 7-6$$

$$X = \text{Largo del ladrillo} = 0.29m$$

$$Z = \text{Altura del ladrillo} = 0.10m$$

$$S = \text{Espesor del mortero de pega} = 0.015m$$

$$Vp = \text{Vol. mortero pega} = e - C * X * Z * e, \quad 7-7$$

$$e = \text{espesor del ladrillo} = \text{espesor del muro} = 0.14m$$

$$Vr = \text{Vol. Mortero de relleno} = C * \text{Vol. Celdas relleno}, \quad 7-8$$

$$\text{Vol. Celdas relleno} = 2 * 0.08 * 0.085 * 0.10 = 0.039m^2$$

Resolviendo la Ecuación 7.5 se tiene que

$$P/m^2 \text{ muro} = 246.502 \text{ Kg/m}^2 \text{ muro}$$

$$P/m^3 \text{ muro} = \frac{P/m^2 \text{ muro}}{e} \quad 7-9$$

$$P/m^3 \text{ muro} = 1760.727 \text{ Kg/m}^3 = 17.255 \text{ KN/m}^3$$

7.2 DEFINICIÓN DE MUROS A UTILIZAR

7.2.1 Sentido fuerte del Muro

En este caso, se asume que el sismo llega en la dirección en la que el muro es más fuerte, tal y como se muestra en la Figura 7-2. Se definió una longitud de tres metros, y debido a que los pisos escogidos en las diferentes estructuras tienen alturas distintas, se plantearon muros de diferentes alturas (*igual a la altura de piso de cada uno*). Las alturas de los muros de cada estructura se muestran en la Tabla 7-1.

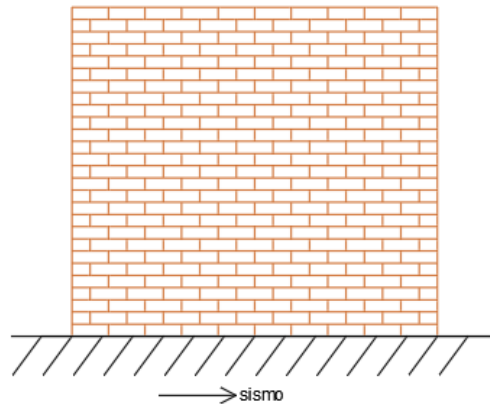


Figura 7-2. Esquema-Análisis en el sentido fuerte del muro

PORTICO	ALTURA(m)	LONGITUD(m)
1	2.5	3
2	3	
3	2.7	
4	2.7	
TRES DIM.	2.7	

Tabla 7-1. Medidas de los muros para análisis en sentido fuerte del muro

7.2.2 Sentido débil del Muro

En este caso, se asume que el sismo llega perpendicular al muro, es decir, en su sentido débil, tal y como se muestra en la Figura 7-3. Se definió una longitud de un metro, y la altura de los muros es variable como consecuencia de la diferencia

de alturas de piso de los diferentes pórticos. Los pisos escogidos de cada estructura son los mismos seleccionados en el numeral 7.2.1. (Tabla 7-1).

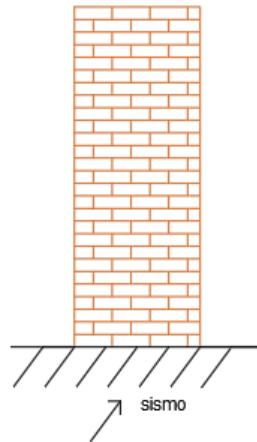


Figura 7-3. Esquema-Análisis en el sentido débil del muro

7.3 ANÁLISIS UTILIZANDO SAP2000

La parte más importante del análisis de la *amplificación dinámica del elemento no estructural* se desarrolló utilizando SAP2000. Dado que el programa no trae por defecto características que representen la mampostería, fue necesario crear un nuevo material. Al material se le asignaron el módulo de elasticidad y el peso definidos en 7.1, tal y como se observa en la Figura 7-4.

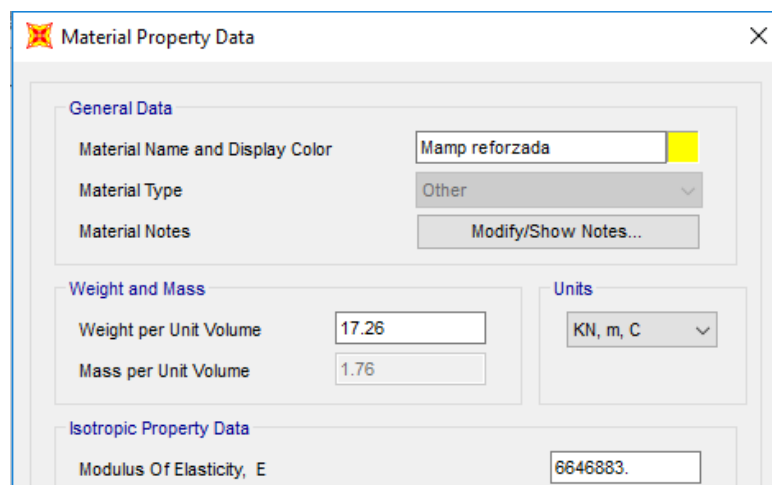


Figura 7-4. Captura de Pantalla. Definición de material de mampostería en SAP2000

Además, en SAP2000, se definió un tipo de sección de Área para hacer del modelo uno más a fin con el comportamiento del muro en mampostería. En este caso se decidió trabajar con sección tipo Shell, y sus características respectivas se pueden observar en la Figura 7.5.

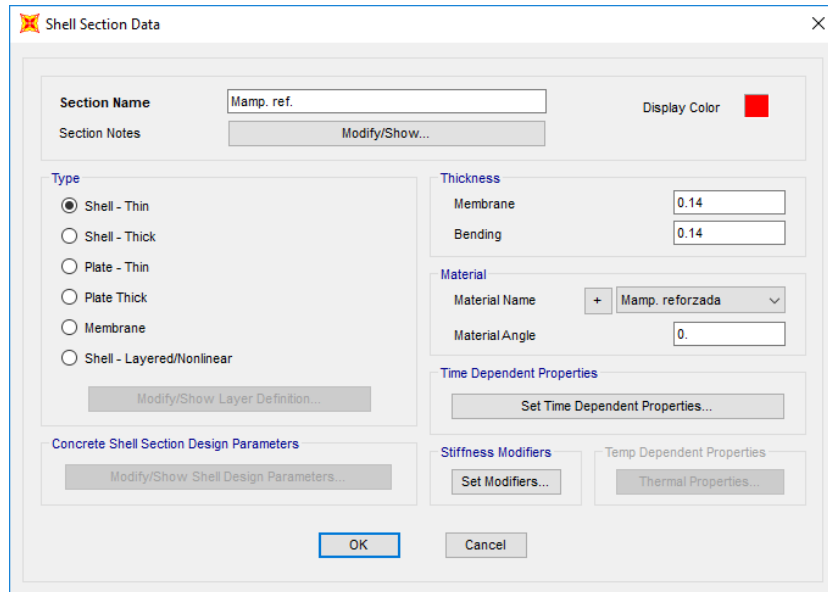


Figura 7-5. Captura de Pantalla. Definición de sección área de mampostería en SAP2000

Es importante aclarar que se decidió utilizar una cuadrícula de 0.1 metros de lado para la modelación de los muros, y que a cada nodo ubicado en el nivel $Z=0$ se le asignaron condiciones de empotramiento.

Para obtener el registro de aceleraciones del elemento no estructural, se realizó un procedimiento análogo al desarrollado en el Capítulo 6 para obtener las aceleraciones de piso. Se utilizó la herramienta “*Show Plot Functions*” de SAP2000, y se seleccionó un nodo central del extremo superior del muro. Se graficó el registro de aceleraciones absolutas a causa del registro de aceleraciones de piso, y se obtuvo una gráfica como la que se muestra en la Figura 7-6. De dicha gráfica, se leyó la máxima aceleración (a_m) que el programa arroja de forma automática, la cual se puede ver encerrada en el círculo de color rojo. Es importante aclarar, que la Figura 7-6 se obtuvo para el análisis en el sentido fuerte del muro localizado en el segundo piso del Pórtico 1, usando la

aceleración de piso obtenida con el sismo compatible 1. Los demás registros se incluyen en el Anexo E del presente documento.

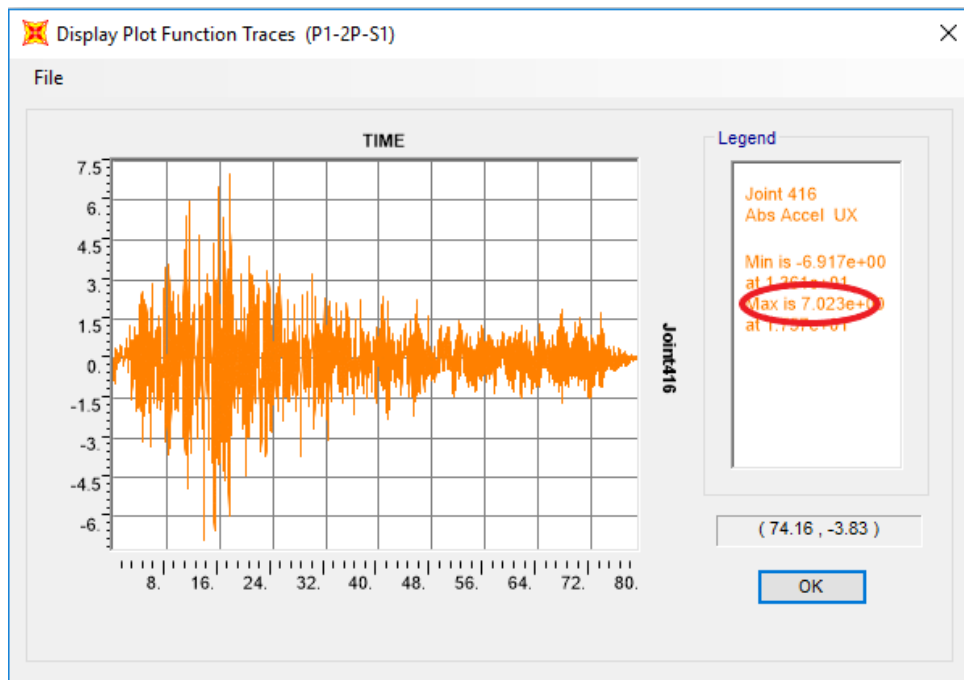


Figura 7-6. Registro de aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 1, Sismo Compatible1. Dirección Fuerte

7.3.1 Análisis en la dirección fuerte del muro

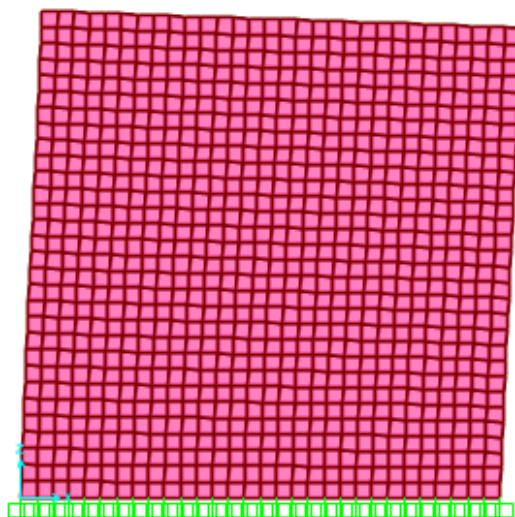


Figura 7-7. Deformada del muro de 3mx3m en SAP2000 ante aplicación de sismo en dirección X (U1)

Se sometieron los muros definidos en el numeral 7.2.1 a los registros respectivos de aceleraciones de piso producidos por los sismos compatibles definidos en el Capítulo 4. El sismo se aplicó en la dirección $U1$, que por la disposición del muro representa su dirección fuerte, y se determinó la máxima aceleración del elemento no estructural en su punto más alto. La deformación de los muros fue similar a la que se muestra en la Figura 7-7.

7.3.2 Análisis en la dirección débil del muro

Para analizar el comportamiento de los muros en su dirección débil, se desarrolló un procedimiento análogo al explicado en 7.3.1. Sin embargo, a diferencia de lo realizado en 7.3.1, en este caso los sismos se aplicaron perpendiculares al muro, es decir, en la dirección $U2$ que representa el sentido débil del muro. Los elementos analizados tuvieron deformaciones similares a la que se muestra en la Figura 7-8.

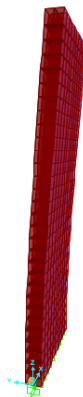


Figura 7-8. Deformada del muro de 1mx3m en SAP2000 ante aplicación de sismo en dirección Y ($U2$)

7.4 MODELO ANALÍTICO

Para los dos casos de dirección del sismo, se adoptó como modelo analítico un oscilador de un grado de libertad, empotrado en su base, de rigidez K y masa M concentrada en su extremo libre (Ver figura 7-9). La rigidez K corresponde a la rigidez del muro dependiendo el sentido del movimiento sísmico. La masa M será

igual a la mitad de la masa total del muro, con el fin de discretizar un modelo continuo de masa distribuida a un modelo de un solo grado de libertad. La aceleración generada en los diferentes pisos de las estructuras como consecuencia del movimiento sísmico en la base se aplicó en el apoyo empotrado del modelo del muro. Al sistema se le asignó un amortiguamiento natural del 5%.

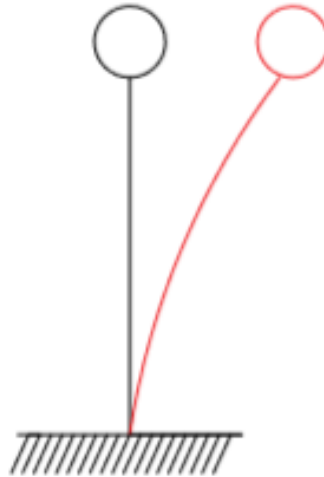


Figura 7-9. Modelo Analítico – Oscilador de un grado de libertad

Haciendo uso de la integral de Duhamel, se determinó el desplazamiento máximo del muro. Luego, se calculó la pseudo-aceleración espectral del elemento utilizando la Ecuación 7-10. Aunque la pseudo-aceleración espectral (*Pseudo-Spectral-Acceleration, PSA*) no es la máxima aceleración de un registro de aceleraciones, si es muy similar (Suarez, 2012). Además, en varias investigaciones se ha concluido que, para sistemas con amortiguamientos bajos, el valor de la pseudo-aceleración espectral tiende a ser igual al de la aceleración máxima (Mosquera, 2002). Por lo anterior, para efectos de la investigación se decidió usar esta expresión para presentar los resultados finales.

$$A = U * \omega^2, \quad 7-10$$

$$U = \text{Desplazamiento (m)}$$

$$\omega = \text{Frecuencia Natural } \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

7.4.1 Análisis en la dirección fuerte del muro

7.4.1.1 Definición de parámetros

Para resolver la integral de Duhamel, se utilizó la función en Matlab desarrollada por el ingeniero Luis Suárez (2012), (Anexo C). Para poder utilizar el código, fue necesario calcular la frecuencia natural del sistema ω , que a su vez requiere definir la masa M y la rigidez K .

- **Masa, M**

Para calcular la masa de cada uno de los muros, se utilizó la Ecuación 7-11. Es importante recordar que discretizar el modelo, se trabajó con la mitad de la masa total del muro.

$$M = 0.5 * (P * V_M), \quad 7-11$$

$$V_M = \text{Volúmen del muro} = L * H * e, \quad 7-12$$

$$L = \text{Longitud del muro}$$

$$H = \text{Altura del muro}$$

$$e = \text{Espesor del muro} = Y = 0.14m$$

Los resultados para los diferentes muros, se muestran en la Tabla 7-2.

PORTICO	ALTURA	P (Kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	MASA (Kg)
1	2.5	1760.72701	1.050	924.4
2	3		1.260	1109.3
3	2.7		1.134	998.3
4	2.7		1.134	998.3
TRES DIM.	2.7		1.134	998.3

Tabla 7-2. Masa muros de 3 metros de longitud

- **Rigidez, K**

Para determinar la rigidez K de los muros, se utilizó la fórmula de rigidez para muros en cantiléver (Ecuación 7-13).

$$K = [E * e] / [3 * (H/L) + 4 * (H/L)^3], \quad 7-13$$

Los resultados obtenidos se consignan en la Tabla 7-3.

PORTICO	ALTURA (m)	K (N/m)
1	2.5	193561684.6
2	3	133137666.6
3	2.7	165947946.3
4	2.7	165947946.3
TRES DIM.	2.7	165947946.3

Tabla 7-3. Rigidez muros de 3 metros de longitud

- **Frecuencia Natural, ω**

La frecuencia natural ω se calculó usando la Ecuación 7-14.

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad 7-14$$

Los resultados obtenidos se consignan en la Tabla 7-4.

PORTICO	ALTURA (m)	ω (rad/s)
1	2.5	457.6
2	3	346.4
3	2.7	407.7
4	2.7	407.7
TRES DIM.	2.7	407.7

Tabla 7-4. Frecuencia Natural muros de 3 metros de longitud

7.4.2 Análisis en la dirección débil del muro

7.4.2.1 Definición de parámetros

Igual que lo realizado en el numeral 7.4.1 se requirió calcular masa, rigidez y frecuencia natural del modelo del muro.

- **Masa, M**

La masa se calculó siguiendo el mismo procedimiento utilizado en el numeral 7.4.1. Los resultados se encuentran consignados en la Tabla 7-5.

PORTICO	ALTURA	P (Kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	MASA (Kg)
1	2.5	1760.72701	0.350	308.1
2	3		0.420	369.8
3	2.7		0.378	332.8
4	2.7		0.378	332.8
TRES DIM.	2.7		0.378	332.8

Tabla 7-5. Masa muros de 1 metro de longitud

- **Rigidez, K**

Para el cálculo de la rigidez en el sentido débil de los muros, se analizaron los mismos modelos de muros en SAP2000. Se calculó la deformación en el mismo punto de aplicación de una fuerza cortante perpendicular al muro. La rigidez se calculó utilizando la Ecuación 7-15.

$$K = P/\delta, \quad 7-15$$

$$P = \text{Fuerza aplicada}(N)$$

$$\delta = \text{Deformación máxima del muro (m)}$$

Los resultados obtenidos, se consignan en la Tabla 7-6.

PORTICO	ALTURA	P(N)	δ (m)	K (N/m)
1	2.5	1'000.000	3.36	298027.061
2	3		5.81	172176.309
3	2.7		4.26	234741.784
4	2.7		4.26	234741.784
TRES DIM.	2.7		4.26	234741.784

Tabla 7-6. Rigidez muros de 1 metro de longitud

- **Frecuencia Natural, ω**

Siguiendo el mismo procedimiento realizado en el 7.4.1 se utilizó la Ecuación 7-13 y se obtuvieron los resultados que se consignan en la Tabla 7-7.

PORTICO	PISO	ALTURA (m)	ω (rad/s)
1	2	2.5	31.1
2	3	3	21.6
3	6	2.7	26.6
4	14	2.7	26.6
TRES DIM.	14	2.7	26.6

Tabla 7-7. Frecuencia Natural muros de 1 metro de longitud

7.5 RESULTADOS

7.5.1 Análisis en la dirección fuerte del muro

Al aplicar los sismos compatibles en la dirección fuerte del muro, la aceleración en su tope (a_m) tiende a ser igual a la aceleración en su punto de soporte (a_x). Lo anterior se traduce en coeficientes de amplificación dinámica del elemento no estructural (a_p) que tienden 1. El comportamiento mencionado se presentó con el modelo analítico y con SAP2000, con los dos sismos compatibles, en todos los pórticos estudiados. Los resultados se observan entre la Tabla 7-8 y la Tabla 7-12.

Es importante mencionar que para esta condición se esperaba que el factor fuera exactamente igual o un poco mayor a 1.0. Sin embargo, se obtuvieron resultados donde aparentemente la aceleración en el tope del muro fue menor que en su base. Esta irregularidad de los resultados se podría estudiar más a fondo verificando configuraciones del programa SAP2000, de modo que se logren ajustar los resultados a unos más acorde al comportamiento esperado. Para efectos prácticos de esta investigación, se aproxima el coeficiente a_p a 1.0 y se concluye que en la dirección fuerte no se genera amplificación dinámica en el elemento no estructural.

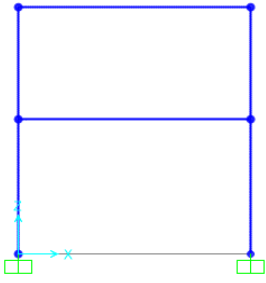
SAP2000					ANALÍTICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.724	0.717	0.99		2	0.724	0.720	0.99
SISMO COMPATIBLE 2					SISMO COMPATIBLE 2			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.654	0.647	0.99	2	0.654	0.650	0.99	

Tabla 7-8. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 1, dirección fuerte

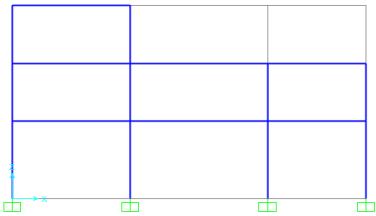
SAP2000					ANALÍTICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0,699	0,690	0,99		2	0,699	0,693	0,99
3	1,012	1,007	1,00		3	1,012	1,009	1,00
SISMO COMPATIBLE 2					SISMO COMPATIBLE 2			
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p	
2	0,612	0,605	0,99	2	0,612	0,607	0,99	
3	0,915	0,910	0,99	3	0,915	0,913	1,00	

Tabla 7-9. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 2, dirección fuerte

SAP2000					ANALITICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2 (Izquierda)	0.494	0.490	0.99		2 (Izquierda)	0.494	0.491	0.99
2 (Derecha)	0.493	0.493	1.00		2 (Derecha)	0.493	0.491	0.99
3 (Izquierda)	0.689	0.685	0.99		3 (Izquierda)	0.689	0.686	1.00
3 (Derecha)	0.758	0.753	0.99		3 (Derecha)	0.758	0.754	0.99
4 (Izquierda)	0.950	0.946	0.99		4 (Izquierda)	0.950	0.946	1.00
5 (Izquierda)	1.203	1.196	0.99		5 (Izquierda)	1.203	1.200	1.00
6 (Izquierda)	1.322	1.315	0.99		6 (Izquierda)	1.322	1.319	1.00
SISMO COMPATIBLE 2				SISMO COMPATIBLE 2				
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p	
2 (Izquierda)	0.404	0.398	0.98	2 (Izquierda)	0.404	0.398	0.98	
2 (Derecha)	0.404	0.404	1.00	2 (Derecha)	0.404	0.402	0.99	
3 (Izquierda)	0.564	0.563	1.00	3 (Izquierda)	0.564	0.558	0.99	
3 (Derecha)	0.681	0.678	1.00	3 (Derecha)	0.681	0.680	1.00	
4 (Izquierda)	0.804	0.799	0.99	4 (Izquierda)	0.804	0.800	0.99	
5 (Izquierda)	1.029	1.021	0.99	5 (Izquierda)	1.029	1.026	1.00	
6 (Izquierda)	1.138	1.132	0.99	6 (Izquierda)	1.138	1.134	1.00	

Tabla 7-10. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 3, dirección fuerte

Es importante aclarar que en para el Pórtico 3 se calcularon dos aceleraciones por piso dado que, por su geometría, el comportamiento tiende a ser independiente entre la parte izquierda y la derecha.

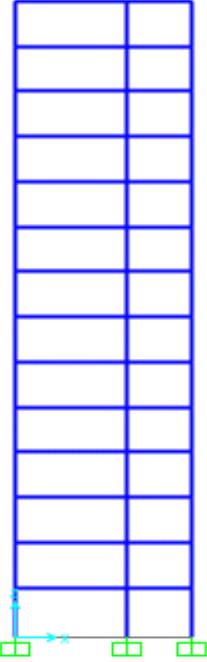
SAP 2000					ANALITICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.543	0.532	0.98		2	0.543	0.537	0.99
3	0.685	0.677	0.99		3	0.685	0.680	0.99
4	0.692	0.688	0.99		4	0.692	0.695	1.00
5	0.685	0.677	0.99		5	0.685	0.678	0.99
6	0.631	0.623	0.99		6	0.631	0.627	0.99
7	0.719	0.719	1.00		7	0.719	0.716	1.00
8	0.768	0.765	1.00		8	0.768	0.765	1.00
9	0.810	0.800	0.99		9	0.810	0.811	1.00
10	0.865	0.860	0.99		10	0.865	0.861	1.00
11	0.941	0.944	1.00		11	0.941	0.934	0.99
12	1.024	1.028	1.00		12	1.024	1.018	0.99
13	1.161	1.148	0.99		13	1.161	1.150	0.99
14	1.292	1.287	1.00		14	1.292	1.287	1.00
SISMO COMPATIBLE 2					SISMO COMPATIBLE 2			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.422	0.412	0.98		2	0.422	0.4203	1.00
3	0.544	0.538	0.99		3	0.544	0.5402	0.99
4	0.546	0.543	0.99		4	0.546	0.5457	1.00
5	0.547	0.540	0.99		5	0.547	0.5414	0.99
6	0.489	0.496	1.01		6	0.489	0.4831	0.99
7	0.519	0.518	1.00		7	0.519	0.5181	1.00
8	0.526	0.524	1.00		8	0.526	0.5247	1.00
9	0.536	0.529	0.99		9	0.536	0.5356	1.00
10	0.571	0.565	0.99		10	0.571	0.5673	0.99
11	0.611	0.610	1.00	11	0.611	0.604	0.99	
12	0.673	0.675	1.00	12	0.673	0.6668	0.99	
13	0.810	0.798	0.99	13	0.810	0.7996	0.99	
14	0.910	0.913	1.00	14	0.910	0.9056	0.99	

Tabla 7-11. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 4, dirección fuerte

SAP2000				ANALITICO			
SISMO COMPATIBLE 1				SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.546	0.542	0.99	2	0.546	0.553	1.01
3	0.650	0.657	1.01	3	0.650	0.645	0.99
4	0.673	0.661	0.98	4	0.673	0.672	1.00
5	0.608	0.615	1.01	5	0.608	0.608	1.00
6	0.653	0.645	0.99	6	0.653	0.648	0.99
7	0.646	0.652	1.01	7	0.646	0.644	1.00
8	0.672	0.675	1.00	8	0.672	0.672	1.00
9	0.849	0.845	1.00	9	0.849	0.846	1.00
10	0.930	0.932	1.00	10	0.930	0.929	1.00
11	1.024	1.018	0.99	11	1.024	1.023	1.00
12	1.086	1.082	1.00	12	1.086	1.086	1.00
13	1.217	1.210	0.99	13	1.217	1.214	1.00
14	1.321	1.316	1.00	14	1.321	1.319	1.00
SISMO COMPATIBLE 2				SISMO COMPATIBLE 2			
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.422	0.420	0.99	2	0.422	0.428	1.01
3	0.508	0.515	1.01	3	0.508	0.503	0.99
4	0.532	0.519	0.98	4	0.532	0.530	1.00
5	0.476	0.472	0.99	5	0.476	0.475	1.00
6	0.509	0.501	0.99	6	0.509	0.504	0.99
7	0.487	0.477	0.98	7	0.487	0.483	0.99
8	0.461	0.451	0.98	8	0.461	0.456	0.99
9	0.551	0.548	1.00	9	0.551	0.548	1.00
10	0.600	0.602	1.00	10	0.600	0.600	1.00
11	0.661	0.657	0.99	11	0.661	0.660	1.00
12	0.715	0.711	0.99	12	0.715	0.712	1.00
13	0.827	0.822	0.99	13	0.827	0.823	1.00
14	0.924	0.919	0.99	14	0.924	0.922	1.00

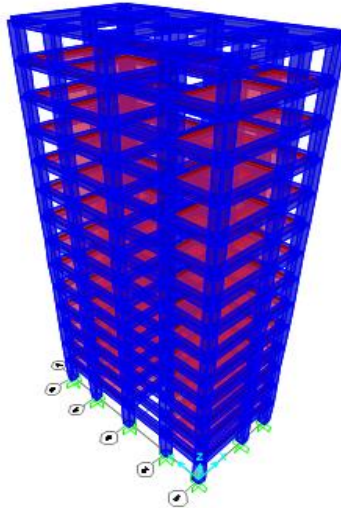


Tabla 7-12. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p

Estructura en tres dimensiones, dirección fuerte

7.5.2 Análisis en la dirección débil del muro

7.5.2.1 Pórtico 1

De acuerdo a los resultados consignados en la Tabla 7-13, se observa que cuando el sismo llega perpendicular al muro, se genera un efecto de amplificación dinámica por parte del elemento no estructural. Sin embargo, de acuerdo a los

datos obtenidos por los dos métodos, para el muro planteado en el pórtico 1 el coeficiente a_p es menor al sugerido por la NSR-10. Es decir, la norma sugiere valores adecuados para estructuras comparables con el pórtico 1.

SAP2000					ANALITICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.724	1.05102	1.45		2	0.724	0.906	1.25
SISMO COMPATIBLE 2					SISMO COMPATIBLE 2			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.654	1.03571	1.58	2	0.654	0.8244	1.26	

Tabla 7-13. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 1, dirección débil

7.1.1.1 Pórtico 2

En el Pórtico 2 se presenta una amplificación dinámica de alrededor de 1.6 veces la aceleración de piso de acuerdo a los resultados obtenidos con SAP2000. Sin embargo, de acuerdo al modelo analítico, el coeficiente es más alto, llegando inclusive a superar el sugerido por la Norma con un valor de 2.51 en el tercer piso. Los resultados para este pórtico, se consignan en la Tabla 7-14.

SAP2000					ANALÍTICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.699	1.106	1.58		2	0.699	1.410	2.02
3	1.012	1.667	1.65		3	1.012	2.493	2.46
SISMO COMPATIBLE 2					SISMO COMPATIBLE 2			
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p	
2	0.612	1.005	1.64	2	0.612	1.282	2.09	
3	0.915	1.524	1.67	3	0.915	2.302	2.51	

Tabla 7-14. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 2, dirección débil

7.1.1.2 Pórtico 3

SAP2000					ANALITICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2 (Izquierda)	0.494	1.130	2.28		2 (Izquierda)	0.494	0.854	1.73
2 (Derecha)	0.493	1.110	2.25		2 (Derecha)	0.493	0.848	1.72
3 (Izquierda)	0.689	1.536	2.23		3 (Izquierda)	0.689	0.898	1.30
3 (Derecha)	0.758	1.236	1.63		3 (Derecha)	0.758	1.854	2.45
4 (Izquierda)	0.950	2.273	2.39		4 (Izquierda)	0.950	0.991	1.04
5 (Izquierda)	1.203	1.800	1.50		5 (Izquierda)	1.203	1.291	1.07
6 (Izquierda)	1.322	1.678	1.27		6 (Izquierda)	1.322	1.632	1.23
SISMO COMPATIBLE 2				SISMO COMPATIBLE 2				
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p	
2 (Izquierda)	0.404	1.038	2.57	2 (Izquierda)	0.404	0.755	1.87	
2 (Derecha)	0.404	1.022	2.53	2 (Derecha)	0.404	0.732	1.81	
3 (Izquierda)	0.564	1.793	3.18	3 (Izquierda)	0.564	0.818	1.45	
3 (Derecha)	0.681	1.161	1.71	3 (Derecha)	0.681	1.854	2.72	
4 (Izquierda)	0.804	2.110	2.63	4 (Izquierda)	0.804	0.843	1.05	
5 (Izquierda)	1.029	1.570	1.53	5 (Izquierda)	1.029	1.121	1.09	
6 (Izquierda)	1.138	1.482	1.30	6 (Izquierda)	1.138	1.475	1.30	

Tabla 7-15. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 3, dirección débil

Según lo consignado en la Tabla 7-15, se puede observar que varios muros del Pórtico 3, al ser sometidos al sismo compatible 2 en su dirección débil, presentan coeficiente de amplificación dinámica mayor al planteado por la NSR-10. Es importante destacar, que el sismo compatible 2, a pesar de ser el que produce menores aceleraciones de piso, es el que presenta mayor a_p para todos los muros. Lo anterior se repite en los dos métodos de trabajo, y también se da en los pórticos 1 y 2.

7.1.1.3 Pórtico 4

En el caso del Pórtico 4, que es el más alto de todos los pórticos estudiados, el modelo analítico arroja resultados que sugieren que el coeficiente planteado por

la Norma es conservador, debido a que todos los a_p son menores a 2.5. Sin embargo, al analizar los resultados obtenidos al utilizar SAP2000 se puede ver que, para los dos sismos, los pisos 5 y 6 presentan una amplificación dinámica elevada, que supera la planteada en la NSR-10. Además, para el sismo compatible 2 hay otros dos pisos que presentan este comportamiento.

Se mantiene la tendencia de que la amplificación dinámica calculada para el sismo compatible 1 es menor que la del sismo compatible 2 en todos los muros. Los resultados del análisis del Pórtico 4, se consignan en la Tabla 7-16.

SAP2000					ANALITICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.543	1.348	2.48		2	0.543	0.8412	1.55
3	0.685	1.424	2.08		3	0.685	0.8633	1.26
4	0.692	1.458	2.11		4	0.692	0.9055	1.31
5	0.685	1.870	2.73		5	0.685	0.9762	1.43
6	0.631	1.882	2.98		6	0.631	1.0973	1.74
7	0.719	1.385	1.93		7	0.719	1.2289	1.71
8	0.768	1.345	1.75		8	0.768	1.4087	1.84
9	0.810	1.450	1.79		9	0.810	1.4127	1.74
10	0.865	1.864	2.16		10	0.865	1.2546	1.45
11	0.941	1.760	1.87		11	0.941	1.0787	1.15
12	1.024	1.420	1.39		12	1.024	1.302	1.27
13	1.161	1.505	1.30		13	1.161	1.5068	1.30
14	1.292	1.833	1.42		14	1.292	1.6647	1.29
SISMO COMPATIBLE 2					SISMO COMPATIBLE 2			
PISO	a_x	a_m	a_p		PISO	a_x	a_m	a_p
2	0.422	1.194	2.83		2	0.422	0.7557	1.79
3	0.544	1.317	2.42	3	0.544	0.8002	1.47	
4	0.546	1.235	2.26	4	0.546	0.8165	1.49	
5	0.547	1.608	2.94	5	0.547	0.8552	1.56	
6	0.489	1.621	3.31	6	0.489	0.9565	1.95	
7	0.519	1.180	2.27	7	0.519	0.9976	1.92	
8	0.526	1.142	2.17	8	0.526	1.137	2.16	
9	0.536	1.218	2.27	9	0.536	1.1173	2.08	
10	0.571	1.454	2.55	10	0.571	0.9464	1.66	
11	0.611	1.344	2.20	11	0.611	0.7027	1.15	
12	0.673	1.082	1.61	12	0.673	0.9207	1.37	
13	0.810	1.087	1.34	13	0.810	1.1129	1.37	
14	0.910	1.406	1.54	14	0.910	1.2449	1.37	

Tabla 7-16. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 4, dirección débil

7.1.1.4 Estructura en tres dimensiones

SAP2000					ANALITICO			
SISMO COMPATIBLE 1					SISMO COMPATIBLE 1			
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p	
2	0.546	1.363	2.50	2	0.546	0.866	1.59	
3	0.650	1.407	2.16	3	0.650	0.879	1.35	
4	0.673	1.457	2.16	4	0.673	0.874	1.30	
5	0.608	1.936	3.19	5	0.608	0.824	1.36	
6	0.653	1.827	2.80	6	0.653	0.933	1.43	
7	0.646	1.19	1.84	7	0.646	1.002	1.55	
8	0.672	1.197	1.78	8	0.672	1.095	1.63	
9	0.849	1.512	1.78	9	0.849	1.120	1.32	
10	0.930	1.813	1.95	10	0.930	1.112	1.20	
11	1.024	1.683	1.64	11	1.024	1.128	1.10	
12	1.086	1.311	1.21	12	1.086	1.315	1.21	
13	1.217	1.49	1.22	13	1.217	1.565	1.29	
14	1.321	1.934	1.46	14	1.321	1.768	1.34	
SISMO COMPATIBLE 2				SISMO COMPATIBLE 2				
PISO	a_x	a_m	a_p	PISO	a_x	a_m	a_p	
2	0.422	1.214	2.88	2	0.422	0.784	1.86	
3	0.508	1.238	2.44	3	0.508	0.766	1.51	
4	0.532	1.229	2.31	4	0.532	0.789	1.48	
5	0.476	1.660	3.49	5	0.476	0.750	1.58	
6	0.509	1.565	3.08	6	0.509	0.850	1.67	
7	0.487	0.989	2.03	7	0.487	0.904	1.86	
8	0.461	0.988	2.14	8	0.461	0.882	1.91	
9	0.551	1.187	2.16	9	0.551	0.896	1.63	
10	0.600	1.408	2.35	10	0.600	0.748	1.25	
11	0.661	1.271	1.92	11	0.661	0.744	1.13	
12	0.715	0.938	1.31	12	0.715	0.921	1.29	
13	0.827	1.064	1.29	13	0.827	1.128	1.36	
14	0.924	1.480	1.60	14	0.924	1.298	1.40	

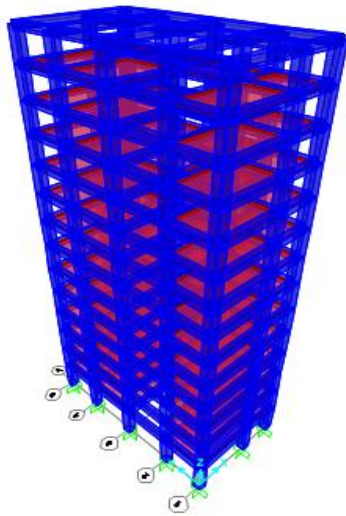


Tabla 7-17. Amplificación dinámica del elemento no estructural, a_p - Pórtico 4, dirección débil

Como se puede observar en la Tabla 7-17, el comportamiento de los muros de la estructura en tres dimensiones en cuanto a su amplificación dinámica, es muy similar al que se presenta en el Pórtico 4. Los pisos más críticos, según el análisis en SAP son el 5 y el 6, superando 2.5 en el análisis con los dos sismos compatibles. Además, el modelo analítico arroja resultados conservadores para todos los muros.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Para la demanda y configuración estructural del presente trabajo, el método planteado por la NSR-10 para determinar la aceleración en el punto de soporte de los elementos no estructurales (a_x) en comparación al análisis de respuesta en el tiempo, es muy conservador para los primeros pisos de las estructuras analizadas, generando porcentajes de error muy elevados. Lo anterior puede causar sobre-diseño de los elementos no estructurales, lo que a su vez genera problemas de tipo económico, debido a que se generan sobrecostos en los elementos no estructurales.
- Teniendo en cuenta el alcance de la presente tesis, y tomando como punto de comparación el análisis de respuesta en el tiempo realizado, en el caso de los pisos más elevados de las estructuras, se concluye que el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente sub-estima las aceleraciones en el punto de soporte de los elementos no estructurales (a_x), presentándose errores mayores al 30% en algunos casos. La sub-estimación de aceleraciones, se traduce en fuerzas sísmicas menores a las que se pueden presentar en realidad, lo que a su vez genera sub-diseño de los elementos no estructurales y representa un problema para la seguridad de la estructura y de las vidas humanas.
- Para los espectros de diseño y sismos artificiales utilizados, la razón de incremento de las aceleraciones de piso en el análisis de respuesta en el tiempo (*sismos compatibles*), es considerablemente mayor a la del análisis en el dominio de la frecuencia (*método de la NSR-10*). Lo anterior conlleva, a que sea prácticamente inevitable que en algún punto la aceleración de piso obtenida por el primer método supere al obtenido por el segundo.
- Cuando el sismo llega en el sentido fuerte del muro, la aceleración en su tope tiende a ser igual a la aceleración en su base, por lo que se concluye

que no sufre efecto de amplificación dinámica. Resultado esperado según el comportamiento rígido en el plano del muro.

- Cuando se aplica la aceleración sísmica perpendicular al plano del muro, la aceleración en el tope del elemento es mayor que la de su punto de soporte. Los valores de amplificación dinámica del elemento no estructural (a_p) varían entre 1.21 y 3.49, lo que sugiere que en algunos casos la NSR-10 sub-estima los efectos de resonancia que producen la amplificación de la aceleración en el elemento no estructural.
- Para todos los pisos estudiados, el coeficiente a_p calculado fue mayor para el sismo compatible 2. Debido a que las aceleraciones de dicho sismo, son menores que las del sismo compatible 1, se puede concluir que la amplificación dinámica del elemento no estructural no tiene relación directa con la magnitud de la aceleración máxima de piso. Posiblemente lo anterior dependa de la relación entre el contenido de frecuencias del registro de aceleraciones de piso y la frecuencia del muro. Sin embargo, para verificar esta hipótesis y avanzar en la investigación del mencionado efecto, es necesario obtener el contenido de frecuencias del registro por medio de la transformada de Fourier.
- El modelo en SAP2000 y el modelo analítico arrojan resultados muy diferentes entre sí en el caso de la aceleración sísmica perpendicular al muro. Lo anterior posiblemente se deba a que SAP2000 trabaja con múltiples grados de libertad, mientras que en el modelo analítico se utilizó solo uno. Además, en el modelo analítico propuesto el porcentaje de masa que participa es el 50%, valor que se cree es muy alejado al utilizado por SAP2000 en el análisis.

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis analítico más detallado, que tenga en cuenta el porcentaje de participación de la masa de los elementos no estructurales.

- En el trabajo desarrollado se pudo observar que los resultados más críticos de a_p se presentaron para el sismo compatible con el espectro de diseño del suelo D, y no para el del suelo E que es el que genera mayores aceleraciones de piso. Por ello, se recomienda revisar lo que puede ocurrir con espectros de diseño para suelos A, B y C.
- Se recomienda continuar el análisis de la amplificación dinámica de los elementos no estructurales, estudiando elementos diferentes al estudiado en el presente trabajo.
- Se recomienda avanzar con la investigación, utilizando los estudios de microzonificación sísmica de la ciudad de Popayán. Lo anterior con el fin de buscar sismos cuyo contenido de frecuencias se acerque a lo esperado en la zona.

9 BIBLIOGRAFIA

- Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*.
- Lepage, A., Shoemaker, J., & Memari, A. (2012). Accelerations of Nonstructural Components during Nonlinear Seismic Response of Multistory Structures. *Journal of Architectural Engineering*, 285-297.
- Saatcioglu, M., Tremblay, R., Mitchell, D., Ghobarah, A., Palermo, D., Simpson, R., . . . Hong, H. (2013). Performance of steel buildings and nonstructural elements during the 27 February 2010 Maule (Chile) Earthquake. *NCR Research Press*, 722-734.
- Villaverde, R. (28 de Febrero de 2006). *Elsevier*. Obtenido de www.elsevier.com
- Suárez, L., Montejó, L (2005). Generation of artificial earthquakes via the wavelet transform. *International Journal of Solids and Structures*, 5905-5919.
- Menza, Y. (2016). Espectros de respuesta de piso considerando la variabilidad espacial Sísmica. *Trabajo de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias en Ingeniería Civil*, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Bonnet, R., Pujades, L., Hurtado, J (2002). Generación de acelerogramas artificiales compatibles con un espectro de respuesta. Aplicación a eventos recientes en Colombia y España. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 297-308.
- Mosquera, J. (2002). Sistemas de un grado de libertad. *Posgrado en Estructuras, Dinámica de Estructuras*, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, Popayán.

- Suarez, L.E. (2014a). "Análisis de Estructuras con Cargas Dinámicas: Tomo I", ISBN-13: 978-1466328488, ISBN-10: 1466328487, On Demand Publishing LLC, Amazon.com, 494 p.
- Wilkinson, S., Hiley, R (2006). A Non-Linear Response History Model for the Seismic Analysis of High-Rise Framed Buildings. *Computers and Structures, Vol. 84*.
- Patil, A., Kumbhar, P (2013). Time history analysis of multistoried RCC Buildings for diferente seismic intensities. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 194-201-
- Trujillo, J. (2017). Software para diseño de elementos no estructurales - muros divisorios y de fachada. *Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Civil*, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- Taly, N. (2010). Design of Reinforced Masonry Structures, Second Edition. Rigidity and relative rigidity of a shear wall, Chapter (McGraw-Hill Professional, 2010), AccessEngineering
- Moya, L (2011). Análisis y Determinación Teórica de la Rigidez de Muros de Mampostería Reforzada en Edificios de Hasta Dos Niveles
- Marulanda, F (2012). Modelación con elementos finitos de muros de mampostería estructural ortogonales

ANEXOS

A. CONTROL DE DERIVAS DE LAS ESTRUCTURAS UTILIZADAS

TABLE: Joint Displacements-Espectro de diseño 1					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1-1	0.019629	0.019629	3	3	0.6543
A1-2	0.037334	0.017705	5.5	2.5	0.7082
B1-1	0.019629	0.019629	3	3	0.6543
B1-2	0.037334	0.017705	5.5	2.5	0.7082

Tabla A-1. Control de derivas Pórtico 1-Espectro de diseño 1

TABLE: Joint Displacements-Espectro de diseño 2					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1-1	0.017598	0.017598	3	3	0.5866
A1-2	0.033472	0.015874	5.5	2.5	0.63496
B1-1	0.017598	0.017598	3	3	0.5866
B1-2	0.033472	0.015874	5.5	2.5	0.63496

Tabla A-2. Control de derivas Pórtico 1-Espectro de diseño 2

TABLE: Joint Displacements (Espectro de diseño 1)					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1-1	0.018105	0.018105	4	4	0.452625
A1-2	0.032841	0.014736	7	3	0.4912
A1-3	0.044181	0.01134	10	3	0.378
B1-1	0.018133	0.018133	4	4	0.453325
B1-2	0.032795	0.014662	7	3	0.48873333
B1-3	0.044177	0.011382	10	3	0.3794
C1-1	0.018154	0.018154	4	4	0.45385
C1-2	0.032697	0.014543	7	3	0.48476667
D1-1	0.018142	0.018142	4	4	0.45355
D1-2	0.032673	0.014531	7	3	0.48436667

Tabla A-3. Control de derivas Pórtico 2-Espectro de diseño 1

TABLE: Joint Displacements (Espectro de diseño 2)					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1-1	0.016232	0.016232	4	4	0.4058
A1-2	0.029444	0.013212	7	3	0.4404
A1-3	0.039611	0.010167	10	3	0.3389
B1-1	0.016257	0.016257	4	4	0.406425
B1-2	0.029402	0.013145	7	3	0.43816667
B1-3	0.039607	0.010205	10	3	0.34016667
C1-1	0.016276	0.016276	4	4	0.4069
C1-2	0.029315	0.013039	7	3	0.43463333
D1-1	0.016265	0.016265	4	4	0.406625
D1-2	0.029293	0.013028	7	3	0.43426667

Tabla A-4. Control de derivas Pórtico 2-Espectro de diseño 2

TABLE: Joint Displacements (Espectro de diseño 1)					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1-1	0.030582	0.030582	4.5	4.5	0.6796
A1-2	0.059727	0.029145	7.5	3	0.9715
A1-3	0.086655	0.026928	10.2	2.7	0.99733333
A1-4	0.108996	0.022341	12.9	2.7	0.82744444
A1-5	0.124923	0.015927	15.6	2.7	0.58988889
A1-6	0.135729	0.010806	18.3	2.7	0.40022222
B1-1	0.030537	0.030537	4.5	4.5	0.6786
B1-2	0.059686	0.029149	7.5	3	0.97163333
B1-3	0.086698	0.027012	10.2	2.7	1
B1-4	0.109033	0.022335	12.9	2.7	0.82722222
B1-5	0.12497	0.015937	15.6	2.7	0.59025926
B1-6	0.135742	0.010772	18.3	2.7	0.39896296
C1-1	0.030081	0.030081	4.5	4.5	0.66846667
C1-2	0.059548	0.029467	7.5	3	0.98223333
C1-3	0.086749	0.027201	10.2	2.7	1
C1-4	0.109071	0.022322	12.9	2.7	0.82674074
C1-5	0.125007	0.015936	15.6	2.7	0.59022222
C1-6	0.135842	0.010835	18.3	2.7	0.4012963
D1-1	0.029359	0.029359	4.5	4.5	0.65242222
D1-2	0.043806	0.014447	7.5	3	0.48156667
D1-3	0.055307	0.011501	10.2	2.7	0.42596296
E1-1	0.028963	0.028963	4.5	4.5	0.64362222
E1-2	0.043905	0.014942	7.5	3	0.49806667
E1-3	0.055287	0.011382	10.2	2.7	0.42155556

Tabla A-5. Control de derivas Pórtico 3-Espectro de diseño 1

TABLE: Joint Displacements (Espectro de diseño 2)					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1-1	0.02546	0.02546	4.5	4.5	0.56577778
A1-2	0.049638	0.024178	7.5	3	0.80593333
A1-3	0.071991	0.022353	10.2	2.7	0.82788889
A1-4	0.09055	0.018559	12.9	2.7	0.68737037
A1-5	0.103795	0.013245	15.6	2.7	0.49055556
A1-6	0.11279	0.008995	18.3	2.7	0.33314815
B1-1	0.025426	0.025426	4.5	4.5	0.56502222
B1-2	0.049604	0.024178	7.5	3	0.80593333
B1-3	0.072026	0.022422	10.2	2.7	0.83044444
B1-4	0.090581	0.018555	12.9	2.7	0.68722222
B1-5	0.103834	0.013253	15.6	2.7	0.49085185
B1-6	0.1128	0.008966	18.3	2.7	0.33207407
C1-1	0.025054	0.025054	4.5	4.5	0.55675556
C1-2	0.04949	0.024436	7.5	3	0.81453333
C1-3	0.072068	0.022578	10.2	2.7	0.83622222
C1-4	0.090613	0.018545	12.9	2.7	0.68685185
C1-5	0.103864	0.013251	15.6	2.7	0.49077778
C1-6	0.112883	0.009019	18.3	2.7	0.33403704
D1-1	0.024467	0.024467	4.5	4.5	0.54371111
D1-2	0.036764	0.012297	7.5	3	0.4099
D1-3	0.046738	0.009974	10.2	2.7	0.36940741
E1-1	0.024143	0.024143	4.5	4.5	0.53651111
E1-2	0.036848	0.012705	7.5	3	0.4235
E1-3	0.046721	0.009873	10.2	2.7	0.36566667

Tabla A-6. Control de derivas Pórtico 3-Espectro de diseño 2

TABLE: Joint Displacements (Espectro de diseño 1)					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1	0.020888	0.020888	3	3	0.696266667
A2	0.046261	0.025373	5.7	2.7	0.939740741
A3	0.071541	0.02528	8.4	2.7	0.936296296
A4	0.095942	0.024401	11.1	2.7	0.903740741
A5	0.119091	0.023149	13.8	2.7	0.85737037
A6	0.140719	0.021628	16.5	2.7	0.801037037
A7	0.160586	0.019867	19.2	2.7	0.735814815
A8	0.178472	0.017886	21.9	2.7	0.662444444
A9	0.194173	0.015701	24.6	2.7	0.581518519
A10	0.207503	0.01333	27.3	2.7	0.493703704
A11	0.218292	0.010789	30	2.7	0.399592593
A12	0.226393	0.008101	32.7	2.7	0.300037037
A13	0.231703	0.00531	35.4	2.7	0.196666667
A14	0.234357	0.002654	38.1	2.7	0.098296296
B1	0.020953	0.020953	3	3	0.698433333
B2	0.046253	0.0253	5.7	2.7	0.937037037
B3	0.071538	0.025285	8.4	2.7	0.936481481
B4	0.095936	0.024398	11.1	2.7	0.90362963
B5	0.119084	0.023148	13.8	2.7	0.857333333
B6	0.140712	0.021628	16.5	2.7	0.801037037
B7	0.160578	0.019866	19.2	2.7	0.735777778
B8	0.178462	0.017884	21.9	2.7	0.66237037
B9	0.194163	0.015701	24.6	2.7	0.581518519
B10	0.207492	0.013329	27.3	2.7	0.493666667
B11	0.218281	0.010789	30	2.7	0.399592593
B12	0.226382	0.008101	32.7	2.7	0.300037037
B13	0.231695	0.005313	35.4	2.7	0.196777778
B14	0.234344	0.002649	38.1	2.7	0.098111111
C1	0.020947	0.020947	3	3	0.698233333
C2	0.046253	0.025306	5.7	2.7	0.937259259
C3	0.071536	0.025283	8.4	2.7	0.936407407
C4	0.095935	0.024399	11.1	2.7	0.903666667
C5	0.119082	0.023147	13.8	2.7	0.857296296
C6	0.140709	0.021627	16.5	2.7	0.801
C7	0.160575	0.019866	19.2	2.7	0.735777778
C8	0.178459	0.017884	21.9	2.7	0.66237037
C9	0.194159	0.0157	24.6	2.7	0.581481481
C10	0.207488	0.013329	27.3	2.7	0.493666667
C11	0.218276	0.010788	30	2.7	0.399555556
C12	0.226377	0.008101	32.7	2.7	0.300037037
C13	0.23169	0.005313	35.4	2.7	0.196777778
C14	0.234339	0.002649	38.1	2.7	0.098111111

Tabla A-7. Control de derivas Pórtico 4-Espectro de diseño 1

TABLE: Joint Displacements (Espectro de diseño 2)					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1	0.013176	0.013176	3	3	0.4392
A2	0.029149	0.015973	5.7	2.7	0.591592593
A3	0.045013	0.015864	8.4	2.7	0.587555556
A4	0.060269	0.015256	11.1	2.7	0.565037037
A5	0.074697	0.014428	13.8	2.7	0.53437037
A6	0.088145	0.013448	16.5	2.7	0.498074074
A7	0.100485	0.01234	19.2	2.7	0.457037037
A8	0.111598	0.011113	21.9	2.7	0.411592593
A9	0.121372	0.009774	24.6	2.7	0.362
A10	0.129696	0.008324	27.3	2.7	0.308296296
A11	0.136462	0.006766	30	2.7	0.250592593
A12	0.141567	0.005105	32.7	2.7	0.189074074
A13	0.144929	0.003362	35.4	2.7	0.124518519
A14	0.146615	0.001686	38.1	2.7	0.062444444
B1	0.013218	0.013218	3	3	0.4406
B2	0.029144	0.015926	5.7	2.7	0.589851852
B3	0.045011	0.015867	8.4	2.7	0.587666667
B4	0.060266	0.015255	11.1	2.7	0.565
B5	0.074692	0.014426	13.8	2.7	0.534296296
B6	0.08814	0.013448	16.5	2.7	0.498074074
B7	0.100479	0.012339	19.2	2.7	0.457
B8	0.111592	0.011113	21.9	2.7	0.411592593
B9	0.121366	0.009774	24.6	2.7	0.362
B10	0.129689	0.008323	27.3	2.7	0.308259259
B11	0.136455	0.006766	30	2.7	0.250592593
B12	0.14156	0.005105	32.7	2.7	0.189074074
B13	0.144923	0.003363	35.4	2.7	0.124555556
B14	0.146607	0.001684	38.1	2.7	0.06237037
C1	0.013213	0.013213	3	3	0.440433333
C2	0.029144	0.015931	5.7	2.7	0.590037037
C3	0.045009	0.015865	8.4	2.7	0.587592593
C4	0.060264	0.015255	11.1	2.7	0.565
C5	0.074691	0.014427	13.8	2.7	0.534333333
C6	0.088138	0.013447	16.5	2.7	0.498037037
C7	0.100477	0.012339	19.2	2.7	0.457
C8	0.11159	0.011113	21.9	2.7	0.411592593
C9	0.121363	0.009773	24.6	2.7	0.361962963
C10	0.129687	0.008324	27.3	2.7	0.308296296
C11	0.136452	0.006765	30	2.7	0.250555556
C12	0.141557	0.005105	32.7	2.7	0.189074074
C13	0.14492	0.003363	35.4	2.7	0.124555556
C14	0.146604	0.001684	38.1	2.7	0.06237037

Tabla A-8. Control de derivas Pórtico 4-Espectro de diseño 2

TABLE: Joint Displacements (Espectro de diseño 1)					
Joint	U1	ΔX	H	H piso	ΔX (%Hpiso)
Text	m	m	m	m	%
A1-1	0.016828	0.016828	3	3	0.560933333
A1-2	0.042174	0.025346	5.7	2.7	0.938740741
A1-3	0.069168	0.026994	8.4	2.7	0.999777778
A1-4	0.095744	0.026576	11.1	2.7	0.984296296
A1-5	0.121097	0.025353	13.8	2.7	0.939
A1-6	0.144793	0.023696	16.5	2.7	0.87762963
A1-7	0.166515	0.021722	19.2	2.7	0.804518519
A1-8	0.185992	0.019477	21.9	2.7	0.72137037
A1-9	0.202982	0.01699	24.6	2.7	0.629259259
A1-10	0.217266	0.014284	27.3	2.7	0.529037037
A1-11	0.228652	0.011386	30	2.7	0.421703704
A1-12	0.237005	0.008353	32.7	2.7	0.30937037
A1-13	0.242307	0.005302	35.4	2.7	0.19637037
A1-14	0.244987	0.00268	38.1	2.7	0.099259259
A2-1	0.016832	0.016832	3	3	0.561066667
A2-2	0.042178	0.025346	5.7	2.7	0.938740741
A2-3	0.069174	0.026996	8.4	2.7	0.999851852
A2-4	0.095751	0.026577	11.1	2.7	0.984333333
A2-5	0.121106	0.025355	13.8	2.7	0.939074074
A2-6	0.144804	0.023698	16.5	2.7	0.877703704
A2-7	0.166527	0.021723	19.2	2.7	0.804555556
A2-8	0.186005	0.019478	21.9	2.7	0.721407407
A2-9	0.202996	0.016991	24.6	2.7	0.629296296
A2-10	0.217281	0.014285	27.3	2.7	0.529074074
A2-11	0.228668	0.011387	30	2.7	0.421740741
A2-12	0.237018	0.00835	32.7	2.7	0.309259259
A2-13	0.242336	0.005318	35.4	2.7	0.196962963
A2-14	0.245187	0.002851	38.1	2.7	0.105592593
A3-1	0.016872	0.016872	3	3	0.5624
A3-2	0.042214	0.025342	5.7	2.7	0.938592593
A3-3	0.06921	0.026996	8.4	2.7	0.999851852
A3-4	0.095796	0.026586	11.1	2.7	0.984666667
A3-5	0.12116	0.025364	13.8	2.7	0.939407407
A3-6	0.144866	0.023706	16.5	2.7	0.878
A3-7	0.166597	0.021731	19.2	2.7	0.804851852
A3-8	0.186083	0.019486	21.9	2.7	0.721703704
A3-9	0.20308	0.016997	24.6	2.7	0.629518519
A3-10	0.217371	0.014291	27.3	2.7	0.529296296
A3-11	0.228763	0.011392	30	2.7	0.421925926
A3-12	0.237117	0.008354	32.7	2.7	0.309407407
A3-13	0.242453	0.005336	35.4	2.7	0.19762963
A3-14	0.245341	0.002888	38.1	2.7	0.106962963
A4-1	0.016898	0.016898	3	3	0.563266667
A4-2	0.042218	0.02532	5.7	2.7	0.937777778
A4-3	0.069212	0.026994	8.4	2.7	0.999777778
A4-4	0.095796	0.026584	11.1	2.7	0.984592593
A4-5	0.12116	0.025364	13.8	2.7	0.939407407
A4-6	0.144866	0.023706	16.5	2.7	0.878
A4-7	0.166598	0.021732	19.2	2.7	0.804888889
A4-8	0.186083	0.019485	21.9	2.7	0.721666667
A4-9	0.203081	0.016998	24.6	2.7	0.629555556
A4-10	0.217371	0.01429	27.3	2.7	0.529259259
A4-11	0.228764	0.011393	30	2.7	0.421962963
A4-12	0.23712	0.008356	32.7	2.7	0.309481481

A4-13	0.242446	0.005326	35.4	2.7	0.197259259
A4-14	0.245267	0.002821	38.1	2.7	0.104481481
A5-1	0.016853	0.016853	3	3	0.561766667
A5-2	0.042206	0.025353	5.7	2.7	0.939
A5-3	0.069203	0.026997	8.4	2.7	0.999888889
A5-4	0.095786	0.026583	11.1	2.7	0.984555556
A5-5	0.121148	0.025362	13.8	2.7	0.939333333
A5-6	0.144853	0.023705	16.5	2.7	0.877962963
A5-7	0.166582	0.021729	19.2	2.7	0.804777778
A5-8	0.186066	0.019484	21.9	2.7	0.72162963
A5-9	0.203062	0.016996	24.6	2.7	0.629481481
A5-10	0.217351	0.014289	27.3	2.7	0.529222222
A5-11	0.228743	0.011392	30	2.7	0.421925926
A5-12	0.237101	0.008358	32.7	2.7	0.309555556
A5-13	0.242408	0.005307	35.4	2.7	0.196555556
A5-14	0.245087	0.002679	38.1	2.7	0.099222222
B1-1	0.016937	0.016937	3	3	0.564566667
B1-2	0.042182	0.025245	5.7	2.7	0.935
B1-3	0.069165	0.026983	8.4	2.7	0.99937037
B1-4	0.095735	0.02657	11.1	2.7	0.984074074
B1-5	0.121085	0.02535	13.8	2.7	0.938888889
B1-6	0.144779	0.023694	16.5	2.7	0.877555556
B1-7	0.166499	0.02172	19.2	2.7	0.804444444
B1-8	0.185974	0.019475	21.9	2.7	0.721296296
B1-9	0.202962	0.016988	24.6	2.7	0.629185185
B1-10	0.217245	0.014283	27.3	2.7	0.529
B1-11	0.22863	0.011385	30	2.7	0.421666667
B1-12	0.236982	0.008352	32.7	2.7	0.309333333
B1-13	0.242295	0.005313	35.4	2.7	0.196777778
B1-14	0.244941	0.002646	38.1	2.7	0.098
B2-1	0.016953	0.016953	3	3	0.5651
B2-2	0.042193	0.02524	5.7	2.7	0.934814815
B2-3	0.069177	0.026984	8.4	2.7	0.999407407
B2-4	0.095749	0.026572	11.1	2.7	0.984148148
B2-5	0.121102	0.025353	13.8	2.7	0.939
B2-6	0.144799	0.023697	16.5	2.7	0.877666667
B2-7	0.166521	0.021722	19.2	2.7	0.804518519
B2-8	0.185999	0.019478	21.9	2.7	0.721407407
B2-9	0.202989	0.01699	24.6	2.7	0.629259259
B2-10	0.217274	0.014285	27.3	2.7	0.529074074
B2-11	0.228661	0.011387	30	2.7	0.421740741
B2-12	0.237012	0.008351	32.7	2.7	0.309296296
B2-13	0.242339	0.005327	35.4	2.7	0.197296296
B2-14	0.245137	0.002798	38.1	2.7	0.10362963
B3-1	0.016981	0.016981	3	3	0.566033333
B3-2	0.042221	0.02524	5.7	2.7	0.934814815
B3-3	0.069207	0.026986	8.4	2.7	0.999481481
B3-4	0.095786	0.026579	11.1	2.7	0.984407407
B3-5	0.121146	0.02536	13.8	2.7	0.939259259
B3-6	0.14485	0.023704	16.5	2.7	0.877925926
B3-7	0.166579	0.021729	19.2	2.7	0.804777778
B3-8	0.186063	0.019484	21.9	2.7	0.72162963
B3-9	0.203059	0.016996	24.6	2.7	0.629481481
B3-10	0.217348	0.014289	27.3	2.7	0.529222222
B3-11	0.228739	0.011391	30	2.7	0.421888889
B3-12	0.237093	0.008354	32.7	2.7	0.309407407
B3-13	0.242436	0.005343	35.4	2.7	0.197888889

B3-14	0.245289	0.002853	38.1	2.7	0.105666667
B4-1	0.016967	0.016967	3	3	0.565566667
B4-2	0.042222	0.025255	5.7	2.7	0.93537037
B4-3	0.06921	0.026988	8.4	2.7	0.999555556
B4-4	0.095791	0.026581	11.1	2.7	0.984481481
B4-5	0.121152	0.025361	13.8	2.7	0.939296296
B4-6	0.144857	0.023705	16.5	2.7	0.877962963
B4-7	0.166587	0.02173	19.2	2.7	0.804814815
B4-8	0.186072	0.019485	21.9	2.7	0.721666667
B4-9	0.203068	0.016996	24.6	2.7	0.629481481
B4-10	0.217358	0.01429	27.3	2.7	0.529259259
B4-11	0.22875	0.011392	30	2.7	0.421925926
B4-12	0.237106	0.008356	32.7	2.7	0.309481481
B4-13	0.242437	0.005331	35.4	2.7	0.197444444
B4-14	0.245218	0.002781	38.1	2.7	0.103
B5-1	0.016966	0.016966	3	3	0.565533333
B5-2	0.042215	0.025249	5.7	2.7	0.935148148
B5-3	0.069201	0.026986	8.4	2.7	0.999481481
B5-4	0.095778	0.026577	11.1	2.7	0.984333333
B5-5	0.121136	0.025358	13.8	2.7	0.939185185
B5-6	0.144838	0.023702	16.5	2.7	0.877851852
B5-7	0.166566	0.021728	19.2	2.7	0.804740741
B5-8	0.186048	0.019482	21.9	2.7	0.721555556
B5-9	0.203043	0.016995	24.6	2.7	0.629444444
B5-10	0.217331	0.014288	27.3	2.7	0.529185185
B5-11	0.228721	0.01139	30	2.7	0.421851852
B5-12	0.237079	0.008358	32.7	2.7	0.309555556
B5-13	0.242396	0.005317	35.4	2.7	0.196925926
B5-14	0.245041	0.002645	38.1	2.7	0.097962963
C1-1	0.016921	0.016921	3	3	0.564033333
C1-2	0.04218	0.025259	5.7	2.7	0.935518519
C1-3	0.069161	0.026981	8.4	2.7	0.999296296
C1-4	0.095731	0.02657	11.1	2.7	0.984074074
C1-5	0.12108	0.025349	13.8	2.7	0.938851852
C1-6	0.144773	0.023693	16.5	2.7	0.877518519
C1-7	0.166492	0.021719	19.2	2.7	0.804407407
C1-8	0.185967	0.019475	21.9	2.7	0.721296296
C1-9	0.202954	0.016987	24.6	2.7	0.629148148
C1-10	0.217236	0.014282	27.3	2.7	0.528962963
C1-11	0.228621	0.011385	30	2.7	0.421666667
C1-12	0.236973	0.008352	32.7	2.7	0.309333333
C1-13	0.242283	0.00531	35.4	2.7	0.196666667
C1-14	0.24494	0.002657	38.1	2.7	0.098407407
C2-1	0.016949	0.016949	3	3	0.564966667
C2-2	0.042195	0.025246	5.7	2.7	0.935037037
C2-3	0.069177	0.026982	8.4	2.7	0.999333333
C2-4	0.095751	0.026574	11.1	2.7	0.984222222
C2-5	0.121104	0.025353	13.8	2.7	0.939
C2-6	0.144801	0.023697	16.5	2.7	0.877666667
C2-7	0.166524	0.021723	19.2	2.7	0.804555556
C2-8	0.186001	0.019477	21.9	2.7	0.72137037
C2-9	0.202992	0.016991	24.6	2.7	0.629296296
C2-10	0.217277	0.014285	27.3	2.7	0.529074074
C2-11	0.228664	0.011387	30	2.7	0.421740741
C2-12	0.237016	0.008352	32.7	2.7	0.309333333
C2-13	0.242343	0.005327	35.4	2.7	0.197296296
C2-14	0.245135	0.002792	38.1	2.7	0.103407407

C3-1	0.016972	0.016972	3	3	0.565733333
C3-2	0.04222	0.025248	5.7	2.7	0.935111111
C3-3	0.069204	0.026984	8.4	2.7	0.999407407
C3-4	0.095783	0.026579	11.1	2.7	0.984407407
C3-5	0.121143	0.02536	13.8	2.7	0.939259259
C3-6	0.144846	0.023703	16.5	2.7	0.877888889
C3-7	0.166575	0.021729	19.2	2.7	0.804777778
C3-8	0.186058	0.019483	21.9	2.7	0.721592593
C3-9	0.203054	0.016996	24.6	2.7	0.629481481
C3-10	0.217342	0.014288	27.3	2.7	0.529185185
C3-11	0.228733	0.011391	30	2.7	0.421888889
C3-12	0.237087	0.008354	32.7	2.7	0.309407407
C3-13	0.242429	0.005342	35.4	2.7	0.197851852
C3-14	0.245286	0.002857	38.1	2.7	0.105814815
C4-1	0.016963	0.016963	3	3	0.565433333
C4-2	0.042222	0.025259	5.7	2.7	0.935518519
C4-3	0.069208	0.026986	8.4	2.7	0.999481481
C4-4	0.095789	0.026581	11.1	2.7	0.984481481
C4-5	0.12115	0.025361	13.8	2.7	0.939296296
C4-6	0.144854	0.023704	16.5	2.7	0.877925926
C4-7	0.166584	0.02173	19.2	2.7	0.804814815
C4-8	0.186068	0.019484	21.9	2.7	0.72162963
C4-9	0.203064	0.016996	24.6	2.7	0.629481481
C4-10	0.217354	0.01429	27.3	2.7	0.529259259
C4-11	0.228745	0.011391	30	2.7	0.421888889
C4-12	0.237102	0.008357	32.7	2.7	0.309518519
C4-13	0.242432	0.00533	35.4	2.7	0.197407407
C4-14	0.245216	0.002784	38.1	2.7	0.103111111
C5-1	0.016946	0.016946	3	3	0.564866667
C5-2	0.042213	0.025267	5.7	2.7	0.935814815
C5-3	0.069197	0.026984	8.4	2.7	0.999407407
C5-4	0.095774	0.026577	11.1	2.7	0.984333333
C5-5	0.121131	0.025357	13.8	2.7	0.939148148
C5-6	0.144833	0.023702	16.5	2.7	0.877851852
C5-7	0.16656	0.021727	19.2	2.7	0.804703704
C5-8	0.186041	0.019481	21.9	2.7	0.721518519
C5-9	0.203035	0.016994	24.6	2.7	0.629407407
C5-10	0.217323	0.014288	27.3	2.7	0.529185185
C5-11	0.228713	0.01139	30	2.7	0.421851852
C5-12	0.23707	0.008357	32.7	2.7	0.309518519
C5-13	0.242384	0.005314	35.4	2.7	0.196814815
C5-14	0.24504	0.002656	38.1	2.7	0.09837037

Tabla A-9. Control de derivas Estructura en tres dimensiones-Espectro de diseño 1

B. CÓDIGO DE MATLAB DESARROLLADO PARA LA PRESENTE TESIS

Programa para calcular el espectro de diseño, aceleración de piso, aceleración amplificada y fuerza sísmica para unas condiciones dadas siguiendo el procedimiento definido por la NSR-10.

Autor: Alejandro Montes, Estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca.

```
Function varargout = EspectroyAceleraciones(varargin)
% ESPECTROYACELERACIONES MATLAB code for EspectroyAceleraciones.fig
%     ESPECTROYACELERACIONES, by itself, creates a new ESPECTROYACELERACIONES
or raises the existing
%     singleton*.
(...)
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @EspectroyAceleraciones_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @EspectroyAceleraciones_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before EspectroyAceleraciones is made visible.
function EspectroyAceleraciones_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to EspectroyAceleraciones (see VARARGIN)

% Choose default command line output for EspectroyAceleraciones
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

(...)
% --- Executes on button press in pbespectro.
function pbespectro_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pbespectro (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
Aa=str2num(get(handles.etAa,'string'))
Av=str2num(get(handles.etAv,'string'))
perfil=get(handles.psuelo,'value');
grupo=get(handles.pgrupo,'value');
```

```

T=str2num(get(handles.etT,'string'))

%% CALCULO DE Fa y Fv
switch perfil
case 1
    f=warndlg('Seleccione un perfil','ERROR')
case 2
    if Aa>0
        Fa=0.8
    else
        h=warndlg('Asigne un valor valido a Aa','ERROR')
    end
    if Av>0
        Fv=0.8
    else
        g=warndlg('Asigne un valor valido a Av','ERROR')
    end
case 3
    if Aa>0
        Fa=1
    else
        h=warndlg('Asigne un valor valido a Aa','ERROR')
    end
    if Av>0
        Fv=1
    else
        g=warndlg('Asigne un valor valido a Av','ERROR')
    end
case 4
    if Aa>0
        if Aa<=0.2
            Fa=1.2
        elseif Aa==0.3
            Fa=1.1
        elseif Aa>=0.4
            Fa=1
        else
            Fa=1.4-Aa
        end
    else
        h=warndlg('Asigne un valor valido a Aa','ERROR')
    end
    if Av>0
        if Av<=0.1
            Fv=1.7
        elseif Av==0.2
            Fv=1.6
        elseif Av==0.3
            Fv=1.5
        elseif Av==0.4
            Fv=1.4
        elseif Av>=0.5
            Fv=1.3
        else
            Fv=1.8-Av
        end
    else
        g=warndlg('Asigne un valor valido a Av','ERROR')
    end
case 5
    if Aa<=0.1
        Fa=1.6
    elseif 0.1<Aa&Aa<0.2

```

```

        Fa=1.8-2*Aa
    elseif Aa==0.2
        Fa=1.4
    elseif 0.2<Aa&Aa<0.3
        Fa=1.8-2*Aa
    elseif Aa==0.3
        Fa=1.2
    elseif 0.3<Aa&Aa<0.4
        Fa=1.5-Aa
    elseif Aa==0.4
        Fa=1.1
    elseif 0.4<Aa&Aa<0.5
        Fa=1.5-Aa
    elseif 0.5<=Aa
        Fa=1
    else
        h=warndlg('Asigne un valor valido a Aa','ERROR')
    end
    if Av<=0.1
        Fv=2.4
    elseif 0.1<Av&Av<=0.2
        Fv=2.8-4*Av
    elseif 0.2<Av&Av<=0.3
        Fv=2.4-2*Av
    elseif 0.3<Av&Av<=0.4
        Fv=2.4-2*Av
    elseif 0.4<Av&Av<=0.5
        Fv=2-Av
    elseif Av>0.5
        Fv=1.5
    else
        g=warndlg('Asigne un valor valido a Av','ERROR')
    end
case 6
    if Aa<=0.1
        Fa=2.5
    elseif 0.1<Aa&Aa<=0.2
        Fa=3.3-8*Aa
    elseif 0.2<Aa&Aa<=0.3
        Fa=2.7-5*Aa
    elseif 0.3<Aa&Aa<=0.4
        Fa=2.1-3*Aa
    elseif 0.4<Aa
        Fa=0.9
    else
        h=warndlg('Asigne un valor valido a Aa','ERROR')
    end
    if Av<=0.1
        Fv=3.5
    elseif 0.1<Av&Av<=0.2
        Fv=3.8-3*Av
    elseif 0.2<Av&Av<=0.4
        Fv=4-4*Av
    elseif Av>0.4
        Fv=2.4
    else
        g=warndlg('Asigne un valor valido a Av','ERROR')
    end
case 7
    j=warndlg('Para el perfil F debe realizarse una investigacion
geotecnica particular para el lugar especifico','CALCULO NO ES POSIBLE')
end

```

```

%% Coeficiente de importancia%
switch grupo
case 1
    f2=warndlg('Seleccione un grupo de uso','ERROR')
case 2
    I=1
case 3
    I=1.1
case 4
    I=1.25
case 5
    I=1.50
end

%% Calculos para definir espectroyaceleraciones%
T0=0.1*(Av*Fv)/(Aa*Fa)
TC=0.48*(Av*Fv)/(Aa*Fa)
TL=2.5*Fv
dt=str2num(get(handles.etdt,'string'));

t=0.0001:dt:8;
f=(t<=TC).*(2.5*Aa*Fa*I)+(t>TC&t<=TL).*((1.2*Av*Fv*I)./t)+(t>TL).*((1.2*Av*Fv*T
L*I)./(t.^2));
plot(t,f)
E=[t; f];
fileID=fopen('espectro.txt','w');
fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','T','Sa');
fprintf(fileID,'%6.3f %12g\r\n',E);
fclose(fileID);

fileID2=fopen('aceleraciones.txt','wt');
fprintf(fileID,'%g\n',f);
fclose(fileID2);

As=2.5*Aa*Fa*I

if T<=TC
    Sa=As
elseif T>TC&T<=TL
    Sa=(1.2*Av*Fv*I)/T
else
    Sa=(1.2*Av*Fv*TL*I)/(T^2)
end
set(handles.stSa,'string',Sa)
set(handles.textAs,'string',As)

(...)

% --- Executes on button press in pbaceleracion.
function pbaceleracion_Callback(hObject, eventdata, handles)
ENE=get(handles.puENE,'value')
hn=str2num(get(handles.ethn,'string'))
hx=str2num(get(handles.ethx,'string'))
heq=0.75*hn
As=str2num(get(handles.textAs,'string'))
Sa=str2num(get(handles.stSa,'string'))
switch ENE
case {1,2,11,13,14,18,19,21,23,25,27,28,31}
    aviso=warndlg('Seleccione un tipo de elemento no estructural','ERROR')
case {3,4,5,6,8,10,12,15,16,22,26,32}
    ap=1
case 24

```

```

        ap=1.5
    otherwise
        ap=2.5
end

if hx<heq
    ax=As+(Sa-As)*(hx/heq)
else
    ax=Sa*(hx/heq)
end

Aamp=ax*ap
set(handles.stAamp, 'string', Aamp)

function textMp_Callback(hObject, eventdata, handles)
Mp=str2num(get(handles.textMp, 'string'))

(...)

function pbfuerza_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% DATOS DE ENTRADA %%
Mp=str2num(get(handles.textMp, 'string'))
ENE=get(handles.puENE, 'value')
desemp=get(handles.pudesemp, 'value')
grupo=get(handles.pgrupo, 'value');
switch grupo
    case 1
        f2=warndlg('Seleccione un grupo de uso', 'ERROR');
    case 2
        I=1;
    case 3
        I=1.1;
    case 4
        I=1.25;
    case 5
        I=1.50;
end
Aa=str2num(get(handles.etAa, 'string'))
Aamp=str2num(get(handles.stAamp, 'string'))
%% CALCULOS %%
switch desemp
    case 1
        aviso=warndlg('Seleccione el grado de desempeno deseado', 'ERROR')
    case 2
        if any(ENE==[3,4,6,7,12,15,10,20,22,24,30])
            Rp=6
            set(handles.textanclaje, 'string', 'Ductil')
        elseif any(ENE==[5,16,17,26,32])
            Rp=1.5
            set(handles.textanclaje, 'string', 'No Ductil')
        elseif ENE==29
            Rp=6
            set(handles.textanclaje, 'string', 'Especial')
        else
            aviso2=warndlg('No se permite este tipo de elemento estructural,
seleccione otro grado de desempeno', 'ERROR')
        end
    case 3
        if ENE==29
            Rp=6
            set(handles.textanclaje, 'string', 'Ductil')

```



```

elseif any(ENE==[8,9,10])
    aviso2=warndlg('No se permite este tipo de elemento estructural,
seleccione otro grado de desempeno','ERROR')
else
    Rp=1.5
    set(handles.textanclaje,'string','No Ductil')
end
case 4
if any(ENE==[12,15,16,17,22])
    Rp=0.5
    set(handles.textanclaje,'string','Humedo')
elseif any(ENE==[26,29,30,32])
    aviso2=warndlg('No se requiere diseno y verificacion sismica para
el elemento no estructural y grado de desempeno seleccionados','ATENCION')
else
    Rp=1.5
    set(handles.textanclaje,'string','No Ductil')
end
end
Fp1=Aamp*9,81*Mp/Rp
Fp2=(Aa*I)*9,81*Mp/2

if Fp1>=Fp2
    Fp=Fp1
else
    Fp=Fp2
end
set(handles.stFp,'string',Fp)

(...)

end

```

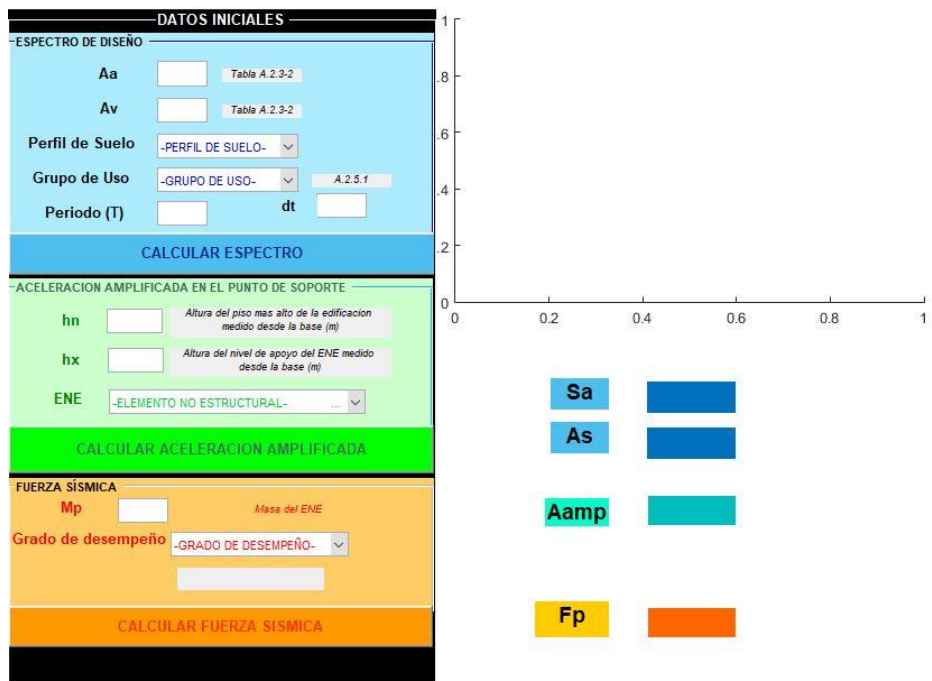


Figura B-1. Interfaz de Usuario del programa EspectroyAceleraciones

C. OTROS CÓDIGOS DE MATLAB UTILIZADOS

Función que permite calcular la Integral de Duhamel.

Autor: Dr. Luis Suarez

```
function [u] = Duhamel(wn,zi,m,dt,nt,u0,v0,f)

% Programa para efectuar la integración numérica de la ecuación de movimiento %
% de un sistema de un grado de libertad con amortiguamiento viscoso lineal %
% usando la solución recursiva de la integral de Duhamel. %
% La excitación puede ser una fuerza o aceleración muestreada a intervalos %
% iguales de tiempo. El programa entrega un vector de desplazamientos u(t). %
% Se supone que la excitación varía linealmente entre 2 intervalos de tiempo. %

% ----- Datos para el programa -----

% wn = frecuencia natural del oscilador en rad/seg
% zi = razón de amortiguamiento viscoso < 1
% m = masa del oscilador
% dt = intervalo de tiempo constante en seg
% nt = número de instantes de tiempo
% u0 = desplazamiento inicial en t = t0
% v0 = velocidad inicial en t = t0
% f = vector con los valores de f(t) muestreada en nt instantes de tiempo

zk1 = [0 ; 0];
zk = [u0 ; v0];

wd = wn * sqrt(1-zi^2) ;
ex = exp(-zi*wn*dt) ;
co = cos(wd*dt) ;
si = sin(wd*dt) ;
S = sqrt(1-zi^2);
k = 1 / (m * wn^3 * S * dt);

a11 = (co + zi/S * si) * ex ;
a12 = 1 / wd * si * ex ;
a21 = -wn/S * si * ex ;
a22 = (co - zi/S * si) * ex ;

b11 = 2*zi*S + ( (1-2*zi^2-zi*wn*dt)*si - (2*zi*S+wd*dt)*co ) * ex;
b12 = wd*dt - 2*zi*S + ( (2*zi^2-1)*si + (2*zi*S)*co ) * ex;
b21 = -wd + ( (wn*zi+wn^2*dt)*si + (wd)*co ) * ex;
b22 = wd - ( (wn*zi)*si + (wd)*co ) * ex;

A1 = [a11, a12 ; a21, a22] ;
B1 = k * [b11, b12 ; b21, b22] ;

u(1) = u0;
for k = 2:nt
    zk1 = A1 * zk + B1 * [f(k-1) ; f(k)] ;
    u(k) = zk1(1);
    zk = zk1;
end
```

Programa para hacer un registro de aceleraciones compatible con un espectro de diseño.

Autor: Dr. Luis Montejó

```
% ArtifQuakeLetII - CWT based modification of historic records to obtain
% spectrum compatible acceleration series

% Luis A. Montejó (luis.montejó@upr.edu)
% Updates: https://sites.google.com/a/upr.edu/montejó/
% References:
% Montejó, L. A. and Suarez, L. E. (2013). An improved CWT based algorithm
% for the generation of spectrum compatible records.
% Suarez, L. E., and Montejó, L. A. (2005). Generation of Artificial
Earthquakes
% via the Wavelet Transform. Int. J. Solids and Structures 42, pp. 5905-5919.

clc; clear all; close all;

% required input data:

dsfolder = 'C:\Users\Alejandro Montes\Desktop\Tesis\Espectros de diseño';%
directory with the target spectrum
dsname = 'espectrol.txt'; % name of spectrum file (2 columns
% periods[s] PSA[g])

eqfolder = 'C:\Users\Alejandro Montes\Desktop\Tesis\E1\ArtifQuakeLetII-Beta';
% directory with the accelerograms
eqname = 'SismoCompatible1.at2'; % name of earthquake file
outname = 'Sismocompl.txt'; % output file name

dt = 0.01; % time step of accelerogram [sec]
g = 1; % accel units (if g's input 1);

T1 = 0; T2 = 7.99; % define period range for matching
% input T1=0 & T2=0 to match the whole spectrum

FF1 = 0.1;
FF2 = 1/(2*dt); % define the range of frequencies to perform CWT
NS = 100; % number of scale (s) values to perform CWT

zi = 0.05; % damping ratio for response spectra
nit = 100; % max number of iterations

% end of input data
% =====
% =====

% load data:

addpath(dsfolder) % directory with the design spectra
addpath(eqfolder) % directory with the seed record

eq = load (eqname); % read the design spectrum data file
[nr,nc] = size(eq); % columns and rows of data file
np = nr*nc; % original number of data points
xg(1:np) = eq'/g; % copy record in a vector
np = length(xg);
t = 0 : dt : (np-1)*dt;

DS = load (dsname); % read the design spectrum data file
DS = sortrows(DS,1);
```

```

To = DS(:,1); % periods vector (original)
dso = DS(:,2); % target accels vector (original)

% wavelet analysis parameters:

omega = pi; zeta = 0.05; % wavelet function parameters
freqs = sort(exp(log(FF1):(log(FF2)-log(FF1))/(NS-1):log(FF2)),'descend'); %
frequencies vector
freqs(1) = FF2; freqs(end) = FF1;
T = 1./freqs; % periods vector
scales = omega./(2*pi*freqs); % scales vector
nf = length(freqs); % number of frequencies/scales

if (T1<To(1) || T2>To(end)) && (T1~=0&&T2~=0)
    disp('=====');
    disp('error: period range defined for matching!');
    disp('fails outside the target spectrum!');
    disp('=====');
    return
elseif T1==0&&T2==0
    T1 = To(1);
    T2 = To(end);
    if FF2<1/T1
        disp('=====');
        disp('because of sampling frequency limitations in the seed record')
        disp(['the target spectra can only be matched from T =
',num2str(1/FF2),' s'])
        disp('=====');
        T1 = 1/FF2;
    end
    if T2>T(end);
        FF1 = 1/T2;
        disp('=====');
        disp(['FF1 is redefined as ',num2str(FF1),' Hz to match the whole
target spectrum']);
        disp('=====');
        freqs = sort(exp(log(FF1):(log(FF2)-log(FF1))/(NS-
1):log(FF2)),'descend'); % frequencies vector
        freqs(1) = FF2; freqs(end) = FF1;
        T = 1./freqs; % periods vector
        scales = omega./(2*pi*freqs); % scales vector
        nf = length(freqs); % number of
frequencies/scales
    end
end

% Perform Continuous Wavelet Decomposition:

centertime = (ceil(np/2)-1)*dt; % will be used to move the wavelet to the
center

centralpart = (ceil(np/2)-1):(ceil(np/2)-1)+np-1; % this vector will be used
later to extract

% the center part of the
% convolution

C = zeros(nf,np); % the CWT coefficients will be stored here

nconv = 2*np-1; % size of the conv. signal
nFFTs = pow2(nextpow2(nconv)); % number of pts to calculate the FFTs
Fs = fft(xg, nFFTs);

```

```

for k=1:nf
    wv = zumontw((t-centertime)/scales(k),omega,zeta);
    Fb = fft(wv, nFFTs);
    FsFb = Fs.*Fb;
    convol = ifft(FsFb, 'symmetric')/sqrt(scales(k));
    convol = convol(1:nconv);
    C(k,:) = convol(centralpart);
end

disp('*****')
disp('Wavelet decomposition performed')
disp('*****')

% Generate detail functions:

D = zeros(nf,np);

for k=1:nf
    wv = zumontw((t-centertime)/scales(k),omega,zeta);
    Fb = fft(wv, nFFTs);
    FC = fft(C(k,:),nFFTs);
    FCFb = FC.*Fb;
    convol = ifft(FCFb, 'symmetric')/(scales(k)^(5/2));
    convol = convol(1:nconv);
    D(k,:) = -convol(centralpart);
end

s = trapz(scales,D);
ff = max(abs(xg))/max(abs(s));
s = ff * s;
D = ff * D;

disp('*****')
disp('Detail functions generated')
disp('*****')

% response spectra from the reconstructed and original signal

PSAxg = responsespectrum(T,xg,zi,dt);
PSAs = responsespectrum(T,s,zi,dt);

% initial scaling of record:

ds = interp1(To,dso,T)'; % resample target spectrum

if T1>=T(1) && T2<=T(end) && T2>T1
    Tlocs = find(T>=T1&T<=T2);
    sf = sum(ds(Tlocs))./sum(PSAxg(Tlocs)); % initial scaling factor
else
    disp('error in T1 and/or T2 values'); return
end

s = sf * s; D = sf * D;

% Iterative Process

meane = zeros(1,nit+1);
rmse = zeros(1,nit+1);
hPSAabc = zeros(nf,nit+1);
ns = zeros(np, nit+1);
hPSAabc(:,1) = sf*PSAs;
ns(:,1) = s;

```

```

dif = abs( hPSAbc(:,1) - ds ) ./ ds;
meane(1) = mean(dif) * 100;
rmse(1) = norm(dif) / sqrt(length(dif)) * 100;
factor = ones(1,length(freqs));
DN = D;

for m = 2 : nit+1
    disp(['Now performing iteration ',num2str(m-1),' of ',num2str(nit)])
    factor(Tlocs) = ds(Tlocs)./hPSAbc(Tlocs,m-1) ;
    DN = bsxfun(@times,DN,factor');
    ns(:,m) = trapz(scales,DN);
    hPSAbc(:,m) = responsespectrum(T,ns(:,m),zi,dt);
    dif = abs( hPSAbc(Tlocs,m) - ds(Tlocs) ) ./ ds(Tlocs);
    meane(m) = mean(dif) * 100;
    rmse(m) = norm(dif) / sqrt(length(dif)) * 100;
end

[br brloc] = min(rmse); % locates min error
sc = ns(:,brloc); % compatible record
PSAsc = hPSAbc(:,brloc);

% perform baseline correction:

CT = max([1,t(end)/20]); % time to correct
[vel,despl,ccs,cvel,cdespl] = basecorr(t,sc,CT);
kka = 1;

while sum(isnan(ccs)~=0) ~= 0
    kka = kka + 1;
    CTn = kka*CT;
    if CTn >= t(end)/2;
        disp('**baseline correction failed**');
        ccs = sc; cvel=vel; cdespl=despl; break
    end
    [vel,despl,ccs,cvel,cdespl] = basecorr(t,sc,CTn);
end

PSAccs = responsespectrum(T,ccs,zi,dt);
difin = abs( PSAccs(Tlocs) - ds(Tlocs) ) ./ ds(Tlocs);
meanefin = mean(difin) * 100;
rmsefin = norm(difin) / sqrt(length(difin)) * 100;

if To(1) == 0; To(1)=0.00999999; end

figure;subplot(311); plot(t,ccs,'LineWidth',1); grid on;
axis tight; ylabel('accel. [g]'); title('compatible record')
subplot(312); plot(t,cvel,'LineWidth',1); grid on;
axis tight; ylabel('vel./g');
subplot(313); plot(t,cdespl,'LineWidth',1); grid on;
axis tight; xlabel('time [s]'); ylabel('displ./g');

figure; plot(0:nit,rmse,'-
ks','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','g',...
'MarkerSize',10); grid on; xlabel('Iteration No. ');
ylabel('RMSE [%]'); ylim([0 1.1*rmse(2)]);
hold on; plot(brloc-1,br,'ro','LineWidth',3,'MarkerSize',12); hold off

figure ; plot( T,PSAxg, T,PSAccs,'-^', To,dso,'MarkerSize',2 );
legend(': original record','compatible record','target spectrum');grid on
xlabel('Period [s]'); ylabel('Spectral acceleration [%g]');
xlim([To(1) To(end)]); ylim([0 1.03*max(PSAsc)])
hold on; plot([T1 T1],[0 1.03*max(PSAsc)],'r--',...

```

```

    [T2 T2],[0 1.03*max(PSAsc)],'r--','linewidth',3); hold off

figure ; semilogx( 1./T,PSAyg,1./T,PSAccs,'-^', 1./To,dso,'MarkerSize',2 );
legend(': original record',': compatible record',': target spectrum');grid on
xlabel('Frequency [Hz]'); ylabel('Spectral acceleration [%g]');
xlim([1/To(end) 1/To(1)]); ylim([0 1.03*max(PSAsc)])
hold on; plot([1/T1 1/T1],[0 1.03*max(PSAsc)],'r--',...
    [1/T2 1/T2],[0 1.03*max(PSAsc)],'r--','linewidth',3); hold off

QQ = [eqfolder,'\ ',outname];
save(QQ,'ccs','-ascii')

figure;subplot(311); plot(t,ccs,'-b',t,zeros(size(t)),'-r','LineWidth',1);
axis tight; ylabel('accel. [g]'); title(num2str(outname))
ylim([-max(abs(ccs)) max(abs(ccs))])
subplot(312); plot(t,cvel,t,zeros(size(t)),'-r','LineWidth',1);
axis tight; ylabel('vel./g');
ylim([-max(abs(cvel)) max(abs(cvel))])
subplot(313); plot(t,cdespl,t,zeros(size(t)),'-r','LineWidth',1);
axis tight; xlabel('time [s]'); ylabel('displ./g');
ylim([-max(abs(cdespl)) max(abs(cdespl))])

figure ; plot( To,dso,'--k','linewidth',3); title(num2str(outname)); hold on;
plot(T,sf*PSAyg,':r', T,PSAccs,'b-', 'linewidth',2 );
legend(': target spectrum',': scaled record',': compatible record');
xlabel('Period [s]'); ylabel('Spectral acceleration [%g]');
xlim([0 T2]); ylim([0 max([PSAsc' sf*PSAyg'])]); hold off

ao = sf*xg; vo=dt*cumtrapz(ao); do=dt*cumtrapz(vo);
figure;subplot(311); plot(t,ccs,t,ao,'LineWidth',1); grid on;
axis tight; ylabel('accel. [g]'); title('original scaled and compatible
record')
subplot(312); plot(t,cvel,t,vo,'LineWidth',1); grid on;
axis tight; ylabel('vel./g');
subplot(313); plot(t,cdespl,t,do,'LineWidth',1); grid on; legend(': comp.',':
orig.')
axis tight; xlabel('time [s]'); ylabel('displ./g');

```

Programa que genera el espectro de respuesta para un registro sísmico dado.

Autor: Dr. Luis Montejo

```
%-----Programa EspectroRespuesta.m-----%
%Programa para calcular y graficar los espectros de respuesta sísmicos de
%desplazamientos SD, de pseudo-velocidades PSV y de pseudo-aceleraciones PSA.
%La respuesta se calcula mediante la solución recursiva de la integral de
%Duhamel. Requiere del programa "function" Duhamel.m.

clc; clear all; close all; tic

uni= 'm';           % índice unidades p/espectros: in,ft,mm,cm,m
PGA= 0.36995;      % máxima aceleración del suelo en %g
zi=0.05;          % razón de amortiguamiento del oscilador
Ti=0.01;          % periodo mínimo para los espectros: seg
Tmax=7.99;        % periodo máximo para los espectros: seg
dT=0.01;          % intervalo para periodos naturales: seg
dt=0.01;          % intervalo de tiempo de muestreo: seg
nom='Sismo2-comp'; % nombre del archivo con el acelerograma
np=1;             % fracción (0-1) de puntos p/graficar

% -----Lectura y escalamiento del acelerograma original-----

terr=load([nom,'.txt']); % lectura del archivo con el registro
[nr, nc] = size(terr); % filas y columnas del archivo
nt=nr*nc; % nro. de puntos del acelerograma
xg(1:nt)=terr; % vector con los datos del archivo
xm=max(abs(xg)); % máximo original del acelerograma
xg=PGA/xm*xg; % se escala el acelerograma al PGA dato
tf= (nt-1)*dt; % tiempo final del registro
t= 0:dt:tf; % vector con tiempos discretos
ng= round(np*nt); % nro. de puntos para graficar

figure; plot(t(1:ng),xg(1:ng));grid on;axis tight
title(['Registro escalado del terremoto de ',nom,'-PGA=',...
num2str(PGA),'g']);
xlabel('Tiempo[seg]');ylabel('Aceleración [fracciones de g]')

%-----Cálculo y gráfico de los espectros-----

T=Ti:dT:Tmax; % vector con los periodos naturales
nT=length(T); % número de periodos naturales
SD=zeros(1,nT); % espectro de desplazamientos relativos

switch uni
    case 'in';g=386.4;
    case 'ft';g=32.2;
    case 'mm';g=9180;
    case 'cm';g=981;
    case 'm';g=9.81;
end

for j=1:nT
    u=Duhamel(2*pi/T(j),zi,1,dt,ng,0,0,-g*xg);
    SD(j)=max(abs(u));
end

for j=1:nT
    u=Duhamel(2*pi/T(j),zi,1,dt,ng,0,0,-g*xg);
    SD(j)=max(abs(u)); % espectro de desplazamiento [uni]
end
```



```

PSV=(2*pi./T).*SD;      % espectro de pseudo-velocidad {uni/T]
PSA=(2*pi./T).^2.*SD/g; % espectro de pseudo-aceleraciones [%g]

figure;set(gcf,'DefaultLineLineWidth',1.5);
plot(T,SD); title(['Espectro de desplazamientos del terremoto de ',nom]);
grid on; xlabel('Periodo[seg]');ylabel(['Desplazamiento Sd['',uni,']']);
axis tight;

figure; set(gcf,'DefaultLineLineWidth',1.5);
plot(T,PSV);title(['Espectro de pseudo-velocidades del terremoto de ',nom]);
grid on; xlabel('Periodo[seg]');ylabel(['Velocidad Sv['',uni,']/seg']);
axis tight;

figure; set(gcf,'DefaultLineLineWidth',1.5);
plot(T,PSA, 'k');title(['Espectro de pseudo-aceleraciones del terremoto de ',nom]);
grid on; xlabel('Periodo[seg]'); ylabel('Aceleración Sa [fracc. de g]');
axis ([0 Tmax 0 inf]);
toc

MSA=[T;PSA]
fileID=fopen('EspectroSismoComp2.txt','w');
fprintf(fileID,'%6g %12G\r\n',MSA);
fclose(fileID);

```

D. REGISTROS DE ACELERACIONES DE PISO

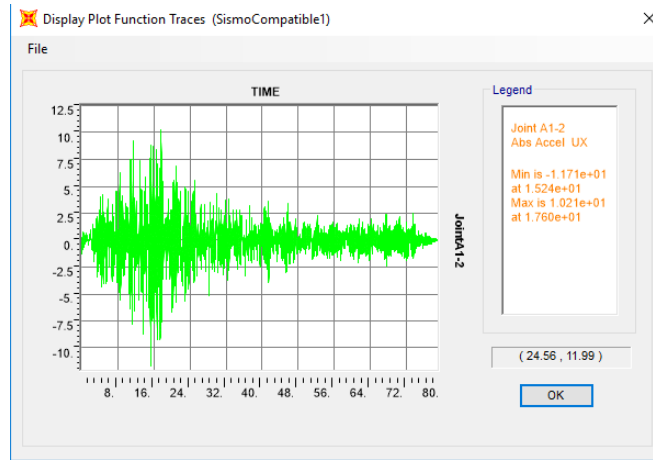


Figura D-1. Registro de Aceleraciones. Pórtico 1, Tercer Piso, Sismo Compatible 1

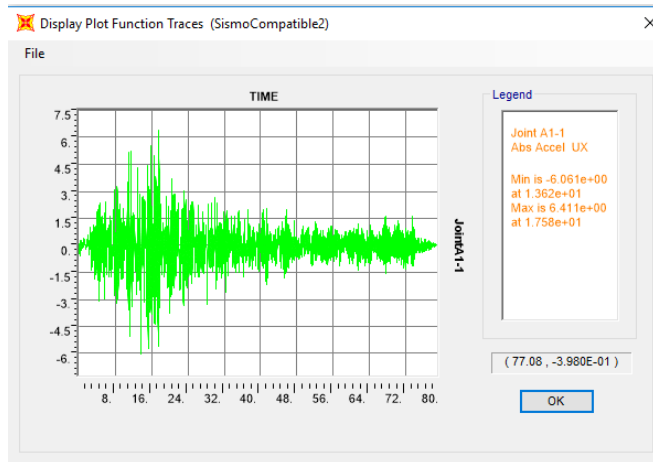


Figura D-2. Registro de Aceleraciones. Pórtico 1, Segundo Piso, Sismo Compatible 2

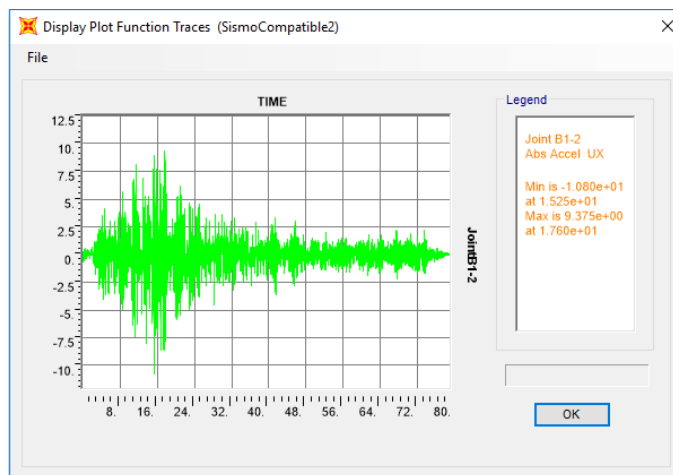


Figura D-3. Registro de Aceleraciones. Pórtico 1, Tercer Piso, Sismo Compatible 2

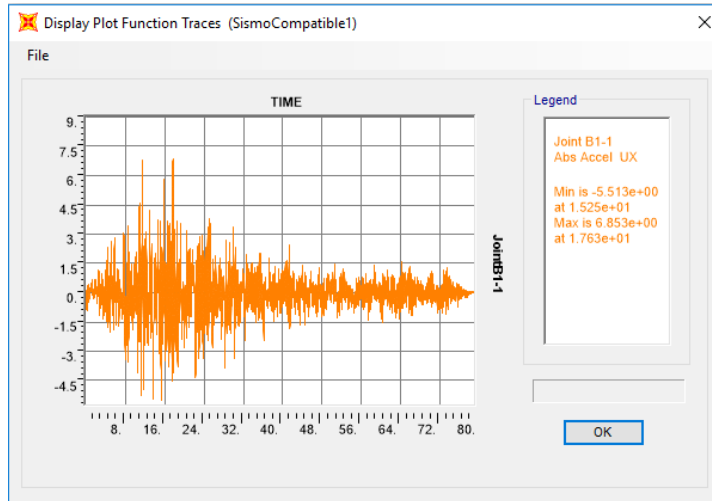


Figura D-4. Registro de Aceleraciones. Pórtico 2, Segundo Piso, Sismo Compatible 1

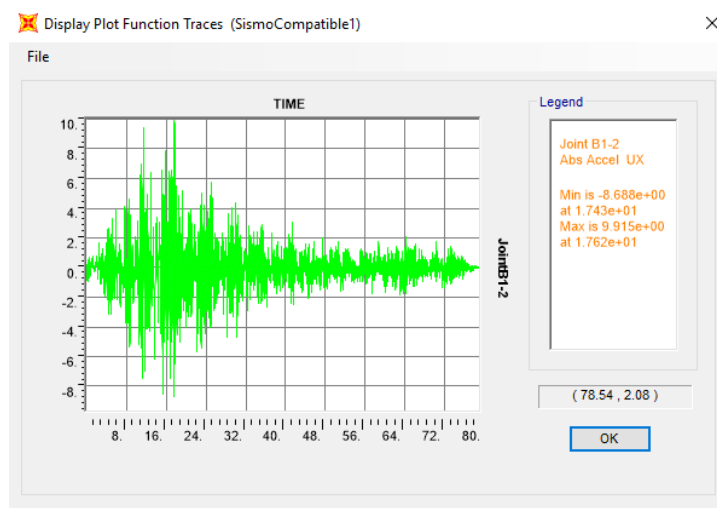


Figura D-5. Registro de Aceleraciones. Pórtico 2, Tercer Piso, Sismo Compatible 1

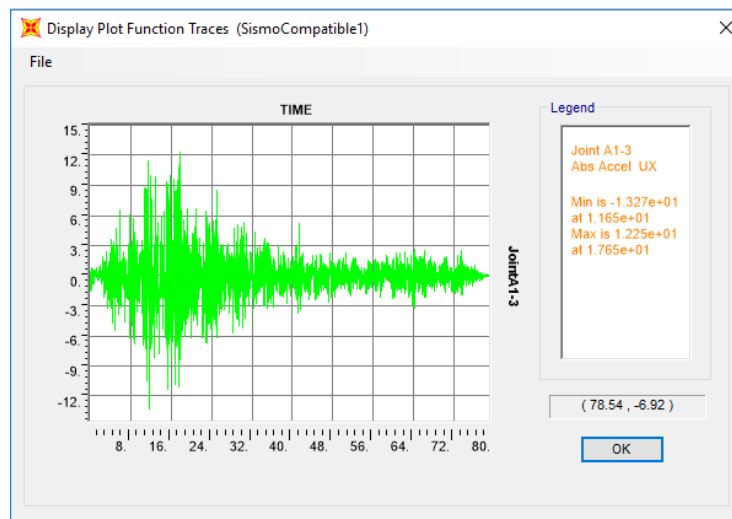


Figura D-6. Registro de Aceleraciones. Pórtico 2, Cuarto Piso, Sismo Compatible 1

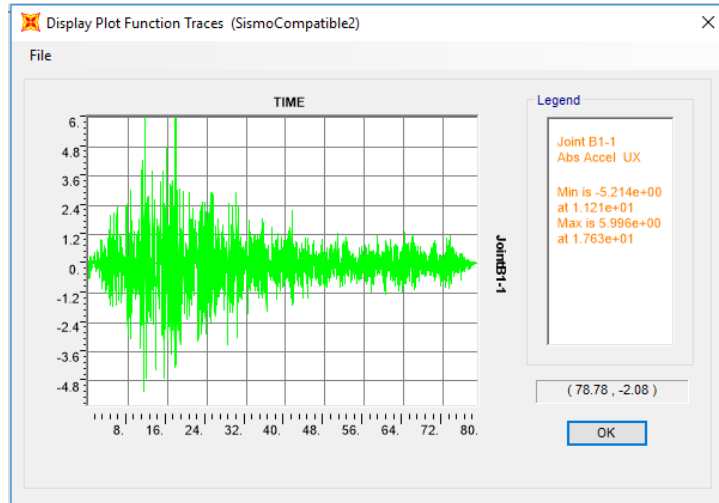


Figura D-7. Registro de Aceleraciones. Pórtico 2, Segundo Piso, Sismo Compatible 2

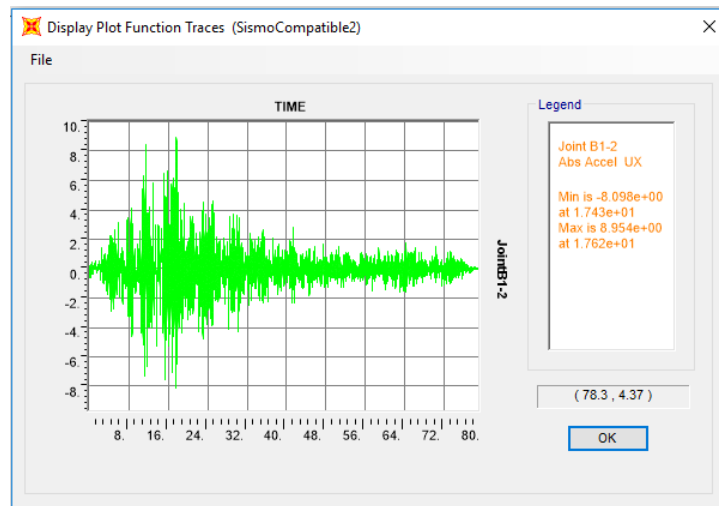


Figura D-8. Registro de Aceleraciones. Pórtico 2, Tercer Piso, Sismo Compatible 2

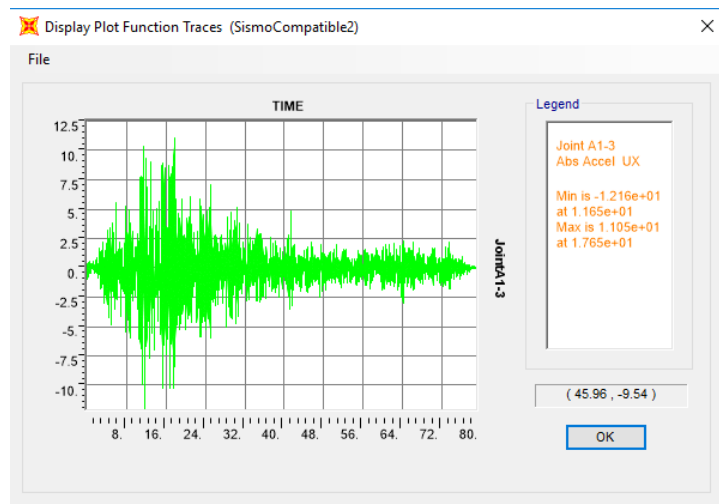


Figura D-9. Registro de Aceleraciones. Pórtico 2, Cuarto Piso, Sismo Compatible 2

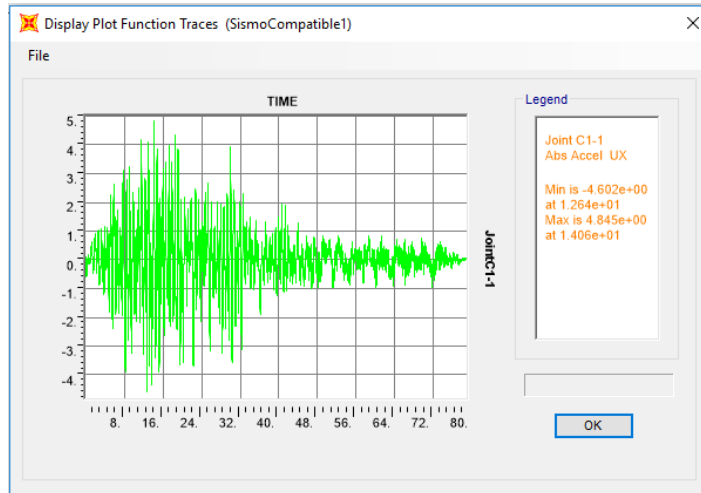


Figura D-10. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Segundo Piso, Sismo Compatible 1

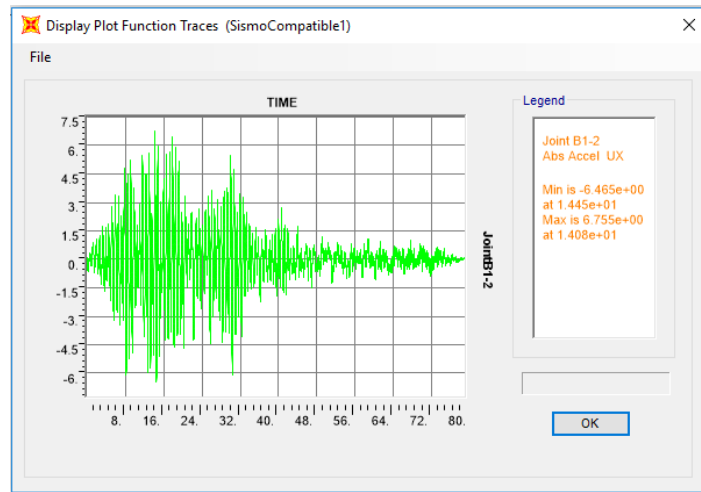


Figura D-11. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Tercer Piso, Sismo Compatible 1

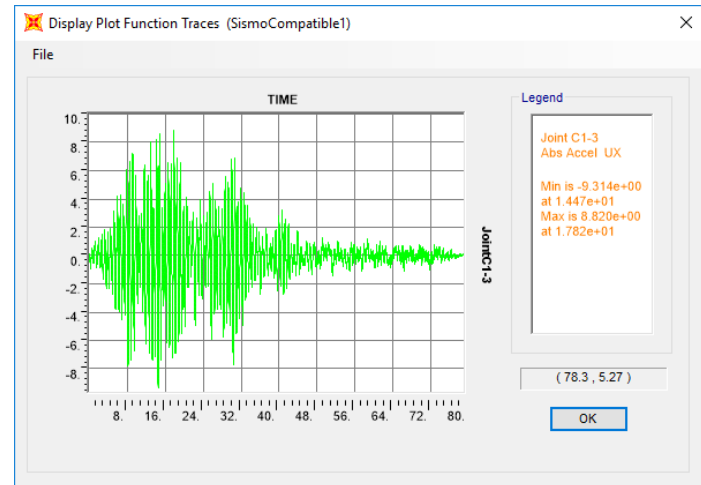


Figura D-12. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Cuarto Piso, Sismo Compatible 1

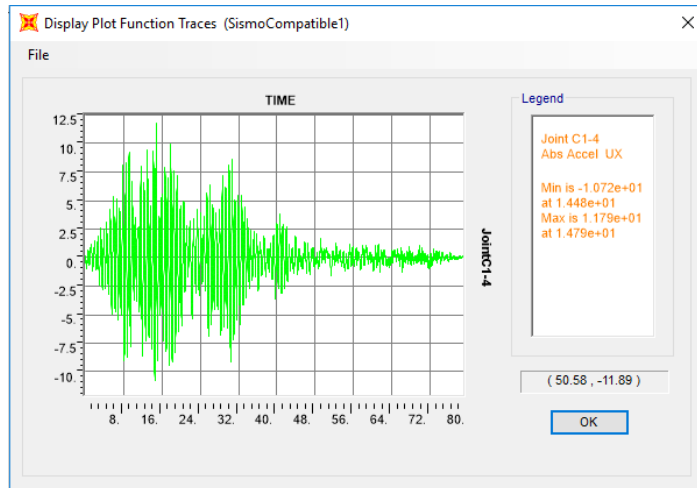


Figura D-13. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Quinto Piso, Sismo Compatible 1

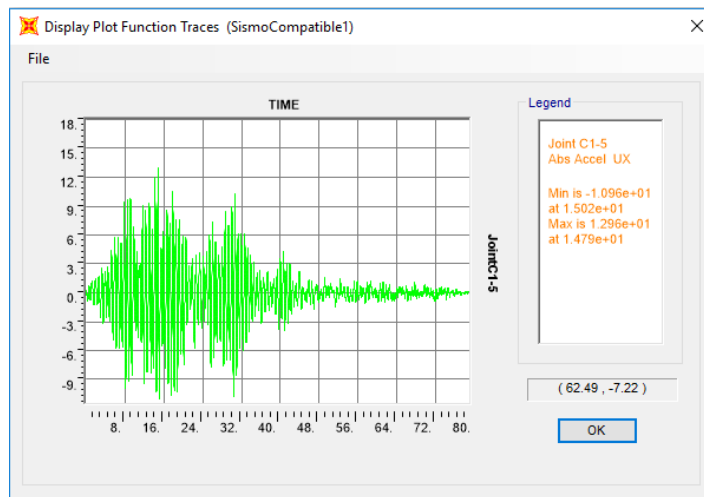


Figura D-14. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Sexto Piso, Sismo Compatible 1

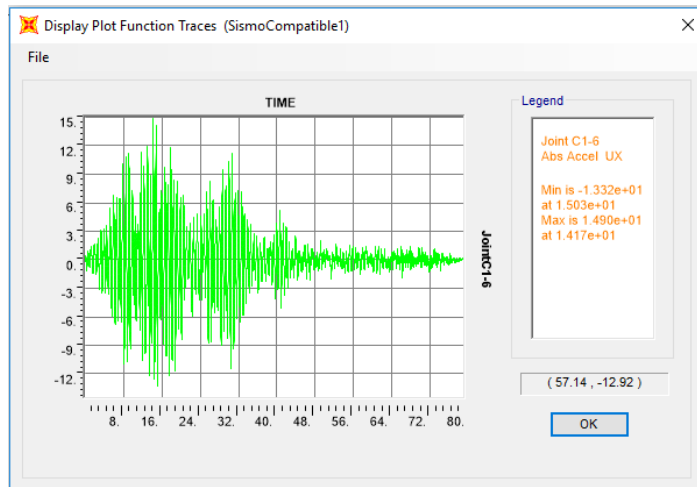


Figura D-15. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Séptimo Piso, Sismo Compatible 1

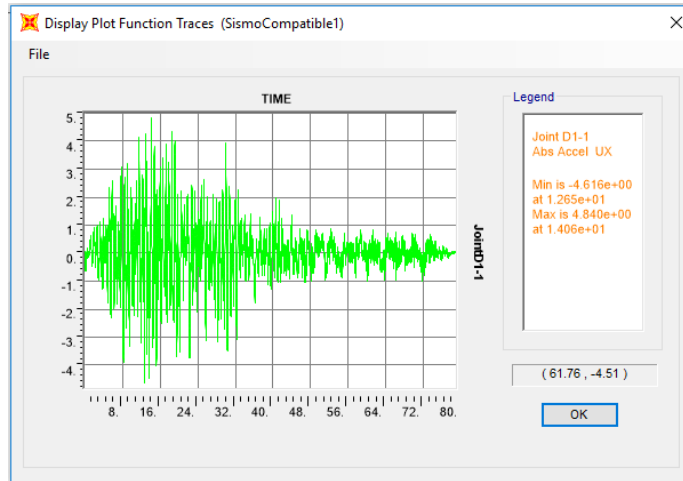


Figura D-16. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Segundo Piso(Derecha), Sismo Compatible 1

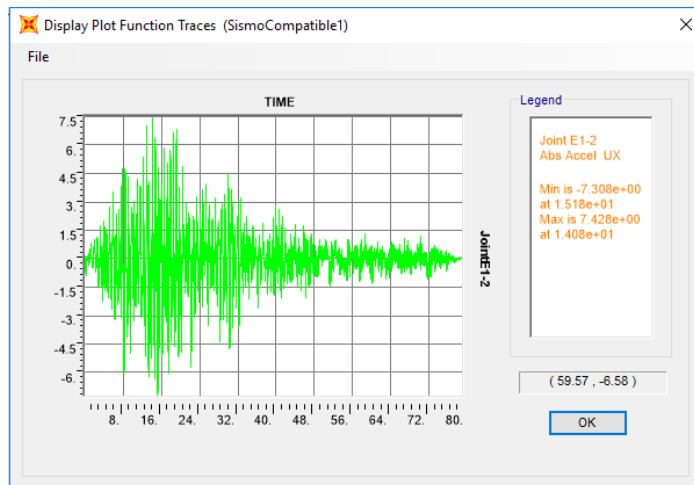


Figura D-17. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Tercer Piso(Derecha), Sismo Compatible 1

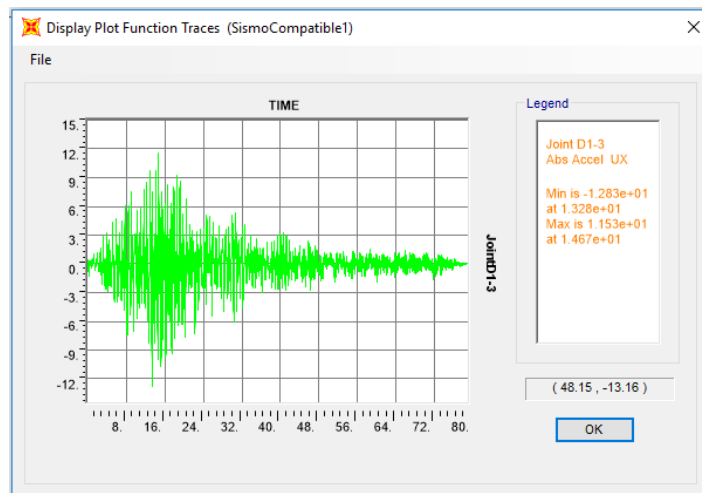


Figura D-18. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Cuarto Piso(Derecha), Sismo Compatible 1

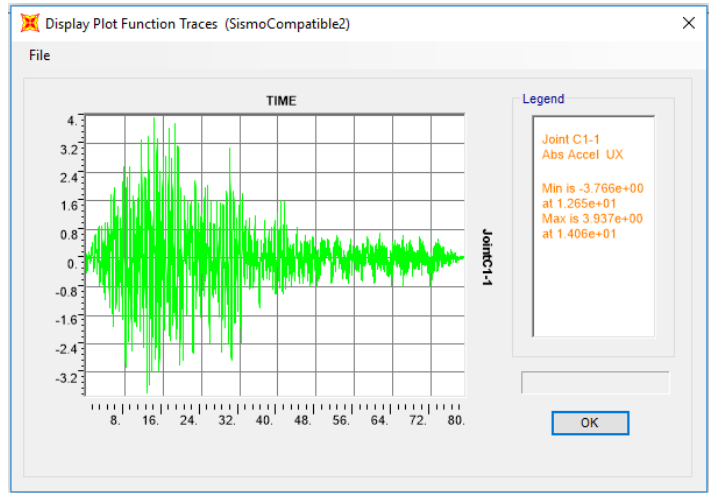


Figura D-19. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Segundo Piso, Sismo Compatible 2

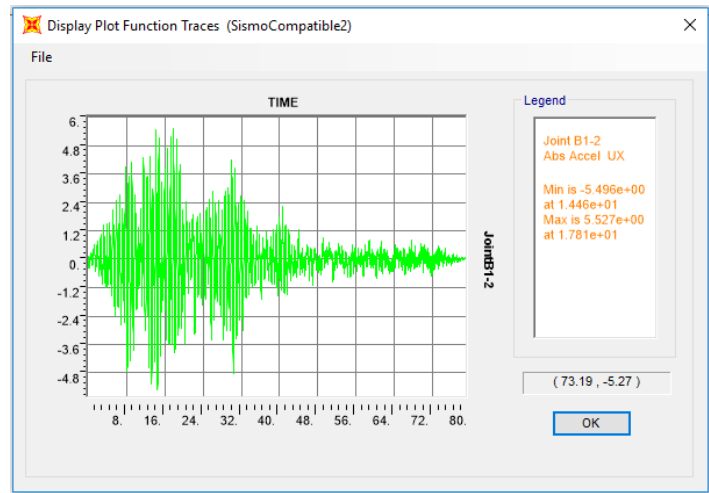


Figura D-20. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Tercer Piso, Sismo Compatible 2

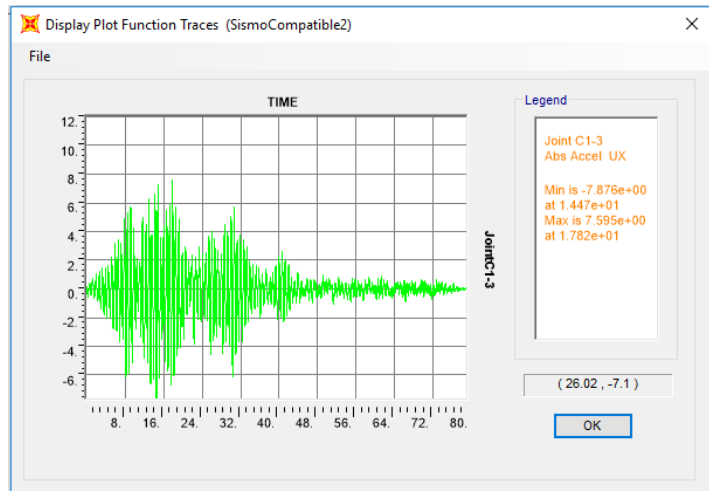


Figura D-21. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Cuarto Piso, Sismo Compatible 2

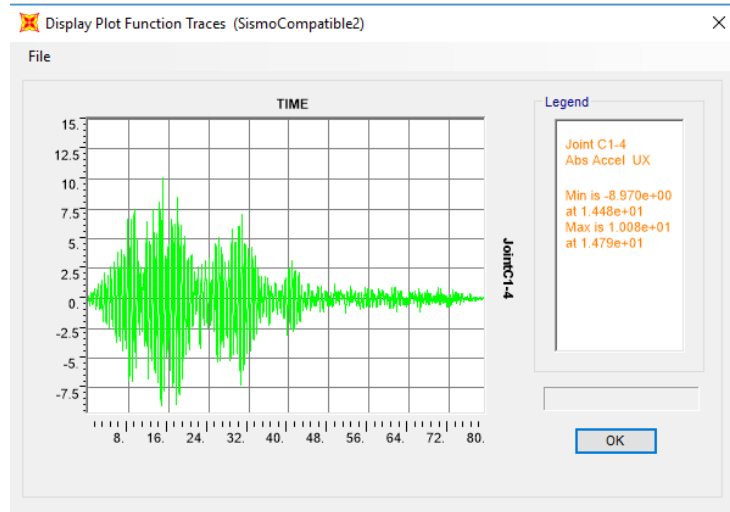


Figura D-22. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Quinto Piso, Sismo Compatible 2

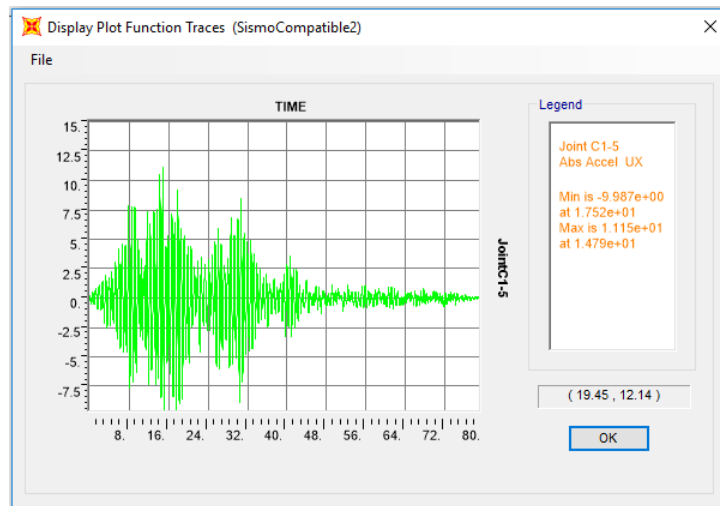


Figura D-23. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Sexto Piso, Sismo Compatible 2

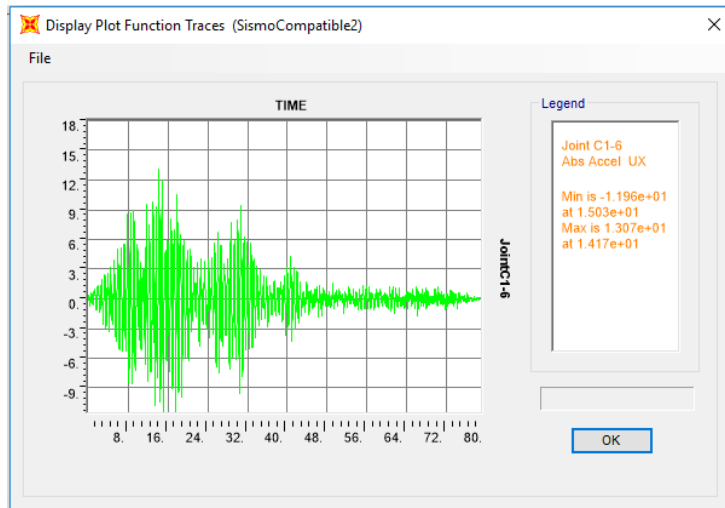


Figura D-24. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Séptimo Piso, Sismo Compatible 2

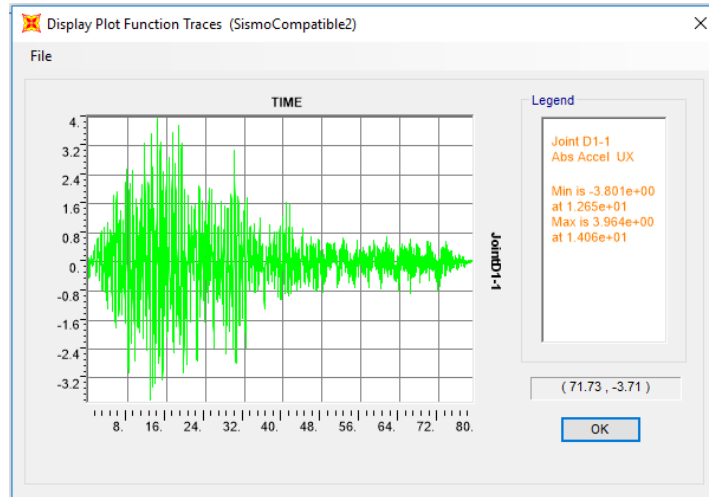


Figura D-25. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Segundo Piso(Derecha), Sismo Compatible 2

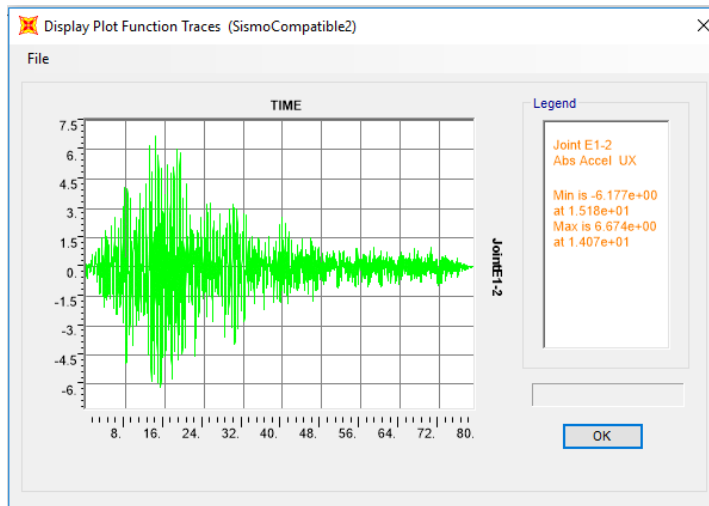


Figura D-26. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Tercer Piso(Derecha), Sismo Compatible 2

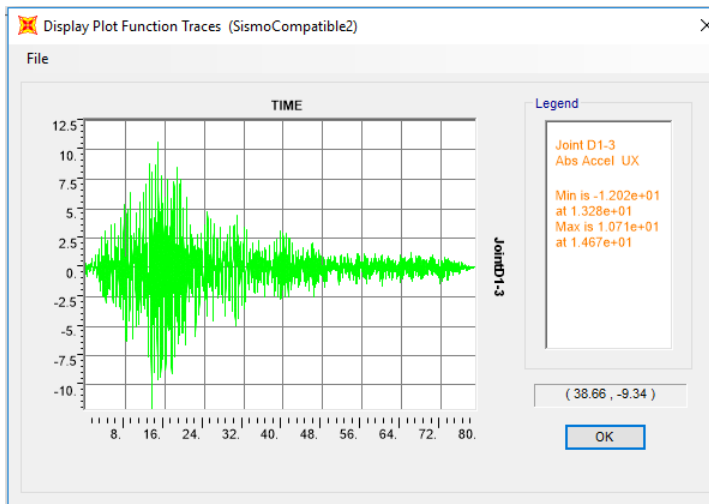


Figura D-27. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3, Cuarto Piso(Derecha), Sismo Compatible 2

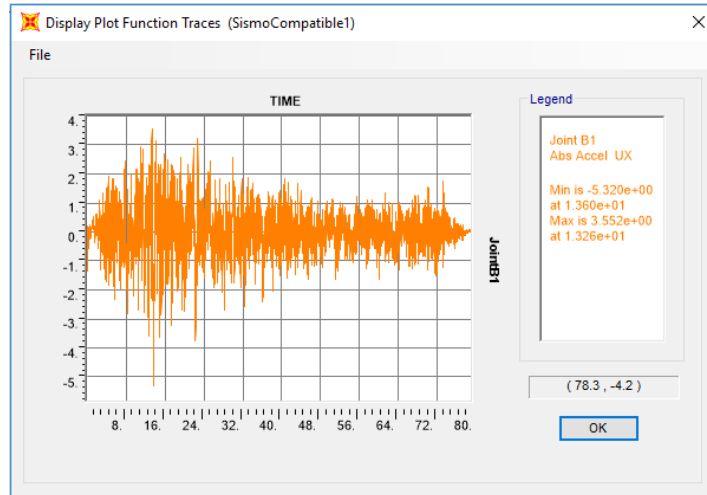


Figura D-28. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Segundo Piso, Sismo Compatible 1

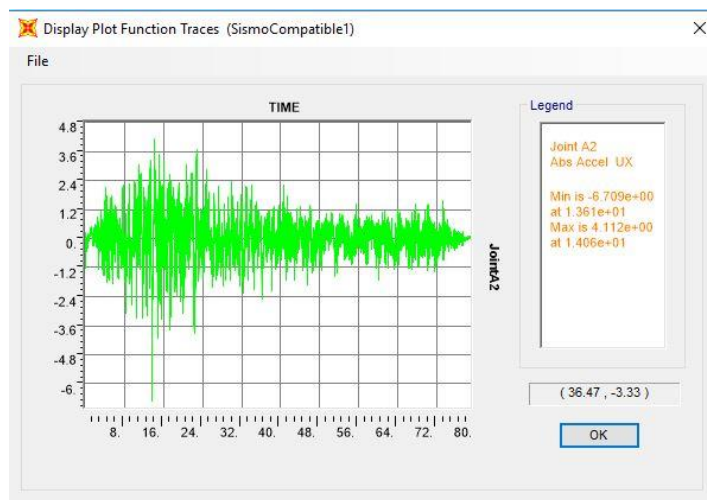


Figura D-29. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Tercer Piso, Sismo Compatible 1

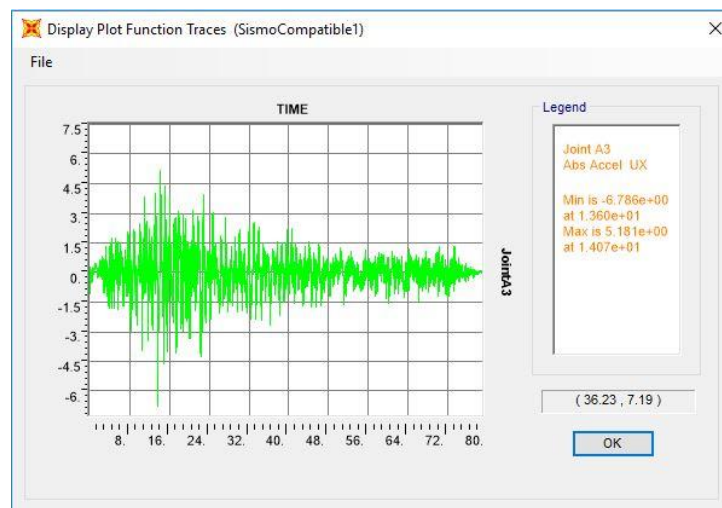


Figura D-30. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Cuarto Piso, Sismo Compatible 1

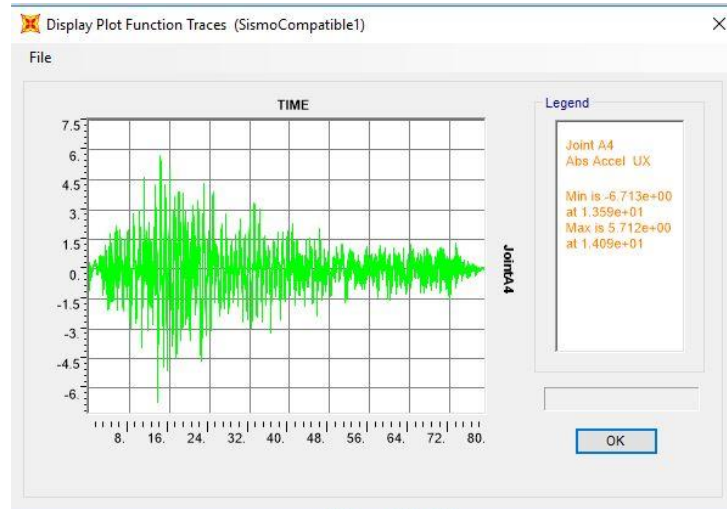


Figura D-31. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Quinto Piso, Sismo Compatible 1

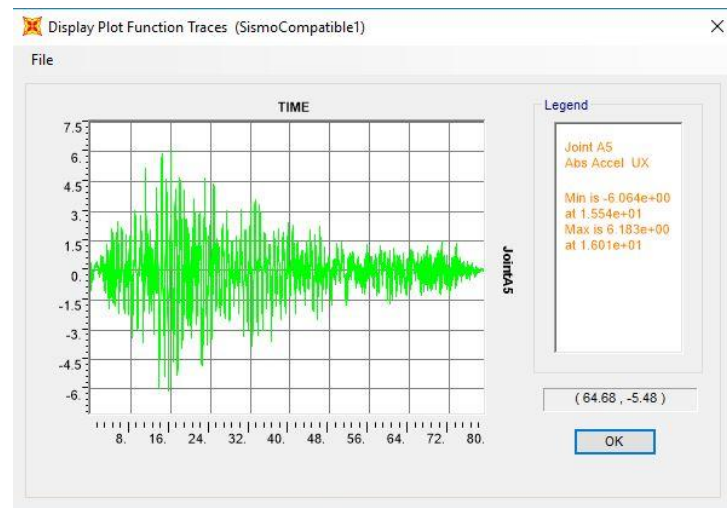


Figura D-32. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Sexto Piso, Sismo Compatible 1

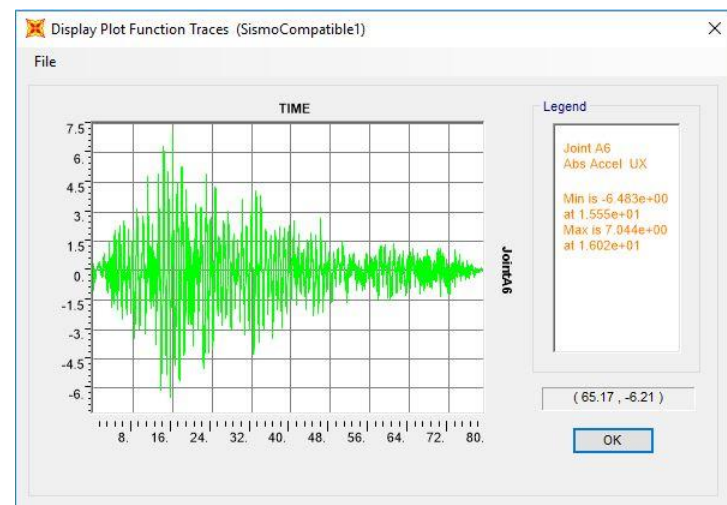


Figura D-33. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Séptimo Piso, Sismo Compatible 1

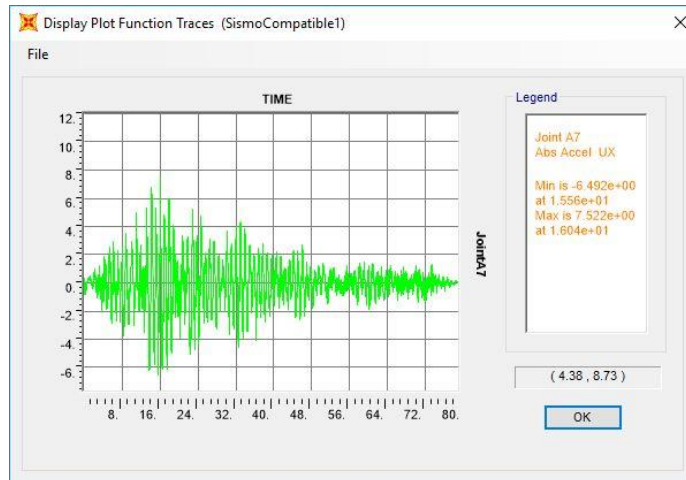


Figura D-34. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Octavo Piso, Sismo Compatible 1

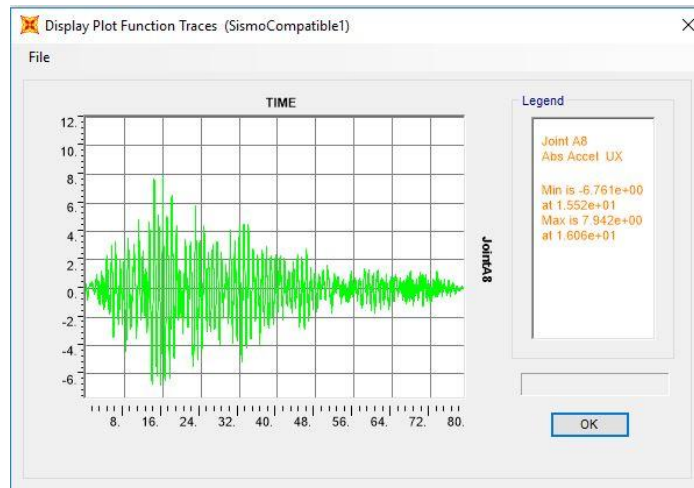


Figura D-35. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Noveno Piso, Sismo Compatible 1

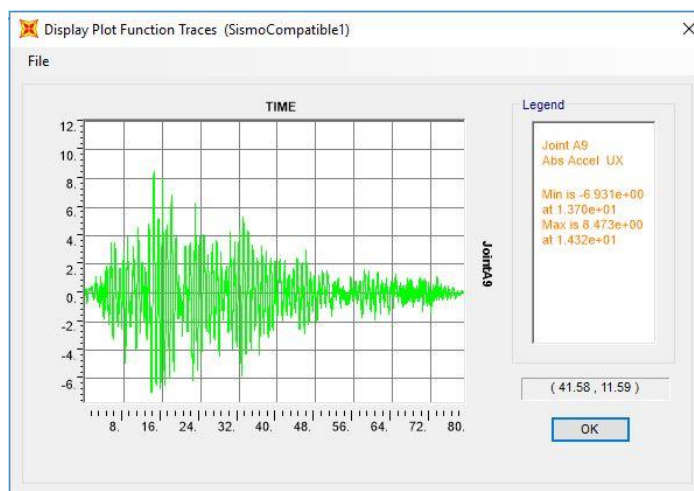


Figura D-36. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Décimo Piso, Sismo Compatible 1

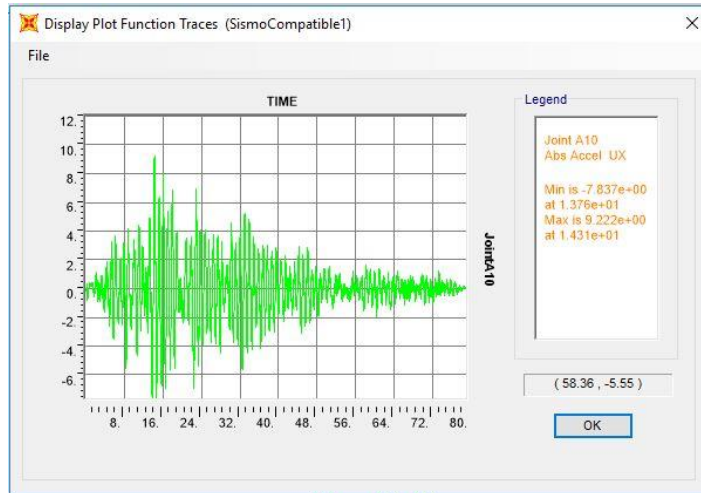


Figura D-37. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Onceavo Piso, Sismo Compatible 1

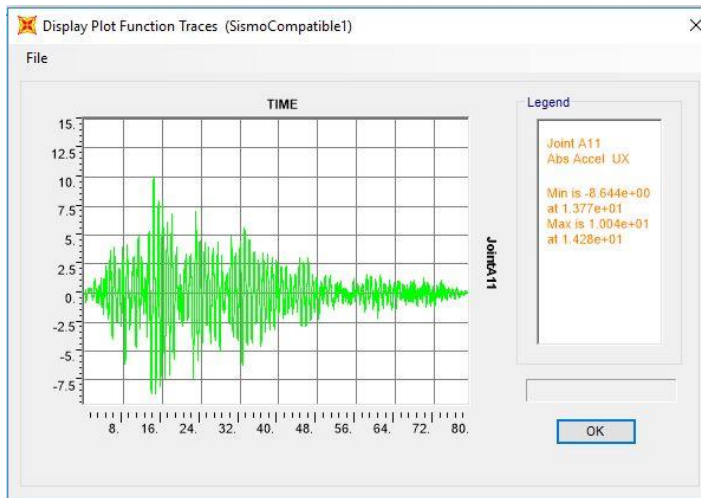


Figura D-38. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Doceavo Piso, Sismo Compatible 1

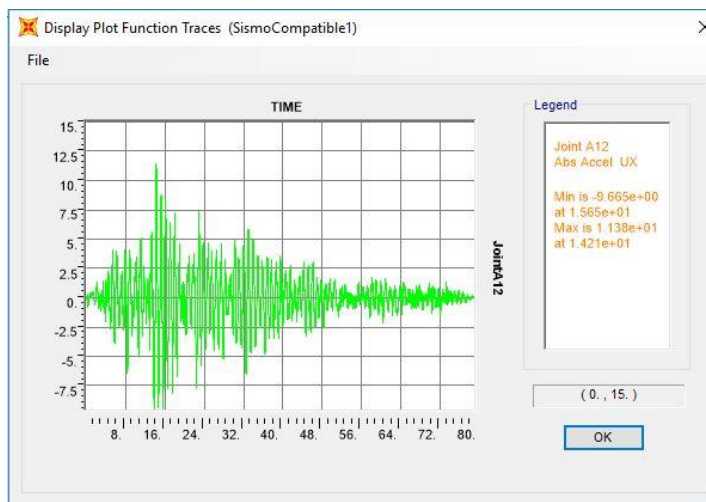


Figura D-39. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Treceavo Piso, Sismo Compatible 1

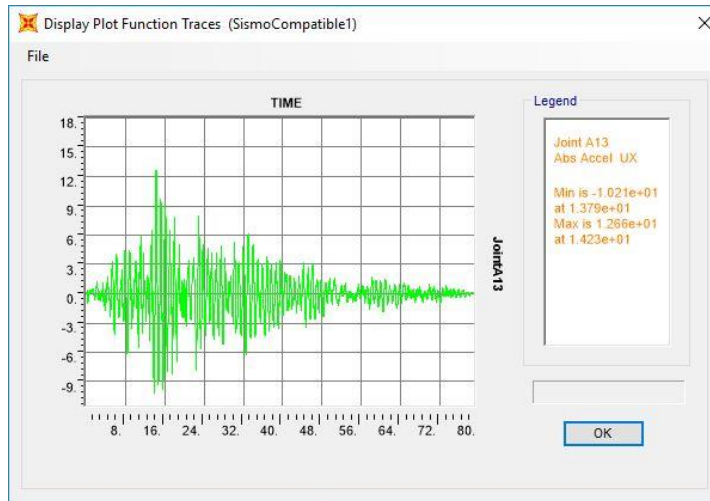


Figura D-40. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Catorceavo Piso, Sismo Compatible 1

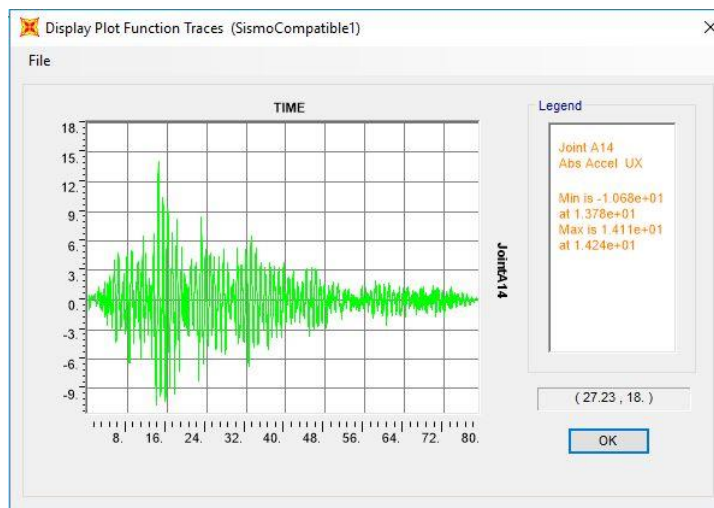


Figura D-41. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Cubierta, Sismo Compatible 1

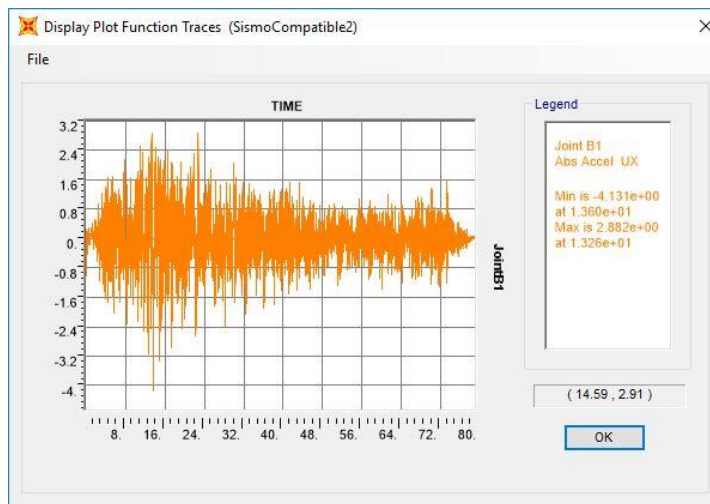


Figura D-42. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Segundo Piso, Sismo Compatible 2

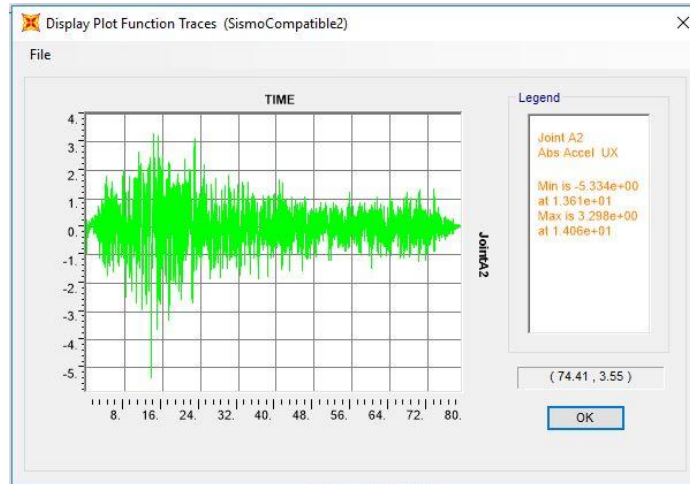


Figura D-43. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Tercer Piso, Sismo Compatible 2

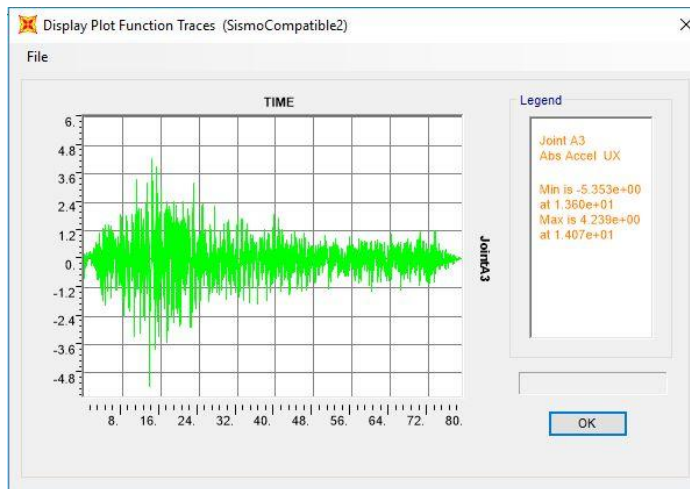


Figura D-44. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Cuarto Piso, Sismo Compatible 2

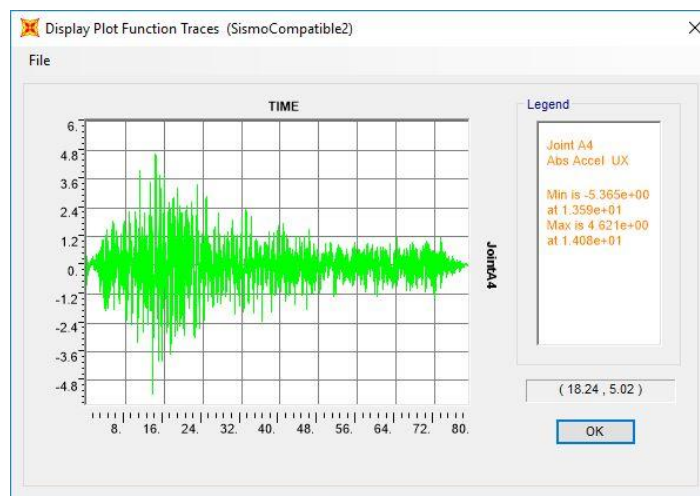


Figura D-45. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Quinto Piso, Sismo Compatible 2

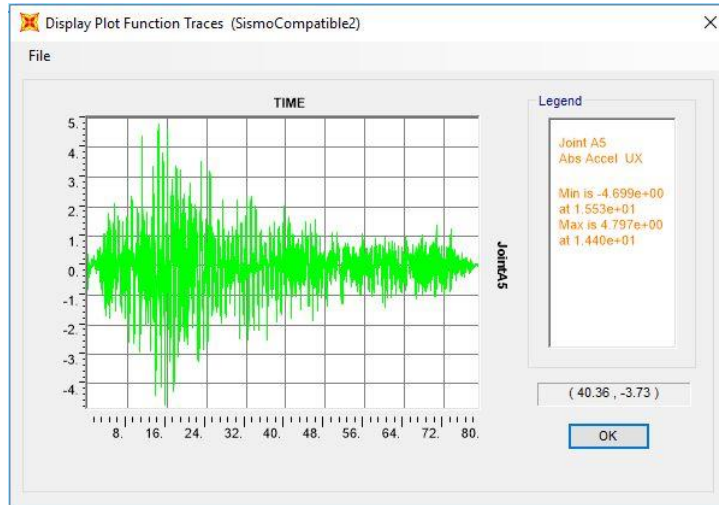


Figura D-46. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Sexto Piso, Sismo Compatible 2

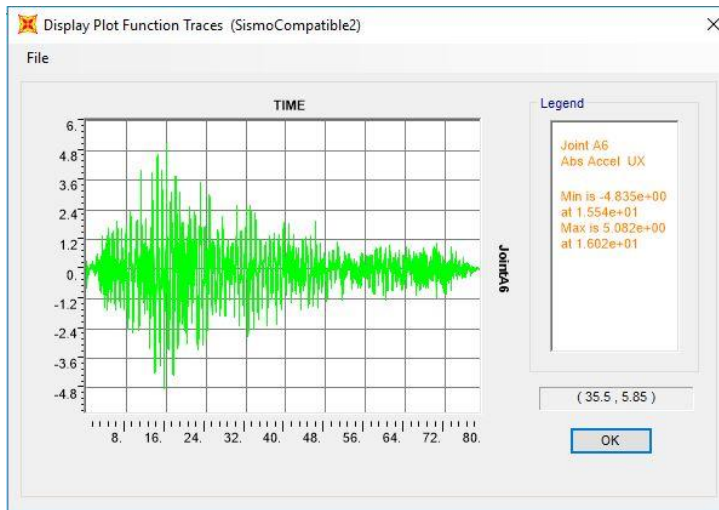


Figura D-47. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Séptimo Piso, Sismo Compatible 2

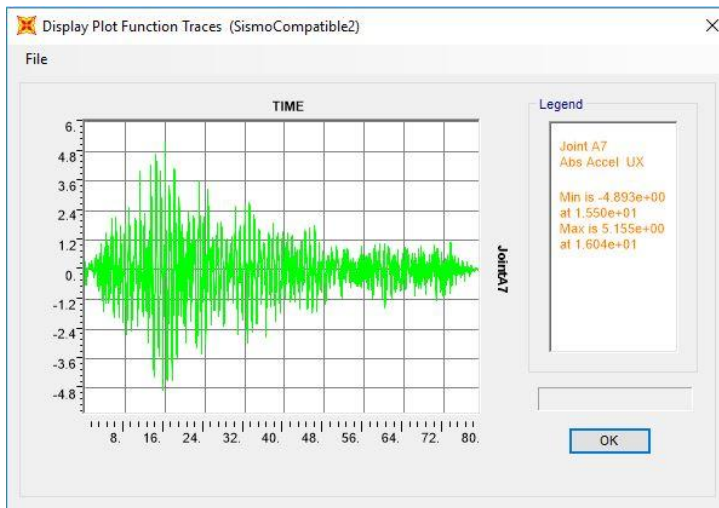


Figura D-48. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Octavo Piso, Sismo Compatible 2

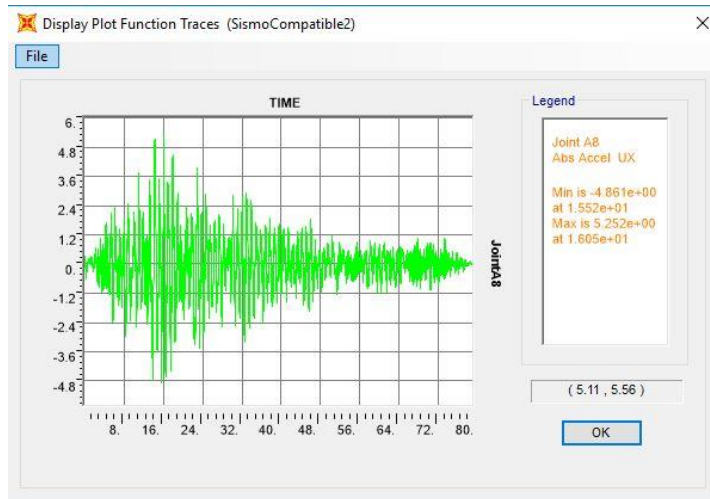


Figura D-49. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Noveno Piso, Sismo Compatible 2

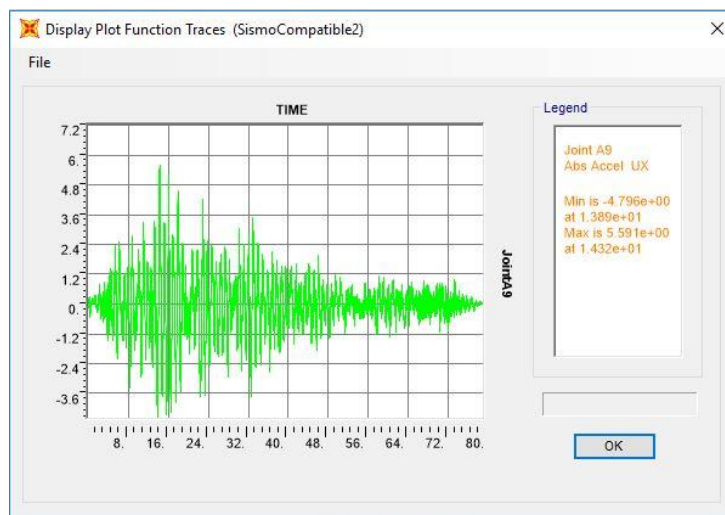


Figura D-50. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Décimo Piso, Sismo Compatible 2

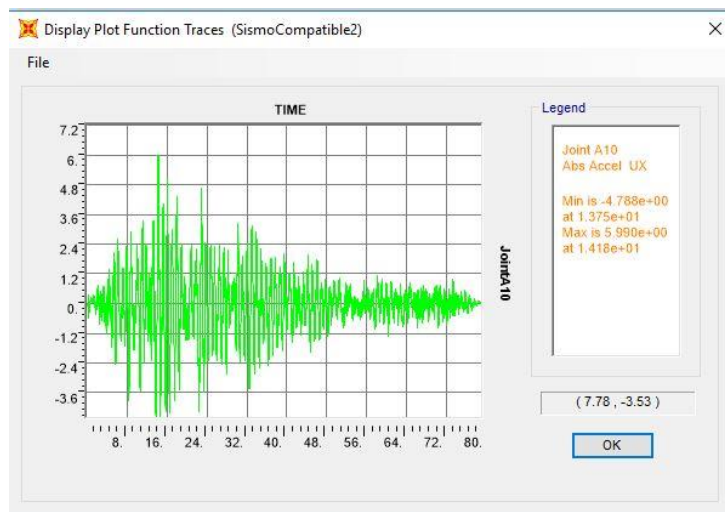


Figura D-51. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Onceavo Piso, Sismo Compatible 2

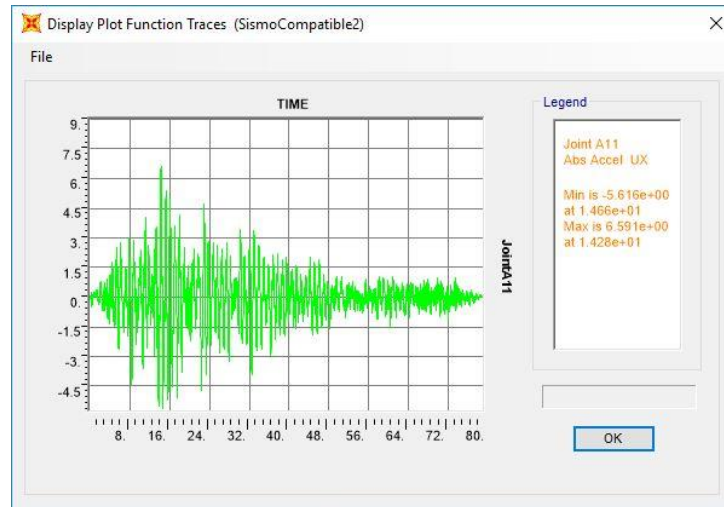


Figura D-52. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Doceavo Piso, Sismo Compatible 2

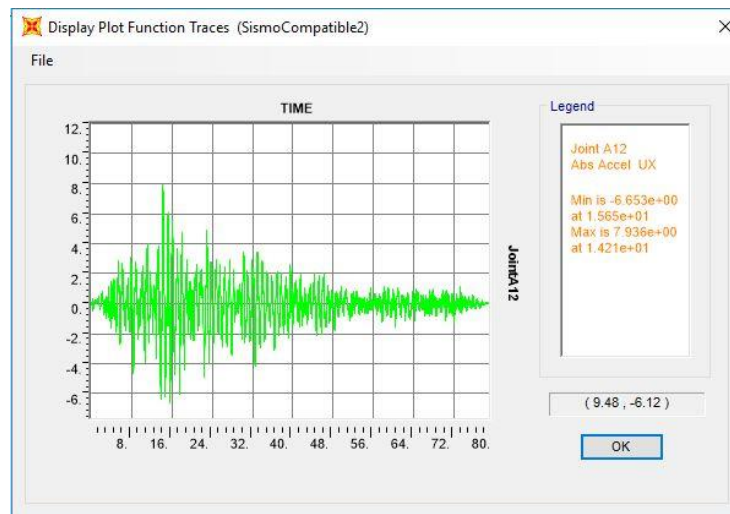


Figura D-53. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Treceavo Piso, Sismo Compatible 2

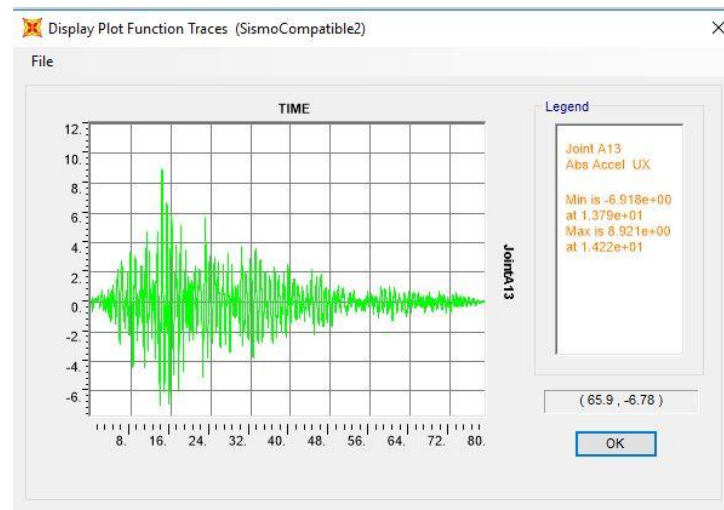


Figura D-54. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Catorceavo Piso, Sismo Compatible 2

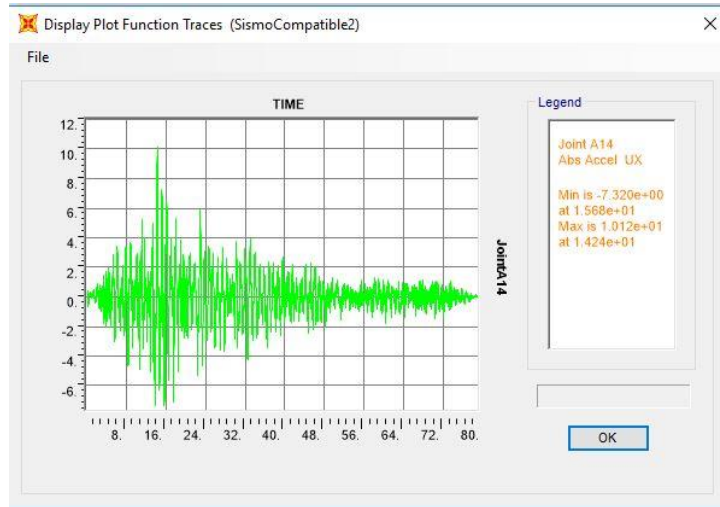


Figura D-55. Registro de Aceleraciones. Pórtico 4, Cubierta, Sismo Compatible 2

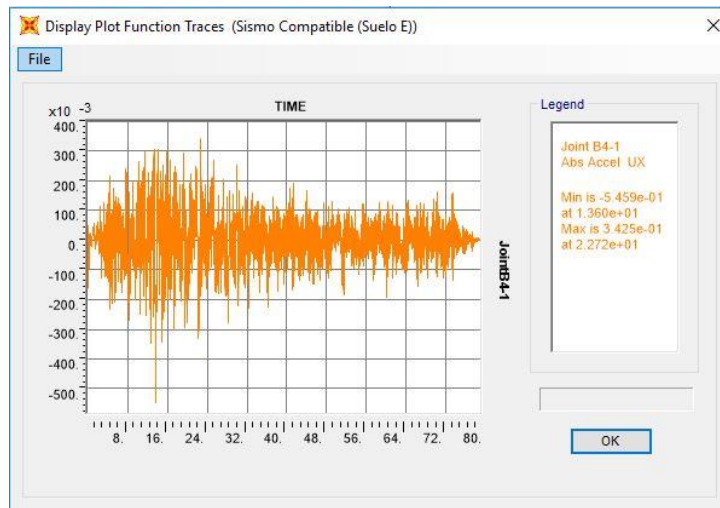


Figura D-56. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Segundo Piso, Sismo Compatible 1

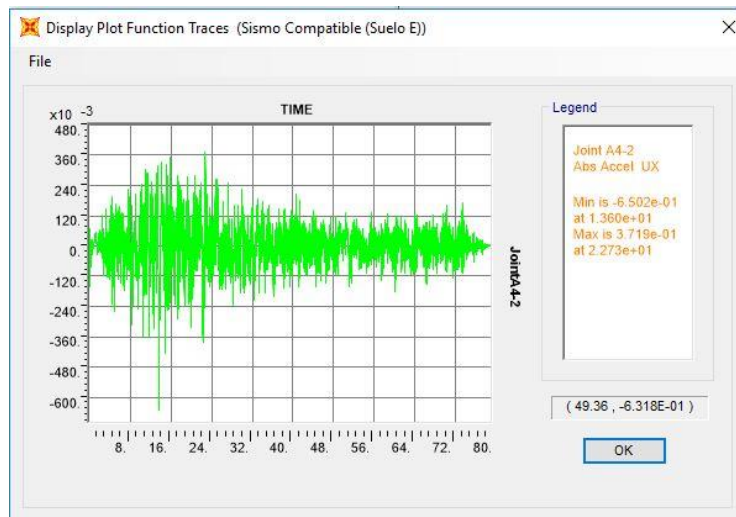


Figura D-57. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Tercer Piso, Sismo Compatible 1

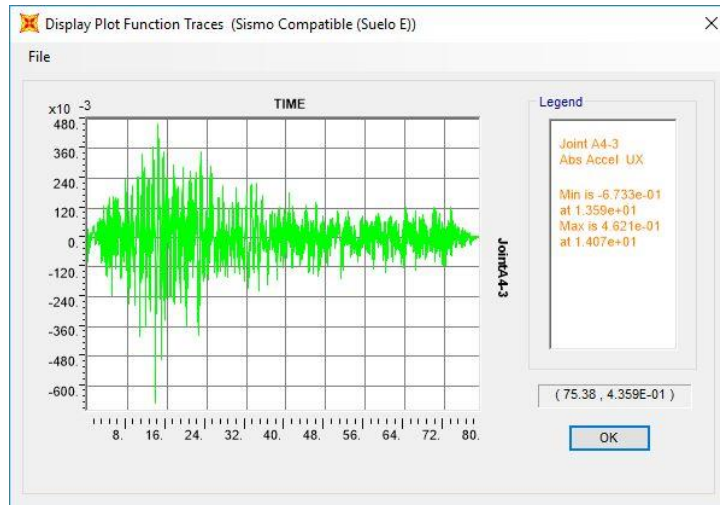


Figura D-58. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Cuarto Piso, Sismo Compatible 1

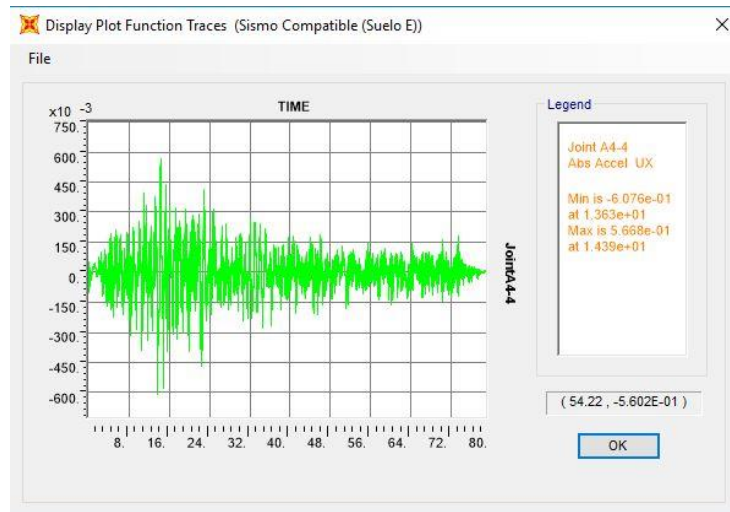


Figura D-59. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Quinto Piso, Sismo Compatible 1

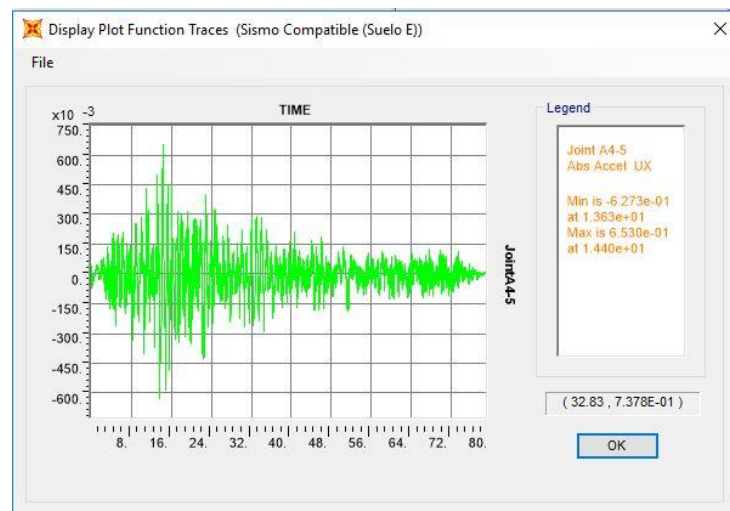


Figura D-60. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Sexto Piso, Sismo Compatible 1

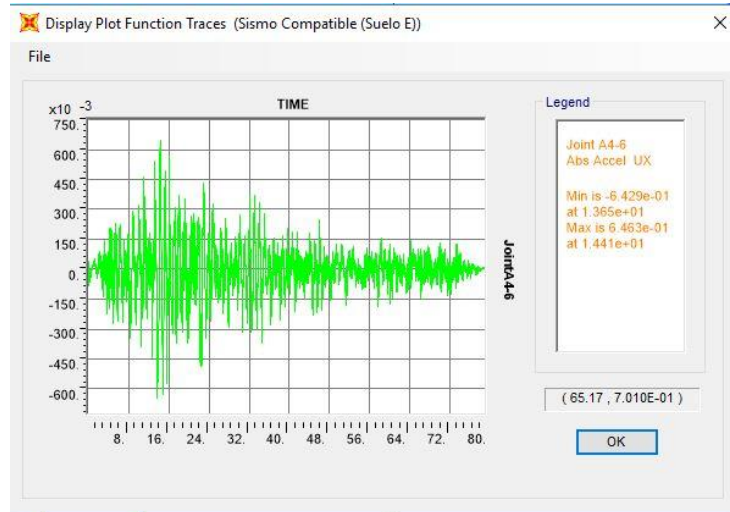


Figura D-61. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Séptimo Piso, Sismo Compatible 1

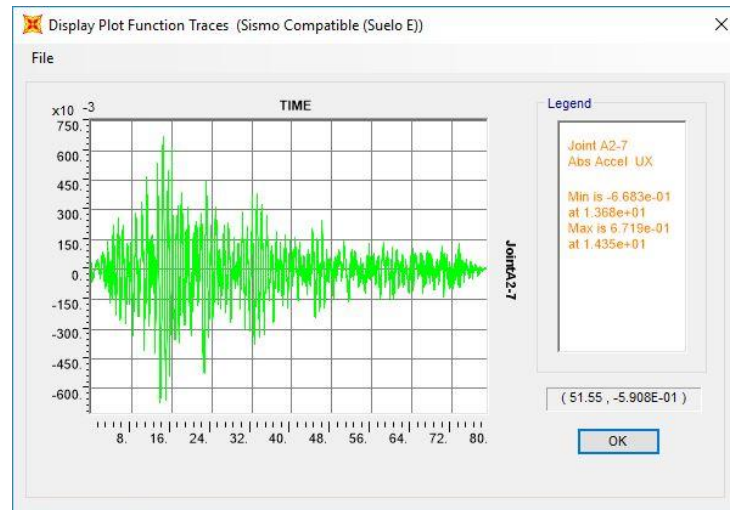


Figura D-62. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Octavo Piso, Sismo Compatible 1

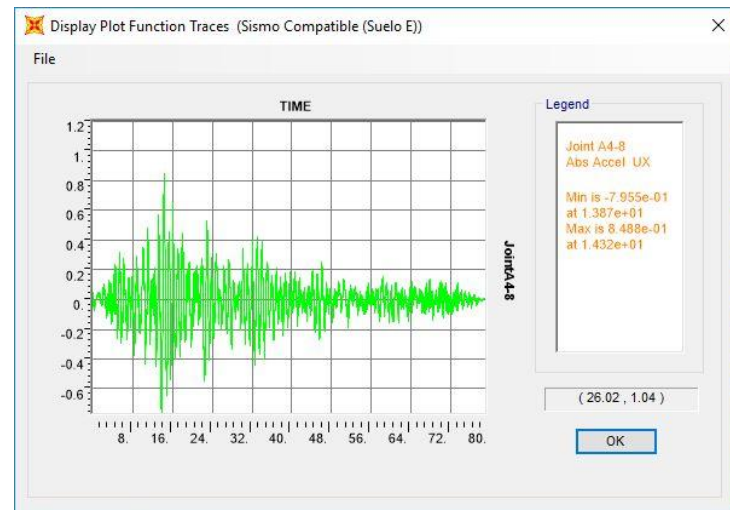


Figura D-63. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Noveno Piso, Sismo Compatible 1

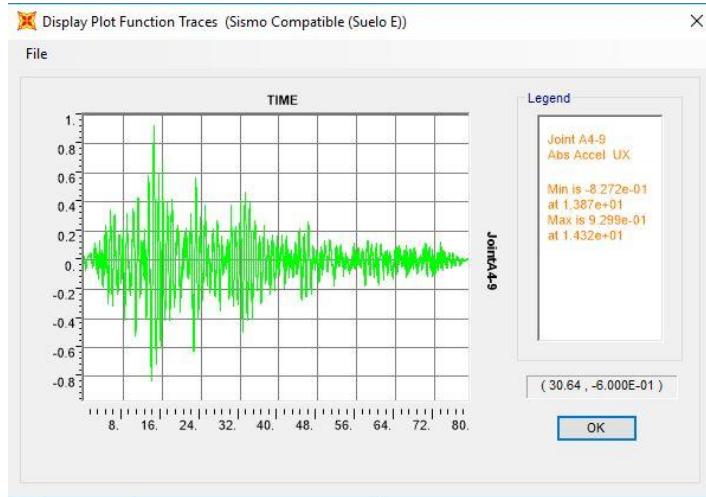


Figura D-64. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Décimo Piso, Sismo Compatible 1

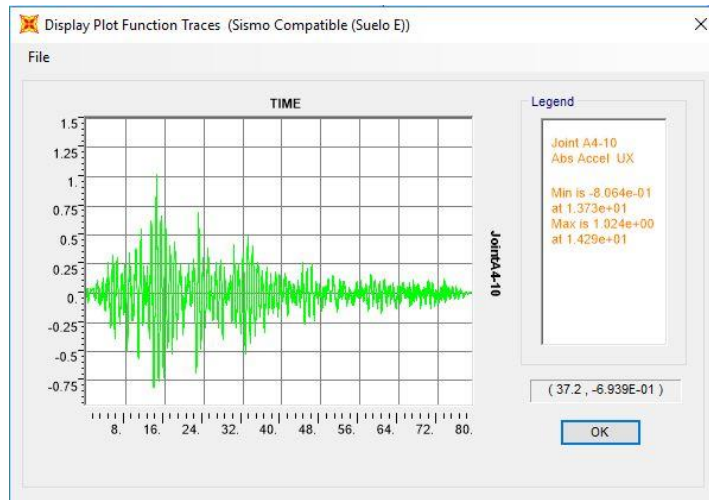


Figura D-65. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Onceavo Piso, Sismo Compatible 1

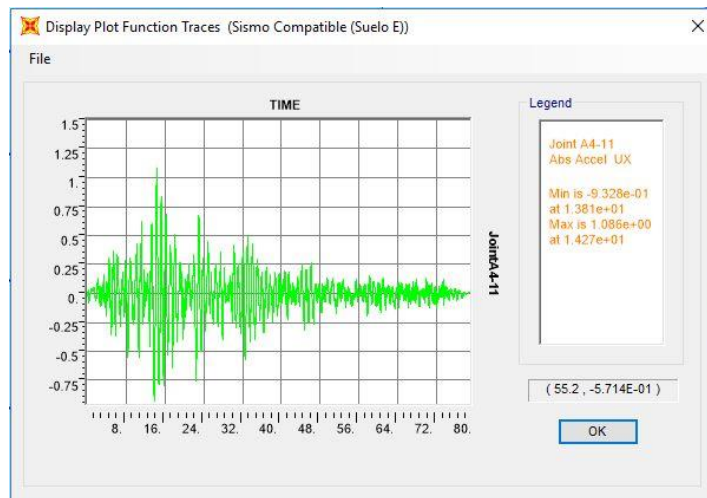


Figura D-66. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Doceavo Piso, Sismo Compatible 1

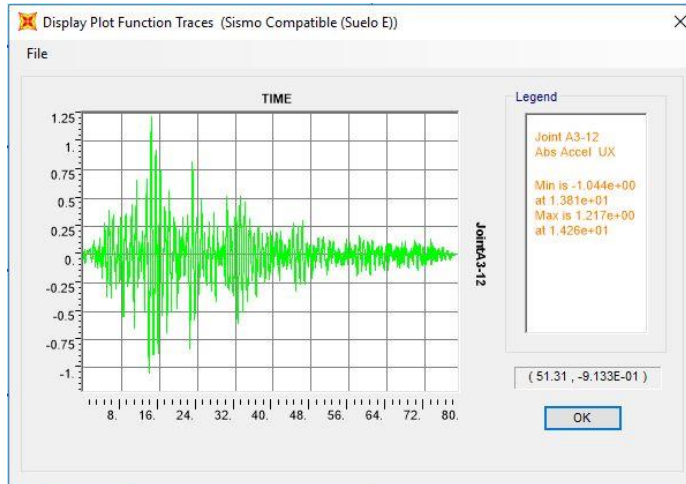


Figura D-67. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Treceavo Piso, Sismo Compatible 1

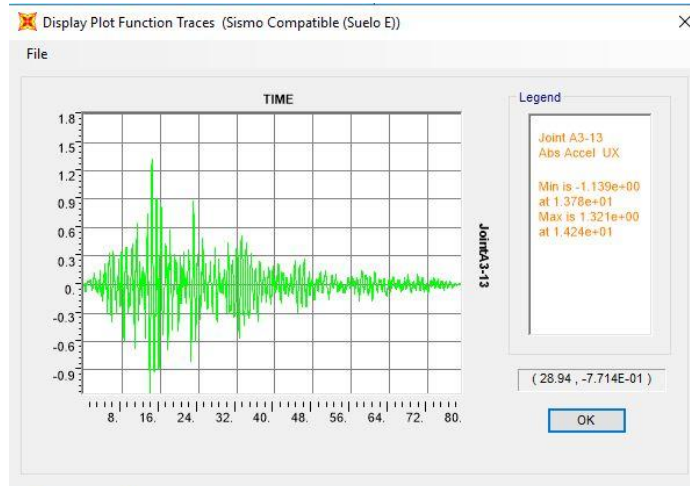


Figura D-68. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Catorceavo Piso, Sismo Compatible 1

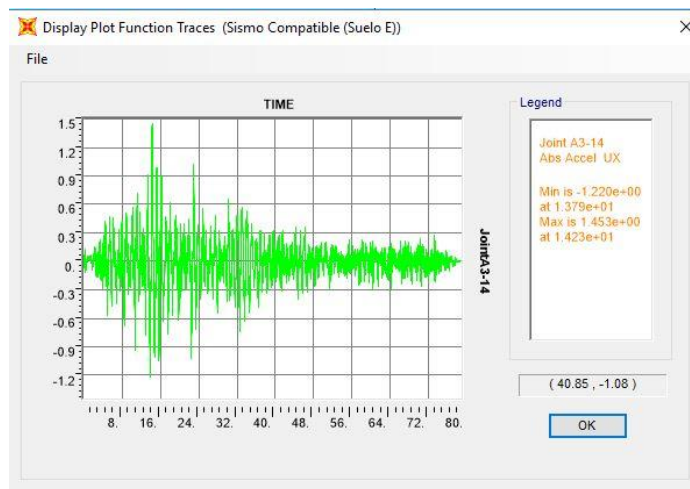


Figura D-69. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Cubierta Piso, Sismo Compatible 1

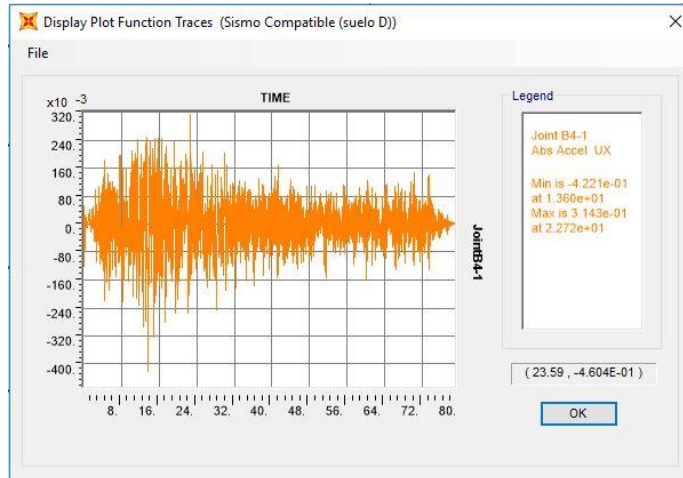


Figura D-70. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Segundo Piso, Sismo Compatible 2

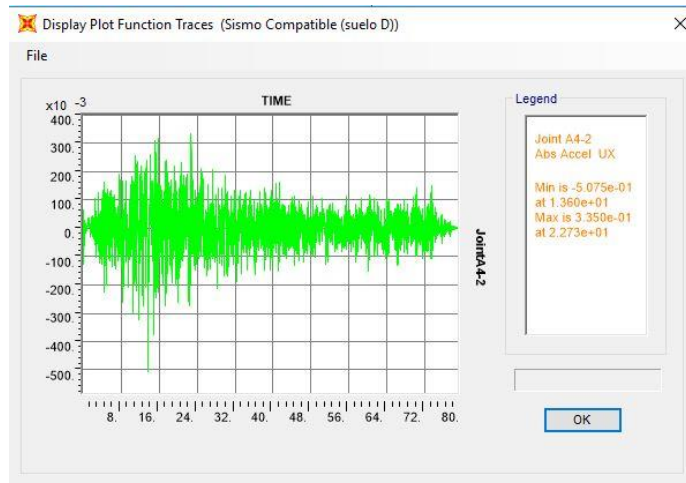


Figura D-71. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Tercer Piso, Sismo Compatible 2

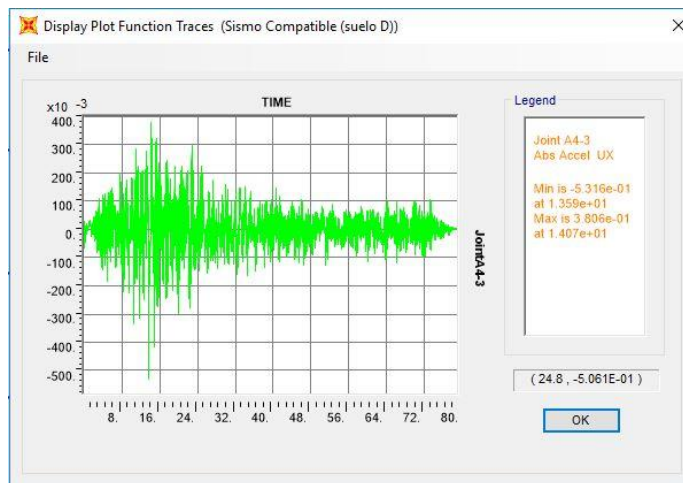


Figura D-72. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Cuarto Piso, Sismo Compatible 2

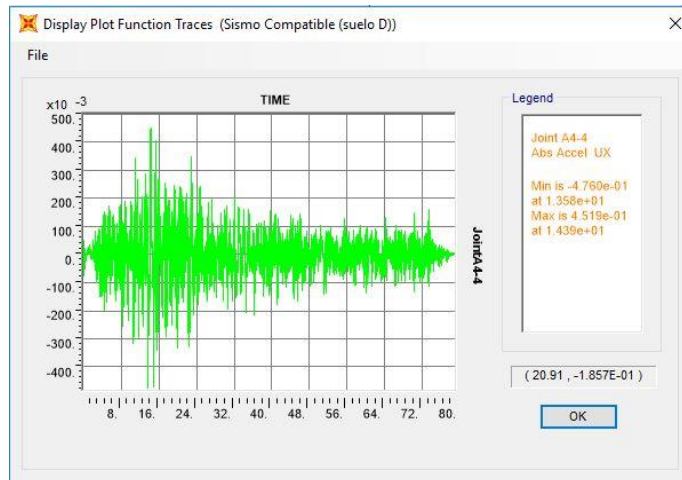


Figura D-73. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Quinto Piso, Sismo Compatible 2

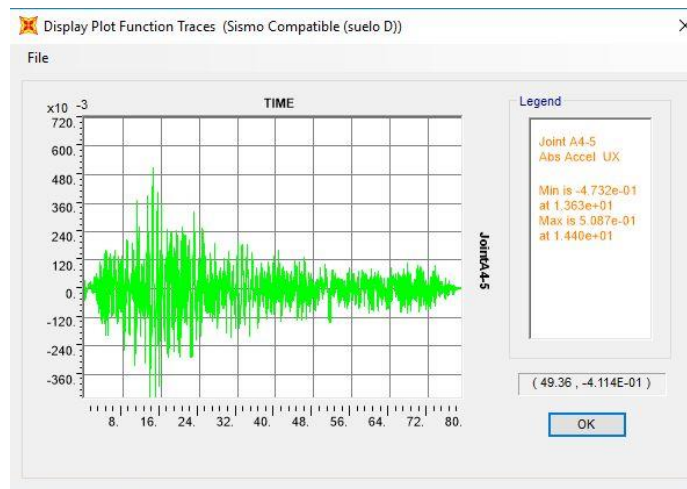


Figura D-74. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Sexto Piso, Sismo Compatible 2

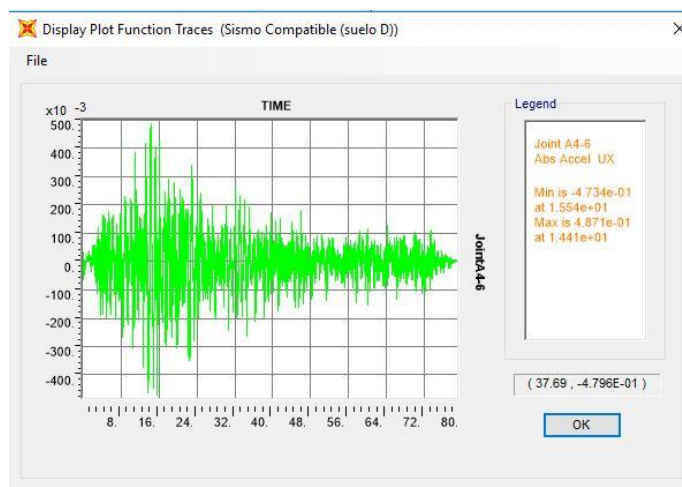


Figura D-75. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Séptimo Piso, Sismo Compatible 2

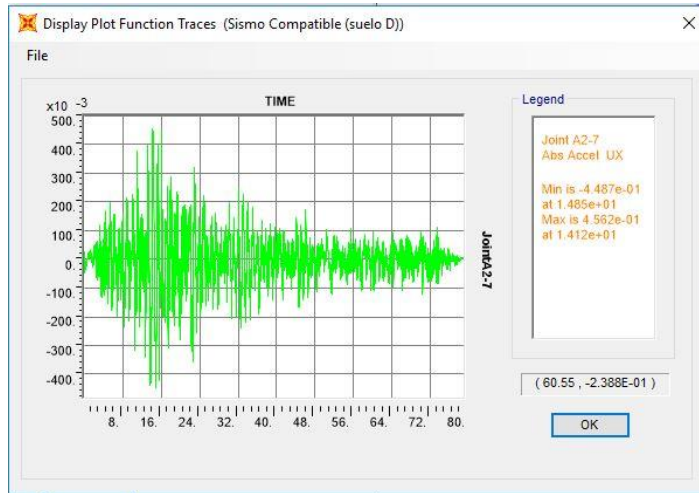


Figura D-76. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Octavo Piso, Sismo Compatible 2

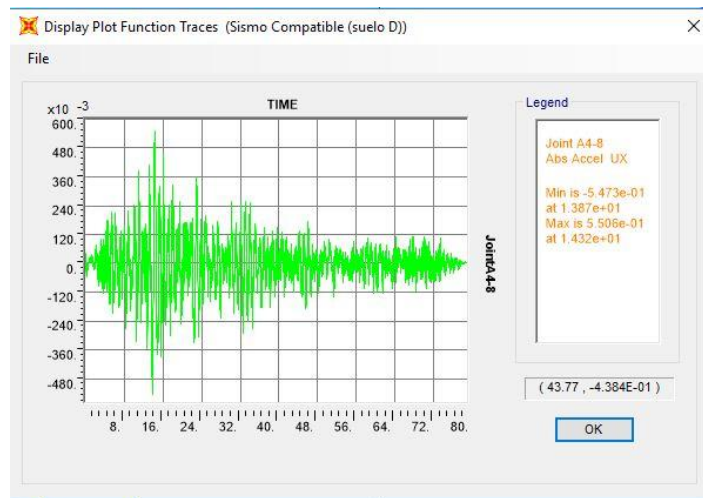


Figura D-77. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Noveno Piso, Sismo Compatible 2

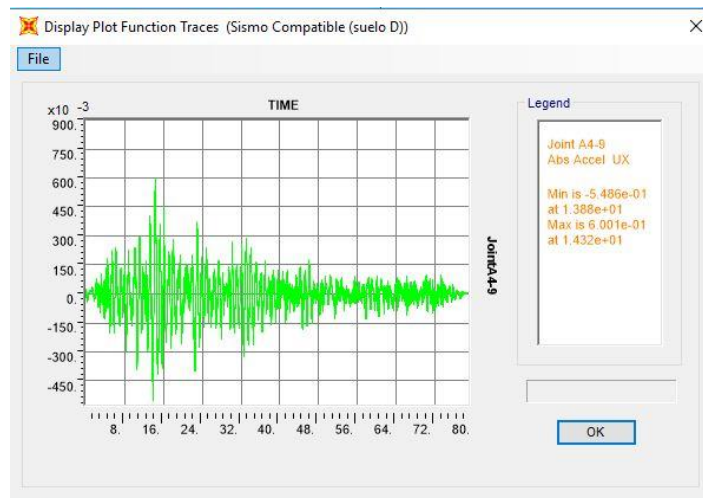


Figura D-78. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Décimo Piso, Sismo Compatible 2

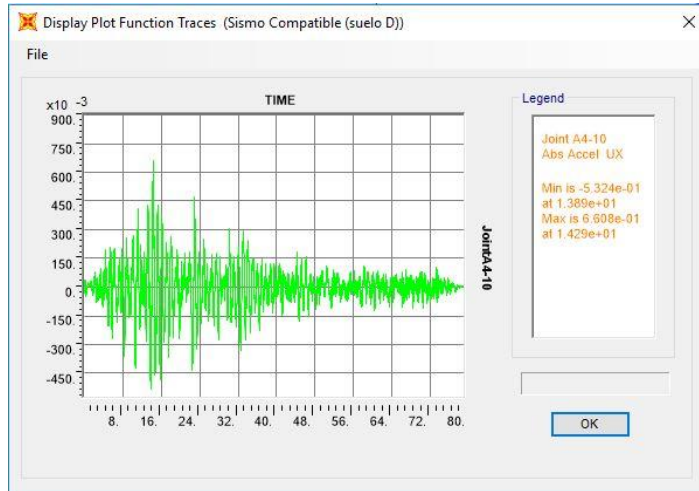


Figura D-79. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Onceavo Piso, Sismo Compatible 2

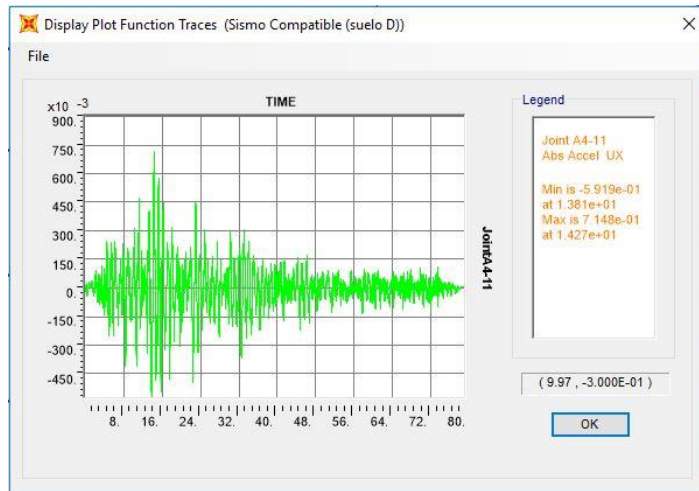


Figura D-80. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Doceavo Piso, Sismo Compatible 2

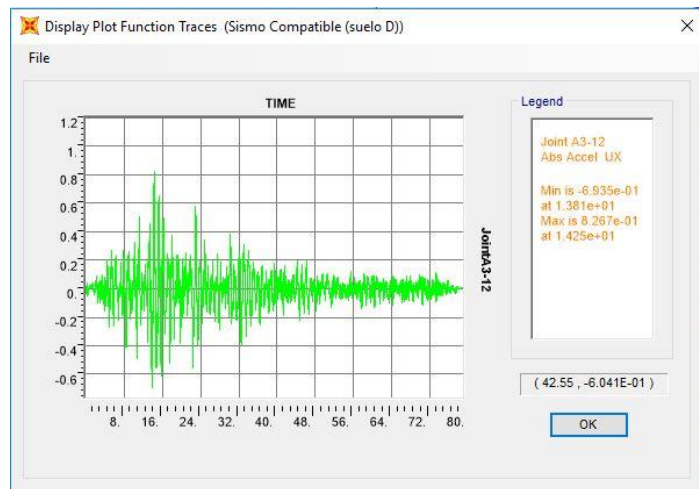


Figura D-81. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Treceavo Piso, Sismo Compatible 2

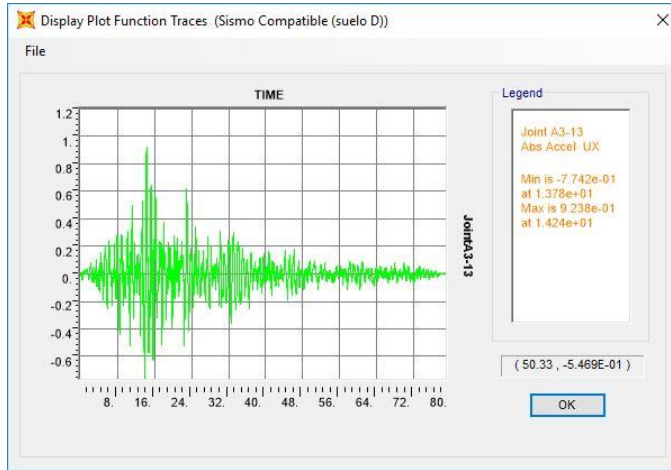


Figura D-82. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Catorceavo Piso, Sismo Compatible 2

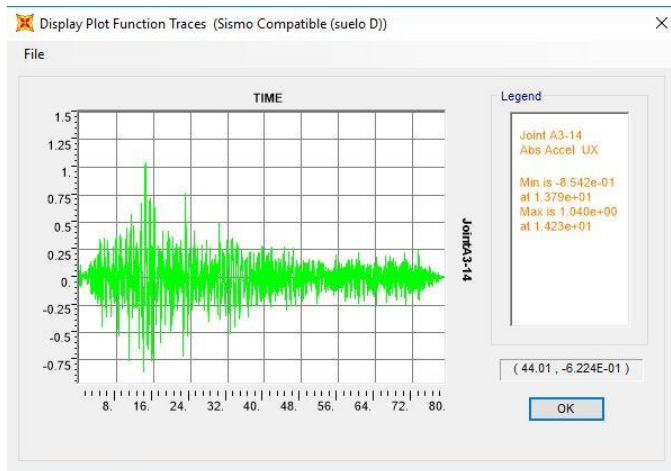


Figura D-83. Registro de Aceleraciones. Pórtico 3D, Cubierta Piso, Sismo Compatible 2

E. REGISTROS DE ACELERACIONES EN EL TOPE DEL MURO

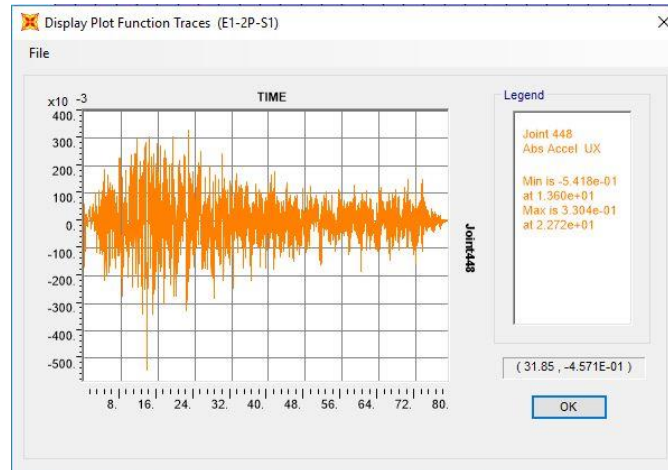


Figura E-1 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

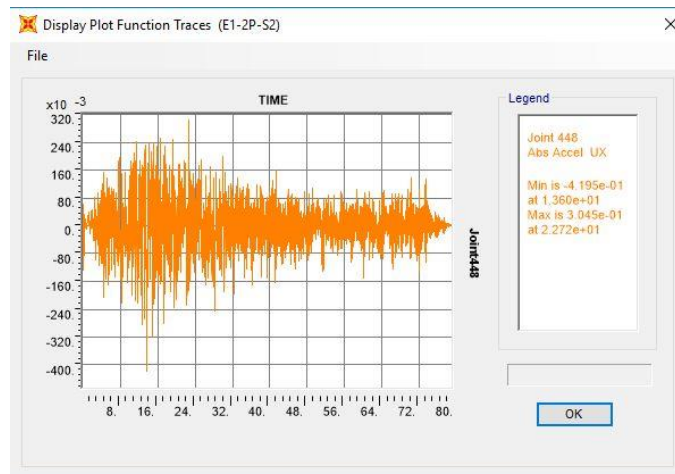


Figura E-2 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

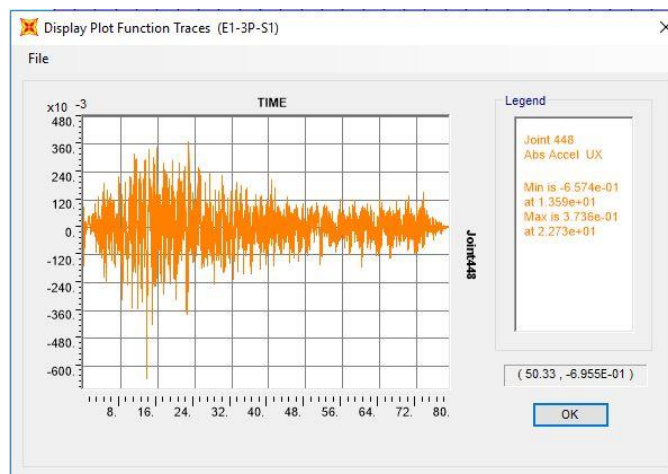


Figura E-3. Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

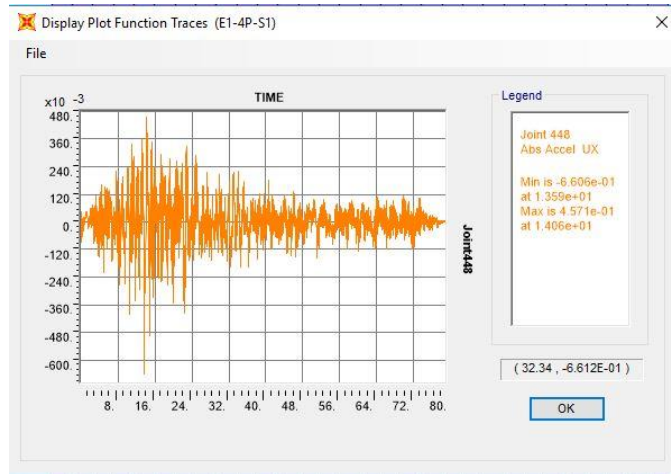


Figura E-4. Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

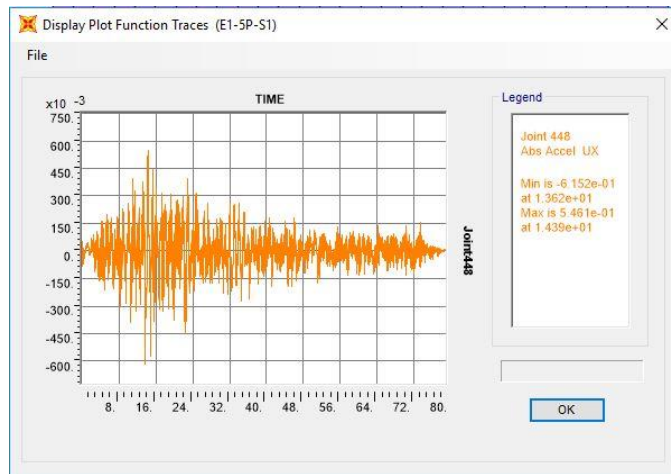


Figura E-5. Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

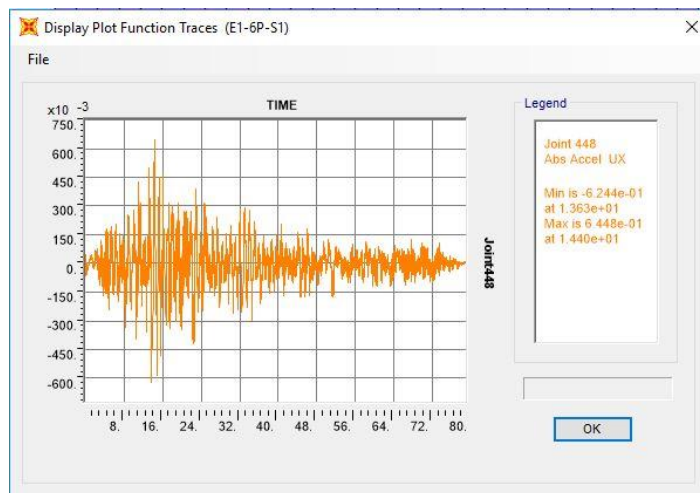


Figura E-6. Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

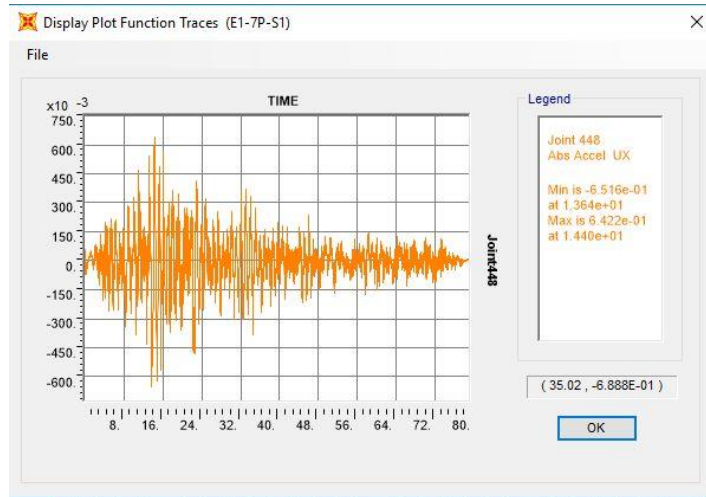


Figura E-7. Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

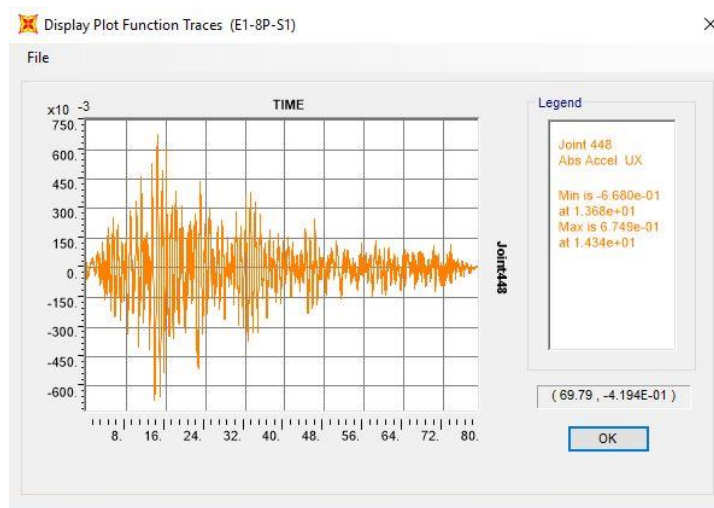


Figura E-8. Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

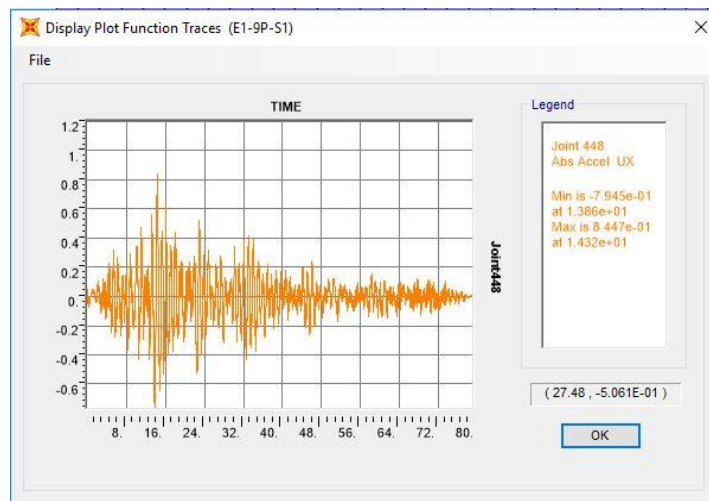


Figura E-9. Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

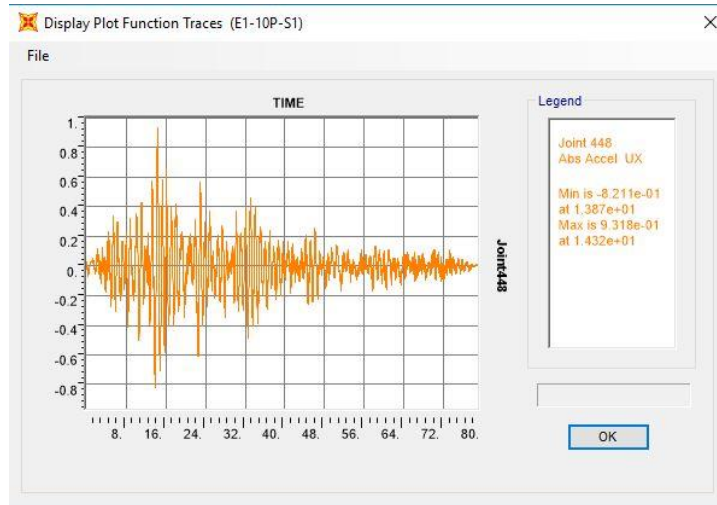


Figura E-10. Registro de Aceleraciones. Muro décimo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

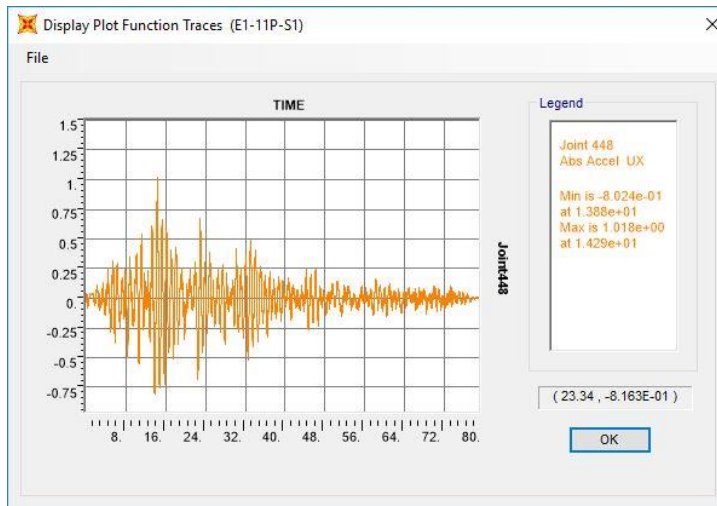


Figura E-11. Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

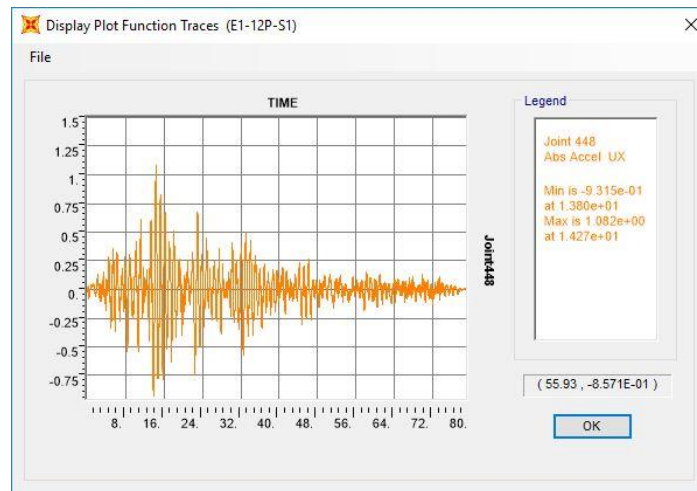


Figura E-12. Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

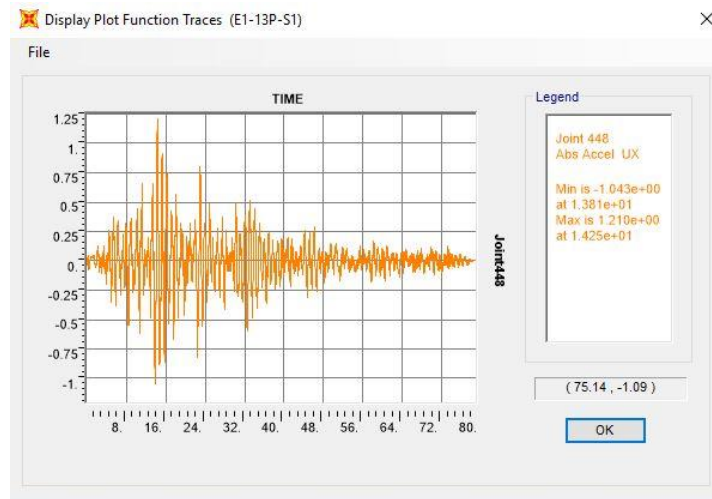


Figura E-13. Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

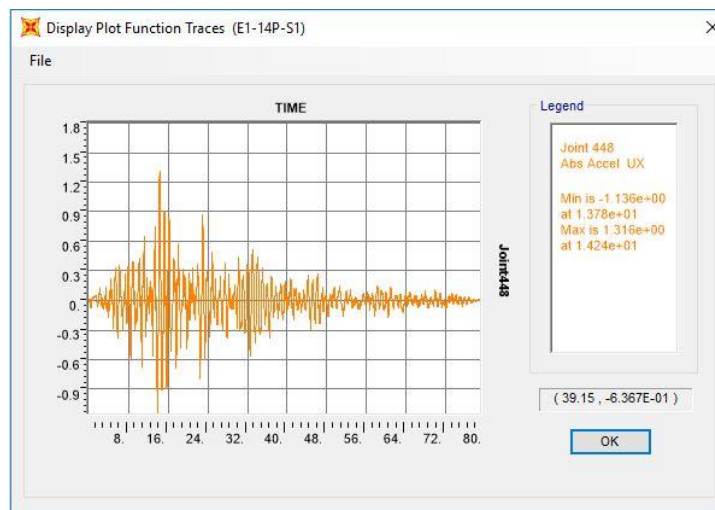


Figura E-14. Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

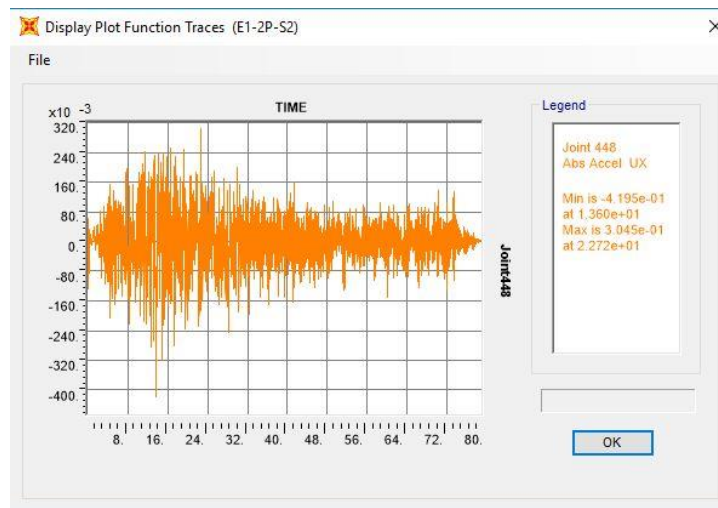


Figura E-15. Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

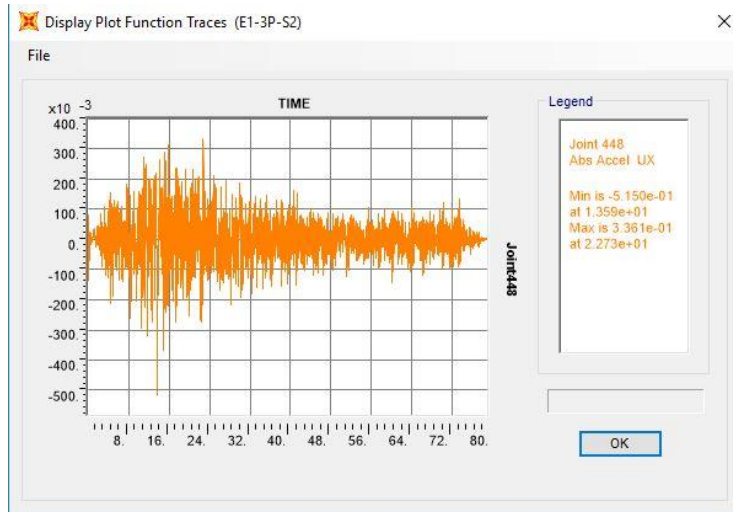


Figura E-16. Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

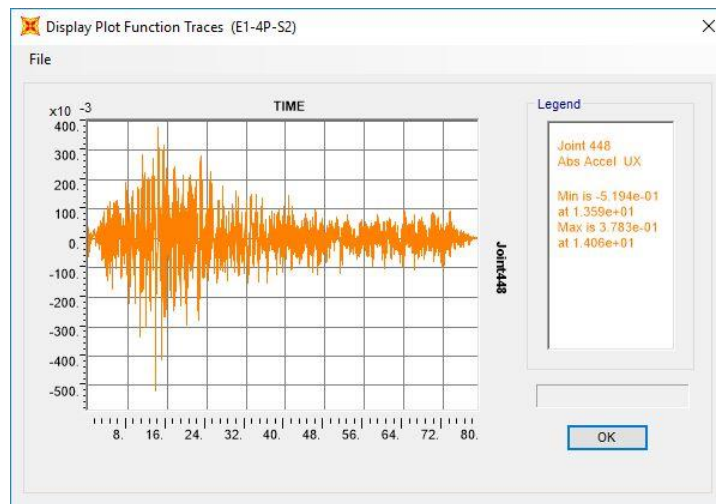


Figura E-17. Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

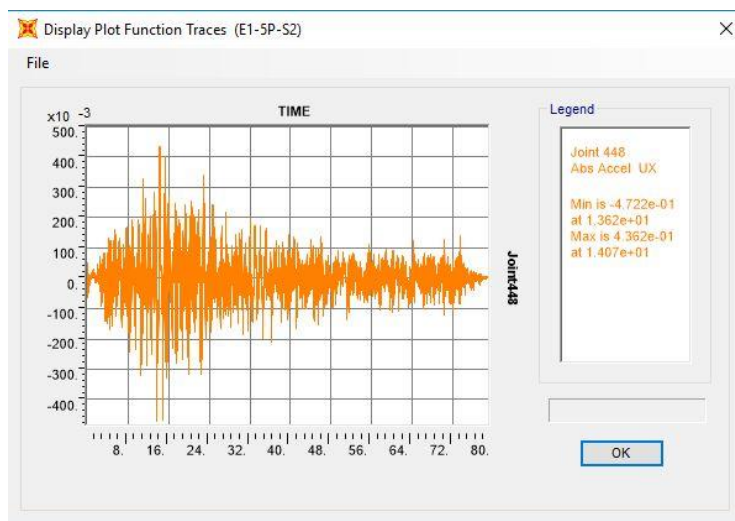


Figura E-18. Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

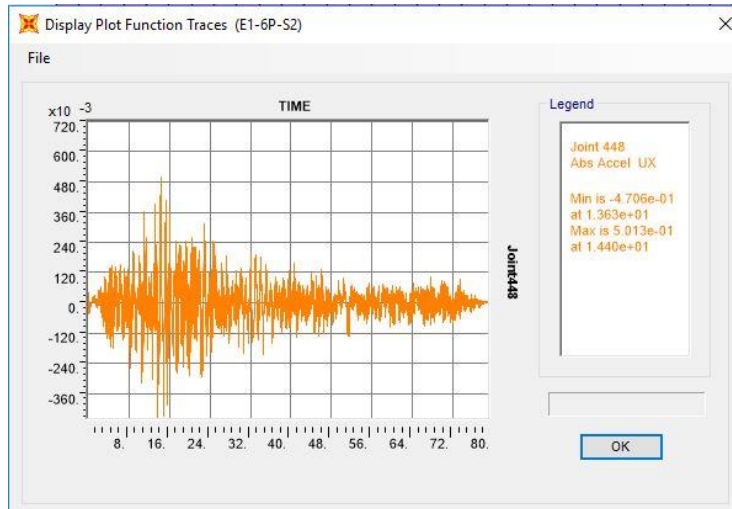


Figura E-19. Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

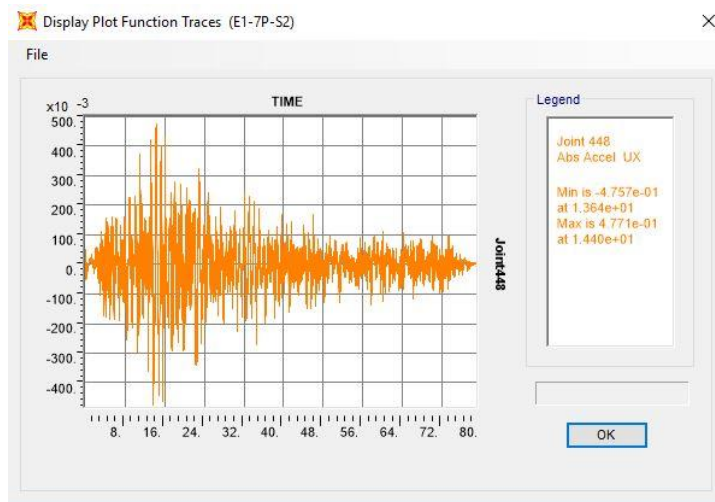


Figura E-20. Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

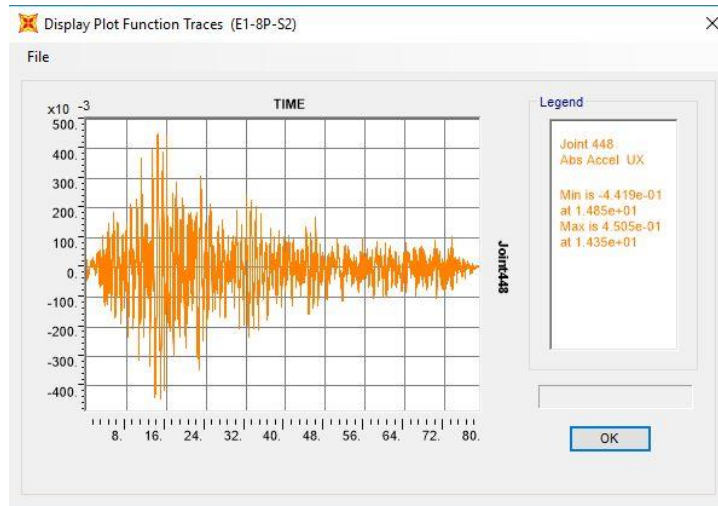


Figura E-21. Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

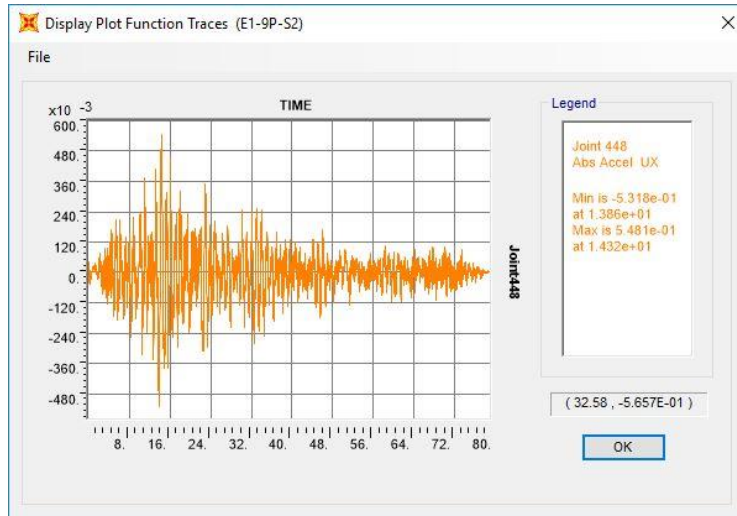


Figura E-22. Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

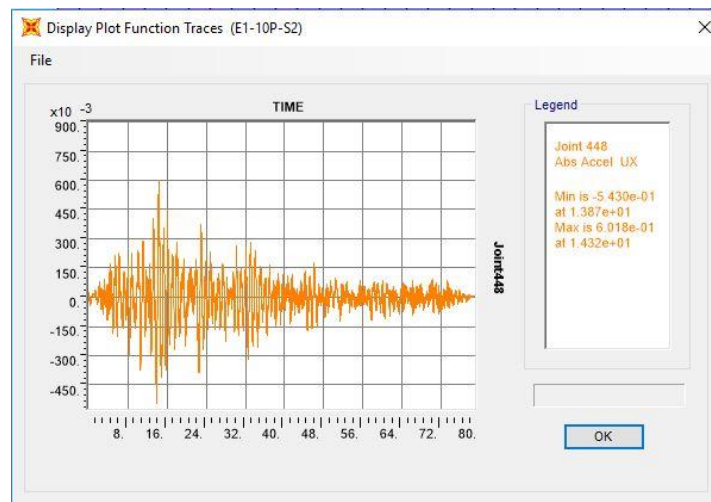


Figura E-23. Registro de Aceleraciones. Muro décimo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

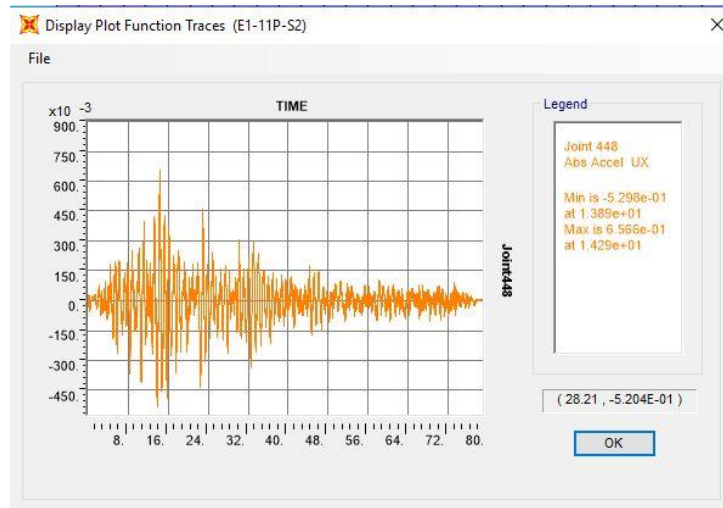


Figura E-24. Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

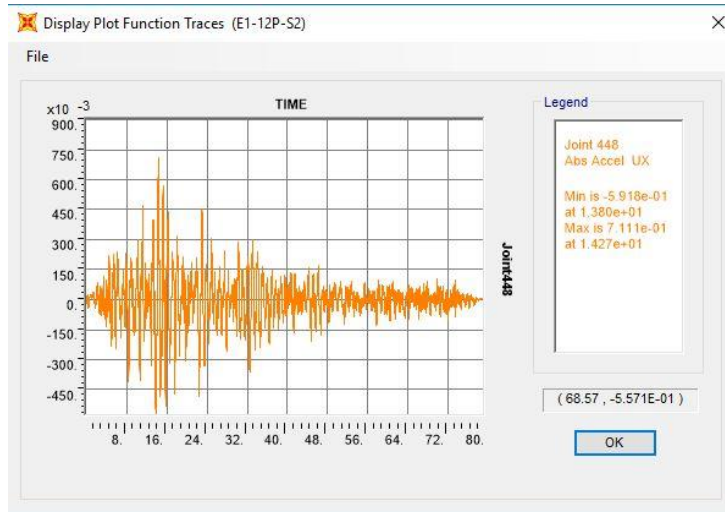


Figura E-25. Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

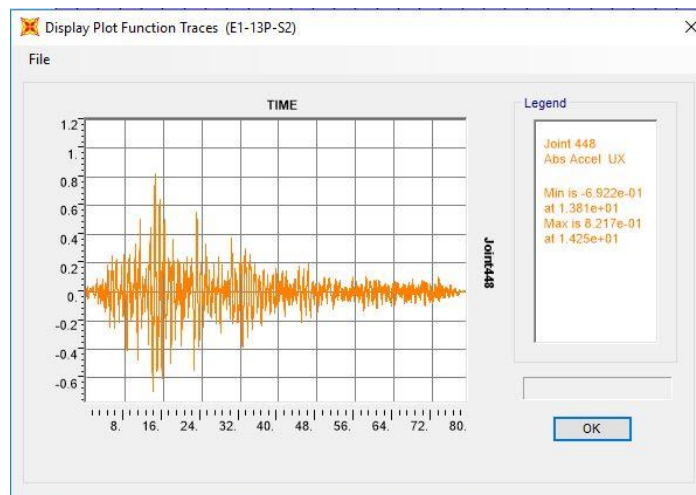


Figura E-26. Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

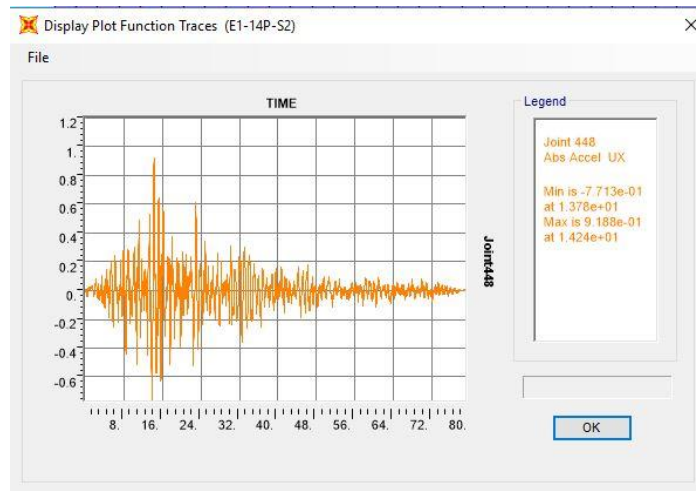


Figura E-27. Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

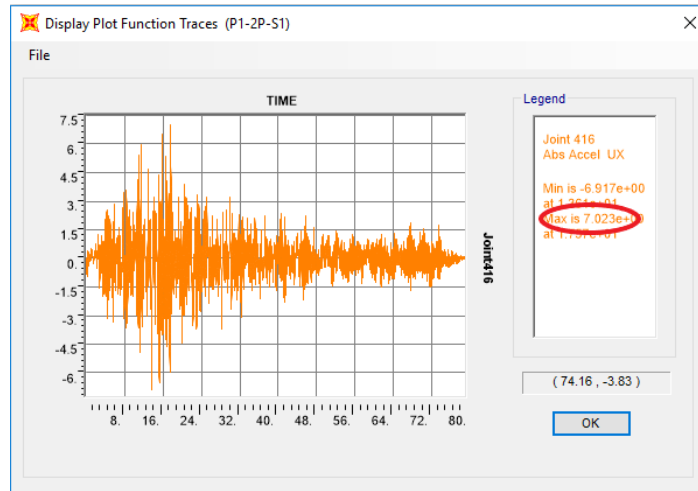


Figura E-28 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 1, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

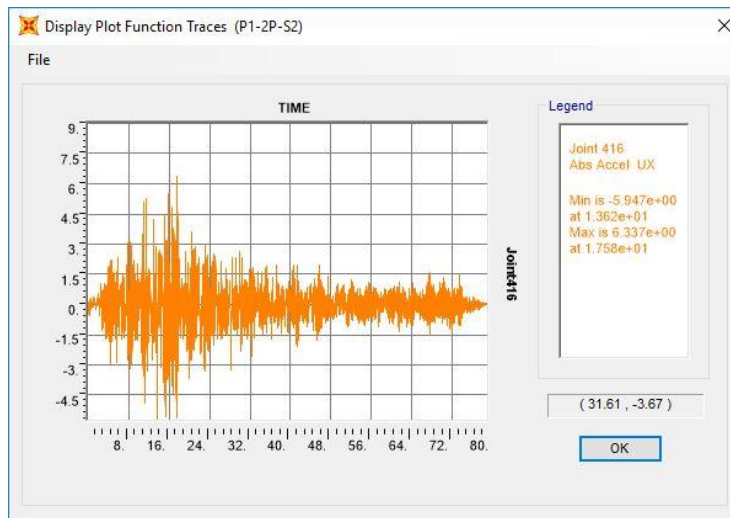


Figura E-29 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 1, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

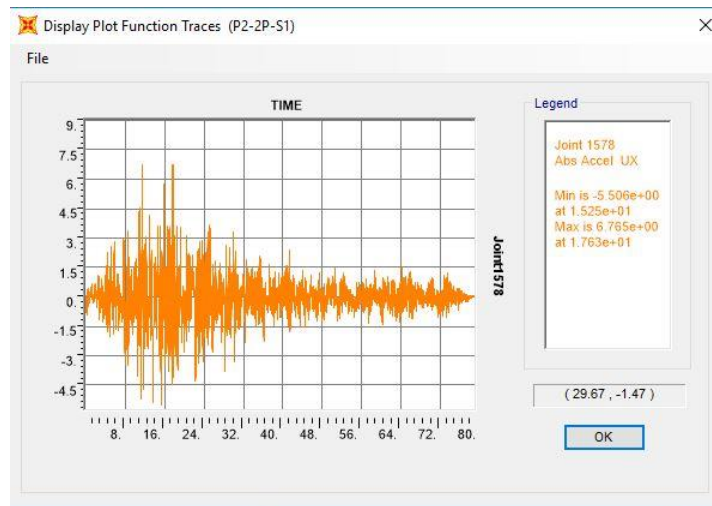


Figura E-30 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 2, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

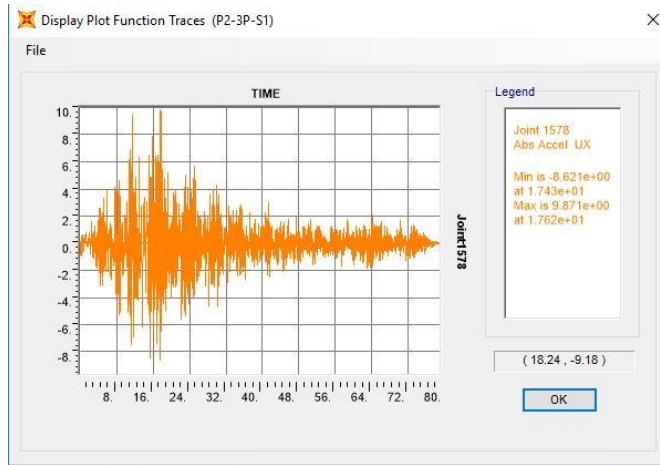


Figura E-31 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 2, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

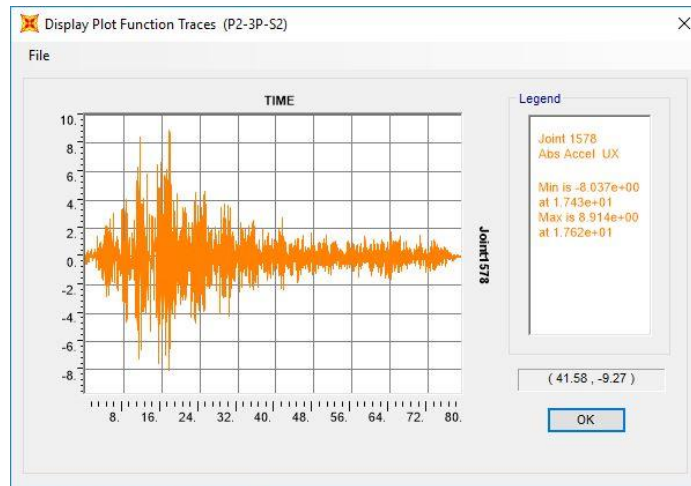


Figura E-32 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 2, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

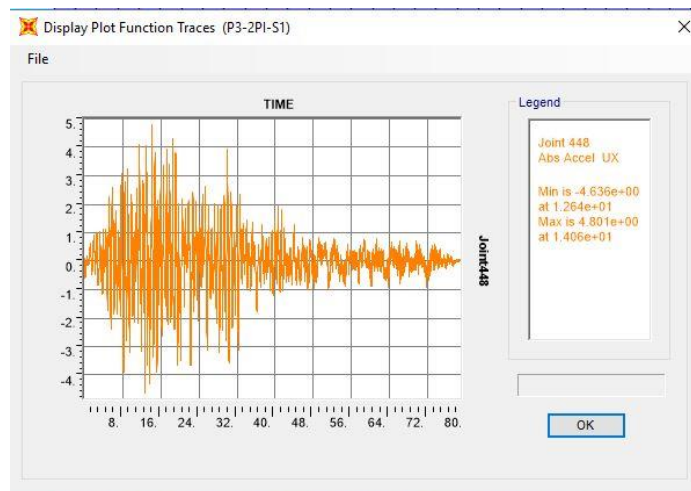


Figura E-33 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

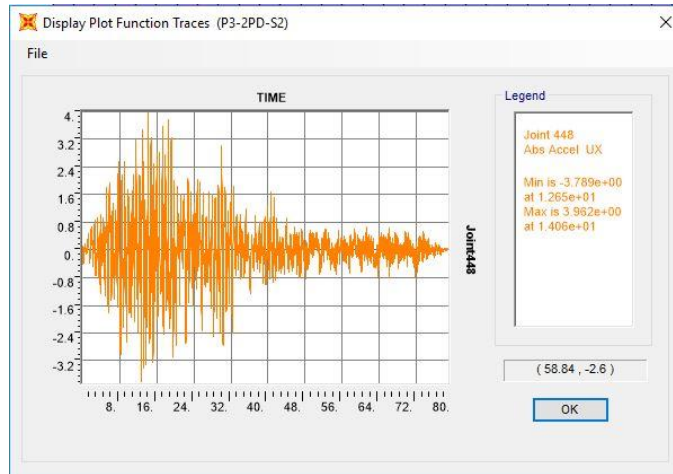


Figura E-34 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso derecha, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

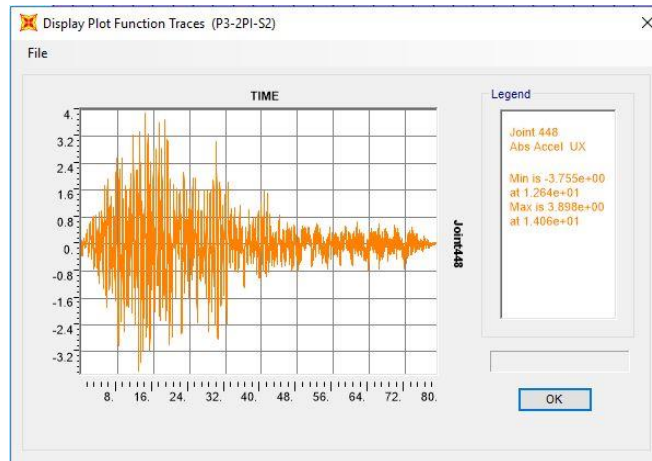


Figura E-35 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

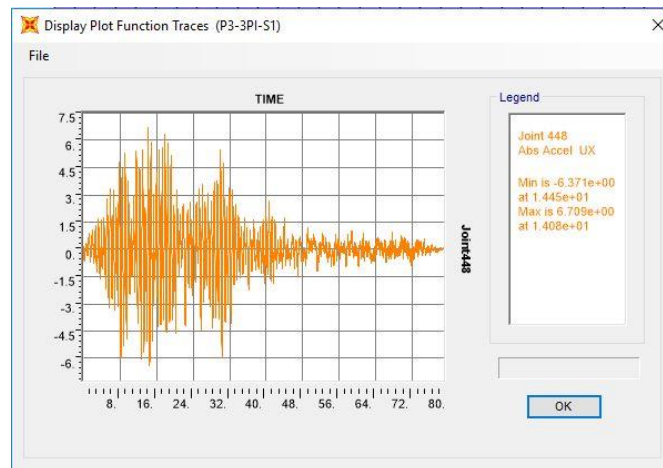


Figura E-36 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

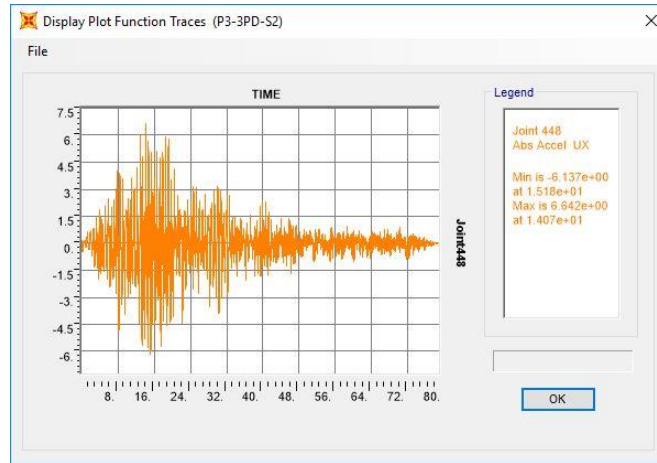


Figura E-37 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso derecha, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

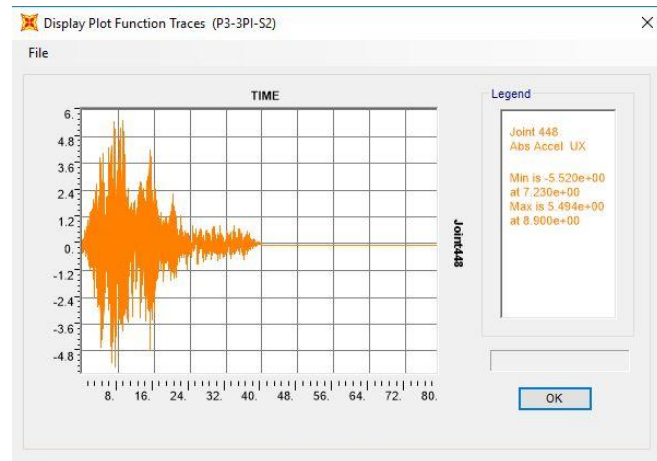


Figura E-38 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

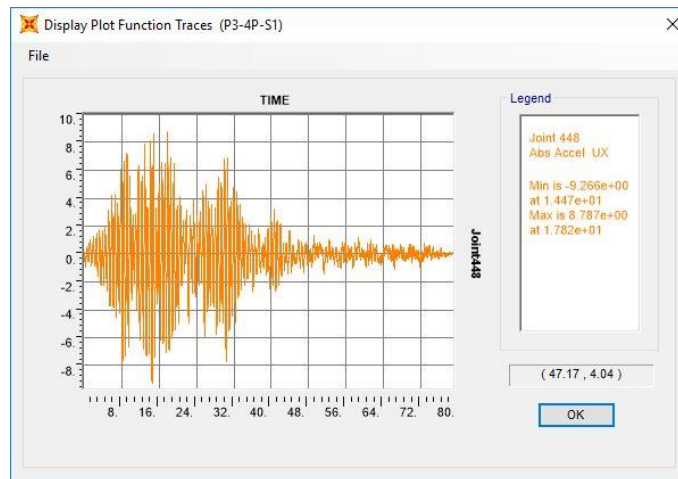


Figura E-39 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

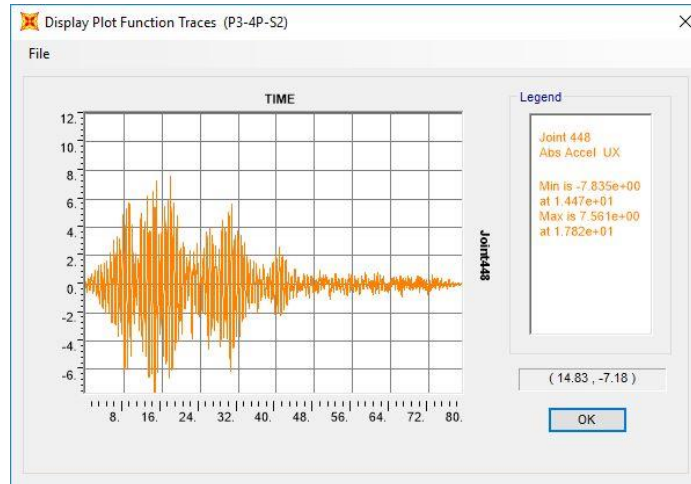


Figura E-40 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

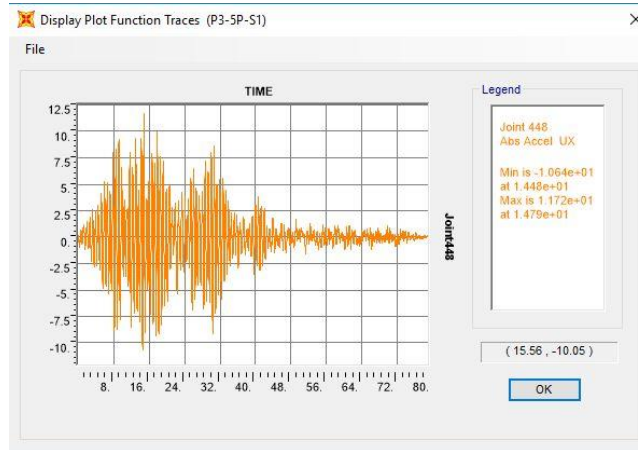


Figura E-41 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

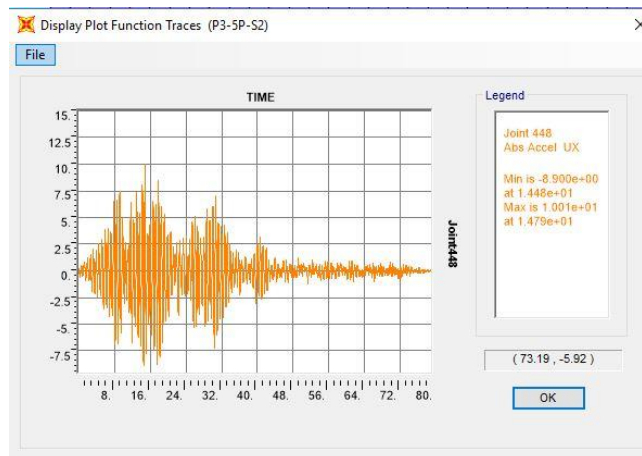


Figura E-42 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

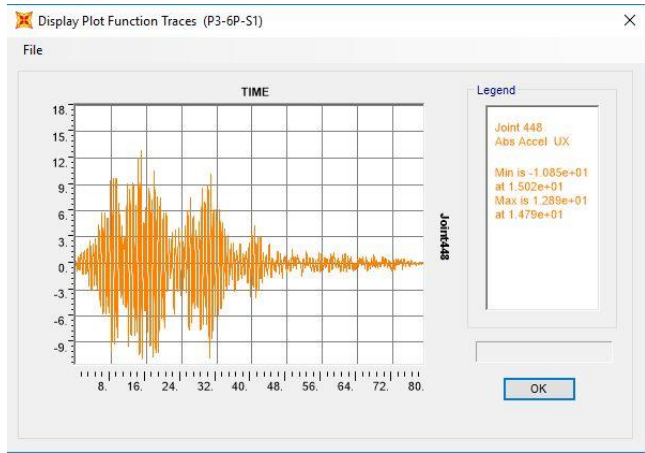


Figura E-43 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

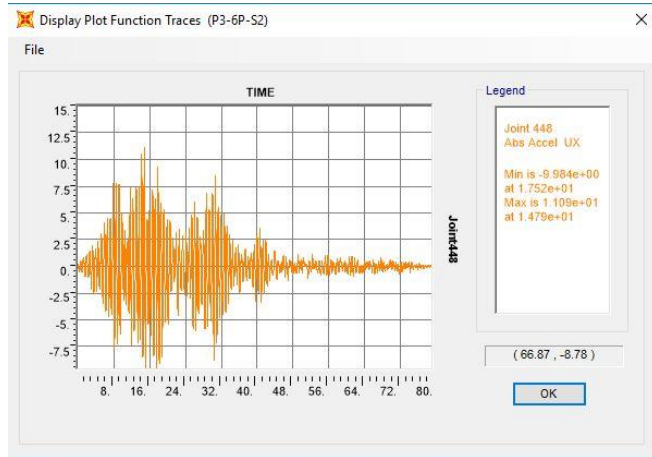


Figura E-44 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

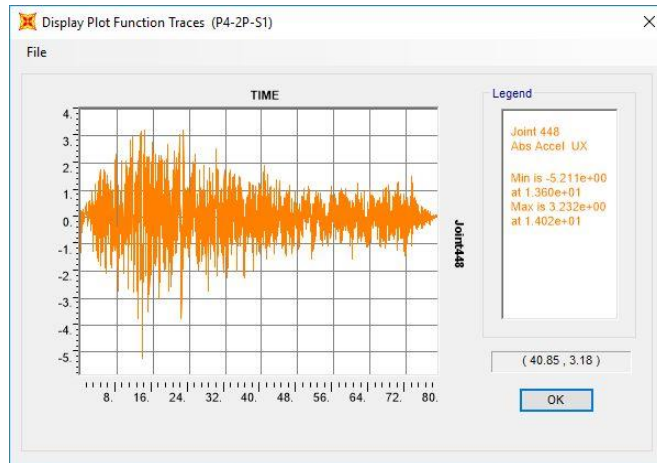


Figura E-45 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

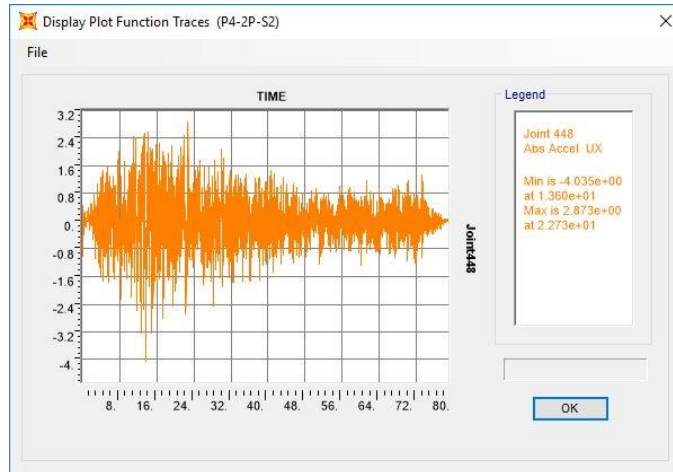


Figura E-46 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

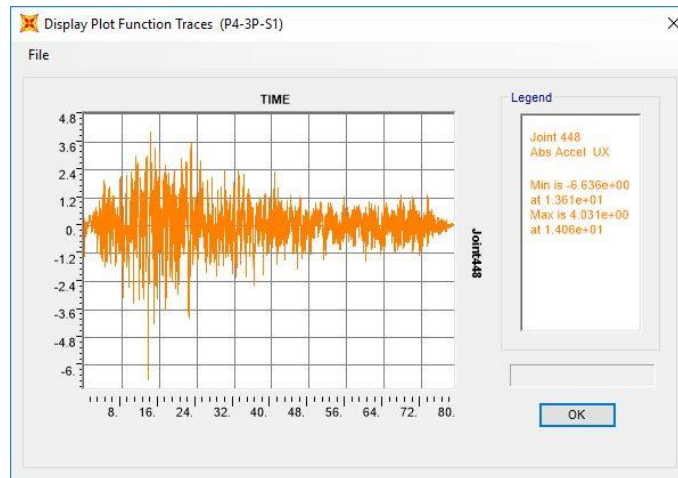


Figura E-47 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

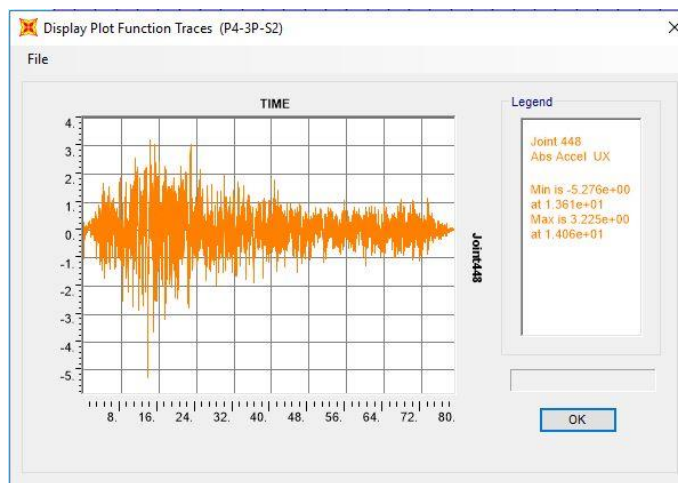


Figura E-48 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

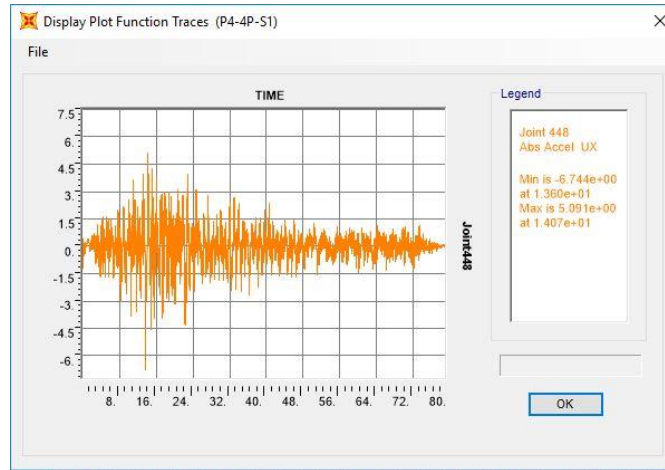


Figura E-49 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

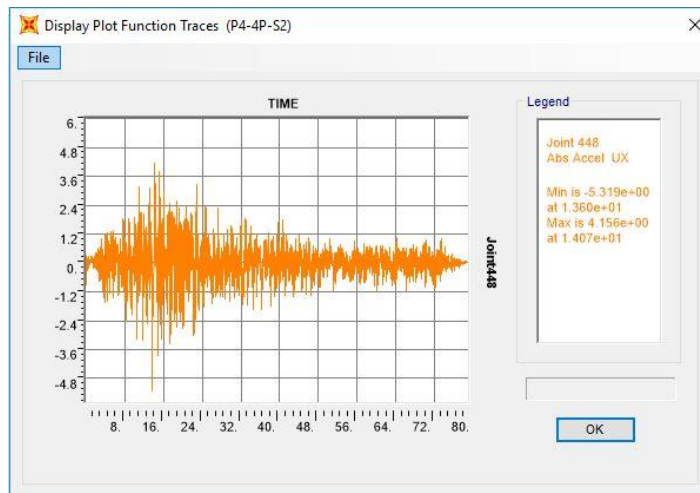


Figura E-50 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

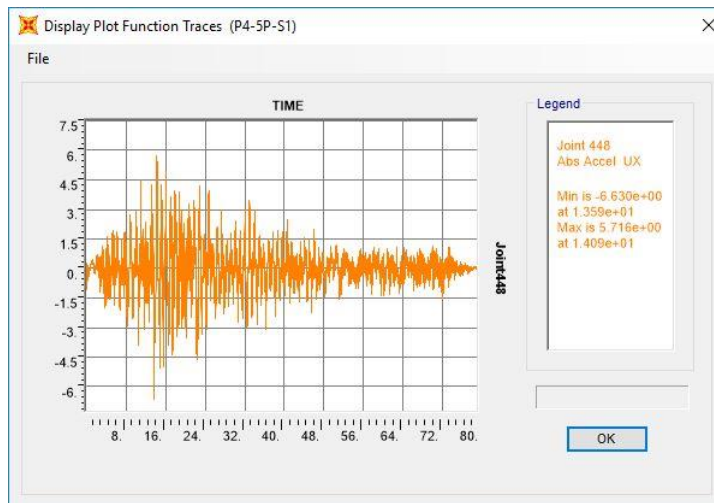


Figura E-51 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

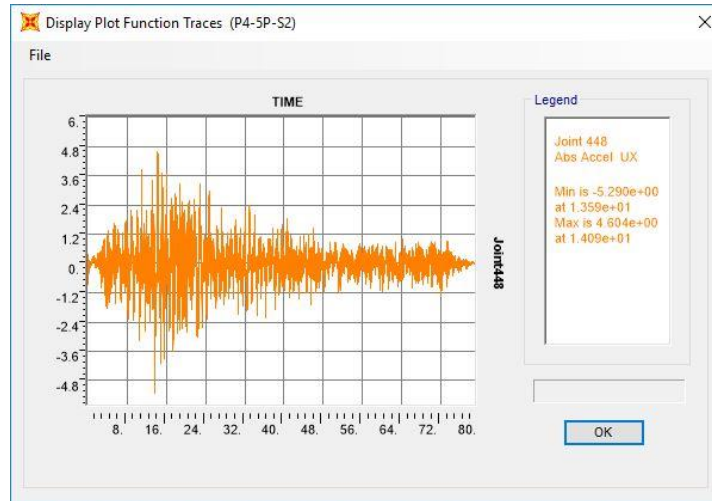


Figura E-52 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

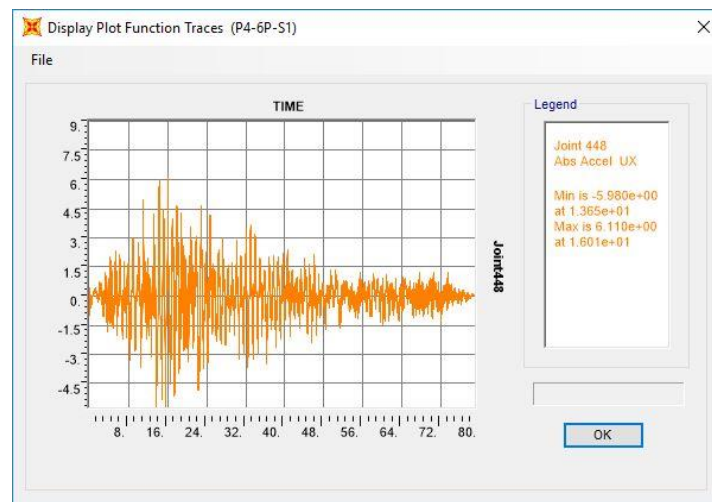


Figura E-53 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

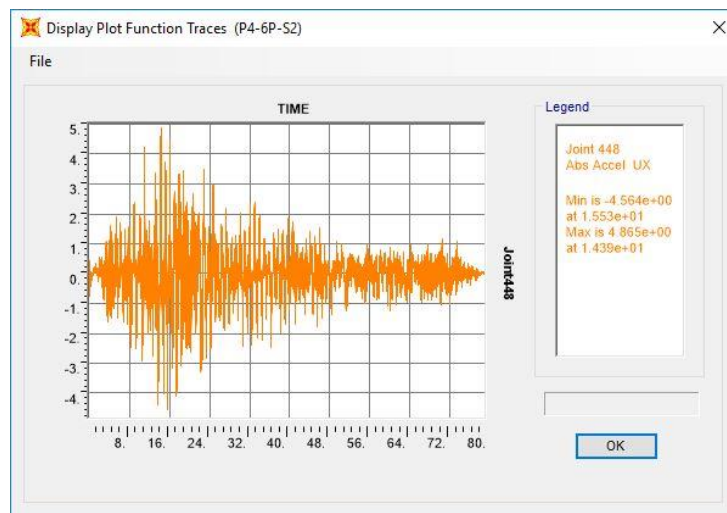


Figura E-54 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

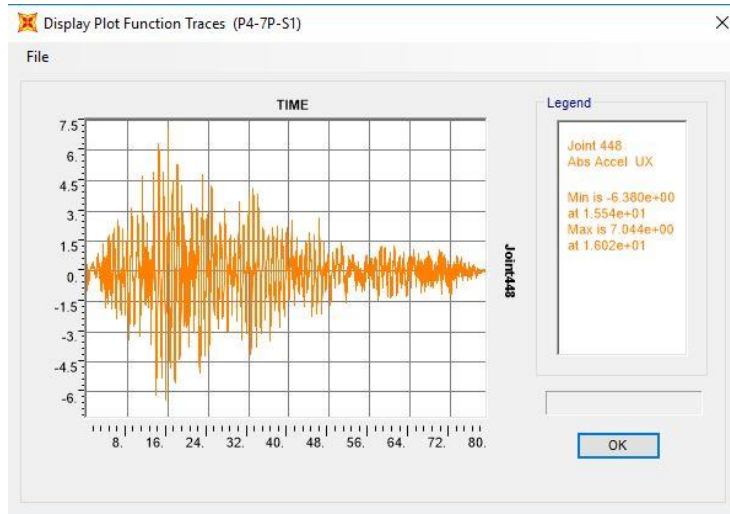


Figura E-55 Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

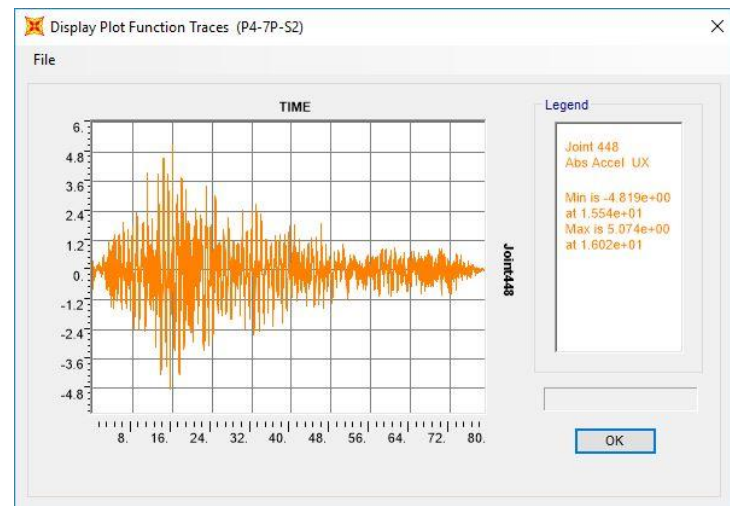


Figura E-56 Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

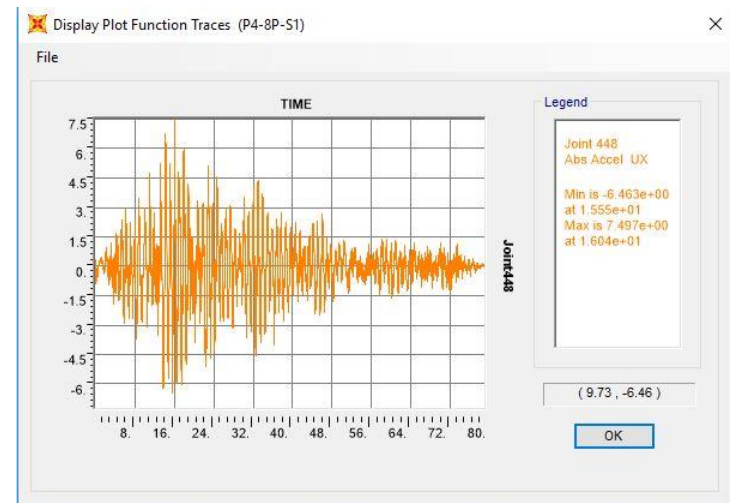


Figura E-57 Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

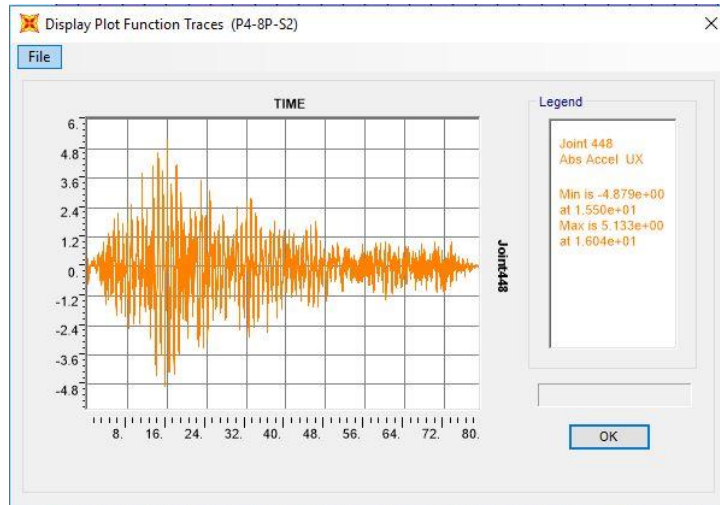


Figura E-58 Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

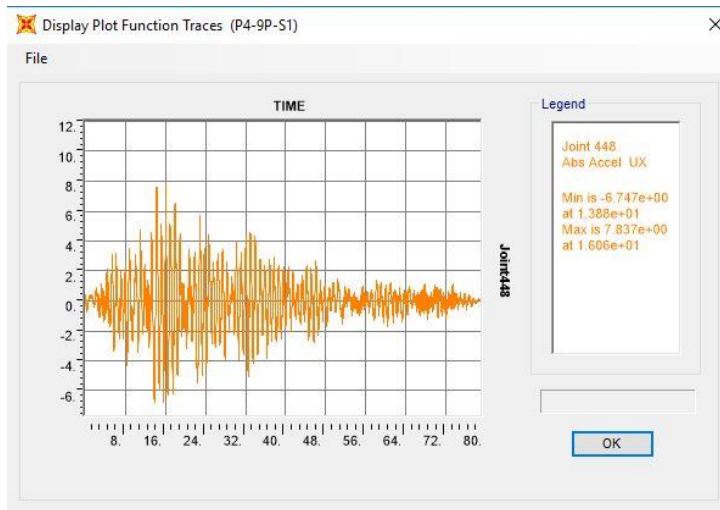


Figura E-59 Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

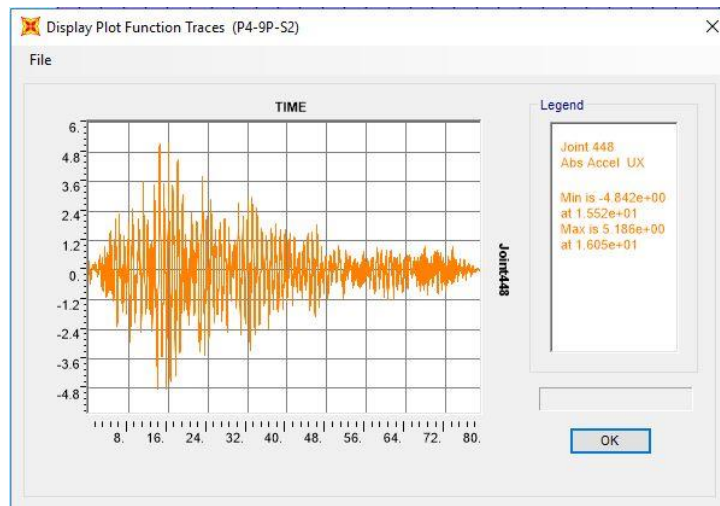


Figura E-60 Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

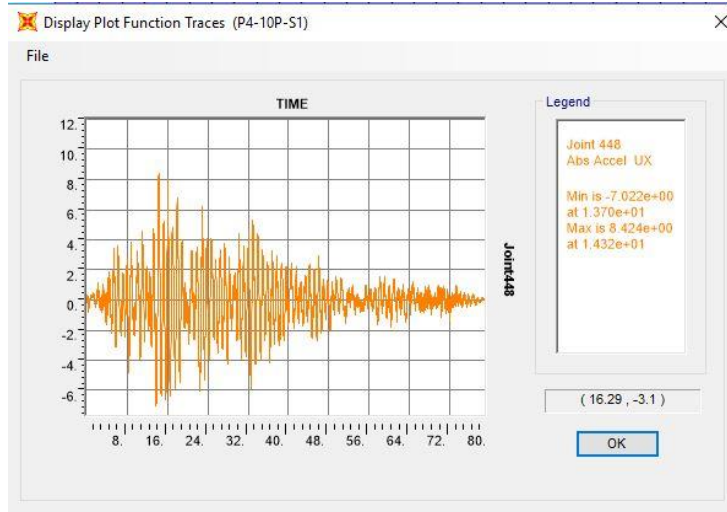


Figura E-61 Registro de Aceleraciones. Muro decimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

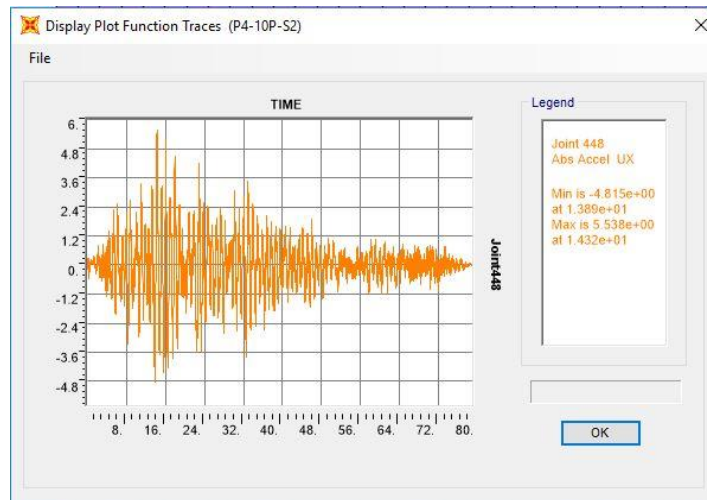


Figura E-62 Registro de Aceleraciones. Muro decimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

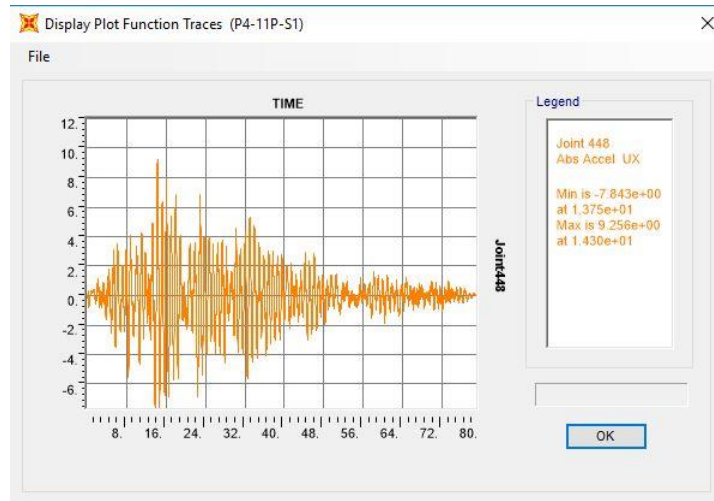


Figura E-63 Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

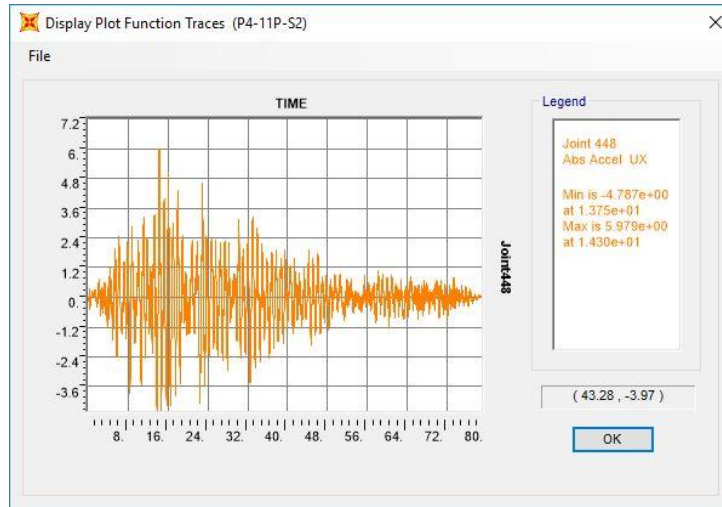


Figura E-64 Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

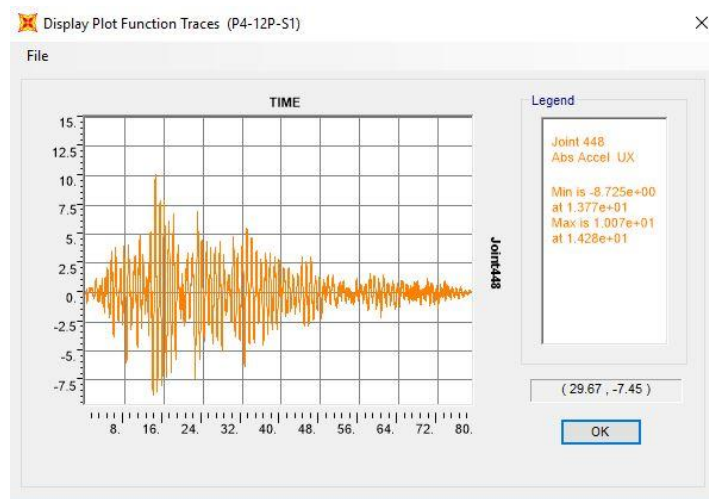


Figura E-65 Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

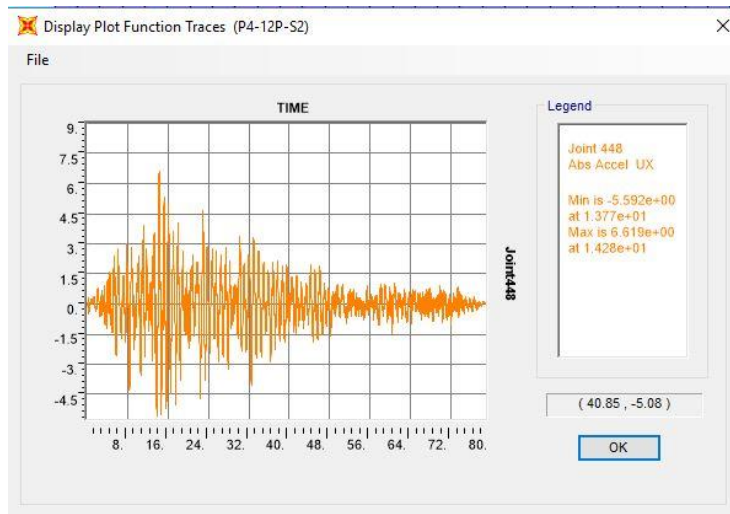


Figura E-66 Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

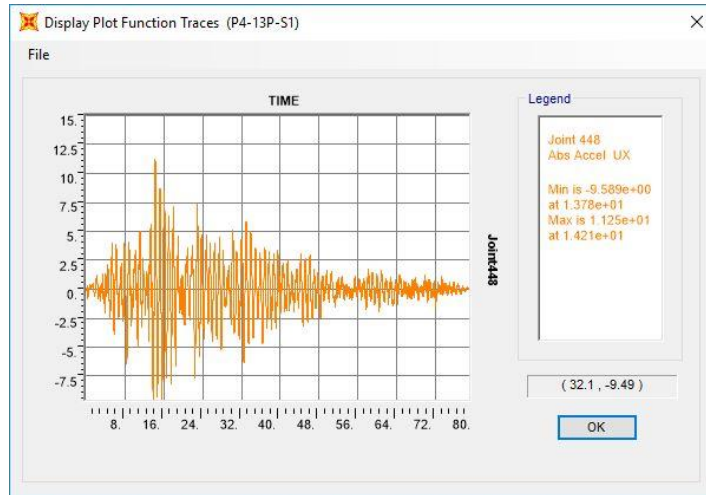


Figura E-67 Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Fuerte

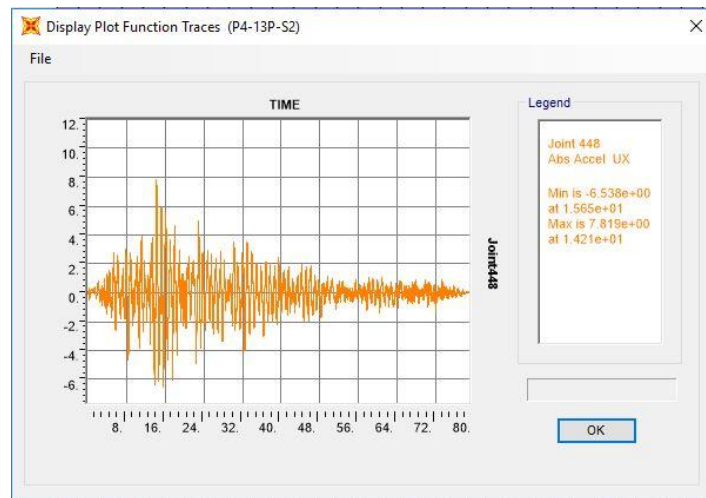


Figura E-68 Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

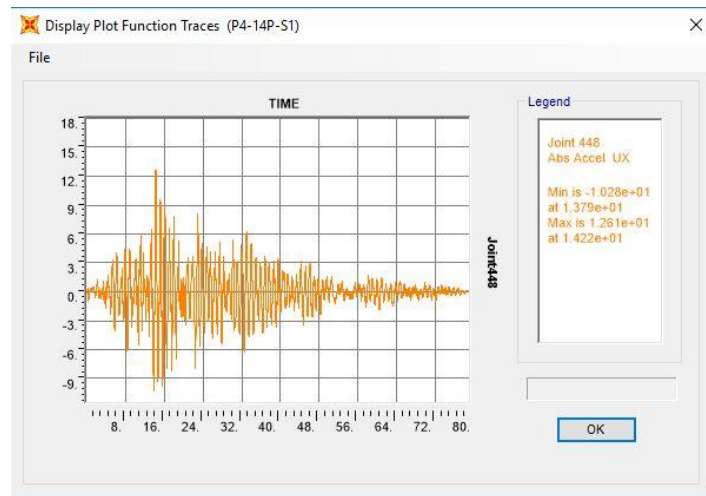


Figura E-69 Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

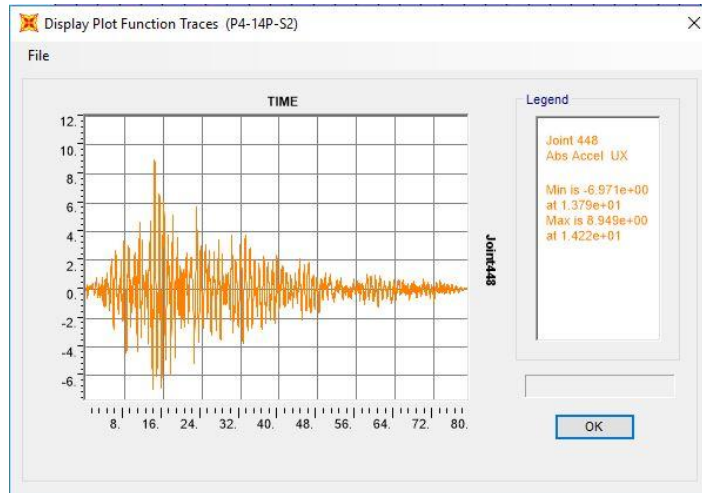


Figura E-70 Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Fuerte

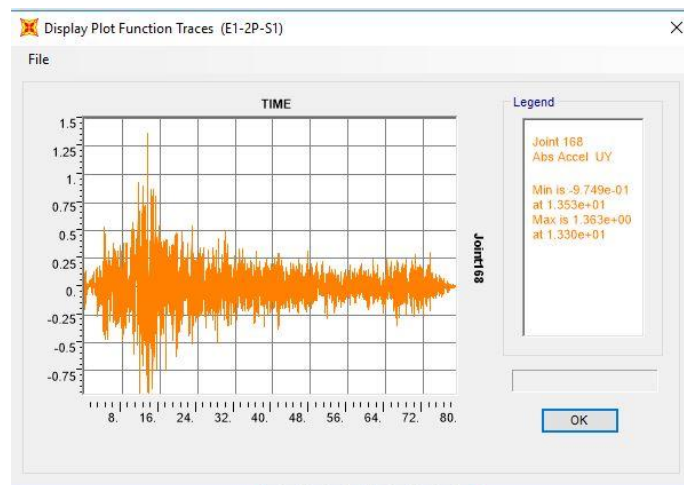


Figura E-71 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Debil

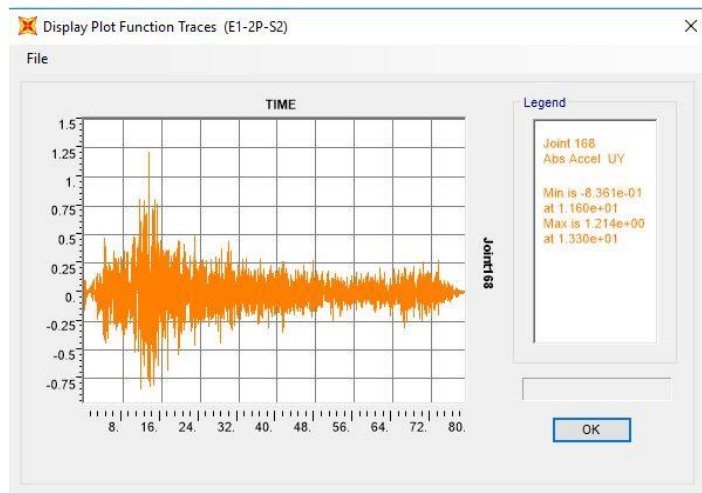


Figura E-72 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Debil

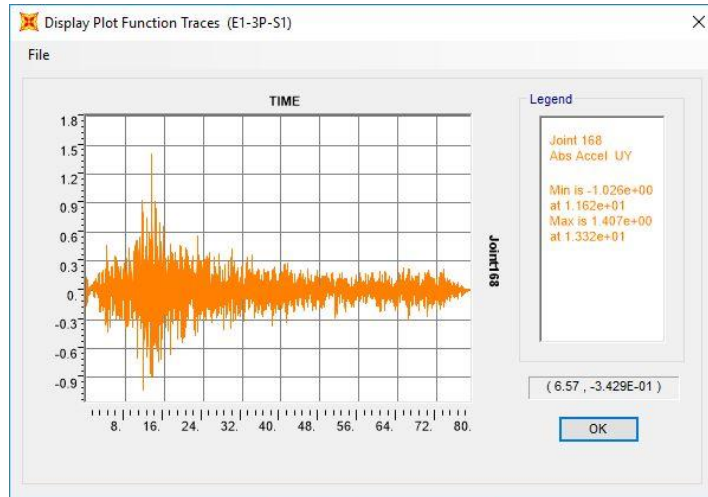


Figura E-73. Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

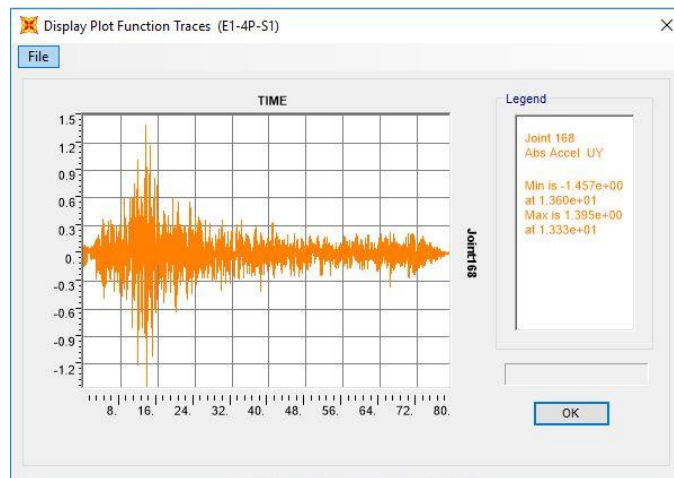


Figura E-74. Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

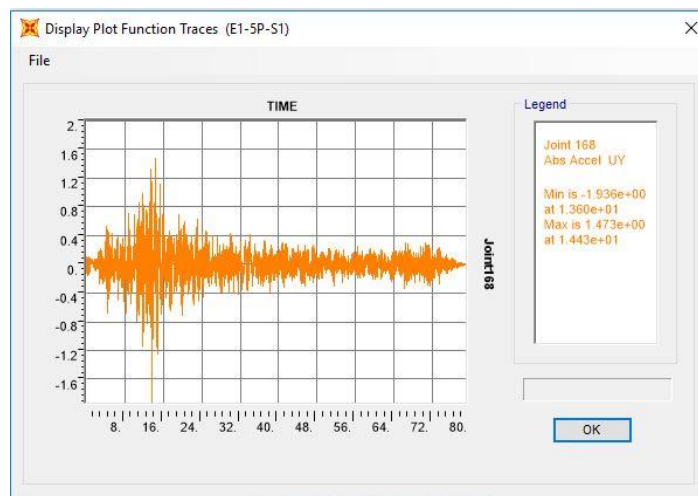


Figura E-75. Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

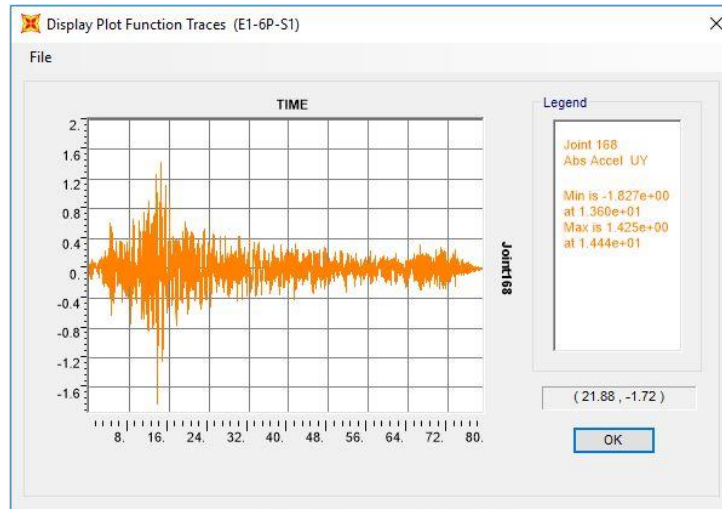


Figura E-76. Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

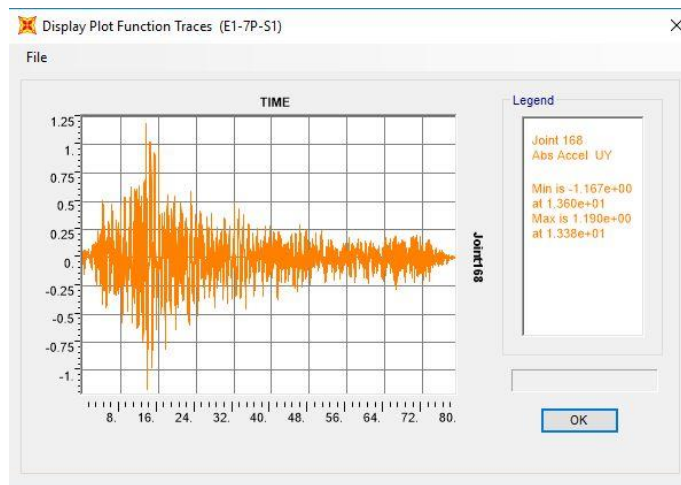


Figura E-77. Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

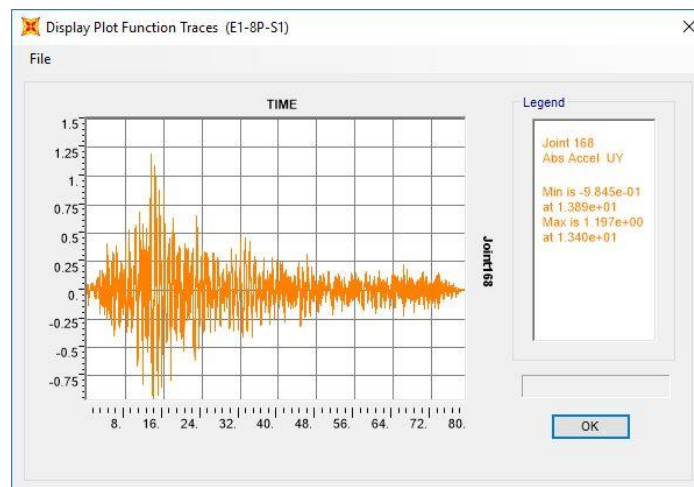


Figura E-78. Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

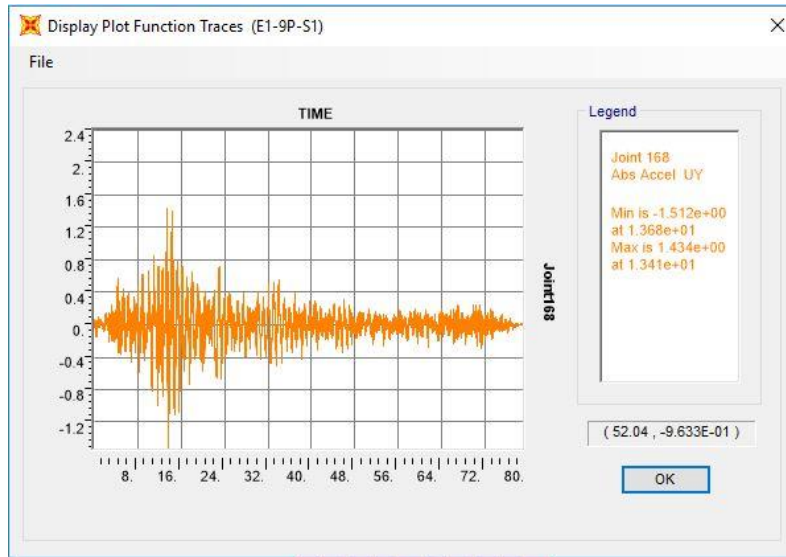


Figura E-79. Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

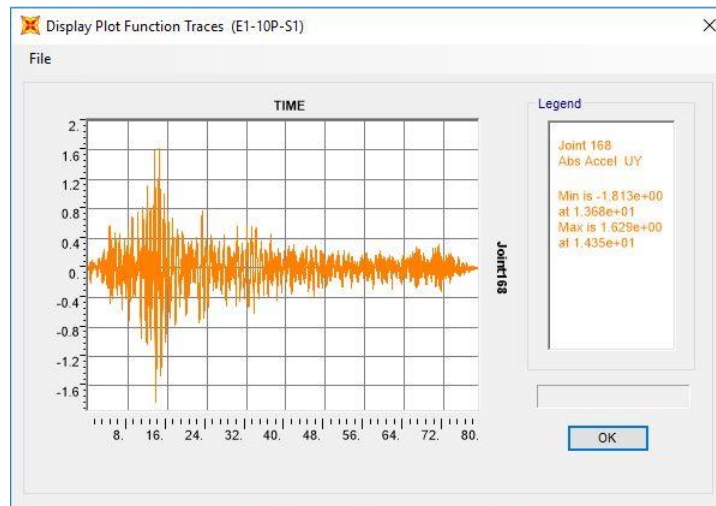


Figura E-80. Registro de Aceleraciones. Muro décimo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

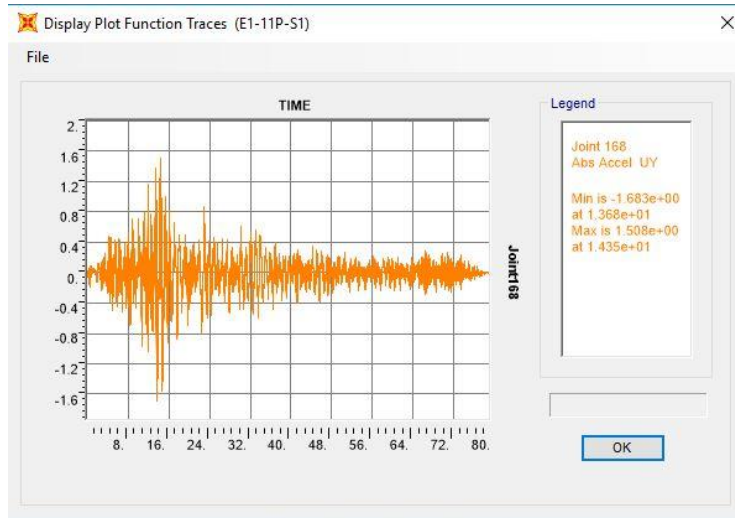


Figura E-81. Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

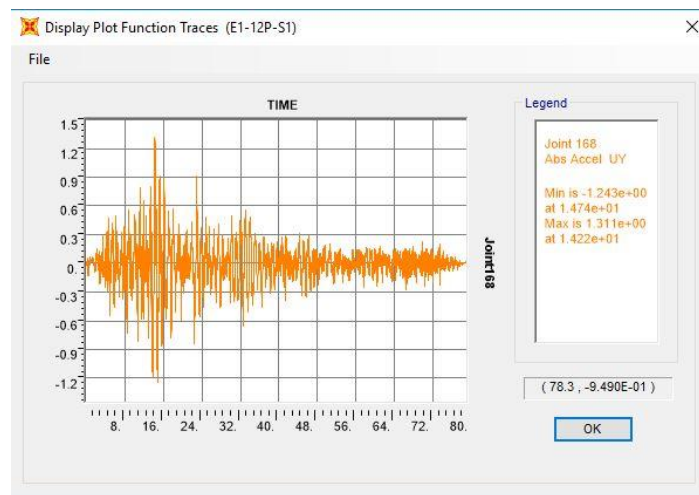


Figura E-82. Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

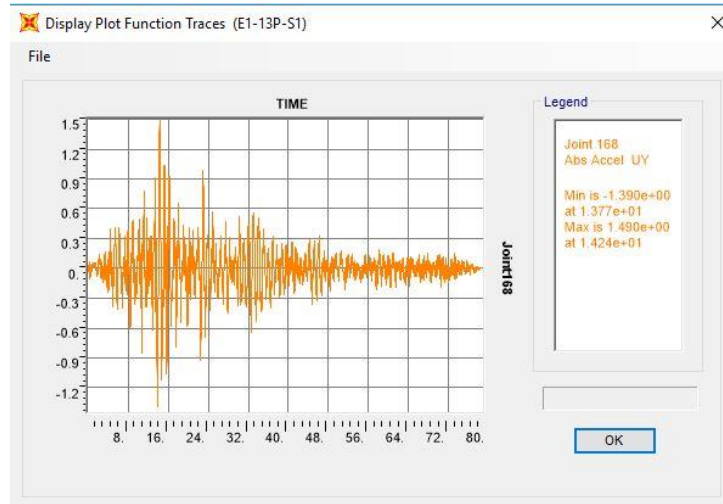


Figura E-83. Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

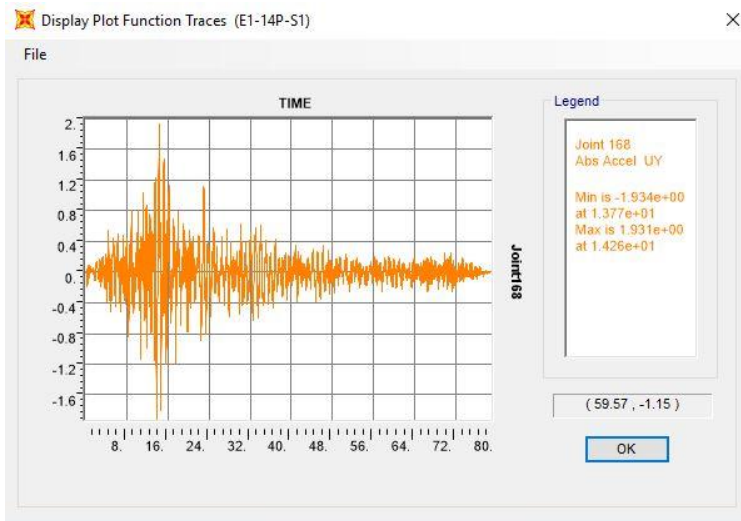


Figura E-84. Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

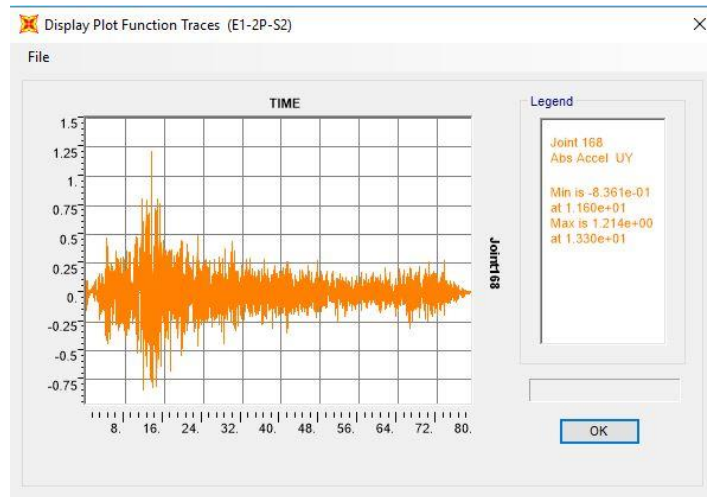


Figura E-85. Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

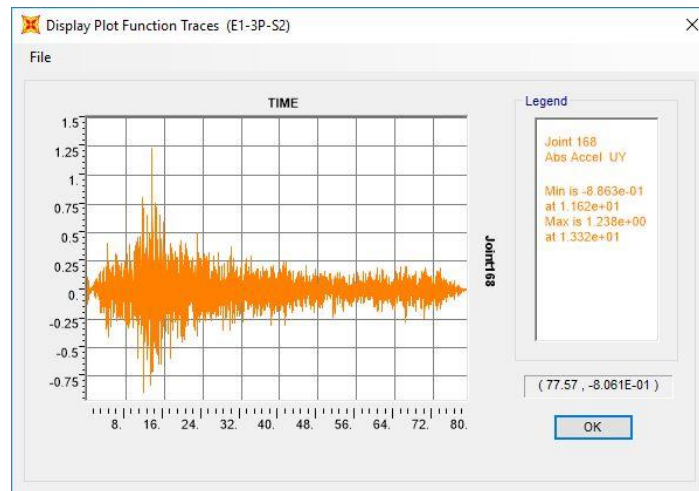


Figura E-86. Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

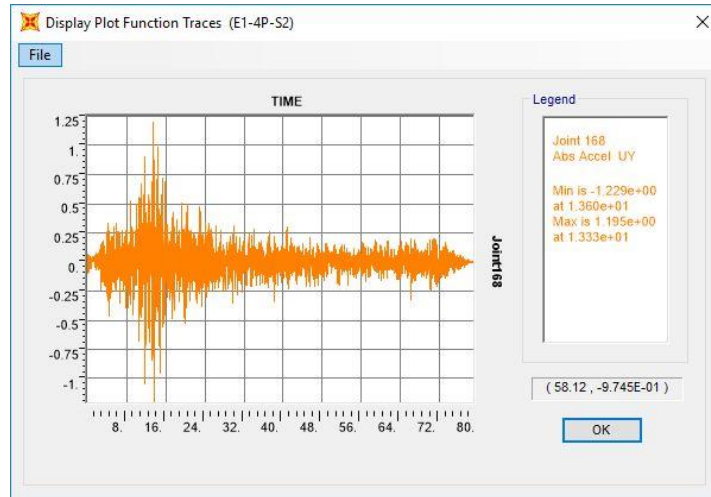


Figura E-87. Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

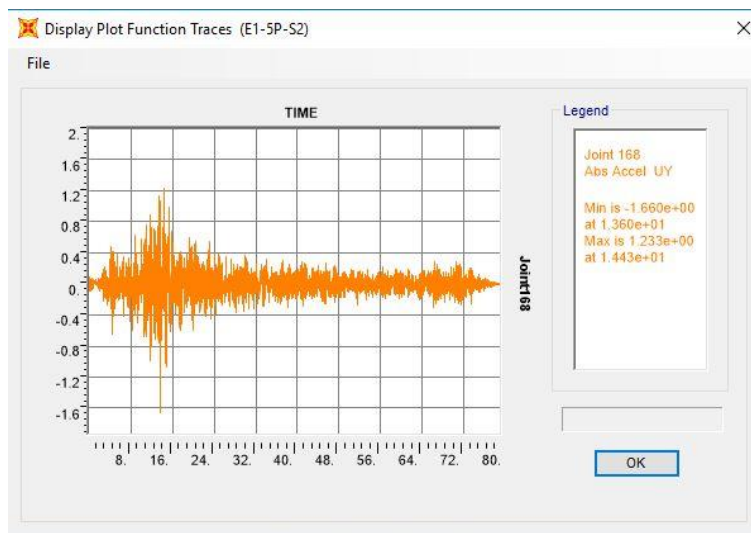


Figura E-88. Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

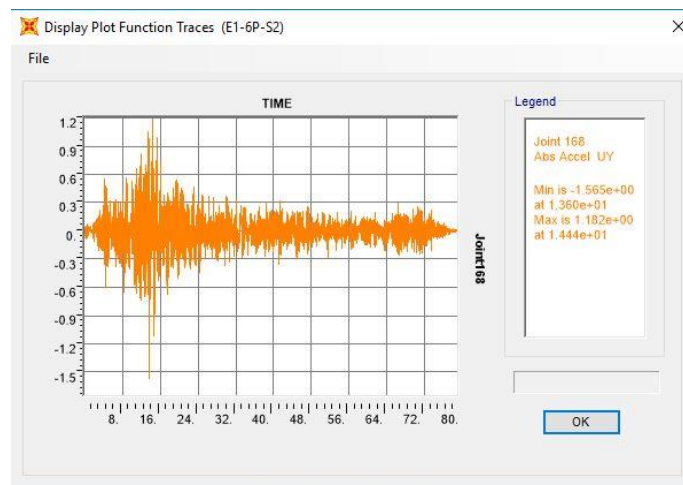


Figura E-89. Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

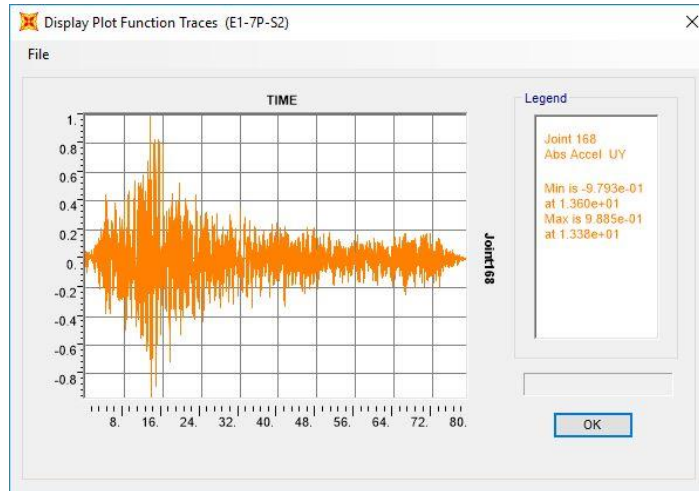


Figura E-90. Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

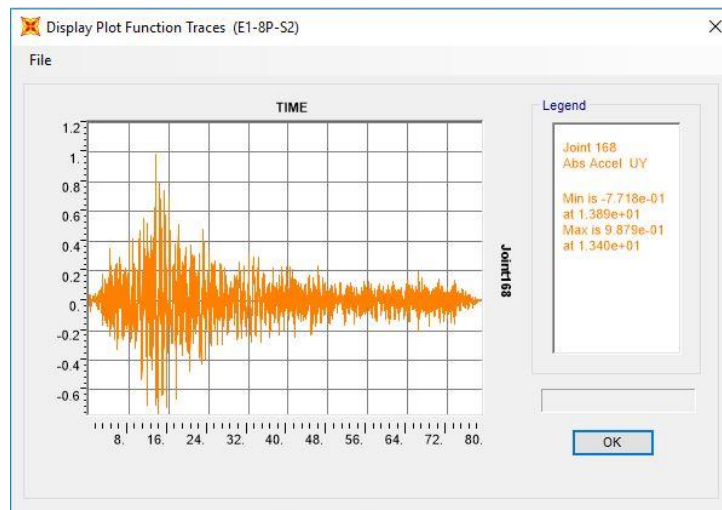


Figura E-91. Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

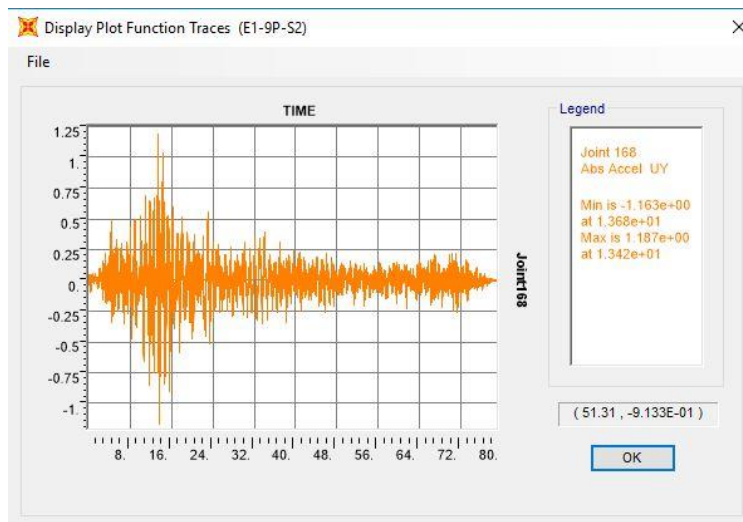


Figura E-92. Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

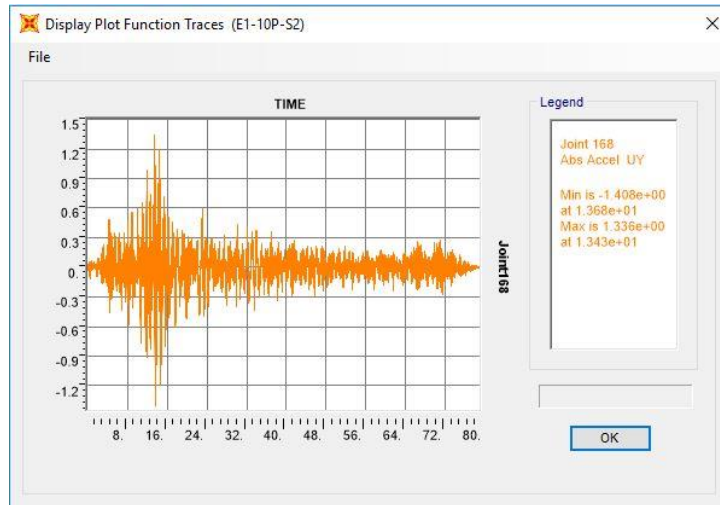


Figura E-93. Registro de Aceleraciones. Muro décimo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

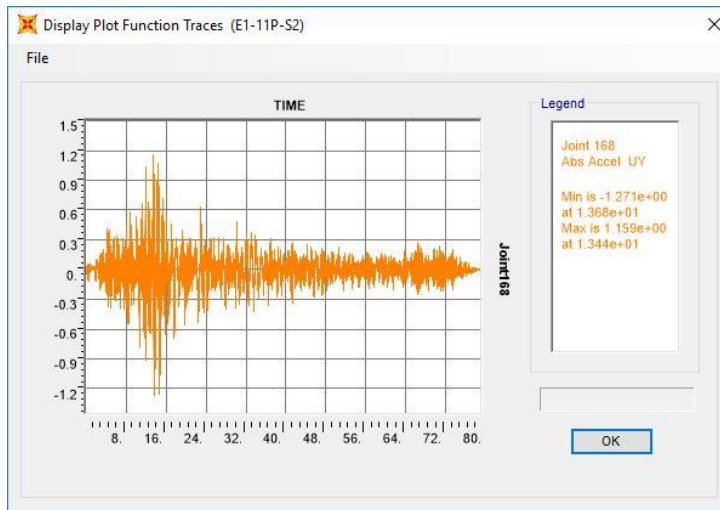


Figura E-94. Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

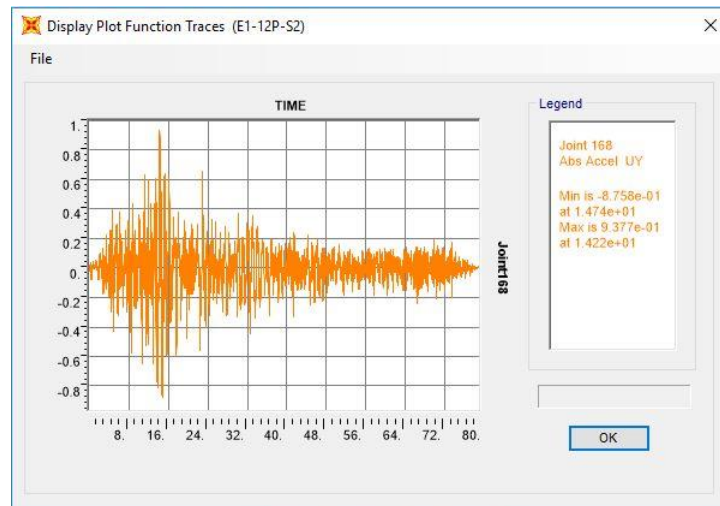


Figura E-95. Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

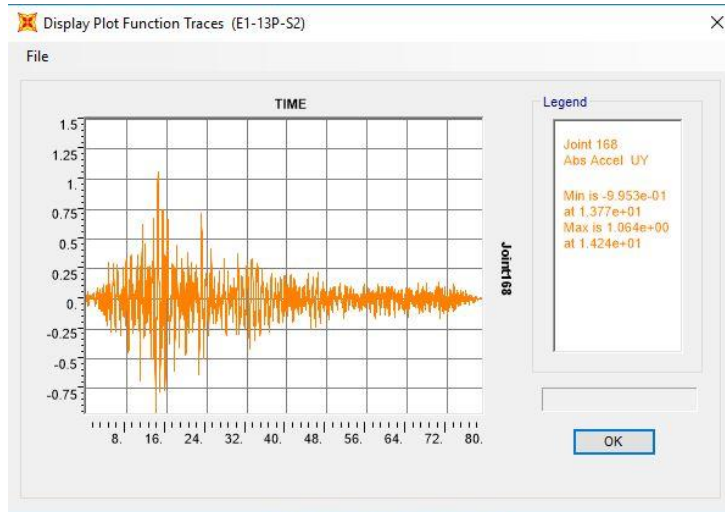


Figura E-96. Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

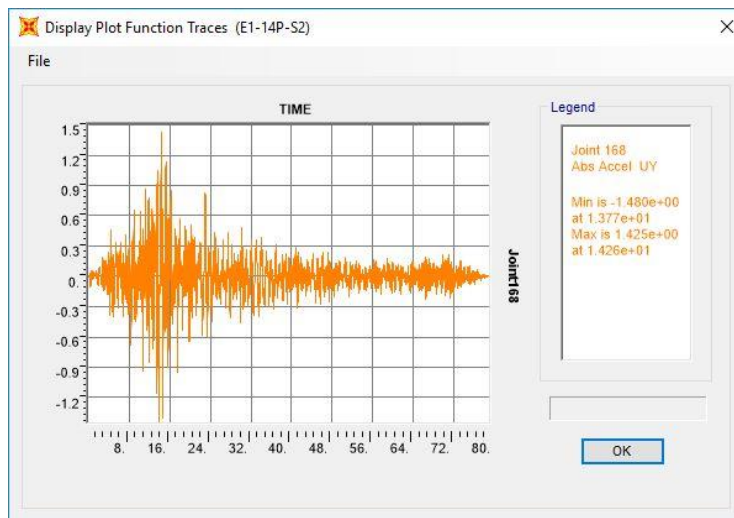


Figura E-97. Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Edificio, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

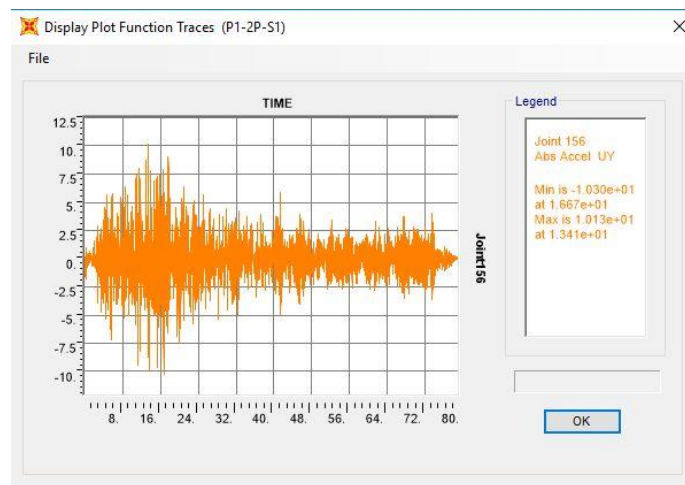


Figura E-98 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 1, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

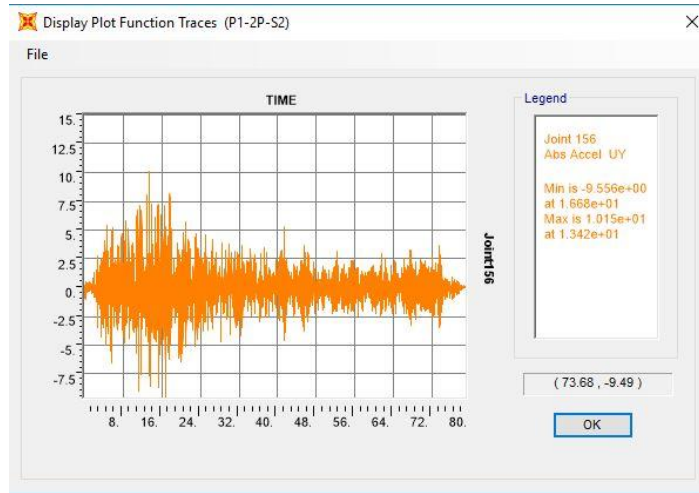


Figura E-99 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 1, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

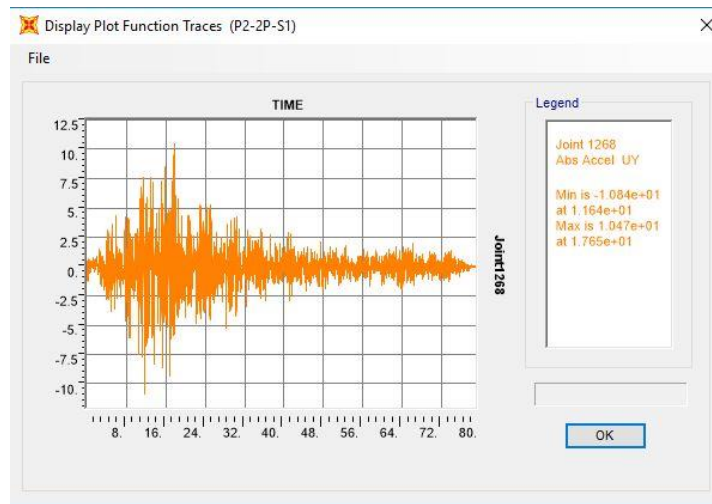


Figura E-100 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 2, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

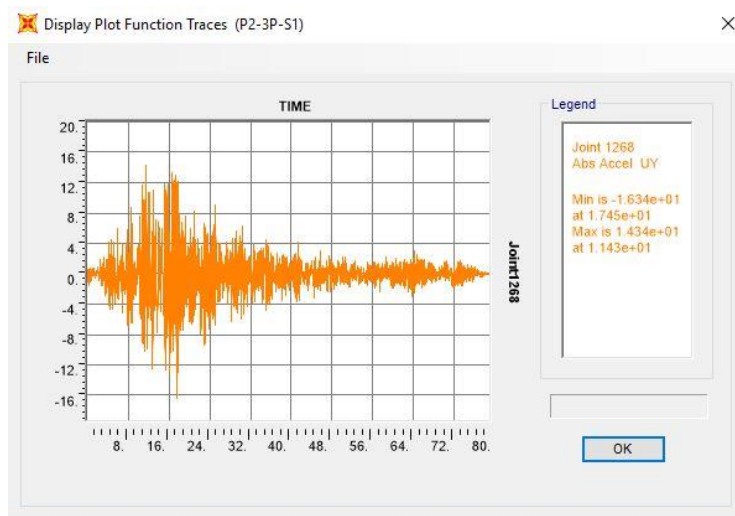


Figura E-101 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 2, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

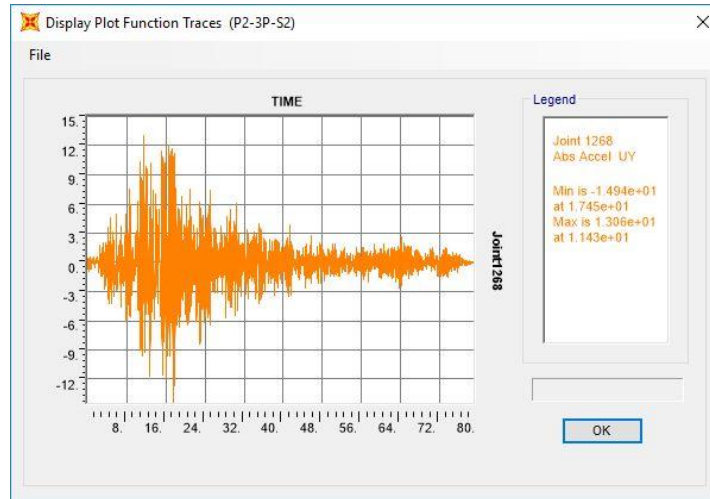


Figura E-102 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 2, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

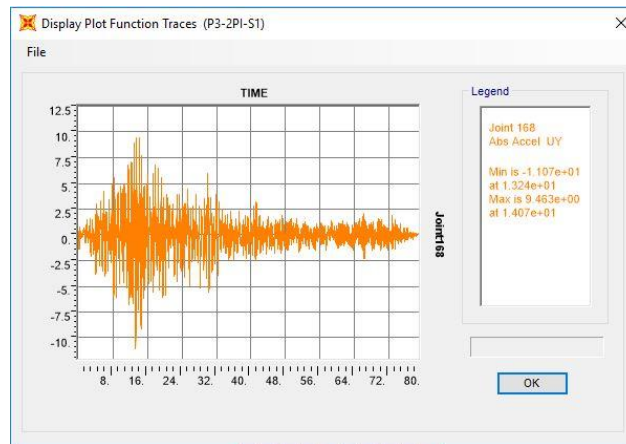


Figura E-103 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

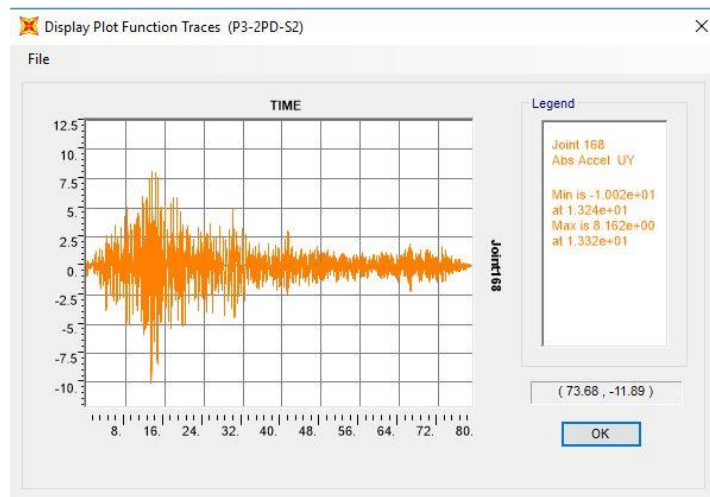


Figura E-104 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso derecha, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

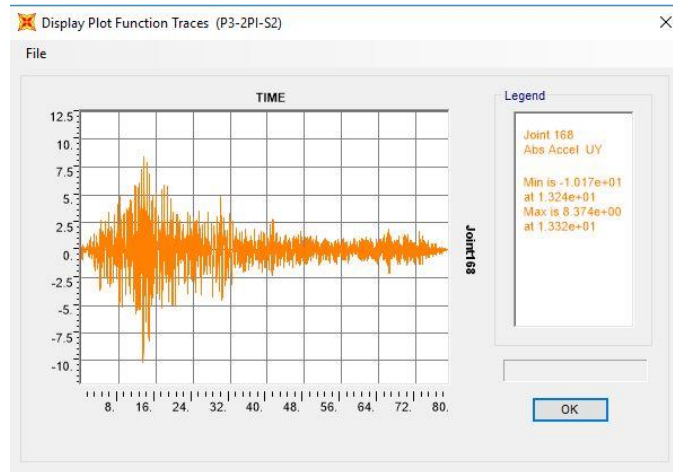


Figura E-105 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

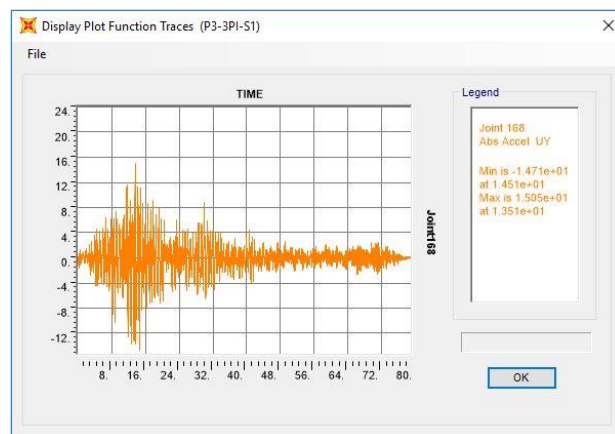


Figura E-106 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

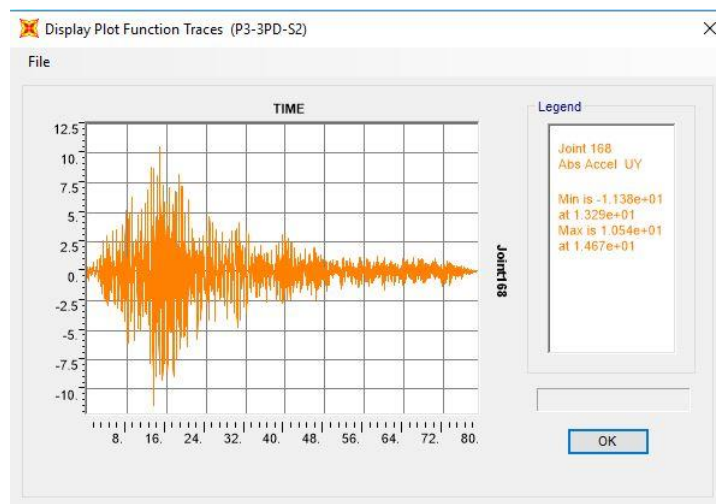


Figura E-107 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso derecha, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

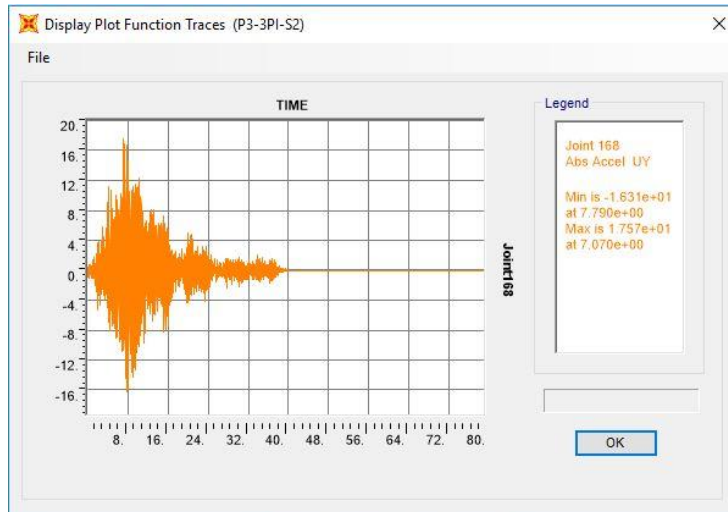


Figura E-108 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso izquierda, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

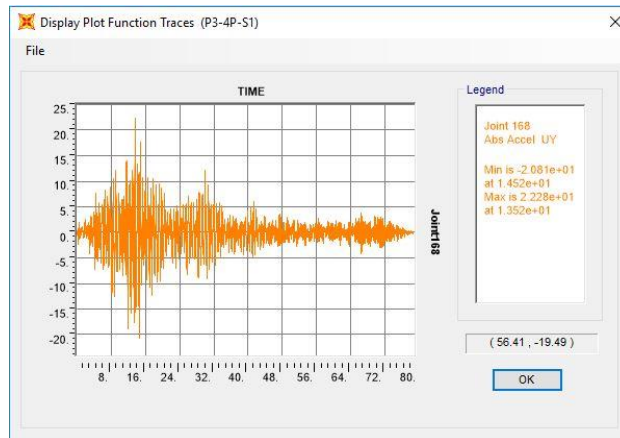


Figura E-109 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

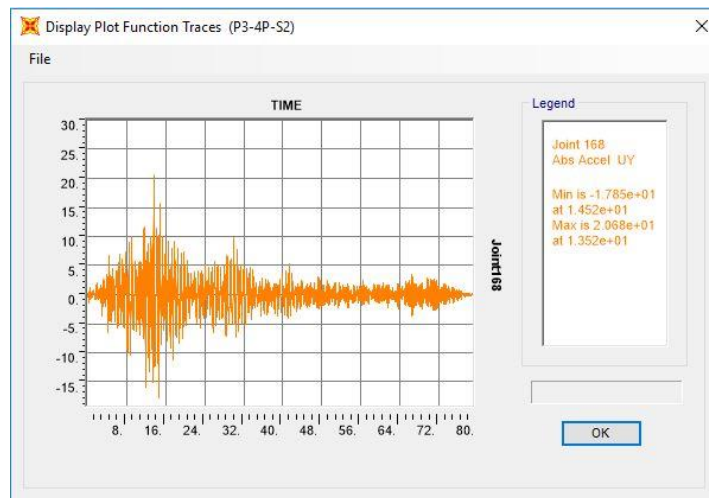


Figura E-110 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

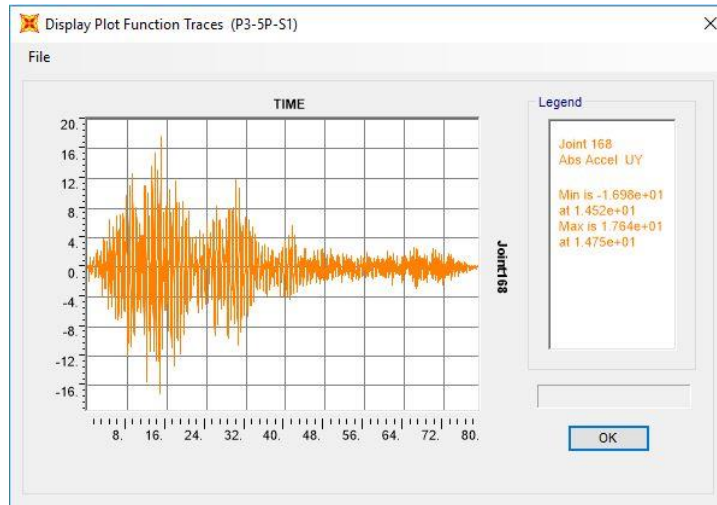


Figura E-111 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

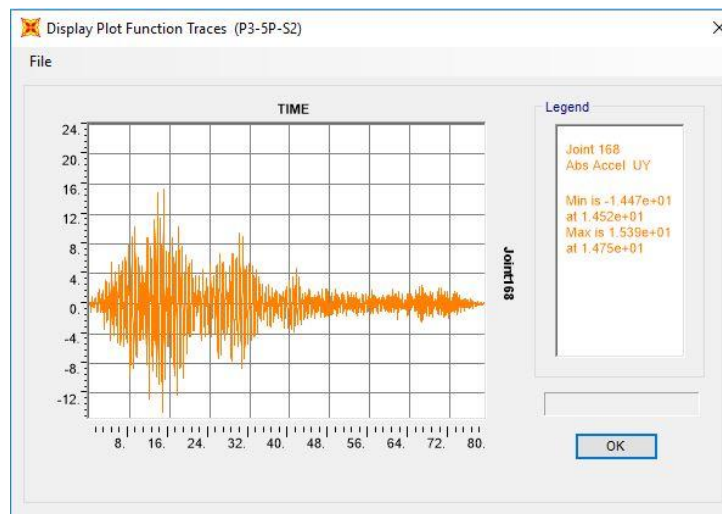


Figura E-112 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

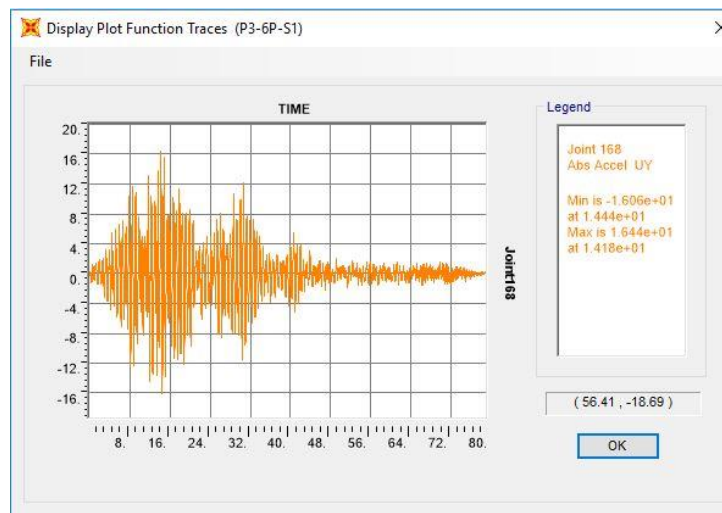


Figura E-113 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

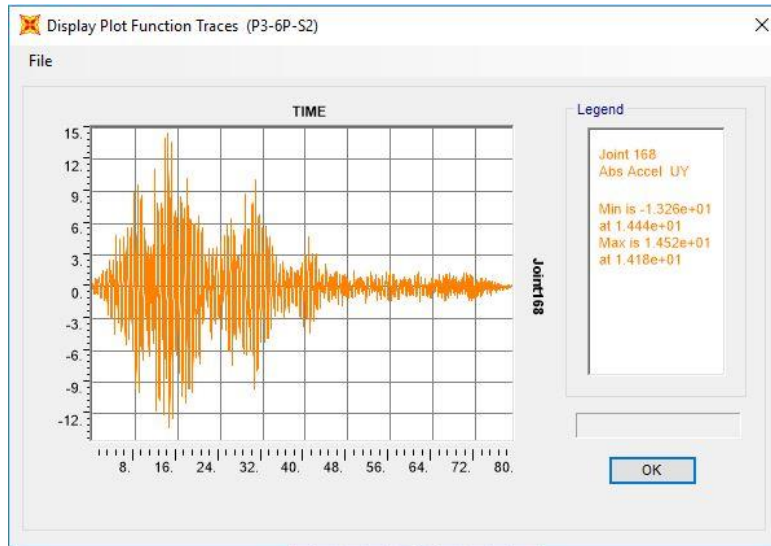


Figura E-114 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 3, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

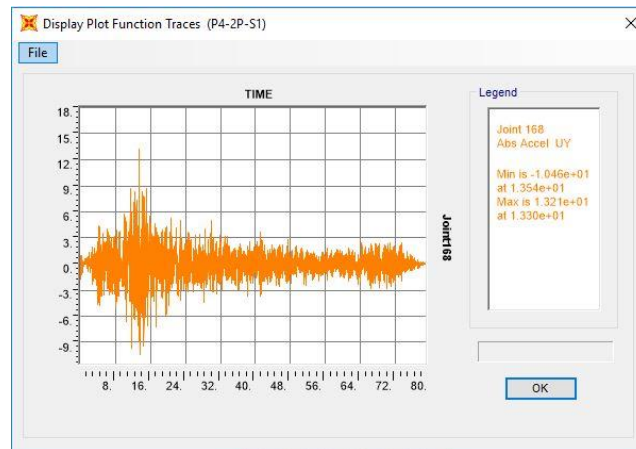


Figura E-115 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

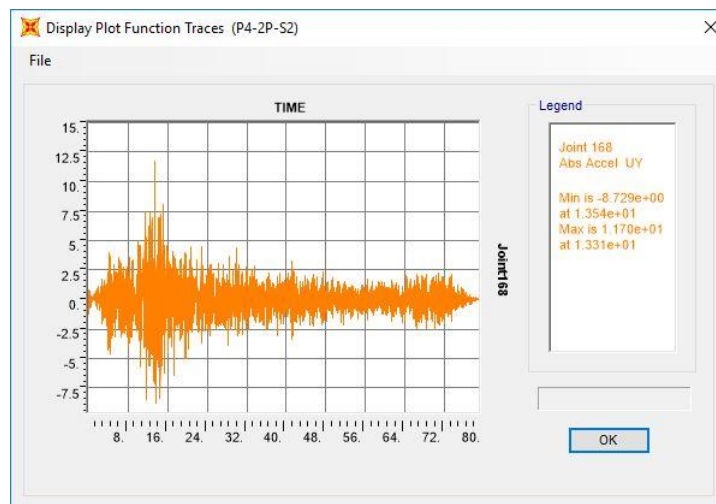


Figura E-116 Registro de Aceleraciones. Muro segundo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

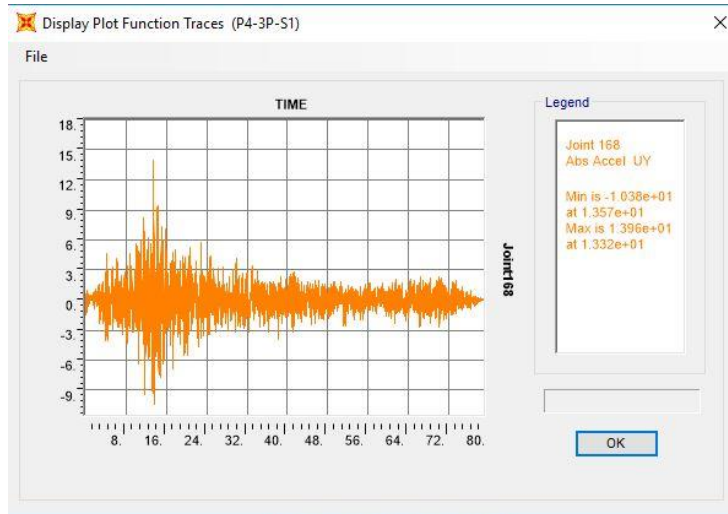


Figura E-117 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

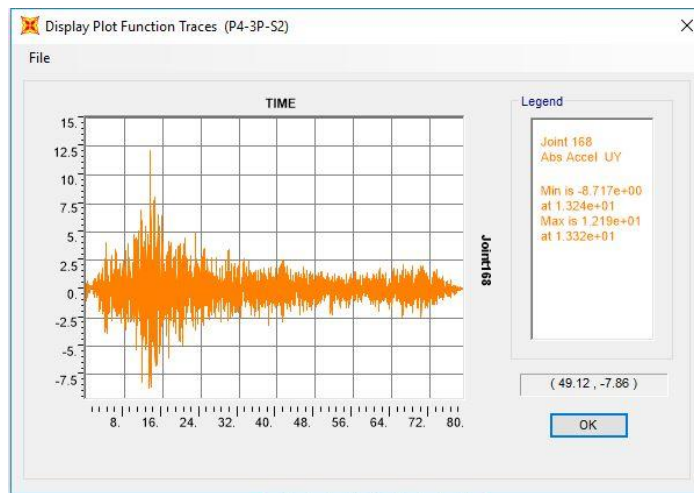


Figura E-118 Registro de Aceleraciones. Muro tercer piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

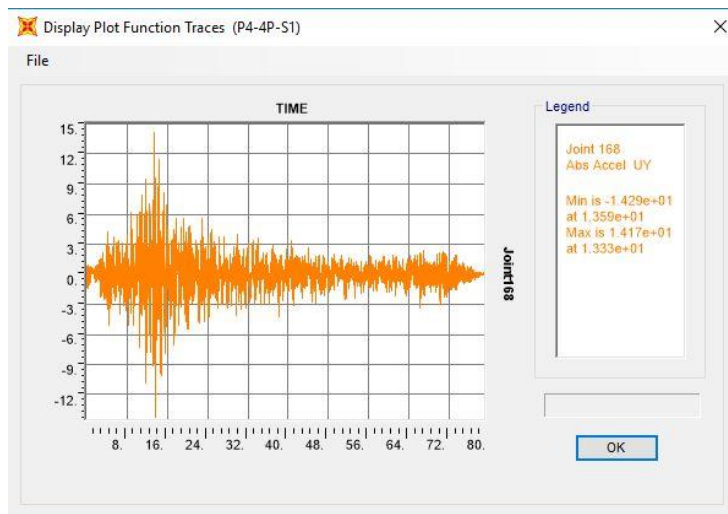


Figura E-119 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

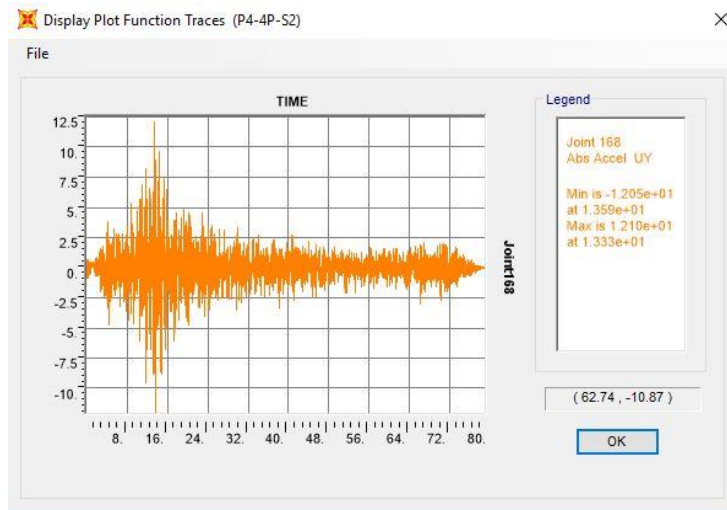


Figura E-120 Registro de Aceleraciones. Muro cuarto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

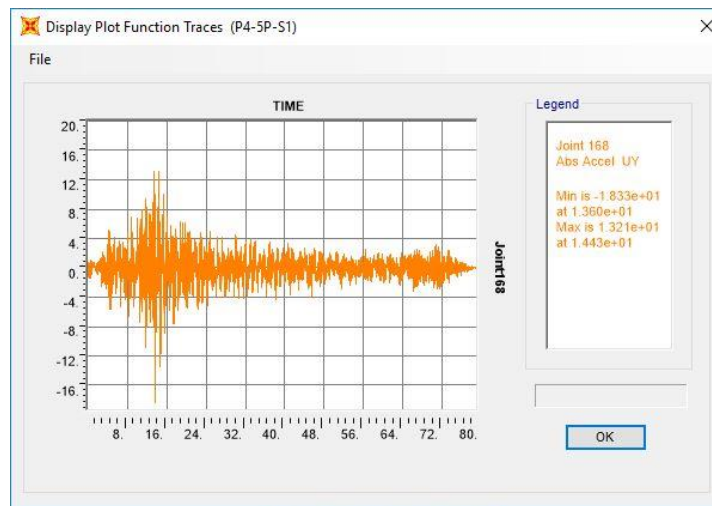


Figura E-121 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

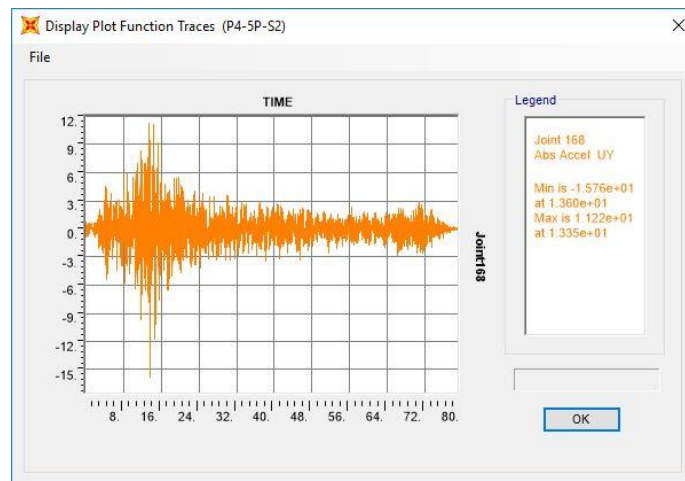


Figura E-122 Registro de Aceleraciones. Muro quinto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

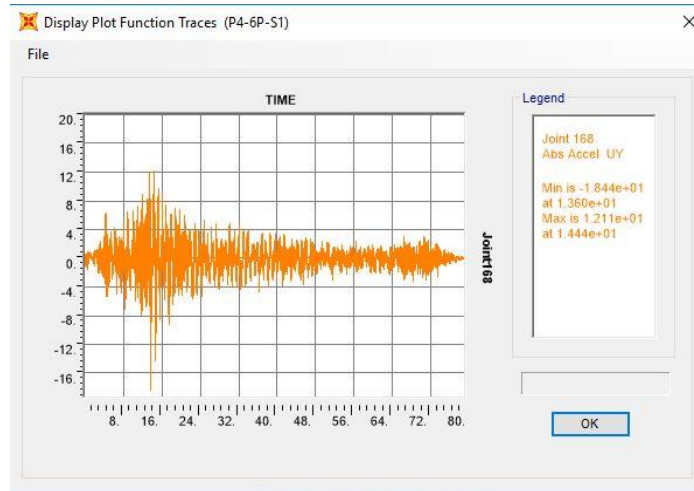


Figura E-123 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

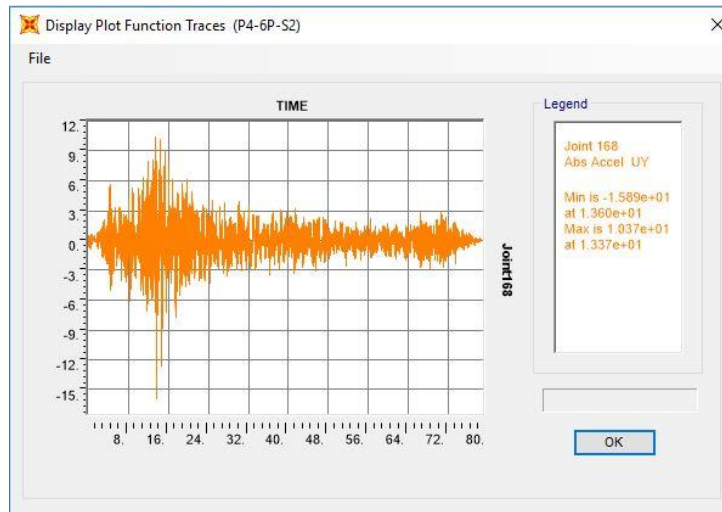


Figura E-124 Registro de Aceleraciones. Muro sexto piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

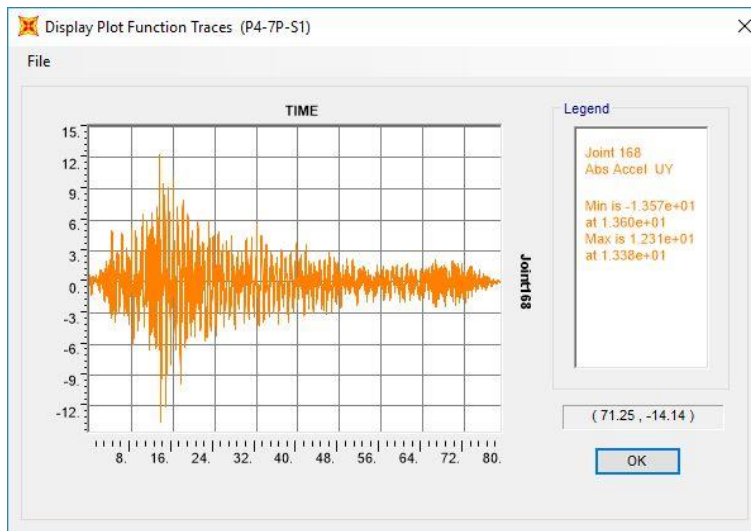


Figura E-125 Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

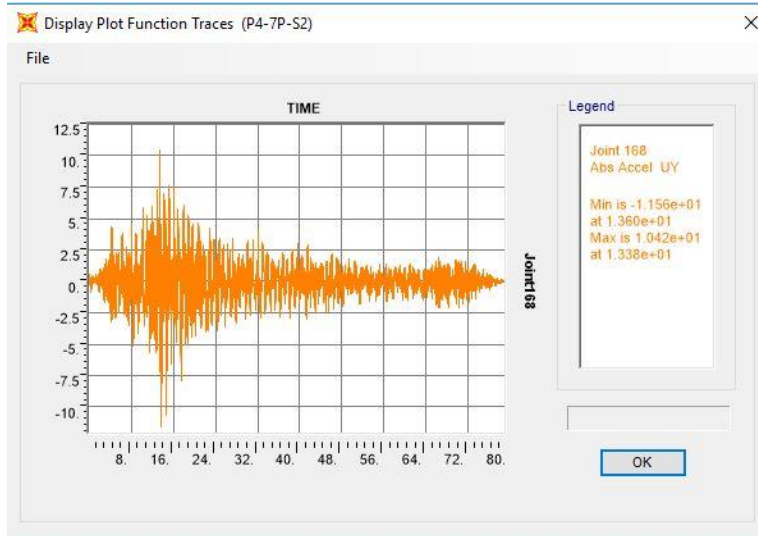


Figura E-126 Registro de Aceleraciones. Muro séptimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

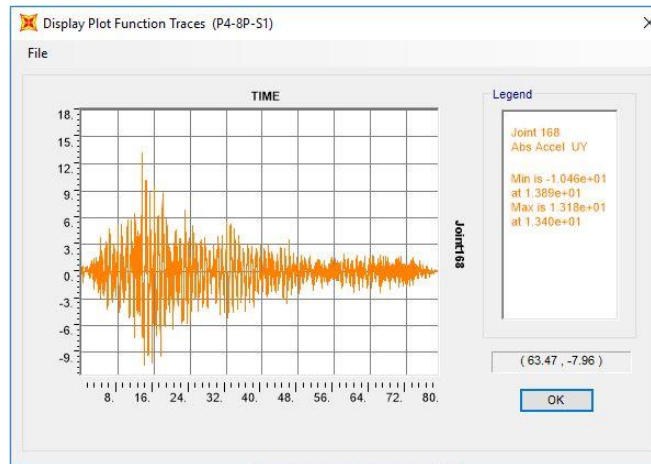


Figura E-127 Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

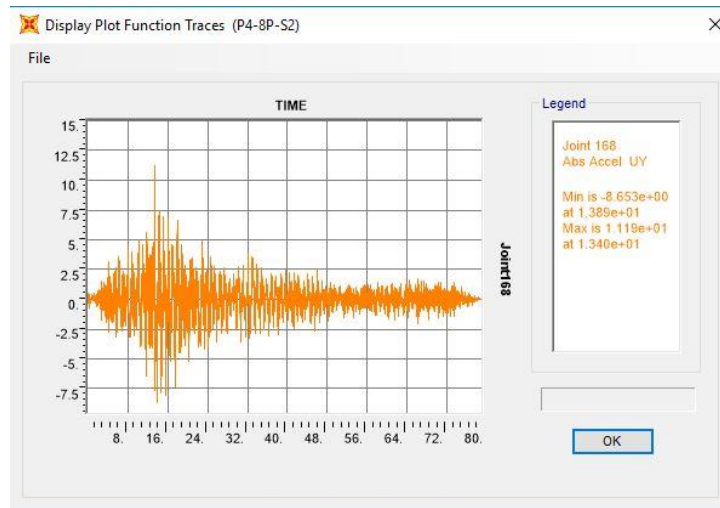


Figura E-128 Registro de Aceleraciones. Muro octavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

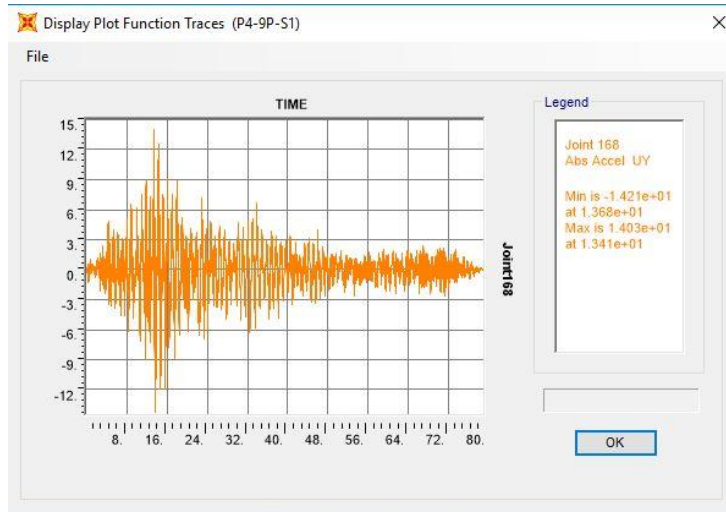


Figura E-129 Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

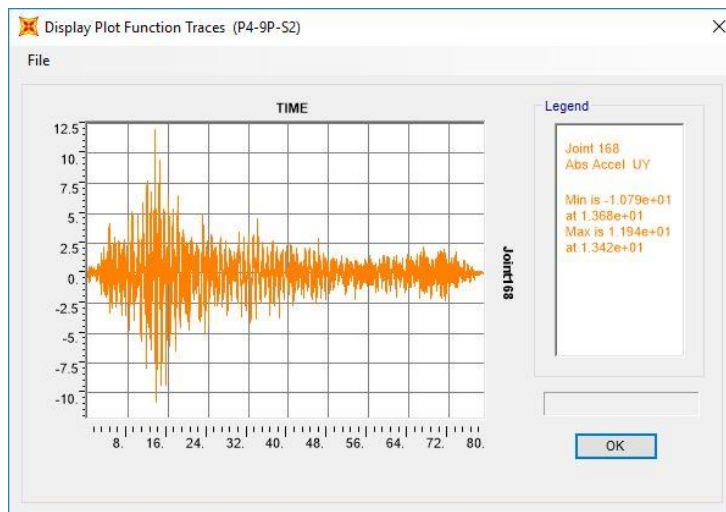


Figura E-130 Registro de Aceleraciones. Muro noveno piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

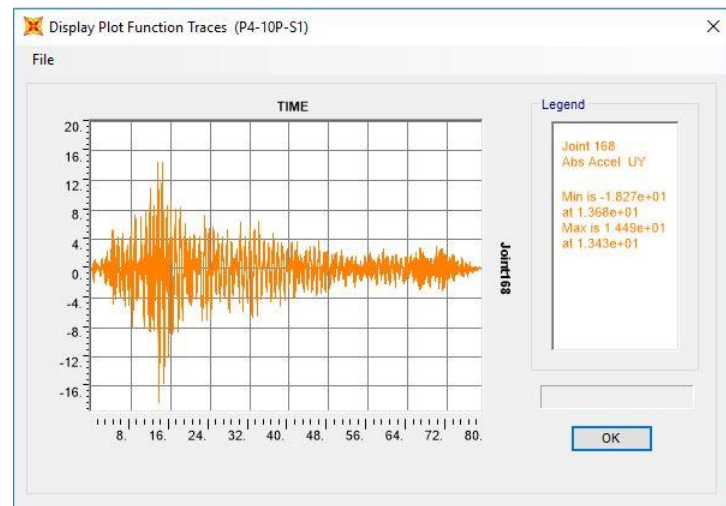


Figura E-131 Registro de Aceleraciones. Muro décimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

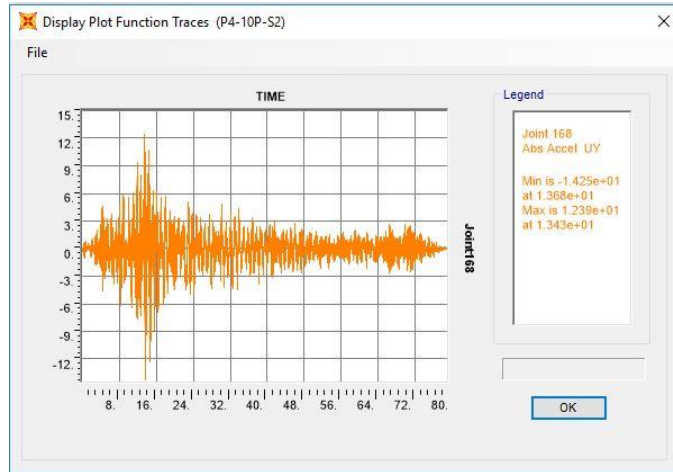


Figura E-132 Registro de Aceleraciones. Muro décimo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

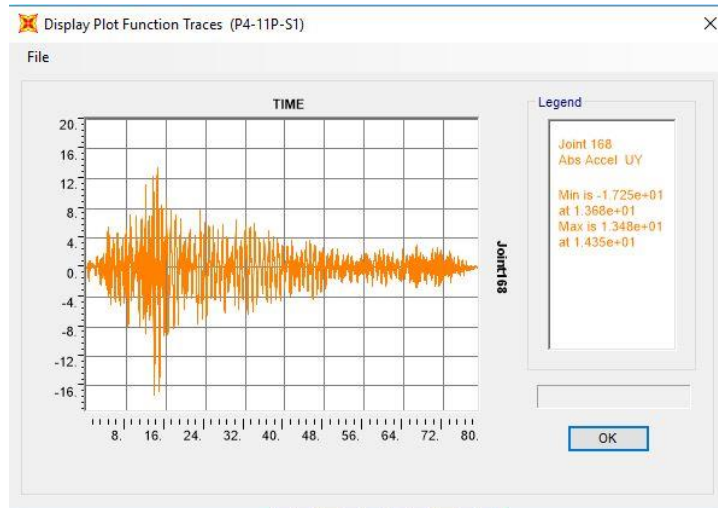


Figura E-133 Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

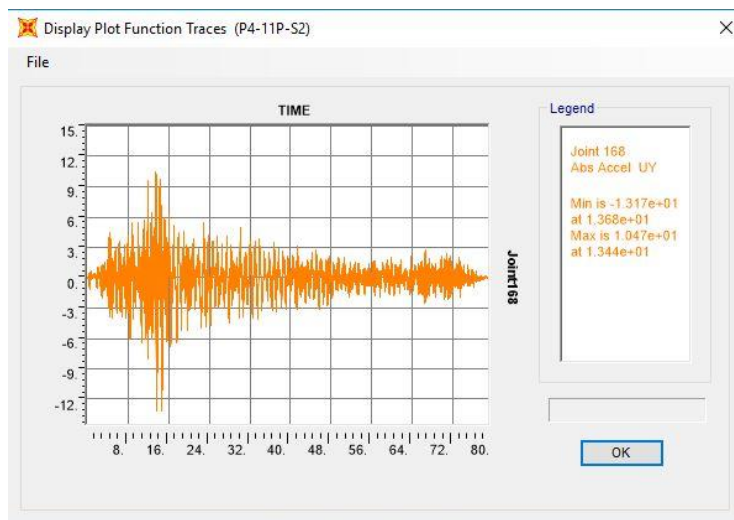


Figura E-134 Registro de Aceleraciones. Muro onceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

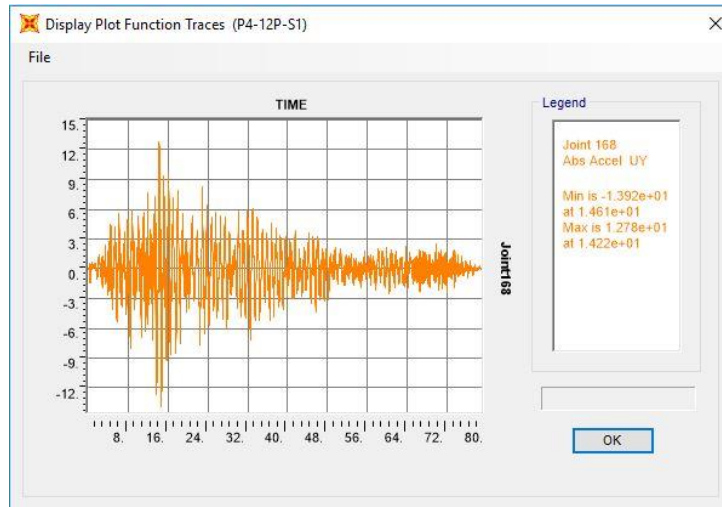


Figura E-135 Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

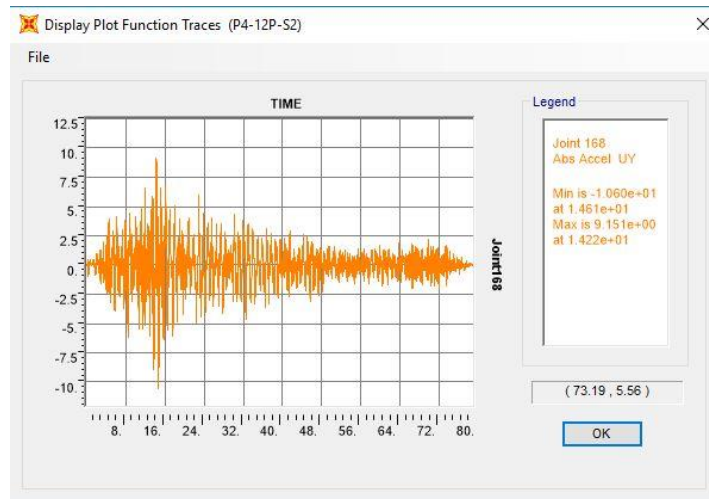


Figura E-136 Registro de Aceleraciones. Muro doceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

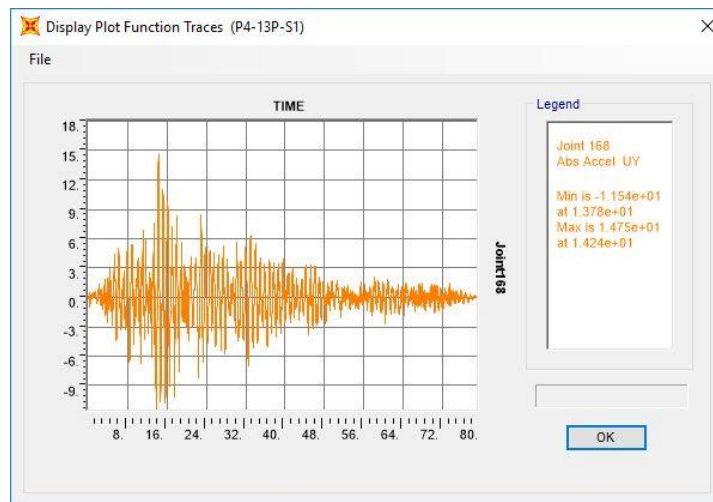


Figura E-137 Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 1. Dirección Débil

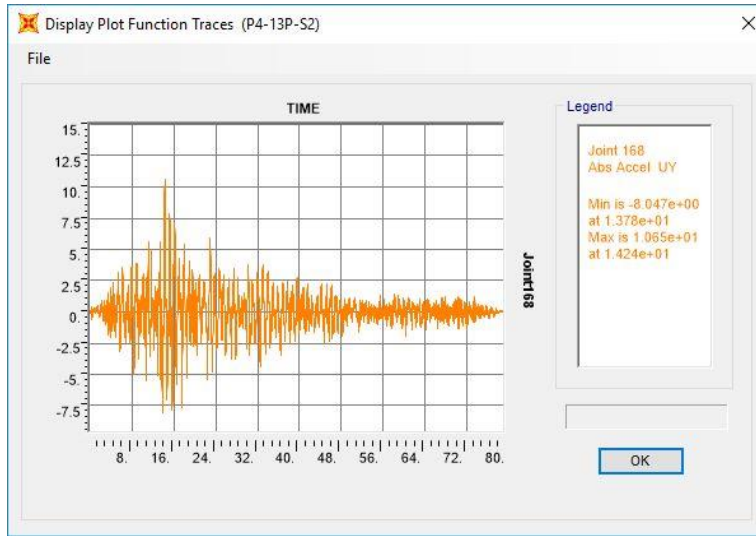


Figura E-138 Registro de Aceleraciones. Muro treceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

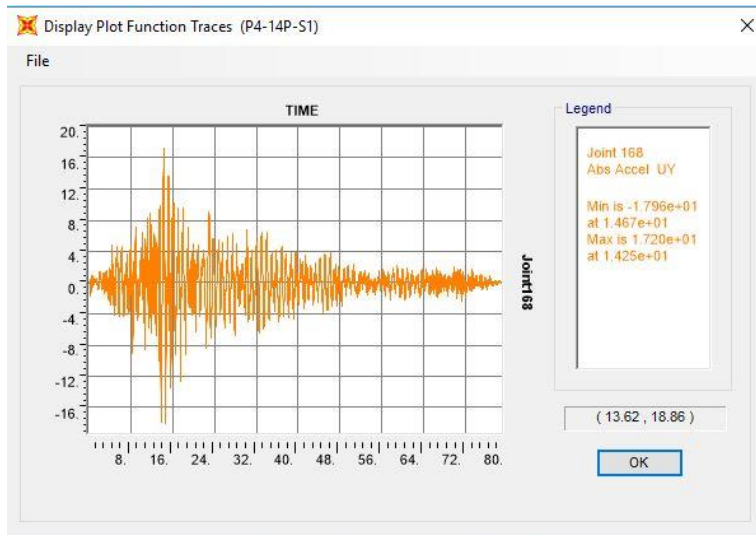


Figura E-139 Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

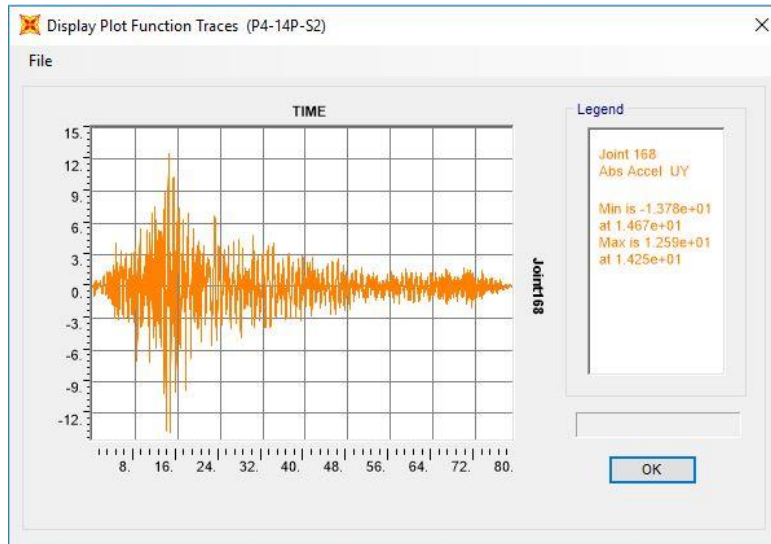


Figura E-140 Registro de Aceleraciones. Muro catorceavo piso, Pórtico 4, Sismo Compatible 2. Dirección Débil

F. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE k

Para el pórtico 4 con los 14 pisos ($T= 0.96$ s), se graficaron las aceleraciones máximas de cada piso en función de la altura acumulada desde la base del piso de la estructura. A la dispersión de datos se le obtuvieron líneas de tendencia del tipo exponencial, logarítmico y potencial. Sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios al comparar el valor de k con el sugerido por la NSR-10 en el capítulo A.4.3:

Para T entre 0.5 y 2.5 segundos, $k=0.75+0.5T$

Siendo $T=0.96$ segundos se esperaba un valor de 1.23, sin embargo, el resultado fue de 0.25. Es importante aclarar que se decidió trabajar con la gráfica potencial, que es la que representa el coeficiente k como potencia que la define.

