

CAPÍTULO I

AISLADORES SÍSMICOS DE BASE: ENFOQUE GENERAL

RESUMEN

Se define lo que son los sismos y la forma en que influyen en el comportamiento de las estructuras, para de esta manera entender el funcionamiento de los aisladores sísmicos de base.

Se incluye una descripción de los sistemas para absorción de fuerzas y de métodos de disipación de energía como solución estructural para las zonas sísmicas.

Se presenta la evolución de los aisladores sísmicos de base desde sus inicios hasta los tiempos actuales.

Se analizan estructuras que han aplicado esta tecnología ya que en esos países se ha dado un desarrollo de esta tecnología para aplicarla de acuerdo a sus realidades.

1.1.- EFECTOS DE LOS SISMOS EN LAS ESTRUCTURAS

Los sismos son sacudidas o movimientos bruscos del terreno generalmente producidos por disturbios tectónicos o volcánicos. Su origen se encuentra en la liberación de energía que se produce cuando los materiales del interior de la Tierra se desplazan, buscando el equilibrio, desde situaciones inestables que son consecuencia de las actividades volcánica y tectónica, que se producen principalmente en los bordes de placa.



Figura 1.1. Edificio Calypso, sismo de Bahía de Caráquez

Los sismos producen daños al interactuar con las construcciones vulnerables hechas por el hombre.

Para entender el problema de la vulnerabilidad de las construcciones, hay que tener en claro que un sismo es un movimiento que se aplica en la base de las mismas y que induce deformaciones que la estructura en su conjunto y cada una de sus partes debe ser capaz de soportar sin desplomarse. Es ésta la

filosofía básica que persiguen los códigos de la construcción, cuya prioridad es salvaguardar las vidas humanas. Esta capacidad de deformación produce daños en las construcciones, sin embargo, estos daños son aceptables siempre que no conduzcan a desplomes totales o parciales como pudimos observar en la figura 1.1.

Se aceptan daños mínimos ya que existen otras acciones sobre las construcciones además de la sísmica, tales como, el peso propio, el viento, la nieve. Nadie puede admitir que ante estas acciones la construcción se dañe. Si una construcción tiene que soportar su peso propio, no puede ser admisible que aparezcan grandes deformaciones con grietas importantes que hagan que la estructura, aunque no se desplome, no cumpla su función. Tampoco se aceptaría este panorama para la acción del viento.

En caso de terremotos severos se aceptan daños porque mientras el peso propio actúa permanentemente durante la vida útil de la construcción, el terremoto sólo lo hace excepcionalmente, siendo posible incluso, que una construcción nunca lo soporte durante su vida útil. De esta manera, no permitir deformaciones permanentes significaría tener que hacer construcciones muchísimo más resistentes que las actuales, (5 a 6 veces más) que serían costosas transformándose en verdaderos búnkers, a todas luces innecesarios.

La vulnerabilidad no depende de la antigüedad de la construcción, ni del material ya que no siempre se las diseña resistente al sismo. Es necesario dotarla de la capacidad suficiente para soportar, sin colapso, aunque con daños, los efectos de un terremoto.

Debido al crecimiento de centros altamente poblados y al incremento de construcciones vulnerables, los terremotos devienen en tremendas catástrofes, con un saldo de pérdidas humanas y económicas.

Si bien los sismos no se pueden predecir si pueden prevenirse sus efectos, siendo necesario que las construcciones no sean vulnerables, es decir, que se proyecten y construyan de acuerdo con los Códigos de Diseño que establece cada país.

Los parámetros que permiten estudiar las características de los sismos y su efecto en las estructuras, son: el desplazamiento, la velocidad, la aceleración, la energía liberada, etc., todos en función del tiempo (pues es un efecto dinámico)

Las fuerzas sísmicas horizontales son las principales responsables de los daños en las estructuras, y tienden a volcar los edificios; las fuerzas sísmicas verticales afectan fundamentalmente a partes estructurales en voladizo, tales como aleros y balcones.

1.2.-SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA LA ABSORCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS

Existen varias alternativas tradicionales que se han planteado para la absorción de fuerzas sísmicas, dentro de las cuales se consideran las más importantes:

1.2.1. Rigidización

1.2.2. Reforzamiento de Elementos

1.2.3. Complementos de la Cimentación

1.2.1. RIGIDIZACIÓN

Esta solución estructural permite disminuir desplazamientos y aumentar la ductilidad en los elementos, son elementos rigidizadores:

- Muros Pantalla (Fig 1.2.)
- Contrafuertes Exteriores
- Diagonales
- Pórticos Adicionales
- Incremento de Sección de Vigas



Figura 1.2. Muros Pantalla

1.2.2. REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS

Se refuerzan los elementos con la finalidad de incrementar la resistencia y la ductilidad en la estructura como se muestra en la figura 1.3

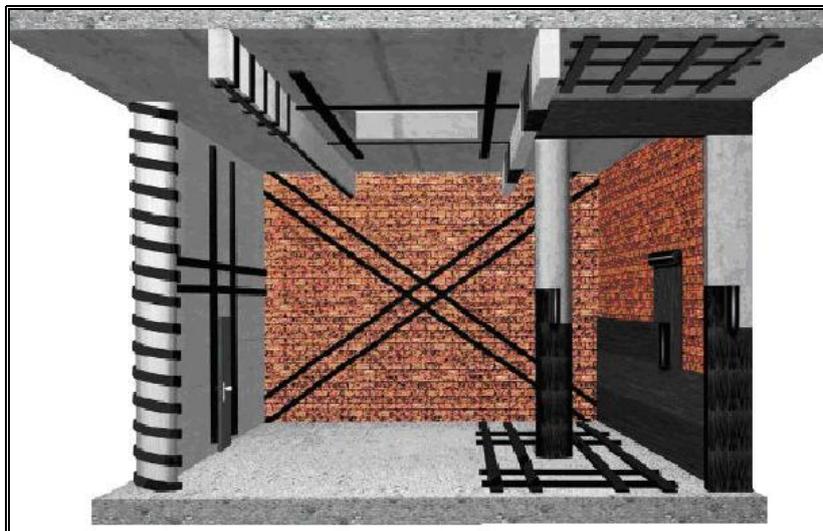


Figura 1.3. Reforzamiento de estructuras de concreto con láminas sintéticas reforzadas con fibras de carbono

1.2.3. COMPLEMENTOS DE LA CIMENTACIÓN

Se la realiza por el incremento de cargas verticales o por modificación del sistema de transmisión de cargas a la cimentación.

1.3.- SISTEMAS MECÁNICOS DE AISLAMIENTO Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Para disipar energía se introducen dispositivos especiales en una estructura, con el fin de reducir las deformaciones y esfuerzos sobre ella.

Estos dispositivos reducen la demanda de deformación y esfuerzos producidos por el sismo mediante el aumento del amortiguamiento estructural y la disipación de energía fuera de la estructura base. Como resultado los esfuerzos inducidos por el sismo en la estructura pueden ser hasta un 90% menores que los correspondientes a la estructura sin disipadores, reduciendo sustancialmente las incursiones inelásticas (daño) de la estructura.

1.3.1. AISLAMIENTO DE BASE

La aislación sísmica de base se sustenta en la idea de aislar una estructura del suelo mediante elementos estructurales que reducen el efecto de los sismos sobre la estructura. Estos elementos estructurales se denominan aisladores sísmicos y son dispositivos que absorben mediante deformaciones elevadas la energía que un terremoto transmite a una estructura. Al utilizar estos elementos, la estructura sufre un cambio en la forma como se mueve

durante un sismo y una reducción importante de las fuerzas que actúan sobre ella durante un sismo.

Existen dos tipos básicos de aislamiento: el que se caracteriza por el uso de cojinetes elastoméricos y el sistema deslizante.

1.3.1.1. AISLADORES ELASTOMÉRICOS

Cuando se los emplea, el edificio o la estructura se desacopla de los componentes horizontales del movimiento de tierra del terremoto interponiendo una capa con rigidez horizontal baja entre la estructura y la cimentación. Esta capa da a la estructura un periodo fundamental que es mucho más alta que su periodo de la base fija y también disminuyen las frecuencias predominantes del movimiento de tierra. El primer modo dinámico de la estructura aislada implica la deformación solamente en el sistema del aislamiento. Los modos más altos que producirán la deformación en la estructura son ortogonales al primer modo y por lo tanto también al movimiento de tierra. El sistema del aislamiento absorbe la energía del terremoto y la desvía con la dinámica del sistema. Este tipo de aislamiento trabaja cuando el sistema es lineal y aun cuando está sin amortiguación; sin embargo, algo que amortigua es beneficioso para suprimir cualquier resonancia posible en la frecuencia del aislamiento.

1.3.1.1.1. Sistema LBR

Lead Rubber Bearing (LBR) o Apoyos de Goma con núcleo de Plomo son cojinetes de goma laminado con un núcleo de plomo abajo de su centro como se aprecia en la figura 1.4. El goma del cojinete laminado de acero se diseña para llevar el peso de la estructura y proporcionar elasticidad. La base del plomo le da la deformación en el rango plástico. Su tamaño se puede

seleccionar para producir la cantidad requerida de amortiguamiento. El cojinete debe ser suficientemente rígido para poder llevar cargas verticales y cargas laterales pequeñas sin ocurrir excesivas deformaciones. De hecho, las cargas laterales pequeñas (menos que la aceleración de tierra 0.1g) con aisladores y las estructuras de base fija deben exhibir comportamiento muy similar. El tamaño del núcleo del plomo es proporcional a la fuerza de la producción del aislador. La rigidez de post-rendimiento es proporcional a la rigidez del goma del aislador, y aumenta con el tamaño del cojinete.

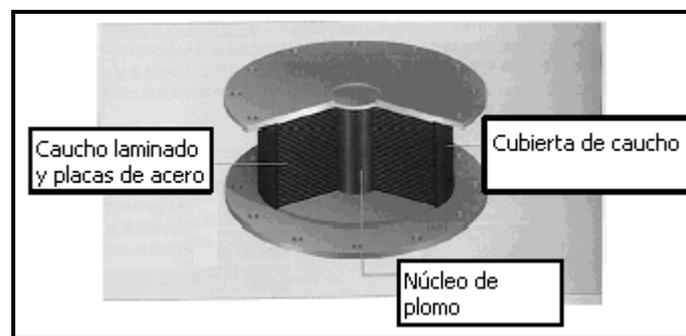


Figura 1.4. Aislador con Núcleo de Plomo

1.3.1.1.2. Sistema HDRB

El cojinete de goma de alto amortiguamiento (High-dumping rubber bearing HDRB) está formado por un conjunto de láminas de goma intercaladas con placas metálicas (ver figura 1.5.) que se vulcanizan para formar una sola unidad integrada. Una placa se emperna con seguridad o se une de otra manera a una columna que extiende sobre la cimentación o directamente a la fundación del edificio, mientras que la placa opuesta se la une a la columna vertical.

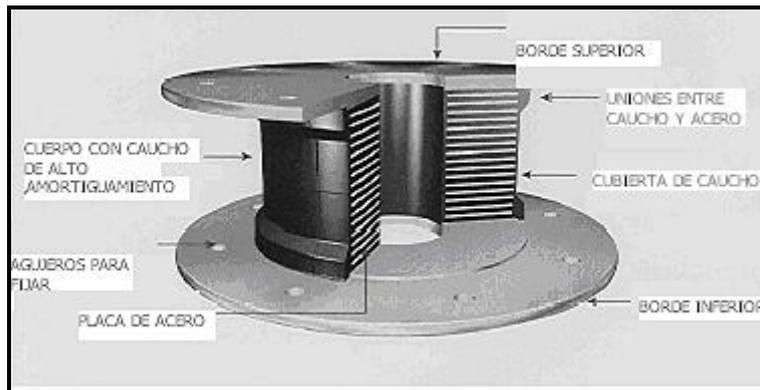


Figura 1.5. Aislador de Goma de Alto Amortiguamiento

1.3.1.1.3. Sistema NRB

Los apoyos de goma natural (Natural Rubber Bearing NRB) soportan la carga vertical de la gravedad de la estructura. El goma natural proporciona un aislamiento de vibración superior sin la degradación de características físicas en un cierto plazo. Los cojinetes de goma natural han estado en el uso continuo para la mitigación de la vibración en las líneas de tránsito de trenes y en otros usos por más de 30 años sin la degradación de las características mecánicas/estructurales. En la figura 1.6. podemos ver los apoyos de goma natural.



Figura 1.6. Aislador de Goma natural

1.3.1.2. AISLADORES DESLIZANTES

Se han propuesto muchos sistemas deslizantes y se han utilizado algunos. Un tipo de aislamiento contiene una placa de bronce que resbala en el acero inoxidable con un amortiguador elastomérico.

El sistema de fricción-péndulo es un sistema que usa un material diedro especial que resbala en el acero inoxidable y se ha utilizado para varios proyectos en los Estados Unidos, nuevos y de remodelación.

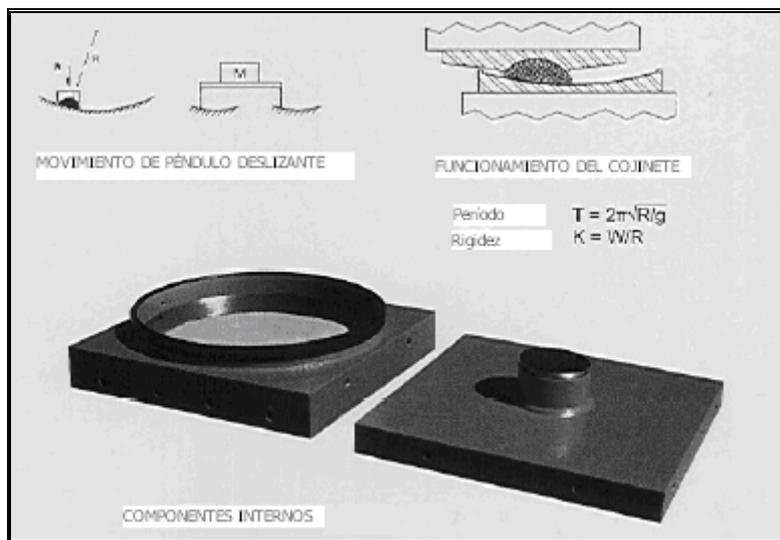


Figura 1.7. Sistema de Fricción - Péndulo

1.3.2. DISIPACIÓN DE ENERGÍA

La disipación de energía se basa en la idea de colocar en la estructura dispositivos destinados a aumentar la capacidad de perder energía de una estructura durante un terremoto. Toda estructura disipa o elimina la energía de un sismo mediante deformaciones. Al colocar un dispositivo de disipación de energía en una estructura, estos van a experimentar fuertes deformaciones con los movimientos de la estructura durante un sismo. Mediante estas fuertes deformaciones se incrementa notablemente la capacidad de disipar energía de la estructura con una reducción de las deformaciones de la estructura base.

Estos dispositivos se conocen como disipadores de energía o amortiguadores sísmicos y pueden ser de diversas formas y principios de operación. Los más conocidos son en base a un elemento viscoso que se deforma o con un elemento metálico que logra la fluencia fácilmente.

1.4. Aisladores Sísmicos de Base en Estados Unidos

El Centro de Leyes y Justicia de las Comunidades de la Colina (FCLJC) fue el primer edificio construido usando aisladores de base, este edificio es un centro de servicios legales para el Condado de San Bernardino, localizado en la ciudad del Rancho Cucamonga, ubicado a 97 km al Este de la ciudad de Los Angeles. No solo fue el primer edificio con aislamiento en la base, sino también el primero en el mundo que usó cojinetes hechos de goma natural de alto amortiguamiento. El FCLJC fue diseñado con aisladores de goma bajo los requerimientos del Condado de San Bernardino. El edificio se encuentra a solo 21 km de la falla de San Andrés, que tiene la capacidad de generar sismos de larga duración. Lo que ha ocasionado que el Condado durante muchos años cree programas de preparación para los sismos en Estados Unidos.

El edificio, aproximadamente tiene un área de 15794 m² y es de cuatro pisos de alto, con una cimentación completa, fue diseñado con un sismo de 8.3 de magnitud, 98 cojinetes fueron utilizados para asilar el edificio. La construcción de este edificio se inició a comienzos de 1984 y fue completada a mediados de 1985 con un costo de \$38 millones.

Cuatro componentes de goma natural de alto amortiguamiento fueron desarrollados por la Asociación de Productores de Goma de Malasia (MRPRA) del Reino Unido para este edificio. Los aisladores fueron hechos de una goma natural altamente empastada con propiedades mecánicas que lo hacen ideal para un sistema de aislamiento. La rigidez del cortante es alta con esfuerzos pequeños pero decrece por un factor de 4 o 5 según el esfuerzo incrementa, desarrollando un valor mínimo de 50% cortante esfuerzo.

Para esfuerzos mayores al 100%, la rigidez empieza a incrementarse de nuevo. Así, para cargas pequeñas producidas por viento o sismos de baja intensidad el sistema tiene una alta rigidez horizontal y un periodo corto.



Figura 1.8. Centro de Leyes y Justicia de las Comunidades de la Colina (FCLJC)

El mismo sistema con goma de alto amortiguamiento fue adoptado para un edificio en el condado de Los Angeles, el Cuerpo de Bomberos y Facilidades de Control (FCCF). Este edificio requería un sistema de computadoras y comunicaciones para los servicios del programa de emergencias de incendios del condado y se necesitaba que permanezca funcional durante y después un sismo extremo. Este edificio posee aislamiento basado en la comparación de los esquemas convencionales y con aislamiento diseñado para brindar el mismo grado de protección. Sobre esta base el aislamiento diseñado se estimó con un costo 6% menor que el diseño convencional. Para más proyectos un

sistema de aislamiento diseñado generalmente cuesta alrededor del 5% más cuando se compara con un diseño convencional del código, sin embargo el diseño del código provee un mínimo nivel de protección contra grandes movimientos sísmicos, garantizando solo que el edificio no colapse, no lo protege del daño estructural. Cuando los niveles equivalentes del desarrollo del diseño son comparados, un edificio aislado tiene una mayor relación costo-efectiva. Adicionalmente existe el costo primario cuando contemplamos un sistema estructural y no una relación ciclo de vida – costo, donde son también más favorables cuando un sistema de aislamiento es usado como una comparación a una construcción convencional.

Otro ejemplo de aislamiento en la base que ha sido construido para el condado de Los Ángeles es el Centro de Operaciones de Emergencia (EOC). Es un edificio de 2 pisos y su estructura fue aislada usando 28 cojinetes de goma natural de alto amortiguamiento



Figura 1.9. Centro de Operaciones de Emergencia (EOC)

Otro centro de emergencia construido con aisladores en la base es el Centro de Manejo del Tráfico para Caltrans en Kearny Mesa, California, cerca de San Diego. La superestructura tiene un marco de acero con paneles apoyados concéntricamente en el perímetro. El sistema de aislamiento consiste en cuarenta aisladores de goma natural de alto amortiguamiento de 600 mm

de diámetro. El periodo nominal de aislamiento es alrededor de 2.5 segundos, y el desplazamiento MCE del aislador es de alrededor 254 mm.

El M.L. King/ C.R. Drew Diagnostics Trauma Center en Willowbrook, fue construido para el Condado de Los Angeles, es un edificio de cinco pisos con un área de 13000 m², la estructura está soportada por 70 cojinetes de goma natural de alto amortiguamiento y 12 soportes deslizantes con platos de bronce que se desplazan sobre una superficie de hierro, fue concluido en 1995 y se encuentra ubicado a 5 km de la Falla de Newport- Inglewood que es capaz de generar sismos con una intensidad de 7.5. Los aisladores tienen 1.0 m de diámetro y en ese entonces eran los más grandes fabricados en Estados Unidos.

Fuera de California también se han hecho grandes proyectos de aislamiento, un ejemplo claro es el Instalaciones para la Creación de Simulador de Vuelo creado con el propósito de aislar el sistema para proteger los inventos de los sistemas de computadoras en la instalación, cuyo valor sobrepasa los cien millones de dólares. Este edificio de cuatro pisos y con un área de 10800 m² se localiza muy cerca de la Falla de Wastach, que tiene una capacidad de generar sismos de magnitudes de 7.0 – 7.5 con un largo periodo de retorno. Existen 98 aisladores en la estructura, 50 de los cojinetes son cuadrados de 460 mm con un diámetro de 90 mm del núcleo de plomo, y están localizados bajo las columnas que soportan momentos resistentes, los 48 aisladores restantes son de 380 mm y se ubican bajo las columnas a gravedad, el desplazamiento estimado requerido para el sistema fue 230 mm en un periodo nominal de 2.0 segundos.

Hay más edificios que han sido reforzados usando aislamiento en la base, el reforzamiento de Oakland City Hall fue completado en 1995 y el de San Francisco City Hall empezó en 1995, ambos edificios fueron dañados en 1989 por el sismo de Loma Prieta.

Oakland City Hall fue construido en 1914, siendo en ese entonces el edificio más alto en la costa oeste, su altura fue superada por Los Angeles City Hall construido en 1928, el Oakland City Hall es actualmente el edificio más alto en el mundo que se ha construido usando 110 aisladores de base de diámetros desde 737 a 940 mm hasta que se concluya la rehabilitación sísmica de Los Angeles City Hall.

El San Francisco City Hall fue diseñado en 1912 para reemplazar la estructura anterior que fue destruida en 1906 por el terremoto de San Francisco. Constituye un ejemplo de la arquitectura clásica y es considerado en el Registro Nacional de Lugares Históricos, es de cinco pisos y se vio afectado por el sismo de Loma Prieta en 1989 necesitando una reparación extensiva y reforzamiento sísmico. La estrategia utilizada fue un esquema de aislamiento en la base con un reforzamiento en la superestructura usando muros de corte y su principal objetivo es preservar la construcción histórica del edificio, el plano del aislamiento se encuentra sobre la cimentación existente, se usaron 530 cojinetes con núcleo de plomo.

Los Angeles City Hall es un edificio de 28 pisos con estructura de acero, construido en 1928, con un área de 83000 m², se vio afectado en 1994 por el sismo de Northridge, siendo los más afectados el vigésimo quinto y vigésimo sextos pisos, por sus características de pisos blandos, se usaron 475

aisladores de goma de alto amortiguamiento para el esquema de reforzamiento que alcanzó un costo estimado de 150 millones de dólares.

Es posible combinar los métodos de reforzamiento de varias formas, por ejemplo, los cojinetes deslizantes se pueden usar con aisladores elastoméricos.

Usando deslizantes se produce un sistema con un largo periodo: los cojinetes de goma controlan el desplazamiento y la torsión y en caso de que los desplazamientos excedan los niveles de diseño le proporcionan rigidez, esta combinación de aisladores deslizantes y elastoméricos fue usada en 1992 en la rehabilitación de la Escuela Mackay de Minas de la Universidad de Nevada en Reno.

1.5. Aisladores Sísmicos de Base en Japón

Japón es uno de los países para los cuales el diseño sísmico es prioridad, y han desarrollado gran cantidad de mecanismos para la protección sísmica, incluyendo aisladores de base.

El uso de aislamiento para resistir sismos es muy activo en Japón con la terminación en 1986 del primer edificio moderno con aislamiento en la base y el incremento a aproximadamente una construcción de 10 edificios aislados por año durante 1990 y 1991, de tal manera que en Enero de 1995 cuando ocurrió el terremoto de Kobe, este número alcanzó a alrededor de 80.

Se debe construir bajo la aprobación del Ministerio de Construcción y se han realizado comparaciones con estructuras no aisladas, siendo la respuesta de las estructuras aisladas muy favorable. Los sistemas más comúnmente usados

son los aisladores con núcleo de plomo y los aisladores de goma natural de alto amortiguamiento.

El edificio con aislamiento en la base más grande en Japón es el Centro Postal del Oeste de Japón, ubicado en Sanda perteneciente a Kobe, es de seis pisos con un área de 47000 m², su estructura está soportada en 120 aisladores elastoméricos, posee un periodo de aislamiento de 3.9 segundos y se ubica a 30 km desde el epicentro del terremoto de Hyogo-Ken Nanbu (Kobe) y experimentó un severo movimiento de tierras en aquel sismo. El desplazamiento estimado del aislador es de aproximadamente 12 cm.



Figura 1.10. Centro Postal del Oeste de Japón

Un pequeño edificio con aisladores de alto amortiguamiento es el Instituto de Desarrollo Técnico Matsumura-Gumi se vio también afectado por el terremoto de Kobe y presentó un comportamiento satisfactorio similar al anterior.

Según el Ministerio de Construcción hasta Marzo de 1997 estaban registrados 393 edificios, se proyectaban 200 más por año. De los 393 proyectos, 228 son edificios para vivienda, 84 son para oficinas, 31 para hospitales y 22 edificios gubernamentales, sin contar los proyectos de reforzamiento.

1.6. Aisladores Sísmicos de Base en Europa

Italia es el país más preocupado por el estudio del aislamiento de base bajo el auspicio del Grupo de Trabajo de Aislamiento Sísmico (GLIS), que es el

organismo encargado de preparar guías de diseño para los sistemas de aislamiento, uno de estos ejemplos es el Centro de Administración de la Compañía Nacional de Telefonía un complejo de cinco edificios de siete pisos en Ancona, además como proyecto de demostración fue concluido en Squillace, Calabria una casa de apartamentos de cuatro pisos. El Ministerio de Defensa también se construye bajo este concepto.

En la villa de Frigento al sur de Italia se ha desarrollado un programa piloto para reforzar los edificios históricos como la Iglesia de San Pedro en la que se usaron cojinetes de goma de alto amortiguamiento

1.7. Aislamiento sísmico de base en Nueva Zelanda

El primer edificio base- aislado en Nueva Zelanda fue el Edificio William Clayton en Wellington, concluido en 1981, este fue el primer edificio en el mundo en usar cojinetes de goma con núcleo de plomo para aislar la estructura. Desde que fue terminado, tres otros edificios con aislamiento en la base han sido construidos en Nueva Zelanda, dos de estas estructuras (Union House en Auckland y la Estación Central de Policía de Wellington) son aislados utilizando acercamientos de pilas envueltas. El Union House es un edificio de 12 pisos de concreto reforzado, el control del desplazamiento está dado por un sistema adicional de amortiguamiento basado en la deformación elasto-plástica de los platos de acero suave.



Figura 1.11. Union House

La Estación Central de Policía de Wellington es un edificio de 10 pisos con una estructura de concreto reforzado, el control del desplazamiento se lo realizó con amortiguadores de plomo extrusión. El Museo Nacional de Nueva Zelanda en Wellington fue recientemente terminado, es una estructura aislada con 142 cojinetes con núcleo de plomo y 36 almohadillas de teflón para los muros de corte.

Otro notable edificio aislado es la Casa del Parlamento de Nueva Zelanda. Recientemente restaurado usando aislamiento aunque su estructura original data del año 192, este edificio y otro más fueron aislados usando más de 514 cojinetes de goma con núcleo de plomo.

Un proyecto inusual de aislamiento es una imprenta, es un edificio localizado en Petone, cerca de Wellington. Este edificio ha sido construido con aisladores sísmicos de base con núcleo de plomo, donde el propósito del sistema de aislamiento es proteger las prensas que son equipos muy largos y frágiles. Las prensas son hechas de moldes de hierro y su peso es equivalente a un edificio

de 4 pisos. La estructura del edificio rodea y esta conectada a las prensas, y todo el sistema está aislada en la base (James Nelly, 2001).

1.8. Aislamiento sísmico en nuestros días

El desafío de los últimos avances es la investigación del aislamiento de base, la extensa aplicación de esta tecnología es todavía impedida por las actitudes conservacionistas. Por ejemplo: en Estados Unidos, el número de requisitos burocráticos que un ingeniero debe satisfacer con el objeto de aislar una estructura es demasiado alto.

A menos que los cojinetes lleguen a brindar comodidad con características certificadas y un procedimiento de diseño razonablemente simple y procedimientos de análisis que promuevan los beneficios del aislamiento sísmico. Esta tecnología permanecerá restringida a un par de edificios por año. Más importante, mientras las normativas del aislamiento de base están regidas por el UBC, los requerimientos son conservadores tanto que se pierden las ventajas potenciales de usar aislamiento en la base.

Algunos de los edificios con aislamiento en la base han experimentado sismos y su funcionamiento ha trabajado como se predijo. A excepción del Hospital de la Universidad USC en el sismo de Northridge en 1994, estos sismos tampoco han sido muy cercanos y pequeños o moderados y distantes, así que las aceleraciones experimentadas por las estructuras aisladas no han sido largas. Así como los aisladores son utilizados en zonas propensas a sismos en el mundo, los ingenieros pueden participar aprendiendo más sobre la capacidad

de las estructuras y así reducir los grados conservadores que actualmente se presentan para el diseño de estas estructuras.

Hasta eso es suficiente detallar los datos de respuesta de los edificios con aislamiento en la base para sismo mayores, el siguiente paso sería un alineamiento de los códigos para bases modificadas o estructuras aisladas con un código común basado en el nivel específico de peligrosidad sísmica y desarrollo estructural, pavimentando el camino para la aplicación costo-efectiva de esta nueva tecnología para ese tipo de edificios donde esto es prioridad.

Para todos los sistemas, el área más importante para el futuro desarrollo de la estabilidad larga-térmica de las características mecánicas del aislador puede mejorar el desarrollo de la inspección y revisión de ejemplos que han estado en servicio por algunos años. Los sistemas elastoméricos en forma de cojinetes de goma para puentes antisísmicos han sido usados por más de 30 años y han establecido récord de nivel de satisfacción. *Kelly J. 2001*

En América Latina, Chile es el país que ha utilizado en sus construcciones aisladores sísmicos de base, ya que desde hace algún tiempo se ha dedicado a la investigación de este sistema de disipación.

Una aplicación es un edificio habitacional que se aprecia en la Figura 1.12., sobre un conjunto de 6 aisladores de goma de alto amortiguamiento que lo conectan a los cimientos. Cada uno de estos aisladores está formado por un conjunto de láminas de goma intercaladas con placas metálicas.

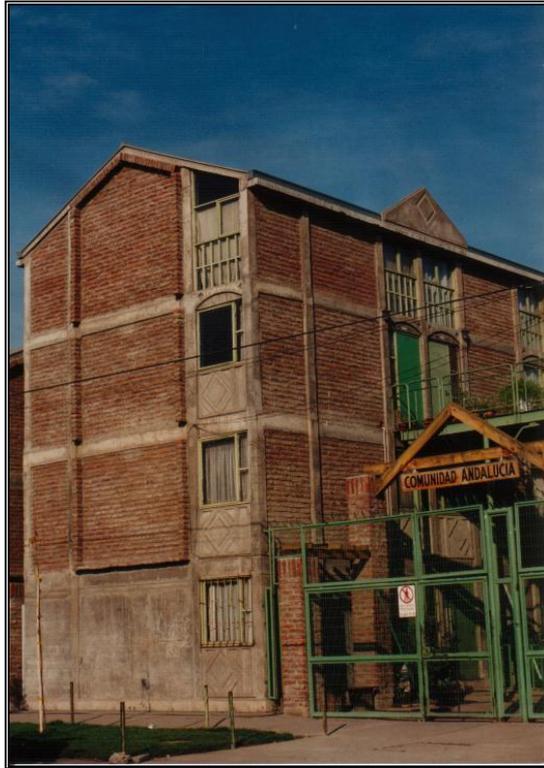


Figura 1.12. Edificio Comunidad de Andalucía

El puente Amolanas (Figura 1.13.) es el puente carretero más alto del país y se encuentra en el tramo La Serena-Los Vilos de la ruta 5 Norte. Presenta características singulares como la gran altura de sus pilas y un sistema de protección sísmica, formado por apoyos deslizantes sobre las cepas y amortiguadores viscoelásticos en los estribos que actúan longitudinalmente absorbiendo las vibraciones sísmicas.

Es un puente recto de sección continua de 268 m de longitud y con una altura de 100.6 m. En los estribos y cepas existen dos apoyos de neopreno en caja fija de acero con lámina de teflón para permitir el desplazamiento longitudinal, la cepa más alta sólo tiene apoyo de neopreno no permitiéndose el desplazamiento relativo entre la viga y la cepa. En ambos estribos hay dos amortiguadores viscoelásticos de 300 ton, desplazamiento máximo 200 mm y velocidad máxima de 1.2 m/s.

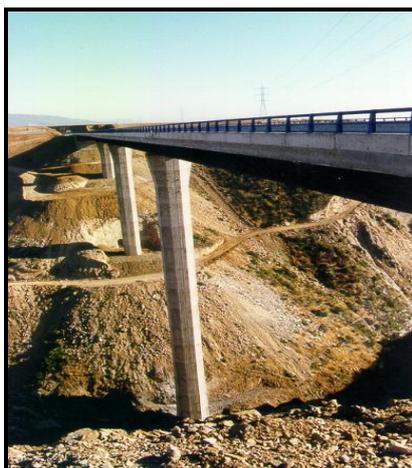


Figura 1.13. Puente Amolanas, Chile

1.9. Sismo de Northridge

El terremoto de Northridge ocurrió a las 4:31 a.m. del 17 de enero de 1994, registró una magnitud de 6.7 Mw. Su epicentro se ubicó en el Valle de San Fernando, a 1.5 kilómetros del campus de la Universidad del Estado de California, Northridge y a unos 32 kilómetros al noroeste del centro de Los Ángeles. El terremoto ocurrió 19 kilómetros bajo la superficie terrestre en una falla de corrimiento con una duración de 15 segundos.

El terremoto de Northridge fue el más destructivo desde el terremoto de San Francisco de 1906. Se estima que las pérdidas directas fueron por un total de \$25,700 millones; la mitad corresponde a casas con estructura de madera. Incluyendo los impactos económicos secundarios, se estima que las pérdidas fueron por un total de \$40,000 millones. A este terremoto se le atribuyen cincuenta y siete fatalidades y el noventa y 95% de los daños ocurrió en Los Ángeles y el 80 por ciento en el Valle de San Fernando. El terremoto ocasionó el derrumbe de siete puentes de autopistas y dañó a otros 250. Seis mil estructuras

comerciales e industriales y 4,000 edificios municipales, escuelas, universidades e instalaciones médicas también sufrieron daños.

El daño en los edificios residenciales fue considerable. Las construcciones bajas con estructura de madera fueron las que sufrieron la mayor cantidad de daños en el terremoto. Quince “pueblos fantasma”, vecindarios en los que el 90 por ciento de las viviendas fue dañado y abandonado, fueron creados por el temblor. Se destruyeron o fueron gravemente dañados 7,000 hogares de familia, 5,000 casas rodantes y aproximadamente 49,000 apartamentos. En total, casi 450,000 unidades (84% eran viviendas multifamiliares) fueron inspeccionadas y encontradas con daños. Un conteo total reveló que unas 300,000 viviendas unifamiliares sufrieron daños menores extensos.

Las estructuras más grandes y antiguas fueron las que más sufrieron. Los daños más graves fueron los que sufrieron aquellos edificios más antiguos con estructuras de cemento, incluidos el Kaiser Medical Building, el Northridge Fashion Mall y el estacionamiento de Cal State Northridge. Los daños menos visibles, pero igualmente importantes, fueron las conexiones soldadas en 100 edificios con estructuras de acero. El daño más frecuente fue el derrumbamiento de “primeros pisos blandos” en los edificios de apartamentos y condominios construidos sobre estacionamientos abiertos en plantas bajas.

El terremoto fue del mismo tamaño y ocurrió aproximadamente en el mismo lugar que el terremoto de San Fernando (Sylmar) de 1971. El terremoto de Northridge ocasionó muchos más daños físicos debido a la densidad de la urbanización en los veintitrés años en cuestión. No obstante, las muertes y las

lesiones fueron limitadas porque el temblor ocurrió temprano en la mañana de un día feriado, el cumpleaños de Martin Luther King Jr.

La prueba más severa a la que fue sometido un edificio con aislamiento sísmico hasta la fecha corresponde al hospital de docencia de la Universidad de Southern California. El edificio está ubicado a 36 km del epicentro del terremoto de Northridge, ocurrido en 1994 con una magnitud de 6.8 MW. Durante el terremoto el terreno bajo el edificio alcanzó una aceleración máxima de 0.49 g, mientras que las aceleraciones en el interior del edificio estuvieron entre 0.10 g y 0.13 g. Esto significa que la estructura fue aislada en forma efectiva de los movimientos del suelo, teniendo en cuenta que estos movimientos fueron lo suficientemente intensos como para provocar daños importantes en edificios adyacentes.

Referencias:

1. "Seismic Isolation", in *Earthquake Engineering, From Engineering Seismology to Performance Based Engineering*, Editado por Yousef Bozorgnia y Vitelmo Bertero, CRC Press. ISBN 0-8493-14399, (2004).
2. "Base Isolation: Origins and Development". *National Information Service for Earthquake Engineering (NISEE) Website*. Kelly, James M. 28 October, 1998. 25 March, 2004
<<http://nisee.berkeley.edu/lessons/kelly.html>>
3. "Natural Rubber Isolation Systems for Earthquake Protection of Low-Cost Buildings". Taniwangsa, Wendy; Clark, Peter W.; and Kelly, James M. Berkely: EERC, June 1996.

CAPÍTULO II

MÉTODOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO

RESUMEN

El Centro de Investigaciones Científicas ha estudiado a través del tiempo los métodos de análisis utilizando aisladores sísmicos de base, es así, que el Dr. Roberto Aguiar ha desarrollado programas para poder obtener datos como los desplazamientos en el primer y último piso y la comparación del desplazamiento del aislador y de la estructura.

Se hace una revisión del método de diseño presente en el código UBC 97 para aisladores sísmicos de base, ya que no hay ninguna normativa nacional para este tipo de estructuras.

2.1. MÉTODO CUASI-ESTÁTICO

El Método Cuasi-Estático es un método general que se emplea para el análisis de aisladores de base tanto en estructuras regulares como irregulares, cuando las estructuras son irregulares se analiza el acoplamiento lateral torsional en estructuras. En este método se sigue la metodología de De la Llera *et al* (2005) que analiza dinámicamente el sistema de aislamiento y estáticamente la superestructura.

Para explicar el modelo de cálculo vamos a emplear una estructura de dos pisos que se encuentra sobre aisladores

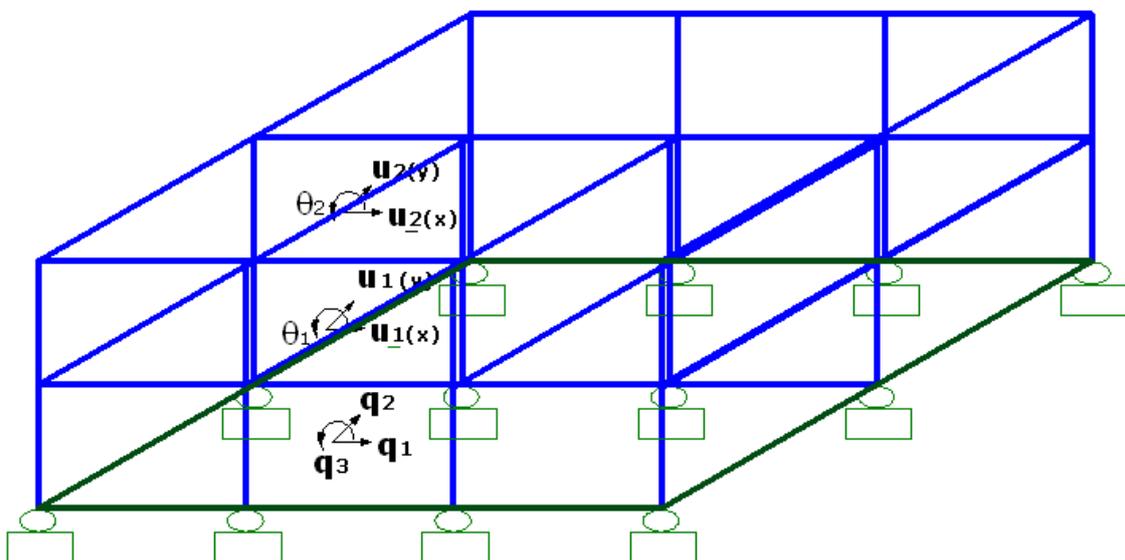


Figura 2.1. Estructura de dos pisos con sistema de aislamiento

Nótese que los grados de libertad se agrupan en dos vectores que son: para la superestructura u y para el sistema de aislamiento q .

$$q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$$

$$u = \begin{bmatrix} u_1^{(x)} \\ u_2^{(x)} \\ u_1^{(y)} \\ u_2^{(y)} \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix}$$

Donde:

q_1 = Movimiento en sentido x del sistema de aislamiento.

q_2 = Movimiento en sentido y del sistema de aislamiento.

q_3 = Rotación de piso con respecto a un eje perpendicular a la losa de cimentación.

$u_1^{(x)}$ = Desplazamiento horizontal en sentido x en el primer piso.

$u_2^{(x)}$ = Desplazamiento horizontal en sentido y en el segundo piso.

$u_1^{(y)}$ = Desplazamiento horizontal en sentido x en el primer piso.

$u_2^{(y)}$ = Desplazamiento horizontal en sentido y en el segundo piso.

θ_1 = Rotación en el primer piso.

θ_2 = Rotación en el segundo piso

Este modelo es sencillo pero nos servirá para explicar el marco teórico de este método de análisis, el sistema de ecuaciones que define al sistema de aislamiento de base, es:

$$\boxed{M^{(t)}\ddot{q} + C^{(b)}\dot{q} + k^{(b)}q = -M^{(t)}r^{(b)}\ddot{u}_g} \quad (2.1)$$

Donde:

$M^{(t)}$ = matriz de masa total de la estructura.

$\mathbf{C}^{(b)}$ = Amortiguamiento del sistema de aislamiento.

$\mathbf{k}^{(b)}$ = Rigidez del sistema de aislamiento.

$\ddot{\mathbf{u}}_g$ = Aceleración del suelo

$\mathbf{r}^{(b)}$ = Vector de colocación de la aceleración del suelo

\mathbf{q} = Vector de desplazamiento.

$\dot{\mathbf{q}}$ = Vector de velocidad.

$\ddot{\mathbf{q}}$ = Vector de aceleraciones.

En estos métodos se considera que la masa de la superestructura está rígidamente vinculada al aislamiento, por ello se calcula $M^{(b)}$ que es la suma de las masas de la superestructura y del aislamiento.

Una vez que se ha hallado las matrices $\mathbf{M}^{(t)}$, $\mathbf{C}^{(b)}$, $\mathbf{k}^{(b)}$ y $\mathbf{r}^{(b)}$ se recomienda usar el PEE (Procedimiento de Espacio de Estado) para hallar la respuesta en el tiempo.

De esta manera se ha hallado la respuesta dinámica del sistema de aislamiento, para encontrar la respuesta en forma estática de la superestructura empleamos las ecuaciones (2.2) y (2.3):

$$\boxed{\mathbf{F}^{(s)}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{M}^{(s)} \mathbf{r}^{(s)} \tilde{\mathbf{a}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})} \quad (2.2)$$

$$\boxed{\mathbf{K}^{(s)} \mathbf{u} = \mathbf{F}^{(s)}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})} \quad (2.3)$$

2.1.1. PROGRAMA CUASIESTÁTICO AISLAMIENTO

Se utilizó un programa CUASIESTATICO, AGUIAR (2007), se realizará el análisis sísmico ante el sismo de Bahía empleando la estructura con la que se trabajó en el marco teórico, que es la que se presenta en la figura 2.2.

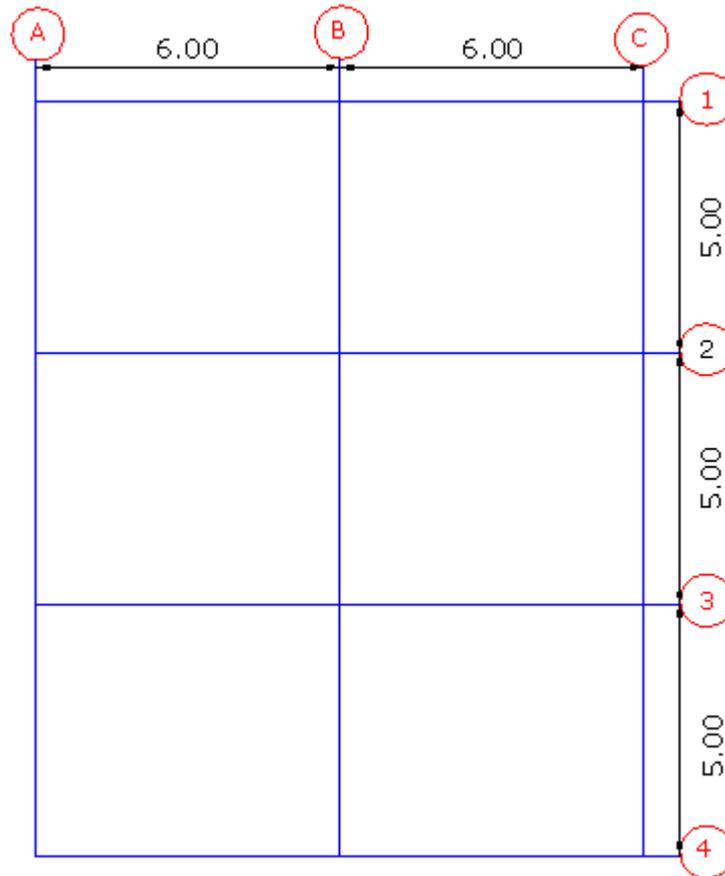


Figura 2.2. Vista en planta de la estructura

PÓRTICOS A-B-C:

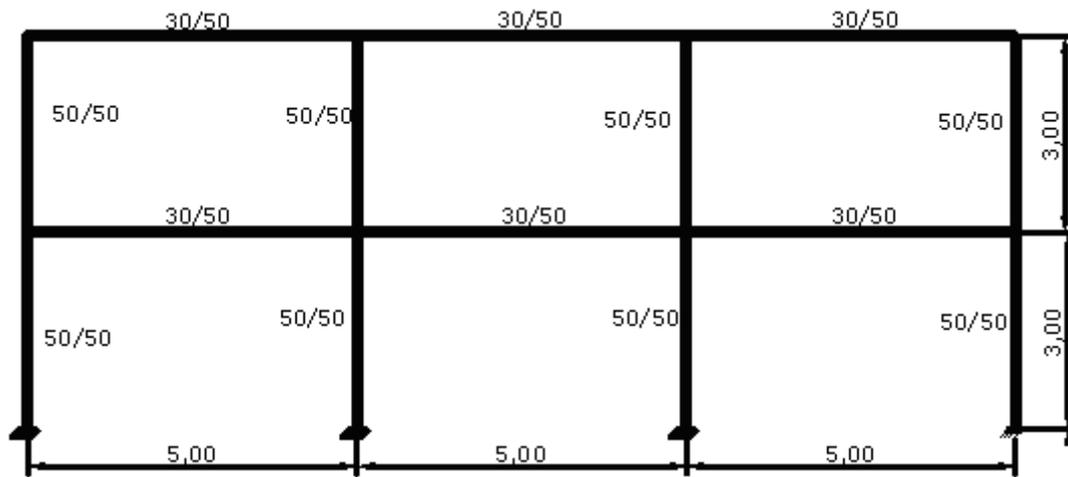


Figura 2.3. Características Geométricas de la Estructura de dos pisos, sentido x

PÓRTICOS 1-2-3-4:

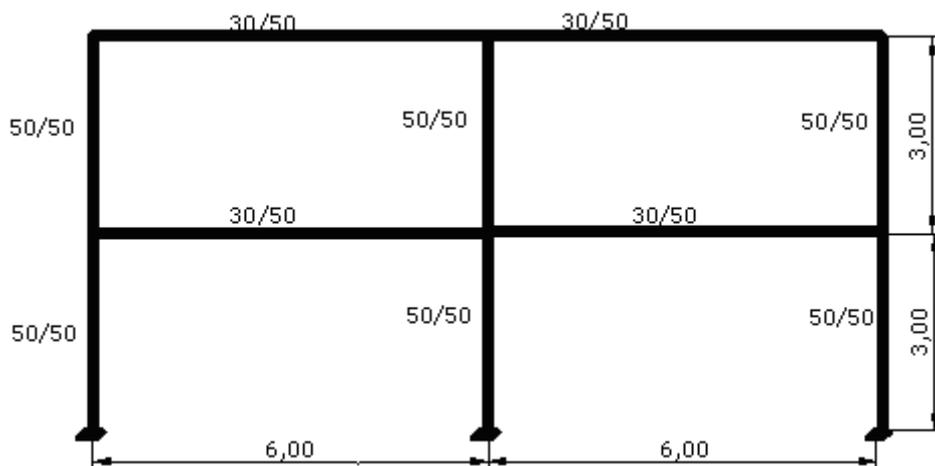


Figura 2.4. Características Geométricas de la Estructura de dos pisos, sentido y

Los datos de entrada para usar este programa son:

- Número de pisos del edificio (NP)
- Factor de amortiguamiento de los aisladores de base (Sedabase)
- Número de pórticos de la estructura en el sentido de análisis sísmico (iejes)
- Vector en el que se indica el peso total de cada uno de los pisos, desde el primer piso al último, debido a carga muerta D (PesoD)

- Vector en el que se indica el peso de cada planta debido al porcentaje de carga viva L , que se considera en el análisis de acuerdo al uso de la estructura (PesoL).
- Matriz que contiene las matrices de rigidez lateral de cada uno de los pórticos de la estructura (KLG)
- Vector que contiene la distancia desde el Centro de Masas a cada pórtico, con signo. Se da un solo dato por pórtico debido a que el programa (r)
- Archivo que contiene el acelerograma del sismo que se analiza. Este archivo tiene una sola columna y el número de filas es igual al número de puntos del sismo. Se recomienda que esté en m/s^2 . (sismo)
- Incremento de tiempo del acelerograma. La respuesta en el tiempo de la estructura se la obtiene para este incremento de tiempo (dt)

Se deben considerar las áreas que afectan a cada uno de las columnas, que son las que se muestran en la figura, ya que de acuerdo a ello se le asignará las dimensiones al aislador.

Para el sentido y:

Tabla 2.2. Datos de entrada programa RLAXINFI AGUIAR (2007) sentido y

0.50	0.50	3.00
0.50	0.50	3.00
0.50	0.50	3.00
0.50	0.50	3.00
0.50	0.50	3.00
0.50	0.50	3.00
0.30	0.50	6.00
0.30	0.50	6.00
0.30	0.50	6.00
0.30	0.50	6.00

Se obtuvo las siguientes matrices de rigidez con el programa RLAXINFI AGUIAR (2007) considerando inercias gruesas:

- **EDIFICIO DE DOS PISOS:**

Sentido x:

$$KL = \begin{bmatrix} 24937 & -10172 \\ -10172 & 6916.6 \end{bmatrix}$$

Sentido y:

$$KL = \begin{bmatrix} 17958 & -7102.3 \\ -7102.3 & 4570.2 \end{bmatrix}$$

En el aislador se ha considerado un factor de amortiguamiento ξ del 16%, es decir 0,16; el número de pórticos: para x = 4 y para y = 3; el Peso D y el Peso L se calculan por piso, considerando la carga muerta total:

Tabla 2.3. Carga Muerta por Piso

EDIFICIO DOS PISOS		
PISO	Carga Muerta	W
Piso 1	106,92	0,594
Piso 2	96,12	0,534
		1,13

Se calcula la masa que actúa sobre cada aislador que será el peso total (W) debido a carga muerta más porcentaje de carga viva por el área cooperante dividida para la aceleración de la gravedad:

$$m = \frac{W_T * \text{área.cooperante}}{9.81} \quad (2.4)$$

Se considera un aislador bajo cada columna, su distribución se indica en la figura 2.6.:

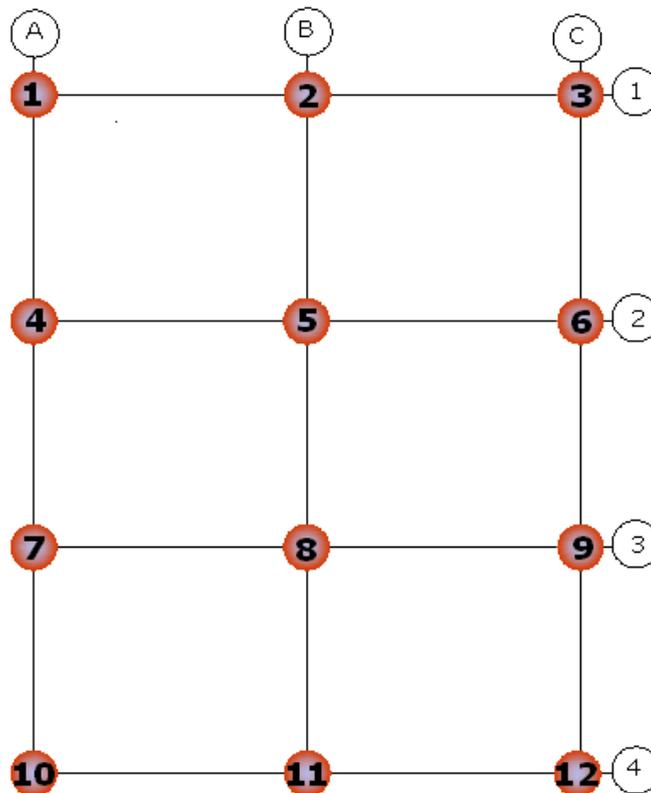


Figura 2.6. Distribución de aisladores, vista en planta

Es necesario realizar un prediseño para conocer la rigideces y masas ya que estos datos son necesarios en el programa. En la tabla 2.4 se indican las propiedades de los aisladores:

Tabla 2.4. Predimensionamiento

PREDIMENSIONAMIENTO										
Ubicación	ϕ (m)	Wt (T/m)	Area (m ²)	m (T)	G (T/m ²)	Σt (m)	A_{ais} (m ²)	m_{cim} (T)	m_{ais} (T)	k (T/m)
1-3-10-12	0,60	1,13	7,5	0,86	50	0,25	0,28	1,10	0,009	56,55
2-4-6-7-9-11	0,60	1,13	15	1,72	50	0,25	0,28	1,10	0,009	56,55
5-8	0,60	1,13	30	3,45	50	0,25	0,28	1,10	0,009	56,55

Tabla 2.5. Frecuencias y Períodos

MODOS DE VIBRAR	FRECUENCIA W_n (seg)	PERÍODO T (seg)
MODO 1	5,36	1,173
MODO 2	4,47	1,407
MODO 3	3,52	1,784

La masa de los aisladores es igual a:

$$m_{ais} = \frac{Vol * \gamma_{neopreno}}{9.81} \quad (2.5)$$

Se ha considerado el peso específico del neopreno $\gamma_{neopreno} = 1.23 \text{ T/m}^3$

Para calcular el período es necesario conocer la frecuencia (W_n), para lo cual se aplica la fórmula:

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{(m + m_{ais})}} \quad (2.6)$$

El vector r será:

$$r = \begin{bmatrix} -7.5 \\ -2.5 \\ 2.5 \\ 7.5 \end{bmatrix} \text{ Para el sentido } x$$

$$r = \begin{bmatrix} -6 \\ 0 \\ 6 \end{bmatrix} \text{ Para el sentido } y$$

Para cargar el sismo se usa el comando *load* seguido del nombre del archivo así:

`>> load 1S1.04G`

Se trabajó con el sismo sintético normado para 0.4 de la gravedad, al que le corresponde el acelerograma que se indica en la figura 2.3.

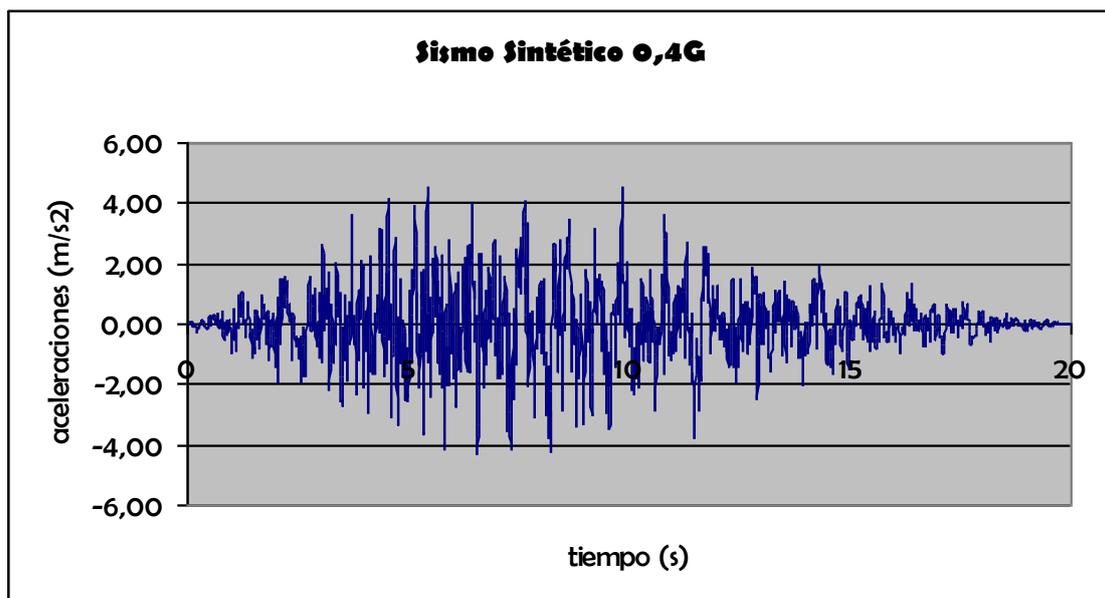


Figura 2.7. Acelerograma Sismo Sintético 0.4G

La instrucción del programa se da:

`[NP]=cuasiesticoaislamiento(NP,Sedabase,iejes,PesoD,PesoL,KLG,r,Sismo,dt)`

Una vez que se tienen todos los datos se corre el programa y se empieza a ingresar cada una de las opciones a medida que sigue pidiendo según el código que se ha establecido.

Los resultados que se obtuvieron se presentan a continuación:

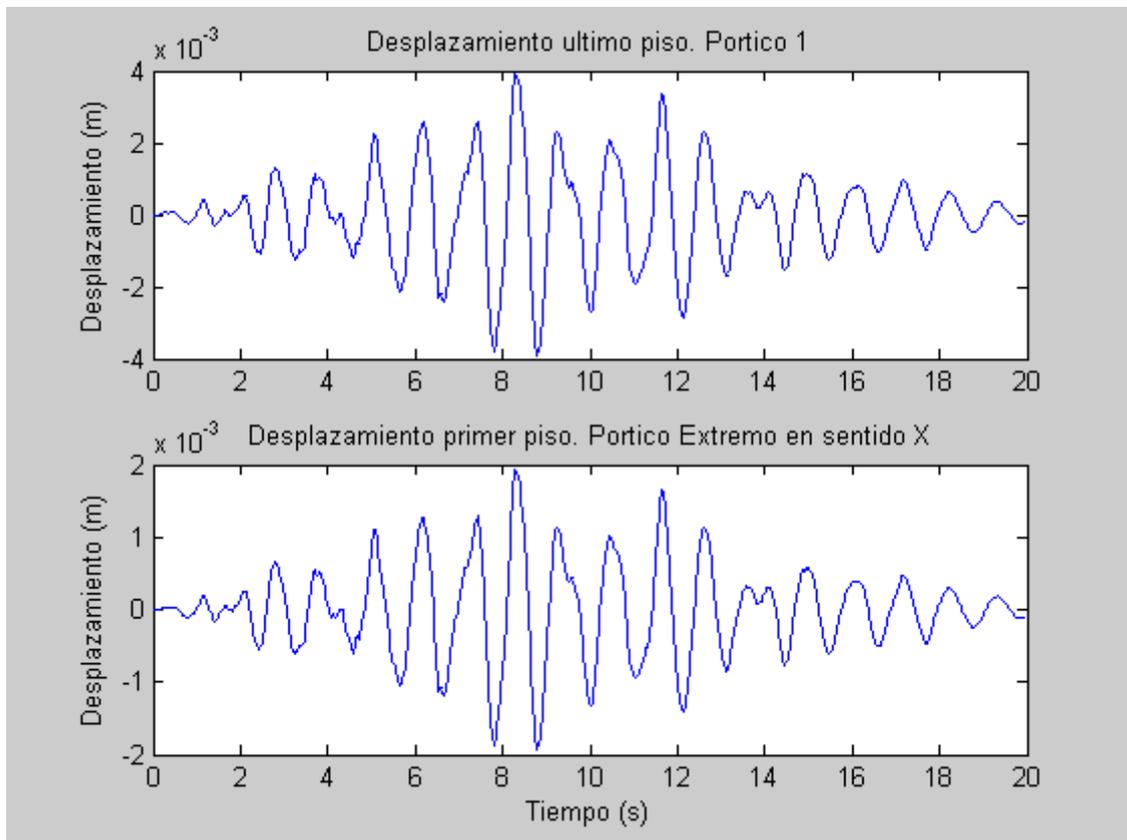


Figura 2.8. Desplazamientos obtenidos en sentido X del primer y último piso de superestructura.

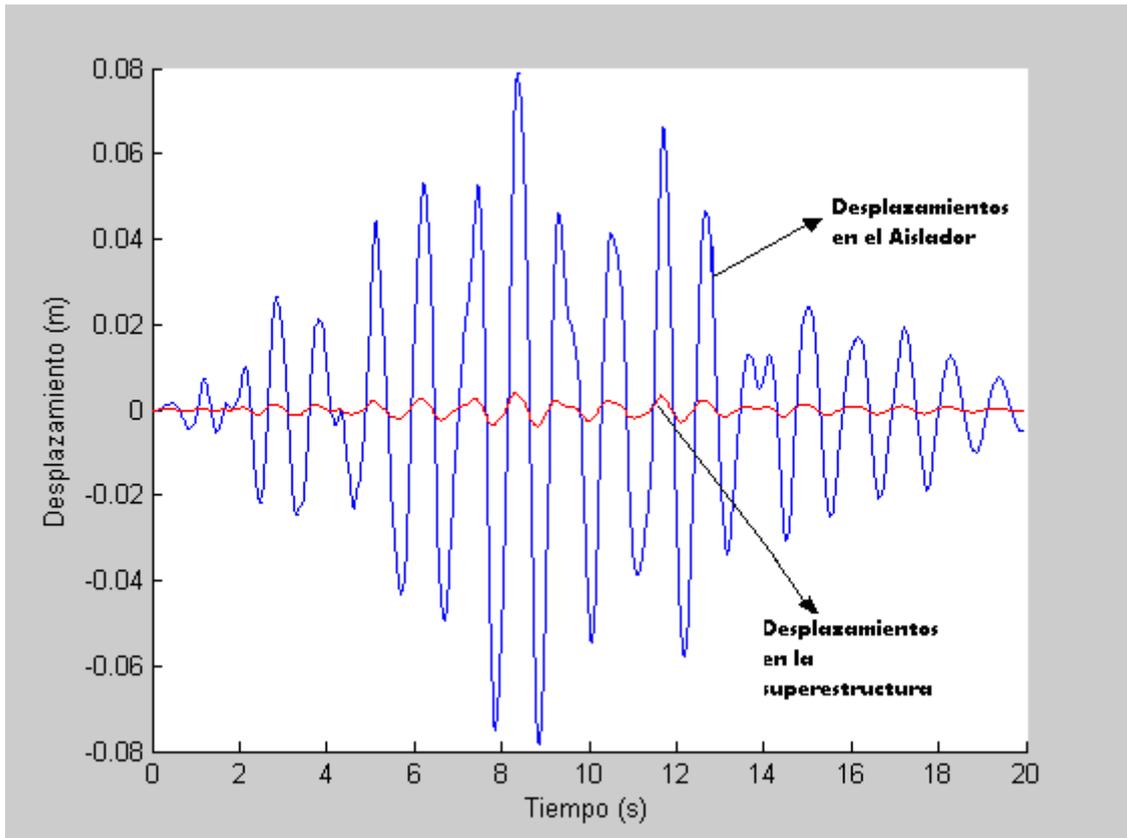


Figura 2.9. Desplazamiento en la base en sentido x

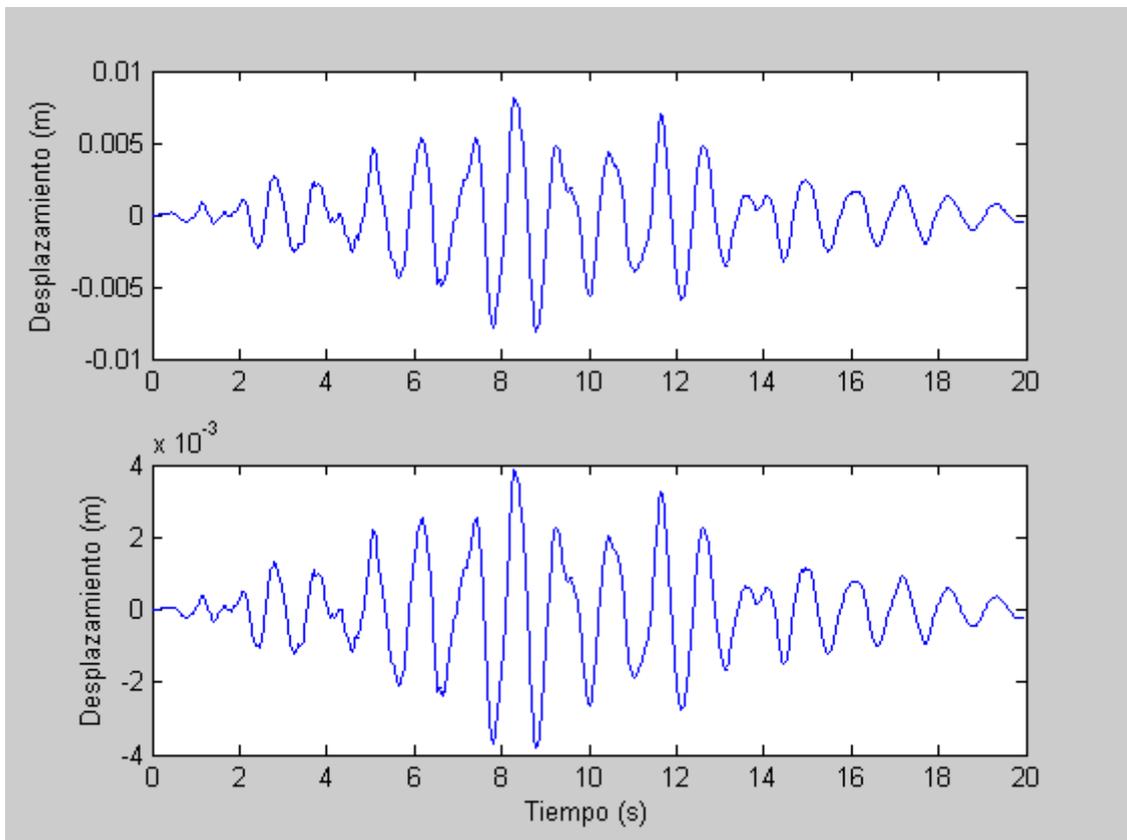


Figura. 2.10. Desplazamientos en sentido "y" del último piso de superestructura.

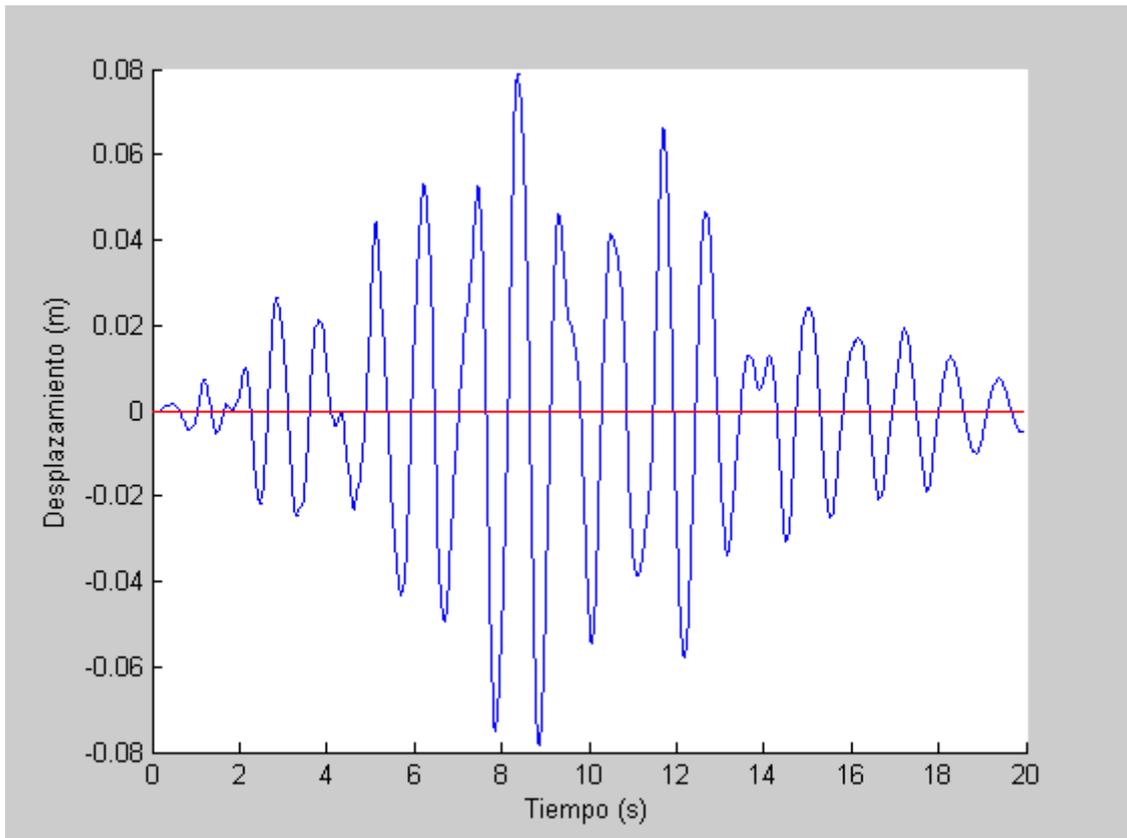


Figura 2.11. Desplazamiento en la base en sentido y

2.2. MÉTODO DE MASAS CORREGIDAS

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- i) Hallar la matriz de Masas Corregidas $\tilde{\mathbf{M}}^{(s)}$

(2.7)

$$\tilde{\mathbf{M}}^{(s)} = \mathbf{M}^{(s)} - \mathbf{M}^{(s)} \mathbf{r}^{(s)} \mathbf{M}^{(t)^{-1}} \mathbf{r}^{(s)'} \mathbf{M}^{(s)}$$

Donde:

$\mathbf{M}^{(s)}$ = Matriz de masas de la superestructura.

- ii) Se encuentra la respuesta del sistema de aislamiento q y \dot{q}

(2.8)

$$\mathbf{M}^{(t)}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}^{(b)}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}^{(b)}\mathbf{q} = -\mathbf{M}^{(t)}\mathbf{r}^{(b)}\ddot{\mathbf{u}}_g$$

Para cada instante de tiempo se hallan los vectores \mathbf{q} y $\dot{\mathbf{q}}$, empleando el PEE o cualquier otro

iii) Se halla el vector de aceleraciones de la superestructura $\tilde{\mathbf{a}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$

$$\tilde{\mathbf{a}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{M}^{(t)-1} \left(\mathbf{C}^{(b)}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}^{(b)}\mathbf{q} \right) \quad (2.9)$$

(
2
.
7
)

- iv) Se encuentra la respuesta dinámica de la superestructura, usando PEE.

$$\boxed{\tilde{M}^{(s)}\ddot{u} + C^{(s)}\dot{u} + K^{(s)}u = M^{(s)}r^{(s)}\tilde{a}(q,\dot{q})} \quad (2.10)$$

Para ello empleamos el programa, el mismo que necesita datos de entrada muy similares al CUASIESTATICO AISLAMIENTO, *AGUIAR (2007)*

3.2.1. USO DEL PROGRAMA DE MASAS CORREGIDAS:

Para este programa los datos de entrada son los siguientes:

- Número de pisos del edificio (NP)
- Factor de amortiguamiento de los aisladores de base (Sedabase)
- Factor de amortiguamiento de la superestructura (Seda)

- Número de pórticos de la estructura en el sentido de análisis sísmico (iejes)
- Vector en el que se indica el peso total de cada uno de los pisos, desde el primer piso al último, debido a carga muerta D (PesoD)
- Vector en el que se indica el peso de cada planta debido al porcentaje de carga viva L, que se considera en el análisis de acuerdo al uso de la estructura (PesoL).
- Matriz que contiene las matrices de rigidez lateral de cada uno de los pórticos de la estructura (KLG)
- Vector que contiene la distancia desde el Centro de Masas a cada pórtico, con signo. Se da un solo dato por pórtico debido a que el programa (r)
- Archivo que contiene el acelerograma del sismo que se analiza. Este archivo tiene una sola columna y el número de filas es igual al número de puntos del sismo. Se recomienda que esté en m/s^2 . (sismo)
- Incremento de tiempo del acelerograma. La respuesta en el tiempo de la estructura se la obtiene para este incremento de tiempo (dt)

Únicamente debemos tener en cuenta que el coeficiente de amortiguamiento de la estructura se ha considerado del 5%, es decir 0.05; los demás datos ya los obtuvimos del predimensionamiento considerando que la estructura es la misma con la que corrimos el programa CUASIESTATICO AISLAMIENTO.

Los datos que se obtuvieron, son los que a continuación se presentan:

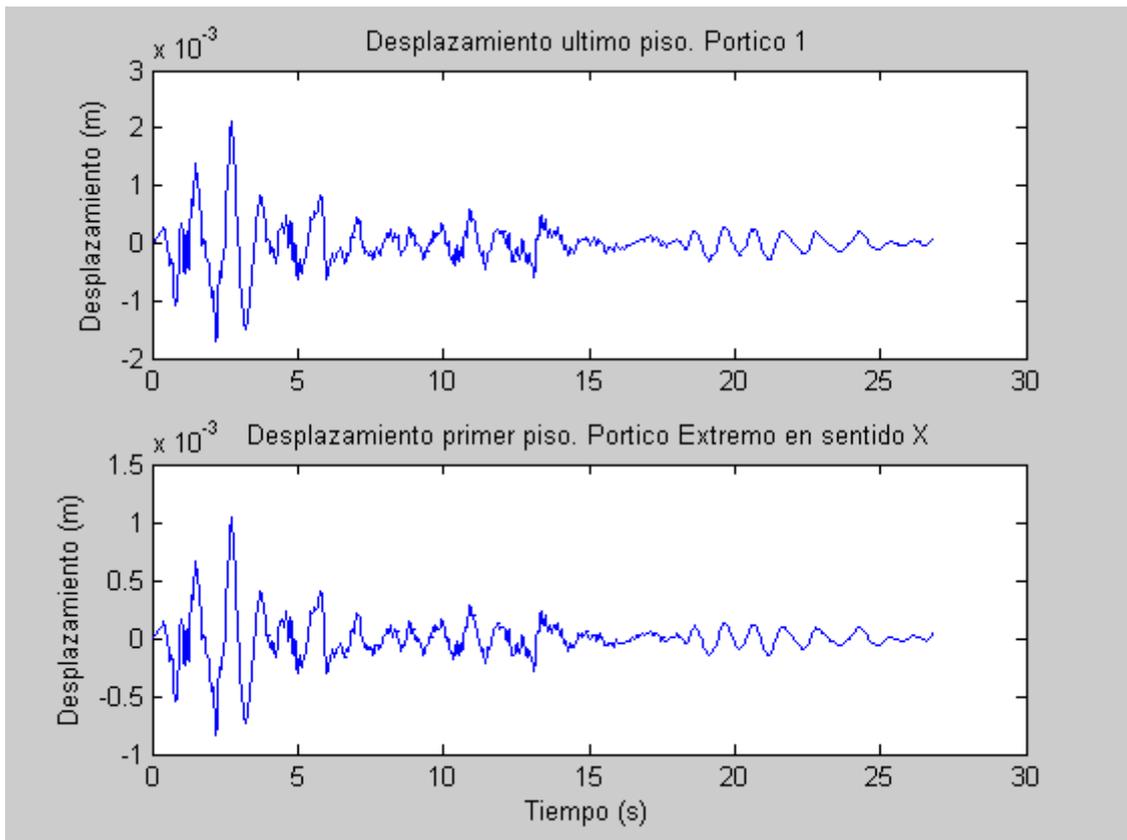


Fig. 2.12. Desplazamientos obtenidos en sentido x

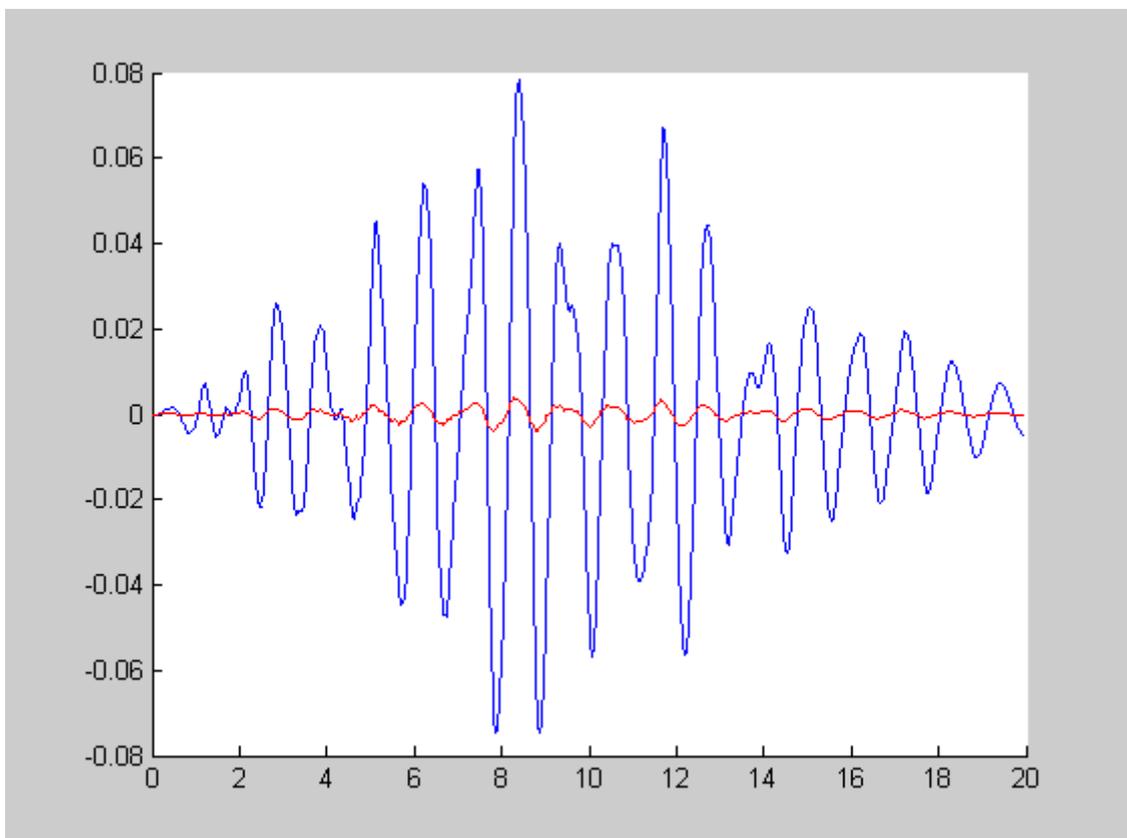


Fig 2.13. Desplazamientos en el aislador y en la superestructura

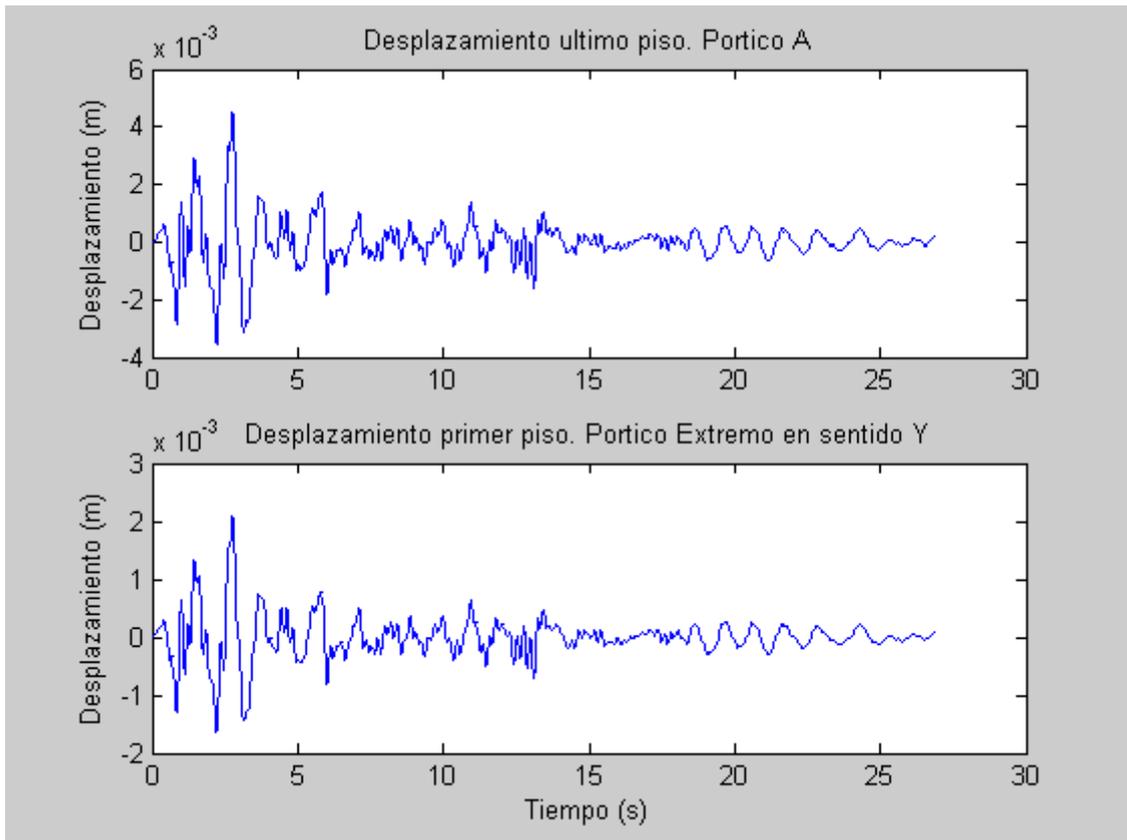


Fig. 2.14. Desplazamientos en sentido "y"

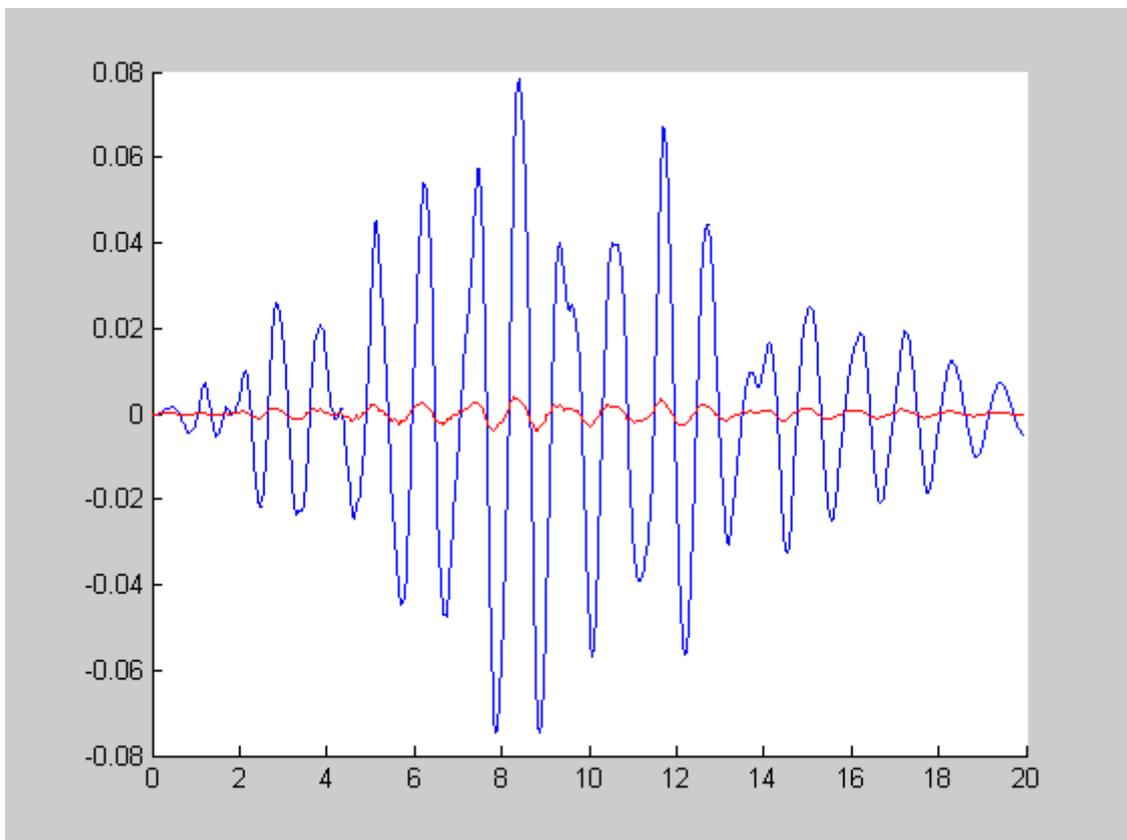


Fig. 2.15. Respuesta en el tiempo del aislador y la superestructura

2.3. MÉTODOS DE DISEÑO CON EL CÓDIGO UBC 97.-

Recientes versiones del Código UBC enfatizaron un método de diseño equivalente estáticamente que tome ventajas de los factores para una estructura aislada, los desplazamientos están concentrados en el nivel de aislamiento y, de esta manera, la estructura se mueve como un cuerpo rígido. El diseño está basado en un modo de vibración simple, y las fuerzas de diseño de la superestructura fueron computadas desde las fuerzas en los aisladores al diseño del desplazamiento, esto da lugar a un proceso de diseño muy simple. Como el código ha demostrado, sin embargo, las situaciones donde los análisis dinámicos deberían ser usados han incrementado e incentivado que se incluya en el código el uso del análisis dinámico en casos donde no sea requerido.

Para todos los diseños de aislamiento sísmico es necesario desarrollar una análisis estático, lo que establece un nivel mínimo para el diseño de desplazamientos y fuerzas. El análisis estático es también utilizado para el diseño preliminar del sistema de aislamiento y la estructura cuando el análisis dinámico es requerido y para la revisión de diseño, bajo ciertas circunstancias éste debería ser el único método de diseño usado.

El análisis dinámico es requerido en muchos casos (en todos los casos OSHPD-96) y puede ser soportado en forma de análisis del espectro de respuesta o de un análisis de historia en el tiempo. Se requiere movimientos de tierra en los siguientes casos:

- La estructura aislada está localizada en suelo suave, suelo tipo S_3 o S_4 .
- La estructura aislada está dentro de 10 Km. de una conocida falla activa (15km en OSHPD-96)

- El período estructural aislado es mayor que 3 segundos.

Un análisis con espectro de respuesta es requerido en los siguientes casos:

- Se requiere un espectro del lugar específico.
- La superestructura es irregular, ya sea horizontal o verticalmente
- El edificio es mayor de cuatro pisos o 19,8 m de altura.
- El periodo de aislamiento de la estructura (DBE) es menor que tres veces el periodo elástico base arreglado (i.e., $\varepsilon > 1/9$).

El análisis de historia en el tiempo puede ser usado en lugar del análisis del espectro de respuesta, pero si el sistema de aislamiento o la superestructura es altamente no lineal, un análisis de historia en el tiempo es requerido.

2.3.1. Análisis Estático

Las fórmulas de análisis estático proveen desplazamientos y fuerzas y están basadas en un espectro de velocidad constante sobre un periodo de rango de 1.0 a 3.0 segundos. En el UBC-94 y OSHPD-96, el valor de la velocidad está derivada desde la provisión ATC-3-06 y para $Z = 0,40$; un factor de suelo $S = 1$, y 5% de amortiguamiento es 0,60 m/s (23,6 in/seg), dando lugar a un espectro de desplazamiento S_D dado por:

$$S_D = \frac{S_V}{\omega} = \frac{T}{2\pi} \frac{Z}{4} (0,60) \approx 0,25ZTm \quad (2.11)$$

El espectro es luego modificado por el factor del suelo y el factor de amortiguamiento y ajustado para

otras zonas sísmicas, dando lugar al diseño de desplazamiento requerido D .

Los tres niveles de desplazamiento a calcular son los siguientes:

- D, el desplazamiento de diseño, siendo el desplazamiento en el centro de rigidez del sistema de aislamiento al DBE.
- D_T , el desplazamiento de diseño total, estando el desplazamiento de un cojinete en la esquina del edificio e incluyendo la componente de desplazamiento torsional en la dirección de D; y
- D_{TM} , el desplazamiento máximo total, siendo el desplazamiento de diseño total evaluado en el MCE.

El desplazamiento de diseño D en UBC-94 y el OSHPD-96 es el punto de partida para todo el proceso de diseño y debería siempre ser calculado usando o no el análisis dinámico. Esto basado en asumir que las deformaciones de la superestructura son despreciables y están dadas por:

$$D = \frac{0,25NS_1T_1}{B} m \left(\frac{10ZNS_1T_1}{B} \text{ in.} \right) \quad (2.12)$$

Donde Z = coeficiente de la zona sísmica

N = coeficiente de proximidad a la falla

S_1 = coeficiente de suelo

T_1 = periodo efectivo en segundos

B = coeficiente de amortiguamiento

Mientras el concepto es todavía el mismo, la formulación del UBC-97 es más compleja. Un gran número de nuevos términos han sido aumentados al código.

Por ejemplo, hay ahora seis diferentes desplazamientos para ser computados. Los perfiles del tipo de suelo han sido incrementados a seis, de los cuales tres son roca dura, roca y roca suave. Hay cuatro coeficientes sísmicos a ser calculados, pero en zona 4, donde los edificios más aislados en Estados Unidos están localizados es necesario calcular los siguientes factores: N_a y N_v , donde depende del tipo de fuente sísmica y de la distancia a la fuente; M_M que depende de ZN_v ; y C_{AM} y C_{VM} , que dependen de M_M , N_a y N_v . El resultado es que el análisis estático simple de las versiones más recientes del código ha sido reemplazado por una secuencia de tablas de definiciones y fórmulas.

Aunque todos los proyecto de aislamiento son diseñados usando análisis dinámico (basados en historias en el tiempo, con programas computacionales ahora válidos para este fin), el análisis estático es todavía requerido para asegurar que las cantidades del diseño no estén bajo los mínimos niveles determinados para el análisis estático.

De acuerdo al UBC-97 los dos desplazamientos básicos a ser calculados son D_D y D_M , o los desplazamientos DBE y MCE en el centro de rigidez del sistema de aislamiento. Dichos desplazamientos se calculan de la siguiente forma:

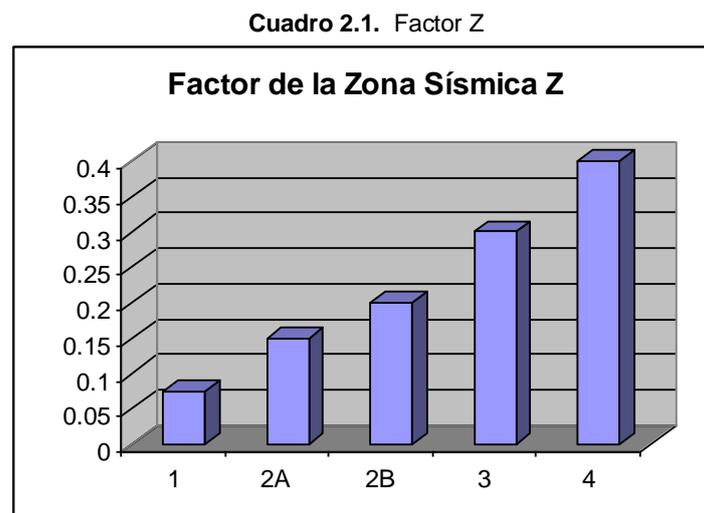
$$\boxed{D_d = \frac{(g/4\pi^2)C_{VD}T_D}{B_D}} \quad \text{mm o in.} \quad (2.13)$$

$$\boxed{D_M = \frac{(g/4\pi^2)C_{VM}T_M}{B_M}} \quad \text{mm o in.} \quad (2.14)$$

Donde g es la aceleración gravitacional. C_{VD} y C_{VM} son coeficientes sísmicos, T_D y T_M son periodos aislados, y B_D y B_M son coeficientes de amortiguamiento correspondientes a los niveles de respuesta DBE y MCE, respectivamente. Los términos C_{VD} y C_{VM} son funciones del factor de la zona sísmica Z , el tipo de suelo, y uno de los dos factores de cercanía, N_V .

2.3.2. Factor de la Zona Sísmica

El factor de la zona sísmica varía desde 0.075 para la zona 1 a 0.40 para la zona 4 como se indica en la figura correspondiente al UBC-97

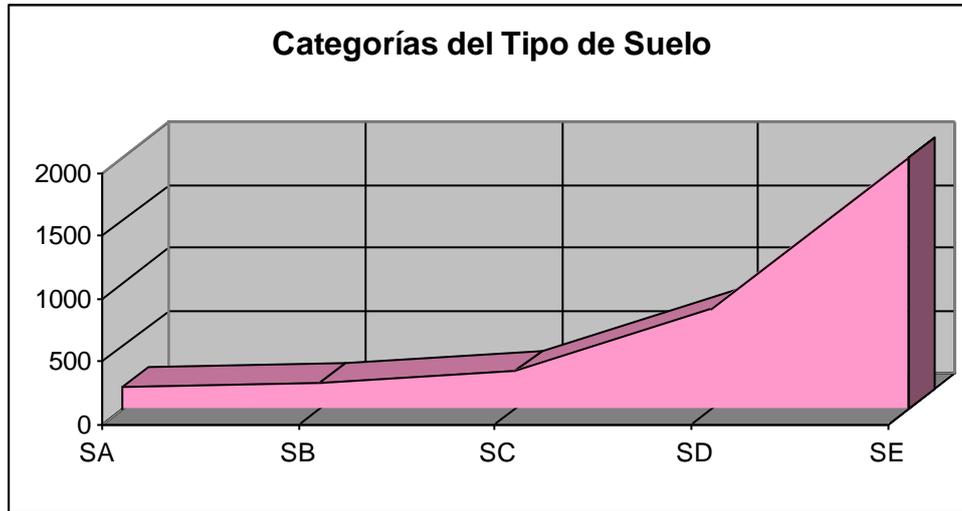


2.3.3. Tipo de Perfil de Suelo

Los perfiles de suelo van de S_A a S_E están basados en la velocidad de onda del daño por cortante en el tope 30.5 m del suelo como se muestra en la figura. Esta velocidad varía desde bajo 180 m/s para los suelos suaves (S_E) a mayores de 1500 m/s para un perfil de roca dura (S_A). Otra clase de tipo de

perfil de suelo S_F requiere una evaluación en el sitio y no está clasificada considerando la velocidad de onda del daño por cortante y constituye un suelo muy pobre que presenta problemas de licuefacción.

Cuadro 2.2. Categorías de Tipo de Suelo



2.3.4. Tipos de Fuente Sísmica: A, B y C

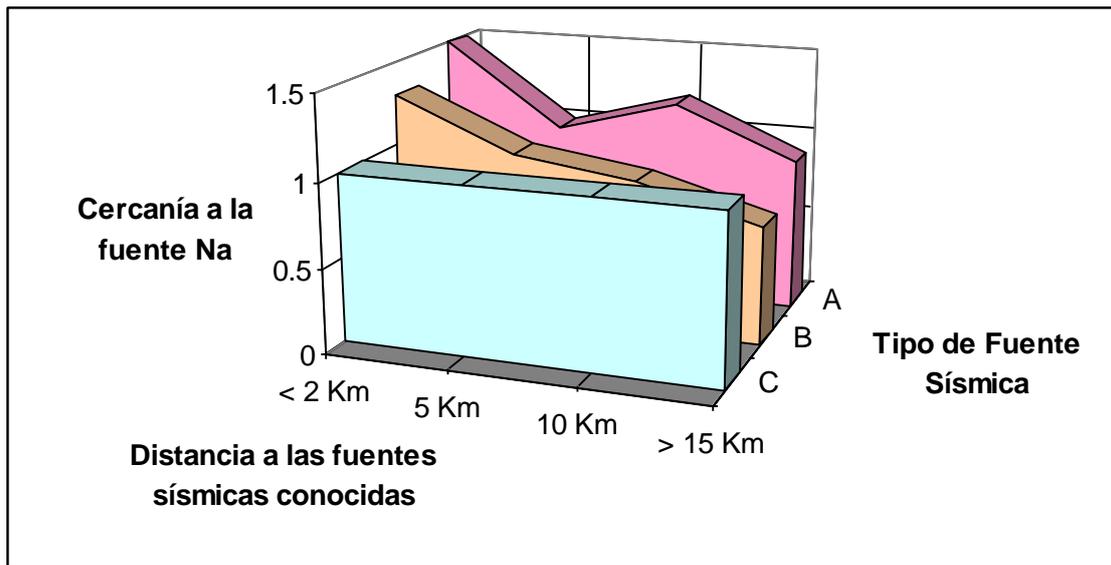
Las fallas sísmicas se agrupan en tres categorías basadas en la seriedad del daño que producen. Las fallas capaces de producir sismos de gran magnitud ($M \geq 7.0$) que tienen una tasa alta de actividad sísmica (tasa anual de daño sísmico, SR, de 5mm o más) son clasificadas como fuente de tipo A. Las fallas capaces de producir sismos de magnitud moderada ($M < 6.5$) con una tasa relativamente baja de actividad sísmica ($SR \leq 2 \text{ mm}$) son clasificadas como fuentes de tipo C. Todas las fallas que no entren en la clasificación A y C son de tipo B.

2.3.5. Factores de Cercanía a la Fuente N_a y N_v

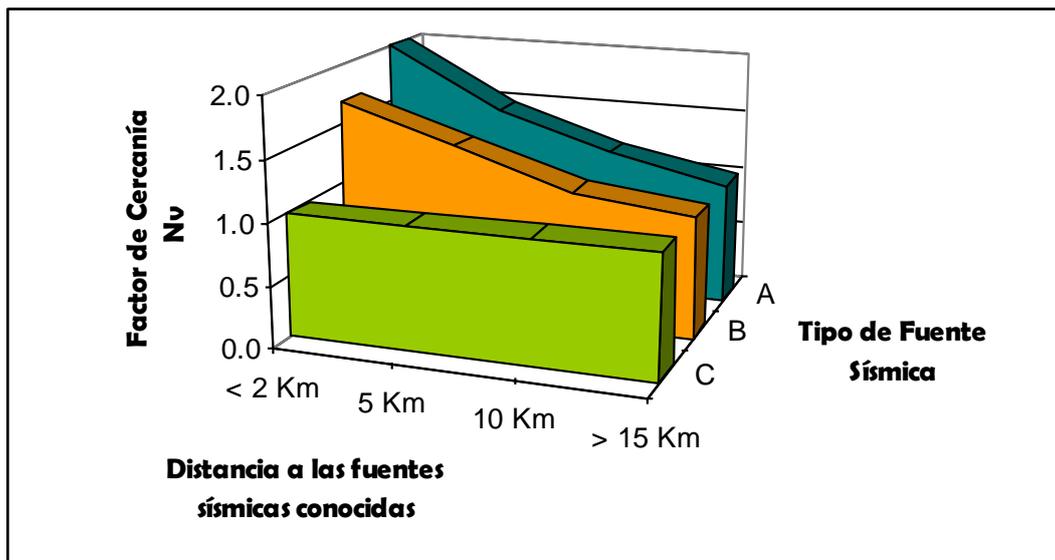
Dos factores son usados para modelar la amplificación del movimiento de tierras debido a los efectos de cercanía a la fuente. El primero N_a , está regido

por el rango de período corto correspondiente al segmento de aceleración constante del espectro de respuesta, es el factor primario de cercanía de la fuente usado en las aplicaciones de aislamiento sísmico. Factores de cercanía a la fuente están en función de la distancia más cercana a la fuente sísmica y al tipo de fuente sísmica.

Cuadro 2.3. Diagrama para hallar el factor N_a



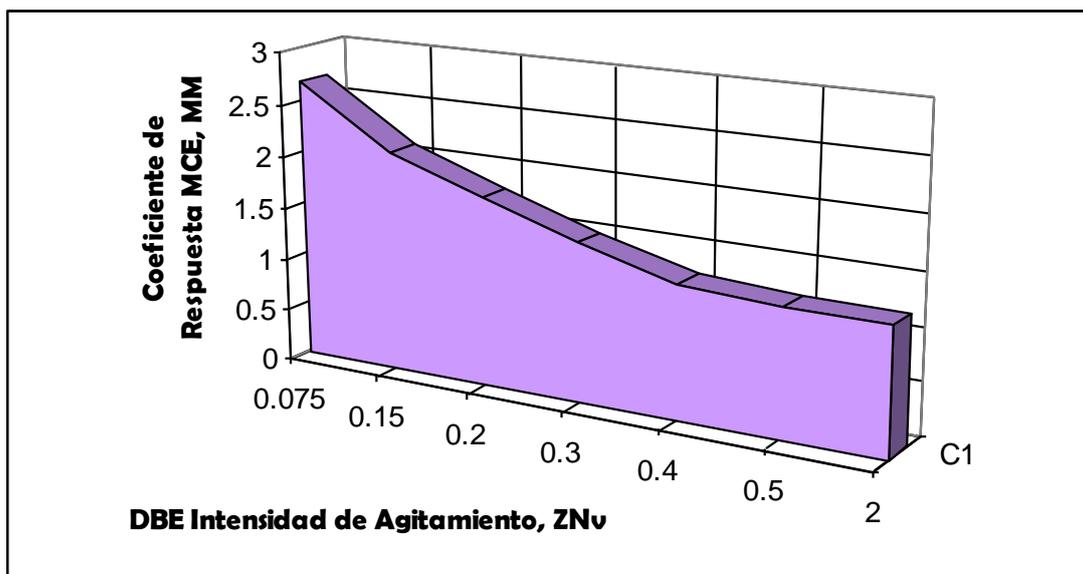
Cuadro 2.3. Diagrama para hallar el factor N_v



2.3.6. Coeficiente de Respuesta M_M para MCE

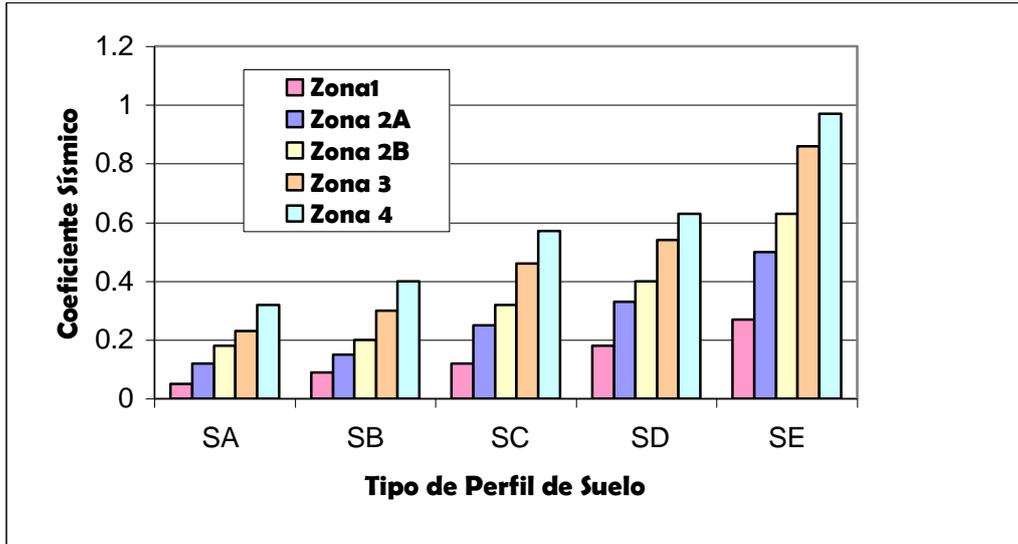
El coeficiente de respuesta M_M para MCE intenta estimar la respuesta MCE basado en las características de agitación DBE. Así M_M está definida como una función de ZN_v y varía desde 2.67 para $ZN_v = 0.075$ a 1.20 para $ZN_v \geq 0.50$. Lo lógico para asignar valores más largos de M_M a los eventos más pequeños de DBE viene de los factores de las regiones con baja sismicidad, el intervalo entre los eventos DBE y MCE es generalmente mucho más grande que en las zonas de alta sismicidad. Los valores de M_M se encuentran en la siguiente figura:

Cuadro 2.5. Diagrama para hallar el coeficiente MM

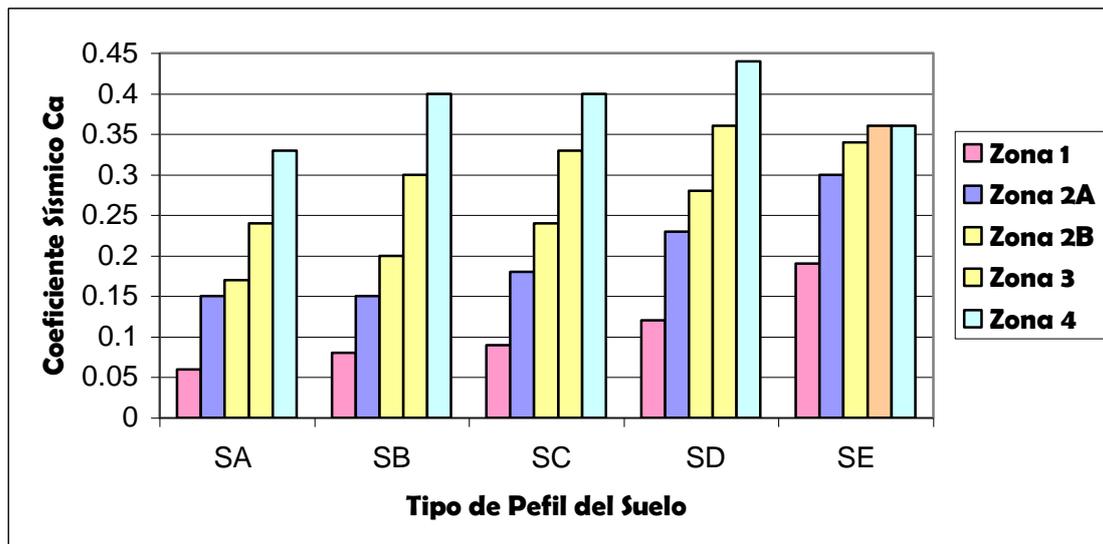


En las siguientes figuras se presenta información para los factores C_{VM} y C_{AM} . Aquí se considera el coeficiente de respuesta MCE. Los valores indicados en estas figuras para $M_M ZN_v$ o $M_M ZN_a$ con valores mayores a 0.40 deben ser multiplicados por el factor indicado en la figura:

Cuadro 2.6. Diagrama para hallar el coeficiente sísmico



Cuadro 2.7. Diagrama para hallar el coeficiente Ca



2.3.7. Coeficientes de Amortiguamiento: B_D y B_M

El amortiguamiento efectivo en el sistema β , en los niveles de respuesta de DBE y MCE (referido a β_D y β_M) están calculadas por:

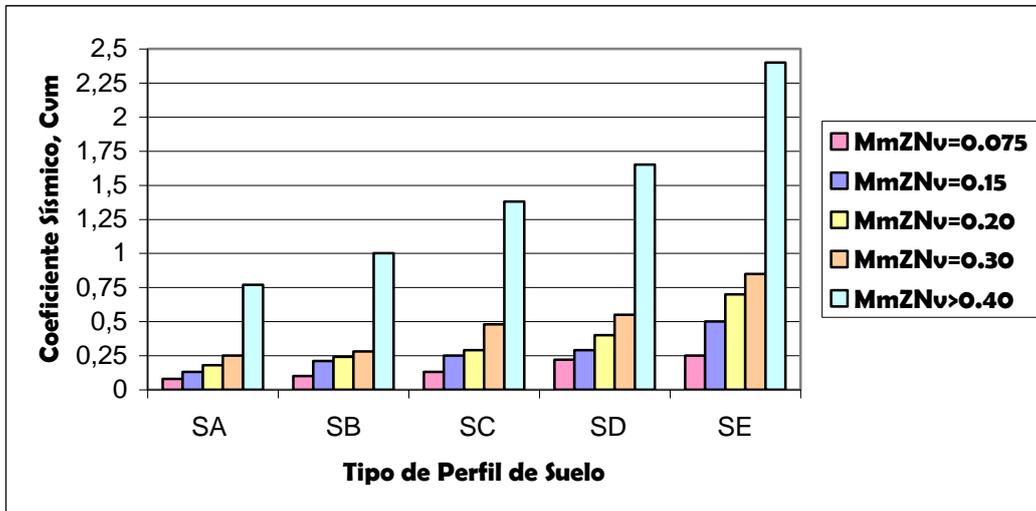
$$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{área total de la curva de histéresis}}{K_{D, \max} D_D^2} \right) \quad (2.15)$$

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{área total de la curva de histéresis}}{K_{M, \max} D_M^2} \right) \quad (2.16)$$

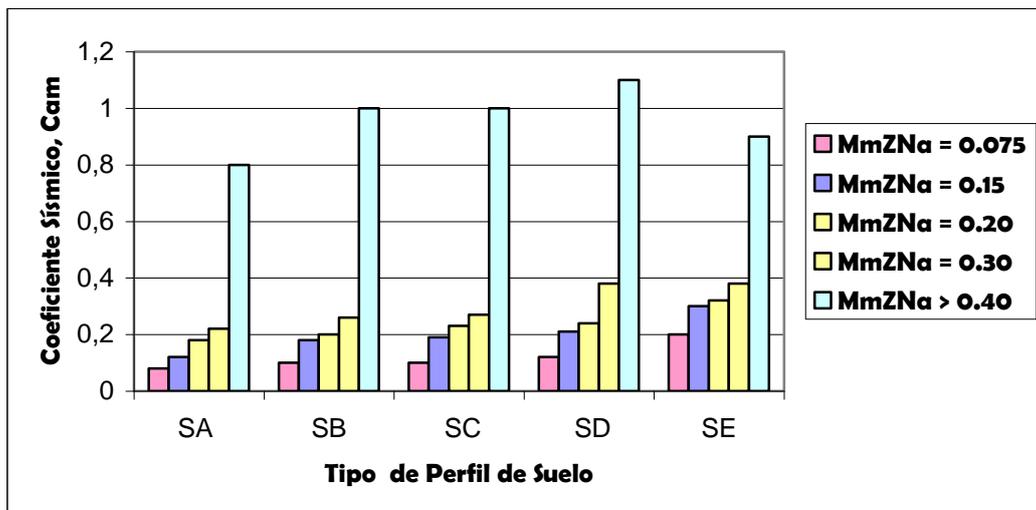
Donde K_{Dmax} y K_{Mmax} son términos de la rigidez efectiva, el factor de reducción del amortiguamiento B (B_D para el DBE y B_M para el MCE) está en términos de β en forma tubular, con interpolación linear a usarse para valores inmediatos. Una aproximación muy cerrada a los valores de esta tabla están dados por:

$$\frac{1}{B} = 0.25(1 - \ln \beta) \quad (2.17)$$

Cuadro 2.8. Tabla para hallar el coeficiente C_{vm}

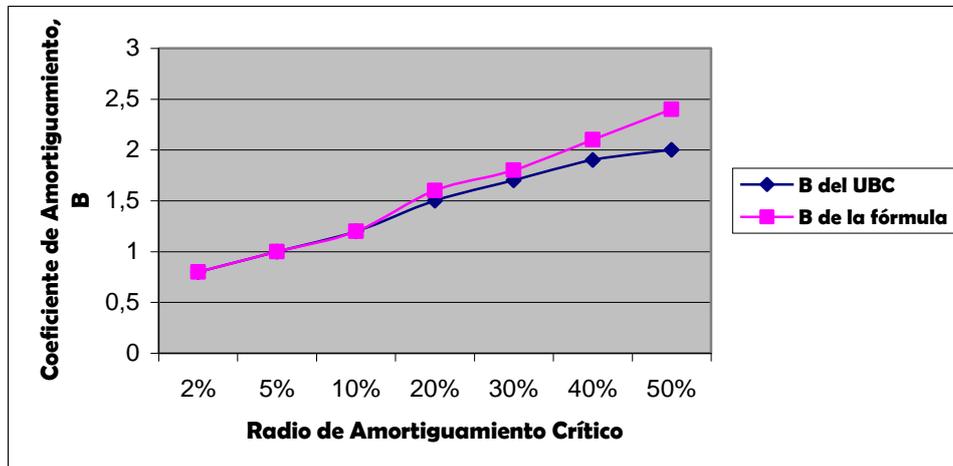


Cuadro 2.9. Tabla para hallar el coeficiente C_{am}



Donde β está dado como la fracción del amortiguamiento crítico (no como un porcentaje). Los valores del código se muestran a continuación:

Cuadro 2.10. Tabla para hallar el coeficiente β



2.3.8. Periodos de Vibración Efectivos del Sistema: T_D y T_M

Los periodos T_D y T_M corresponden a la respuesta del DBE y MCE y se calculan así:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D,\min} g}} \quad (2.18)$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M,\min} g}} \quad (2.19)$$

Donde W = peso del edificio

g = gravedad

$$K_{D, \text{eff}} = (F_D^+ - F_D^-) / (D_D^+ - D_D^-)$$

$$K_{M, \text{eff}} = (F_M^+ - F_M^-) / (D_M^+ - D_M^-)$$

$K_{D, \text{min}}$ = mínimo valor de $K_{D, \text{eff}}$ en D_D como determinan las pruebas

$K_{D, \text{max}}$ = máximo valor de $K_{D, \text{eff}}$ en D_D como determinan las pruebas

$K_{M, \text{min}}$ = mínimo valor de $K_{D, \text{eff}}$ en D_M como determinan las pruebas

$K_{M, \text{max}}$ = máximo valor de $K_{D, \text{eff}}$ en D_M como determinan las pruebas

Los valores de $K_{D, \text{min}}$, $K_{D, \text{max}}$, $K_{M, \text{min}}$, $K_{M, \text{max}}$ no son conocidos aún en la fase de diseño, el proceso de diseño empezaría con un valor asumido de K_{eff} que se adquiere de pruebas previas o similares componentes. Luego de que el diseño preliminar está terminado satisfactoriamente, los prototipos de aisladores serán ordenados y probados, y los valores $K_{D, \text{min}}$, $K_{D, \text{max}}$, $K_{M, \text{min}}$, $K_{M, \text{max}}$ serán obtenidos de los resultados que nos presenten los prototipos. Los términos F_D^+ , F_D^- , D_D^+ , D_D^- , F_M^+ , F_M^- , D_M^+ , D_M^- son las fuerzas y desplazamientos máximos y mínimos en los aisladores prototipo, correspondientes a los niveles de respuesta DBE y MCE, usados para determinar las características mecánicas del sistema. Los resultados de las pruebas con los prototipos son luego usadas para replantear el diseño preliminar, y cuando el análisis dinámico es usado se establecen parámetros de varias cantidades de diseño. Porque la rigidez efectiva y el amortiguamiento efectivo son usualmente dependientes del desplazamiento.

2.3.9. Desplazamientos Totales de Diseño: D_{TD} y D_{TM}

Los desplazamientos totales de Diseño: D_{TD} y D_{TM} (donde se incluye la torsión) están dados por:

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (2.20)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (2.21)$$

Donde e es la excentricidad actual más el 5% de la excentricidad accidental y y es la distancia a la esquina perpendicular a la dirección de la carga sísmica. Esta fórmula asume que la carga sísmica $K_{eff}D$ está aplicada sobre el centro de masas, donde se localiza a una distancia e desde el centro de rigidez. Asumiendo un plano rectangular, con dimensiones $b \times d$ y una distribución uniforme de aisladores, la rigidez torsional del sistema aislador es $K_{eff}(b^2+d^2)/12$, y la rotación θ es así:

$$\theta = \frac{K_{eff} De}{K_{eff} \left[\frac{(b^2 + d^2)}{12} \right]} = \frac{12De}{b^2 + d^2} \quad (2.22)$$

El desplazamiento doble adicional a rotación es:

$$\frac{12De}{b^2 + d^2} y \quad (2.23)$$

2.3.10. Fuerzas de Diseño

Las fuerza de diseño de tensión que la superestructura y los elementos por debajo de la superficie de aislamiento van a ser diseñadas basadas en los desplazamientos de diseño D. Los elementos bajo el sistema de aislamiento son calculados usando la fórmula:

$$V_b = K_{D,max} D_D \quad (2.24)$$

El nivel de tensión para el diseño de elementos entre el sistema de aislamiento en términos de la mínima fuerza de cortante lateral está dada por la fórmula:

$$V_s = \frac{K_{D,max} D_D}{R_I} \quad (2.25)$$

Donde R_I es un factor de reducción de diseño (factor de ductilidad) cuyo valor fluctúa desde 1.4 a 2.0 , en la tabla siguiente se muestran un par de ejemplos de sistemas de aislamiento con su correspondiente valor del factor R.

En todos los casos el valor de V_s no debería ser menor que:

- La fuerza sísmica requerida por los preceptos del UBC para una estructura base- aislada.
- El cortante base correspondiente a la carga de viento, y
- Una y media veces la fuerza lateral requerida la activar completamente el sistema de aislamiento, ya sea con núcleo de plomo o sistema de cojinetes deslizantes.

Tabla 2.5. Factor R_I

Construcción	R_I	R
Barras que resisten momentos especiales	2.0	8.5
Muros de corte	2.0	5.5
Barra	1.6	5.6
Barra con arriostamiento ordinario	2.0	7.0
Barra con arriostamiento excéntrico		

Referencias:

1. Uniform Building Code (1997)
2. *Kelly J. (2004)*, "Seismic Isolation", in Earthquake Engineering, From Engineering Seismology to Performance Based Engineering, Capítulo 4. ISBN 0-8493-14399.
3. *Aguiar R. (2007)*, Procedimiento Cuasi-Estático para el Análisis Sísmico Espacial de Estructuras con Asilamiento en la Base Elastomérico Sin Núcleo de Plomo, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército.
4. *Aguiar R. (2007)*, Tres modelos de análisis sísmico en estructuras con aislamiento de base, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército.

CAPÍTULO III

USO DEL SAP 2000

RESUMEN

Se presenta un manual para construir modelos estructurales que incluyen el elemento Aislador provisto por el programa SAP 2000.

Se prueban modelos alternativos de aislador basado en el elemento Frame, que se fundamentan en el comportamiento de los materiales y el comportamiento experimental de los aisladores, con lo que se intenta superar las limitaciones del elemento Aislador.

Se presenta una guía para construir modelos estructurales que incluyen aisladores sísmicos de base, con modelo alternativo basado en el elemento Frame, usando el programa SAP 2000.

3.1. USO DEL AISLADOR CONVENCIONAL DE SAP 2000

El SAP 2000 es uno de los programas comerciales más difundidos para el análisis estructural, razón por la cual se encuentra constantemente actualizándose y ofreciendo más herramientas para el campo de las estructuras.

Se trabajó con la versión 10.0.1 que tiene un aislador ya predeterminado, al que se le pueden asignar ciertas características como el tipo de aislador a usarse: ya sea amortiguador, hueco, que trabaje linealmente, multilineal elástico, multilineal plástico, con el modelo plástico de Wen, aislador de caucho; masas, pesos e inercias; y las propiedades direccionales: rotación en cualquier sentido, restricciones al movimiento.

Fue necesario definir un aislador circular para el que se establecieron las siguientes características geométricas y mecánicas básicas:

Diámetro (ϕ):	0.70 m.
Altura de cada capa de caucho:	0.01 m.
Altura Total de caucho (Σt):	0.30 m.
Presión de apoyo (σ_D):	7.0 MPa
Amortiguamiento (β_{efect}):	0.16
Módulo elástico bruto (K):	2000 MPa
Módulo de corte básico (G_{ef}):	0.50 MPa = 50 T/m ²

Las rigideces del aislador se obtuvieron en base al siguiente formulario, tomado de *Seismic Rehabilitation Commentary* de FEMA-274:

$$S = \frac{\phi}{4 \cdot t} = \frac{0.70 \text{ m}}{4(0.01 \text{ m})} = 17.5$$

$$E_c = \left(\frac{1}{6 \cdot G_{ef} \cdot S^2} + \frac{4}{3K} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{6(0.50)(17.5)^2} + \frac{4}{3(2000)} \right)^{-1} = 570 \text{ MPa} = 57000 \text{ T/m}^2 \quad (3.2)$$

$$A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{\pi(0.70)^2}{4} = 0.385 \text{ m}^2 \quad (3.3)$$

$$k_v = \frac{E_c \cdot A}{\Sigma t} = \frac{(57000) \cdot (0.385)^2}{0.30} = 73150 \text{ T/m} \quad (3.4)$$

$$k_{ef} = \frac{G_{ef} \cdot A}{\Sigma t} = \frac{(50) \cdot (0.385)^2}{0.30} = 64 \text{ T/m} \quad (3.5)$$

Donde:

S: factor de forma

E_c : módulo de elasticidad de compresión

A: sección transversal

k_v : rigidez vertical

k_{ef} : rigidez horizontal

Los modelos de las estructuras aporticadas utilizados en el análisis comparativo tienen dos, cuatro y seis pisos, con tres vanos en el sentido “x” y dos vanos en el sentido “y”.

Para definir en SAP 2000 la estructura con aisladores se utilizó el siguiente proceso:

- i) Se ingresó el modelo aporticado con todas las características geométricas
- ii) Se quitaron apoyos y restricciones en los nudos de la cimentación
- iii) En el menú “Define”, se eligió la opción “Link/Support Properties”.



Figura 3.1. Menú Define y opción Link/Support Properties.

- iv) Se asignan las propiedades al aislador:

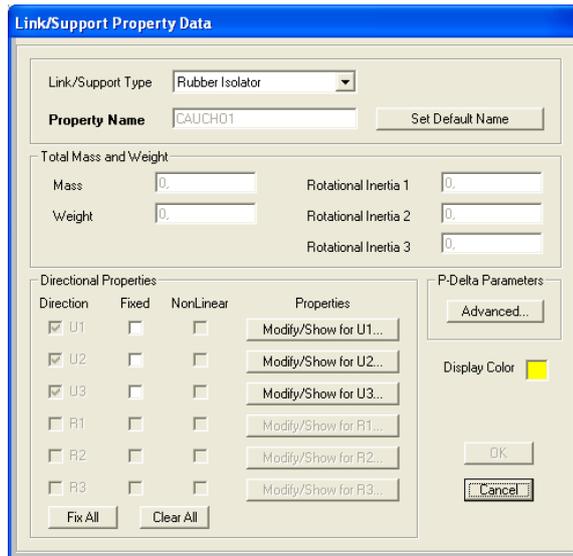


Figura 3.2. Asignación de propiedades del Aislador.

En este caso:

Link Support Type: *Rubber Isolator*

Property Name: *Caucho1*

Directional Properties: *U1 y sus propiedades de rigidez lateral y axial*

OK

- v) En el menú “Draw”, se selecciona la opción “Draw 1 Joint Link” y en cada uno de los nudos de cimentación se asigna el aislador, mediante un clic.
- vi) Se deben establecer los Estados de Carga mediante Define Load Cases para este caso: Muerta, Desplazamiento 1 y Desplazamiento 2.

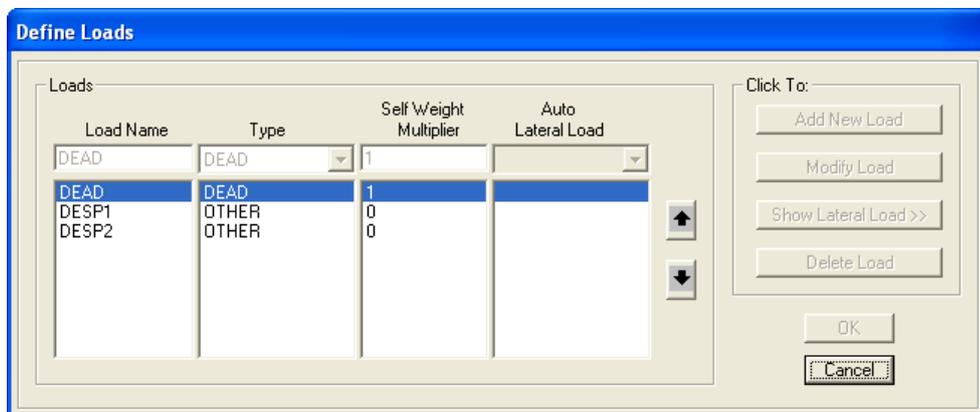


Figura 3.3. Definición de cargas que actúan sobre la estructura.

- vii) Se crea una función de Historia en el Tiempo, que para el aislador de SAP 2000 es el acelerograma:

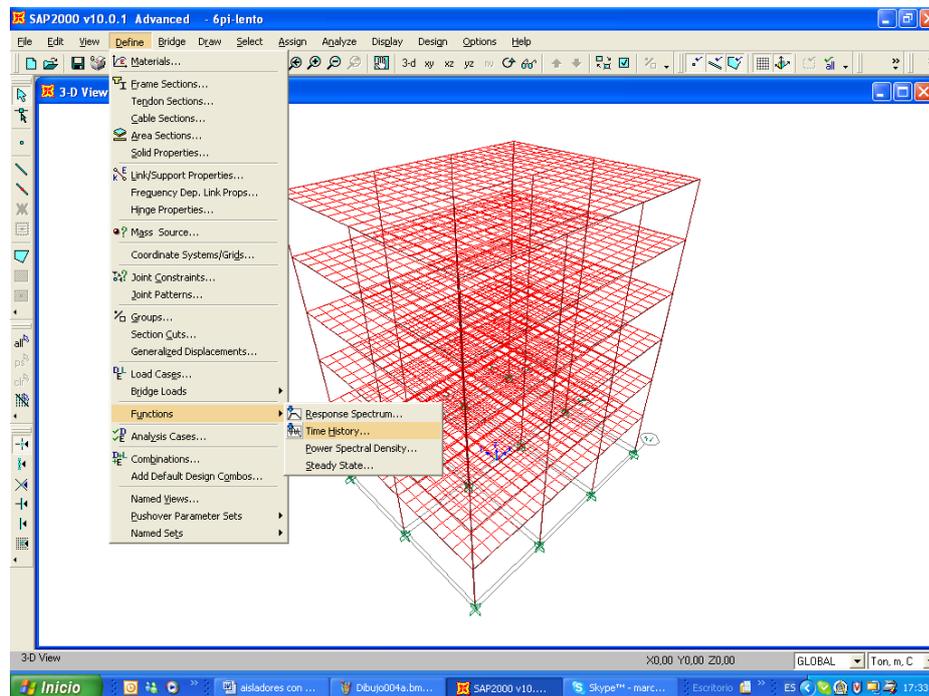


Figura 3.4. Menú Define, opción Functions, y subopción Time History.

Aparece el siguiente cuadro de diálogo:

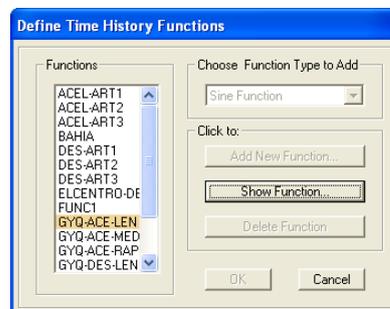


Figura 3.5. Cuadro de Diálogo Time History Functions.

Se selecciona *Function from File* y *Add New Function*. En la siguiente pantalla se debe buscar la ubicación de los desplazamientos que produce el sismo con el que va a trabajar, en este caso es el sismo de GYQ-ACE-LEN (acelerograma registrado en Guayaquil), que trabaja con un tiempo de recurrencia de datos de 0,02, con *Display Graph* se visualiza el diagrama y con los cursores sobre la gráfica se halla

cualquier desplazamiento en función del tiempo, en *Header Line to Skip* se indica el número de líneas inútiles y en *Free Time* se seleccionará un Free Format.

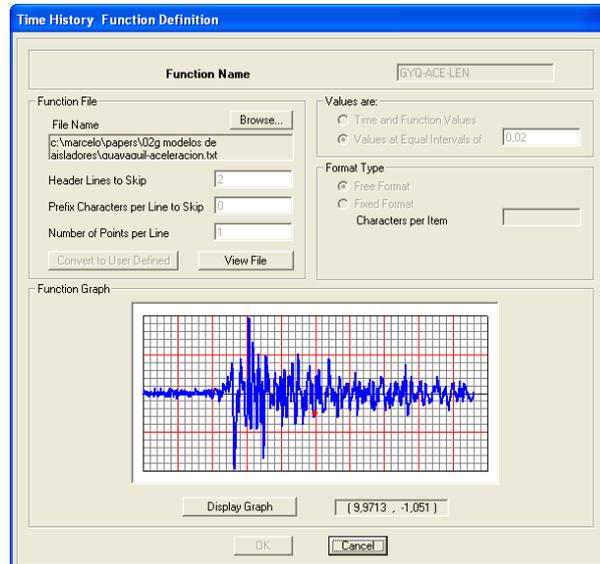


Figura 3.6. Acelerograma registrado en Guayaquil mayorado para obtener aceleración máxima de 0.40 g.

viii) Una vez creada la función se pueden analizar los estados de carga con Define, Analysis Cases, aparecerá la pantalla:

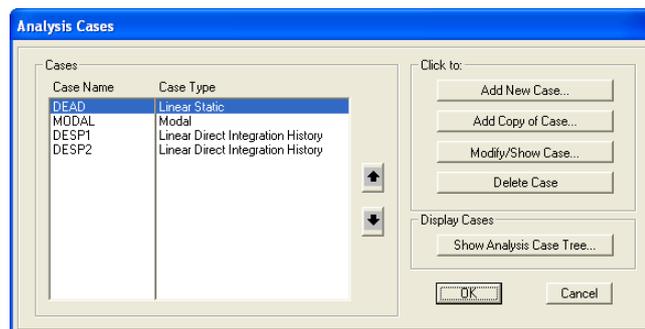


Figura 3.7. Cuadro de Diálogo de Casos de Análisis.

El estado de carga DEAD o Muerta debe tener las siguientes características:

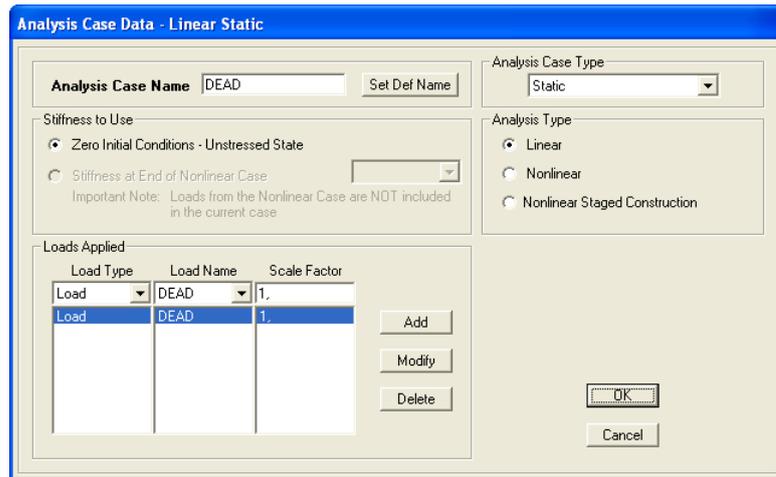


Figura 3.8. Características de la carga muerta (DEAD).

Los siguientes estados de carga Desplazamiento 1 y Desplazamiento 2 deberán tener las siguientes características:

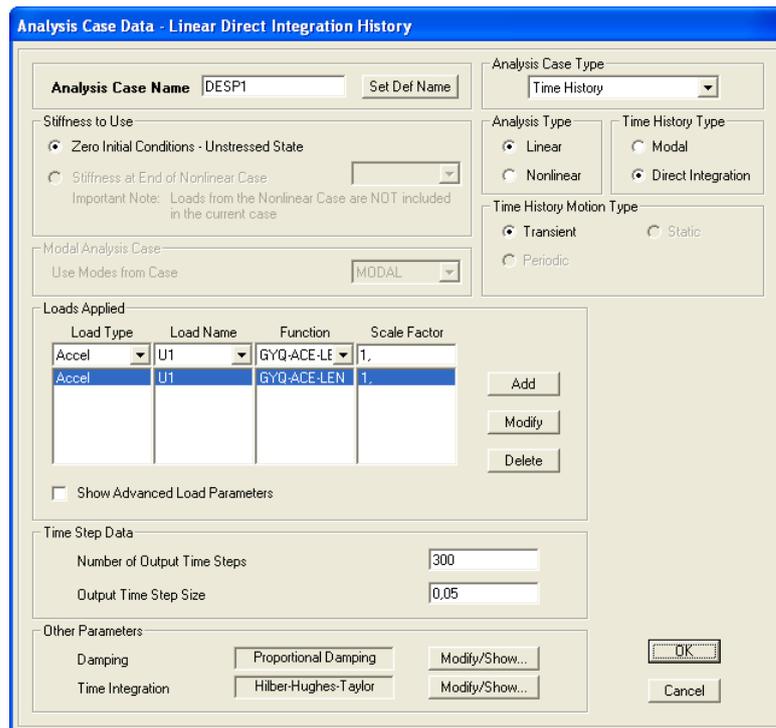


Figura 3.9. Características del estado de cargas Desplazamiento 1.

El tipo de carga debe ser *Accel* (aceleración).

ix) Una vez realizado este proceso se corre la estructura.

A continuación se presentan algunos de los resultados de deformaciones y de solicitaciones provocados por el acelerograma introducido.

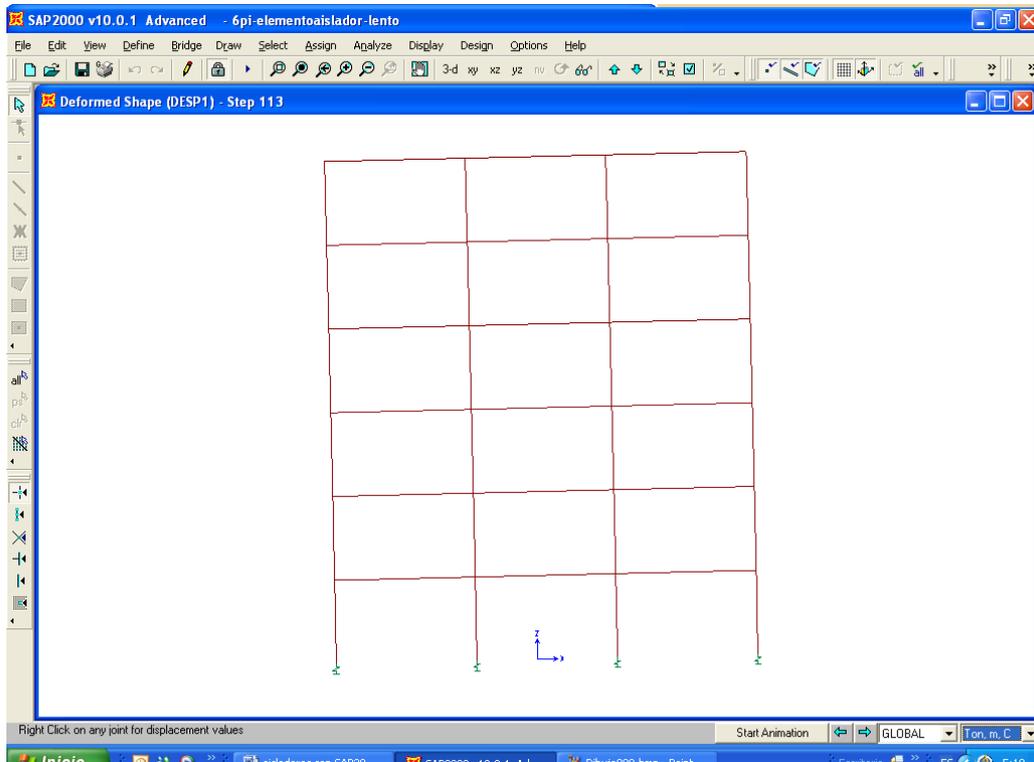


Figura 3.10. Deformada horizontal y bamboleo vertical producidos por el máximo desplazamiento y aceleración hacia la derecha de la cimentación.

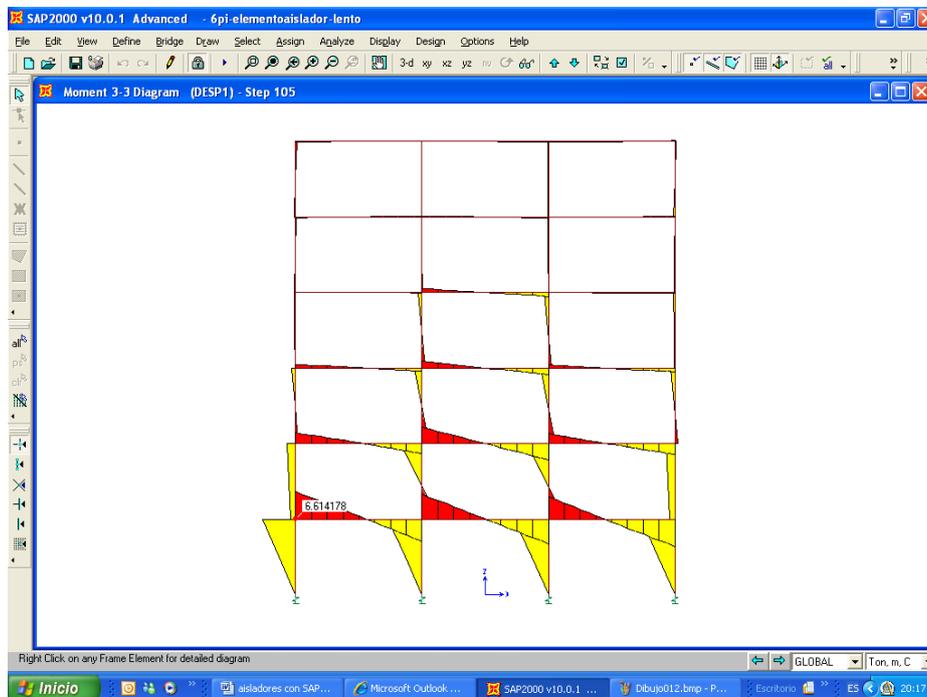


Figura 3.11. Diagrama de momentos en la estructura aporcionada provocado por el acelerograma introducido, para el máximo desplazamiento y aceleración hacia la izquierda.

El efecto de bamboleo vertical solamente se lo puede visualizar en un modelo espacial. Los modelos planos solamente revelan aceleraciones y desplazamientos horizontales.

3.2. CREACIÓN DE UN AISLADOR NO CONVENCIONAL EN EL SAP 2000

El procedimiento que se utilizó es el siguiente:

- i) Se ingresan las características de la estructura al SAP 2000.
- ii) Se quitan restricciones y apoyos en las juntas de la cimentación.
- iii) Se crea un nuevo material dándole las características del caucho, para ello, se ingresa por el menú Define ↵, Materials ↵, Add new material ↵, y aparecerá el siguiente cuadro de diálogo:

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP 2000. The 'Material Name' is 'CAUCHO'. The 'Type of Material' is 'Isotropic'. The 'Analysis Property Data' section includes: Mass per unit Volume (0.2), Weight per unit Volume (2.2), Modulus of Elasticity (5500.), Poisson's Ratio (0.3), Coeff of Thermal Expansion (1.170E-05), and Shear Modulus (2115.3846). The 'Design Property Data' section is empty. The 'Advanced Material Property Data' section has three buttons: 'Time Dependent Properties...', 'Material Damping Properties...', and 'Stress-Strain Curve Definitions...'. The 'Display Color' section has a yellow color swatch. The 'Type of Design' section has a dropdown menu set to 'None'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Figura 3.12. Cuadro de propiedades del material.

En esta opción se puede modificar el Tipo de Material, Módulo de Elasticidad, Masa por Unidad de Volumen, Peso por Unidad de Volumen, Coeficiente de Poisson y el Módulo de Corte nos dará el SAP por defecto. En el presente caso el módulo de elasticidad es 5500 T/m^2 ; además se le asigna un coeficiente de amortiguamiento de 16%.

iv) Se crea un elemento tipo FRAME al que se le asignará todas la propiedades del aislador que se va a emplear:

Define ↵, Frame Sections ↵, en Frame Properties se selecciona Add Circle ↵, OK ↵, lo que aparece es:

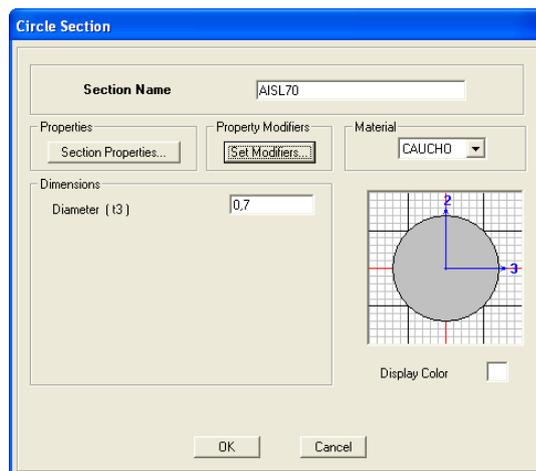


Figura 3.13. Datos del elemento Frame aislador de sección circular.

Se asigna el material CAUCHO y el diámetro del aislador que para este caso 0,70 m. También en este cuadro de diálogo es necesario modificar las propiedades de rigidez con *Set Modifiers* ↵, para modelar el comportamiento diferenciado a solicitaciones axiales y a cortantes. Los multiplicadores serán:

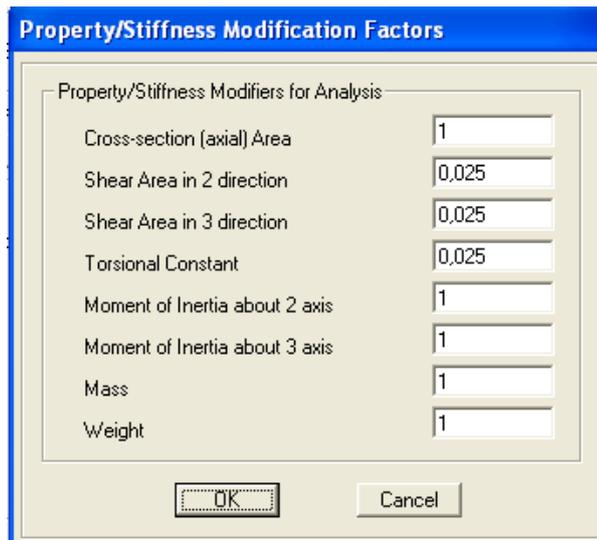


Figura 3.14. Cuadro de modificación de rigideces para análisis estructural.

Estos factores se han obtenido de compensar las ecuaciones de resistencia de materiales para la rigidez con las fórmulas que emplea el SAP 2000 para sus cálculos, la misma que correspondió a una proporción de 1/40.

- v) Se edita la grilla de tal manera que permita colocar este elemento AISL70 a partir de los nudos que se liberaron; la altura que se le ha dado al aislador es de 0,30m. Para editar la grilla se da clic derecho sobre la pantalla principal y se selecciona la opción Edit Grid Data ↵, Global ↵, Modify Show System ↵ esa pantalla se crea un espacio más a -0,30 en el eje z:

- vi) Se dibuja el elemento con Draw Frame en la nueva grilla que se creó, se le asigna la sección que será AISL70. El aislador debe colocarse debajo de cada una de las columnas.

- vii) Debajo del aislador se colocará un empotramiento, para ello primero se señala cada nudo, después se elige el menú Assign ↵, Joint ↵, Restraints ↵, ahí se selecciona en Fast Restraints el empotramiento que se indica con el símbolo característico y OK ↵

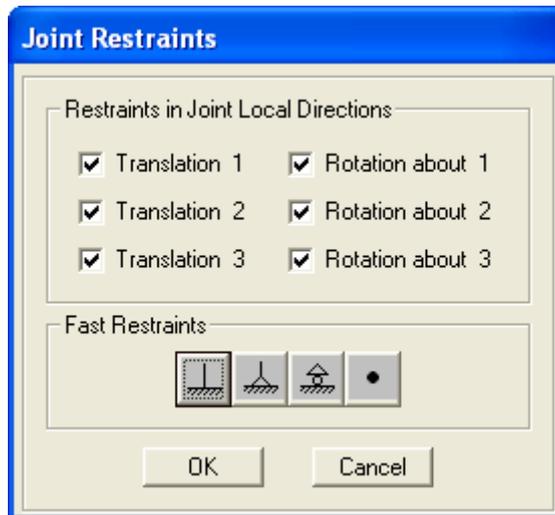


Figura 3.15. Cuadro de restricciones de nudo.

- viii) Es necesario al igual que en el caso anterior crear una función de historia en el tiempo, se procederá de la misma manera que para el aislador convencional. El sismo se basará en el diagrama de desplazamientos del modelo convencional (GYQ-DES-LEN), que por el proceso de integración tendrá intervalos de datos menores que el acelerograma.

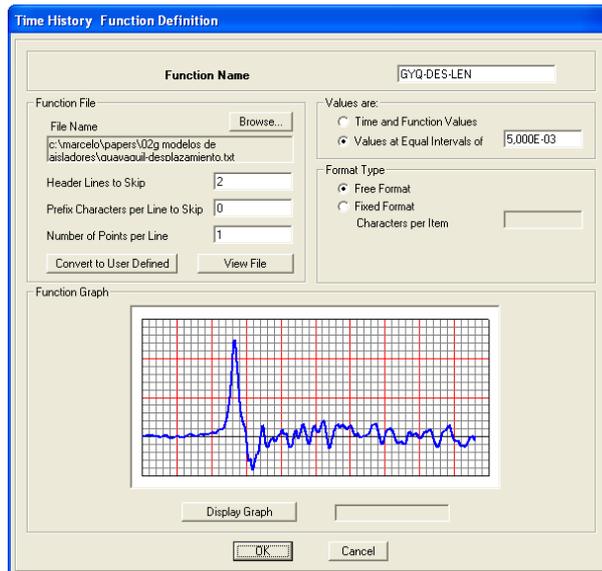


Figura 3.16. Diagrama de desplazamientos del sismo.

- ix) A diferencia del aislador convencional, para los estados de carga se asignan desplazamientos unitarios en la base de los aisladores.

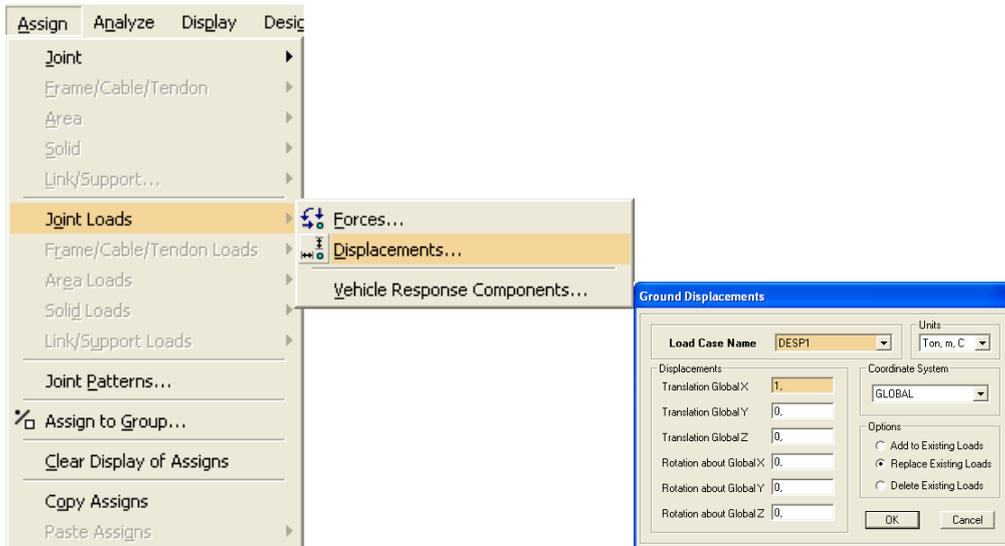


Figura 3.17. Cuadro de diálogo de desplazamientos.

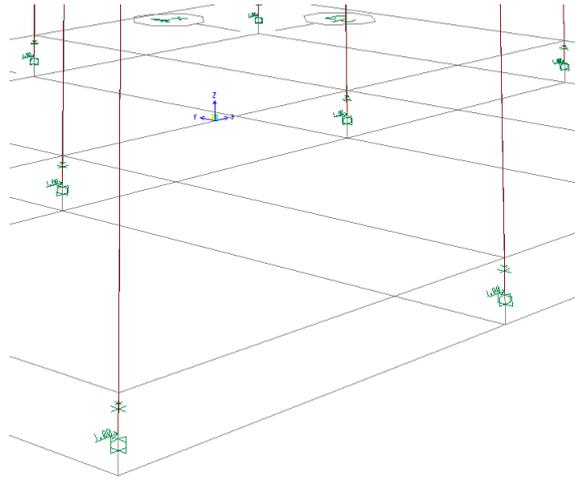


Figura 3.18. Cargas unitarias asignadas a las bases de los aisladores.

x) Se crean los casos de análisis correspondientes.

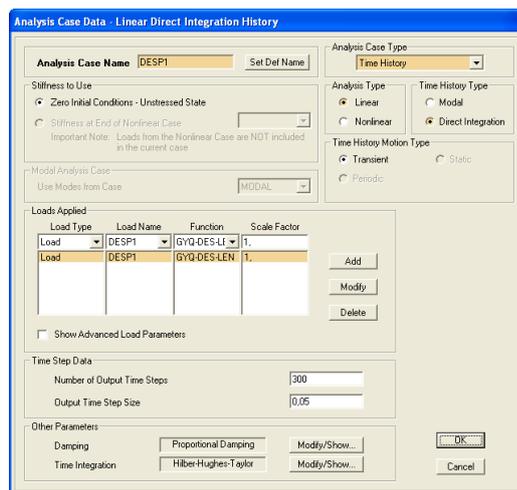


Figura 3.19. Características del estado de cargas Desplazamiento 1.

El tipo de carga debe ser *Load* (carga).

xi) Se corre la estructura en los estados de carga que se crearon.

A continuación se presentan gráficos representativos del comportamiento de la estructura con aisladores alternativos basados en el elemento Frame.

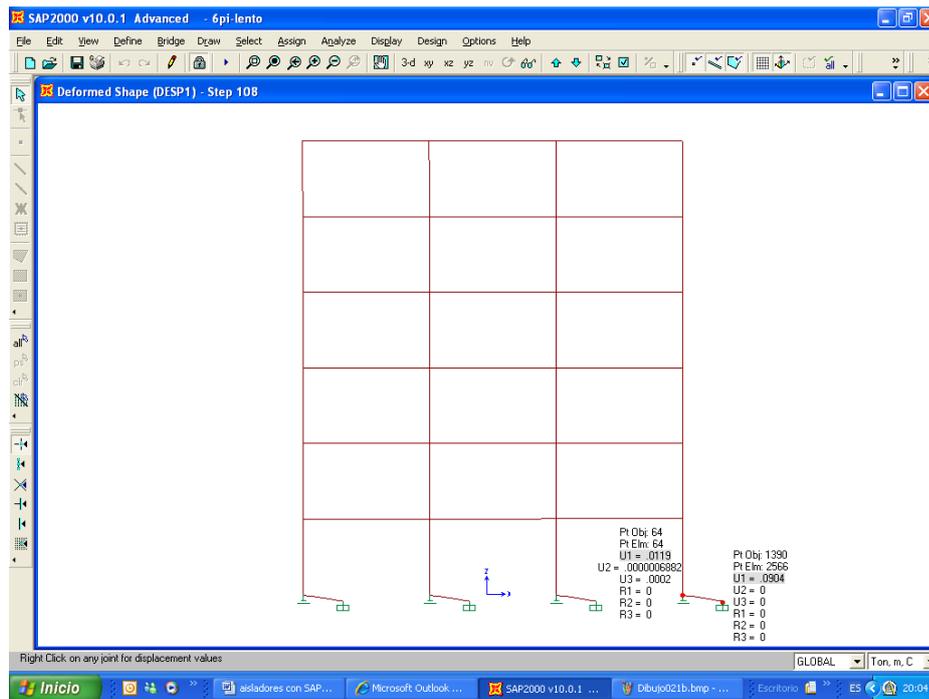


Figura 3.20. Elástica de deformaciones absolutas para el mayor desplazamiento y aceleración del suelo hacia la derecha (amplificación = 20).

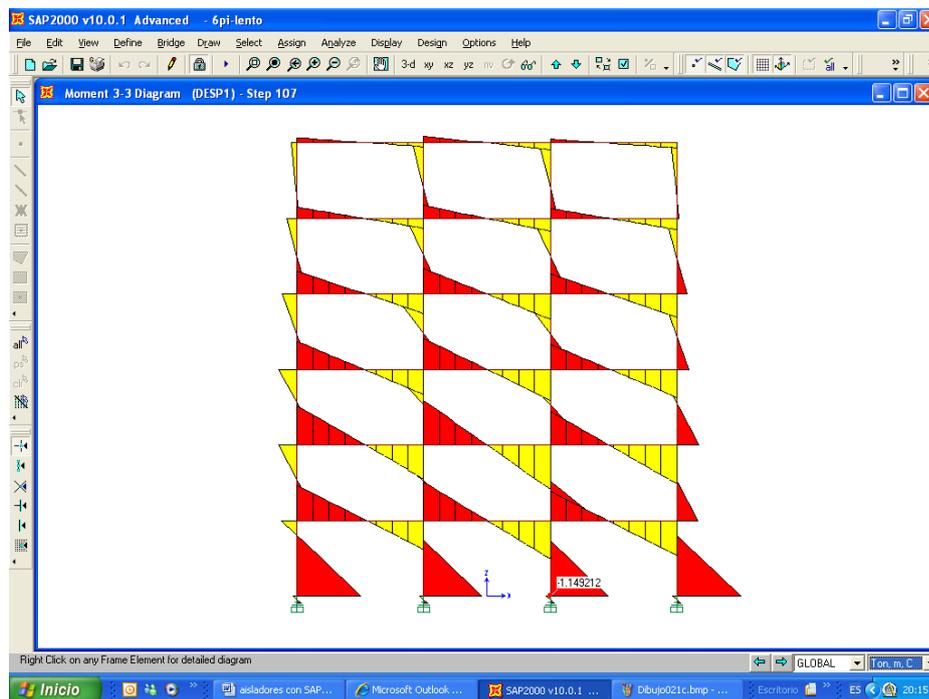


Figura 3.21. Diagrama de momentos en la estructura aporticada provocado por el diagrama de desplazamientos introducido, para el máximo desplazamiento y aceleración hacia la izquierda.

Referencias:

1. - *Seismic Rehabilitation Commentary* , FEMA-274
2. SAP 2000 Versión 10 (2007), *Linear and Non Linear, Static and Dinamic Analysis and Design of Structures. Getting Started.* Computers and Structures, Inc. Berkeley. California.
3. Tapia, M. (2004) *Análisis y Diseño Estático y Dinámico de Puentes Atirantados*, ESPE, Ecuador
4. Romo, L.M. (2007) *Técnica para la Generación de Diagramas de Velocidades Y Diagramas de Desplazamientos a partir de Acelerogramas Sísmicos*, Centro de Investigaciones Científicas, ESPE 2007
5. Caiza, P. (2004) *Apuntes de cátedra, Hormigón I, uso del SAP 2000*, Sexto Nivel, ESPE, Ecuador

CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

RESUMEN

Se analizan tres estructuras empleando los tres métodos: de masas corregidas, dinámico exacto y cuasiestático para comparar los resultados que se obtengan con los del modelo propuesto en SAP 2000, para de esta manera conocer fortalezas y debilidades de todos los métodos empleados.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Se trata de tres estructuras rectangulares y simétricas: de dos, cuatro y seis pisos respectivamente, con tres vanos iguales en el sentido x y dos vanos de la misma longitud en el sentido y , siendo el área en cada uno de los pisos 180m^2 .

A continuación se detallarán las longitudes de cada uno de los elementos:

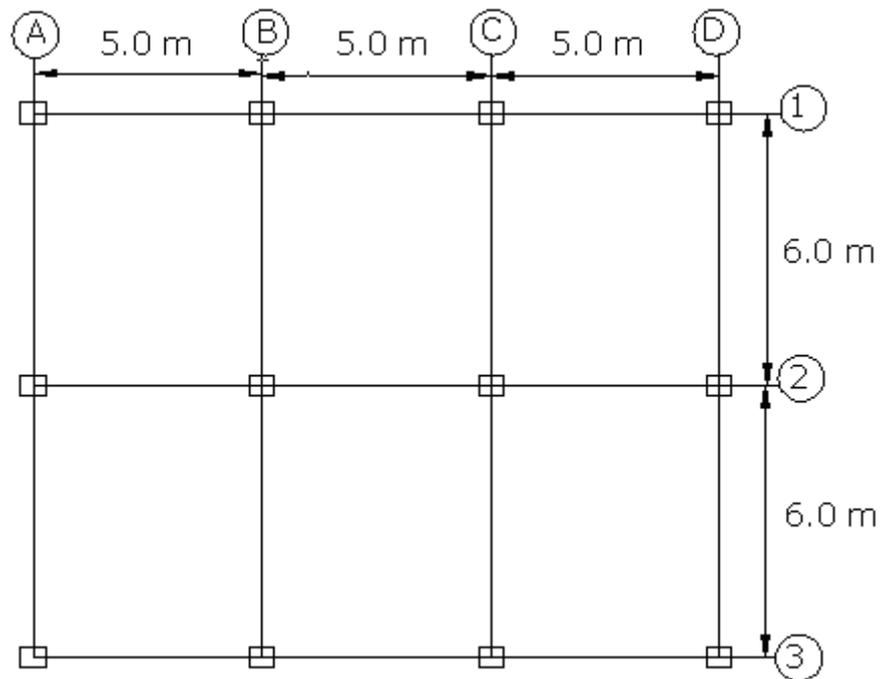


Figura 4.1. Vista en planta de las estructuras de 2, 4 y 6 pisos

4.1.1. ESTRUCTURA DE DOS PISOS

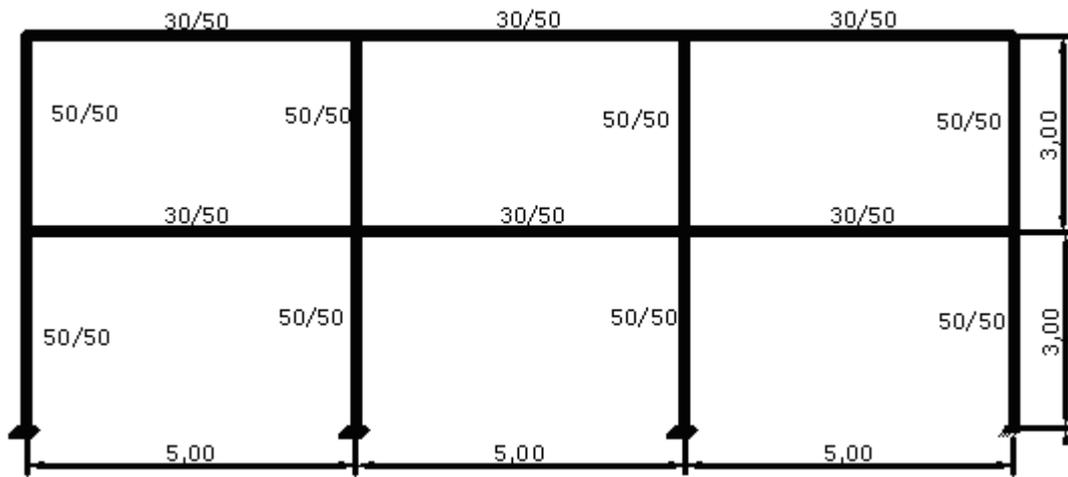


Figura 4.2. Características Geométricas de la Estructura de dos pisos, sentido x

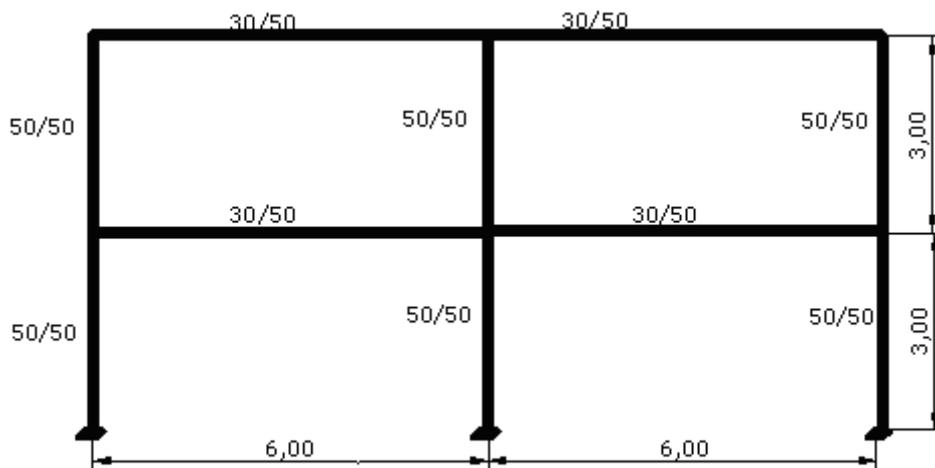


Figura 4.3. Características Geométricas de la Estructura de dos pisos, sentido y

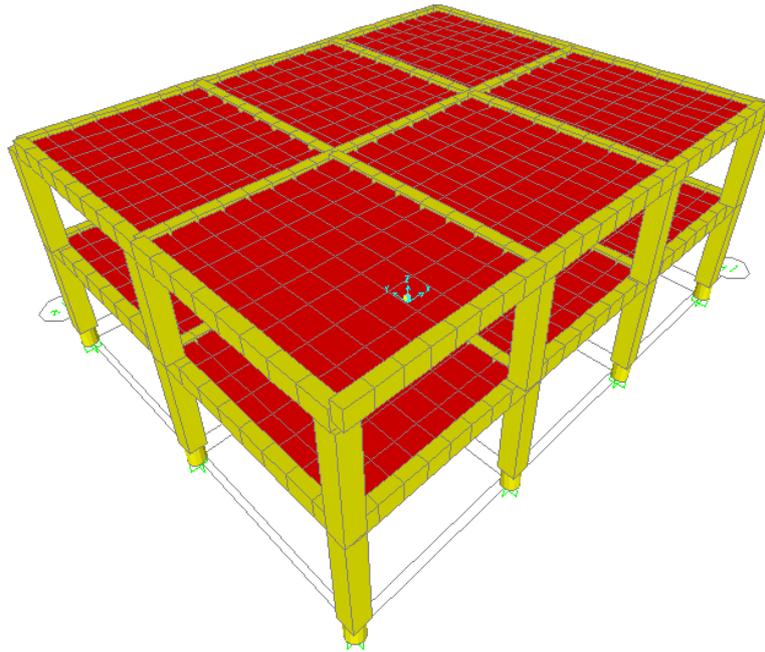


Figura 4.4. Vista tridimensional de la estructura de dos pisos

4.1.2. ESTRUCTURA DE CUATRO PISOS

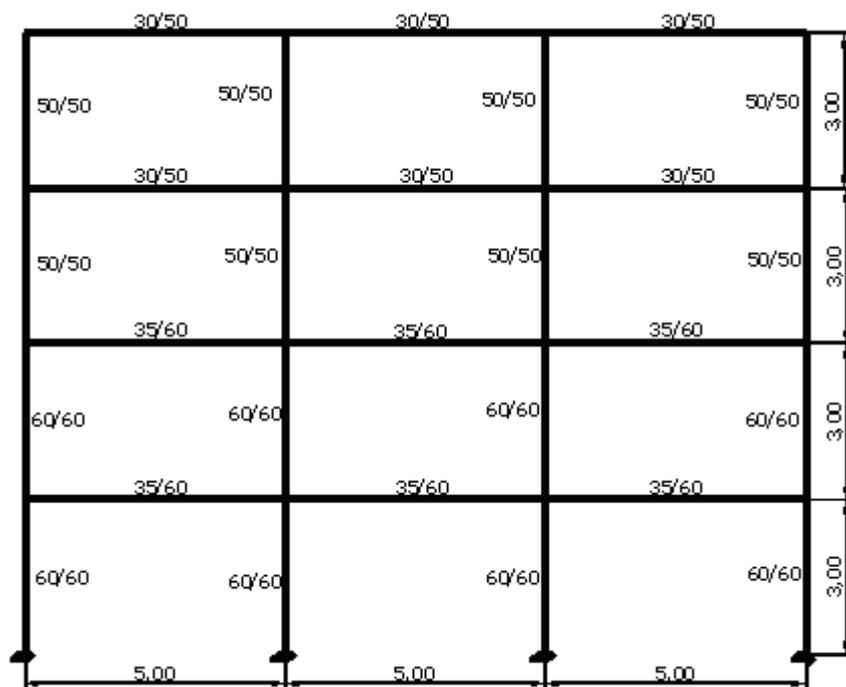


Figura 4.5. Estructura de cuatro pisos, sentido x

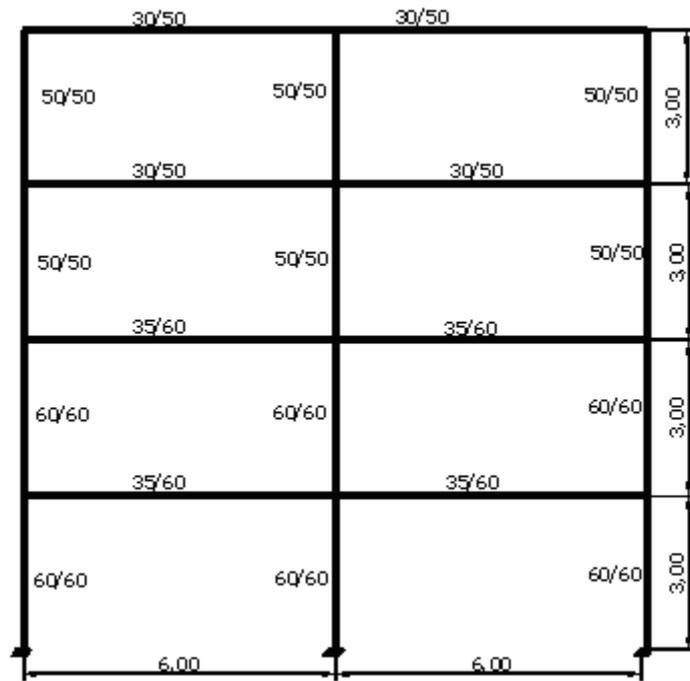


Figura 4.6. Estructura de cuatro pisos, sentido y

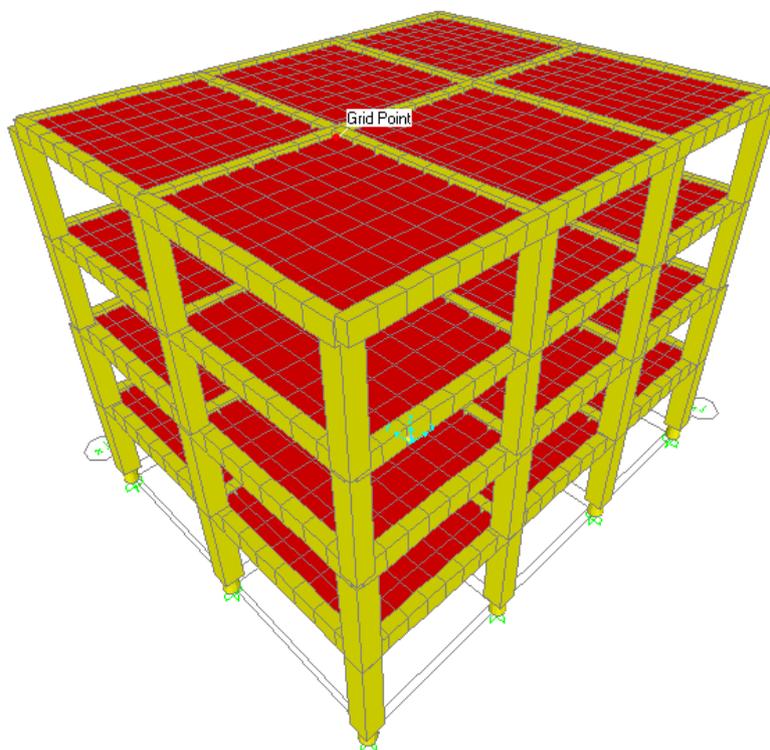


Figura 4.7. Vista tridimensional de la estructura de cuatro pisos

4.1.3. ESTRUCTURA DE SEIS PISOS

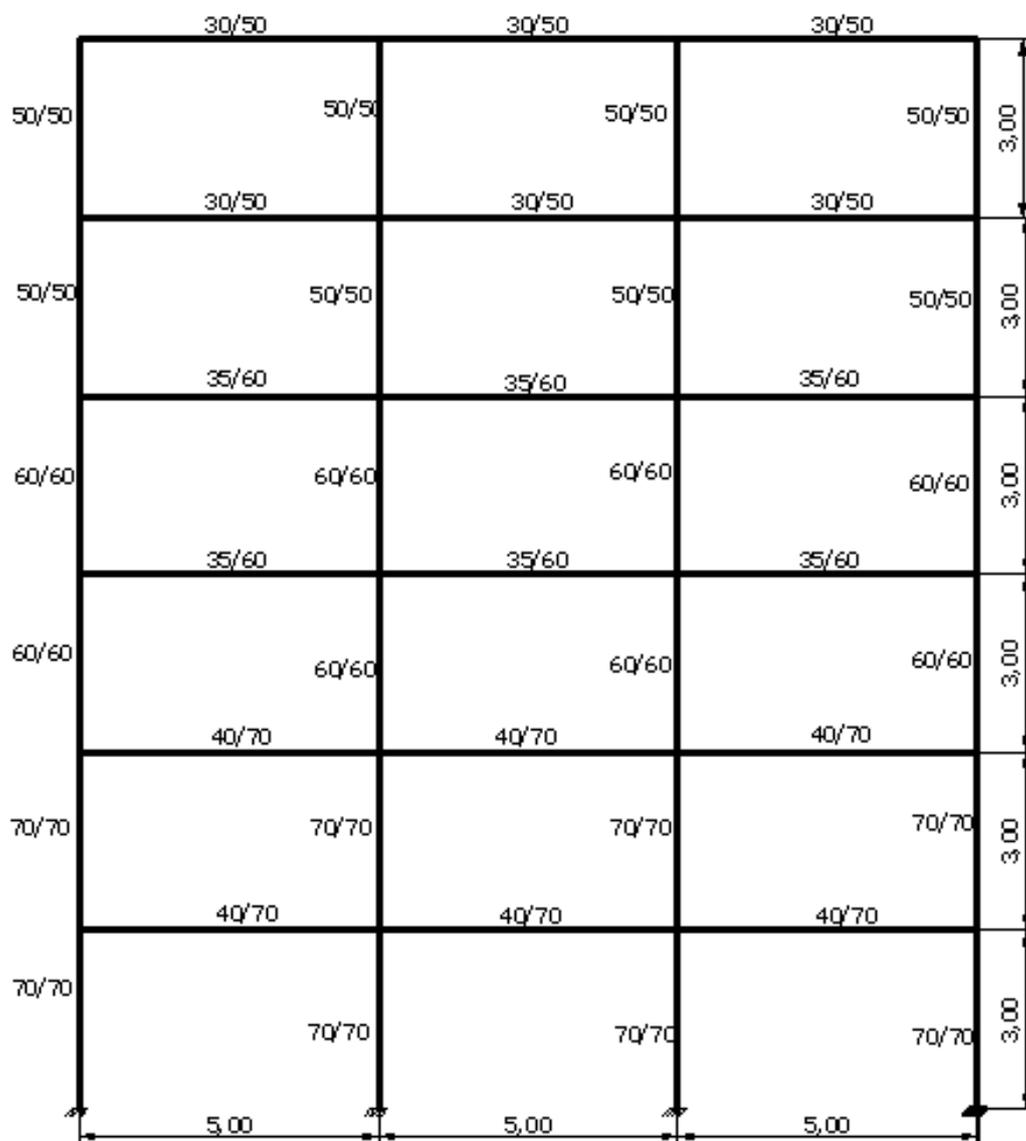


Figura 4.8. Estructura de seis pisos, sentido x

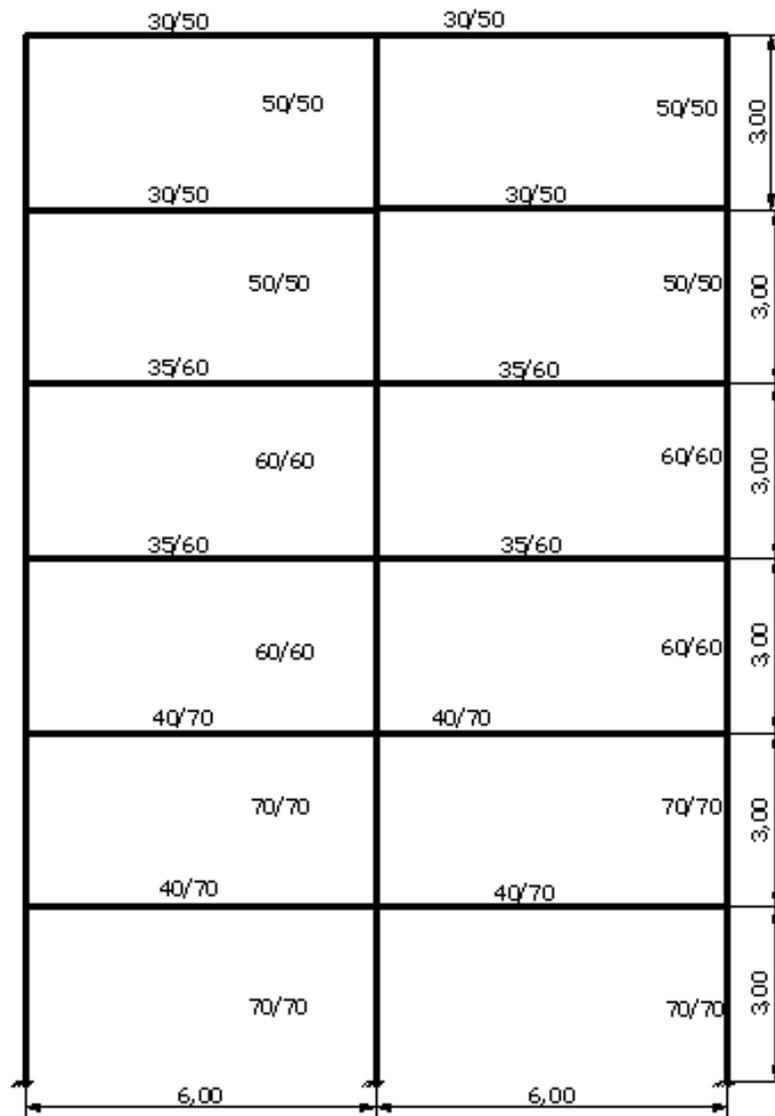


Figura 4.9. Estructura de seis pisos, sentido y

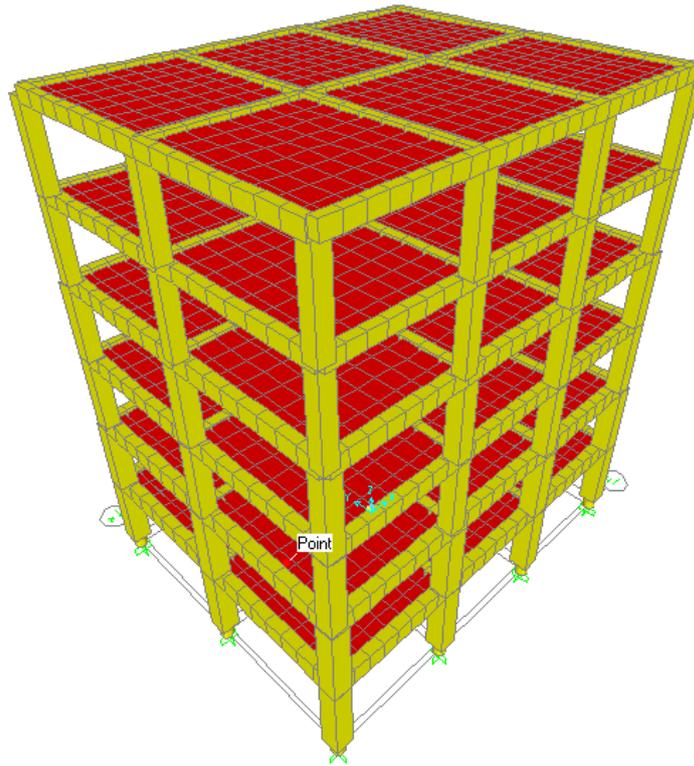


Figura 4.10. Vista tridimensional de la estructura de seis pisos

Tabla 4.1. Cálculo de cargas por Peso Propio

ELEMENTO PISO	LOSA	VIGAS	COLUMNAS	PESO TOTAL (Tn)
1	51.84	62.50	42.34	156.67
2	51.84	62.50	36.72	151.06
3	51.84	46.87	31.10	129.82
4	51.84	46.87	26.35	125.06
5	51.84	33.48	21.60	106.92
6	51.84	33.48	10.80	96.12

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISMOS

Sismo de Bahía de Caráquez

Dos sismos afectaron la costa ecuatoriana el martes, 4 de agosto de 1998, el primillo de ellos o premonitor alcanzó una magnitud de 5.7 grados en la escala de Richter, y su epicentro estaba a 28 Km. de profundidad, el segundo fue mayor con una intensidad de 7.1 grados en la escala de Richter, su epicentro se ubicó a 10 Km. al norte de la ciudad de Bahía de Caráquez, a 37 Km. De profundidad, mientras que su duración efectiva se estima de 111 segundos según el registro de la red sísmica del austro.

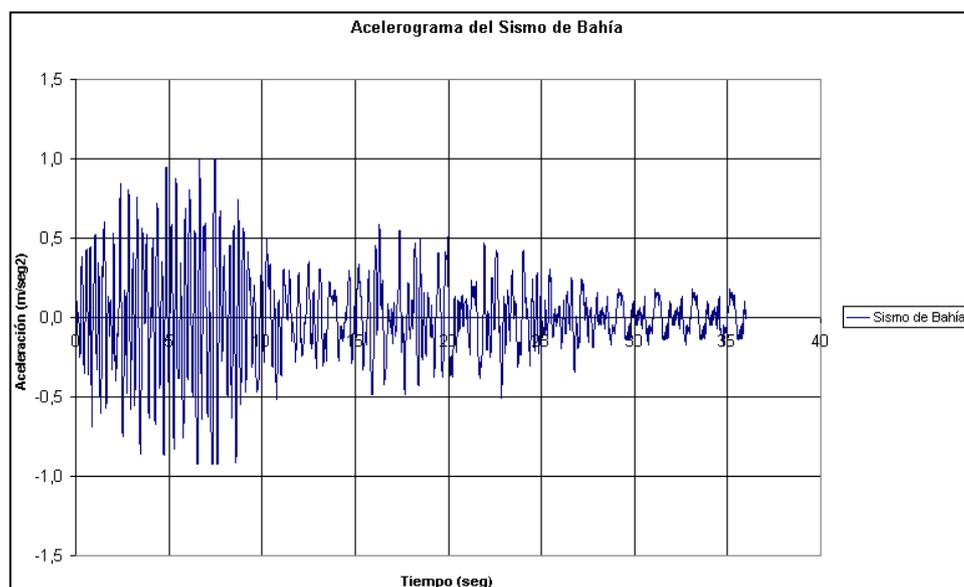


Figura 4.11. Acelerograma Reconstruido del Sismo de Bahía

4.2.2. Sismo de El Centro

Es el primer sismo del que se tiene un registro completo en las tres direcciones: x, y y z, por eso es tan utilizado. Tuvo lugar el 18 de Mayo de 1940 en Imperial

Valley, Estados Unidos, con una intensidad de 7.1 en la escala de Richter, dejando como resultado 9 víctimas.

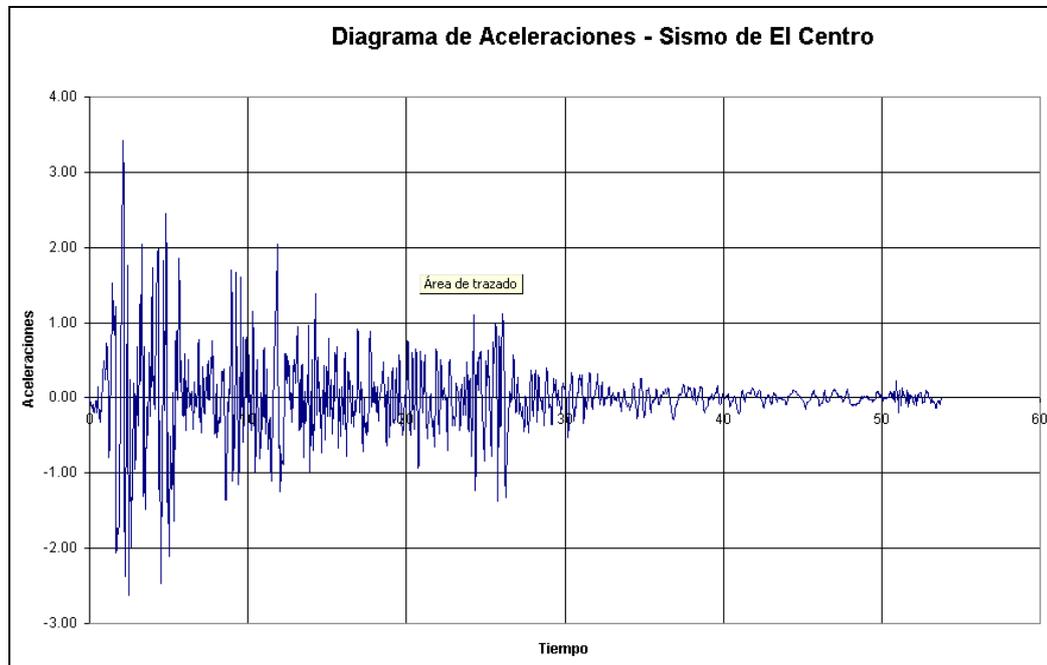


Figura 4.12. Acelerograma del sismo de El Centro

4.2.3. Sismo Sintético para 0.4g

Este sismo fue generado para 0,4 de la gravedad partiendo del espectro del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2000, se considera un tipo de suelo S1, y cuyo incremento de tiempo es de 0.01 segundos.

Tiene una duración de 20 segundos y la fase intensa es de 10 segundos, la aceleración máxima será 0.4G, generalmente vienen en GALS (cm/s^2) pero para ser usados con los programas los transformaremos en m/s^2 .

El acelerograma de este sismo se presenta en la figura 4.13.

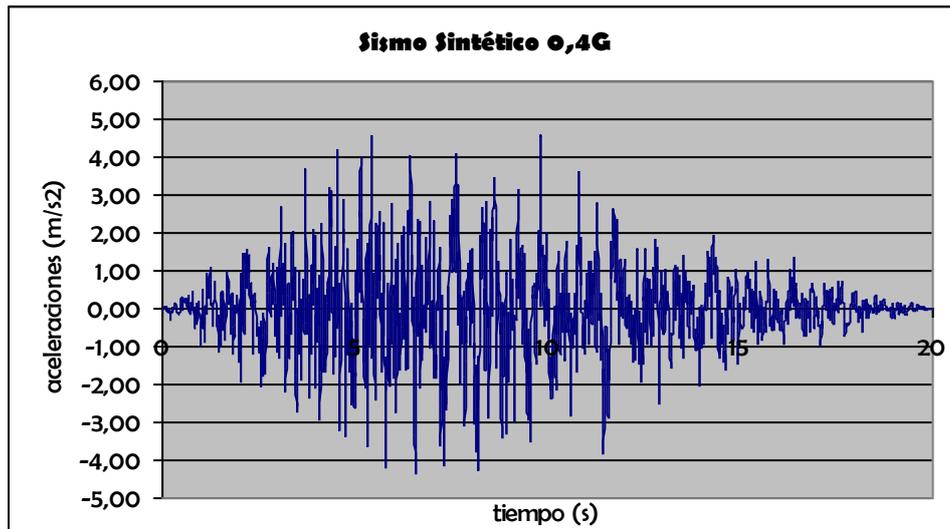


Figura 4.13. Acelerograma Sismo Sintético 0.4g

No se trabajó directamente con las aceleraciones, sino con los desplazamientos que se obtienen integrando la aceleración para obtener velocidades, y a su vez, si se integra la velocidad se obtendrá el desplazamiento, que es el dato de entrada para trabajar en este caso como una función en el tiempo.

Los datos que tenemos de los sismos registrados, lamentablemente tienen errores, por el mismo hecho de que se toman con máquinas que no son exactas o no están bien calibradas, para ello, es aconsejable hacer una corrección, el CEINCI se han publicado varios artículos para ajustar estos diagramas, aplicando ecuaciones de funciones sencillas, pero como la finalidad es comparar con los otros métodos de diseño se han tomado los datos originales, sin ajustar la función base.

4.3. RESPUESTAS EN EL TIEMPO

4.3.1. EDIFICIO DE DOS PISOS (SISMO DE BAHÍA)

4.3.1.1 Cuasiestático Aislamiento

- Sentido x

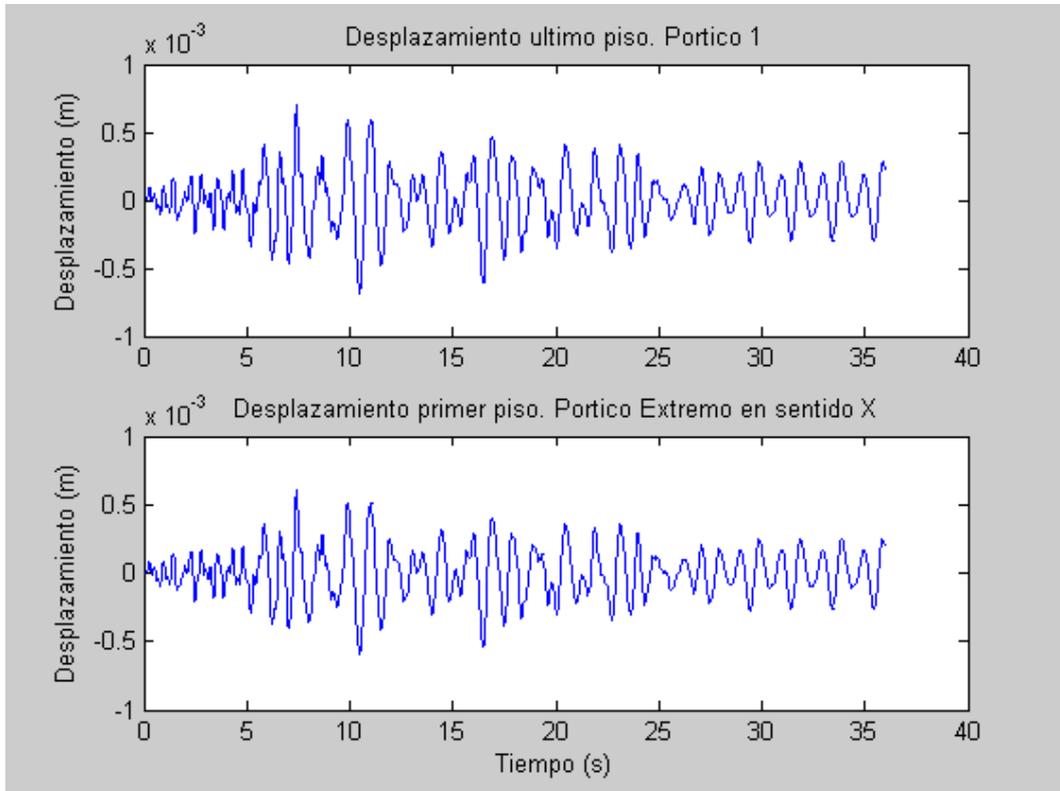


Figura 4.14. Respuesta en el tiempo, desplazamiento sentido x

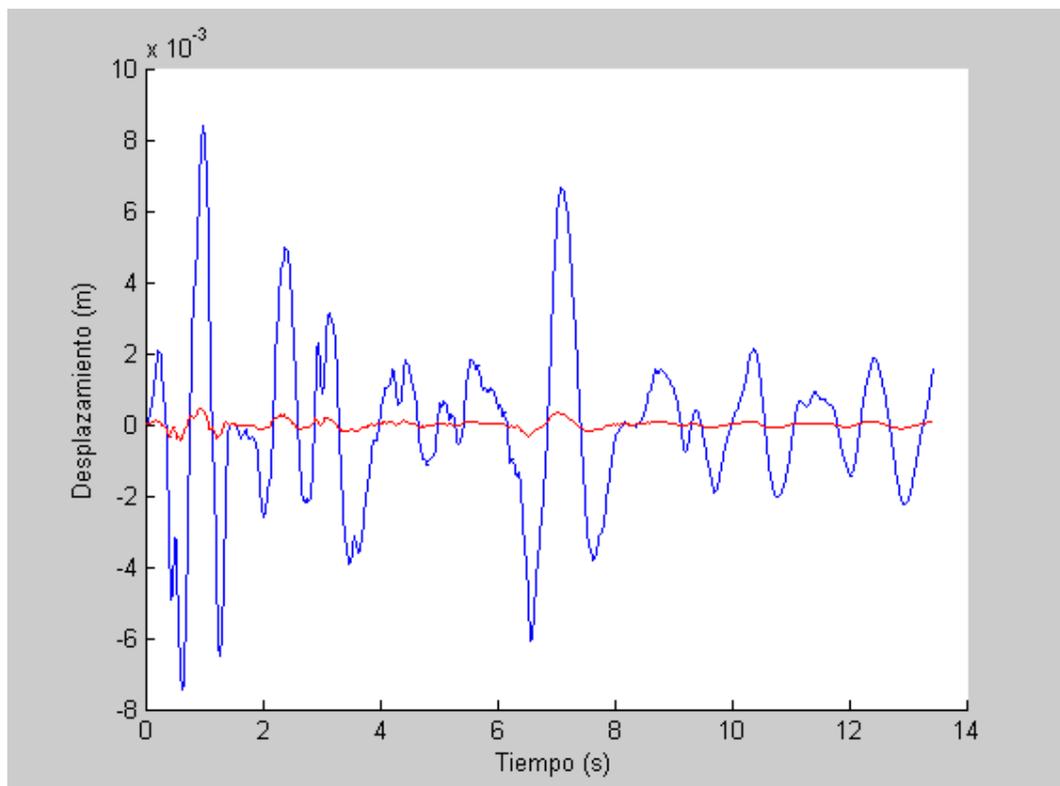


Figura 4.15. Desplazamientos en el aislador y la superestructura

- **Sentido y :**

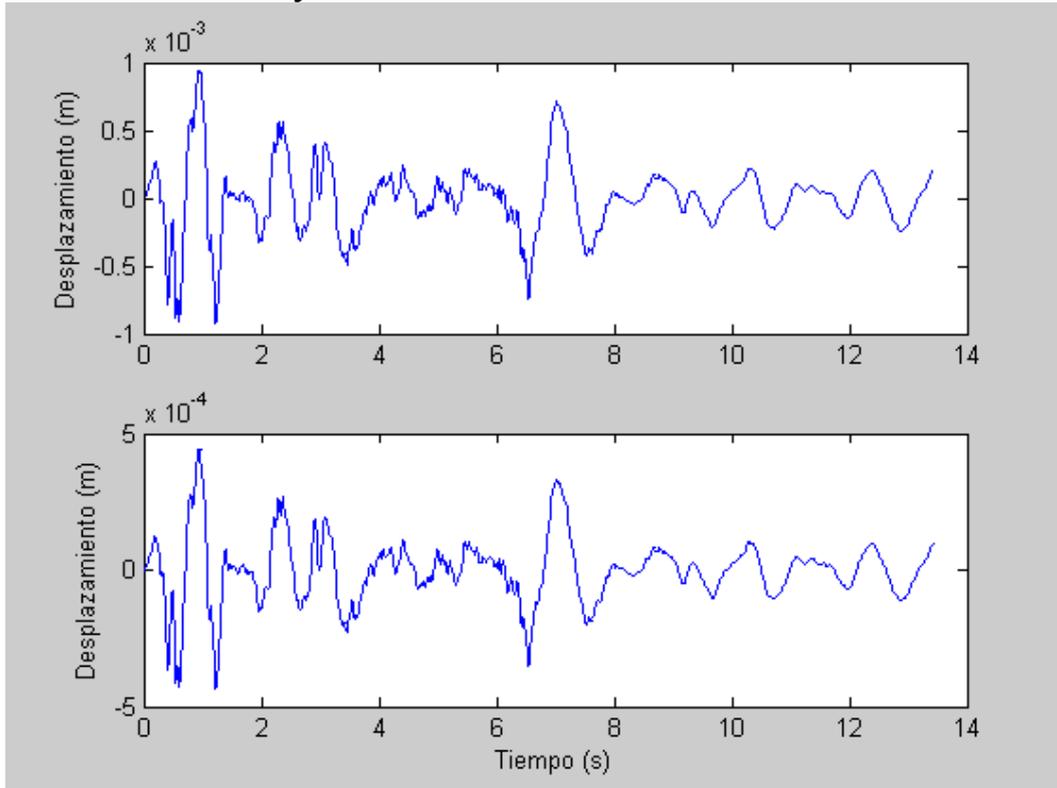


Figura 4.16. Desplazamientos en función del tiempo, sentido y

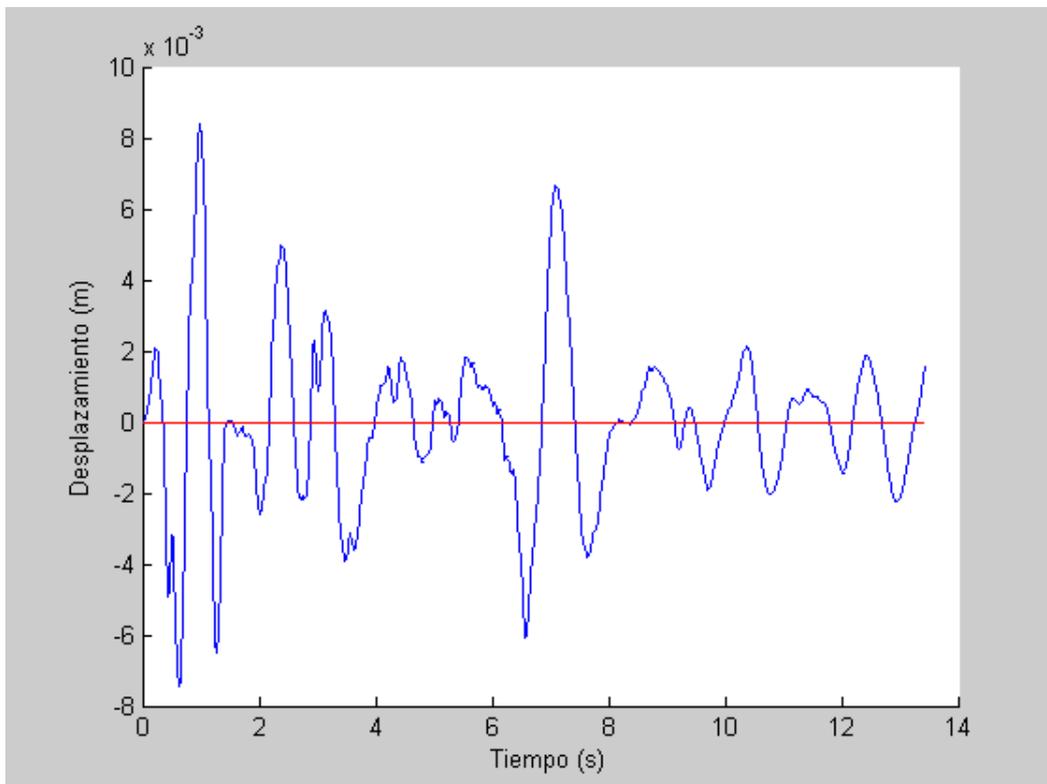


Figura 4.17. Desplazamientos en el aislador en sentido y

4.3.1.2. Masas corregidas Aislamiento

- Sentido x :

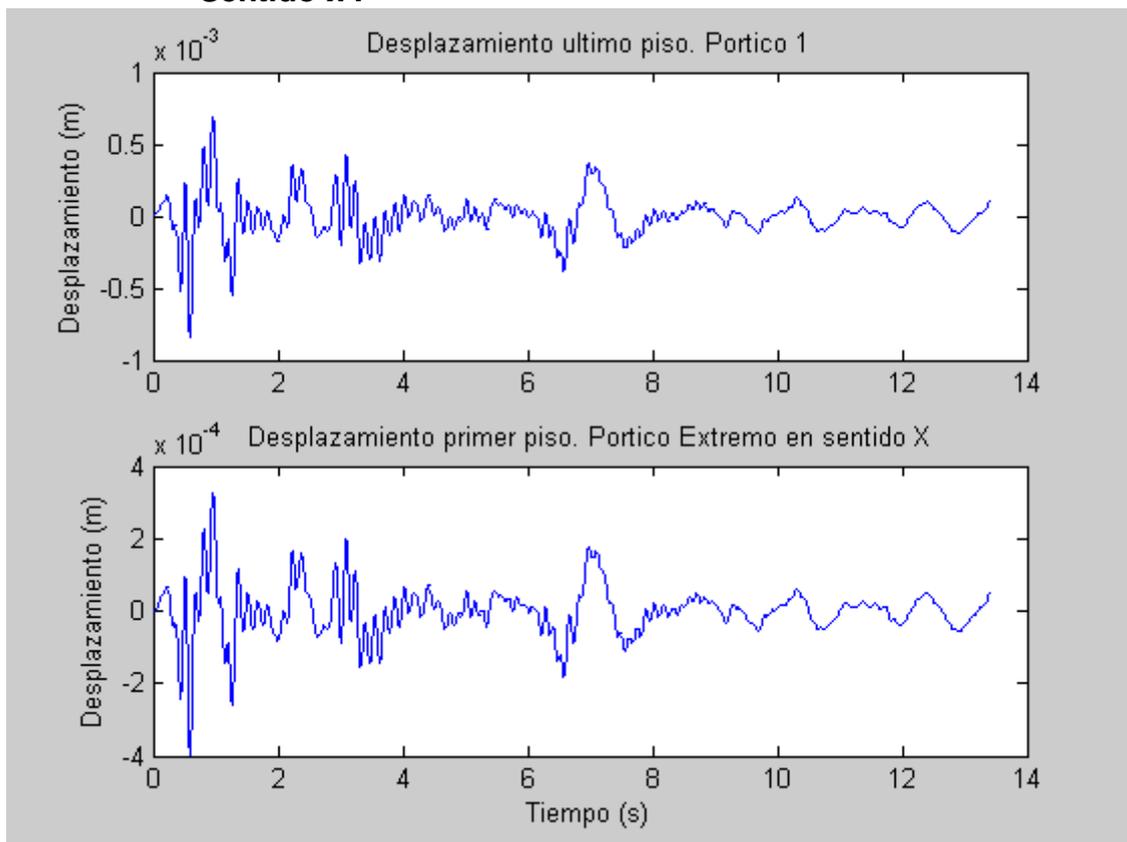


Figura 4.18. Desplazamiento primer y último piso, sentido x

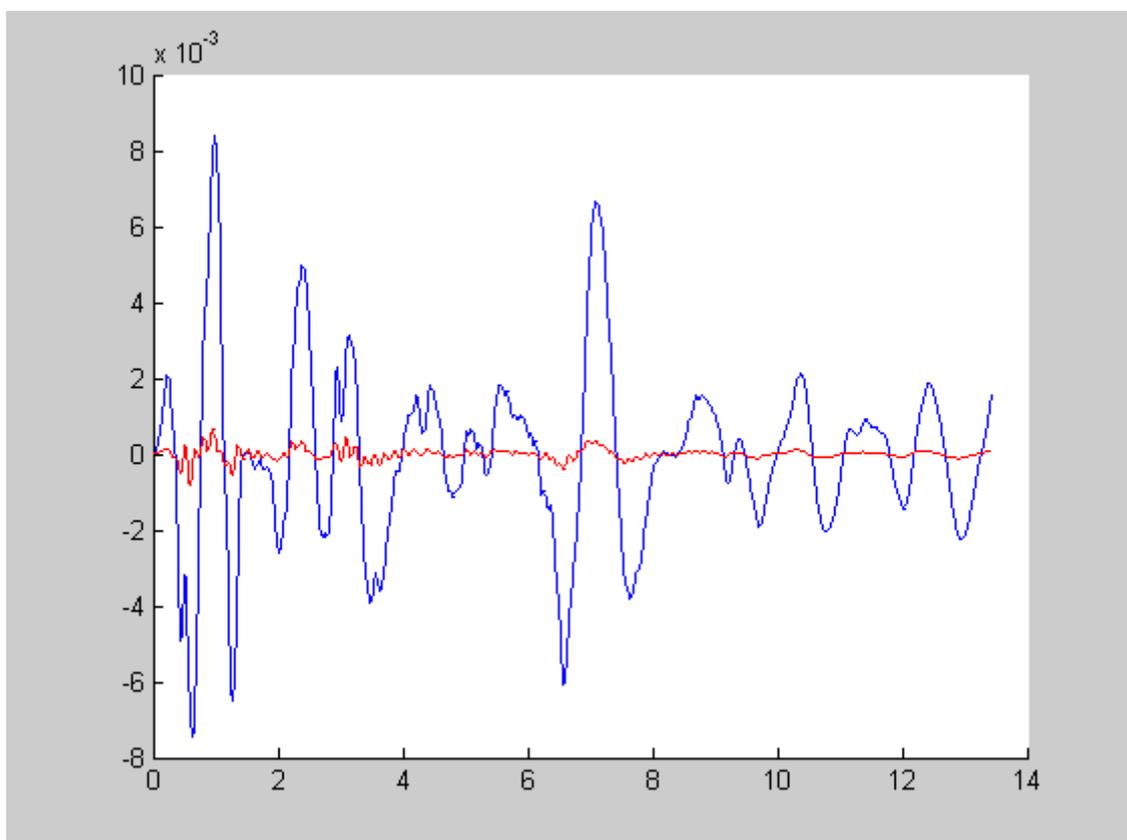


Figura 4.19. Desplazamiento en la base y en la estructura, sentido x

- **Sentido y :**

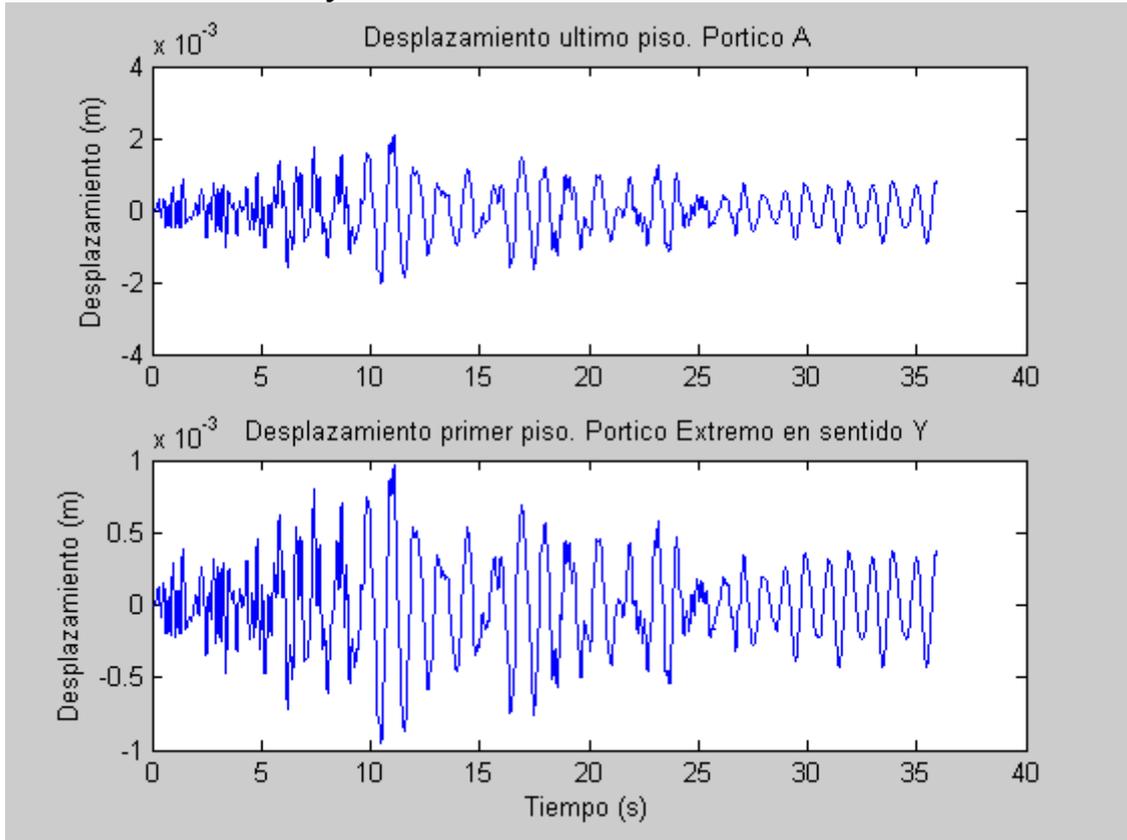


Figura 4.20. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

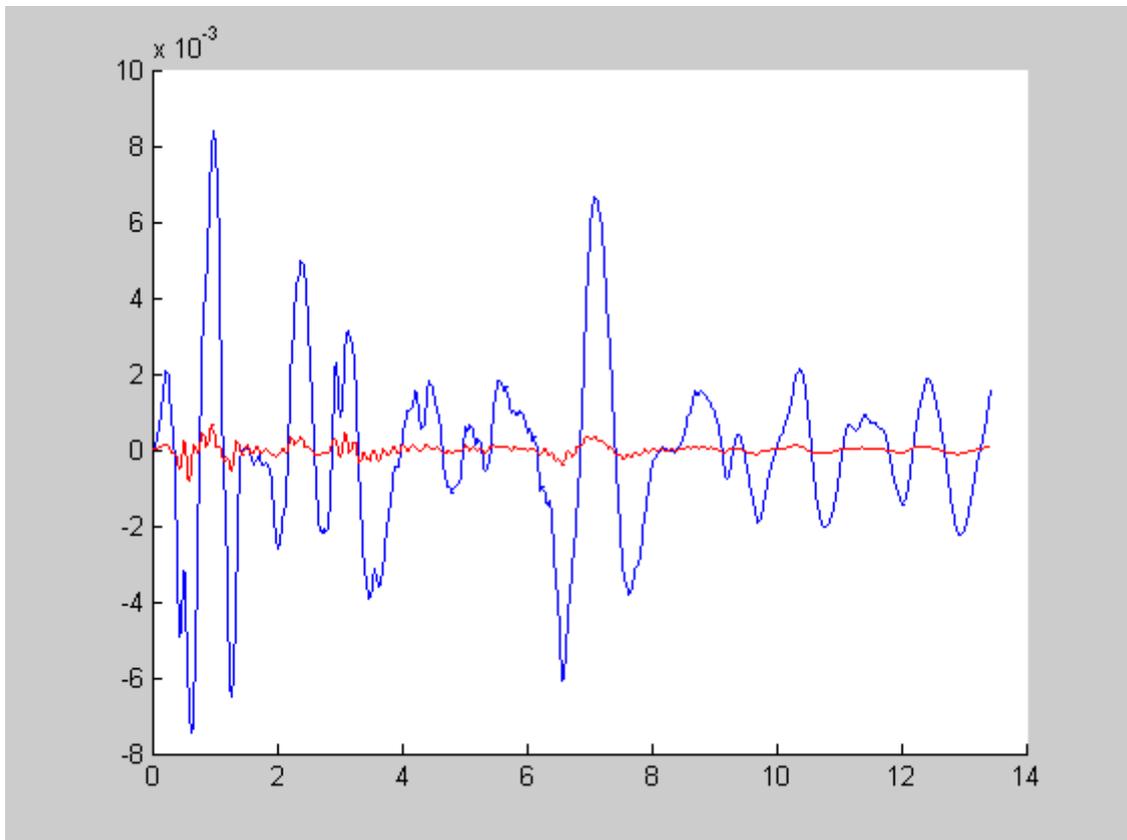


Figura 4.21. Desplazamientos base- estructura, sentido y

4.3.1.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	0,0049	0,0050	0,0051	0,00010000	0,00020000
20	1,000	0,0078	0,0079	0,0079	0,0001	0,0001
30	1,50	0,0110	0,0114	0,0117	0,0004	0,0007
40	2,00	0,0141	0,0140	0,0140	-0,0001	-0,0001
50	2,50	0,0169	0,0168	0,0167	-0,0001	-0,0002
60	3,00	0,0199	0,0199	0,0199	0,0000	0,0000
70	3,50	0,0184	0,0179	0,0177	-0,0005	-0,0007
80	4,00	0,0214	0,0212	0,0211	-0,0002	-0,0003
90	4,50	0,0234	0,0232	0,0232	-0,0002	-0,0002
100	5,0	0,0198	0,0199	0,0199	0,0001	0,0001
110	5,5	0,0267	0,0265	0,0264	-0,0002	-0,0003
120	6,0	0,0293	0,0301	0,0305	0,0008	0,0012
130	6,5	0,0190	0,0178	0,0171	-0,0012	-0,0019
140	7,0	0,0324	0,0328	0,0331	0,0004	0,0007
150	7,5	0,0392	0,0402	0,0408	0,0010	0,0016
160	8,0	0,0214	0,0205	0,0201	-0,0009	-0,0013
170	8,5	0,0428	0,0439	0,0445	0,0011	0,0017
180	9,0	0,0222	0,0216	0,0213	-0,0006	-0,0009
190	9,5	0,0365	0,0365	0,0364	0,0000	-0,0001
200	10,0	0,0434	0,0448	0,0456	0,0014	0,0022
210	10,5	0,0065	0,0039	0,0024	-0,0026	-0,0041
220	11,0	0,0635	0,0704	0,0724	0,0069	0,0089
230	11,5	-0,0048	-0,0131	-0,0154	-0,0083	-0,0106
240	12,0	0,0686	0,078	0,0807	0,0094	0,0121
250	12,5	-0,0100	-0,0187	-0,0211	-0,0087	-0,0111
260	13,0	0,0625	0,0716	0,0742	0,0091	0,0117
270	13,5	-0,0124	-0,0211	-0,0235	-0,0087	-0,0111
280	14,0	0,0491	0,0528	0,0548	0,0037	0,0057
290	14,5	-0,0129	-0,016	-0,0176	-0,0031	-0,0047
300	15,0	0,0301	0,0357	0,0373	0,0056	0,0072

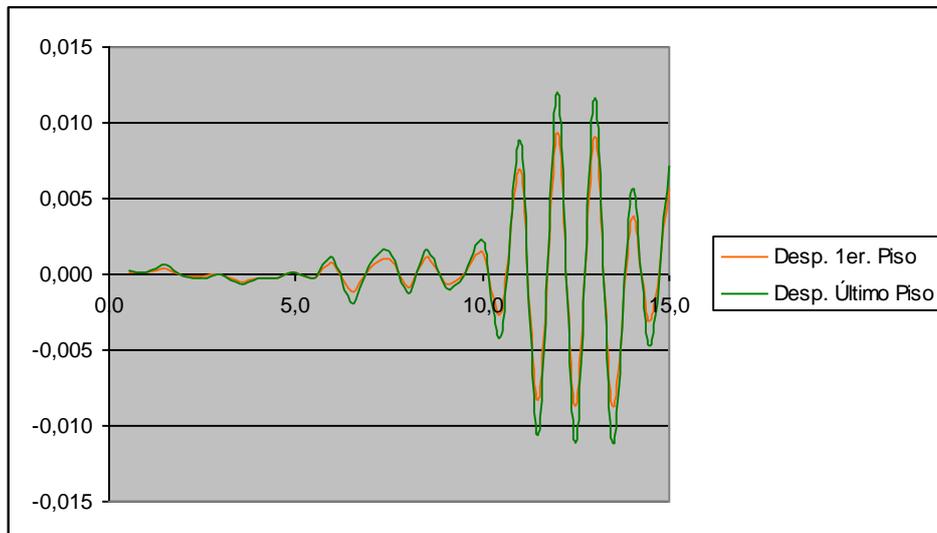


Figura 4.22. Respuesta en el tiempo, usando SAP2000, sentido x

- Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	0,0049	0,0050	0,0051	0,0001	0,0002
20	1,0	0,0078	0,0079	0,0079	0,0001	0,0001
30	1,5	0,0110	0,0114	0,0117	0,0004	0,0007
40	2,0	0,0141	0,0140	0,0140	-0,0001	-0,0001
50	2,5	0,0169	0,0168	0,0167	-0,0001	-0,0002
60	3,0	0,0199	0,0199	0,0199	0,0000	0,0000
70	3,5	0,0184	0,0179	0,0177	-0,0005	-0,0007
80	4,0	0,0214	0,0212	0,0211	-0,0002	-0,0003
90	4,5	0,0231	0,0232	0,0232	0,0001	0,0001
100	5,0	0,0198	0,0199	0,0199	0,0001	0,0001
110	5,5	0,0267	0,0265	0,0264	-0,0002	-0,0003
120	6,0	0,0293	0,0301	0,0305	0,0008	0,0012
130	6,5	0,0190	0,0178	0,0171	-0,0012	-0,0019
140	7,0	0,0324	0,0328	0,0331	0,0004	0,0007
150	7,5	0,0392	0,0402	0,0408	0,0010	0,0016
160	8,0	0,0214	0,0205	0,0201	-0,0009	-0,0013
170	8,5	0,0428	0,0439	0,0445	0,0011	0,0017
180	9,0	0,0222	0,0216	0,0213	-0,0006	-0,0009
190	9,5	0,0365	0,0365	0,0364	0,0000	-0,0001
200	10,0	0,0434	0,0448	0,0456	0,0014	0,0022
210	10,5	0,0065	0,0039	0,0024	-0,0026	-0,0041
220	11,0	0,0668	0,0704	0,0724	0,0036	0,0056
230	11,5	-0,0087	-0,0131	-0,0154	-0,0044	-0,0067
240	12,0	0,073	0,078	0,0807	0,0050	0,0077
250	12,5	-0,0142	-0,0187	-0,0211	-0,0045	-0,0069
260	13,0	0,0669	0,0716	0,0742	0,0047	0,0073
270	13,5	-0,0166	-0,0211	-0,0235	-0,0045	-0,0069
280	14,0	0,0491	0,0528	0,0548	0,0037	0,0057
290	14,5	-0,0129	-0,016	-0,0176	-0,0031	-0,0047
300	15,0	0,0328	0,0357	0,0373	0,0029	0,0045

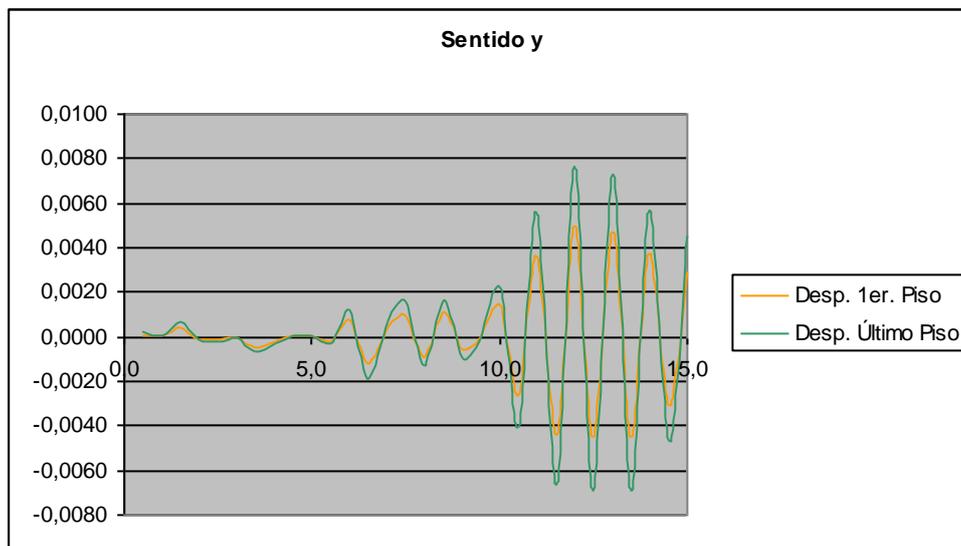


Figura 4.23. Desplazamientos en el tiempo, usando SAP 2000, sentido y

4.3.2. EDIFICIO DE DOS PISOS (SISMO DE EL CENTRO)

4.3.2.1. Cuasiestático Aislamiento:

- Sentido x:

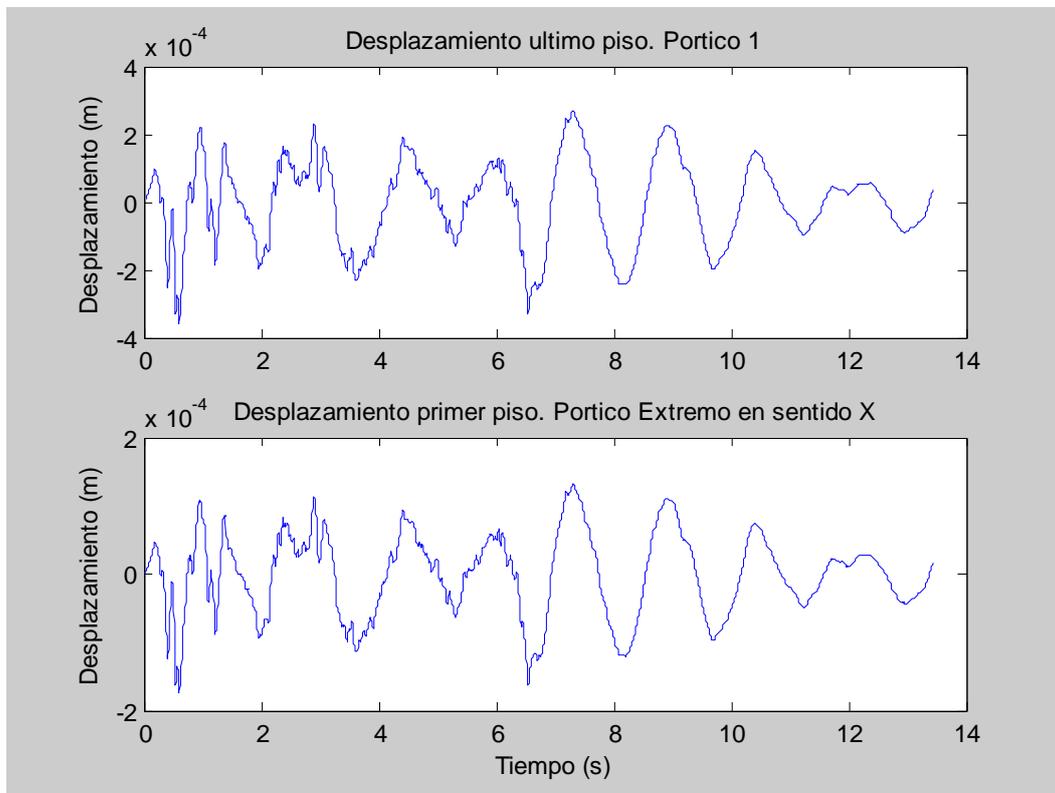


Figura 4.24. Desplazamientos primer y último piso, sentido x

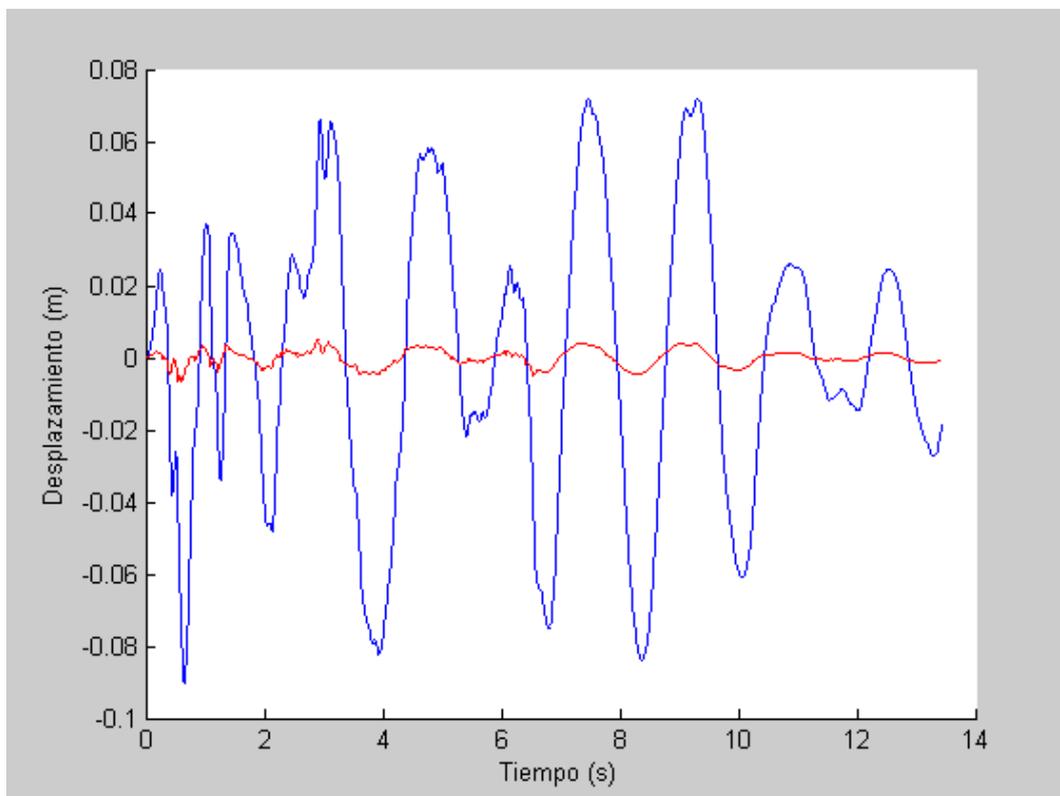


Figura 4.25. Respuesta en el tiempo aislador-superestructura, sentido x

- Sentido y:

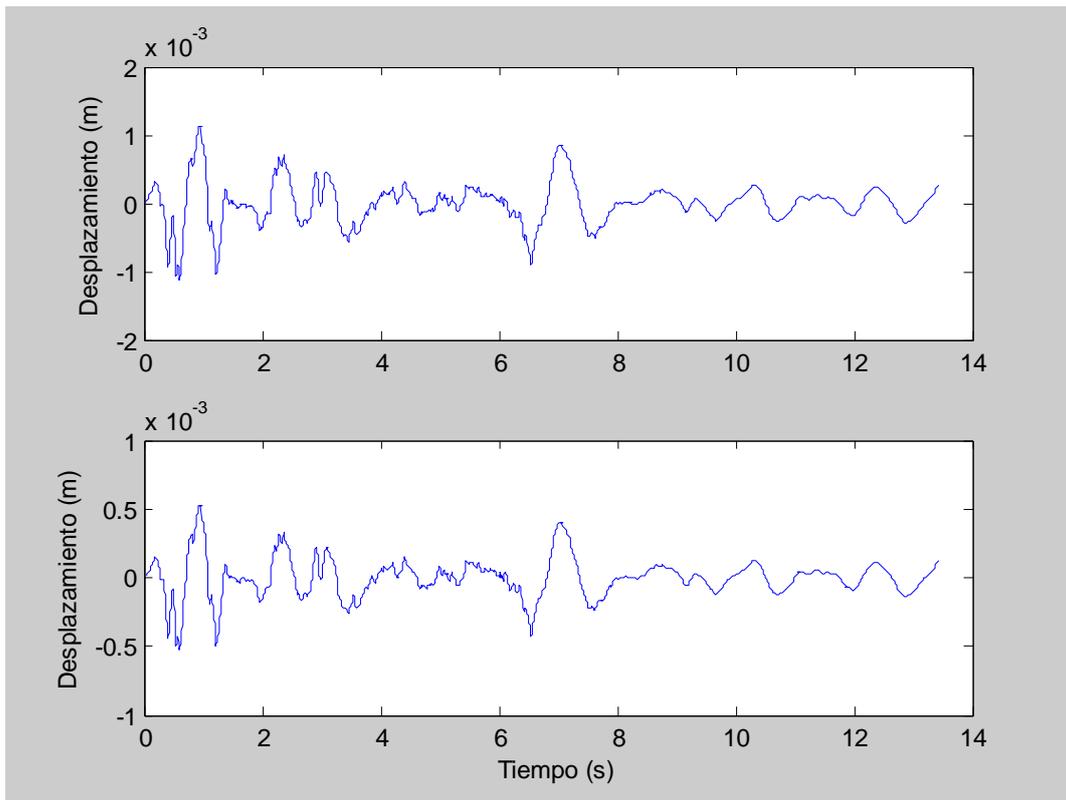


Figura 4.26. Desplazamientos primer y último piso, sentido y

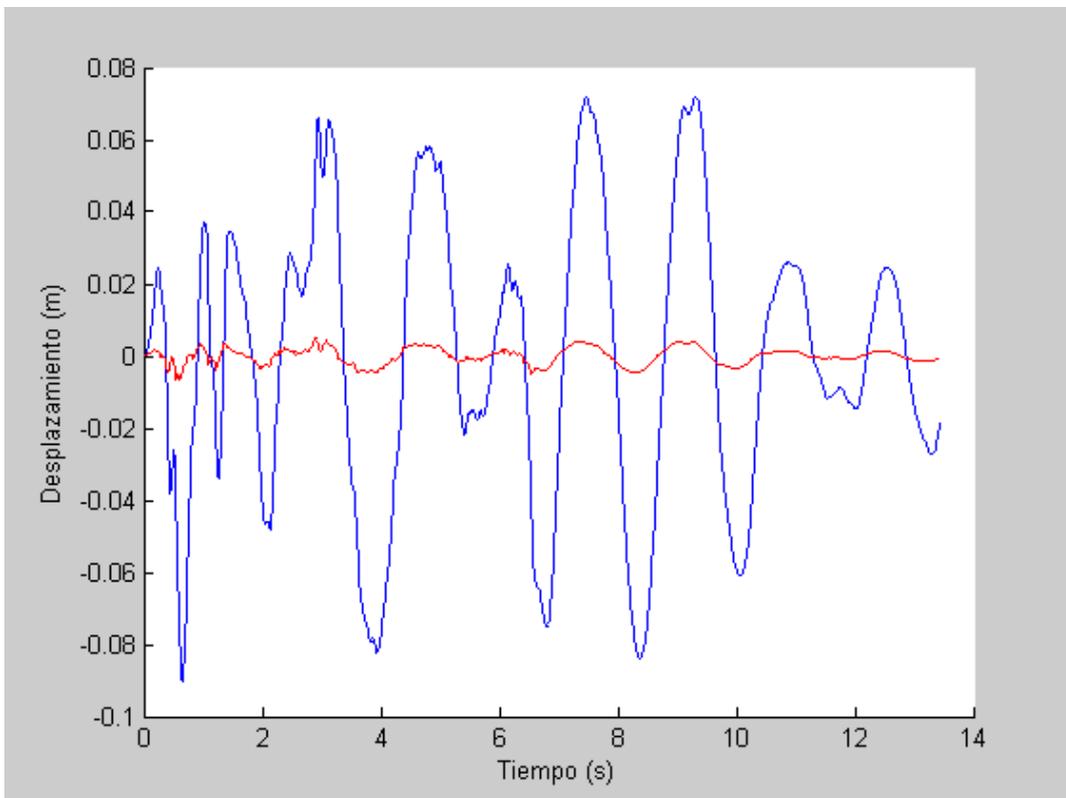


Figura 4.27. Desplazamientos aislador-superestructura, sentido y

4.3.2.2. Masas corregidas Aislamiento

- Sentido x:

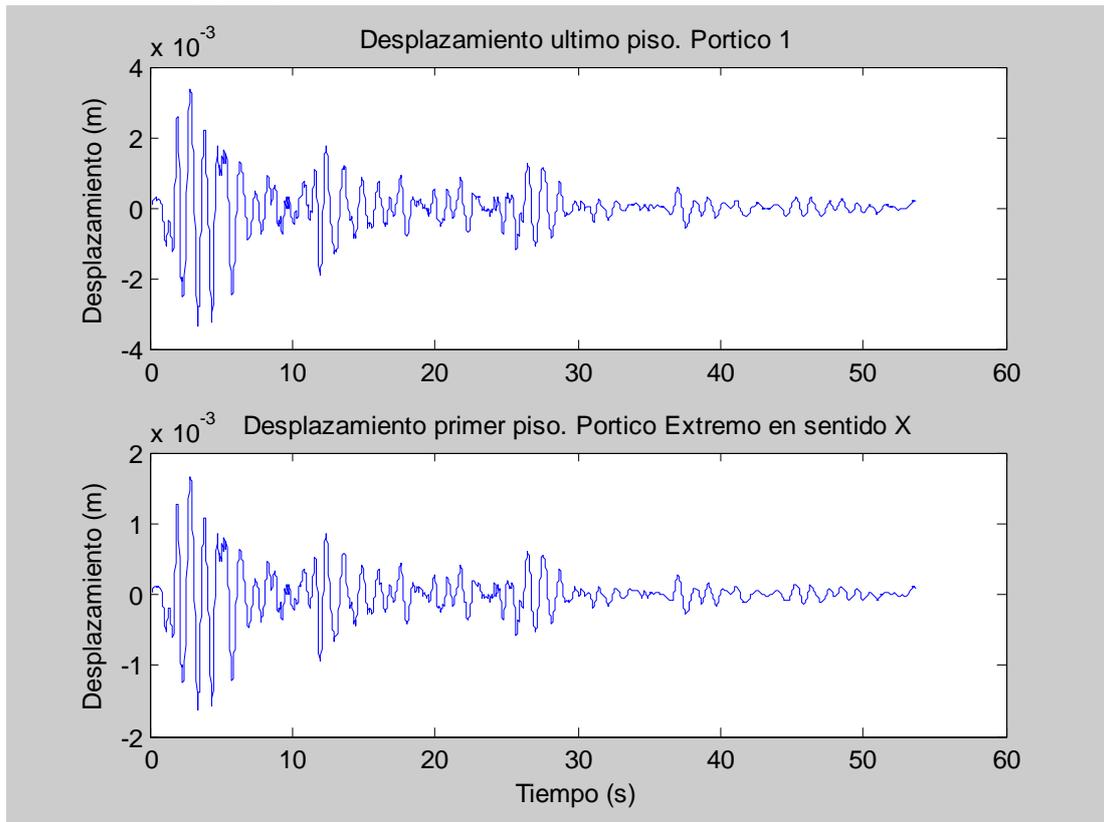


Figura 4.28. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

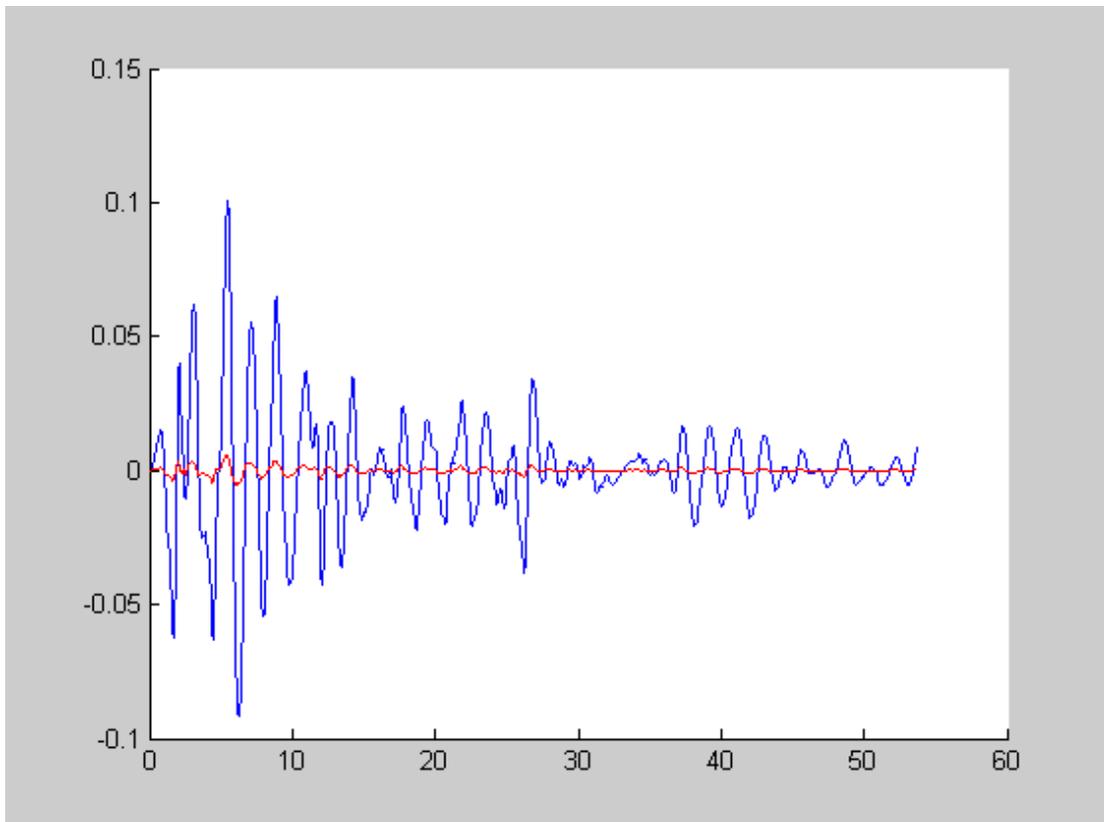


Figura 4.29. Desplazamiento en el aislador y en la estructura, sentido x

- **Sentido y:**

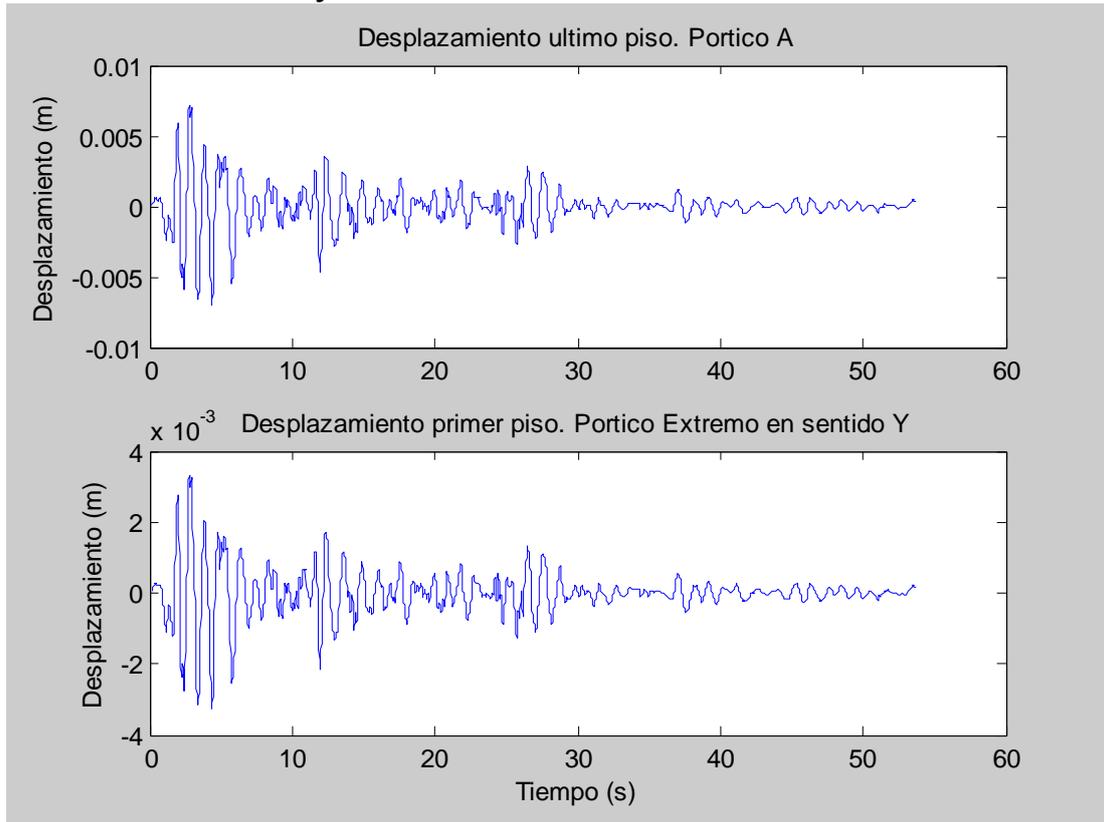


Figura 4.30. Desplazamientos en el primer y último piso

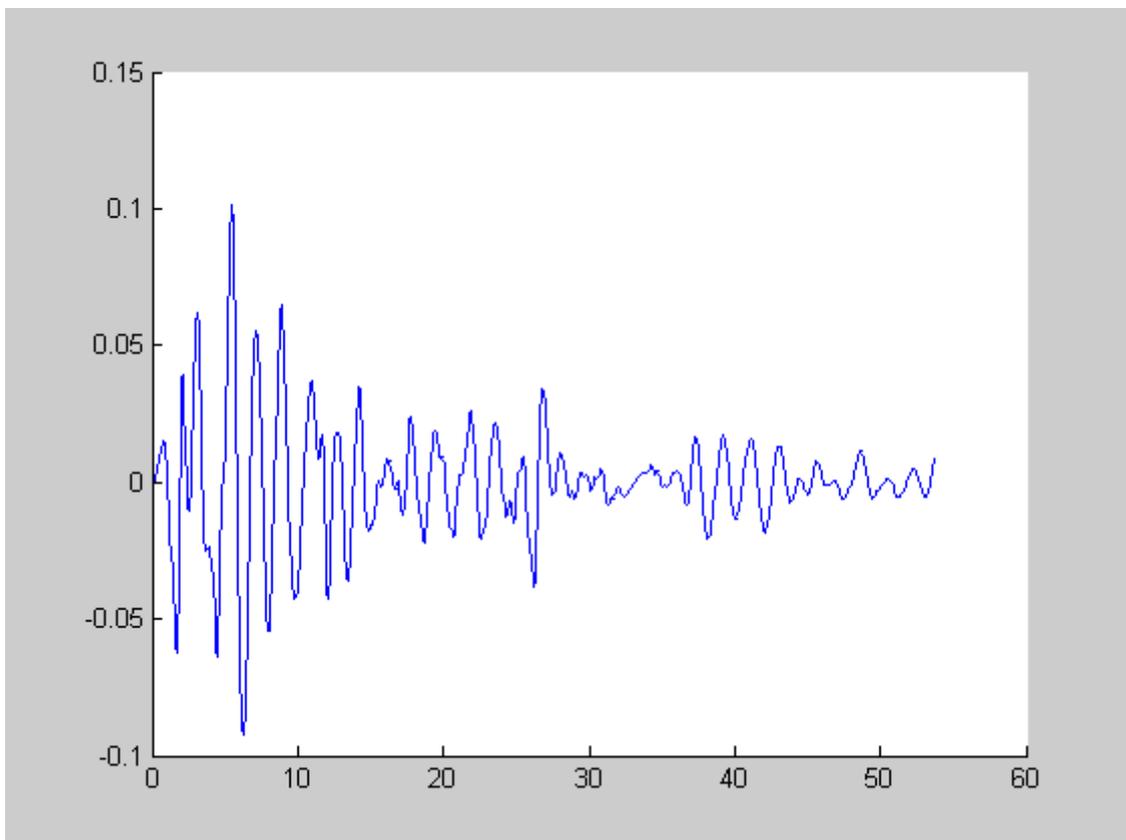


Figura 4.31. Desplazamientos en el aislador, sentido y

4.3.2.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0063	-0,0061	-0,0058	0,0002	0,0005
20	1,0	-0,0531	-0,0533	-0,0536	-0,0002	-0,0005
30	1,5	-0,0362	-0,0364	-0,0369	-0,0002	-0,0007
40	2,0	0,0836	0,085	0,088	0,0014	0,0044
50	2,5	0,0425	0,0403	0,036	-0,0022	-0,0065
60	3,0	0,2550	0,2593	0,2659	0,0043	0,0109
70	3,5	-0,0371	-0,0413	-0,0488	-0,0042	-0,0117
80	4,0	0,2126	0,2166	0,2235	0,004	0,0109
90	4,5	-0,0006	-0,0051	-0,0133	-0,0045	-0,0127
100	5,0	0,3792	0,3829	0,3891	0,0037	0,0099
110	5,5	0,1827	0,1811	0,1788	-0,0016	-0,0039
120	6,0	0,2009	0,2004	0,199	-0,0005	-0,0019
130	6,5	0,3415	0,3436	0,3472	0,0021	0,0057
140	7,0	0,1975	0,194	0,1882	-0,0035	-0,0093
150	7,5	0,4928	0,4971	0,5043	0,0043	0,0115
160	8,0	0,2627	0,2576	0,249	-0,0051	-0,0137
170	8,5	0,6787	0,6838	0,693	0,0051	0,0143
180	9,0	0,3252	0,3211	0,3132	-0,0041	-0,012
190	9,5	0,6433	0,6466	0,6535	0,0033	0,0102
200	10,0	0,3961	0,3934	0,3876	-0,0027	-0,0085
210	10,5	0,6418	0,6433	0,647	0,0015	0,0052
220	11,0	0,5769	0,5777	0,577	0,0008	1E-04
230	11,5	0,5544	0,5539	0,5529	-0,0005	-0,0015
240	12,0	0,5996	0,6002	0,6018	0,0006	0,0022
250	12,5	0,4480	0,4456	0,4433	-0,0024	-0,0047
260	13,0	0,6055	0,608	0,6131	0,0025	0,0076
270	13,5	0,3948	0,3911	0,3839	-0,0037	-0,0109
280	14,0	0,7240	0,729	0,7378	0,005	0,0138
290	14,5	0,3728	0,3669	0,3568	-0,0059	-0,016
300	15,0	0,7970	0,803	0,813	0,006	0,016

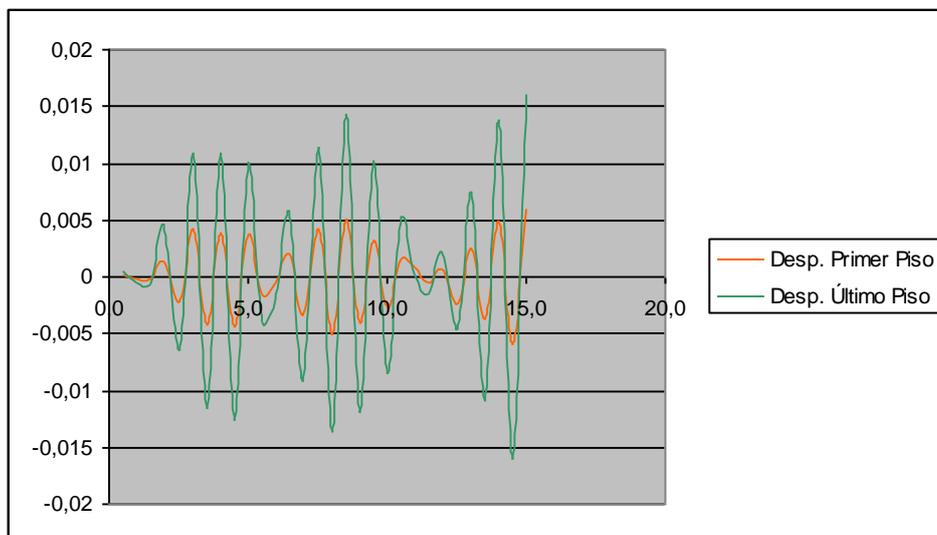


Figura 4.32. Desplazamientos relativos con SAP2000, sentido x

- Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0066	-0,0064	-0,006	0,0002	0,0006
20	1,0	-0,0533	-0,0536	-0,054	-0,0003	-0,0007
30	1,5	-0,0334	-0,0336	-0,0341	-0,0002	-0,0007
40	2,0	0,0798	0,0821	0,0855	0,0023	0,0057
50	2,5	0,0470	0,0434	0,0383	-0,0036	-0,0087
60	3,0	0,2508	0,2563	0,2641	0,0055	0,0133
70	3,5	-0,0380	-0,0439	-0,0526	-0,0059	-0,0146
80	4,0	0,2236	0,2292	0,2376	0,0056	0,014
90	4,5	-0,0220	-0,0295	-0,0404	-0,0075	-0,0184
100	5,0	0,4165	0,4235	0,4335	0,007	0,017
110	5,5	0,1218	0,1171	0,1106	-0,0047	-0,0112
120	6,0	0,2865	0,2884	0,2914	0,0019	0,0049
130	6,5	0,2377	0,237	0,2355	-0,0007	-0,0022
140	7,0	0,3114	0,3115	0,3117	1E-04	0,0003
150	7,5	0,3777	0,3781	0,379	0,0004	0,0013
160	8,0	0,3714	0,3692	0,3657	-0,0022	-0,0057
170	8,5	0,5856	0,5899	0,596	0,0043	0,0104
180	9,0	0,3891	0,3843	0,3776	-0,0048	-0,0115
190	9,5	0,6192	0,6241	0,6313	0,0049	0,0121
200	10,0	0,3742	0,3689	0,3608	-0,0053	-0,0134
210	10,5	0,7133	0,7191	0,7276	0,0058	0,0143
220	11,0	0,4560	0,4502	0,442	-0,0058	-0,014
230	11,5	0,7221	0,7281	0,7368	0,006	0,0147
240	12,0	0,3829	0,3861	0,3765	0,0032	-0,0064
250	12,5	0,6829	0,689	0,6982	0,0061	0,0153
260	13,0	0,3569	0,3512	0,3428	-0,0057	-0,0141
270	13,5	0,6446	0,6494	0,6561	0,0048	0,0115
280	14,0	0,4874	0,4845	0,4804	-0,0029	-0,007
290	14,5	0,5805	0,5807	0,5811	0,0002	0,0006
300	15,0	0,6349	0,6368	0,6393	0,0019	0,0044

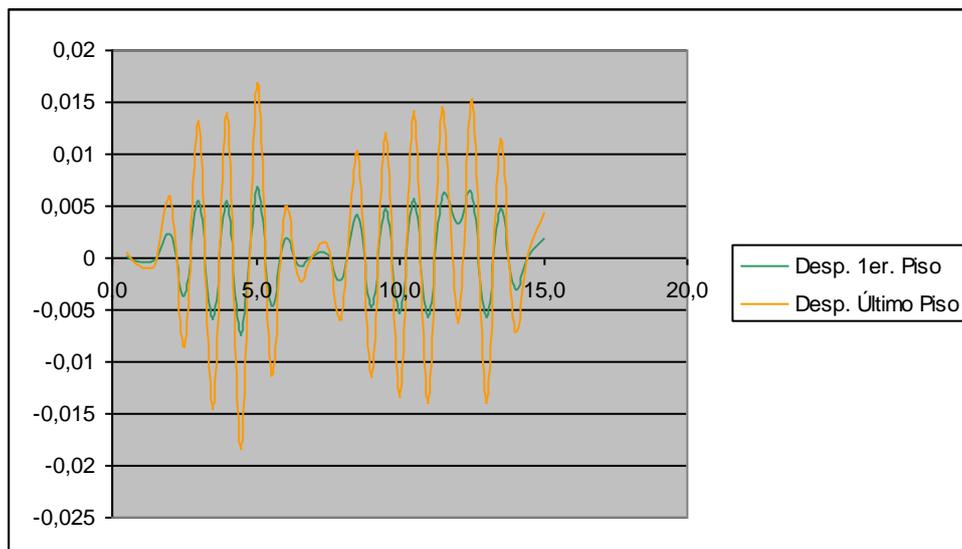


Figura 4.33. Desplazamientos relativos con SAP2000, sentido y.

4.3.3. EDIFICIO DE DOS PISOS (SISMO SINTÉTICO)

4.3.3.1. Cuasiestático – Aislamiento

- Sentido x:

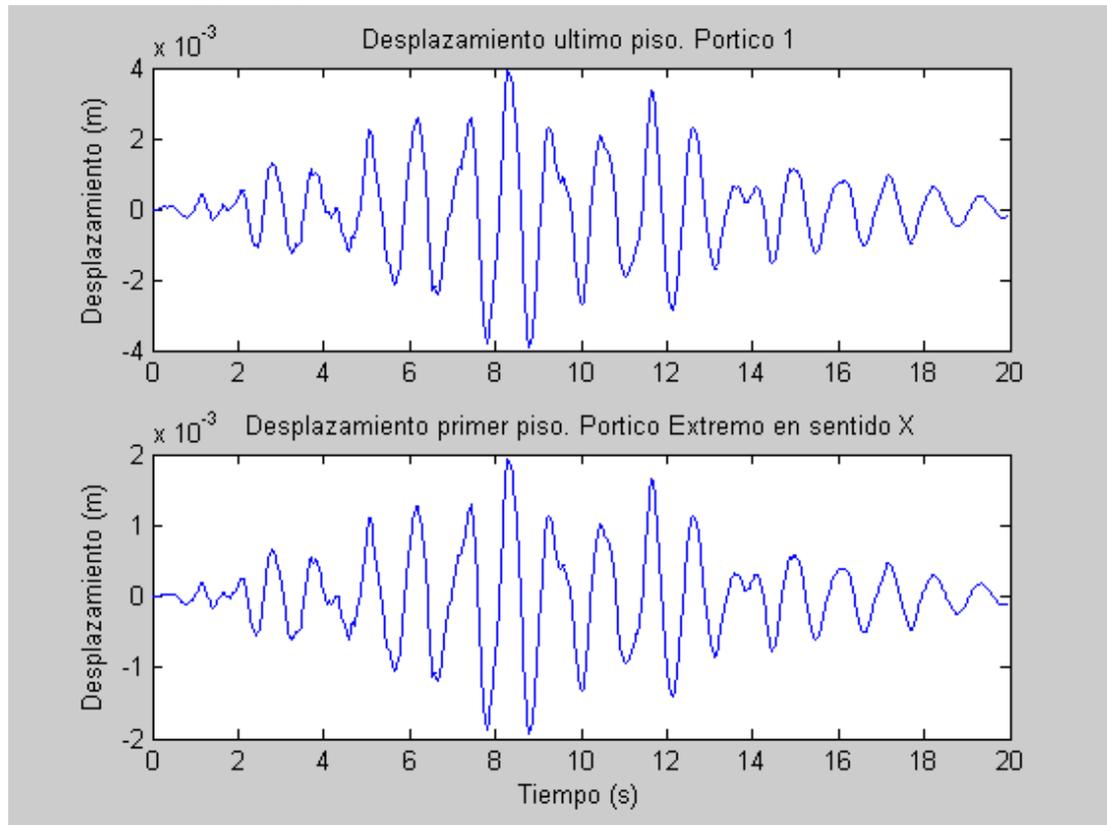


Figura 4.34. Desplazamientos primer y último pisos, sentido x

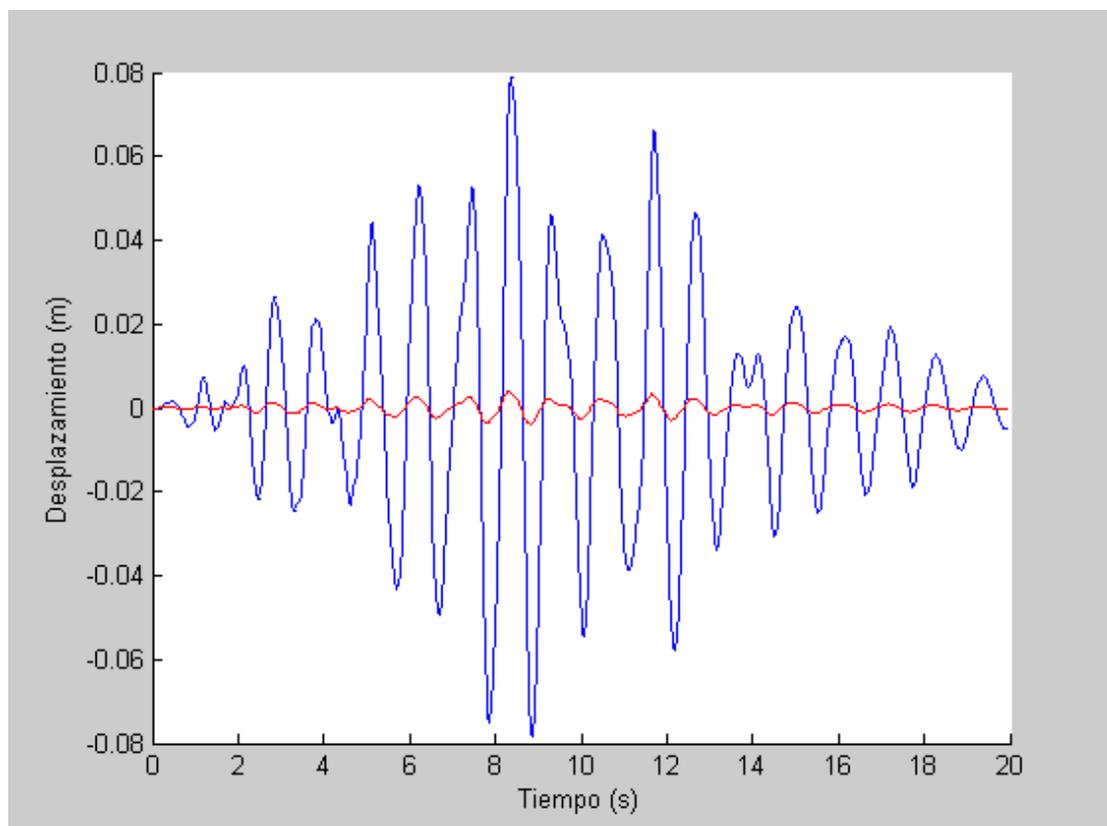


Figura 4.35. Desplazamiento en el aislador y la estructura, sentido x.

- **Sentido y:**

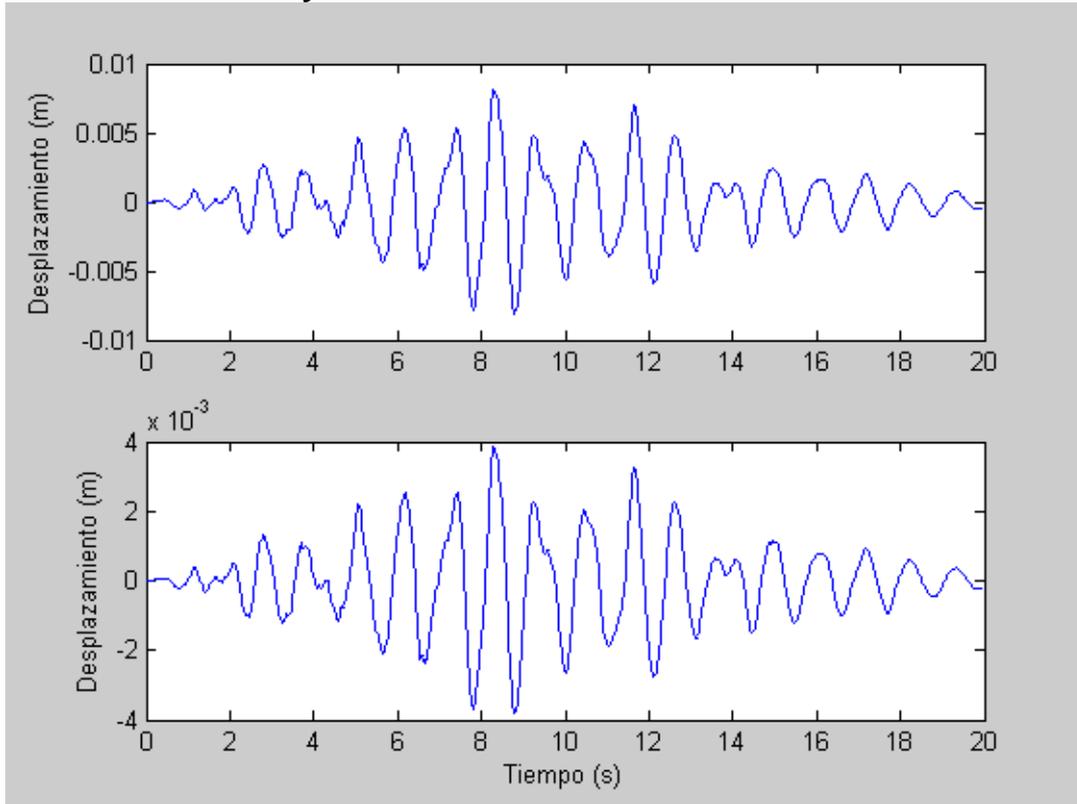


Figura 4.36. Desplazamientos primer y último pisos, sentido y

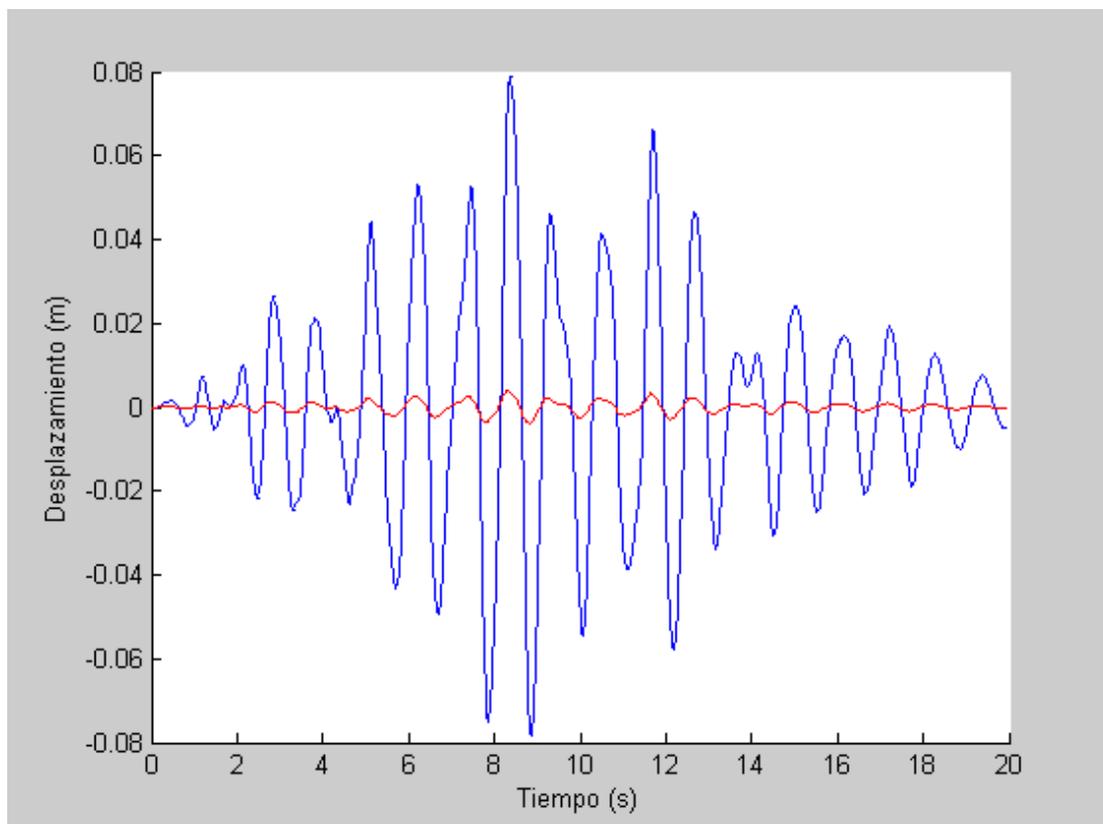


Figura 4.37. Desplazamientos en el aislador y la estructura, sentido y

4.3.3.2. Masas Corregidas- Aislamiento

- Sentido x:

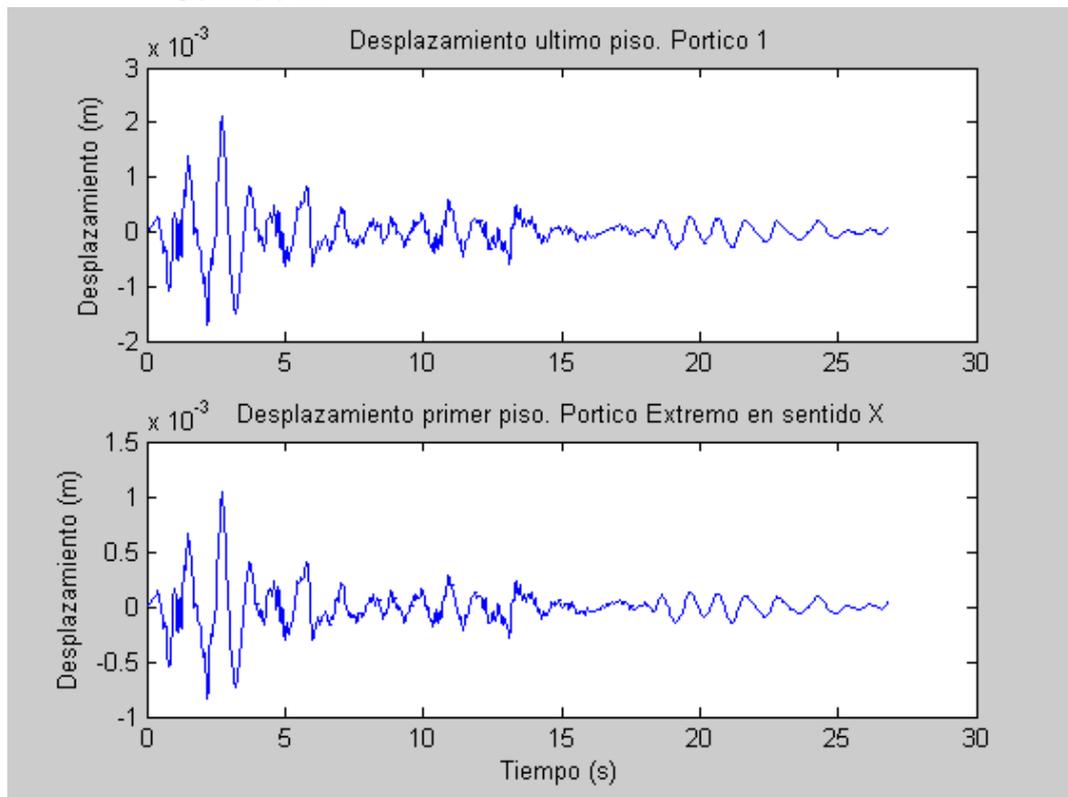


Figura 4.38. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

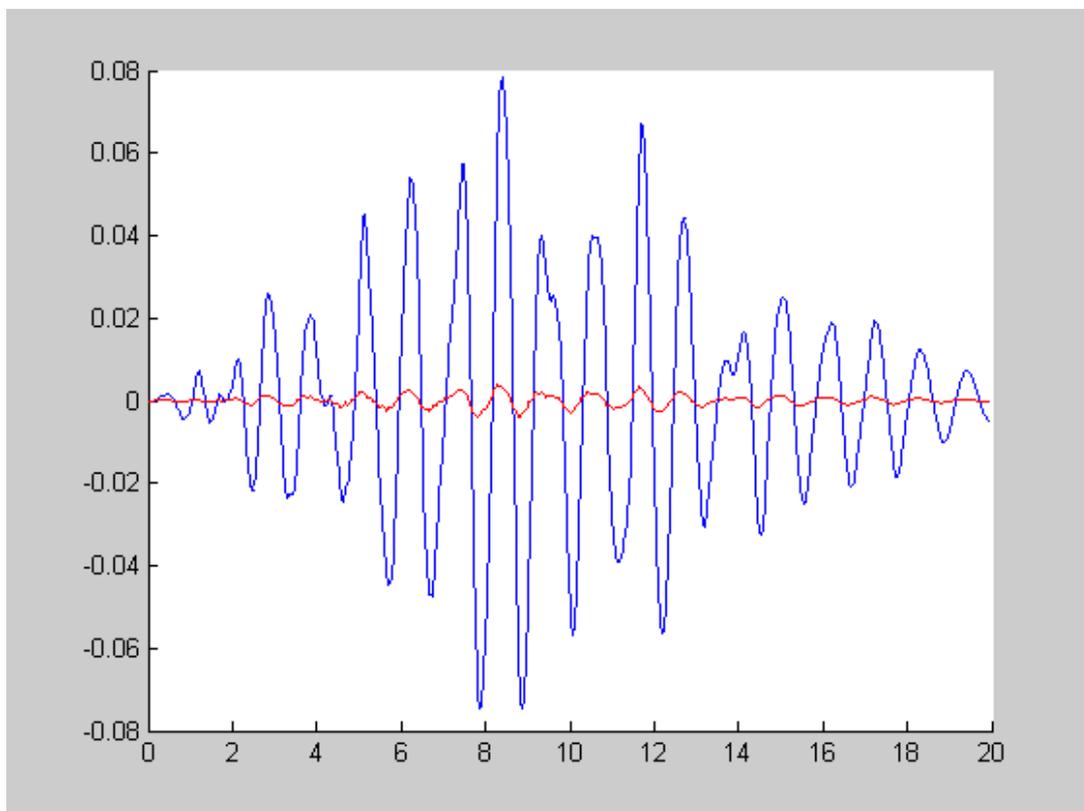


Figura 4.39. Desplazamiento en el aislador y la estructura, sentido x

- **Sentido y:**

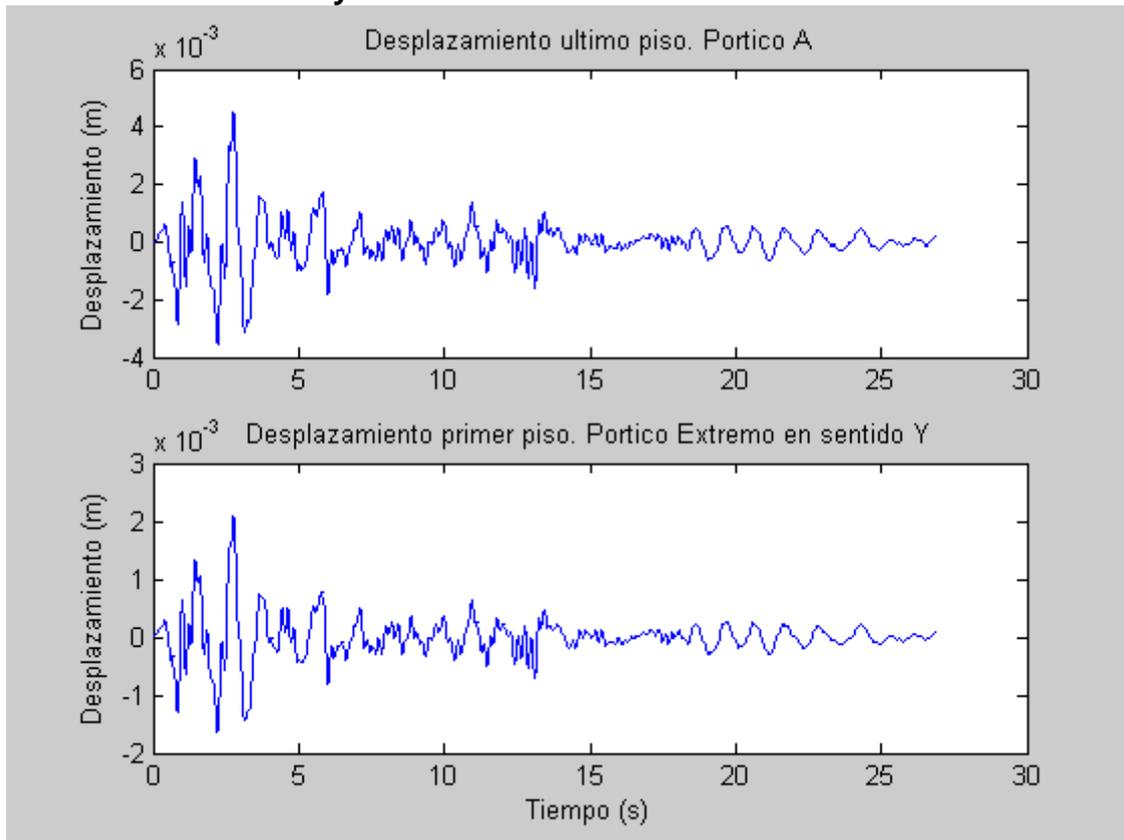


Figura 4.40. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

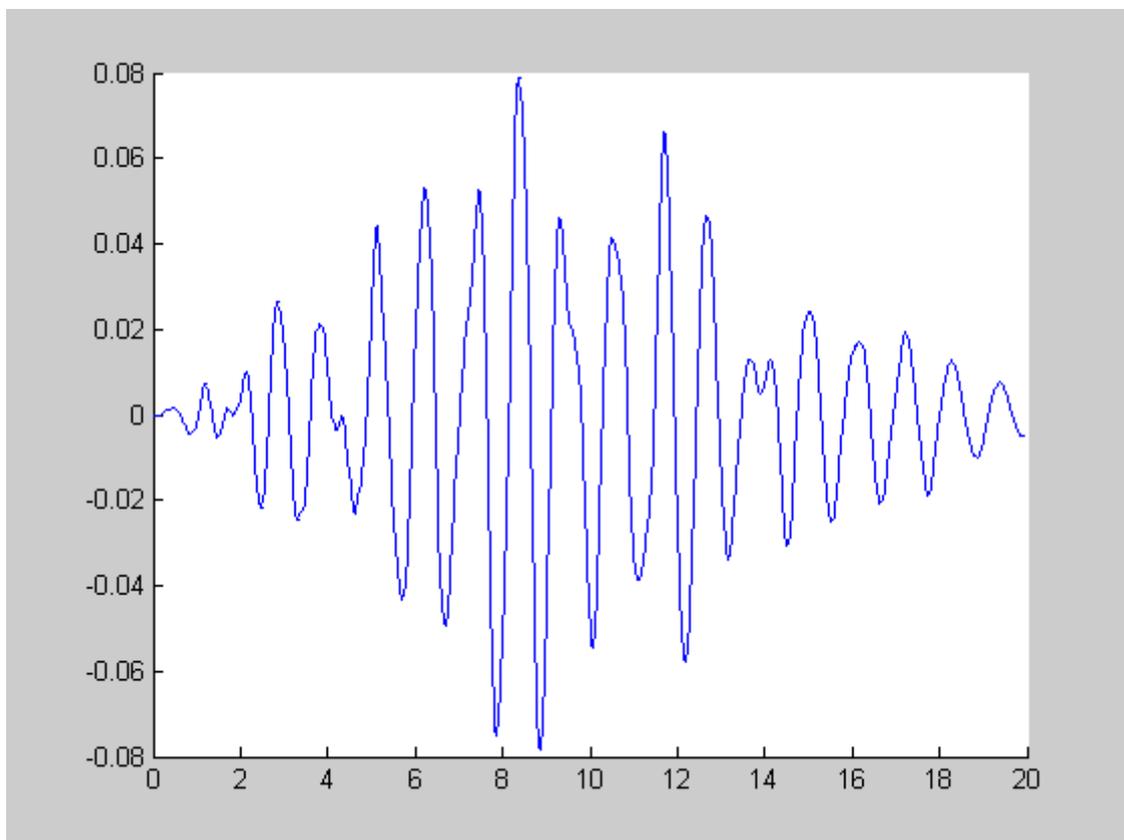


Figura 4.41. Desplazamientos en el aislador, en sentido y

4.3.3.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	0,0000	0,0000	0,0000	-0,00000756	-0,00000796
20	1,000	0,0035	0,0052	0,0059	0,00170000	0,0024
30	1,50	0,0046	0,0057	0,0062	0,00110000	0,0016
40	2,00	-0,0030	-0,0040	-0,0047	-0,00100000	-0,0017
50	2,50	0,0090	0,0055	0,0038	-0,00350000	-0,0052
60	3,00	-0,0343	-0,0529	-0,0595	-0,01860000	-0,0252
70	3,50	-0,0150	-0,0356	-0,0440	-0,02060000	-0,0290
80	4,00	-0,0210	-0,0401	-0,0483	-0,01910000	-0,0273
90	4,50	-0,0326	-0,0510	-0,0577	-0,01840000	-0,0251
100	5,0	0,0125	0,0147	0,0156	0,00220000	0,0031
110	5,5	0,0052	0,0228	0,0285	0,01760000	0,0233
120	6,0	0,0503	0,0854	0,1005	0,03510000	0,0502
130	6,5	0,0046	0,0261	0,0355	0,02150000	0,0309
140	7,0	0,0056	0,0103	0,0103	0,00470000	0,0047
150	7,5	-0,0436	-0,0457	-0,0464	-0,00210000	-0,0028
160	8,0	0,0153	0,0258	0,0319	0,01050000	0,0166
170	8,5	-0,0439	-0,0518	-0,0566	-0,00790000	-0,0127
180	9,0	0,0032	0,0117	0,0145	0,00850000	0,0113
190	9,5	-0,0038	0,0009	0,0048	0,00470000	0,0086
200	10,0	-0,0447	-0,0624	-0,0702	-0,01770000	-0,0255
210	10,5	-0,0569	-0,0911	-0,1066	-0,03420000	-0,0497
220	11,0	-0,0820	-0,1205	-0,1335	-0,03850000	-0,0515
230	11,5	-0,0275	-0,0479	-0,0557	-0,02040000	-0,0282
240	12,0	-0,0539	-0,0673	-0,0747	-0,01340000	-0,0208
250	12,5	-0,0248	-0,0215	-0,0193	0,00330000	0,0055
260	13,0	-0,0201	-0,0053	0,0023	0,01480000	0,0224
270	13,5	-0,0155	0,0026	0,0073	0,01810000	0,0228
280	14,0	-0,0038	0,0202	0,0299	0,02400000	0,0337
290	14,5	-0,0213	-0,0072	0,0005	0,01410000	0,0218
300	15,0	-0,0485	-0,057	-0,0614	0,00850000	-0,0129

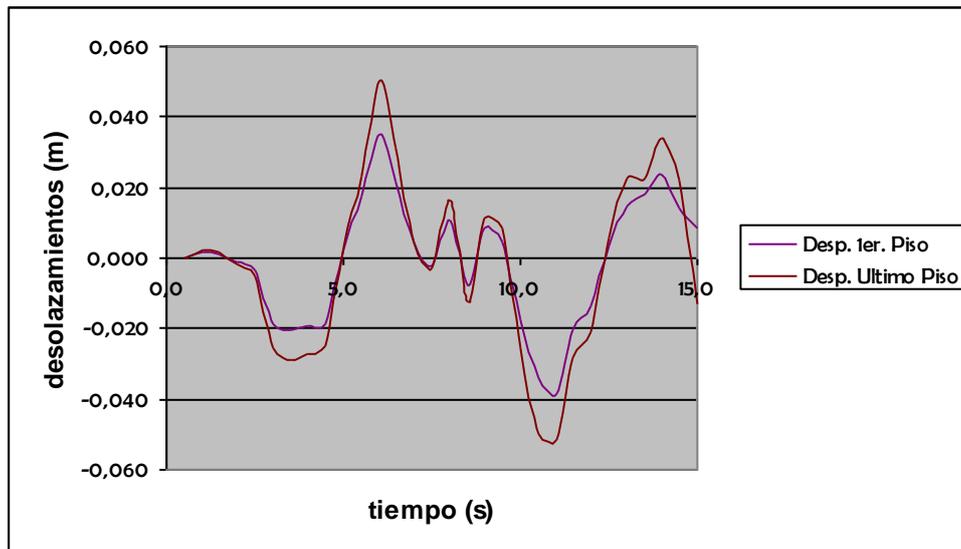


Figura 4.42. Desplazamientos hallados en SAP 2000, sentido x

- Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0032	-0,0032	-0,0032	0,00000000	0,00000000
20	1,000	0,0035	0,0049	0,0056	0,00140000	0,0021
30	1,50	-0,0054	-0,0091	-0,0108	-0,00370000	-0,0054
40	2,00	-0,0030	-0,0040	-0,0047	-0,00100000	-0,0017
50	2,50	0,0090	0,0055	0,0038	-0,00350000	-0,0052
60	3,00	-0,0343	-0,0529	-0,0595	-0,01860000	-0,0252
70	3,50	-0,0150	-0,0356	-0,0440	-0,02060000	-0,0290
80	4,00	-0,0210	-0,0401	-0,0483	-0,01910000	-0,0273
90	4,50	-0,0326	-0,0510	-0,0577	-0,01840000	-0,0251
100	5,0	0,0125	0,0147	0,0156	0,00220000	0,0031
110	5,5	0,0052	0,0228	0,0285	0,01760000	0,0233
120	6,0	0,0503	0,0854	0,1005	0,03510000	0,0502
130	6,5	0,0046	0,0261	0,0355	0,02150000	0,0309
140	7,0	0,0056	0,0103	0,0103	0,00470000	0,0047
150	7,5	-0,0436	-0,0457	-0,0464	-0,00210000	-0,0028
160	8,0	0,0153	0,0258	0,0319	0,01050000	0,0166
170	8,5	-0,0439	-0,0518	-0,0566	-0,00790000	-0,0127
180	9,0	0,0032	0,0117	0,0145	0,00850000	0,0113
190	9,5	-0,0038	0,0009	0,0048	0,00470000	0,0086
200	10,0	-0,0447	-0,0624	-0,0702	-0,01770000	-0,0255
210	10,5	-0,0569	-0,0911	-0,1066	-0,03420000	-0,0497
220	11,0	-0,0820	-0,1205	-0,1335	-0,03850000	-0,0515
230	11,5	-0,0275	-0,0479	-0,0557	-0,02040000	-0,0282
240	12,0	-0,0539	-0,0673	-0,0747	-0,01340000	-0,0208
250	12,5	-0,0248	-0,0215	-0,0193	0,00330000	0,0055
260	13,0	-0,0201	-0,0053	0,0023	0,01480000	0,0224
270	13,5	-0,0155	0,0026	0,0073	0,01810000	0,0228
280	14,0	-0,0038	0,0202	0,0299	0,02400000	0,0337
290	14,5	-0,0213	-0,0072	0,0005	0,01410000	0,0218
300	15,0	-0,0485	-0,057	-0,0614	-0,00850000	-0,0129

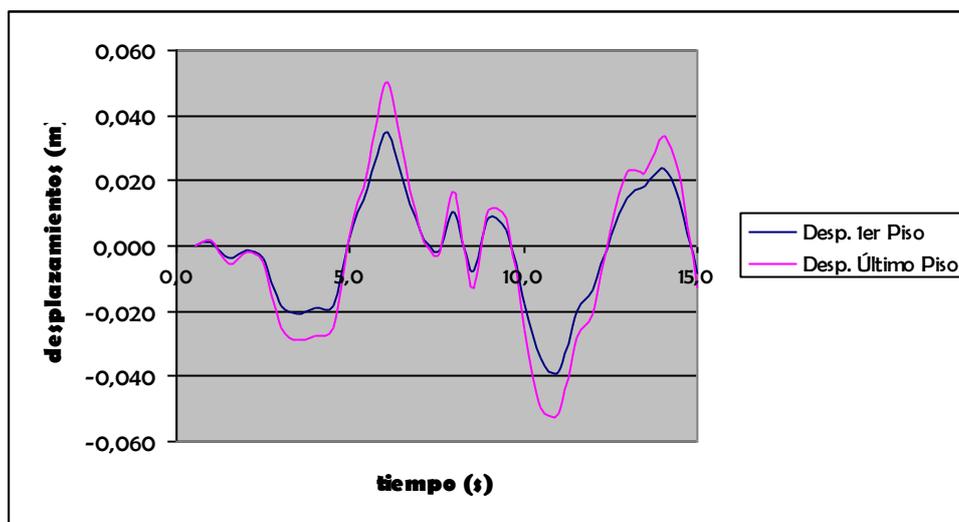


Figura 4.43. Desplazamientos obtenidos con SAP 2000, sentido y

4.3.4. EDIFICIO DE CUATRO PISOS (SISMO DE BAHÍA)

4.3.3.1. Cuasiestático Aislamiento

- Sentido x:

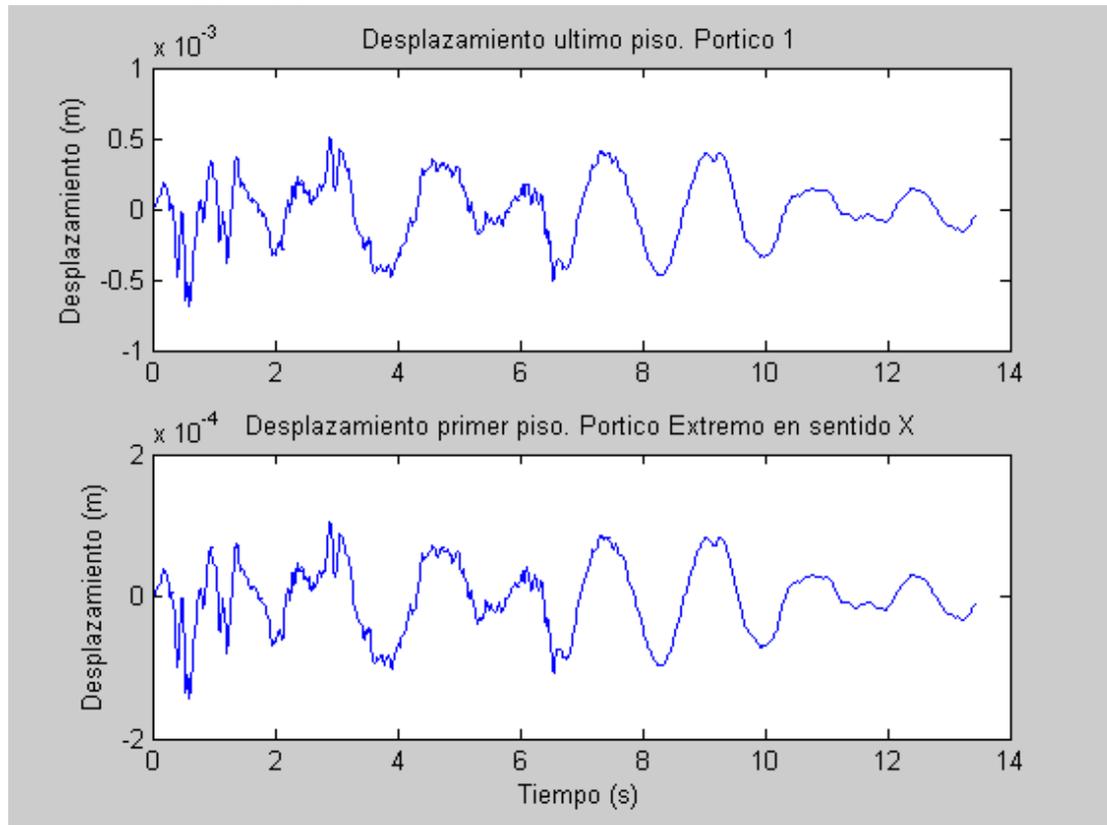


Figura 4.44. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

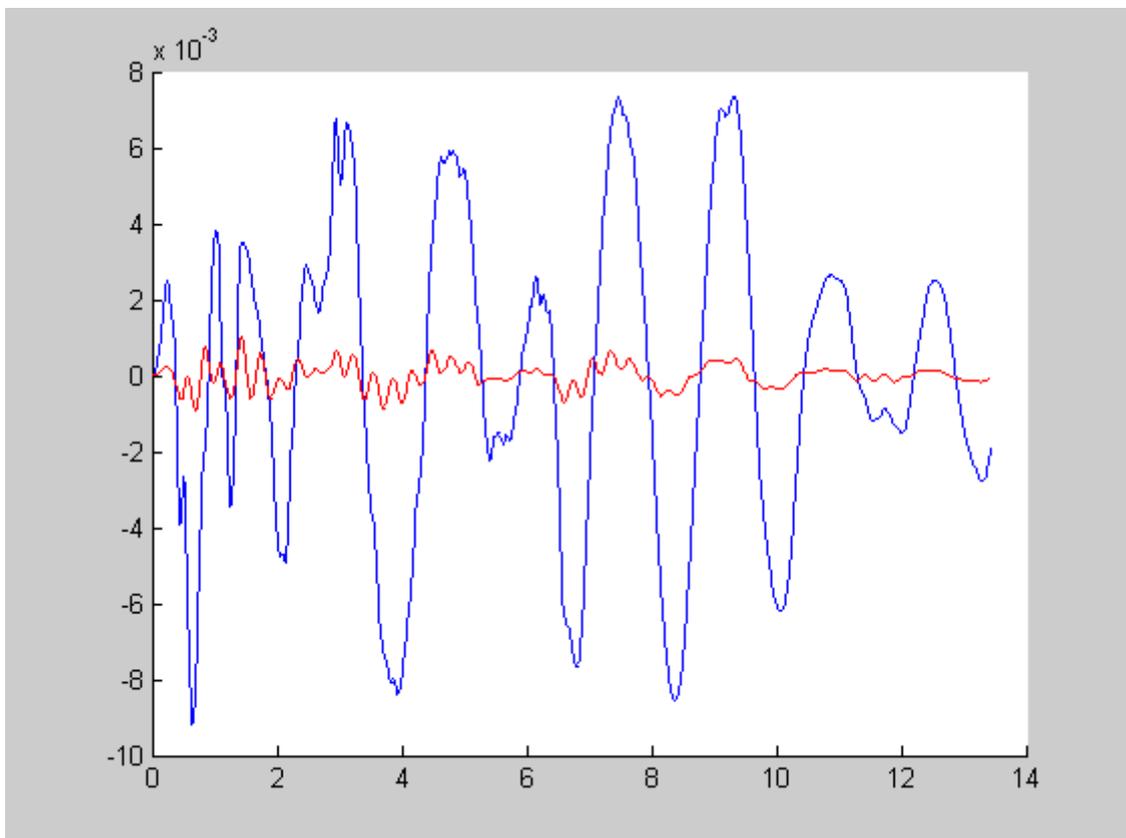


Figura 4.45 Desplazamientos en el aislador y en la estructura; sentido x

- **Sentido y:**

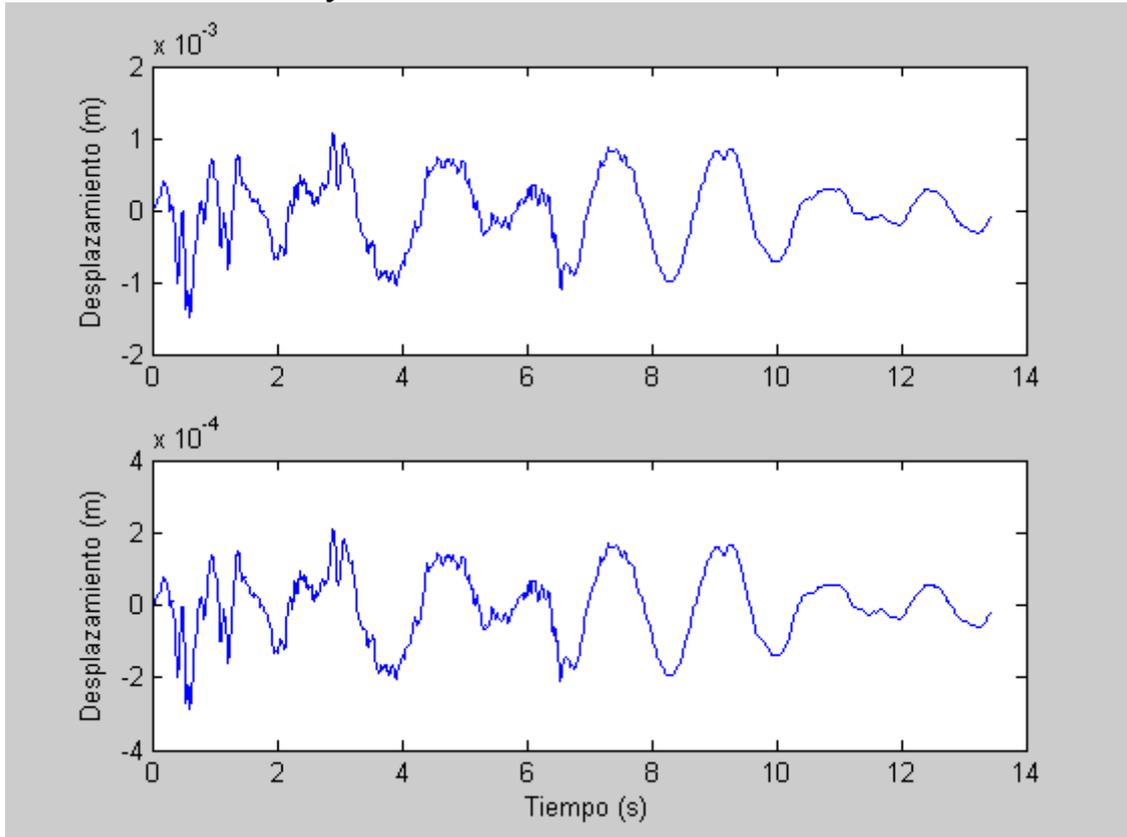


Figura 4.46. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

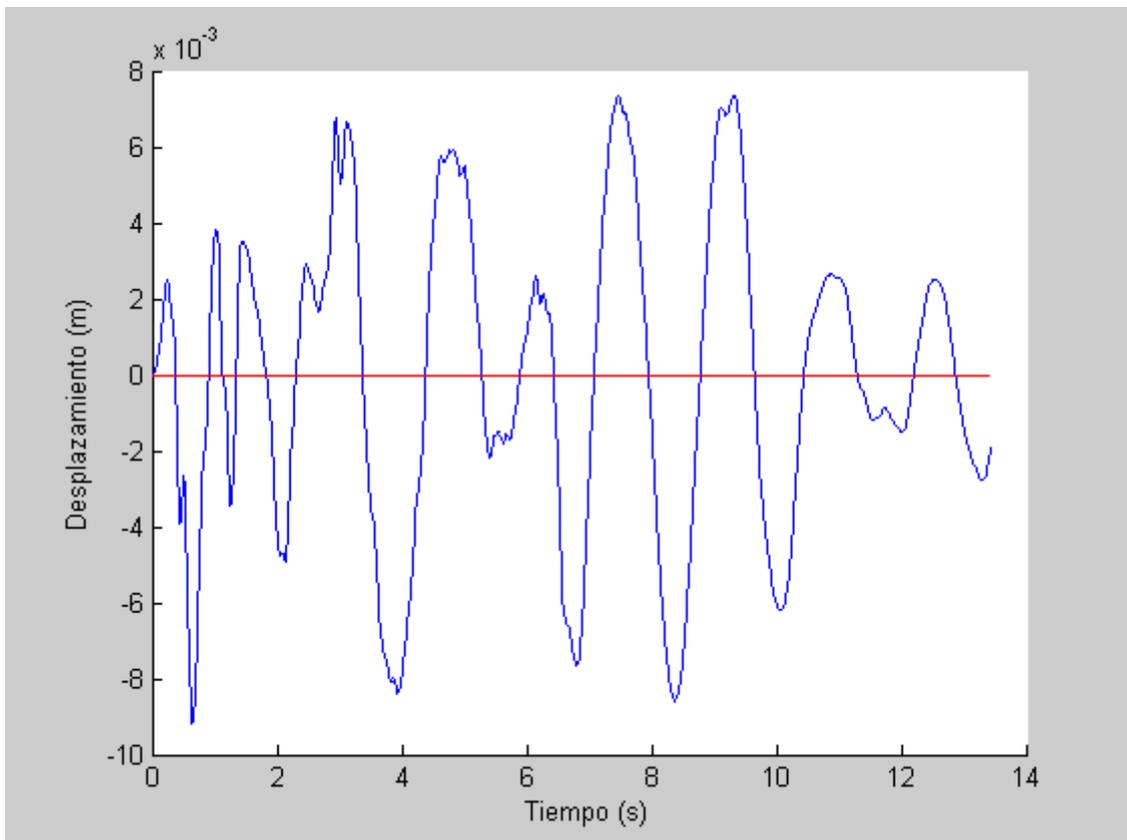


Figura 4.47. Desplazamiento en el aislador, sentido y

4.3.3.2. MasasCorregidas Aislamiento

- Sentido x:

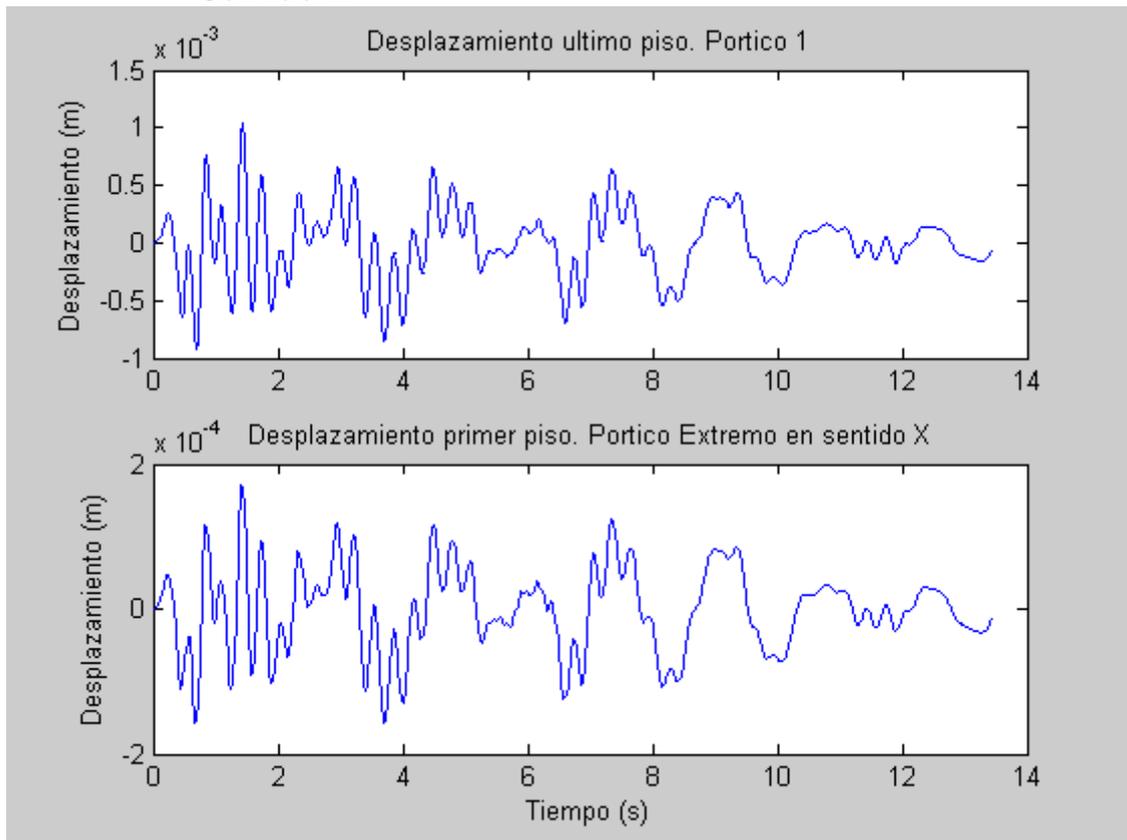


Figura 4.48. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

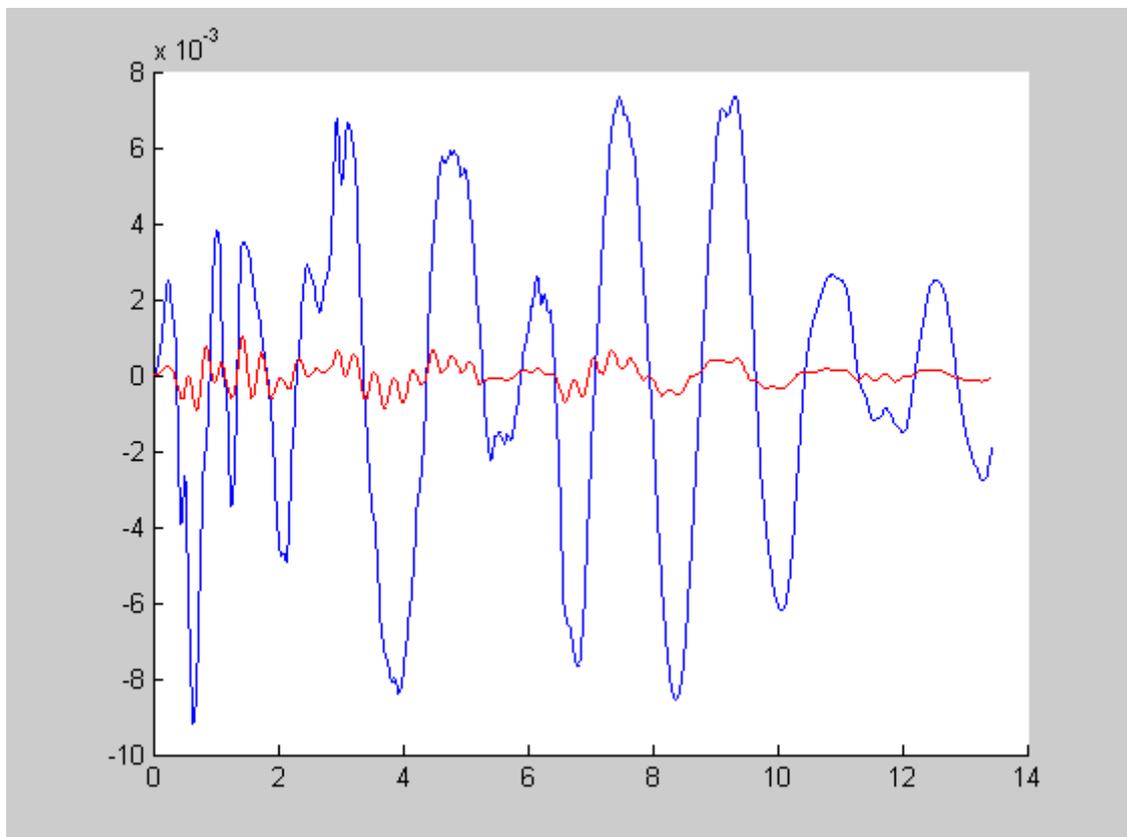


Figura 4.49. Desplazamiento en el aislador y en la superestructura, sentido x

- **Sentido y:**

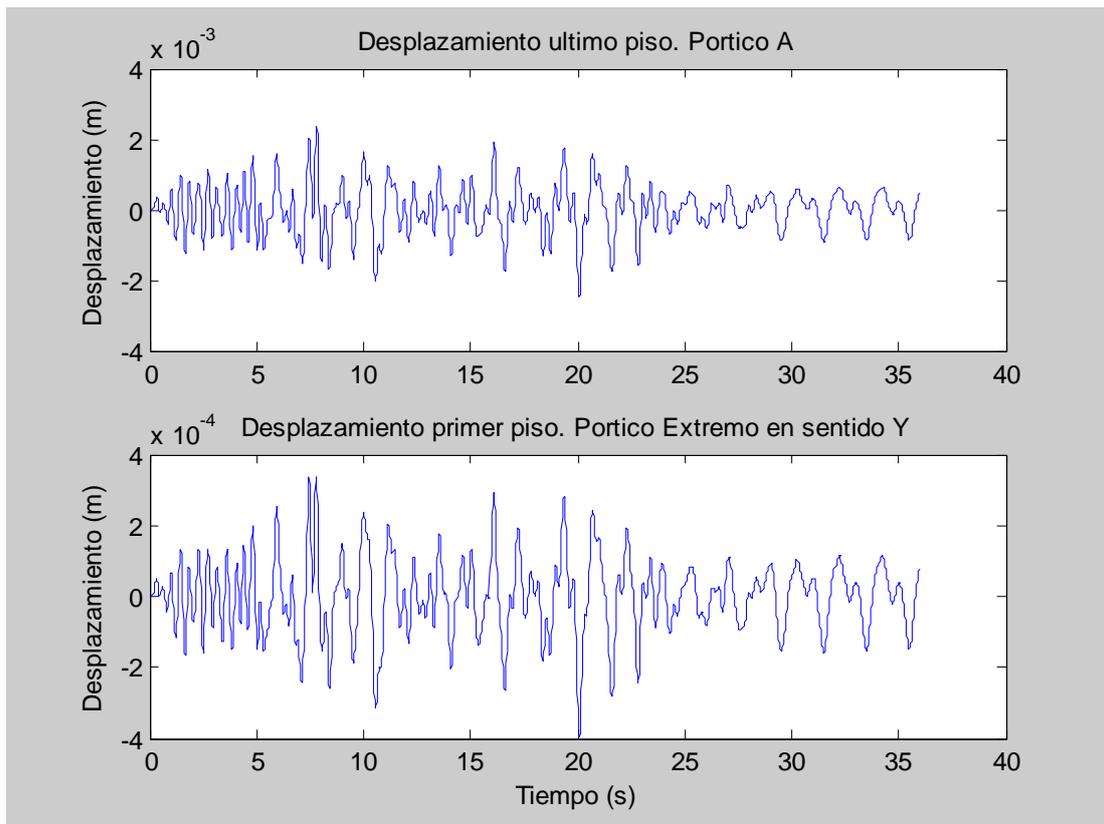


Figura 4.50. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

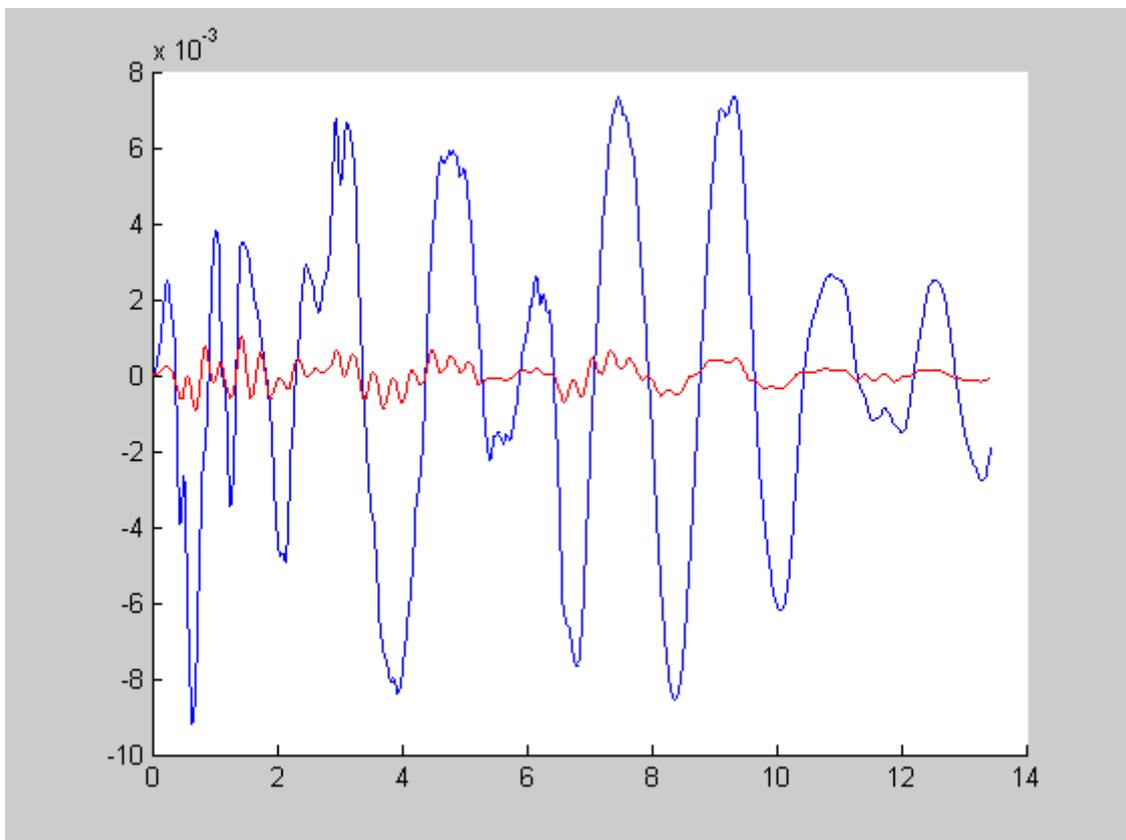


Figura 4.51. Desplazamientos en el aislador, sentido y

4.3.4.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER	ULTIMO	DESP. REL	DESP REL
			PISO	PISO	1ER PISO	ULT PISO
10	0,5	0,0049	0,0049	0,0047	0	-0,0002
20	1,0	0,008	0,0081	0,0082	1E-04	0,0002
30	1,5	0,0098	0,0103	0,0119	0,0005	0,0021
40	2,0	0,0137	0,0139	0,0152	0,0002	0,0015
50	2,5	0,0166	0,0164	0,0169	-0,0002	0,0003
60	3,0	0,0203	0,0203	0,0194	0	-0,0009
70	3,5	0,0205	0,0196	0,0158	-0,0009	-0,0047
80	4,0	0,0228	0,0223	0,0196	-0,0005	-0,0032
90	4,5	0,023	0,0231	0,024	1E-04	0,001
100	5,0	0,0184	0,0186	0,0205	0,0002	0,0021
110	5,5	0,0263	0,0262	0,0268	-1E-04	0,0005
120	6,0	0,0303	0,0311	0,031	0,0008	0,0007
130	6,5	0,0204	0,0182	0,0117	-0,0022	-0,0087
140	7,0	0,0367	0,0372	0,0354	0,0005	-0,0013
150	7,5	0,0339	0,0347	0,0363	0,0008	0,0024
160	8,0	0,0250	0,0251	0,0286	0,0001	0,0036
170	8,5	0,0336	0,0344	0,0387	0,0008	0,0051
180	9,0	0,0296	0,0304	0,0329	0,0008	0,0033
190	9,5	0,0277	0,0258	0,0216	-0,0019	-0,0061
200	10,0	0,0557	0,0590	0,0607	0,0033	0,0050
210	10,5	0,0028	-0,0085	-0,0182	-0,0113	-0,0210
220	11,0	0,0751	0,0819	0,0933	0,0068	0,0182
230	11,5	-0,0440	-0,0241	-0,0310	0,0199	0,0130
240	12,0	0,0745	0,0821	0,0949	0,0076	0,0204
250	12,5	-0,0090	-0,0175	-0,0274	-0,0085	-0,0184
260	13,0	0,0598	0,0646	0,0686	0,0048	0,0088
270	13,5	0,0012	-0,0028	-0,0105	-0,0040	-0,0117
280	14,0	0,0249	0,0264	0,0291	0,0015	0,0042
290	14,5	0,0166	0,0178	0,0222	0,0012	0,0056
300	15,0	-0,0080	-0,0099	-0,0101	-0,0019	-0,0021

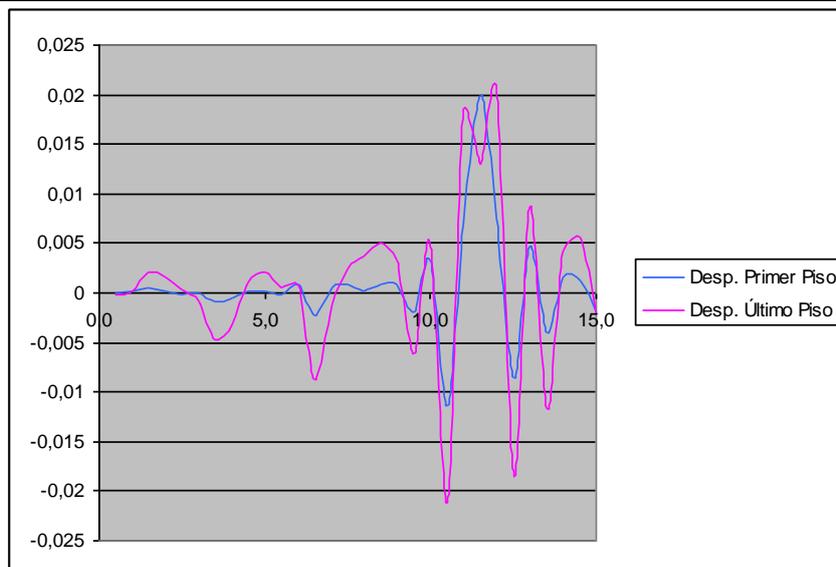


Figura 4.52. Desplazamientos obtenidos con SAP 2000, sentido x

- Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	0,0050	0,0050	0,0048	0,0000	-0,0002
20	1,0	0,0078	0,0079	0,0082	0,0001	0,0004
30	1,5	0,0096	0,0102	0,0124	0,0006	0,0028
40	2,0	0,0138	0,0139	0,0148	0,0001	0,001
50	2,5	0,0176	0,0172	0,0160	-0,0004	-0,0016
60	3,0	0,0210	0,0207	0,0188	-0,0003	-0,0022
70	3,5	0,0194	0,0188	0,0168	-0,0006	-0,0026
80	4,0	0,0207	0,0207	0,0218	0,0000	0,0011
90	4,5	0,0223	0,0226	0,0244	0,0003	0,0021
100	5,0	0,0210	0,0206	0,0182	-0,0004	-0,0028
110	5,5	0,0287	0,0280	0,0243	-0,0007	-0,0044
120	6,0	0,0291	0,0300	0,0317	0,0009	0,0026
130	6,5	0,0176	0,0165	0,0159	-0,0011	-0,0017
140	7,0	0,0342	0,0349	0,0359	0,0007	0,0017
150	7,5	0,0368	0,0372	0,0365	0,0004	-0,0003
160	8,0	0,0250	0,0251	0,0286	0,0001	0,0036
170	8,5	0,0360	0,0370	0,0405	0,0010	0,0045
180	9,0	0,0268	0,0273	0,0303	0,0005	0,0035
190	9,5	0,0305	0,0289	0,0259	-0,0016	-0,0046
200	10,0	0,0524	0,0547	0,0567	0,0023	0,0043
210	10,5	-0,0009	0,0052	-0,0126	0,0061	-0,0117
220	11,0	0,0715	0,0875	0,0907	0,0160	0,0192
230	11,5	-0,0144	-0,0206	-0,0314	-0,0062	-0,0170
240	12,0	0,0785	0,0846	0,0933	0,0061	0,0148
250	12,5	-0,0149	-0,0210	-0,0330	-0,0061	-0,0181
260	13,0	0,0633	0,0695	0,0824	0,0062	0,0191
270	13,5	-0,0110	-0,0169	-0,0229	-0,0059	-0,0119
280	14,0	0,0409	0,0440	0,0481	0,0031	0,0072
290	14,5	0,0023	-0,0001	-0,0068	-0,0024	-0,0091
300	15,0	0,0142	0,0154	0,0183	0,0012	0,0041

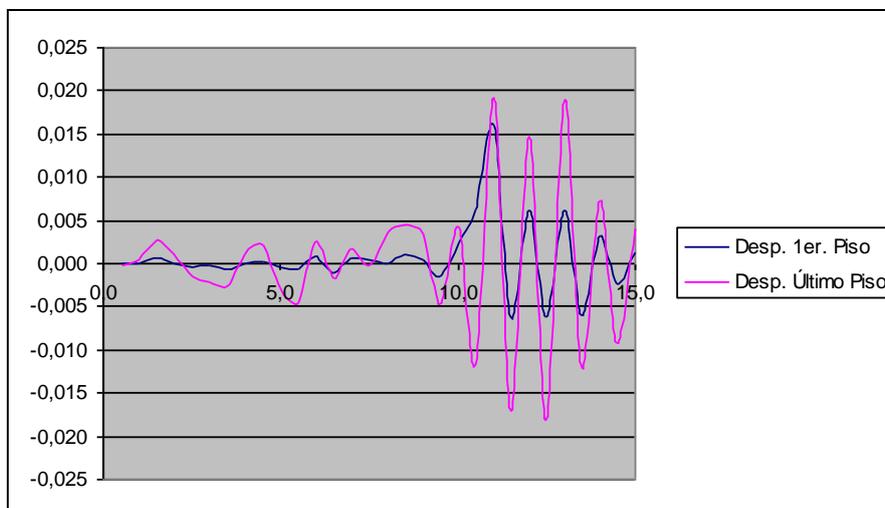


Figura 4.53. Desplazamientos obtenidos con SAP 2000, sentido y

4.3.5. EDIFICIO CUATRO PISOS (SISMO DE EL CENTRO)

4.3.4.1. Cuasiestático Aislamiento

- Sentido x:

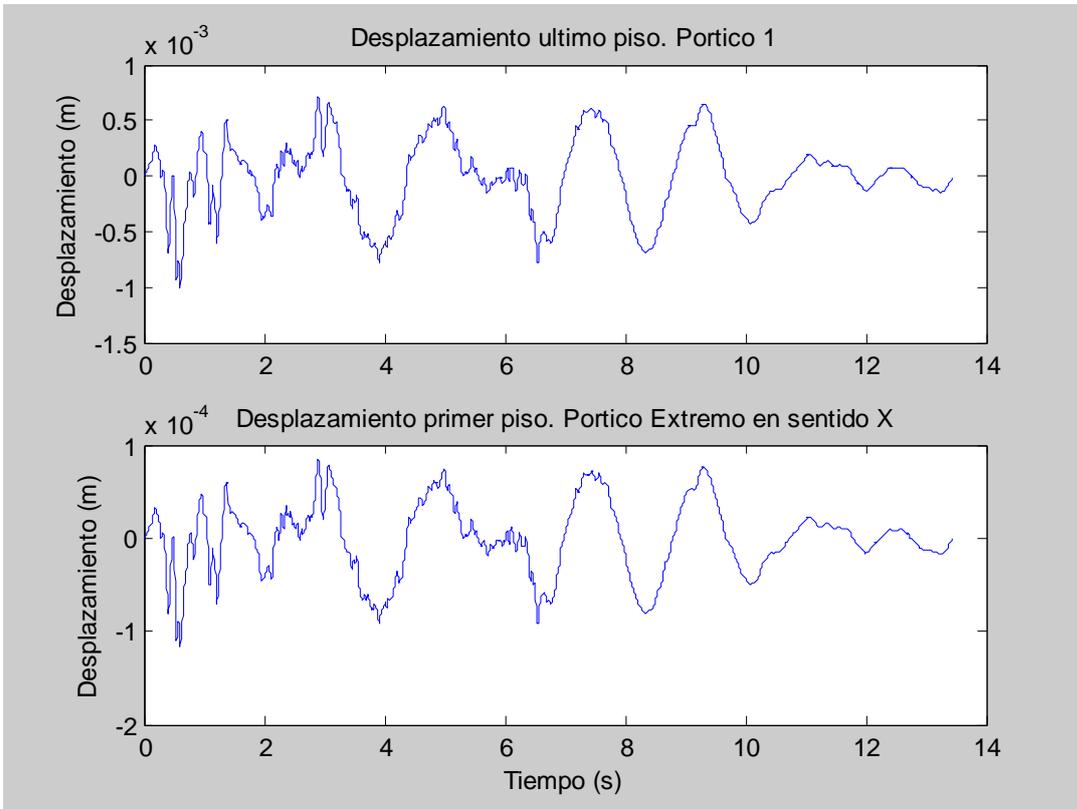


Figura 4.54. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

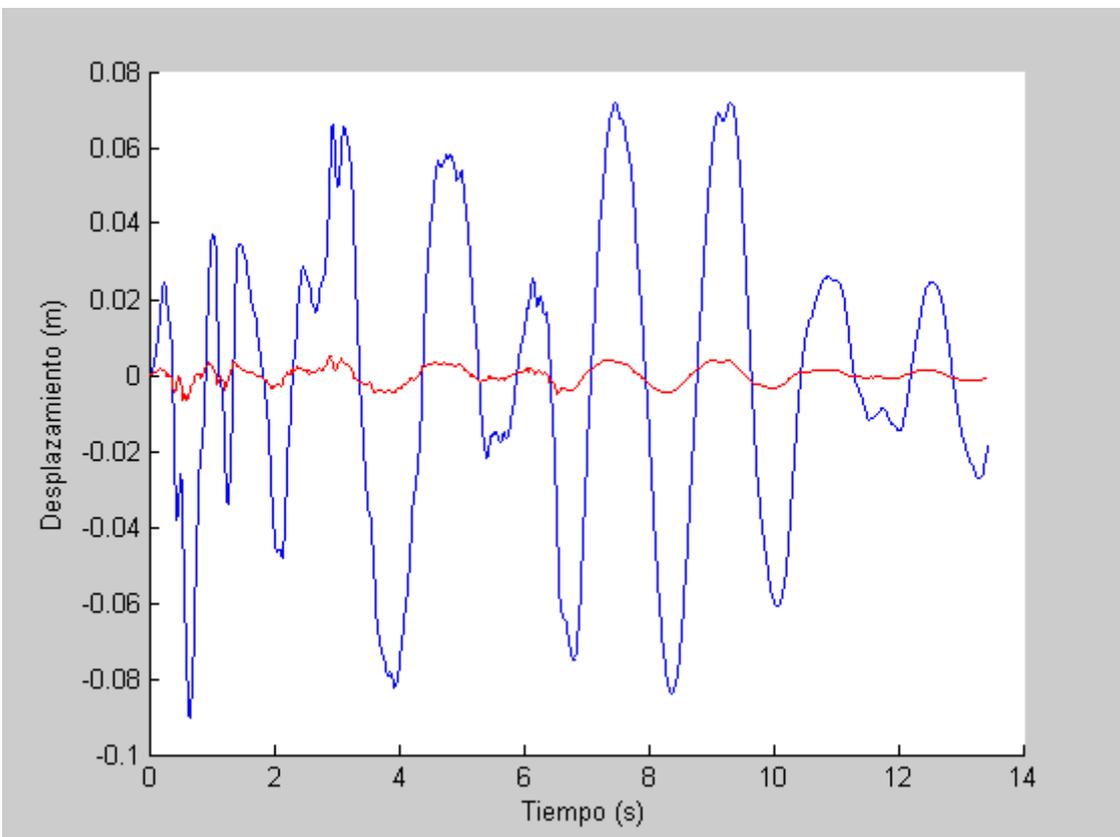


Figura 4.55. Desplazamiento en la base y en la superestructura, sentido x

- **Sentido y:**

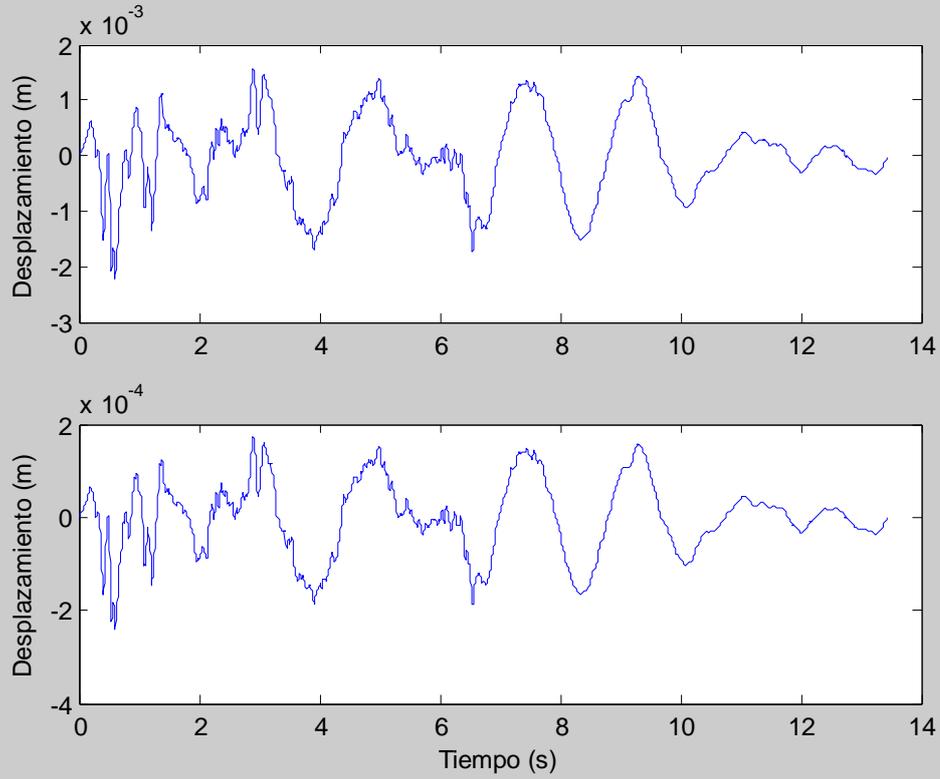


Figura 4.56. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

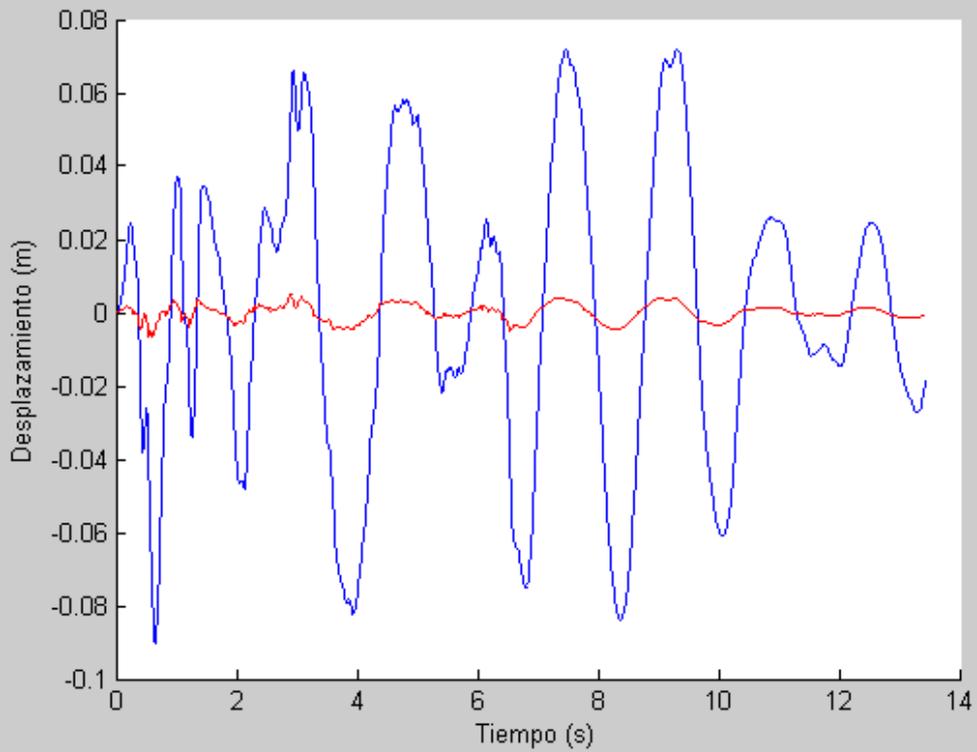


Figura 4.57. Desplazamientos en el aislador y en la estructura, sentido y

4.3.4.2. Masas Corregidas Aislamiento

- Sentido x:

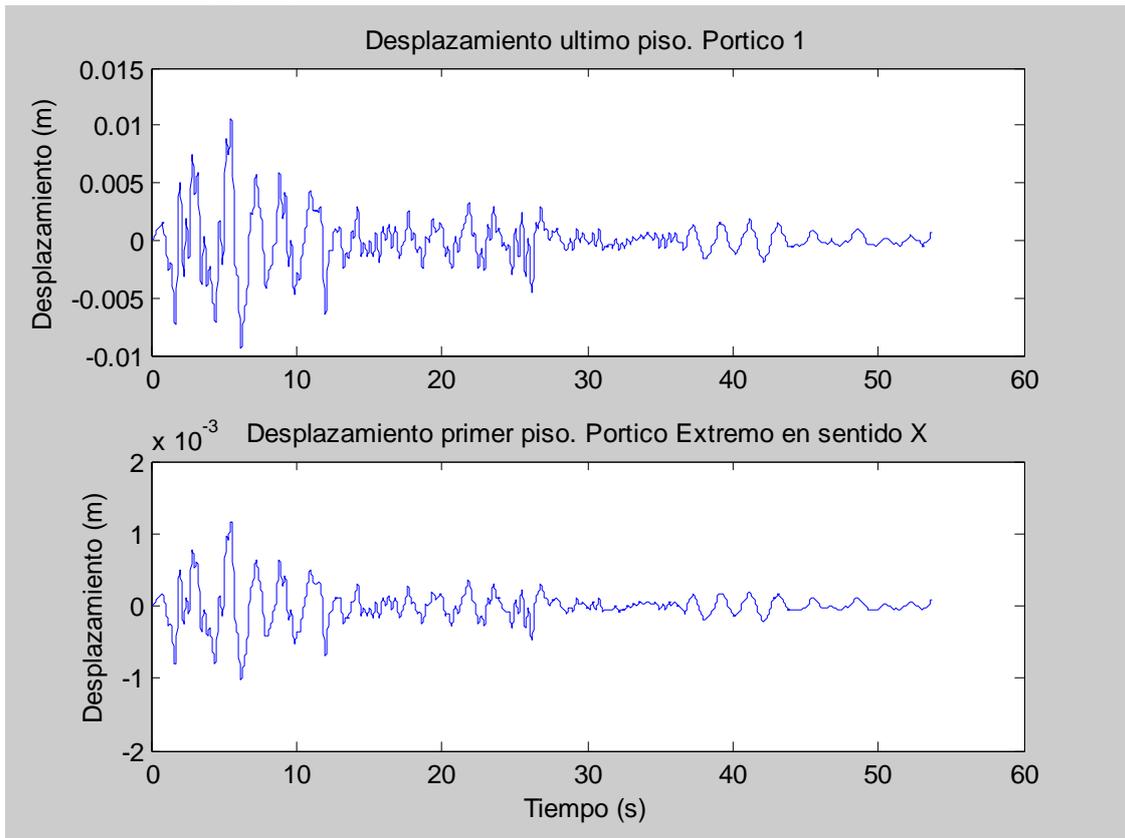


Figura 4.58. Desplazamientos en el primer y último pisos, sentido x

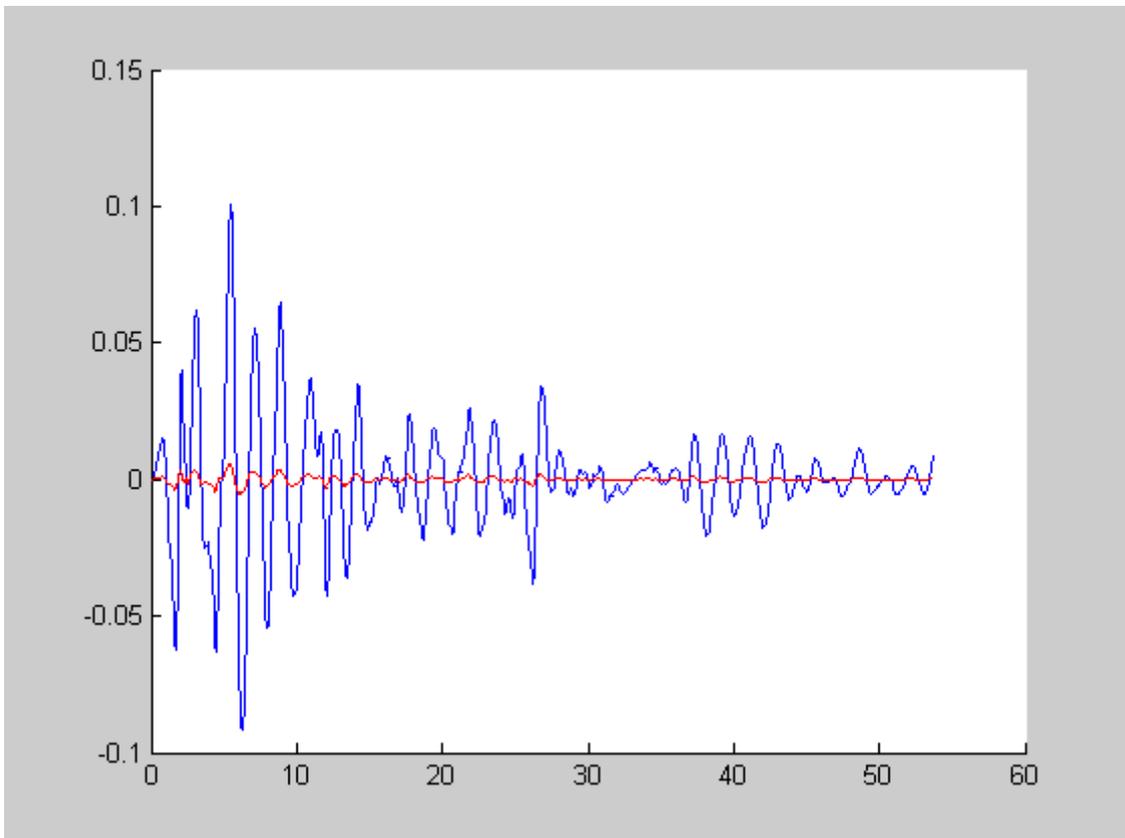


Figura 4.59. Desplazamiento en el aislador y la estructura, sentido x

- **Sentido y:**

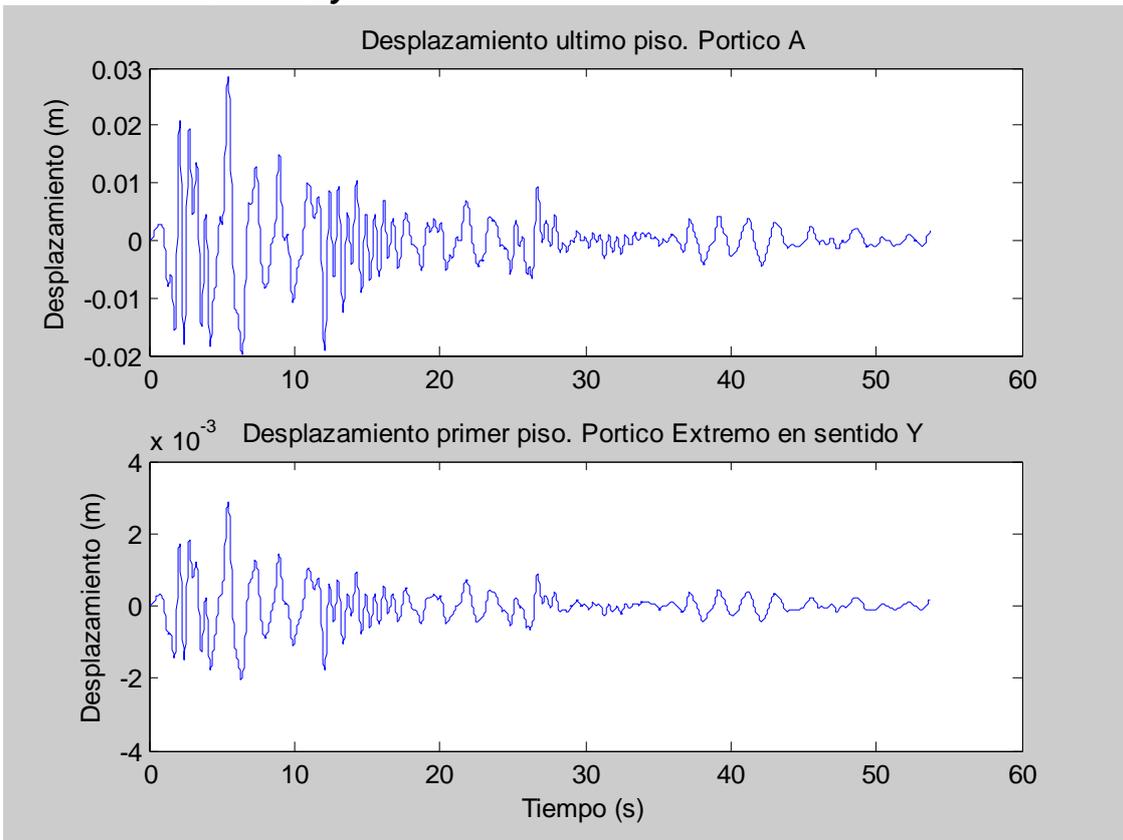


Figura 4.60. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

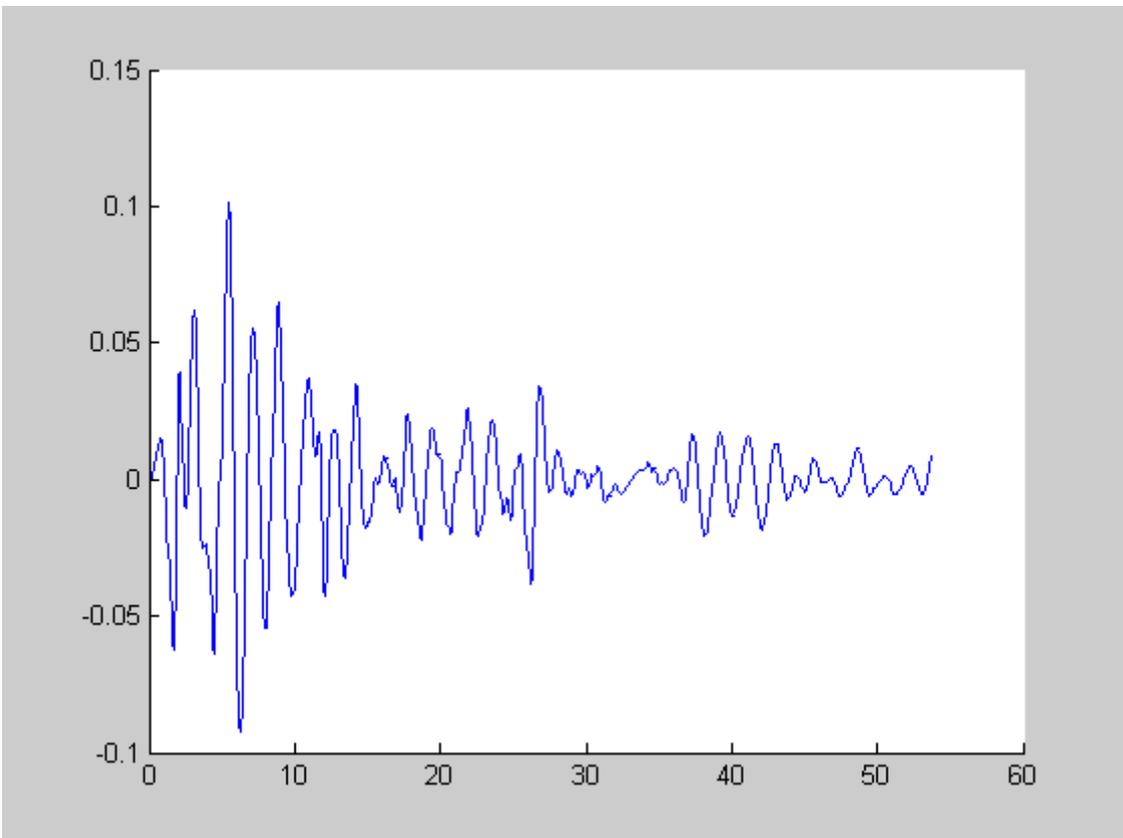


Figura 4.61. Desplazamientos en el aislador, sentido y

4.3.5.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0078	-0,0069	-0,0057	0,0009	0,0021
20	1,0	-0,0524	-0,0532	-0,0544	-0,0008	-0,002
30	1,5	-0,0316	-0,0326	-0,0340	-0,0010	-0,0024
40	2,0	0,0667	0,0776	0,0882	0,0109	0,0215
50	2,5	0,0621	0,0507	0,0331	-0,0114	-0,029
60	3,0	0,2301	0,2469	0,2699	0,0168	0,0398
70	3,5	-0,0123	-0,0328	-0,0611	-0,0205	-0,0488
80	4,0	0,1971	0,2178	0,2500	0,0207	0,0529
90	4,5	0,0075	-0,0182	0,0533	-0,0257	0,0458
100	5,0	0,3961	0,4184	0,4472	0,0223	0,0511
110	5,5	0,1331	0,1171	0,0918	-0,0160	-0,0413
120	6,0	0,2869	0,2968	0,3125	0,0099	0,0256
130	6,5	0,2270	0,2203	0,2139	-0,0067	-0,0131
140	7,0	0,3295	0,3329	0,3380	0,0034	0,0085
150	7,5	0,3533	0,3528	0,3488	-0,0005	-0,0045
160	8,0	0,4072	0,4022	0,3925	-0,0050	-0,0147
170	8,5	0,5447	0,5539	0,5691	0,0092	0,0244
180	9,0	0,4319	0,4175	0,4074	-0,0144	-0,0245
190	9,5	0,5757	0,5892	0,6090	0,0135	0,0333
200	10,0	0,4198	0,4028	0,3749	-0,0170	-0,0449
210	10,5	0,6769	0,6941	0,7153	0,0172	0,0384
220	11,0	0,4852	0,4682	0,4452	-0,0170	-0,04
230	11,5	0,6951	0,7149	0,7482	0,0198	0,0531
240	12,0	0,4129	0,3892	0,3558	-0,0237	-0,0571
250	12,5	0,6731	0,6975	0,7281	0,0244	0,055
260	13,0	0,3597	0,3352	0,2966	-0,0245	-0,0631
270	13,5	0,6594	0,6797	0,7107	0,0203	0,0513
280	14,0	0,4538	0,4386	0,4208	-0,0152	-0,033
290	14,5	0,6255	0,6356	0,6519	0,0101	0,0264
300	15,0	0,5763	0,572	0,5633	-0,0043	-0,013

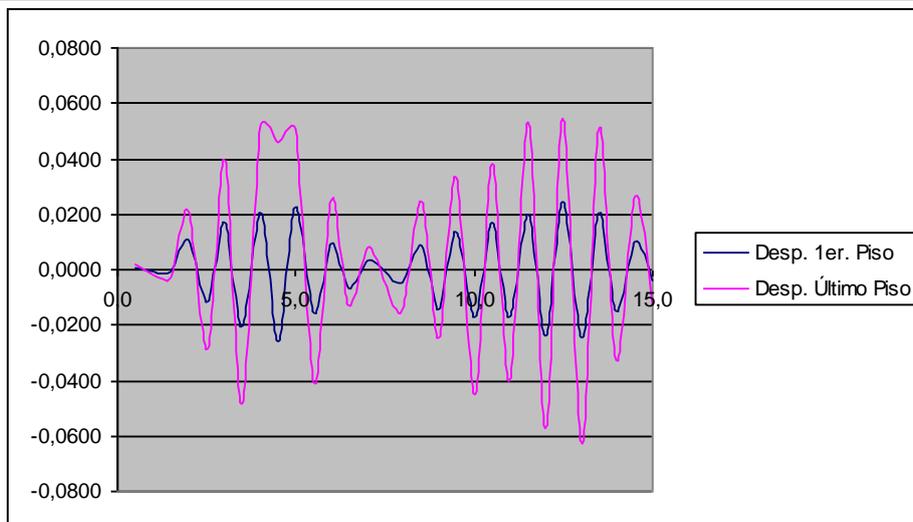


Figura 4.62. Desplazamientos obtenidos con SAP 2000, sentido x

• Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER	ULTIMO	DESP. REL	DESP REL
			PISO	PISO	1ER PISO	ULT PISO
10	0,5	-0,0078	-0,0071	-0,0058	0,0007	0,0020
20	1,0	-0,0525	-0,0533	-0,0546	-0,0008	-0,0021
30	1,5	-0,0306	-0,0313	-0,0326	-0,0007	-0,0020
40	2,0	0,0688	0,0755	0,0874	0,0067	0,0186
50	2,5	0,0633	0,0533	0,0346	-0,0100	-0,0287
60	3,0	0,2280	0,2425	0,2681	0,0145	0,0401
70	3,5	-0,0064	-0,0295	0,0030	-0,0231	0,0094
80	4,0	0,1936	0,2171	0,2506	0,0235	0,0570
90	4,5	0,0125	-0,0179	-0,0622	-0,0304	-0,0747
100	5,0	0,4026	0,4234	0,4593	0,0208	0,0567
110	5,5	0,1211	0,1004	0,0738	-0,0207	-0,0473
120	6,0	0,3104	0,3225	0,3450	0,0121	0,0346
130	6,5	0,1981	0,1868	0,1649	-0,0113	-0,0332
140	7,0	0,3711	0,3800	0,3952	0,0089	0,0241
150	7,5	0,3009	0,2940	0,2829	-0,0069	-0,0180
160	8,0	0,4624	0,4666	0,4741	0,0042	0,0117
170	8,5	0,4835	0,4820	0,4777	-0,0015	-0,0058
180	9,0	0,4968	0,4975	0,4995	0,0007	0,0027
190	9,5	0,5066	0,5084	0,5038	0,0018	-0,0028
200	10,0	0,4864	0,4814	0,4718	-0,0050	-0,0146
210	10,5	0,6123	0,6182	0,6267	0,0059	0,0144
220	11,0	0,5419	0,5355	0,5250	-0,0064	-0,0169
230	11,5	0,6485	0,6592	0,6800	0,0107	0,0315
240	12,0	0,4553	0,4342	0,4019	-0,0211	-0,0534
250	12,5	0,6460	0,6704	0,7018	0,0244	0,0558
260	13,0	0,3581	0,3383	0,3054	-0,0198	-0,0527
270	13,5	0,6756	0,6959	0,7338	0,0203	0,0582
280	14,0	0,4279	0,4018	0,3621	-0,0261	-0,0658
290	14,5	0,6859	0,7030	0,7345	0,0171	0,0486
300	15,0	0,4913	0,4770	0,4549	-0,0143	-0,0364

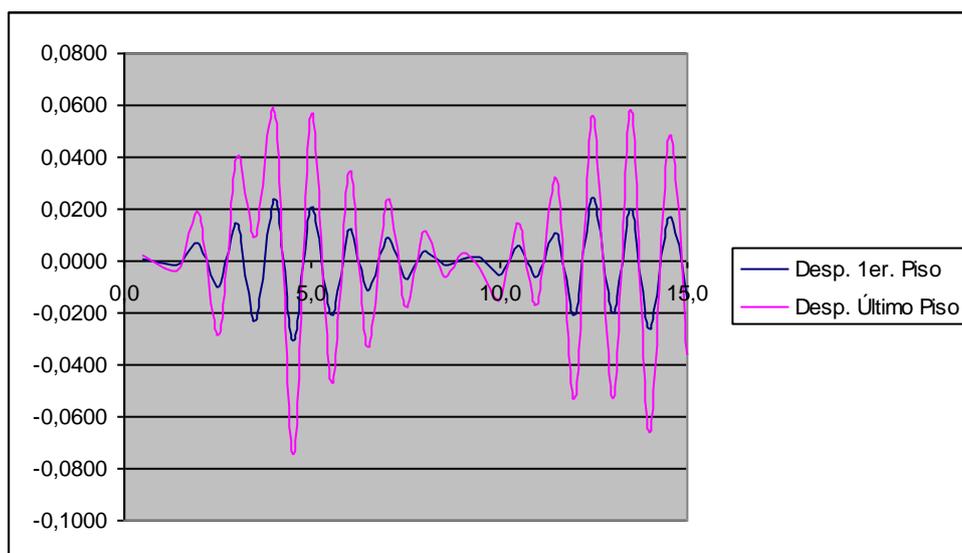


Figura 4.63. Desplazamientos obtenidos con SAP 2000, sentido y

4.3.6. EDIFICIO CUATRO PISOS (SISMO SINTÉTICO)

4.3.6.1. Cuasiestático-Aislamiento

- Sentido x:

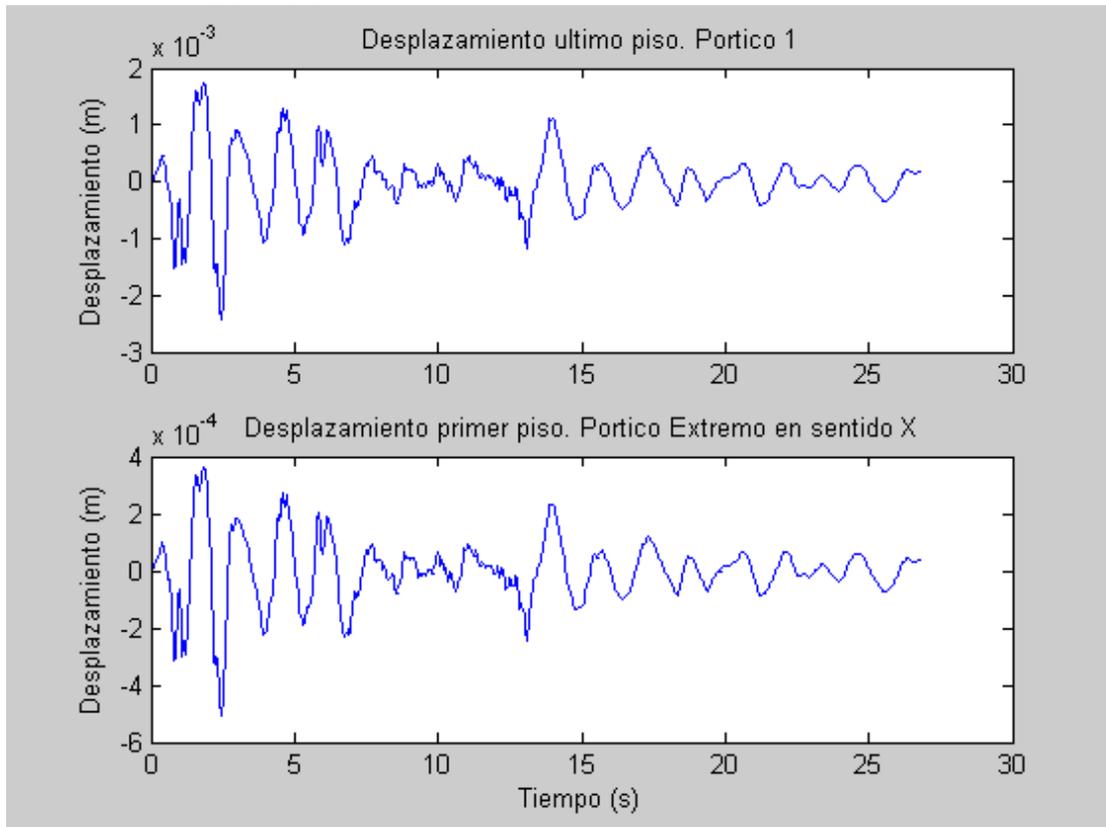


Figura 4.64. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

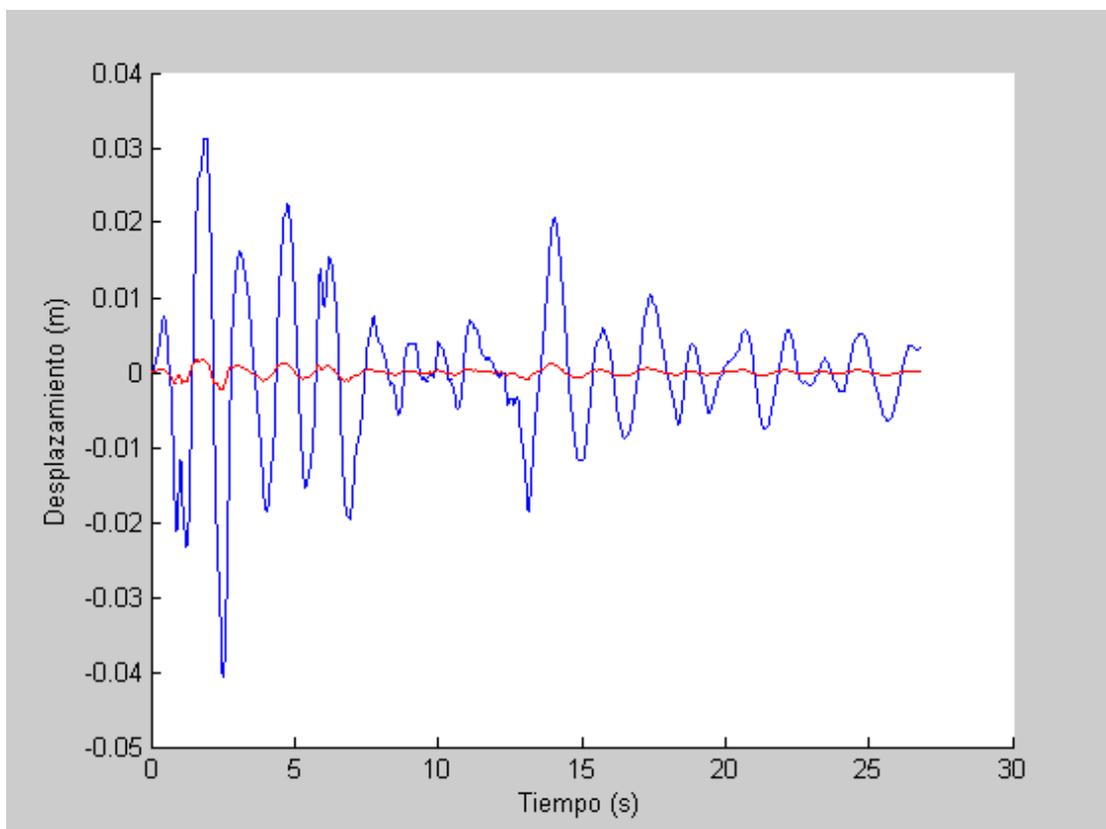


Figura 4.65. Desplazamiento en el aislador y en la estructura, sentido x

- Sentido y:

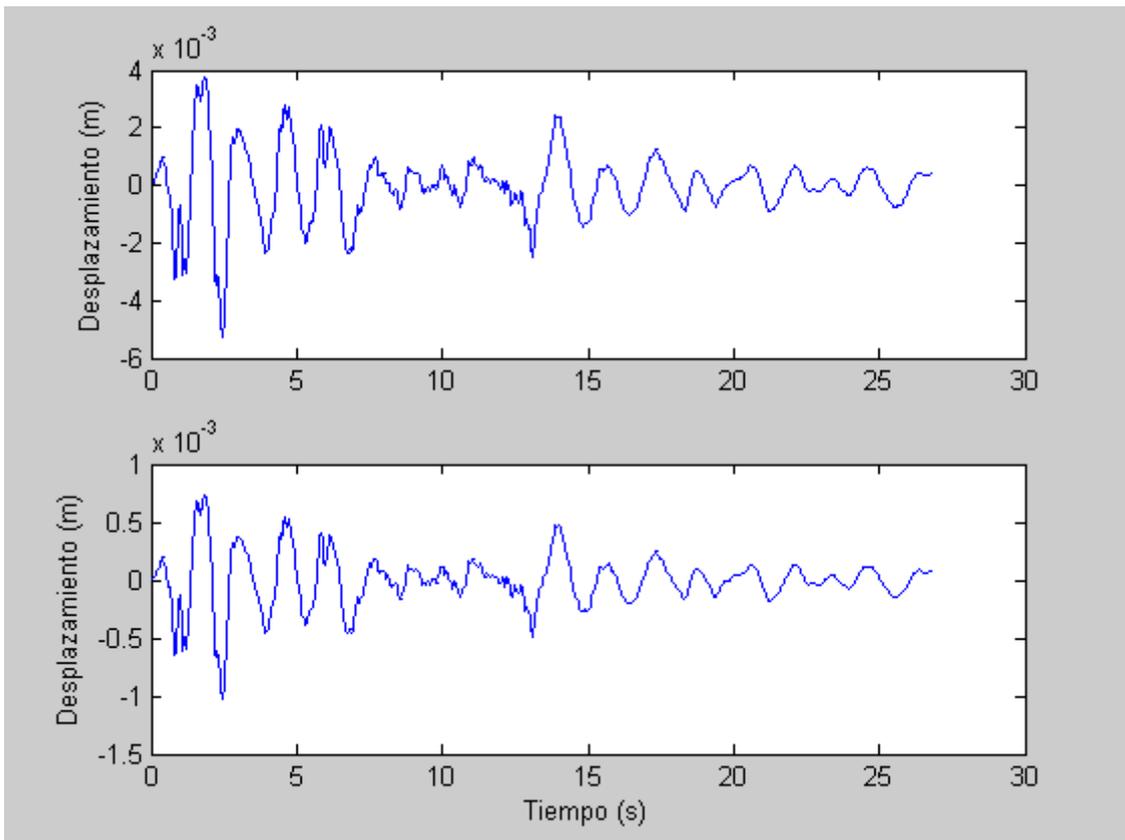


Figura 4.66. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

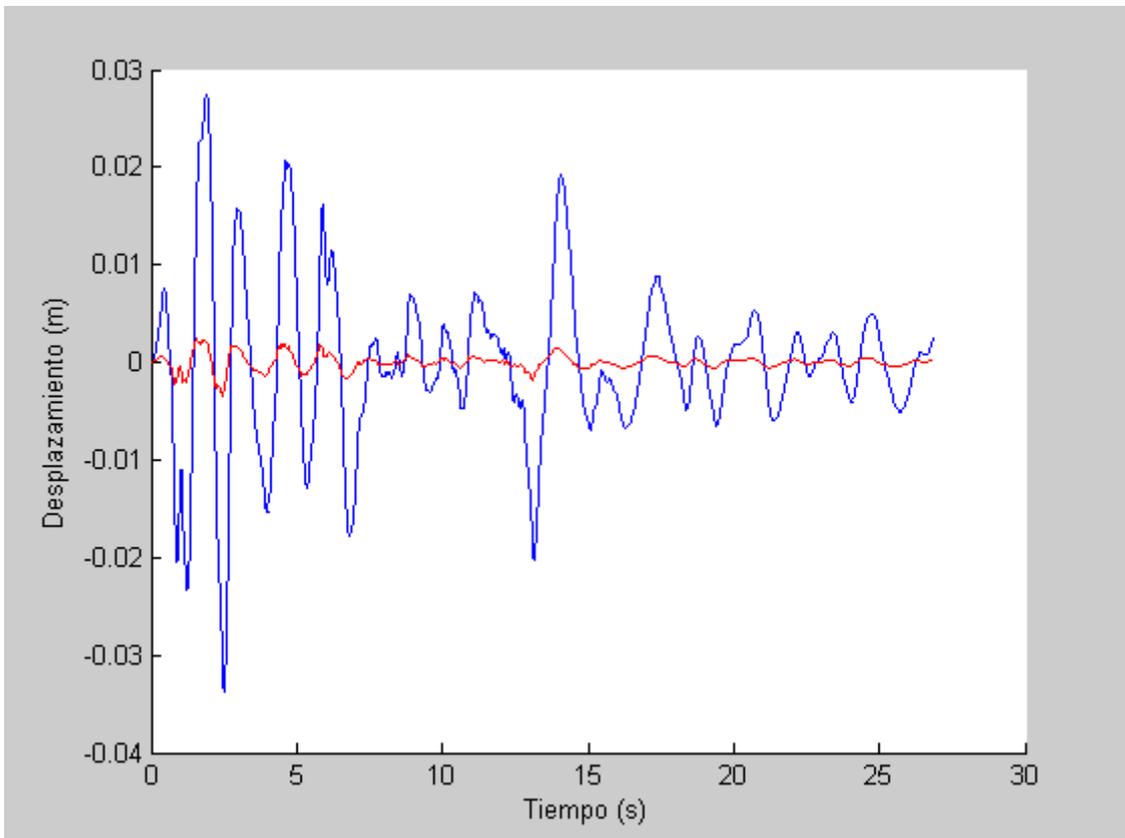


Figura 4.67. Desplazamientos en el aislador y la superestructura, sentido y

4.3.6.2. Masas Corregidas-Aislamiento:

- Sentido x:

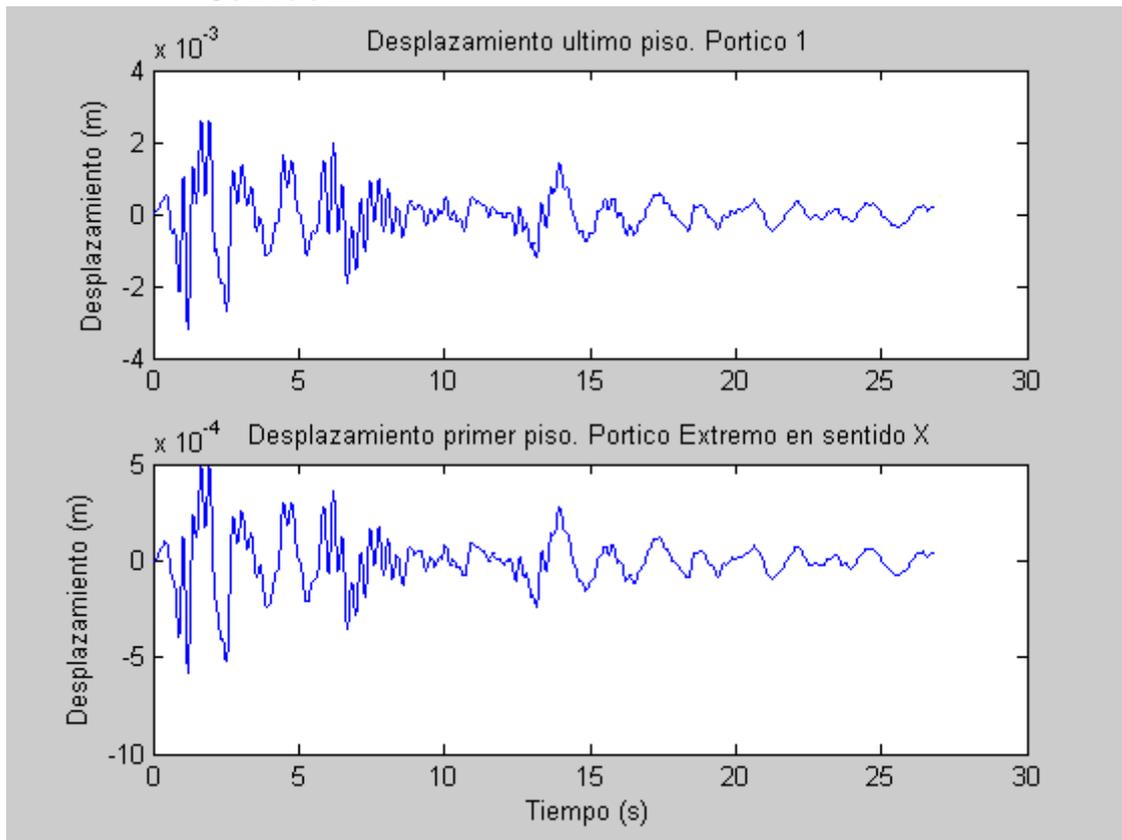


Figura 4.68. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x.

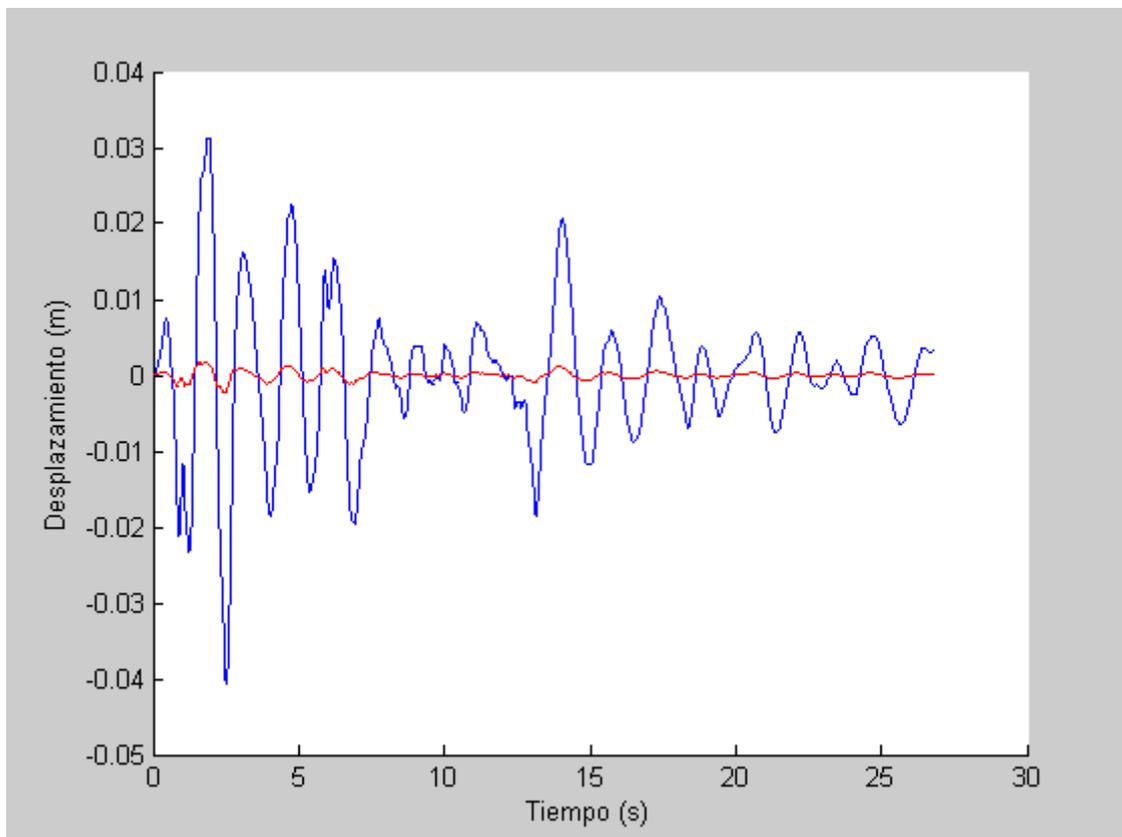


Figura 4.69. Desplazamientos en el aislador y la superestructura, sentido x

- **Sentido y:**

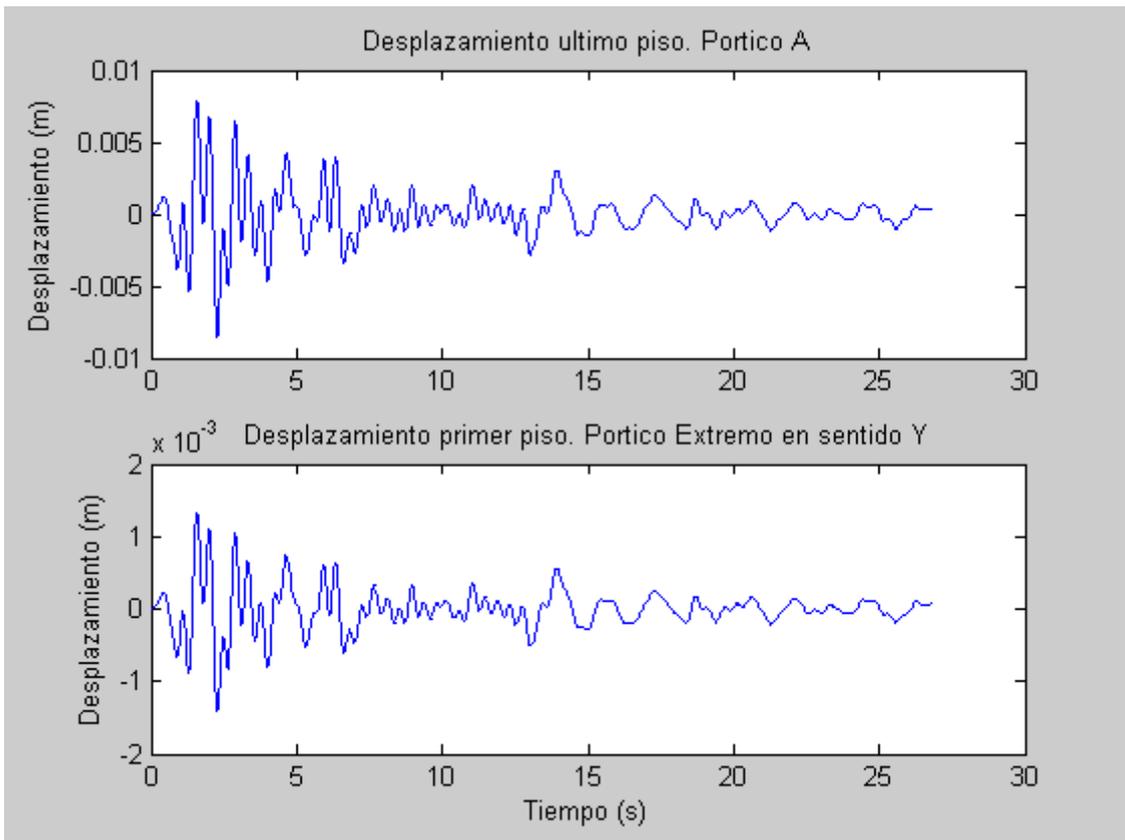


Figura 4.70. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

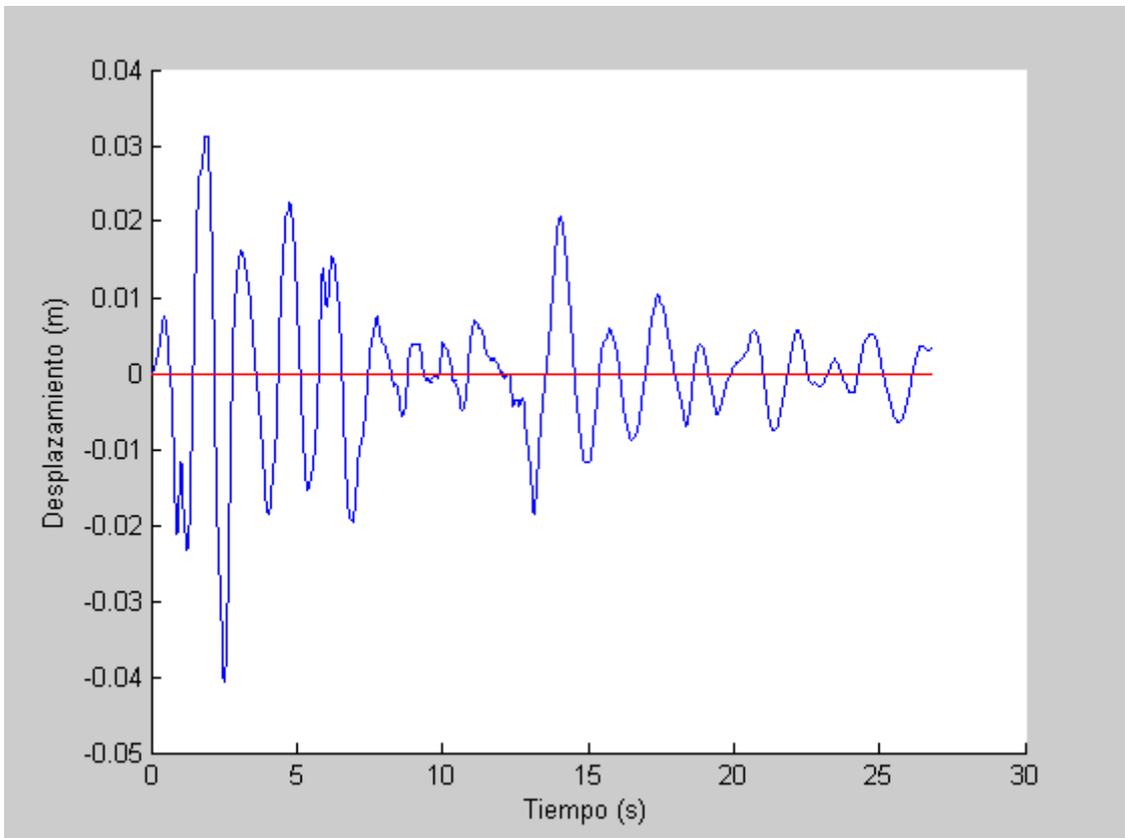


Figura 4.71. Desplazamientos en el aislador, sentido y

4.3.6.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0020	-0,0016	-0,0014	0,00040000	0,00060000
20	1,000	0,0050	0,0003	0,0002	-0,00470000	-0,0048
30	1,50	-0,0036	-0,0061	-0,0088	-0,00250000	-0,0052
40	2,00	0,0047	0,0071	0,0090	0,00240000	0,0043
50	2,50	-0,0082	-0,0160	-0,0240	-0,00780000	-0,0158
60	3,00	0,0037	0,0091	0,0148	0,00540000	0,0111
70	3,50	0,0019	-0,0008	-0,0046	-0,00270000	-0,0065
80	4,00	-0,0093	-0,0130	-0,0164	-0,00370000	-0,0071
90	4,50	0,0070	0,0132	0,0184	0,00620000	0,0114
100	5,0	0,0010	-0,0023	-0,0058	-0,00330000	-0,0068
110	5,5	-0,0183	-0,0181	-0,0195	0,00020000	-0,0012
120	6,0	0,0183	0,0215	0,0237	0,00320000	0,0054
130	6,5	-0,0456	-0,0535	-0,0583	-0,00790000	-0,0127
140	7,0	0,0291	0,0396	0,0472	0,01050000	0,0181
150	7,5	-0,0424	-0,0430	-0,0470	-0,00060000	-0,0046
160	8,0	0,0074	0,0093	0,0156	0,00190000	0,0082
170	8,5	-0,0456	-0,0476	-0,048	-0,00200000	-0,0024
180	9,0	0,0249	0,0357	0,0415	0,01080000	0,0166
190	9,5	-0,0746	-0,0985	-0,1217	-0,02390000	-0,0471
200	10,0	0,0330	0,0536	0,0785	0,02060000	0,0455
210	10,5	-0,0753	-0,0961	-0,1195	-0,02080000	-0,0442
220	11,0	0,0223	0,0419	0,0589	0,01960000	0,0366
230	11,5	-0,0627	-0,084	-0,1022	-0,02130000	-0,0395
240	12,0	-0,0182	-0,0103	0,0002	0,00790000	0,0184
250	12,5	-0,0176	-0,0164	-0,0207	0,00120000	-0,0031
260	13,0	-0,0658	-0,0771	-0,0868	-0,01130000	-0,0210
270	13,5	0,0060	0,0221	0,0449	0,01610000	0,0389
280	14,0	-0,0814	-0,1	-0,1219	-0,01860000	-0,0405
290	14,5	0,0011	0,0127	0,0204	0,01160000	0,0193
300	15,0	-0,0746	-0,0861	-0,0921	0,01150000	-0,0175

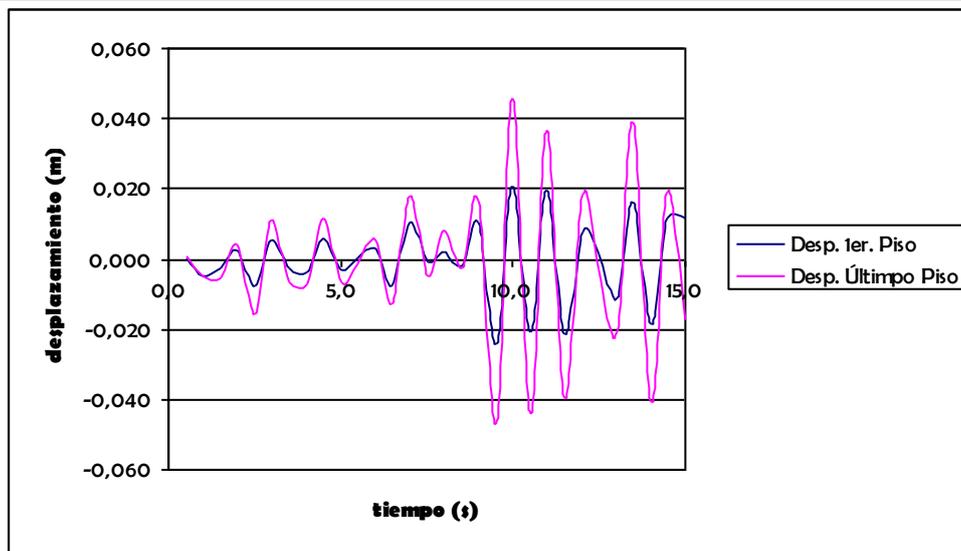


Figura 4.72. Desplazamientos obtenidos con SAP 2000, sentido x

- Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0020	-0,0017	-0,0014	0,00030000	0,00060000
20	1,00	0,0007	0,0005	0,0005	-0,00020000	-0,0002
30	1,50	-0,0038	-0,0062	-0,0097	-0,00240000	-0,0059
40	2,00	0,0050	0,0071	0,0100	0,00210000	0,0050
50	2,50	-0,0089	-0,0152	-0,0239	-0,00630000	-0,0150
60	3,00	0,0026	0,0065	0,0116	0,00390000	0,0090
70	3,50	0,0060	0,0049	0,0030	-0,00110000	-0,0030
80	4,00	-0,0167	-0,0219	-0,0280	-0,00520000	-0,0113
90	4,50	0,0165	0,0240	0,0318	0,00750000	0,0153
100	5,0	-0,0076	-0,0126	-0,0182	-0,00500000	-0,0106
110	5,5	-0,0114	-0,0101	-0,0102	0,00130000	0,0012
120	6,0	0,0158	0,0175	0,0203	0,00170000	0,0045
130	6,5	-0,0477	-0,0549	-0,0615	-0,00720000	-0,0138
140	7,0	0,0376	0,0473	0,0541	0,00970000	0,0165
150	7,5	-0,0535	-0,0564	-0,0558	-0,00290000	-0,0023
160	8,0	0,0199	0,0244	0,0315	0,00450000	0,0116
170	8,5	-0,0561	-0,0622	-0,0742	-0,00610000	-0,0181
180	9,0	0,0367	0,051	0,0746	0,01430000	0,0379
190	9,5	-0,0914	-0,1165	-0,1529	-0,02510000	-0,0615
200	10,0	0,0504	0,0712	0,0979	0,02080000	0,0475
210	10,5	-0,0874	-0,1063	-0,1262	-0,01890000	-0,0388
220	11,0	0,0227	0,0381	0,0525	0,01540000	0,0298
230	11,5	-0,0508	-0,0639	-0,0796	-0,01310000	-0,0288
240	12,0	-0,0456	-0,0459	-0,0436	-0,00030000	0,0020
250	12,5	0,0212	0,033	0,0414	0,01180000	0,0202
260	13,0	-0,1158	-0,1372	-0,1584	-0,02140000	-0,0426
270	13,5	0,0574	0,0845	0,1186	0,02710000	0,0612
280	14,0	-0,1253	-0,1528	-0,1931	-0,02750000	-0,0678
290	14,5	0,0273	0,0472	0,0802	0,01990000	0,0529
300	15,0	-0,0863	-0,1012	-0,128	0,01490000	-0,0417

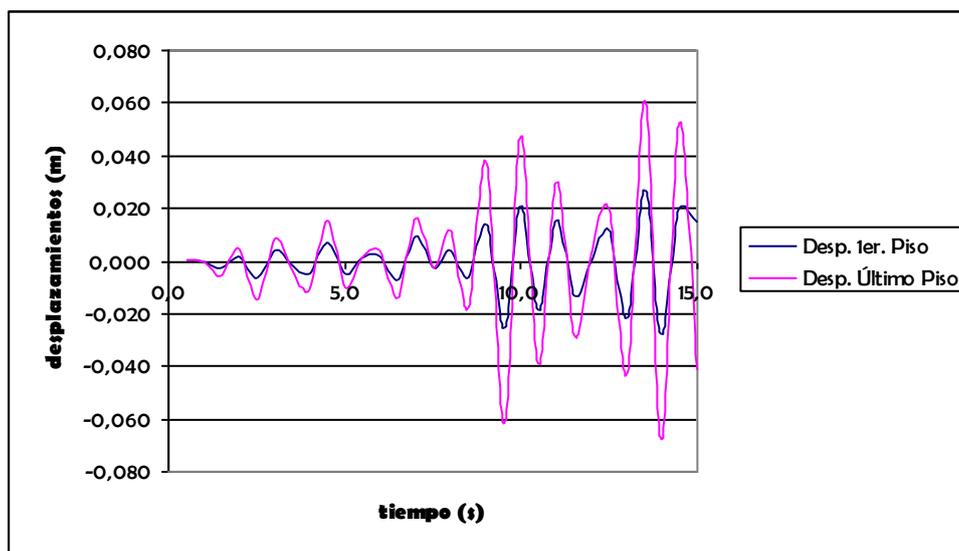


Figura 4.73. Desplazamientos obtenidos con SAP 2000, sentido y

4.3.7. EDIFICIO SEIS PISOS (SISMO DE BAHÍA)

4.3.7.1. Cuasiestático Aislamiento

- Sentido x:

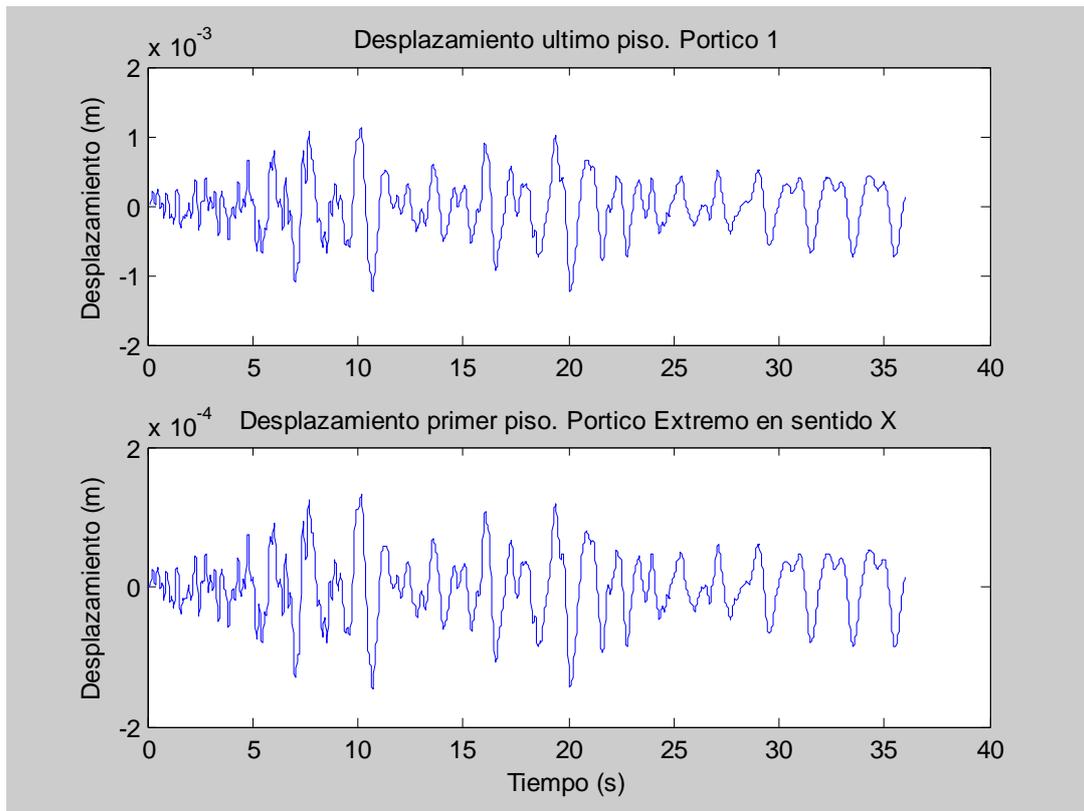


Figura 4.74. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

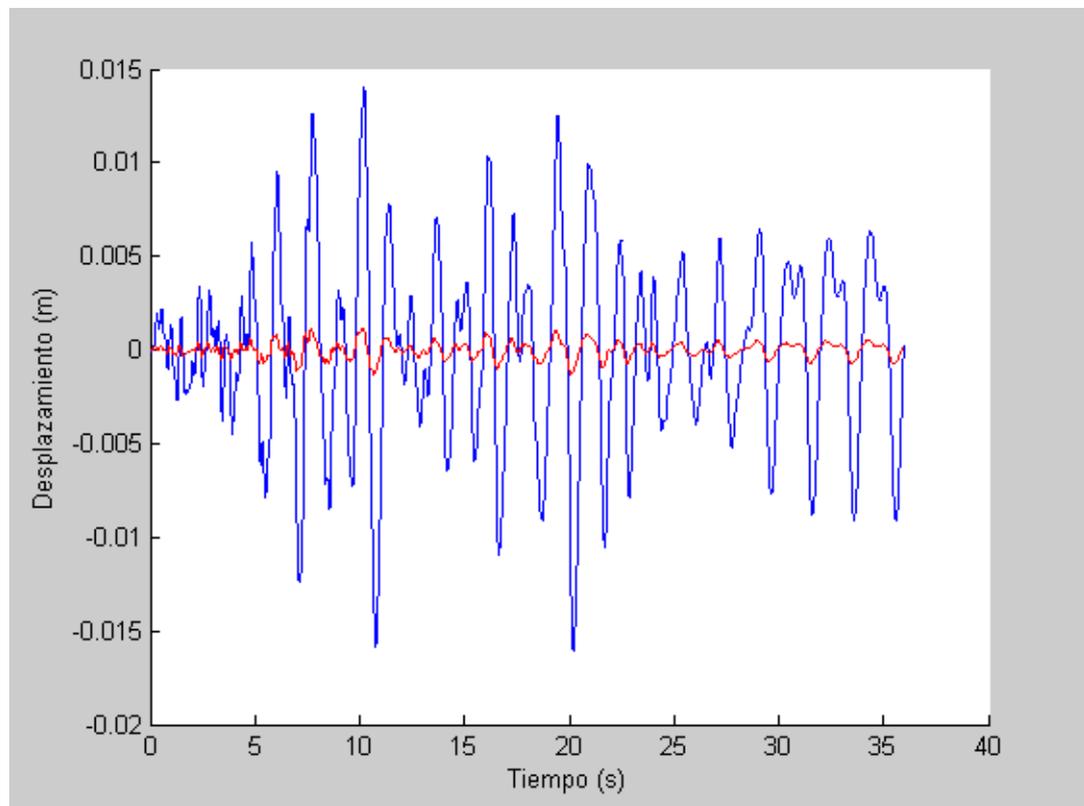


Figura 4.75. Desplazamiento en el aislador y la superestructura, sentido x

- **Sentido y:**

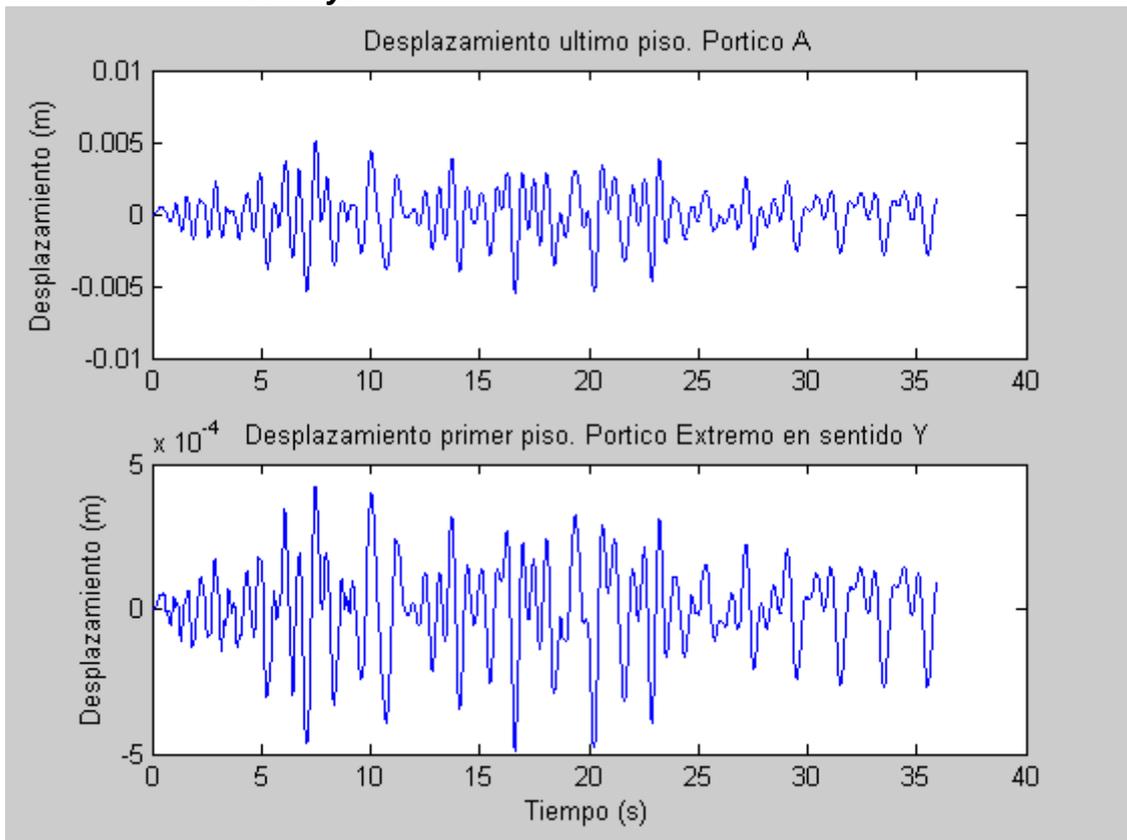


Figura 4.76. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

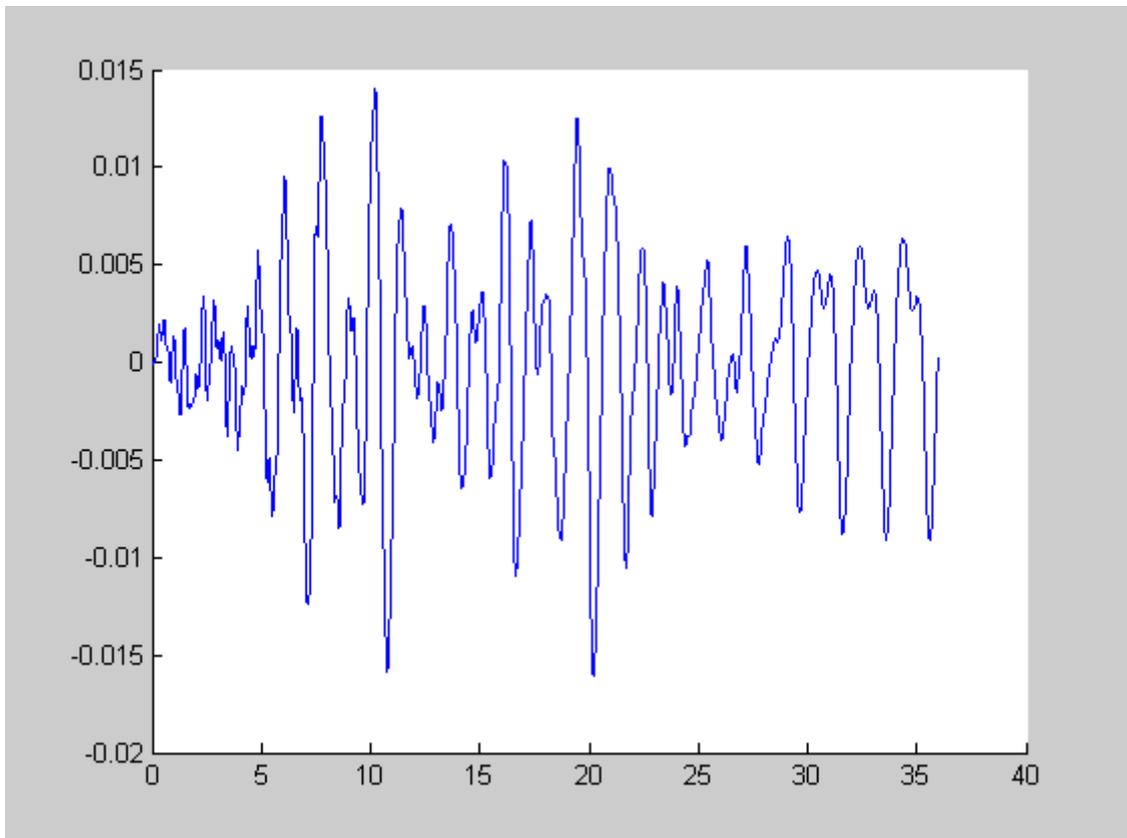


Figura 4.77. Desplazamientos en el aislador, sentido y

4.3.5.2. Masas Corregidas Aislamiento

- Sentido x:

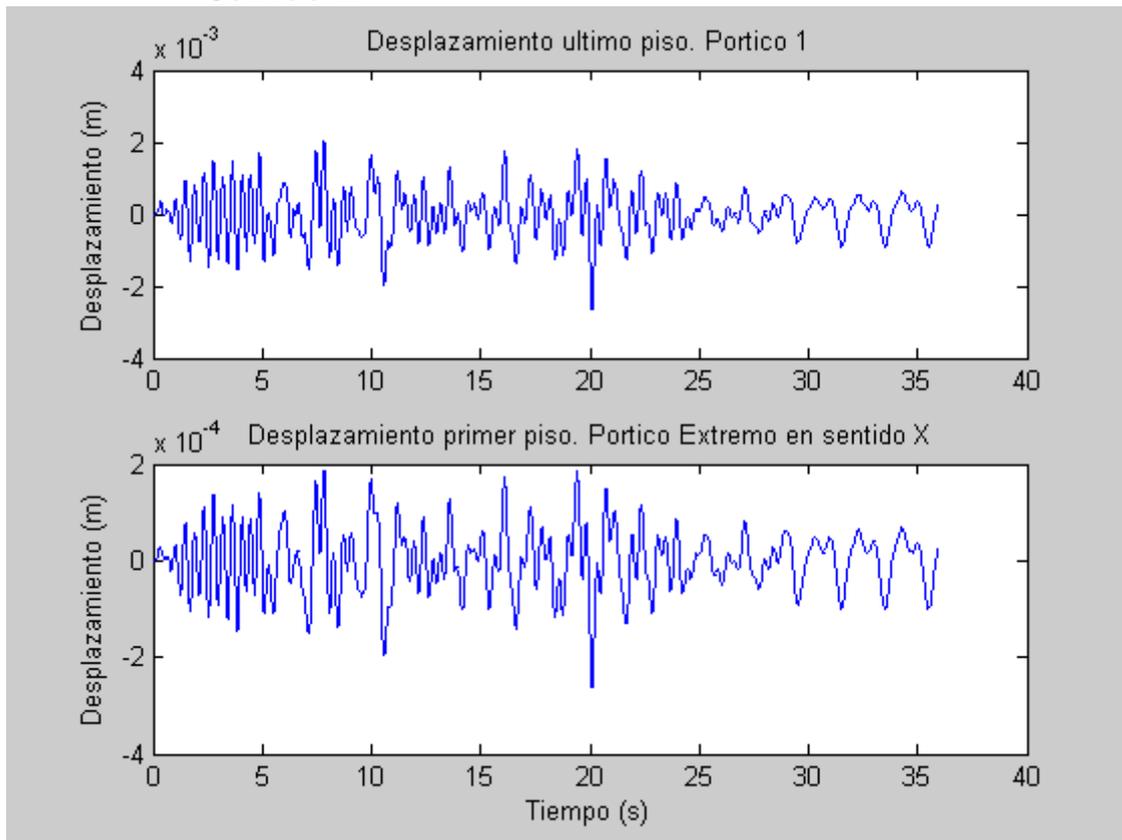


Figura 4.78. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

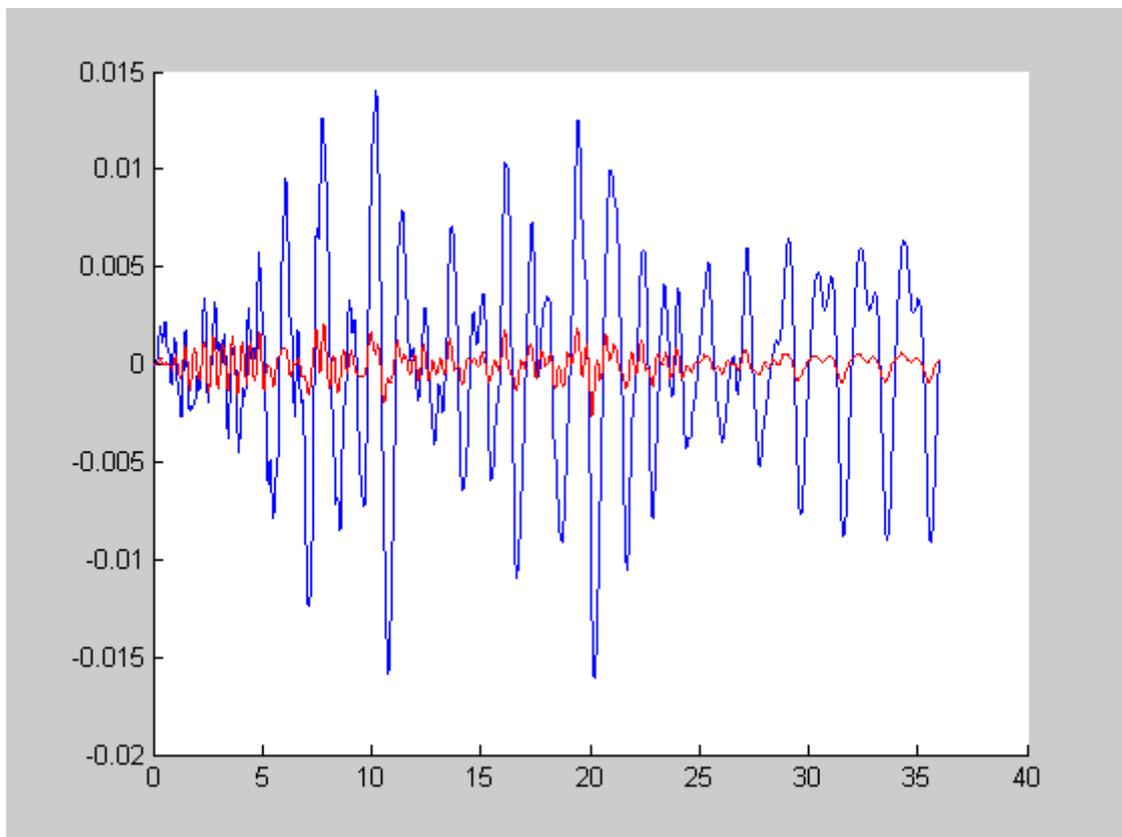


Figura 4.79. Desplazamiento en aislador y en la superestructura, sentido x

- **Sentido y:**

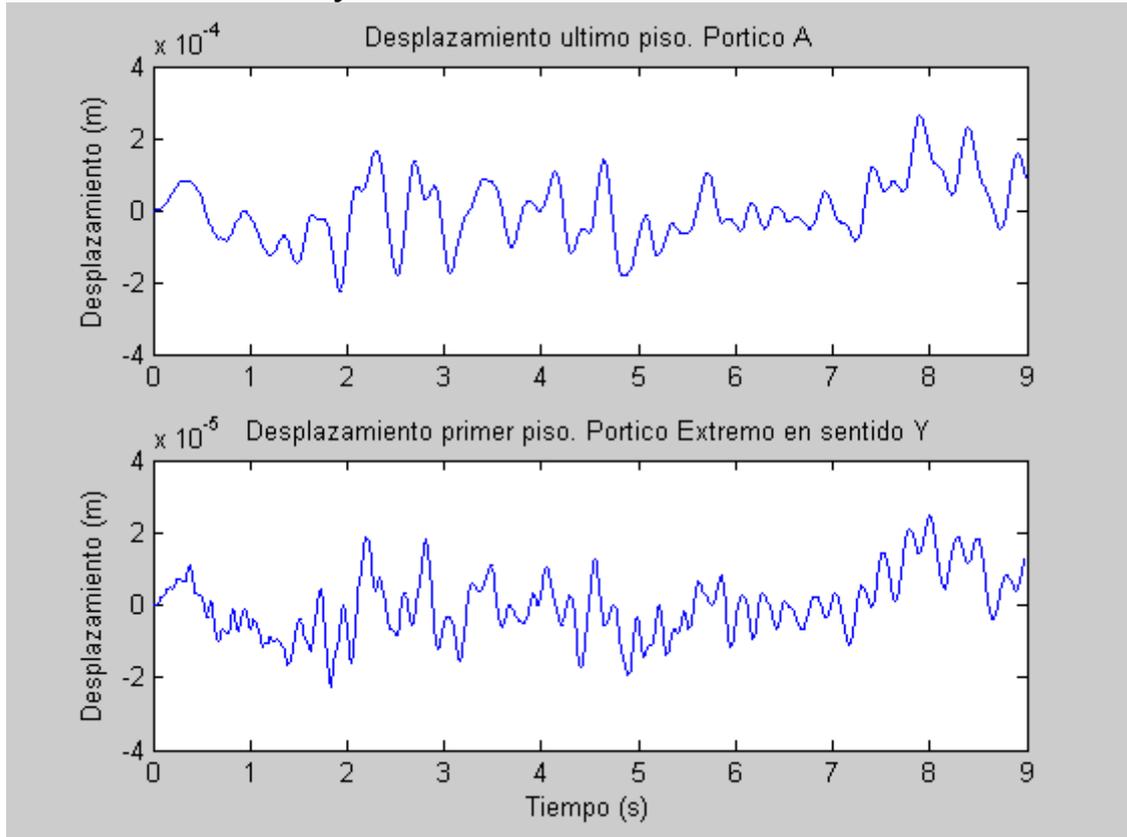


Figura 4.80. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

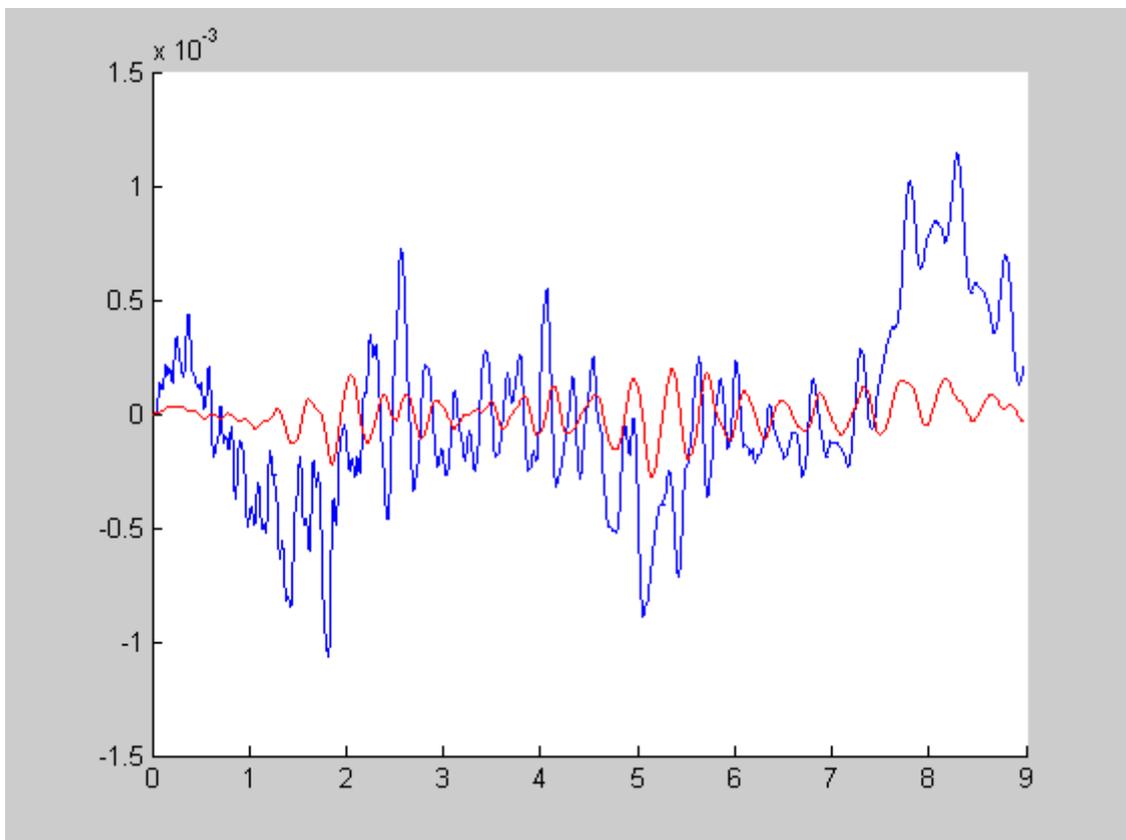


Figura 4.81. Desplazamientos en el aislador, sentido y

4.3.7.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	0,0042	0,004	0,0043	-0,0002	0,0001
20	1,0	0,008	0,0091	0,0091	0,0011	0,0011
30	1,5	0,0079	0,0081	0,0109	0,0002	0,003
40	2,0	0,0142	0,014	0,0156	-0,0002	0,0014
50	2,5	0,0188	0,0188	0,0174	0	-0,0014
60	3,0	0,0189	0,0185	0,0173	-0,0004	-0,0016
70	3,5	0,0208	0,0204	0,0198	-0,0004	-0,001
80	4,0	0,0228	0,0222	0,0176	-0,0006	-0,0052
90	4,5	0,0223	0,022	0,0271	-0,0003	0,0048
100	5,0	0,0198	0,0199	0,022	1E-04	0,0022
110	5,5	0,0263	0,0248	0,0174	-0,0015	-0,0089
120	6,0	0,0284	0,0325	0,0462	0,0041	0,0178
130	6,5	0,0198	0,0135	0,0047	-0,0063	-0,0151
140	7,0	0,034	0,037	0,0355	0,003	0,0015
150	7,5	0,0344	0,0374	0,0507	0,003	0,0163
160	8,0	0,0330	0,0251	0,0286	-0,0079	-0,0044
170	8,5	0,0396	0,0344	0,0387	-0,0052	-0,0009
180	9,0	0,0296	0,0304	0,0329	0,0008	0,0033
190	9,5	0,0277	0,0258	0,0216	-0,0019	-0,0061
200	10,0	0,0557	0,0590	0,0607	0,0033	0,0050
210	10,5	0,0078	-0,0085	-0,0182	-0,0163	-0,0260
220	11,0	0,0751	0,0819	0,0933	0,0068	0,0182
230	11,5	-0,0440	-0,0241	-0,0310	0,0199	0,0130
240	12,0	0,0745	0,0821	0,0949	0,0076	0,0204
250	12,5	-0,0090	-0,0175	-0,0274	-0,0085	-0,0184
260	13,0	0,0598	0,0646	0,0686	0,0048	0,0088
270	13,5	0,0012	-0,0028	-0,0105	-0,0040	-0,0117
280	14,0	0,0249	0,0264	0,0291	0,0015	0,0042
290	14,5	0,0166	0,0178	0,0222	0,0012	0,0056
300	15,0	-0,0080	-0,0099	-0,0101	-0,0019	-0,0021

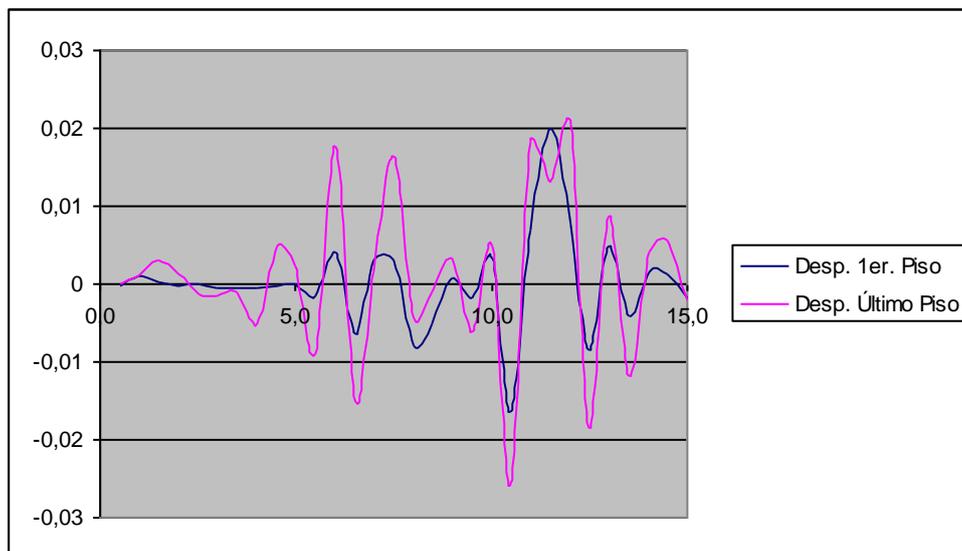


Figura 4.82. Desplazamientos con SAP2000, sentido x

• Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER	ULTIMO	DESP. REL	DESP REL
			PISO	PISO	1ER PISO	ULT PISO
10	0,5	0,0042	0,004	0,0043	-0,0002	0,0001
20	1,0	0,008	0,0091	0,0091	0,0011	0,0011
30	1,5	0,0079	0,0081	0,0109	0,0002	0,003
40	2,0	0,0142	0,014	0,0156	-0,0002	0,0014
50	2,5	0,0188	0,0188	0,0174	0	-0,0014
60	3,0	0,0189	0,0185	0,0173	-0,0004	-0,0016
70	3,5	0,0208	0,0204	0,0198	-0,0004	-0,001
80	4,0	0,0228	0,0222	0,0176	-0,0006	-0,0052
90	4,5	0,0223	0,022	0,0271	-0,0003	0,0048
100	5,0	0,0198	0,0199	0,022	1E-04	0,0022
110	5,5	0,0263	0,0248	0,0174	-0,0015	-0,0089
120	6,0	0,0284	0,0325	0,0462	0,0041	0,0178
130	6,5	0,0198	0,0135	0,0047	-0,0063	-0,0151
140	7,0	0,034	0,037	0,0355	0,003	0,0015
150	7,5	0,0344	0,0374	0,0507	0,003	0,0163
160	8,0	0,0350	0,0251	0,0286	-0,0099	-0,0064
170	8,5	0,0386	0,0344	0,0387	-0,0042	0,0001
180	9,0	0,0296	0,0304	0,0329	0,0008	0,0033
190	9,5	0,0277	0,0258	0,0216	-0,0019	-0,0061
200	10,0	0,0557	0,0590	0,0607	0,0033	0,0050
210	10,5	0,0028	-0,0085	-0,0182	-0,0113	-0,0210
220	11,0	0,0751	0,0819	0,0933	0,0068	0,0182
230	11,5	-0,0440	-0,0241	-0,0310	0,0199	0,0130
240	12,0	0,0745	0,0821	0,0949	0,0076	0,0204
250	12,5	-0,0090	-0,0175	-0,0274	-0,0085	-0,0184
260	13,0	0,0598	0,0646	0,0686	0,0048	0,0088
270	13,5	0,0012	-0,0028	-0,0105	-0,0040	-0,0117
280	14,0	0,0249	0,0264	0,0291	0,0015	0,0042
290	14,5	0,0166	0,0178	0,0222	0,0012	0,0056
300	15,0	-0,0080	-0,0099	-0,0101	-0,0019	-0,0021

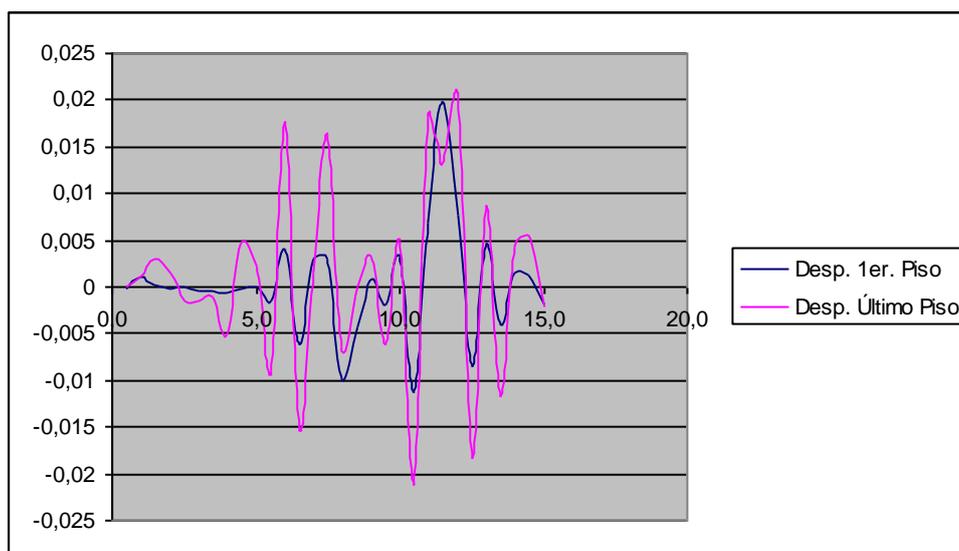


Figura 4.83. Desplazamientos con SAP2000, sentido y

4.3.8. EDIFICIO DE SEIS PISOS (SISMO DE EL CENTRO)

4.3.8.1. Cuasiestático Aislamiento

- Sentido x:

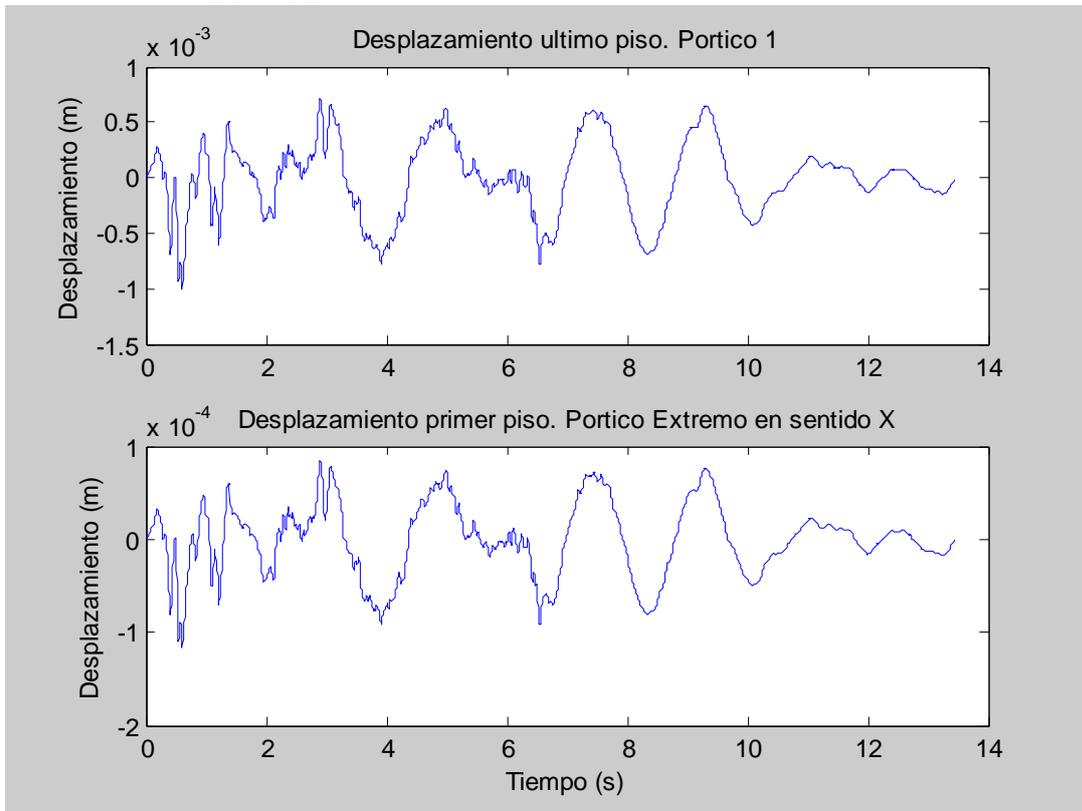


Figura 4.84. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

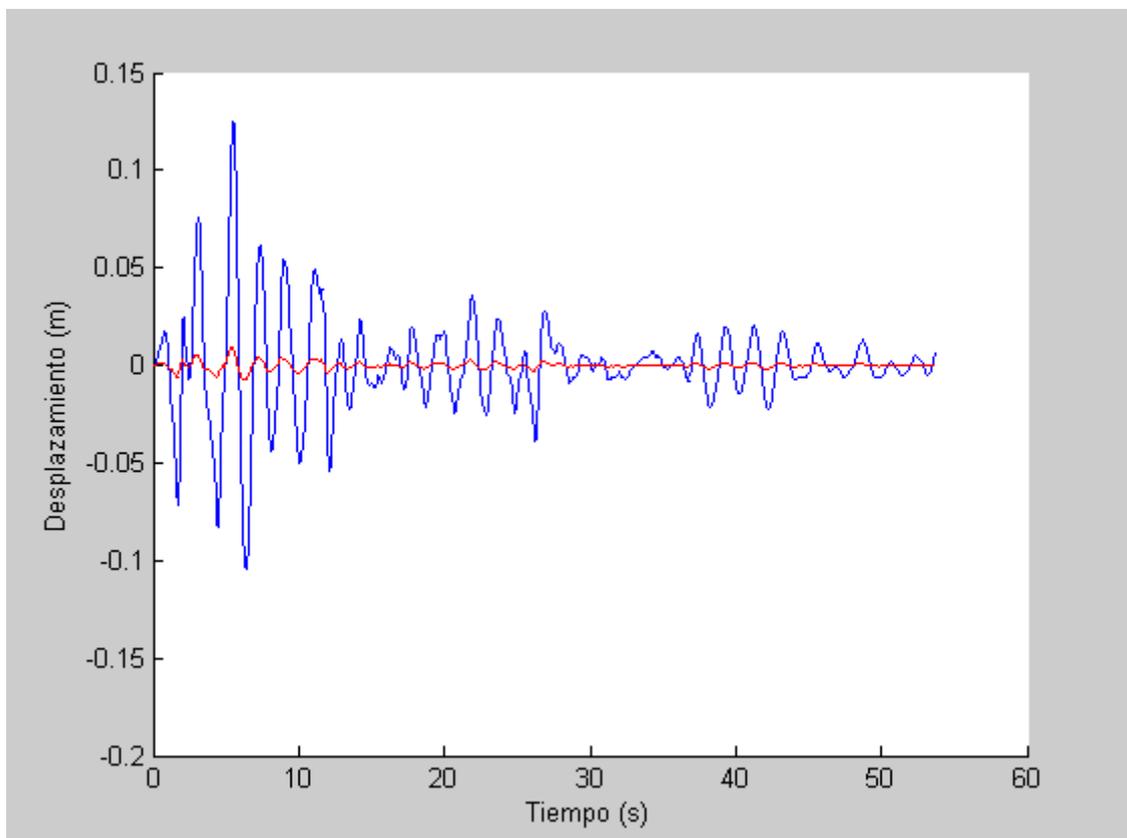


Figura 4.85. Desplazamientos en aislador y en la estructura, sentido x

- Sentido y:

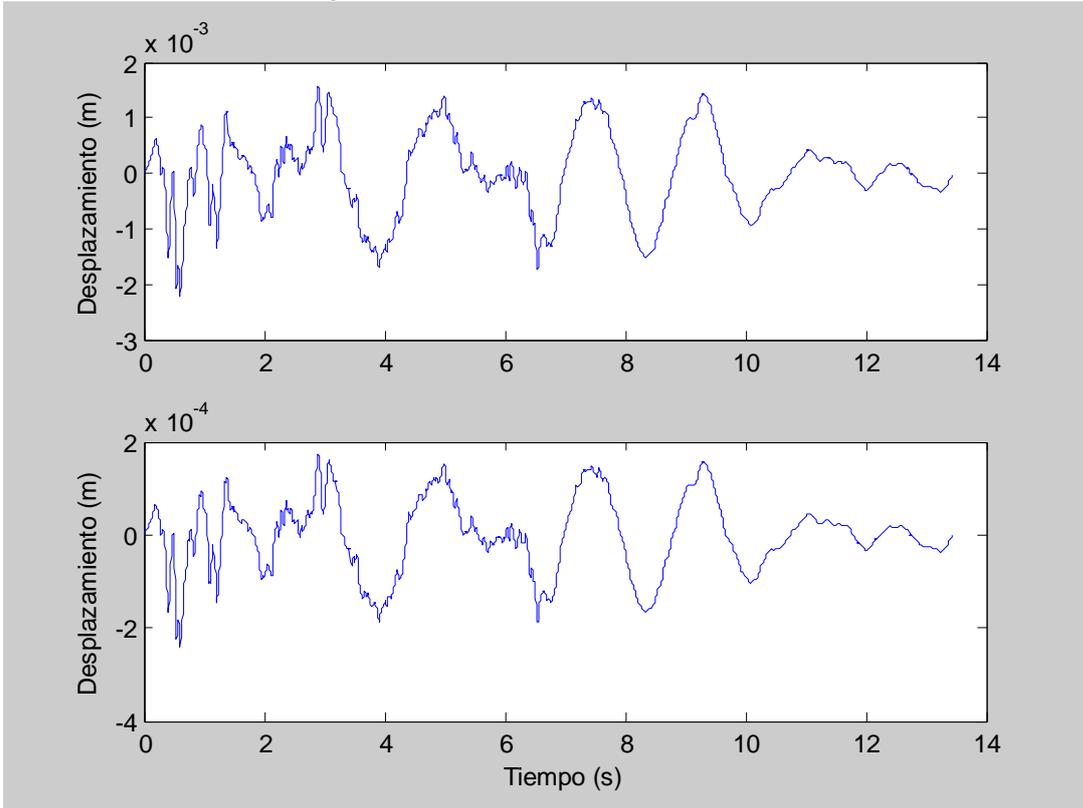


Figura 4.86. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

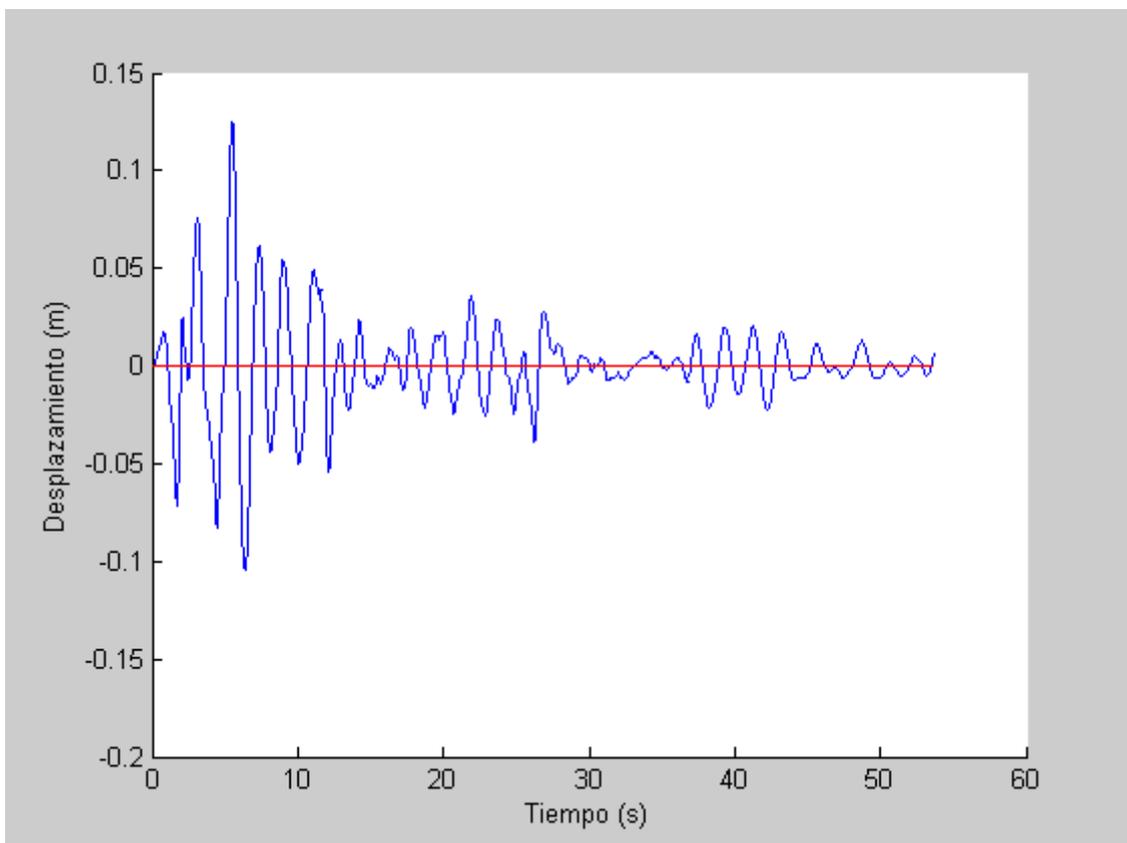


Figura 4.87. Desplazamientos en aislador, sentido y

5.3.8.2. Masas Corregidas Aislamiento

- Sentido x:

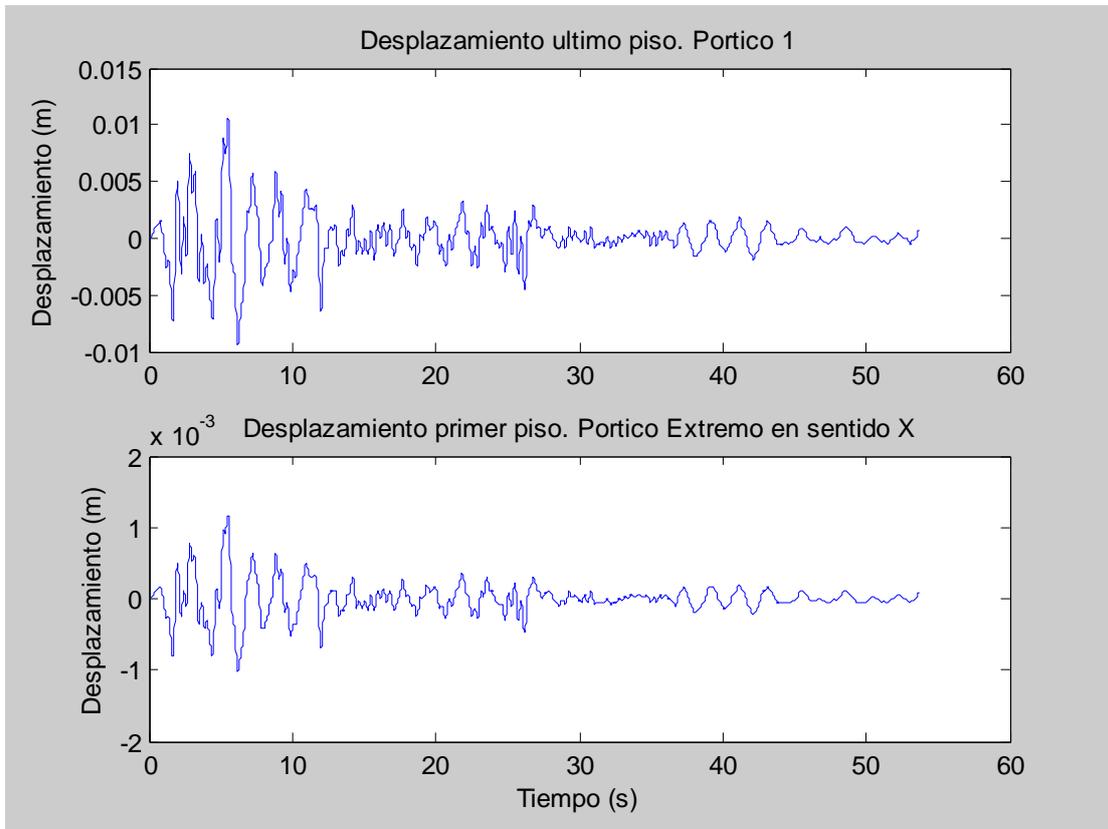


Figura 4.88. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

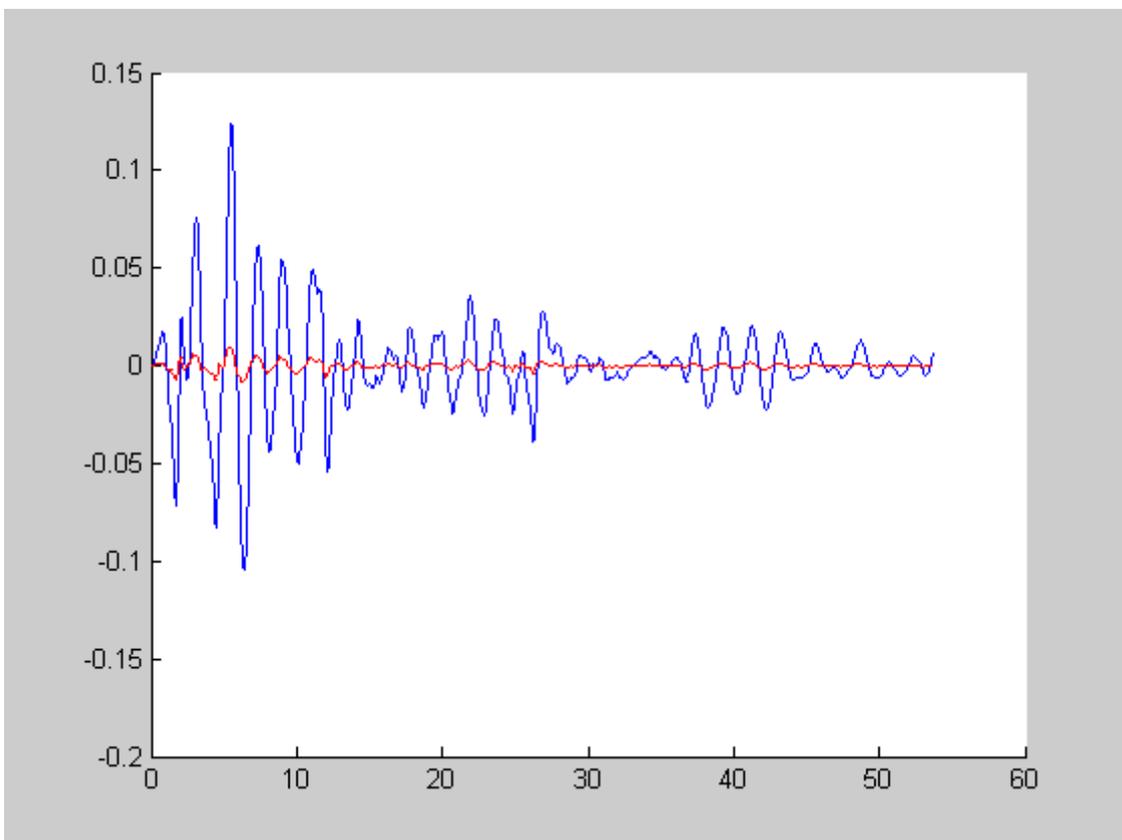


Figura 4.89. Desplazamientos en el aislador, sentido x

- **Sentido y:**

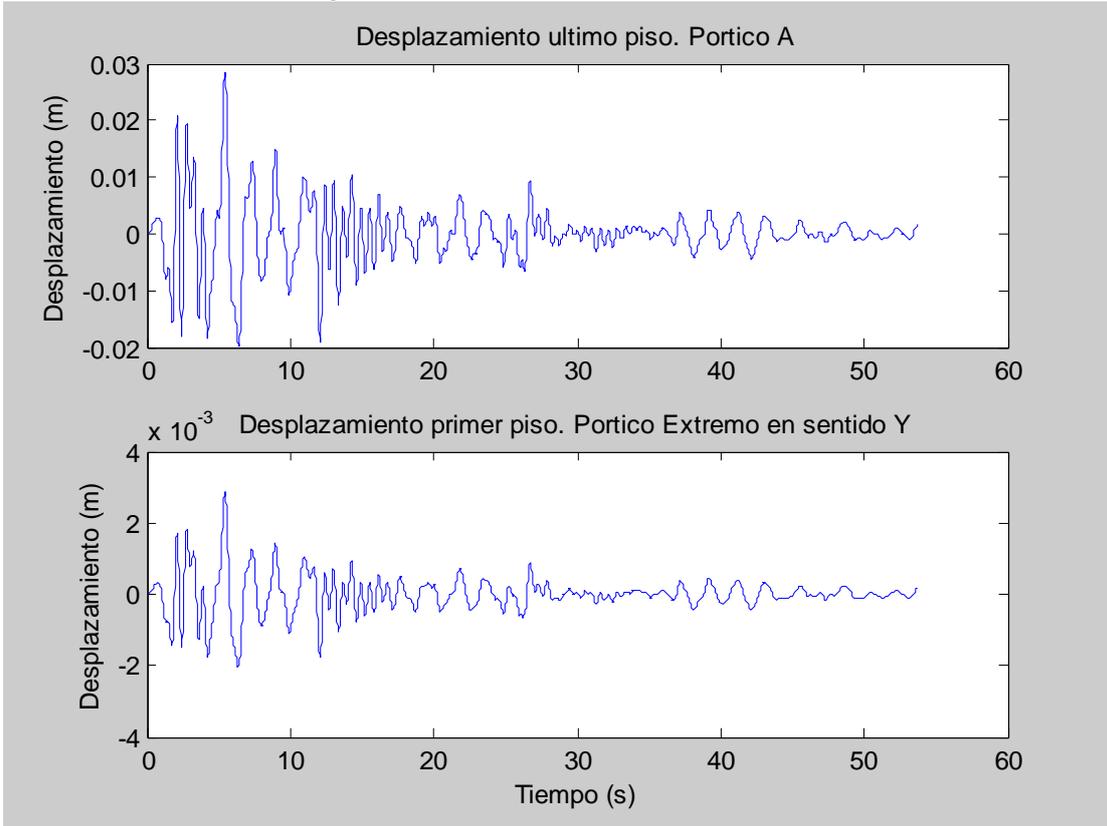


Figura 4.90. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

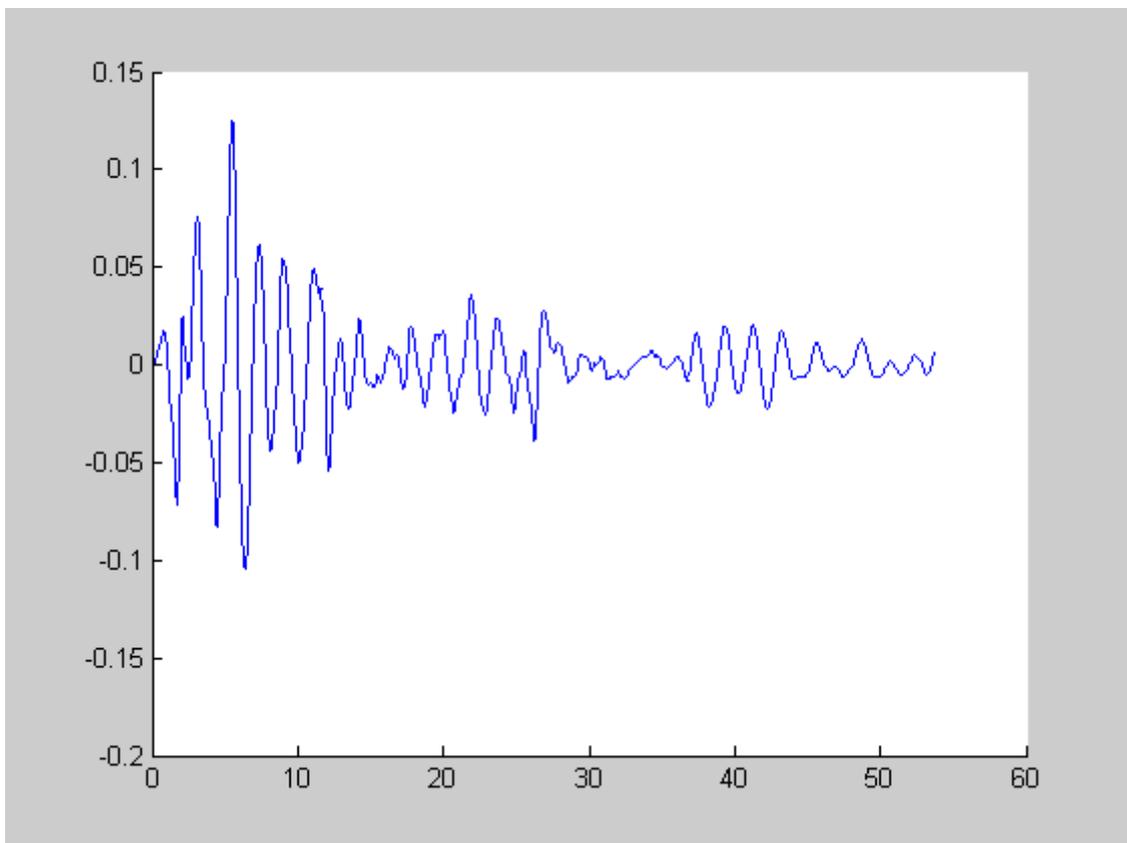


Figura 4.91. Desplazamientos en el aislador, sentido y

5.3.8.3. SAP 2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0082	-0,0075	-0,0053	0,0007	0,0029
20	1,0	-0,0518	-0,0525	-0,0543	-0,0007	-0,0025
30	1,5	-0,0325	-0,0335	-0,0385	-0,0010	-0,0060
40	2,0	0,0652	0,0721	0,0938	0,0069	0,0286
50	2,5	0,0685	0,0591	0,0346	-0,0094	-0,0339
60	3,0	0,2299	0,2352	0,2640	0,0053	0,0341
70	3,5	0,0058	0,0070	-0,0517	0,0012	-0,0575
80	4,0	0,1489	0,1612	0,2065	0,0123	0,0576
90	4,5	0,0799	0,0657	0,0119	-0,0142	-0,0680
100	5,0	0,3065	0,3051	0,3410	-0,0014	0,0345
110	5,5	0,2757	0,2827	0,3055	0,0070	0,0298
120	6,0	0,1078	0,0895	0,0336	-0,0183	-0,0742
130	6,5	0,4272	0,4506	0,5176	0,0234	0,0904
140	7,0	0,1363	0,1108	0,0456	-0,0255	-0,0907
150	7,5	0,5136	0,5368	0,5899	0,0232	0,0763
160	8,0	0,2984	0,2789	0,2366	-0,0195	-0,0618
170	8,5	0,5806	0,5815	0,6210	0,0009	0,0404
180	9,0	0,4851	0,4697	0,4776	-0,0154	-0,0075
190	9,5	0,4313	0,4222	0,4032	-0,0091	-0,0281
200	10,0	0,6443	0,6613	0,6955	0,0170	0,0512
210	10,5	0,3872	0,3627	0,3083	-0,0245	-0,0789
220	11,0	0,8062	0,8366	0,9095	0,0304	0,1033
230	11,5	0,3771	0,3483	0,2741	-0,0288	-0,1030
240	12,0	0,7100	0,7312	0,7855	0,0212	0,0755
250	12,5	0,4250	0,4121	0,3813	-0,0129	-0,0437
260	13,0	0,5345	0,5383	0,5434	0,0038	0,0089
270	13,5	0,5506	0,5541	0,5730	0,0035	0,0224
280	14,0	0,5013	0,4918	0,4564	-0,0095	-0,0449
290	14,5	0,6552	0,6552	0,6924	0,0000	0,0372
300	15,0	0,5052	0,4972	0,4615	-0,0080	-0,0437
310	15,5	0,7282	0,7631	0,7694	0,0349	0,0412
320	16,0	0,6061	0,5881	0,5553	-0,0180	-0,0508
330	16,5	0,7718	0,7782	0,7983	0,0064	0,0265
340	17,0	0,7747	0,7735	0,7647	-0,0012	-0,0100
350	17,5	0,7923	0,7887	0,7882	-0,0036	-0,0041
360	18,0	0,9163	0,9251	0,9404	0,1969	0,2122
370	18,5	0,7692	0,7544	0,7191	0,1483	0,1130
380	19,0	1,0640	1,0840	1,1350	0,3122	0,3632
390	19,5	0,8141	0,7935	0,7391	0,0188	-0,0356
400	20,0	1,1150	1,1350	1,1870	0,3427	0,3947
410	20,5	0,8858	0,8693	0,8322	-0,0470	-0,0841
420	21,0	1,1120	1,1230	1,1450	0,3538	0,3758
430	21,5	1,0850	1,0710	1,0730	0,0070	0,0090
440	22,0	1,0650	1,0620	1,0530	0,2479	0,2389
450	22,5	1,1560	1,1660	1,1610	0,0510	0,0460
460	23,0	1,0030	0,9890	0,9534	0,1032	0,0676
470	23,5	1,2260	1,2430	1,2860	0,1310	0,1740
480	24,0	0,9633	0,9449	0,8993	-0,1401	-0,1857

490	24,5	1,2000	1,2170	1,2580	0,1520	0,1930
500	25,0	0,9970	0,9837	0,9504	-0,1723	-0,2056
510	25,5	1,1430	1,1510	1,1727	0,1480	0,1697
520	26,0	1,1229	1,1478	1,1139	-0,0782	-0,1121
530	26,5	1,2192	1,2176	1,2135	0,2543	0,2502
540	27,0	1,3372	1,3460	1,3713	0,1460	0,1713
550	27,5	1,2625	1,2604	1,2245	0,2634	0,2275
560	28,0	1,4366	1,4631	1,5108	0,3201	0,3678
570	28,5	1,2406	1,2365	1,2005	0,1136	0,0776
580	29,0	1,4723	1,4975	1,5432	0,2783	0,3240
590	29,5	1,2964	1,2833	1,2449	-0,0539	-0,0923
600	30,0	1,4677	1,4627	1,4859	0,2002	0,2234
610	30,5	1,4190	1,4200	1,4220	-0,0166	-0,0146
620	31,0	1,3417	1,3333	1,5158	0,0927	0,2752
630	31,5	1,5415	1,5568	1,5888	0,1935	0,1165
640	32,0	1,3043	1,2844	1,2412	0,0778	-0,0552
650	32,5	1,6444	1,6658	1,7151	0,2533	0,2474
660	33,0	1,3947	1,3742	1,3234	0,1287	-0,0956
670	33,5	1,7044	1,7210	1,7639	0,3507	0,4222
680	34,0	1,5580	1,5477	1,5207	0,1877	-0,0208
690	34,5	1,6895	1,6924	1,6978	0,3305	0,3935
700	35,0	1,7105	1,7292	1,7496	0,1838	0,1052
710	35,5	1,6455	1,6348	1,5981	0,2029	0,2034
720	36,0	1,8283	1,8282	1,8880	0,2051	0,1836
730	36,5	1,6433	1,5976	1,5502	0,1129	-0,0078
740	37,0	1,8907	1,9095	1,9547	0,1302	0,2652
750	37,5	1,6485	1,6709	1,6398	0,0659	-0,0707
760	38,0	1,8125	1,8197	1,8392	0,1333	0,1937
770	38,5	1,7795	1,7764	1,7891	0,1380	-0,0392
780	39,0	1,7804	1,7788	1,7614	0,0801	0,1181
790	39,5	1,9522	1,9663	1,9970	0,1944	0,1063
800	40,0	1,7432	1,7234	1,6763	0,1147	0,0278
810	40,5	2,0626	2,0851	2,1429	0,2581	0,3304
820	41,0	1,7846	1,7632	1,7051	0,0952	-0,0744
830	41,5	2,0529	2,0706	2,1197	0,2455	0,3393
840	42,0	1,8662	1,8747	1,8212	-0,0205	-0,1310
850	42,5	2,0090	2,0129	2,0233	0,4730	0,2801
860	43,0	2,0433	2,0259	2,0637	-0,1711	0,0011
870	43,5	1,9446	1,9317	1,9360	0,5204	0,1514
880	44,0	2,1970	2,2162	2,2644	-0,1297	0,2115
890	44,5	1,9146	1,8915	1,8374	0,4142	-0,0288
900	45,0	2,2819	2,3050	2,3569	0,1303	0,3479
910	45,5	2,0030	1,9232	1,9391	0,1469	-0,1042
920	46,0	2,2665	2,2804	2,3127	0,3734	0,3681
930	46,5	2,1453	2,1393	2,1230	-0,0285	-0,0740
940	47,0	2,1925	2,1902	2,1869	0,5123	0,2723
950	47,5	2,2988	2,3180	2,3485	-0,1075	0,0666
960	48,0	2,1815	2,1685	2,1241	0,4306	0,1211
970	48,5	2,4225	2,4269	2,4820	-0,0327	0,2155
980	49,0	2,1787	2,1744	2,1184	0,0043	-0,0269
990	49,5	2,4258	2,4336	2,4813	-0,0078	0,2888
1000	50,0	2,2540	2,2338	2,1974	0,0202	0,0566

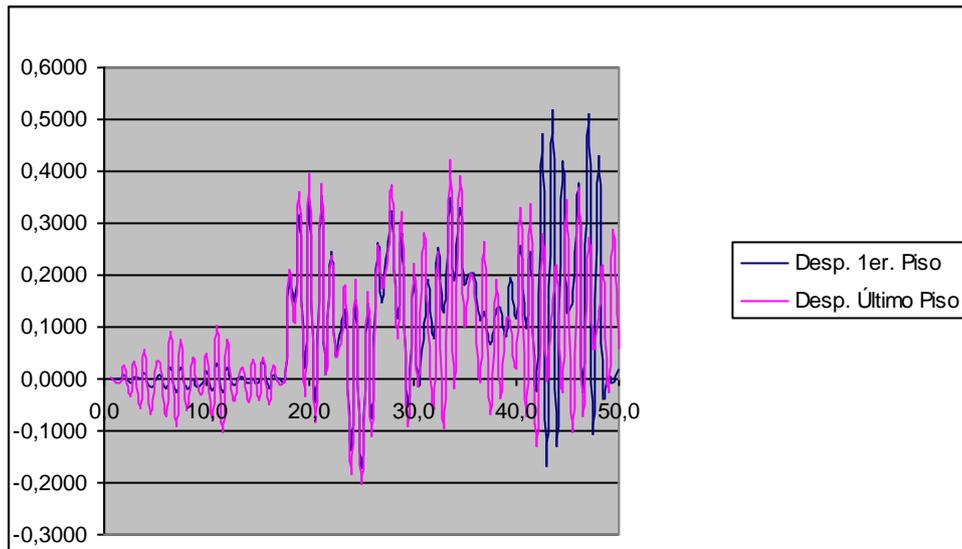


Figura 4.93. Desplazamientos con SAP2000, sentido x

- Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0,5	-0,0078	-0,0071	-0,0048	0,0007	0,0030
20	1,0	-0,0517	-0,0523	-0,0542	-0,0006	-0,0025
30	1,5	-0,0351	-0,0362	-0,0370	-0,0011	-0,0019
40	2,0	0,0681	0,0748	0,0980	0,0067	0,0299
50	2,5	0,0620	0,0528	0,0257	-0,0092	-0,0363
60	3,0	0,2238	0,2379	0,2843	0,0141	0,0605
70	3,5	0,0035	-0,0129	-0,0733	-0,0164	-0,0768
80	4,0	0,1740	0,1889	0,2440	0,0149	0,0700
90	4,5	0,0450	0,0275	-0,0339	-0,0175	-0,0789
100	5,0	0,3460	0,3585	0,3954	0,0125	0,0494
110	5,5	0,1974	0,1938	0,1894	-0,0036	-0,0080
120	6,0	0,2002	0,1958	0,1778	-0,0044	-0,0224
130	6,5	0,3368	0,3457	0,3703	0,0089	0,0335
140	7,0	0,2113	0,1980	0,1617	-0,0133	-0,0496
150	7,5	0,4564	0,4839	0,5364	0,0275	0,0800
160	8,0	0,3030	0,2831	0,2112	-0,0199	-0,0918
170	8,5	0,6298	0,6508	0,7272	0,0210	0,0974
180	9,0	0,3713	0,3536	0,2945	-0,0177	-0,0768
190	9,5	0,6024	0,6164	0,6524	0,0140	0,0500
200	10,0	0,4375	0,4268	0,3992	-0,0107	-0,0383
210	10,5	0,6024	0,6077	0,6281	0,0053	0,0257
220	11,0	0,6080	0,6098	0,6060	0,0018	-0,0020
230	11,5	0,5335	0,5274	0,5141	-0,0061	-0,0194
240	12,0	0,6124	0,6202	0,6476	0,0078	0,0352
250	12,5	0,4489	0,4379	0,3932	-0,0110	-0,0557
260	13,0	0,5919	0,6058	0,6592	0,0139	0,0673
270	13,5	0,4194	0,4029	0,3505	-0,0165	-0,0689
280	14,0	0,6884	0,7066	0,7567	0,0182	0,0683
290	14,5	0,4266	0,4066	0,3450	-0,0200	-0,0816

300	15,0	0,7295	0,7487	0,8158	0,0192	0,0863
310	15,5	0,5297	0,5137	0,4526	-0,0160	-0,0771
320	16,0	0,7618	0,7732	0,8161	0,0114	0,0543
330	16,5	0,6913	0,6860	0,6736	-0,0053	-0,0177
340	17,0	0,7740	0,7728	0,7610	-0,0012	-0,0130
350	17,5	0,8819	0,8903	0,9213	0,0084	0,0394
360	18,0	0,7417	0,7274	0,6856	-0,0143	-0,0561
370	18,5	1,0100	1,0278	1,0773	0,0178	0,0673
380	19,0	0,7869	0,7673	0,7066	-0,0196	-0,0803
390	19,5	1,0981	1,1189	1,1947	0,0208	0,0966
400	20,0	0,8510	0,8323	0,7608	-0,0187	-0,0902
410	20,5	1,1072	1,1225	1,1782	0,0153	0,0710
420	21,0	0,9572	0,9468	0,9206	-0,0104	-0,0366
430	21,5	1,1281	1,1338	1,1423	0,0057	0,0142
440	22,0	1,0840	1,0849	1,0898	0,0009	0,0058
450	22,5	1,0361	1,0292	1,0152	-0,0069	-0,0209
460	23,0	1,1990	1,2110	1,2381	0,0120	0,0391
470	23,5	0,9832	0,9667	0,9138	-0,0165	-0,0694
480	24,0	1,2243	1,2440	1,3188	0,0197	0,0945
490	24,5	0,9468	0,9260	0,8439	-0,0208	-0,1029
500	25,0	1,2237	1,2430	1,3082	0,0193	0,0845
510	25,5	0,9665	0,9502	0,9085	-0,0163	-0,0580
520	26,0	1,2323	1,2435	1,2689	0,0112	0,0366
530	26,5	1,1935	1,1886	1,1753	-0,0049	-0,0182
540	27,0	1,2692	1,2687	1,2762	-0,0005	0,0070
550	27,5	1,3943	1,4006	1,4086	0,0063	0,0143
560	28,0	1,2762	1,2659	1,2350	-0,0103	-0,0412
570	28,5	1,4498	1,4634	1,5201	0,0136	0,0703
580	29,0	1,2770	1,2612	1,1948	-0,0158	-0,0822
590	29,5	1,4928	1,5088	1,5644	0,0160	0,0716
600	30,0	1,2857	1,2711	1,2348	-0,0146	-0,0509
610	30,5	1,5072	1,5203	1,5496	0,0131	0,0424
620	31,0	1,3429	1,3256	1,2939	-0,0173	-0,0490
630	31,5	1,4665	1,4735	1,5081	0,0070	0,0416
640	32,0	1,4437	1,4414	1,4207	-0,0023	-0,0230
650	32,5	1,4662	1,4626	1,4526	-0,0036	-0,0136
660	33,0	1,5894	1,5981	1,6385	0,0087	0,0491
670	33,5	1,5095	1,4966	1,4409	-0,0129	-0,0686
680	34,0	1,7386	1,7541	1,8066	0,0155	0,0680
690	34,5	1,5384	1,5218	1,4782	-0,0166	-0,0602
700	35,0	1,8137	1,8302	1,8722	0,0165	0,0585
710	35,5	1,5975	1,5817	1,5295	-0,0158	-0,0680
720	36,0	1,8124	1,8262	1,8841	0,0138	0,0717
730	36,5	1,6771	1,6660	1,6193	-0,0111	-0,0578
740	37,0	1,8047	1,8110	1,8323	0,0063	0,0276
750	37,5	1,7402	1,7396	1,7497	-0,0006	0,0095
760	38,0	1,7385	1,7330	1,7024	-0,0055	-0,0361
770	38,5	1,8675	1,8775	1,9113	0,0100	0,0438
780	39,0	1,7265	1,7129	1,6795	-0,0136	-0,0470
790	39,5	1,9794	1,9962	2,0406	0,0168	0,0612
800	40,0	1,7450	1,7256	1,6609	-0,0194	-0,0841
810	40,5	2,0403	2,0605	2,1392	0,0202	0,0989

820	41,0	1,8114	1,7930	1,7206	-0,0184	-0,0908
830	41,5	2,0363	2,0511	2,0994	0,0148	0,0631
840	42,0	1,8656	1,8548	1,8316	-0,0108	-0,0340
850	42,5	2,0275	2,0330	2,0394	0,0055	0,0119
860	43,0	2,0100	2,0099	2,0082	-0,0001	-0,0018
870	43,5	1,9901	1,9850	1,9804	-0,0051	-0,0097
880	44,0	2,1410	2,1516	2,1753	0,0106	0,0343
890	44,5	1,9739	1,9584	1,9058	-0,0155	-0,0681
900	45,0	2,2346	2,2532	2,3269	0,0186	0,0923
910	45,5	2,0188	1,9996	1,9254	-0,0192	-0,0934
920	46,0	2,2950	2,3129	2,3705	0,0179	0,0755
930	46,5	2,0722	2,0569	2,0188	-0,0153	-0,0534
940	47,0	2,2978	2,3097	2,3391	0,0119	0,0413
950	47,5	2,1797	2,1714	2,1409	-0,0083	-0,0388
960	48,0	2,2861	2,2898	2,3149	0,0037	0,0288
970	48,5	2,3186	2,3209	2,3183	0,0023	-0,0003
980	49,0	2,2549	2,2471	2,2186	-0,0078	-0,0363
990	49,5	2,3942	2,4068	2,4615	0,0126	0,0673
1000	50,0	2,2219	2,2060	2,1431	-0,0159	-0,0788

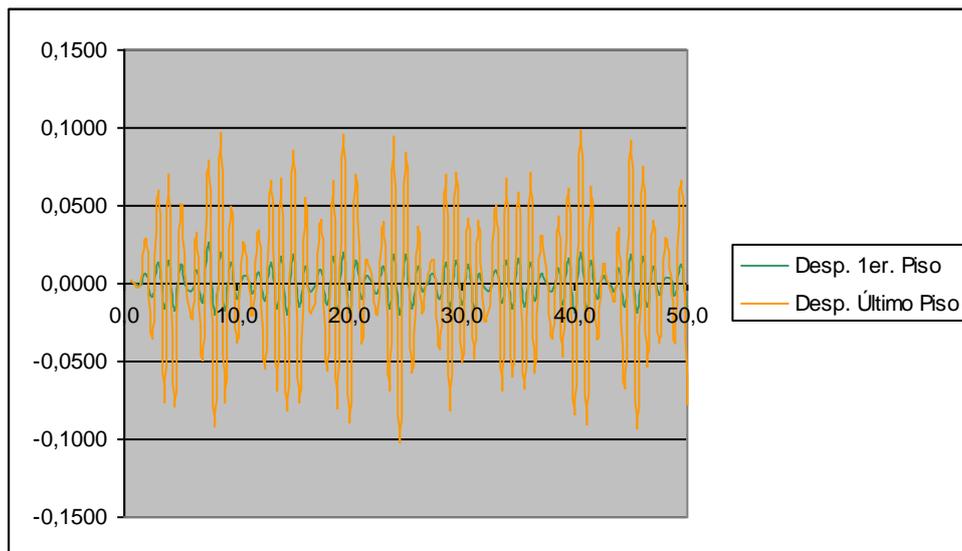


Figura 4.94. Desplazamientos con SAP2000, sentido y

4.3.9. EDIFICIO DE SEIS PISOS (SISMO SINTÉTICO)

4.3.9.1. Cuasiestático Aislamiento

- Sentido x:

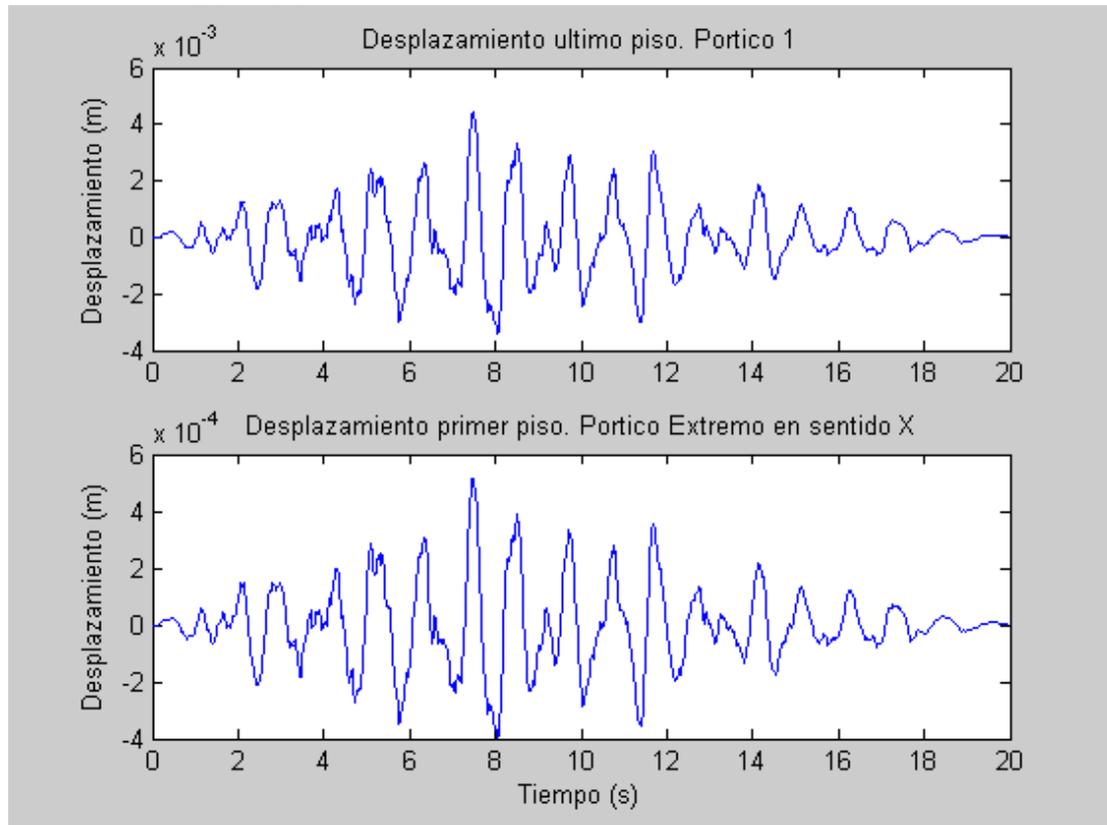


Figura 4.95. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

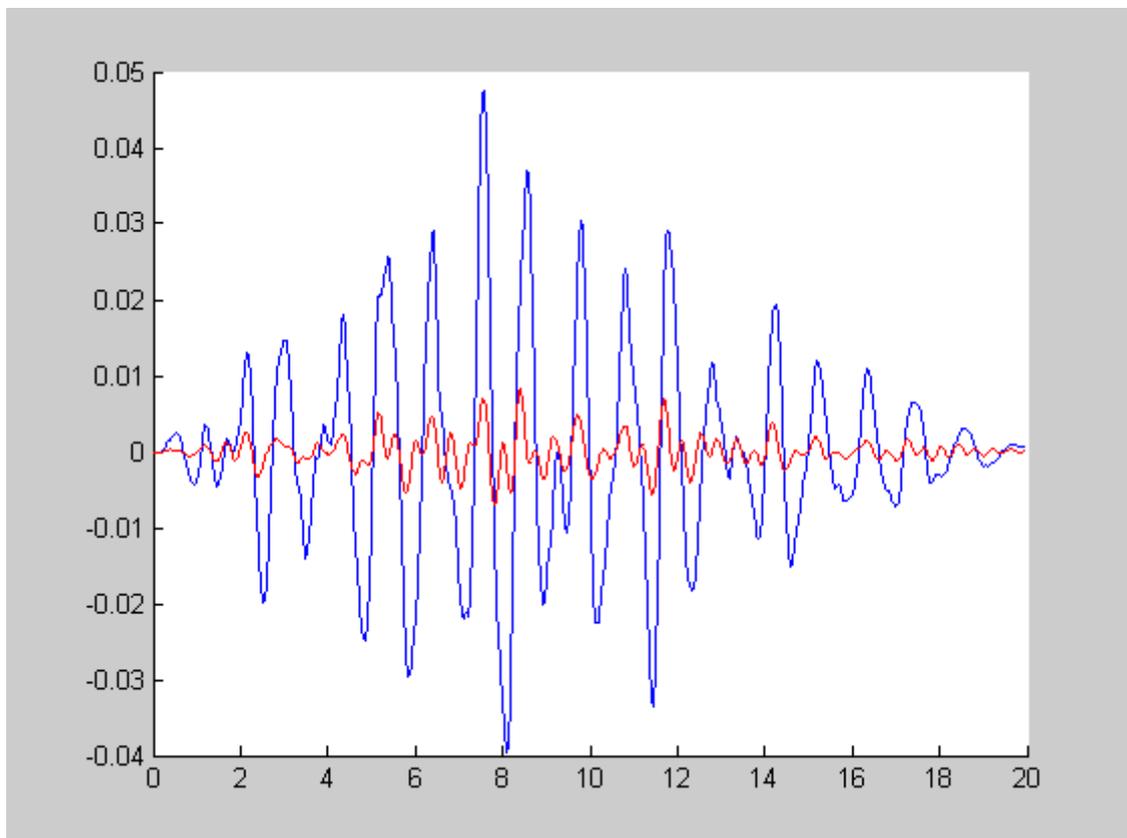


Figura 4.96. Desplazamientos en la base y la estructura, sentido x

- Sentido y:

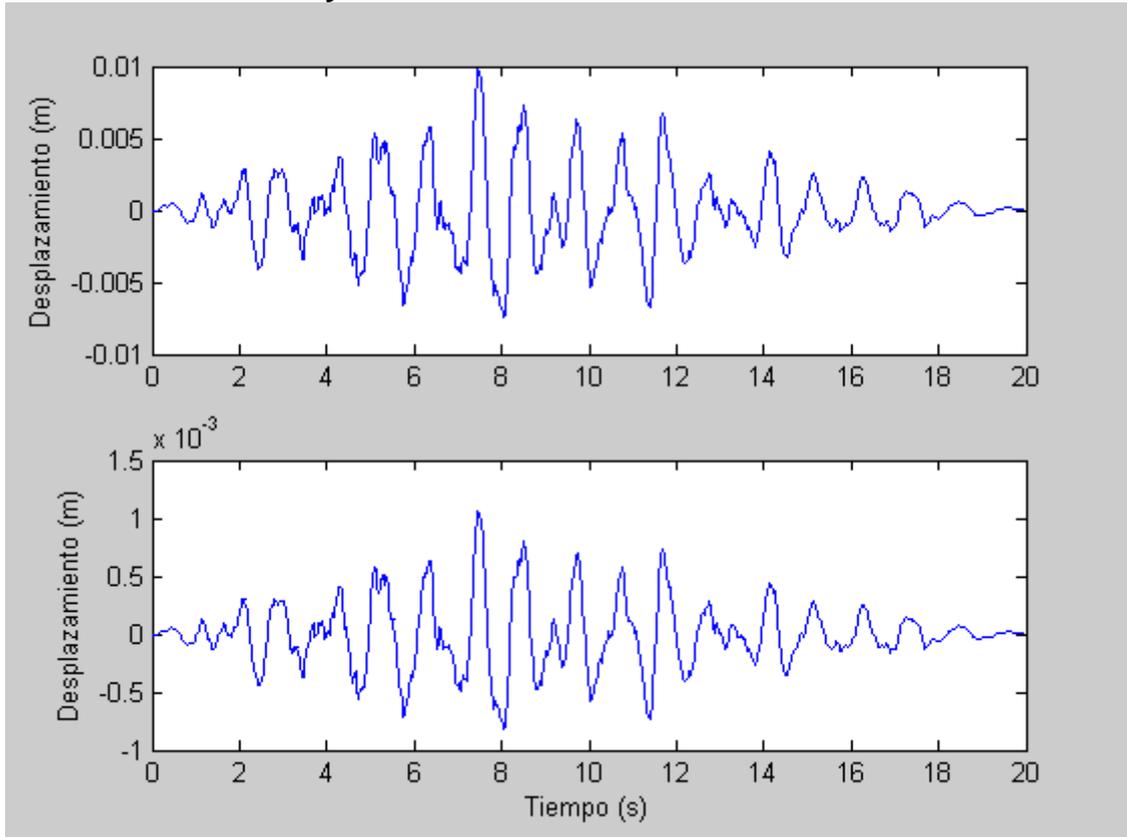


Figura 4.97. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

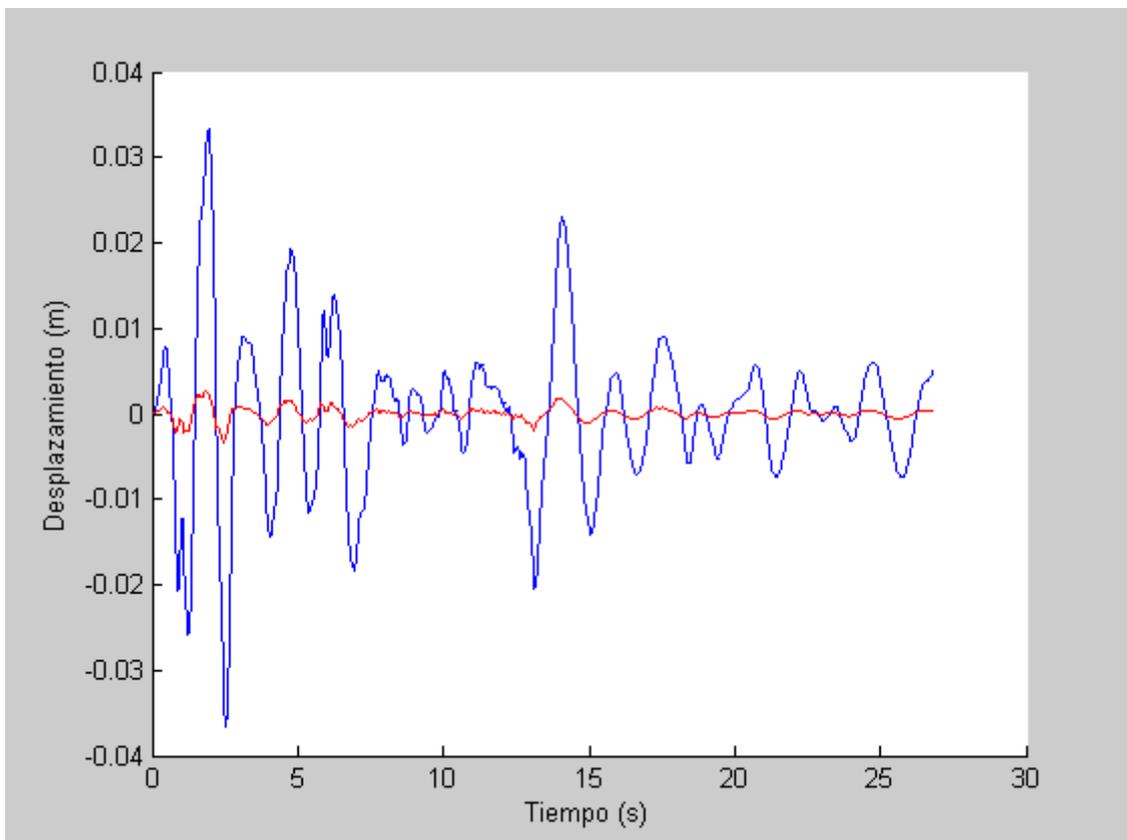


Figura 4.98. Desplazamientos en la base y la estructura, sentido y

4.3.9.2. Masas Corregidas Aislamiento

- Sentido x:

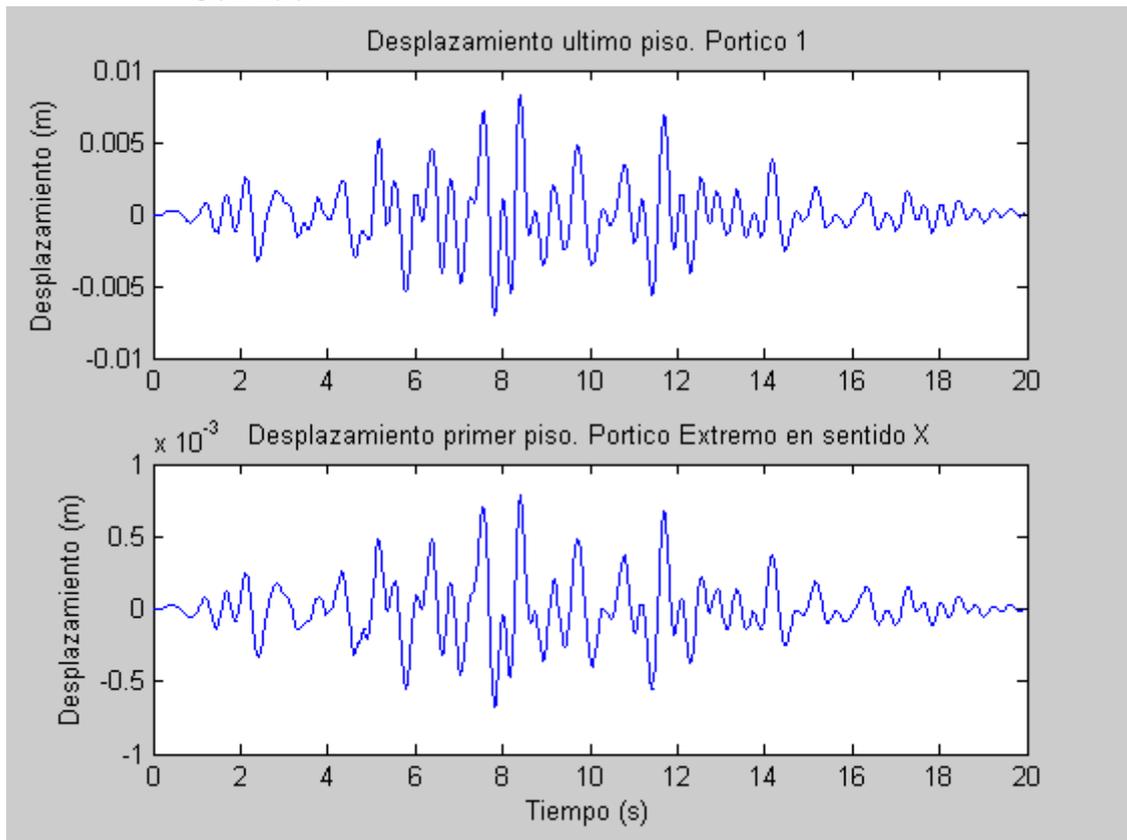


Figura 4.99. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido x

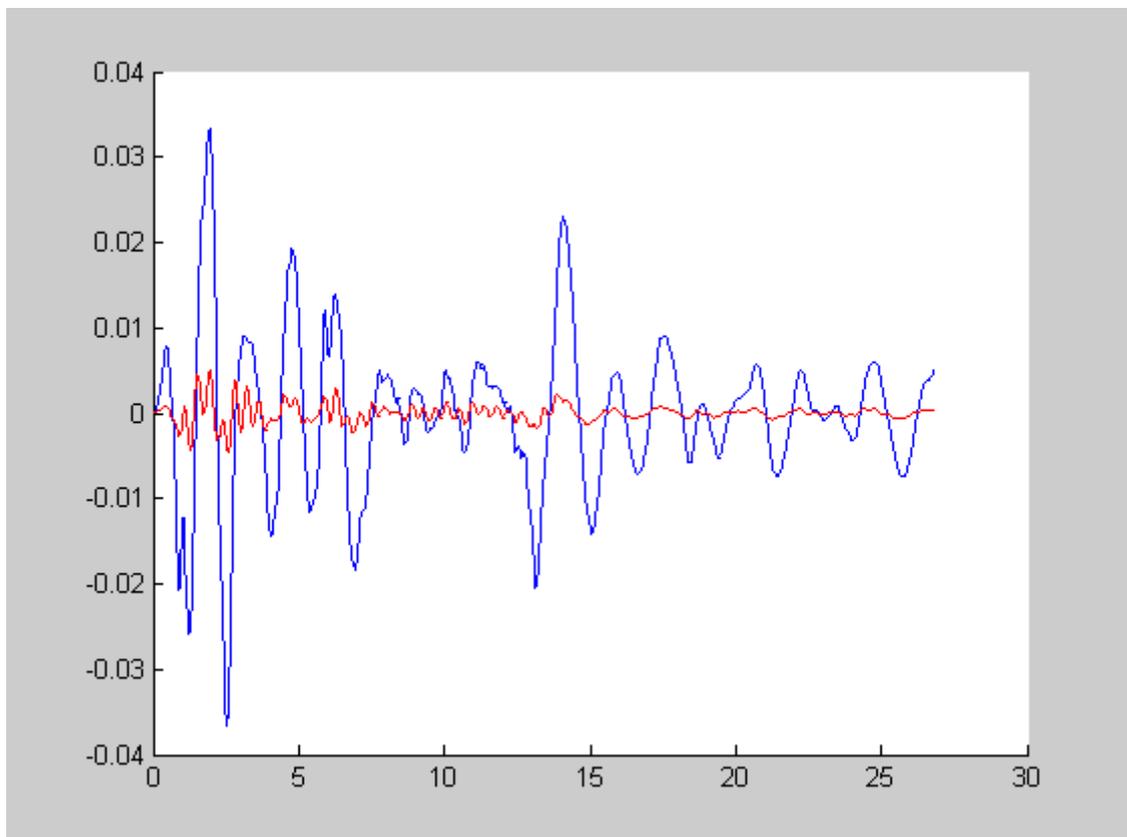


Figura 4.100. Desplazamientos en el aislador y la estructura, sentido x

- **Sentido y:**

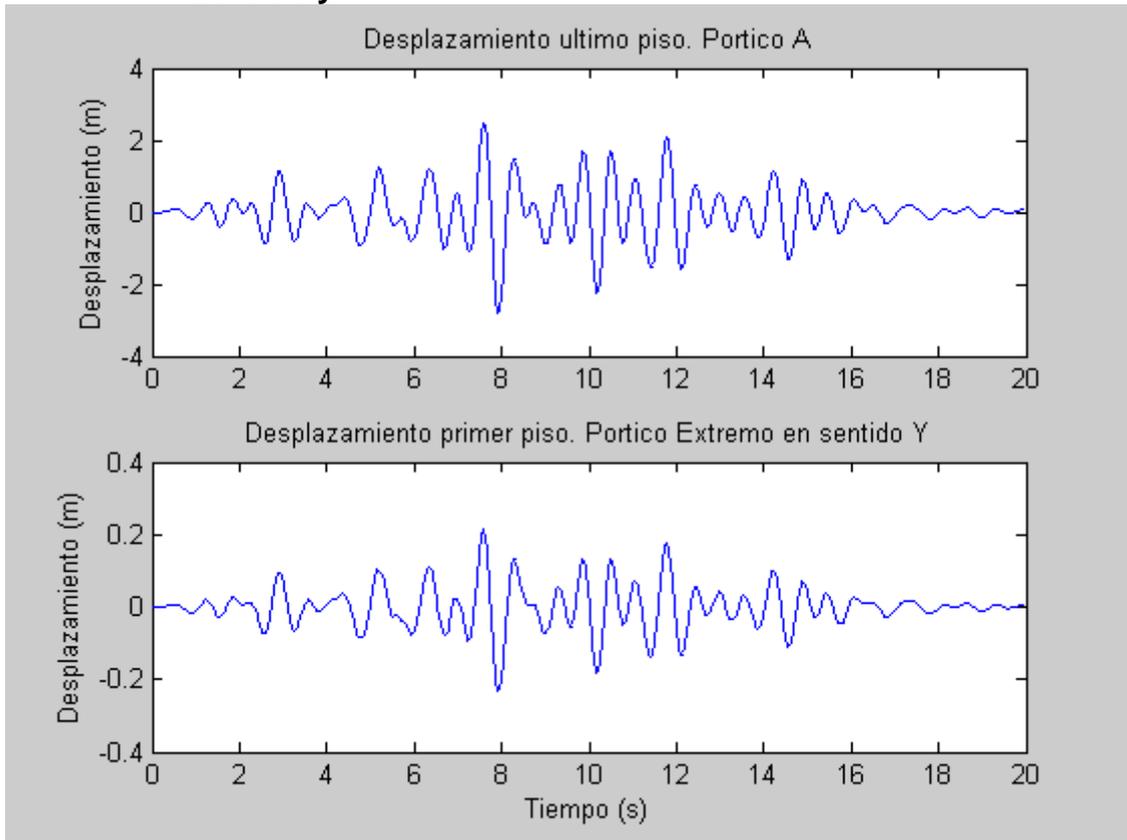


Figura 4.101. Desplazamientos en el primer y último piso, sentido y

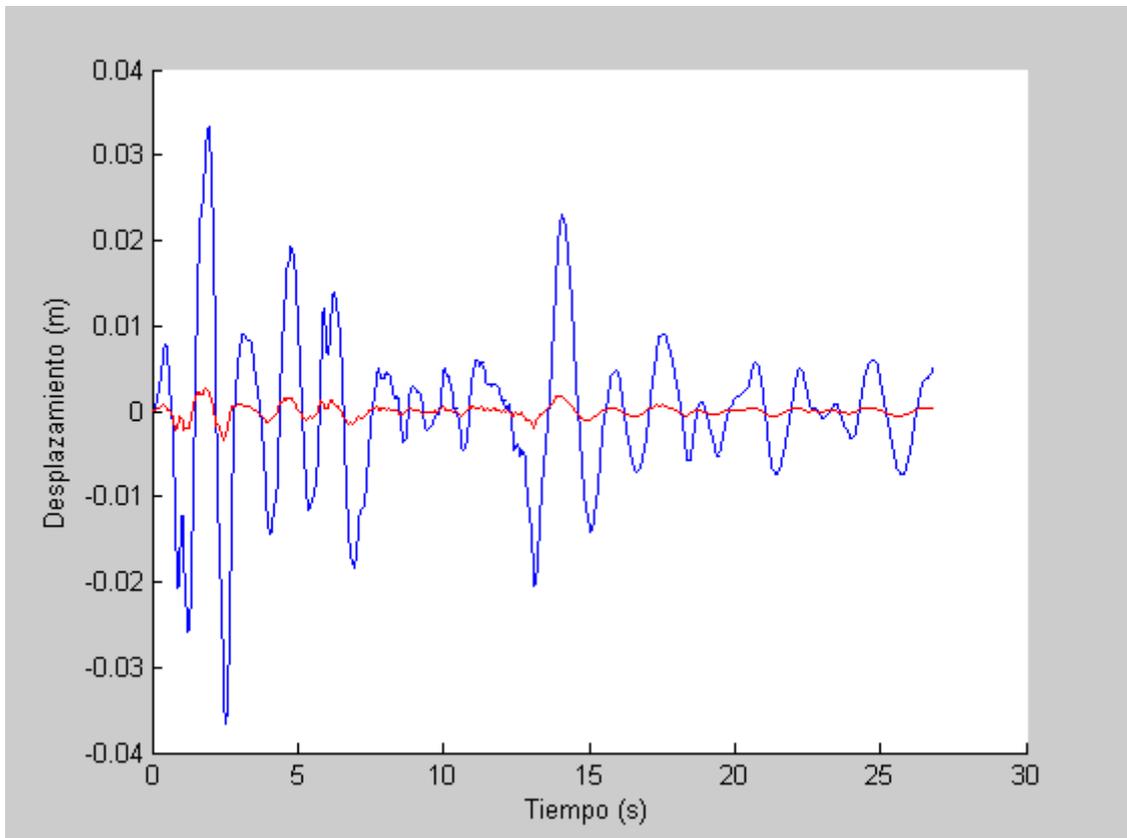


Figura 4.102. Desplazamientos en la base, sentido y

4.3.9.3. SAP2000

- Sentido x:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER PISO	ULTIMO PISO	DESP. REL 1ER PISO	DESP REL ULT PISO
10	0.5	-0.0025		-0.0014	0.00250000	0.00110000
20	1.000	0.0055	0.0003	0.0002	-0.00520000	-0.0053
30	1.50	-0.0040	-0.0061	-0.0088	-0.00210000	-0.0048
40	2.00	0.0051	0.0071	0.0090	0.00200000	0.0039
50	2.50	-0.0083	-0.0160	-0.0240	-0.00770000	-0.0157
60	3.00	0.0039	0.0091	0.0148	0.00520000	0.0109
70	3.50	0.0022	-0.0008	-0.0046	-0.00300000	-0.0068
80	4.00	-0.0097	-0.0130	-0.0164	-0.00330000	-0.0067
90	4.50	0.0072	0.0132	0.0184	0.00600000	0.0112
100	5.0	0.0014	-0.0023	-0.0058	-0.00370000	-0.0072
110	5.5	-0.0188	-0.0181	-0.0195	0.00070000	-0.0007
120	6.0	0.0189	0.0215	0.0237	0.00260000	0.0048
130	6.5	-0.0459	-0.0535	-0.0583	-0.00760000	-0.0124
140	7.0	0.0296	0.0396	0.0472	0.01000000	0.0176
150	7.5	-0.0422	-0.0430	-0.0470	-0.00080000	-0.0048
160	8.0	0.0077	0.0093	0.0156	0.00160000	0.0079
170	8.5	-0.0459	-0.0476	-0.048	-0.00170000	-0.0021
180	9.0	0.0250	0.0357	0.0415	0.01070000	0.0165
190	9.5	-0.0749	-0.0985	-0.1217	-0.02360000	-0.0468
200	10.0	0.0336	0.0536	0.0785	0.02000000	0.0449
210	10.5	-0.0758	-0.0961	-0.1195	-0.02030000	-0.0437
220	11.0	0.0227	0.0419	0.0589	0.01920000	0.0362
230	11.5	-0.0629	-0.084	-0.1022	-0.02110000	-0.0393
240	12.0	-0.0185	-0.0103	0.0002	0.00820000	0.0187
250	12.5	-0.0178	-0.0164	-0.0207	0.00140000	-0.0029
260	13.0	-0.0659	-0.0771	-0.0868	-0.01120000	-0.0209
270	13.5	0.0065	0.0221	0.0449	0.01560000	0.0384
280	14.0	-0.0814	-0.1	-0.1219	-0.01860000	-0.0405
290	14.5	0.0016	0.0127	0.0204	0.01110000	0.0188
300	15.0	-0.0747	-0.0861	-0.0921	0.01140000	-0.0174

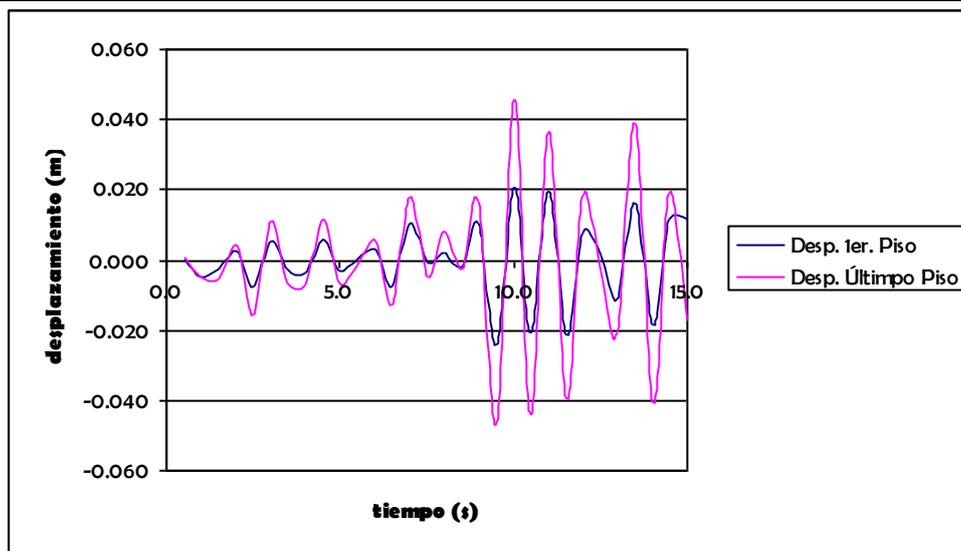


Figura 4.103. Desplazamientos con SAP2000, sentido x

• Sentido y:

STEP	TIEMPO	AISLADOR	PRIMER	ULTIMO	DESP. REL	DESP REL
			PISO	PISO	1ER PISO	ULT PISO
10	0.5	-0.0025	-0.0017	-0.0014	0.00080000	0.00110000
20	1.000	0.0055	0.0005	0.0005	-0.00500000	-0.0050
30	1.50	-0.0040	-0.0062	-0.0097	-0.00220000	-0.0057
40	2.00	0.0051	0.0071	0.0100	0.00200000	0.0049
50	2.50	-0.0083	-0.0152	-0.0239	-0.00690000	-0.0156
60	3.00	0.0039	0.0065	0.0116	0.00260000	0.0077
70	3.50	0.0022	0.0049	0.0030	0.00270000	0.0008
80	4.00	-0.0097	-0.0219	-0.0280	-0.01220000	-0.0183
90	4.50	0.0072	0.0240	0.0318	0.01680000	0.0246
100	5.0	0.0014	-0.0126	-0.0182	-0.01400000	-0.0196
110	5.5	-0.0188	-0.0101	-0.0102	0.00870000	0.0086
120	6.0	0.0189	0.0175	0.0203	-0.00140000	0.0014
130	6.5	-0.0459	-0.0549	-0.0615	-0.00900000	-0.0156
140	7.0	0.0296	0.0473	0.0541	0.01770000	0.0245
150	7.5	-0.0422	-0.0564	-0.0558	-0.01420000	-0.0136
160	8.0	0.0077	0.0244	0.0315	0.01670000	0.0238
170	8.5	-0.0459	-0.0622	-0.0742	-0.01630000	-0.0283
180	9.0	0.0250	0.051	0.0746	0.02600000	0.0496
190	9.5	-0.0749	-0.1165	-0.1529	-0.04160000	-0.0780
200	10.0	0.0336	0.0712	0.0979	0.03760000	0.0643
210	10.5	-0.0758	-0.1063	-0.1262	-0.03050000	-0.0504
220	11.0	0.0227	0.0381	0.0525	0.01540000	0.0298
230	11.5	-0.0629	-0.0639	-0.0796	-0.00100000	-0.0167
240	12.0	-0.0185	-0.0459	-0.0436	-0.02740000	-0.0251
250	12.5	-0.0178	0.033	0.0414	0.05080000	0.0592
260	13.0	-0.0659	-0.1372	-0.1584	-0.07130000	-0.0925
270	13.5	0.0065	0.0845	0.1186	0.07800000	0.1121
280	14.0	-0.0814	-0.1528	-0.1931	-0.07140000	-0.1117
290	14.5	0.0016	0.0472	0.0802	0.04560000	0.0786
300	15.0	-0.0747	-0.1012	-0.128	0.02650000	-0.0533

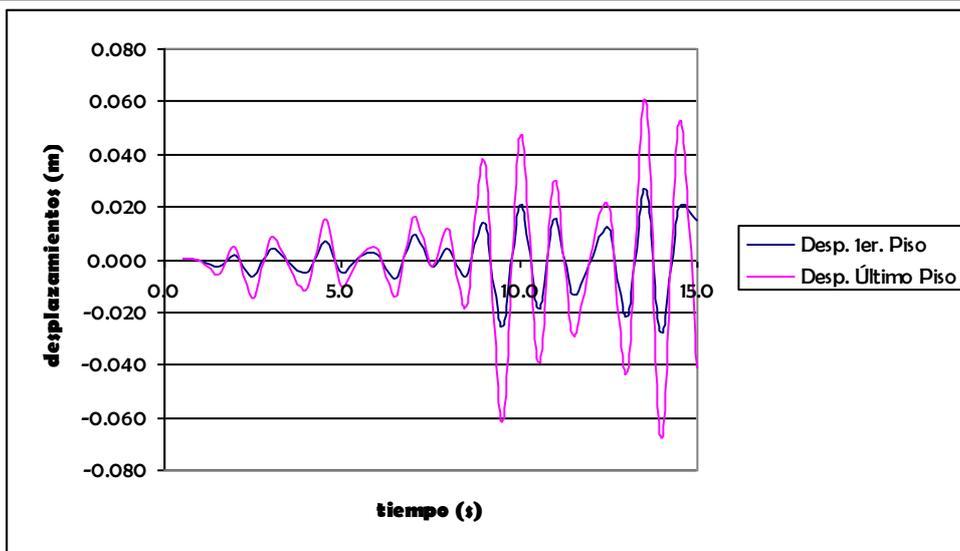


Figura 104. Desplazamientos con SAP2000, sentido y

Es importante considerar que los programas en MAT LAB se han realizado sin tomar en cuenta que los sismos tienen fuerzas verticales lo cual afecta a la estructura provocando bamboleo y a su vez aumentando los desplazamientos relativos en cada piso de los edificios.

Se presentan los desplazamientos que se producen x bamboleo:

	PISO	SISMO	SENTIDO	Y1	Y2	Δy	h	l	Δx
Desp. 1er. Piso	2	Bahía	x	0,0004	-0,0004	0,0008	6,0	15,0	0,0003
	4	Bahía	x	-0,0008	0,0008	-0,0017	12,0	15,0	-0,0014
	6	Bahía	x	-0,0012	0,0012	-0,0024	18,0	15,0	-0,0029
	2	Centro	x	0,0024	-0,0024	0,0048	6,0	15,0	0,0019
	4	Centro	x	0,0025	-0,0034	0,0059	12,0	15,0	0,0047
	6	Centro	x	-0,4890	0,4890	-0,9780	18,0	15,0	-1,1736
Desp. Ult. Piso	2	Bahía	x	0,0004	-0,0004	0,0048	6,0	15,0	0,0019
	4	Bahía	x	-0,0010	0,0007	-0,0017	12,0	15,0	-0,0014
	6	Bahía	x	-0,0022	0,0022	-0,0044	18,0	15,0	-0,0053
	2	Centro	x	0,0024	-0,0024	0,0048	6,0	15,0	0,0019
	4	Centro	x	-0,0040	0,0028	-0,0068	12,0	15,0	-0,0054
	6	Centro	x	0,0746	-0,0746	0,1492	18,0	15,0	0,1790
Desp. 1er. Piso	2	Bahía	y	0,0004	-0,0004	0,0008	6,0	15,0	0,0003
	4	Bahía	y	0,0012	-0,0012	0,0024	12,0	15,0	0,0019
	6	Bahía	y	0,0019	-0,0019	0,0038	18,0	15,0	0,0046
	2	Centro	y	0,0021	-0,0021	0,0042	6,0	15,0	0,0017
	4	Centro	y	0,0021	-0,0030	0,0051	12,0	15,0	0,0041
	6	Centro	y	0,0035	-0,0038	0,0073	18,0	15,0	0,0088
Desp. Ult. Piso	2	Bahía	y	0,0004	-0,0004	0,0008	6,0	15,0	0,0003
	4	Bahía	y	-0,0011	0,0011	-0,0022	12,0	15,0	-0,0018
	6	Bahía	y	-0,0024	0,0024	-0,0048	18,0	15,0	-0,0058
	2	Centro	y	-0,0220	-0,0220	0,0000	6,0	15,0	0,0000
	4	Centro	y	-0,0028	0,0028	-0,0056	12,0	15,0	-0,0045
	6	Centro	y	-0,0051	0,0054	-0,0105	18,0	15,0	-0,0126

4.3.10. CUADROS COMPARATIVOS

Se presentan cuadros indicando los valores máximos obtenidos en cada uno de los casos, y para cada uno de los sismos. Es conveniente indicar que no se puede realizar un análisis minucioso al respecto debido a que en el SAP se obtienen los datos manualmente y no es posible trabajar con períodos de tiempo tan extensos, sin embargo se han sacado los valores máximos de los primeros 15 segundos de los sismos:

EDIFICIO DE DOS PISOS

Bahía	0.0007	Cuasiestatico
	0.0007	Masas corregidas
	0.012	SAP2000

El Centro	0.0004	Cuasiestatico
	0.0040	Masas corregidas
	0.0700	SAP2000

Artificial	0.0040	Cuasiestatico
	0.0030	Masas corregidas
	0.0500	SAP2000

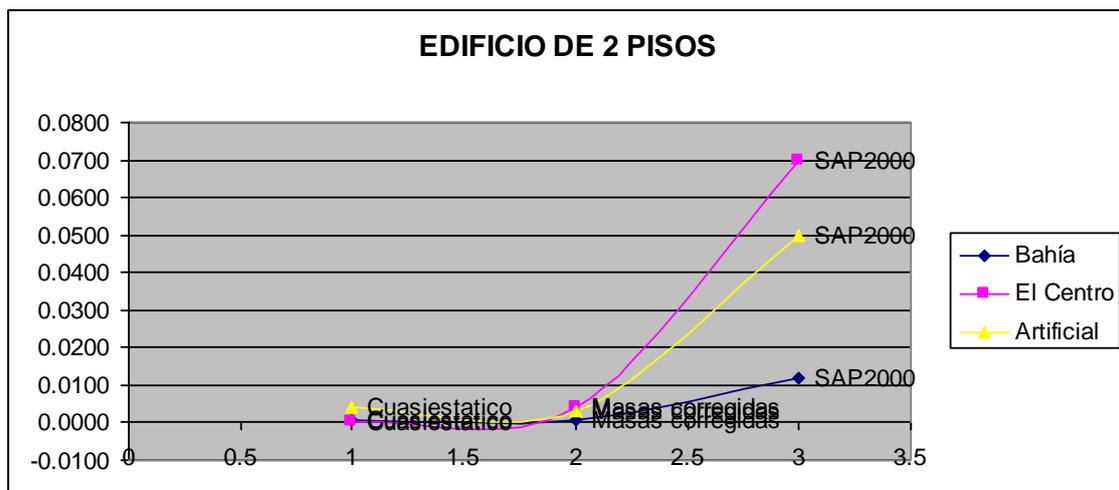


Fig. 105 Cuadro Comparativo del Edificio de dos pisos

EDIFICIO DE CUATRO PISOS

Bahía	0.005	Cuasiestatico
	0.002	Masas corregidas
	0.020	SAP2000

El Centro	0.001	Cuasiestatico
	0.010	Masas corregidas
	0.045	SAP2000

Artificial	0.002	Cuasiestatico
	0.003	Masas corregidas
	0.041	SAP2000

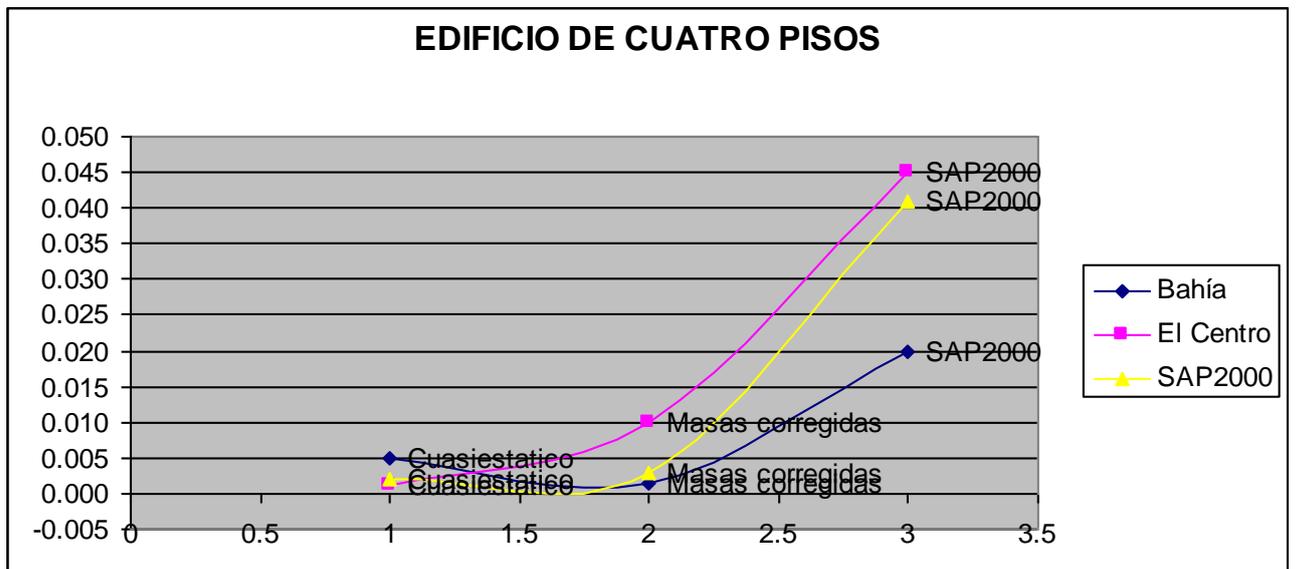


Fig. 106. Cuadro Comparativo del Edificio de cuatro pisos

EDIFICIO DE SEIS PISOS

Bahía	0.002	Cuasiestatico
	0.004	Masas corregidas
	0.021	SAP2000

El Centro	0.001	Cuasiestatico
	0.013	Masas corregidas
	0.100	SAP2000

Artificial	0.006	Cuasiestatico
	0.010	Masas corregidas
	0.060	SAP2000

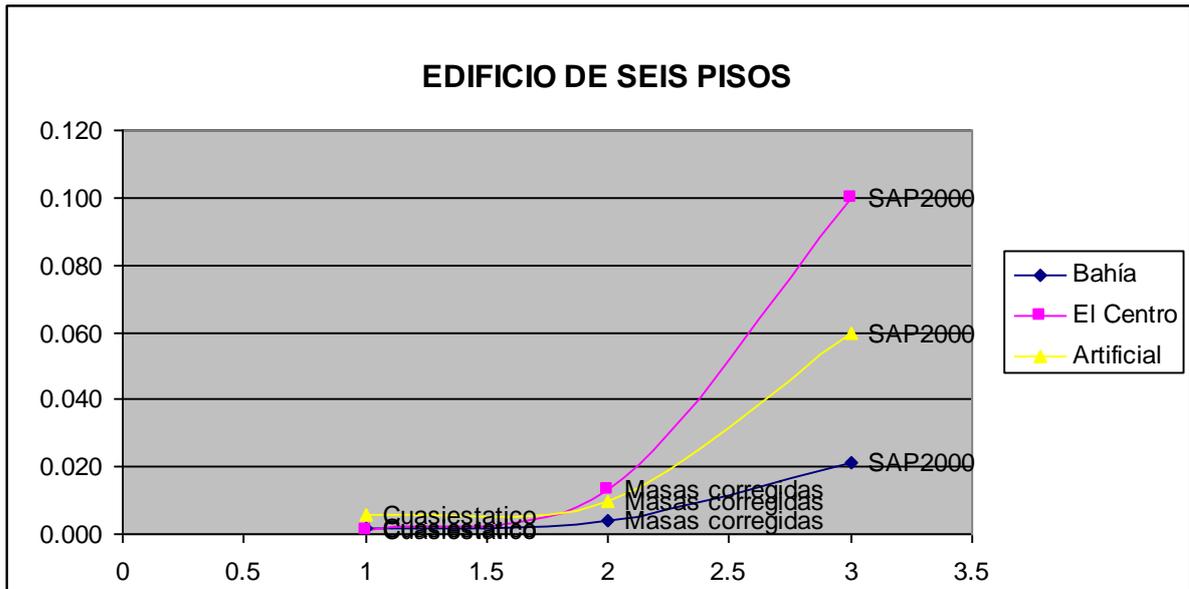


Figura 107. Cuadro Comparativo del Edificio de seis pisos

CAPÍTULO V

COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS BAJO LA INFLUENCIA DE SISMOS DIFERENCIADOS.

RESUMEN

Se analiza el comportamiento de las estructuras con aisladores sísmicos de base pero ante la acción de sismos con desfase o diferentes.

Se la compara con una estructura aporticada con empotramientos en la base y se indican índices de reducción de los momentos flectores en las vigas.

5.1.- Modelos de estructuras con aisladores sísmicos y sismos diferenciados

Considerando que un edificio es una estructura corta es lógico pensar que la estratigrafía sobre la que se encuentra dicha estructura es la misma y por ello que el sismo atacaría al mismo tiempo a todos sus elementos de la cimentación, este tipo de sismos son los que conocemos como sincrónicos o de acción sincrónica.

Sin embargo, hay casos en que debido a la longitud de las estructuras, a pesar de que la estratigrafía sea única, el tiempo de partida y llegada del sismo varía, a éstos se les conoce como sismos asincrónicos o de acción desfasada.

También puede darse el caso de que hayan estructuras con diferentes estratigrafías, en este caso los acelerogramas serían diferentes en los diferentes elementos de la cimentación, lo que llamamos sismos diferenciados.

La estructura reaccione de manera muy diferente cuando se encuentra bajo la acción de un sismo sincrónico que de un sismo diferenciado, por eso en este capítulo se va a analizar su comportamiento.

Como ya sabemos, para trabajar con el SAP2000 es mejor usar diagramas de desplazamientos, trabajaremos con el sismo de El Centro.

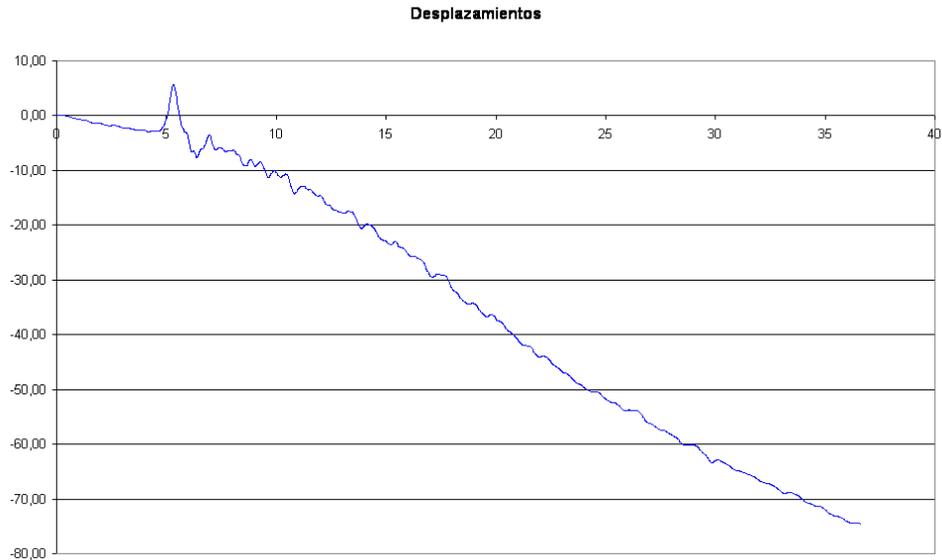


Fig 5.1. Diagrama de desplazamientos del sismo de El Centro (1940)

5.1.1. USO DEL SAP 2000

Para trabajar con un sismo desfasado o diferenciado en el SAP 2000, únicamente difiere la definición de los casos de análisis, para ello inicialmente una vez ya dibujada la estructura que será la misma de los casos anteriores, vamos a crear un desplazamiento para cada una de las filas de columnas, de esta manera:

Así una vez que se han asignado los desplazamientos y se ha ingresado las funciones de historia en el tiempo, de la manera que ya se indicó. Al ir al menú *Define* → *Análisis Cases*, aparecerá la siguiente pantalla:

Analysis Case Data - Linear Direct Integration History

Analysis Case Name:

Analysis Case Type:

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Analysis Case:

Use Modes from Case:

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

Time History Type:

- Modal
- Direct Integration

Time History Motion Type:

- Transient
- Static
- Periodic

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load	DESP1	CENTRO	1.
Load	DESP2	CENTRO	1.
Load	DESP3	CENTRO	1.
Load	DESP4	CENTRO	1.

Show Advanced Load Parameters (Advanced Parameters Exist)

Time Step Data:

Number of Output Time Steps:

Output Time Step Size:

Other Parameters:

Damping:

Time Integration:

Figura 5.2. Cuadro de dialogo Casos de Analisis

Se selecciona la opción *Show Advanced Load Parameters* y aparecerán más opciones para permitir ingresar los intervalos de tiempo:

Analysis Case Data - Linear Direct Integration History

Analysis Case Name: DESF [Set Def Name]

Analysis Case Type: Time History

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case

 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Analysis Case: Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

 Time History Type:

- Modal
- Direct Integration

Time History Motion Type:

- Transient
- Static
- Periodic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	Time Factor	Arrival Time	Coord Sys	Angle
Load	DESP1	CENTRO	1.	1.	0.	GLOBAL	0.
Load	DESP1	CENTRO	1.	1.	0.	GLOBAL	0.
Load	DESP2	CENTRO	1.	1.	0.5	GLOBAL	0.
Load	DESP3	CENTRO	1.	1.	1.	GLOBAL	0.
Load	DESP4	CENTRO	1.	1.	1.5	GLOBAL	0.

Show Advanced Load Parameters [Add] [Modify] [Delete]

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 300
- Output Time Step Size: 0.05

Other Parameters:

- Damping: Proportional Damping [Modify/Show...]
- Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

 [OK] [Cancel]

Figura 5.3. Cuadro de diálogo de aplicación de cargas

De acuerdo al tiempo que se desea correr la estructura se selecciona el número de pasos y el intervalo de los mismos, se trabajó con 300 pasos de 0.05 segundos cada uno para conocer el comportamiento de la estructura durante los 15 primeros segundos del sismo de El Centro.

Se han obtenido manualmente los valores de los momentos en la envolvente en cada una de las vigas de la estructura, tanto en el caso de tener aisladores como cuando se tiene los empotramientos normalmente.

Luego, se obtuvo el factor promedio de reducción de dichos momentos, cuyo valor es considerable, como se muestra en los cuadros a continuación:

Tabla 5.1. Momentos flectores por viga, Factor de reducción con aisladores, edificio de dos pisos
EDIFICIO 2 PISOS

		AISLADOR			EMPOTRADA				
	PORTICO	VIGA	MOMENTO MAXIMO	DISTANCIA	VIGA	MOMENTO MAXIMO	DISTANCIA	FACTOR	
		1	1	1,74	0,00	1	17,68	0,00	9,84
		2	-1,46	0,00	2	12,49	0,00	11,69	88,31
		3	-1,57	0,00	3	-17,66	5,00	8,89	91,11
		4	17,68	0,00	4	-28,03	0,00	63,08	36,92
		5	-7,12	0,00	5	-21,96	0,00	32,42	67,58
		6	6,95	0,00	6	28,00	5,00	24,82	75,18
	2	1	2,57	0,00	1	17,00	0,00	15,12	84,88
		2	1,56	0,00	2	11,92	0,00	13,09	86,91
		3	1,83	5,00	3	-17,00	5,00	10,76	89,24
		4	-13,73	0,00	4	-27,25	0,00	50,39	49,61
		5	-6,57	0,00	5	21,21	0,00	30,98	69,02
		6	-12,24	5,00	6	27,22	5,00	44,97	55,03
	3	1	1,74	0,00	1	17,68	0,00	9,84	90,16
		2	-1,46	0,00	2	12,49	0,00	11,69	88,31
		3	-1,57	0,00	3	-17,66	5,00	8,89	91,11
		4	17,68	0,00	4	-28,03	0,00	63,08	36,92
		5	-7,12	0,00	5	-21,96	0,00	32,42	67,58
		6	6,95	0,00	6	28,00	5,00	24,82	75,18

74,07

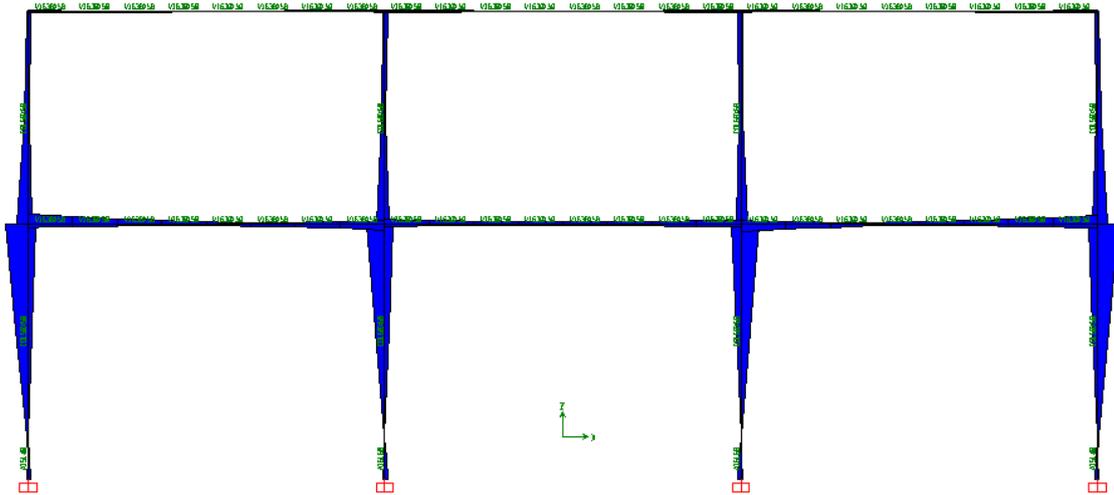


Figura 5.4. Diagrama de Momentos Flectores de la Estructura usando Aisladores

Tabla 5.2. Momentos flectores por viga, Factor de reducción con aisladores, edificio de cuatro pisos

EDIFICIO 4 PISOS

		AISLADOR			EMPOTRADA				
		VIGA	MOMENTO MAXIMO	DISTANCIA	VIGA	MOMENTO MAXIMO	DISTANCIA	FACTOR	
PORTICO 1	1		3,02	0,00	1	4,73	0,00	63,85	36,15
	2		-4,07	0,00	2	-4,03	0,00	100,99	-0,99
	3		3,46	5,00	3	5,12	5,00	67,58	32,42
	4		-6,89	0,00	4	-11,28	0,00	61,08	38,92
	5		-8,04	0,00	5	-8,04	0,00	100,00	0,00
	6		7,42	5,00	6	-10,11	5,00	73,39	26,61
	7		16,17	0,00	7	51,08	0,00	31,66	68,34
	8		16,01	0,00	8	31,07	0,00	51,53	48,47
	9		17,83	5,00	9	37,33	5,00	47,76	52,24
	10		-31,64	0,00	10	-236,72	0,00	13,37	86,63
	11		-28,83	0,00	11	-125,99	0,00	22,88	77,12
	12		-29,76	5,00	12	-184,88	5,00	16,10	83,90
PORTICO 2	1		3,23	0,00	1	4,77	0,00	67,71	32,29
	2		-3,93	0,00	2	-4,14	0,00	94,93	5,07
	3		2,78	5,00	3	-4,38	5,00	63,47	36,53
	4		-7,28	0,00	4	-11,09	0,00	65,64	34,36

	5	-7,97	0,00	5	-8,22	0,00	96,96	3,04
	6	7,69	5,00	6	-9,95	5,00	77,29	22,71
	7	16,01	0,00	7	49,44	0,00	32,38	67,62
	8	15,1	0,00	8	31,50	0,00	47,94	52,06
	9	18,16	5,00	9	46,23	5,00	39,28	60,72
	10	43,47	5,00	10	-239,74	0,00	18,13	81,87
	11	-37,2	0,00	11	-127,69	0,00	29,13	70,87
	12	44,57	0,00	12	-235,07	5,00	18,96	81,04
PORTICO 3	1	3,02	0,00	1	4,73	0,00	63,85	36,15
	2	-4,07	0,00	2	-4,03	0,00	100,99	-0,99
	3	3,46	5,00	3	5,12	5,00	67,58	32,42
	4	-6,89	0,00	4	-11,28	0,00	61,08	38,92
	5	-8,04	0,00	5	-8,04	0,00	100,00	0,00
	6	7,42	5,00	6	-10,11	5,00	73,39	26,61
	7	16,17	0,00	7	51,08	0,00	31,66	68,34
	8	16,01	0,00	8	31,07	0,00	51,53	48,47
	9	17,83	5,00	9	37,33	5,00	47,76	52,24
	10	-31,64	0,00	10	-236,72	0,00	13,37	86,63
	11	-28,83	0,00	11	-125,99	0,00	22,88	77,12
	12	-29,76	5,00	12	-184,88	5,00	16,10	83,90

45,77

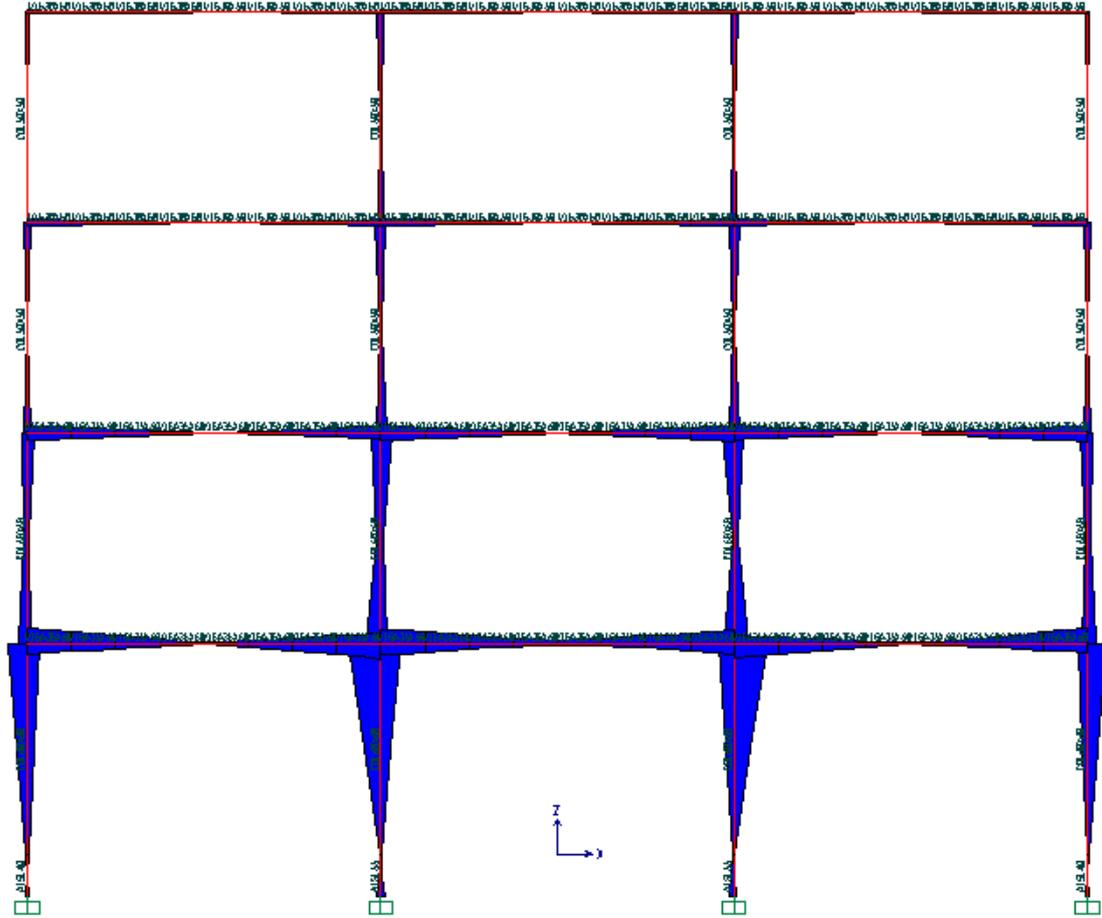


Figura 5.5. Diagrama de Momentos Flectores de la Estructura usando Aisladores, edificio de 4 pisos

Tabla 5.2. Momentos flectores por viga, Factor de reducción con aisladores, edificio de seis pisos
EDIFICIO 6 PISOS

		AISLADOR			EMPOTRADA				
PORTICO 1	VIGA	MOMENTO MAXIMO	DISTANCIA	VIGA	MOMENTO MAXIMO	DISTANCIA	FACTOR		
	1	1,28	0,00	1	14,85	0,00	8,62	91,38	
	2	-1,32	5,00	2	-12,96	5,00	10,19	89,81	
	3	0,98	5,00	3	-14,54	5,00	6,74	93,26	
	4	2,40	0,00	4	30,38	0,00	7,90	92,10	
	5	-2,41	5,00	5	-27,45	5,00	8,78	91,22	
	6	-2,08	5,00	6	-29,97	5,00	6,94	93,06	
	7	4,58	0,00	7	57,90	0,00	7,91	92,09	
	8	-4,59	5,00	8	-50,04	5,00	9,17	90,83	
	9	-4,18	5,00	9	56,93	5,00	7,34	92,66	

	10	5,21	0,00	10	64,92	0,00	8,03	91,97
	11	-5,33	5,00	11	59,50	5,00	8,96	91,04
	12	-5,07	5,00	12	-66,08	5,00	7,67	92,33
	13	10,51	0,00	13	114,00	0,00	9,22	90,78
	14	10,07	5,00	14	96,43	0,00	10,44	89,56
	15	-9,38	0,00	15	114,10	5,00	8,22	91,78
	16	-30,26	0,00	16	-456,01	0,00	6,64	93,36
	17	-16,77	5,00	17	-233,11	0,00	7,19	92,81
	18	-28,11	5,00	18	-423,36	5,00	6,64	93,36
PORTICO 2	1	1,21	0,00	1	14,34	0,00	8,44	91,56
	2	-1,35	0,00	2	-12,61	5,00	10,71	89,29
	3	1,11	5,00	3	-14,03	5,00	7,91	92,09
	4	2,27	0,00	4	29,63	0,00	7,66	92,34
	5	-2,34	0,00	5	-26,80	5,00	8,73	91,27
	6	2,18	5,00	6	-29,23	5,00	7,46	92,54
	7	4,17	0,00	7	56,83	0,00	7,34	92,66
	8	-4,40	0,00	8	-49,13	5,00	8,96	91,04
	9	4,30	5,00	9	55,97	5,00	7,68	92,32
	10	4,65	0,00	10	63,60	0,00	7,31	92,69
	11	-4,97	0,00	11	58,48	5,00	8,50	91,50
	12	4,91	5,00	12	-65,52	5,00	7,49	92,51
	13	12,59	0,00	13	118,00	0,00	10,67	89,33
	14	10,57	5,00	14	95,62	0,00	11,05	88,95
	15	10,06	5,00	15	115,68	5,00	8,70	91,30
	16	-44,83	0,00	16	-451,38	0,00	9,93	90,07
	17	-14,86	5,00	17	-230,46	0,00	6,45	93,55
	18	-39,14	5,00	18	-418,90	5,00	9,34	90,66
PORTICO 3	1	1,28	0,00	1	14,85	0,00	8,62	91,38
	2	-1,32	5,00	2	-12,96	5,00	10,19	89,81
	3	0,98	5,00	3	-14,54	5,00	6,74	93,26

4	2,40	0,00	4	30,38	0,00	7,90	92,10
5	-2,41	5,00	5	-27,45	5,00	8,78	91,22
6	-2,08	5,00	6	-29,97	5,00	6,94	93,06
7	4,58	0,00	7	57,90	0,00	7,91	92,09
8	-4,59	5,00	8	-50,04	5,00	9,17	90,83
9	-4,18	5,00	9	56,93	5,00	7,34	92,66
10	5,21	0,00	10	64,92	0,00	8,03	91,97
11	-5,33	5,00	11	59,50	5,00	8,96	91,04
12	-5,07	5,00	12	-66,08	5,00	7,67	92,33
13	10,51	0,00	13	114,00	0,00	9,22	90,78
14	10,07	5,00	14	96,43	0,00	10,44	89,56
15	-9,38	0,00	15	114,10	5,00	8,22	91,78
16	-30,26	0,00	16	-456,01	0,00	6,64	93,36
17	-16,77	5,00	17	-233,11	0,00	7,19	92,81
18	-28,11	5,00	18	-423,36	5,00	6,64	93,36

91,71

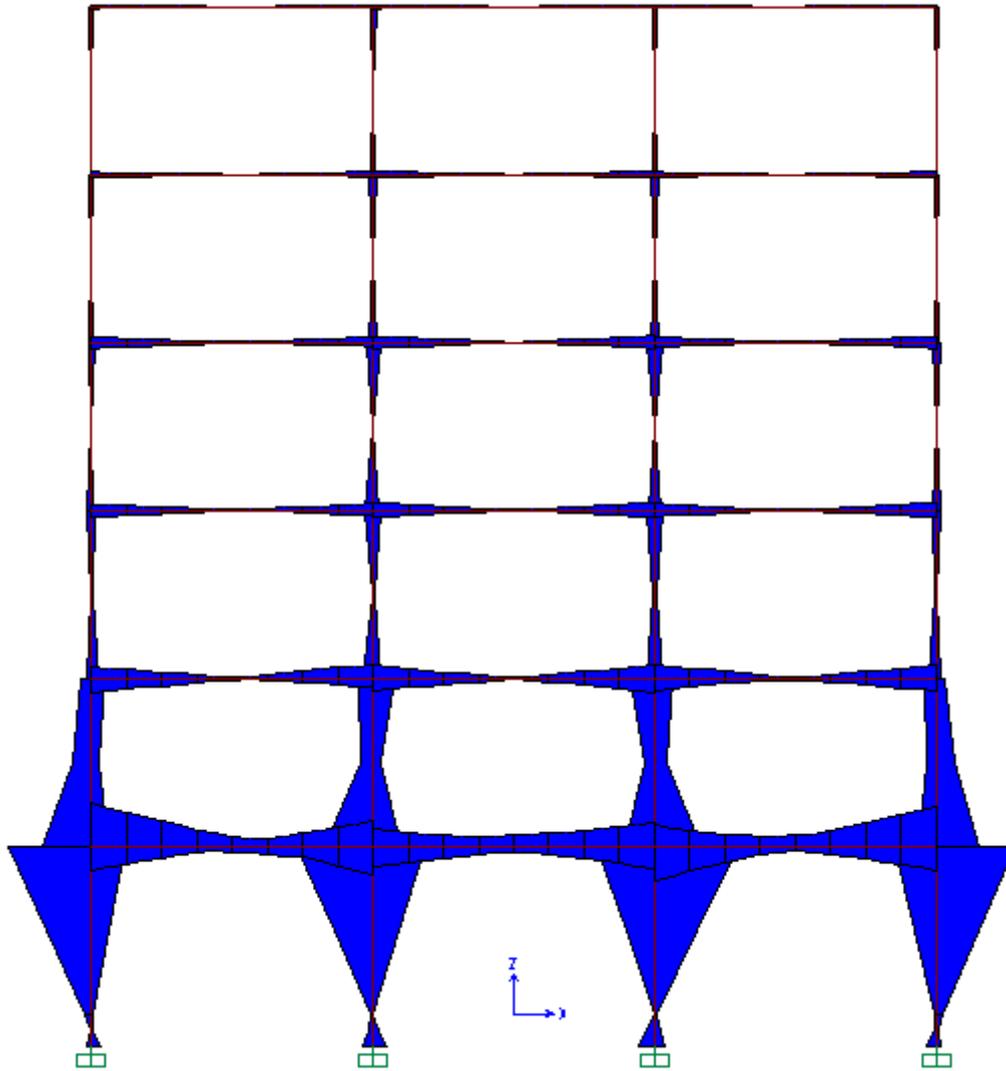


Figura 5.6. Diagrama de Momentos Flectores de la Estructura usando Aisladores, edificio de 6 pisos

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

La finalidad de este capítulo es puntualizar los pros y contras del modelo que se ha desarrollado del aislador a partir de un elemento tipo Frame usando el SAP 2000, dar recomendaciones para mejorar el comportamiento de un aislador convencional de este mismo programa y establecer parámetros en los cuales los modelos de análisis de los métodos del CEINCI sean más convincentes.

6.1. CONCLUSIONES:

Una de las limitaciones básicas que se presenta en el elemento Aislador de SAP 2000 modelo es que no es posible visualizar ni encontrar la deformación que se está produciendo en el aislador, lo que limita considerablemente su diseño y verificación; tampoco es posible comparar las deformaciones en la estructura con las deformaciones en el aislador. Por el contrario, en los modelos planos de estructuras con aisladores, esa información es parte del propio procedimiento matemático, por lo que es una de sus fortalezas.

Otro aspecto limitante del elemento Aislador de SAP 2000 se visualiza en los diagramas de momentos, donde claramente se detecta que la base de la estructura se ha convertido matemáticamente en una articulación pues no absorbe ningún momento flector. Sin embargo, la experimentación revela que tal rotación es relativamente limitada por lo que el pie de las columnas de planta baja siempre absorben momentos flectores importantes.

En los modelos planos no se puede observar el bamboleo que produce una acción sísmica, el SAP2000 al trabajar sobre un modelo tridimensional nos permite obtener datos que sí consideren este parámetro

6.2. RECOMENDACIONES:

Se debe trabajar con diagramas de desplazamientos más no con acelerogramas en el SAP2000.

De ser posible se debe correr el mayor tiempo que sea posible una estructura y evaluarla en los lapsos más pequeños (steps) para así tener con más claridad el efecto del sismo en la estructura