

AISLAMIENTO SÍSMICO PARA PROTECCIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES ESENCIALES EN INSTITUCIONES HOSPITALARIAS

Integrantes:

Martin Dogo González leg: 41231

Federico Giacobone leg: 41555

Lucas Pesalaccia leg: 41412

Tutores del trabajo:

Dr. Ing. Miguel Tornello

Dr. Ing. Gustavo Gioacchini

Dr. Ing. Juan Pablo Cordone

Integrantes de la cátedra:

Tit.: Ing. Pablo Martín

JTP.: Ing. Gustavo Castro

Ayte.: Ing. Helvio Grili

Año: 2023

Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
Departamento Ing. Civil
Cátedra: Proyecto Final



Resumen

El norte de Mendoza y el sur de San Juan se emplazan en la zona de mayor peligrosidad sísmica del país, por lo tanto, resulta importante implementar acciones preventivas que permitan minimizar los efectos de los terremotos. Si bien se recomienda que, en zonas de algo peligro sísmico, todas las obras deben protegerse, aspecto difícil de alcanzar desde el punto de vista económico no se debe tener duda que, al menos implementemos acciones preventivas sobre las obras esenciales, es decir aquellas deben atender la emergencia posterremoto y en tal sentido la infraestructura de salud toma un papel relevante. En el trabajo se estudia la protección sísmica del bunker que alojara el Ciclotón de la Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN) emplazada en la ciudad de Mendoza con el objeto de proteger el equipamiento principal del edificio. Se realiza un prediseño de los dispositivos de aislamiento, se elabora el modelo estructural de la ampliación y se realizan análisis dinámicos lineales del tipo modal espectral para encontrar las respuestas del edificio con base fija y con aislamiento sísmico de base. Los resultados demuestran la eficacia y la conveniencia de la implementación de la técnica del aislamiento sísmico en obras que son esenciales para la sociedad en general conservando no solo la integridad del equipamiento y de las personas sino también, la inversión oportunamente realizada por el estado provincial.

Palabras Clave: protección sísmica-aislamiento sísmico-respuestas estructurales.



TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I: BASE CONCEPTUAL PARA EL PROYECTO	5
1.1 TERREMOTOS	5
1.2 DINÁMICA ESTRUCTURAL	10
1.2.1 DINÁMICA DE ESTRUCTURAS Y SUS RESPUESTAS.....	10
1.3 SISMICIDAD LOCAL Y REGIONAL	11
1.4 NORMATIVA LOCAL – REGLAMENTO INPRES-CIRSOC 103	15
1.5 SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA.....	28
1.5.1 CONCEPTOS GENERALES	28
1.5.2 COMPORTAMIENTO DE MÁQUINAS FRENTE A ACCIONES VIBRATORIAS	29
1.5.3 DISTINTOS TIPOS DE AISLADORES SISMICOS	31
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	38
CAPÍTULO III: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL ARTE	54
3.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	54
3.1.1 UNIVERSIDAD DE TROIS RIVIERES, TROIS-RIVIERES, QUEBEC, CANADÁ.....	54
3.1.2 UNIVERSITÉ DE LAVAL - PAVILLON ALEXANDRE VACHON, QUEBEC, CANADÁ	54
3.1.3 ESCUELA PRIMARIA DE MONTREAL, CANADÁ	55
3.1.4 CHAUR DE TROIS RIVIERES	55
3.1.5 HOSPITAL ALMA	55
3.1.6 CHUS FLEURIMONT, SHERBROOKE, CANADÁ	56
3.1.7 HOSPITAL DE FLORENCIA, CAQUETÁ, COLOMBIA.....	56
3.1.8 VALLE DE LILI, CALI, COLOMBIA.....	56
3.2 ANTECEDENTES NACIONALES	56
3.2.1 RESIDENCIA UNIVERSITARIA FRM-UTN	56
3.2.2 EDIFICIO DE HISTOLOGÍA Y EMBRIOLOGÍA	57
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE INSTITUCIONES LOCALES -INTERACCIÓN CON PROFESIONALES	58
CAPÍTULO V: SELECCIÓN DE EQUIPOS MÉDICOS DE ALTA COMPLEJIDAD – DOCUMENTACIÓN Y EVALUACIÓN CUALITATIVA DE SUSCEPTIBILIDAD SÍSMICA	60
5.1 TOMÓGRAFO DISCOVERY CT590/RT.....	60
5.2 RESONADOR DISCOVERY MR750W.....	61
5.3 RX PRECISION 600FP	61
5.4 INNOVA IGS 520/530/540	62
5.5 ciclotrón ciclone 11	63



5.5.1	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	63
5.5.2	CROQUIS DE INSTALACIÓN SEGÚN CATÁLOGO OFICIAL.....	65
5.5.3	CONFIGURACIÓN DEL SITIO Y MEDIDAS DE LA HABITACIÓN.....	66
5.5.4	DIMENSIONES Y PESOS.....	67
5.5.5	REQUERIMIENTOS SOBRE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN.....	68
5.5.6	CARCASA MÓVIL DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN.....	69
5.6	EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS RECOPIADOS Y ELECCIÓN DE LOS POTENCIALMENTE MÁS SUSCEPTIBLES PARA SU POSTERIOR EVALUACIÓN FRENTE A ACCIONES SÍSMICAS.....	70
CAPÍTULO VI: DISPOSITIVOS DE AISLACIÓN SÍSMICA.....		71
6.1	AISLADORES ELASTOMERICOS	71
6.1.1	AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE BAJO AMORTIGUAMIENTO (LDRB).....	71
6.1.2	AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB).....	72
6.1.3	AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDRB).....	73
6.1.4	AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON SUPERFICIE DESLIZANTE	73
6.2	AISLADORES FRICCIONALES O FPS	74
6.2.1	AISLADOR FPS DE PÉNDULO SIMPLE (PRIMERA GENERACIÓN).....	75
6.2.2	AISLADOR FPS DE PÉNDULO DOBLE (SEGUNDA GENERACIÓN).....	76
6.2.3	AISLADOR FPS DE PÉNDULO TRIPLE (TERCERA GENERACIÓN)	78
CAPÍTULO VII: DISEÑO CUANTITATIVO DE DISPOSITIVOS DE AISLACIÓN SÍSMICA		84
7.1	AISLADORES ELASTOMERICOS	84
7.2	AISLADORES FRICCIONALES FPS.....	97
CAPÍTULO VIII: MODELACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS		103
8.1	MODELADO DE LA ESTRUCTURA EN SOFTWARE	103
8.2	OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	121
CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES		195
9.1.	COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS A NIVEL DE TECHO PARA LOS TRES TIPOS DE BÚNKER.....	196
9.2.	COMPARACIÓN DE ACELERACIONES ABSOLUTAS A NIVEL DE BASE Y TECHO PARA LOS TRES TIPOS DE BÚNKER.....	198
9.3.	COMPARACIÓN DE CORTES BASALES PARA LOS TRES TIPOS DE BÚNKER.....	202
CAPÍTULO X: AGRADECIMIENTOS		204



INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se desarrollará y analizará el proyecto denominado: **“Aislamiento sísmico para protección de elementos no estructurales esenciales en instituciones hospitalarias”** el cual surge a partir de un punto de vista ingenieril motivado por razones sociales y de seguridad.

Esto se debe a que la ingeniería sísmica ha focalizado su esfuerzo a lo largo de los años en el diseño de sistemas estructurales resistentes a terremotos. Sin embargo, no se ha prestado la misma atención en garantizar un comportamiento sísmico adecuado de los componentes no estructurales, equipos y contenidos, es decir, las técnicas convencionales de protección sísmica en edificaciones apuntan a garantizar la seguridad de sus ocupantes, evitando la pérdida de vidas humanas. Para ello, buscan impedir el colapso de una estructura durante un evento sísmico, permitiendo la disipación de energía mediante la aceptación de un nivel de daño controlado. Pero este grado de desempeño ocasiona grandes pérdidas económicas, asociadas a la operatividad posterior del edificio y el daño de sus componentes no estructurales.

En determinados casos el valor de los componentes no estructurales en un edificio representa entre el 80 y el 90% del costo total de un edificio, superando ampliamente el valor de los componentes estructurales. En virtud de lo anterior, y del hecho de que el daño no estructural ocurre a niveles de intensidad sísmica menores a los necesarios para ocasionar daño estructural, se espera que la mayor parte de las pérdidas económicas resultantes de un sismo importante sean atribuibles al daño no estructural. Por ejemplo, el terremoto de Northridge en 1994 ocasionó pérdidas por más de 3.400 millones de dólares en hospitales, y la mayor parte de esa cifra se debió al daño no estructural.

OBJETIVOS

Este proyecto lo que busca es relacionar la ingeniería estructural con la medicina, esto es debido a que, en instalaciones esenciales en la sociedad, como hospitales y centros de operaciones de emergencia, donde la funcionalidad es de suma importancia, debe continuar, durante y después del evento sísmico. Por ello es fundamental el resguardo de los elementos no estructurales.

Además, en situaciones como las que vivimos hoy en día donde se atraviesa una pandemia y nuestro sistema de salud se encuentra prácticamente colapsado, si llegase a ocurrir un sismo y se interrumpe el servicio de los hospitales, debido a daños no estructurales como equipos de trabajo, se verían perjudicado tanto las víctimas de la pandemia como las víctimas del sismo siendo una gran tragedia. Por ejemplo, en el terremoto de El Salvador en 2001, la pérdida de funcionalidad del sistema de salud se debió principalmente al daño de elementos no estructurales, equipos médicos y suministros generando una gran problemática, es por esto que este proyecto busca evitar estas situaciones desafortunadas.

Como objetivo principal de este proyecto será entonces llevar a cabo un análisis dinámico complejo que tendrá lugar en la Ampliación del edificio de la Fundación Escuela Medicina Nuclear (FUESMEN) donde el mismo alberga el Ciclotrón “Ciclone 11”, en donde analizaremos en cuanto a susceptibilidad a aceleraciones de esta índole, evaluando la necesidad de disponer un sistema de aislamiento sísmico tanto para la protección del Ciclotrón como el búnker donde éste está contenido. Esto se conseguirá tras evaluar diversos “inputs” al que se sometería este conjunto, concluyendo el proyecto en la decisión de aislar el conjunto o una parte de él (equipo/s o estructura).



CAPÍTULO I: BASE CONCEPTUAL PARA EL PROYECTO

1.1 TERREMOTOS

Un terremoto o sismo es un fenómeno que consiste en el movimiento brusco del suelo, de duración relativamente acotada producto de la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas por las siguientes causas:

1. Actividad de fallas geológicas;
2. Fricción en el borde de placas tectónicas;
3. Procesos volcánicos;
4. Impactos de asteroides o cualquier objeto celeste de gran tamaño;
5. Detonaciones nucleares subterráneas

Los sismos que estudiamos en la mayoría de los casos son debido al contacto entre placas tectónicas o placas litosféricas. Éstas son un fragmento de litosfera relativamente rígido que se mueve sobre la astenosfera, una zona relativamente plástica del manto superior. Toda la litosfera está dividida en placas tectónicas, quince de ellas de gran tamaño y más de cuarenta microplacas. En los bordes de las placas se concentra actividad sísmica, volcánica y tectónica. Esto da lugar a la formación de grandes cadenas montañosas (como la Cordillera de los Andes) y cuencas sedimentarias.

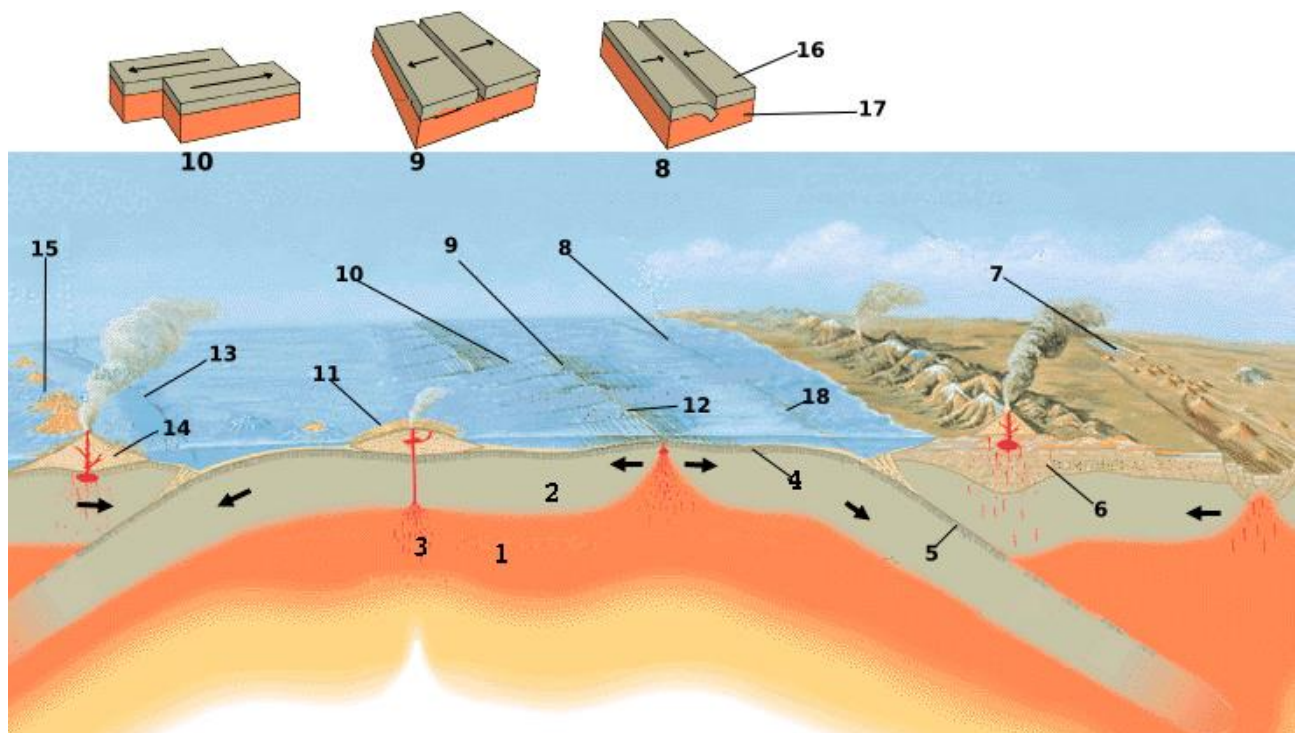


Figura 1.1: Elementos asociados a las placas tectónicas: 1-Astenosfera; 2-Litosfera; 3-Punto caliente; 4-Corteza oceánica; 5-Plano de subducción; 6-Corteza continental y orogénesis; 7-Rift continental (inicio de la apertura de un nuevo océano); 8-Borde convergente; 9-Borde divergente; 10-Borde transformante; 11-Volcán en escudo; 12-Dorsal oceánica; 13-Borde convergente; 14-Estratovolcán; 15-Arco-isla; 16-Placa; 17-Astenosfera; 18-Fosa oceánica.

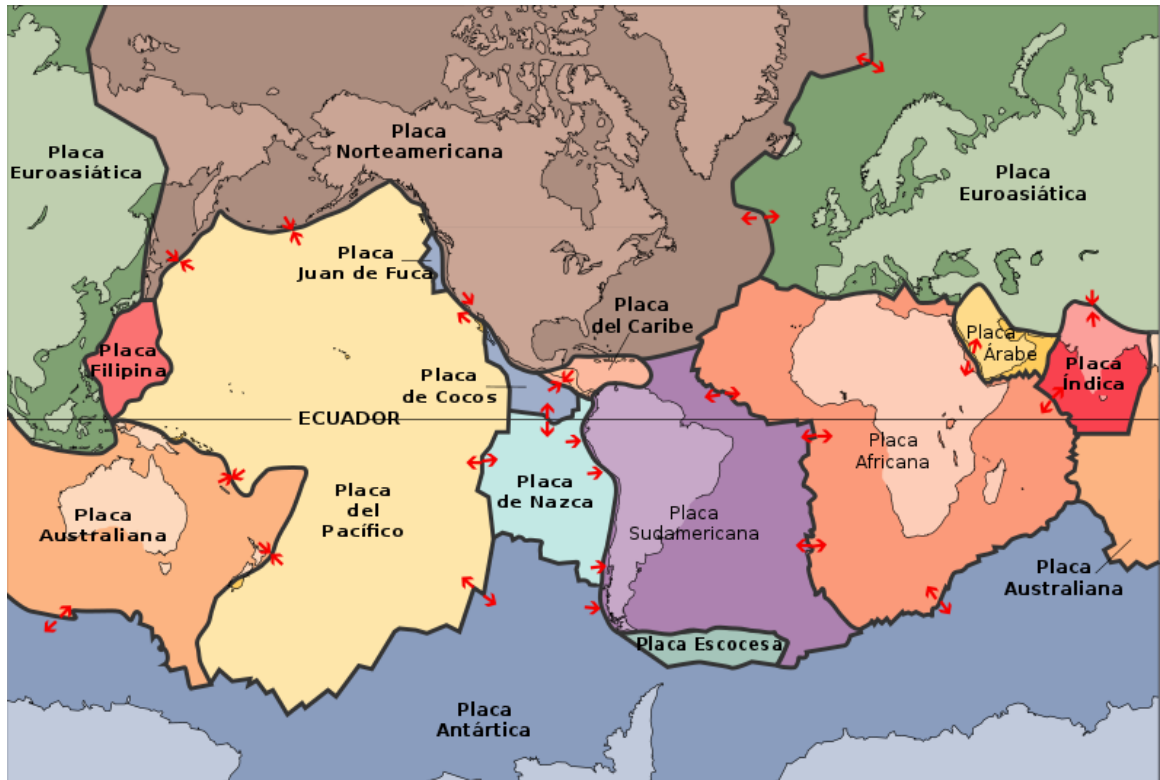


Figura 1.2: Las 14 placas tectónicas mayores

En Mendoza - Argentina, los movimientos telúricos se producen por el contacto de la **Placa Nazca** con la **Placa Sudamericana**, ambas ubicadas sobre el llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”. Este cordón está situado en las costas del océano Pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las siguientes zonas:

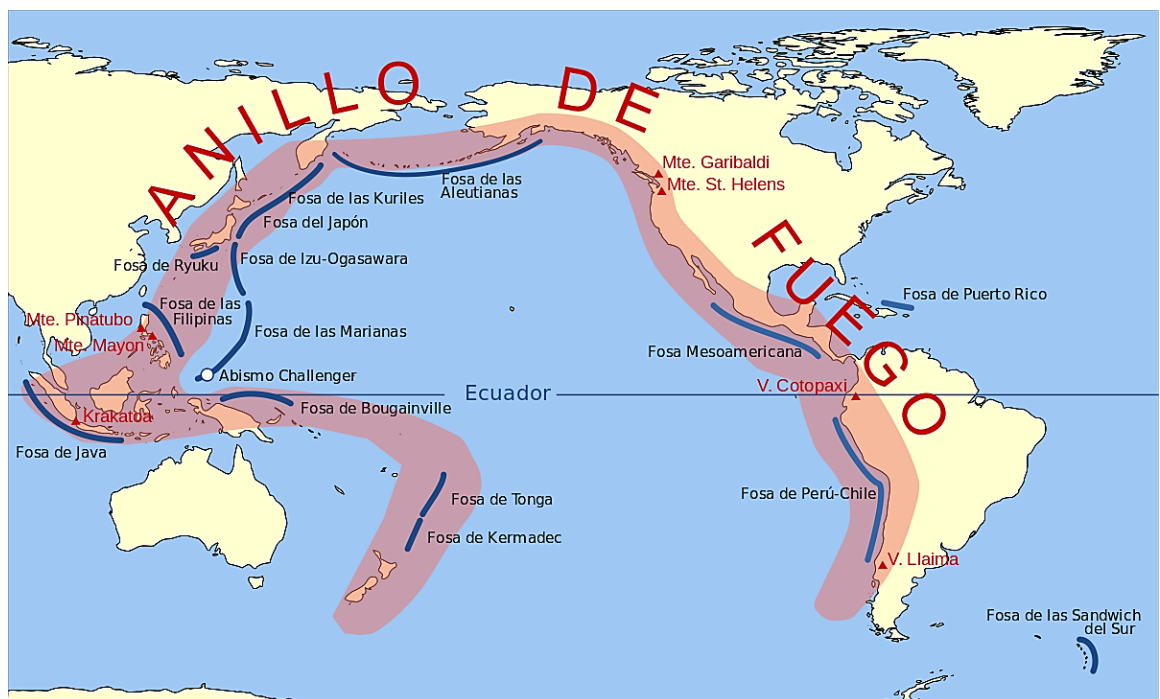


Figura 1.3: Cinturón de Fuego del Pacífico



Al producirse el movimiento o ruptura de placas, gran parte de la energía acumulada en la corteza terrestre se libera como calor y ruido, y otra parte es irradiada en forma de ondas sísmicas, como se mencionó al comienzo de este apartado. Este fenómeno presenta la siguiente anatomía:

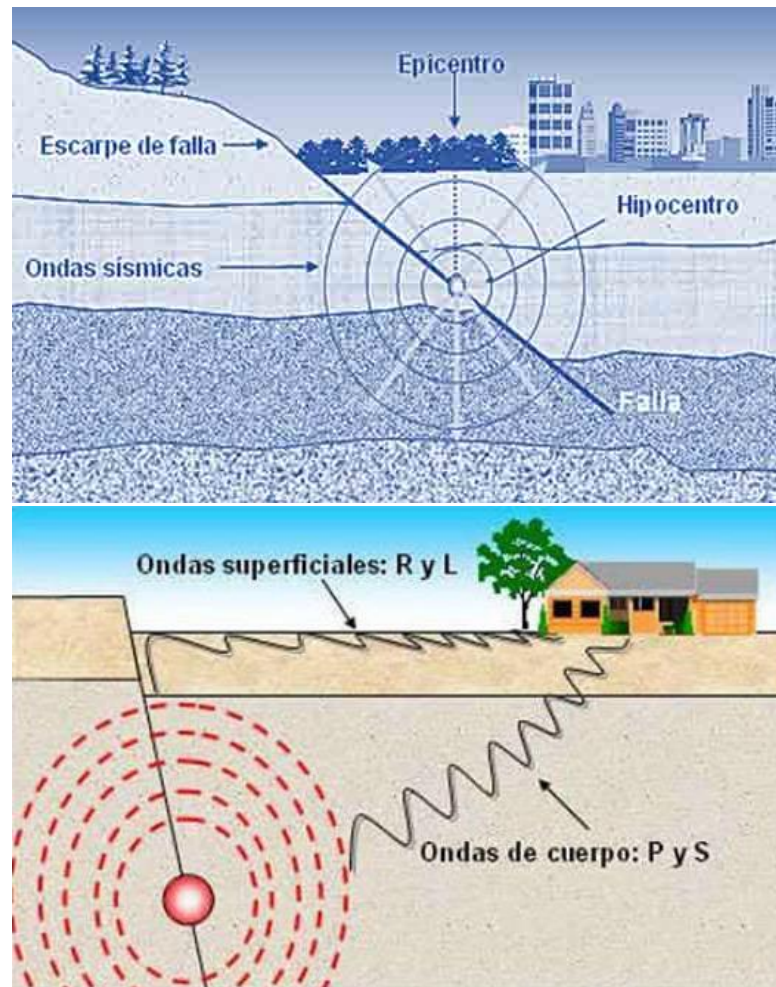


Figura 1.4: Anatomía de un terremoto

6. **Epicentro:** Punto de la superficie terrestre situado en la vertical del foco o hipocentro de un movimiento sísmico y donde este adquiere su máxima intensidad;
7. **Hipocentro/Foco:** Foco o punto del interior de la corteza terrestre en el que se origina un movimiento sísmico;
8. **Ondas sísmicas:** Son un tipo de onda elástica fuerte en la propagación de perturbaciones temporales del campo de tensiones que generan pequeños movimientos en las placas tectónicas. Existen dos tipos:
 - ✓ Ondas profundas o de cuerpo:
 - ❖ Ondas primarias o de compresión (P);
 - ❖ Ondas secundarias o de corte (S);
 - ✓ Ondas superficiales:
 - Ondas Rayleigh (R)
 - Ondas Love (L)

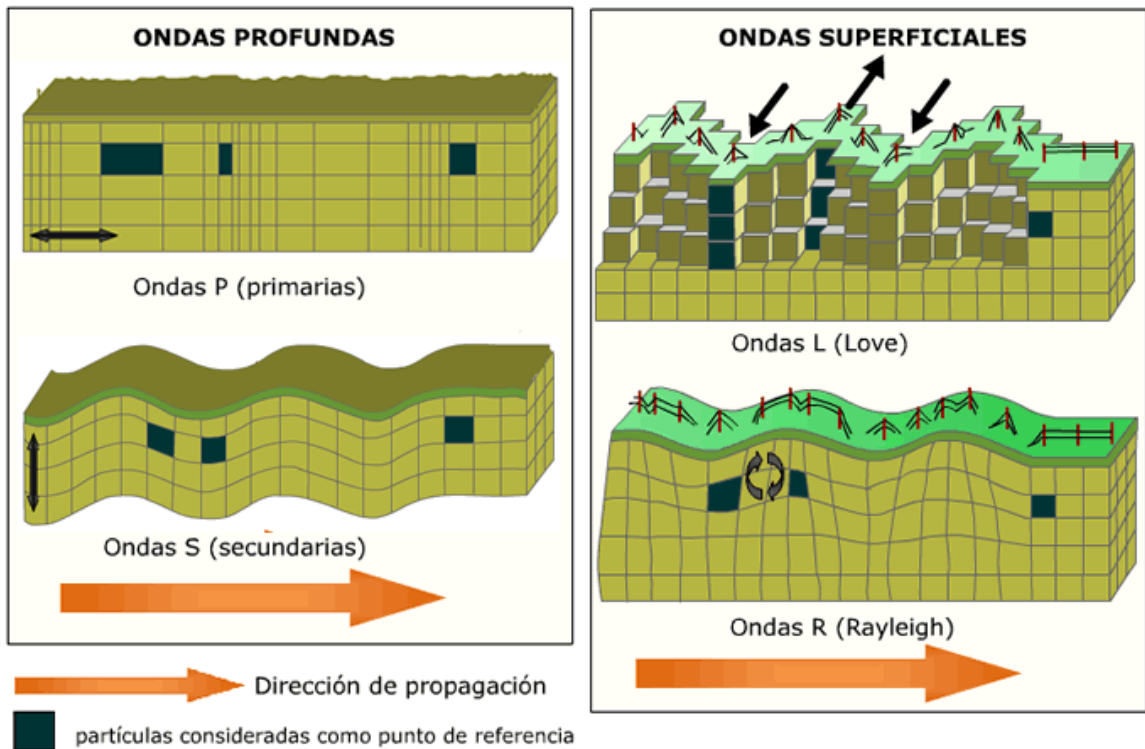


Figura 1.5: Tipos de ondas sísmicas

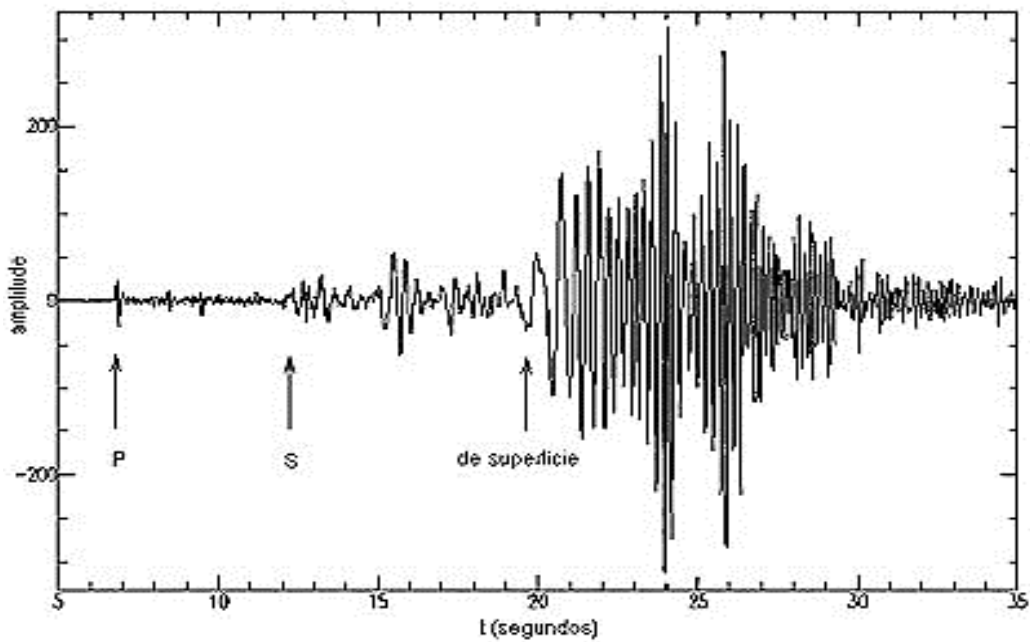


Figura 1.6: Acelerograma en donde se distinguen los tipos de ondas

La escala de energía liberada por un sismo es logarítmica, es decir, no es lineal. En general se va multiplicando la energía por 32 para cada punto en la escala Richter. Un punto en la escala de Richter más es 32 veces más destructivo que el valor anterior.



Magnitud	bombas nucleares
5	1
6	32
7	1000
8	32000
9	1000000

Figura 1.7: Modelo de esferas que representa las distintas magnitudes en escala de Richter en cuanto energía liberada en un sismo. Comparación de magnitudes con bombas atómicas equivalentes.

Como mencionamos anteriormente, podemos observar la duración y magnitud de las ondas mediante un acelerograma. Éste consiste en una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto.

Los valores de la aceleración (amplitud) se obtienen mediante unos instrumentos llamados acelerógrafos, que registran la aceleración del suelo según tres direcciones perpendiculares; dos horizontales y una vertical. Debido a que la variación de la aceleración es muy irregular en el tiempo, es necesario que la toma de datos se realice en intervalos muy pequeños de tiempo, utilizándose generalmente valores de 0,01 o 0,02 segundos.



Foto 1.1: Acelerógrafo de última generación y base de datos que almacena los registros mencionados emplazados en el CeReDeTec - UTN FRM

En los siguientes capítulos veremos cómo con esta información podemos llevar a cabo un análisis sísmico y de respuesta estructural.



1.2 DINÁMICA ESTRUCTURAL

1.2.1 DINÁMICA DE ESTRUCTURAS Y SUS RESPUESTAS

La Dinámica Estructural es aquella rama de la mecánica que busca estudiar el comportamiento de las estructuras sometidas a acciones de naturaleza variable en el tiempo, ya sea en un plazo corto, medio o largo, como el viento, choques de masas, oscilaciones de máquinas o bien terremotos, en el cual nos centraremos de ahora en adelante. Extendiendo un poco más el análisis realizado anteriormente sobre este fenómeno, ya pasamos a analizarlo incorporando conceptos matemáticos para poder realizar modelos que puedan responder efectivamente y así tener noción de las consecuencias que pueda llegar a generar una acción como ella a futuro. Los sismos son aleatorios y caóticos, sin un patrón que se repita igualmente en todos lados, sino que, por su propia naturaleza, éste libera ondas por un medio sólido las cuales son transmitidas de infinitas maneras hasta “golpear” nuestra estructura. Ésta, al recibir este impacto, actúa inmediatamente como un “filtro” para responder así de una forma particular, llamado esto **respuesta dinámica**. Este análisis tanto estructural como no estructural (ej.: máquinas, muebles, etc.), contempla tres componentes principales, tal como ocurre en el algoritmo de resolución de una ecuación:

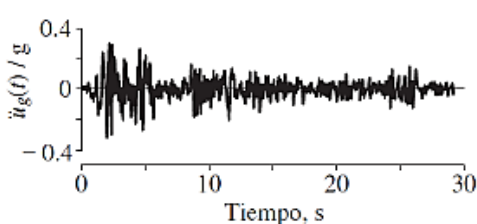
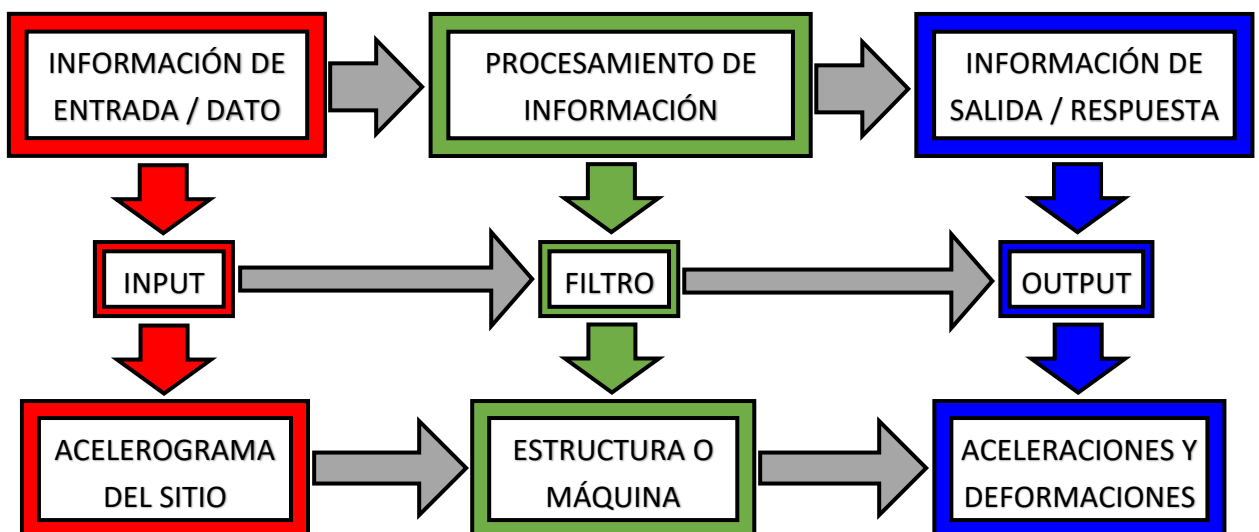


Figura 1.8: Aceleración del terreno - Sismo en El Centro

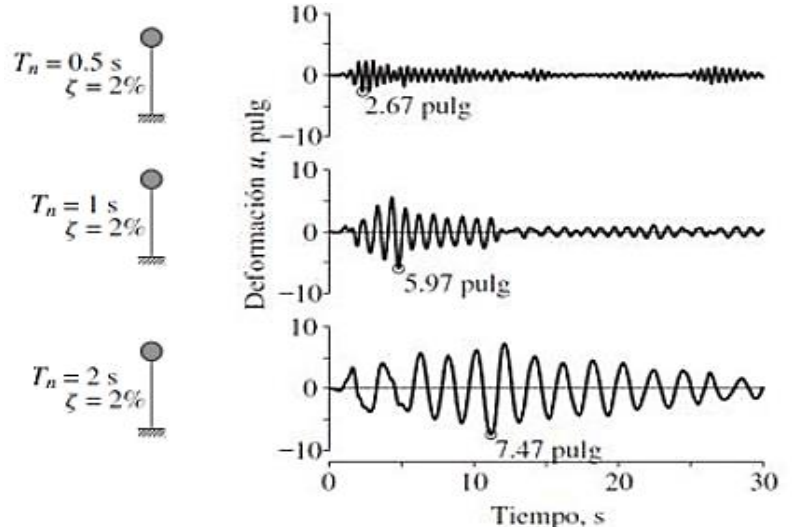


Figura 1.9: Respuesta de deformación de tres sistemas de 1 GDL con amortiguamiento del 2% y periodo natural $T_n=0,5, 1$ y 2 segundos - Sismo en El Centro



1.3 SISMICIDAD LOCAL Y REGIONAL

La República Argentina posee una extensión continental de 1.850.000 km² aproximadamente, lo que la hace tener una variedad completa de peligro sísmico, el cual mencionamos al final del apartado 2.3.5.5. (Espectros de diseño elástico).

El peligro sísmico o peligrosidad sísmica en el territorio nacional, que es la probabilidad de que ocurra una determinada amplitud de movimiento del suelo en un intervalo de tiempo fijado, se define en función de estudios geológicos y geotécnicos que fueron desarrollados hasta el año 1983 desarrollados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES). Éste se basa en la estimación de la energía liberada en la falla (descrito esto en el apartado 1 de la base conceptual para el proyecto) considerando la historia sísmica y los registros obtenidos desde los comienzos de la instrumentación en el país. De esta manera se generó la denominada **zonificación sísmica**, la cual divide al país en cinco regiones con peligrosidad sísmica que va desde muy reducida hasta muy elevada. Un valor que permite comparar la actividad sísmica en cada una de ellas es la máxima aceleración del terreno " a_s " para el sismo de diseño antes definido. Esta aceleración se expresa en unidades de "g", siendo "g", la aceleración de la gravedad.

En base a esto se diseña un sismo de diseño, resultado del análisis de los diferentes terremotos registrados en el país y en otros lugares del mundo con características sísmicas similares a las nuestras. En general, se adopta el movimiento más destructivo que puede ocurrir en una determinada zona, con una recurrencia de 500 años (es decir, que ocurre, en promedio, una vez cada 500 años).

A continuación, se anexan mapas de peligrosidad sísmica, de sismicidad, terremotos principales que han ocurrido en el país.

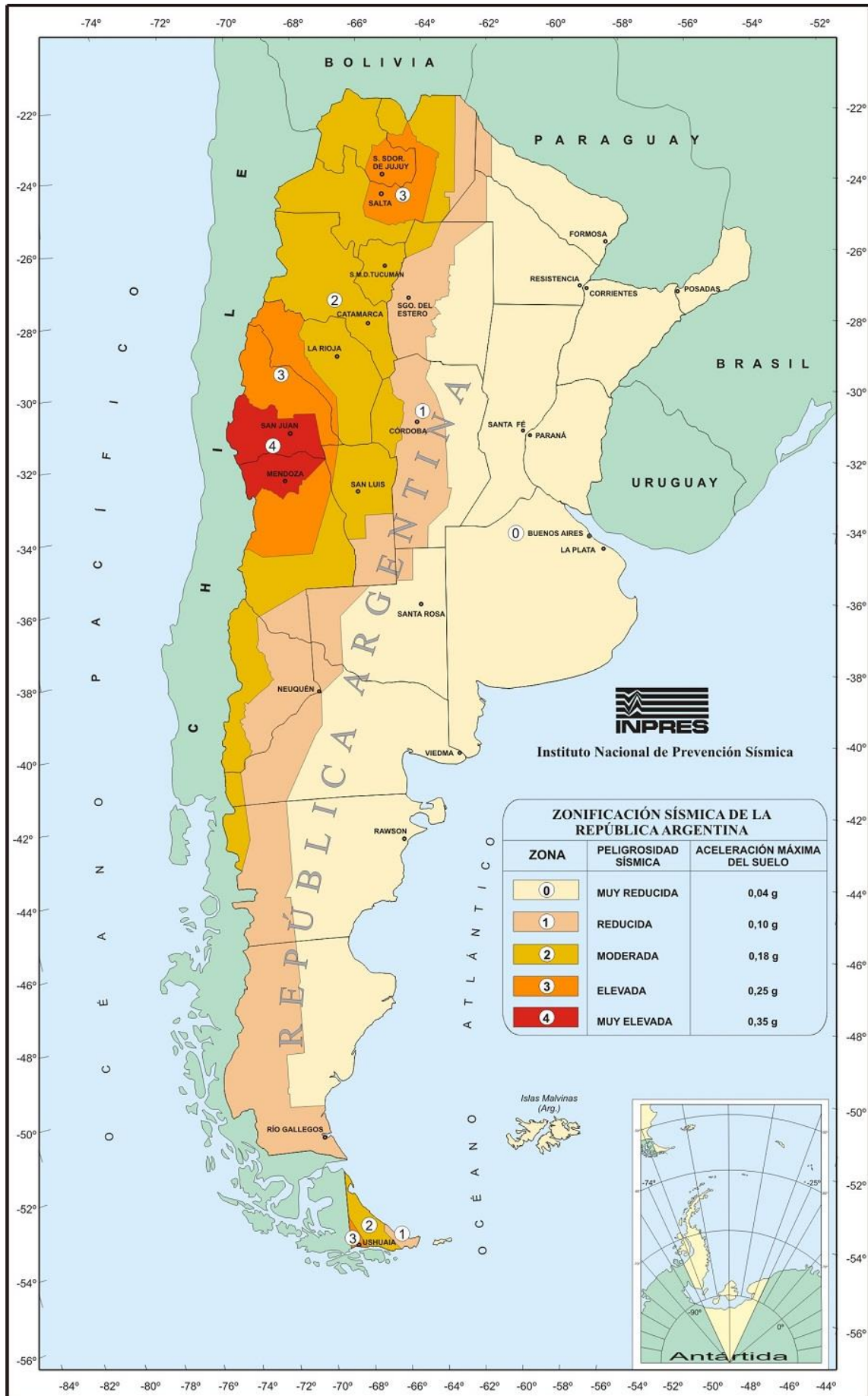


Figura 1.10: Mapa de zonificación sísmica de Argentina

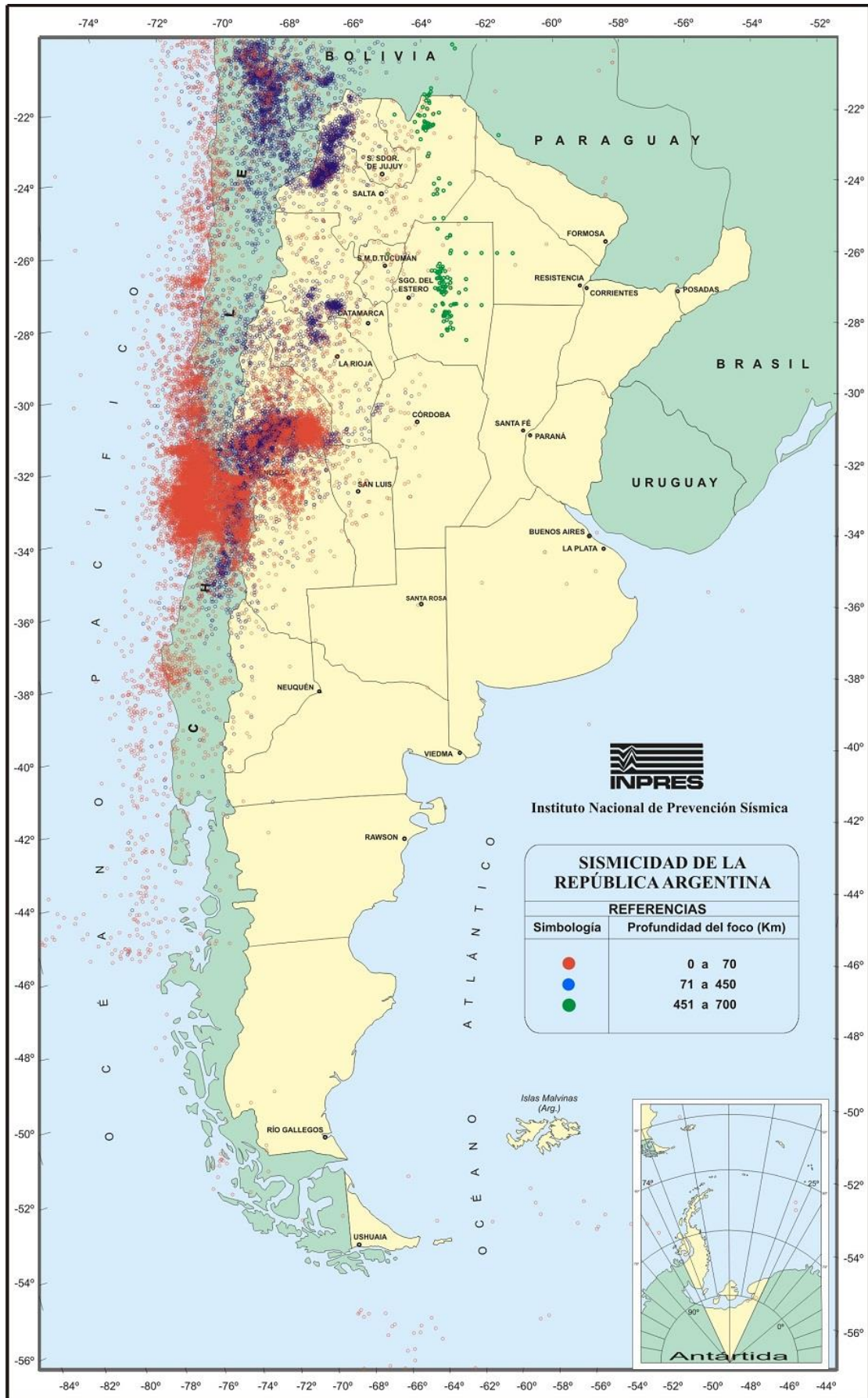


Figura 1.11: Mapa de sismicidad de Argentina

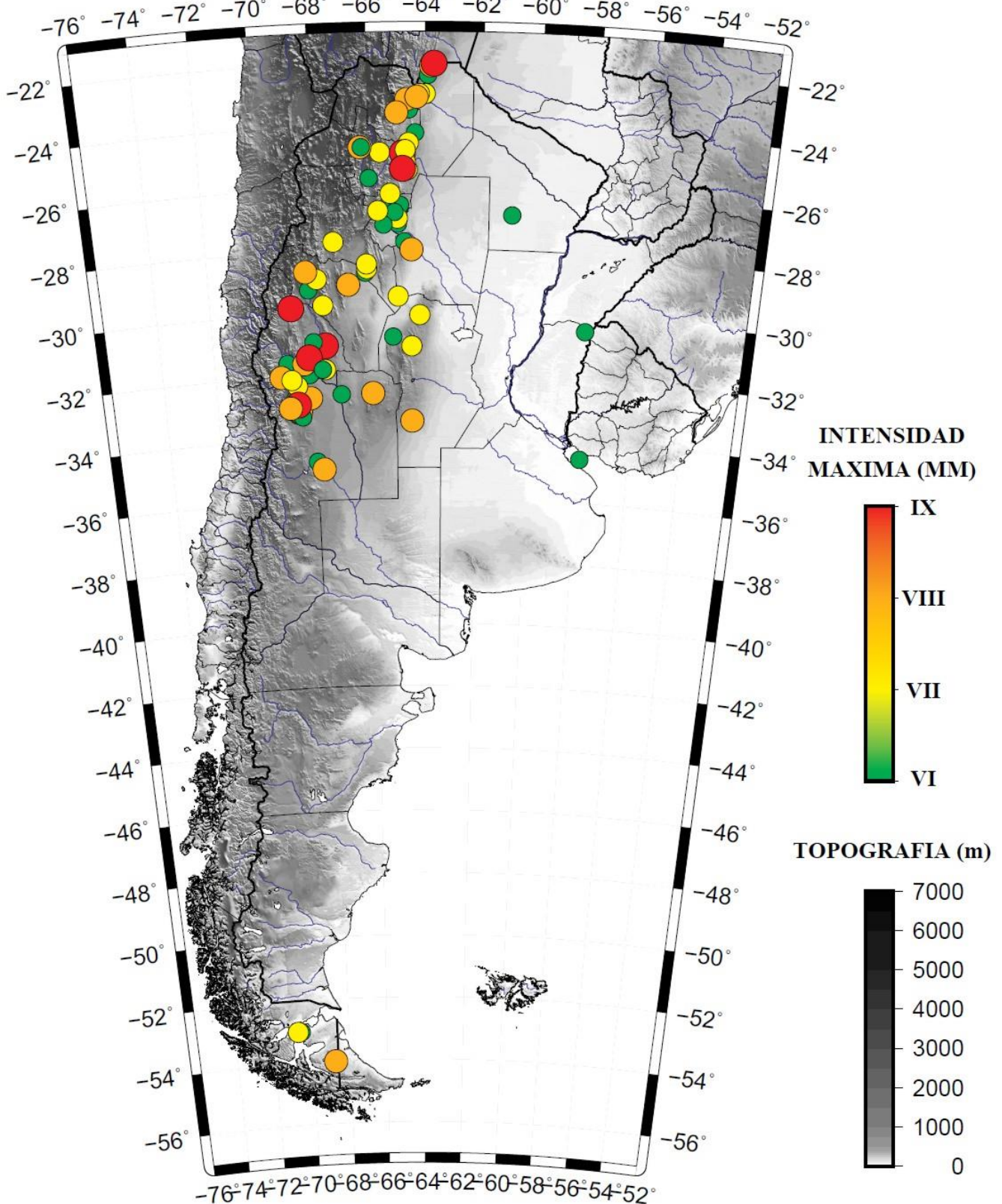


Figura 1.12: Epicentro de los terremotos destructivos en Argentina (1692 - 2015)

Esta actividad sísmica local ha sido determinada por estudios geológicos y geotécnicos. En el caso de la Provincia de Mendoza, dicha actividad es atribuida la



tectónica de placas, en la cual se produce la convergencia de la Placa Sudamericana con la Placa de Nazca. La segunda subduce debajo de la primera, la cual es activamente deformada a lo largo de su margen oeste, lo cual arroja como resultado estructuras geológicamente activas, causa que ha generado el cordón montañoso de la Cordillera de los Andes.

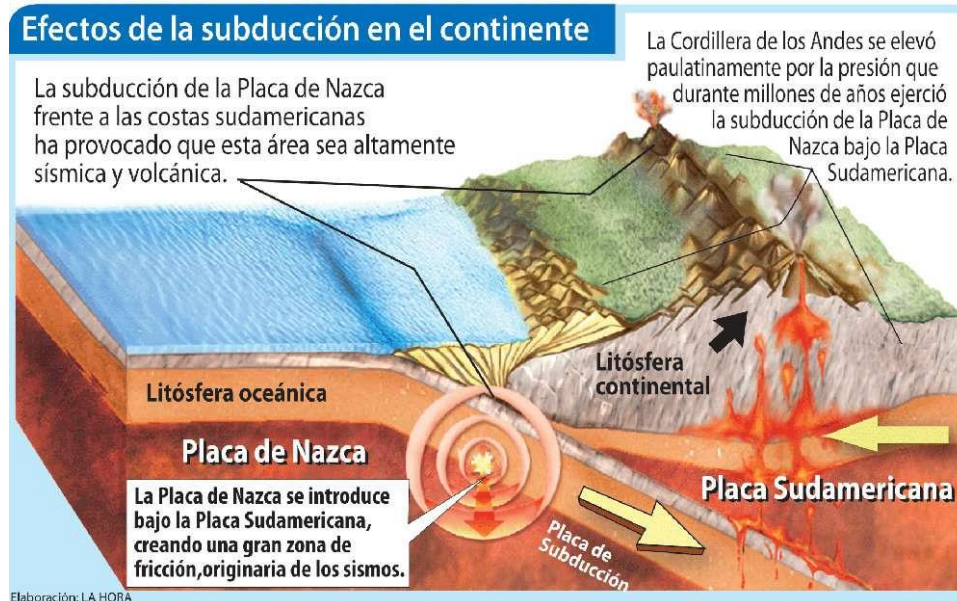


Figura 1.13: Actividad sísmica en nuestra región debido a los efectos de la subducción de la Placa de Nazca en la Placa Sudamericana

1.4 NORMATIVA LOCAL – REGLAMENTO INPRES-CIRSOC 103

Para poder llevar a cabo el análisis y verificación sísmica correspondiente para nuestro proyecto, el INPRES-CIRSOC 103 establece una serie de contemplaciones a considerar para poder llevar a cabo la construcción del espectro de diseño elástico para nuestra región, en base a lo explicado en el apartado 2.3.5.5 (Espectros diseño elásticos).

El análisis que realizaremos será únicamente para el bunker + laberinto.

- **Zonificación sísmica - Art. 2.2:** El territorio nacional se divide en cinco zonas sísmicas de acuerdo con la peligrosidad sísmica existente en cada región. La región que corresponde analizar es la N°4, con muy elevada peligrosidad sísmica.

ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA			ZONA 4	
ZONA	PELIGROSIDAD SÍSMICA	ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO	PROVINCIA DE MENDOZA	PROVINCIA DE SAN JUAN
0	MUY REDUCIDA	0,04 g	1 Las Heras	4 Calingasta
1	REDUCIDA	0,10 g	2 parte de Lavalle	5 Ullún
2	MODERADA	0,18 g	3 Capital	6 Albardón
3	ELEVADA	0,25 g	4 Godoy Cruz	7 Angaco
4	MUY ELEVADA	0,35 g	5 Luján de Cuyo	8 Zonda
			6 Guaymallén	9 Rivadavia
			7 Maipú	10 Chimbás
			8 San Martín	11 Capital
			9 Junín	12 Santa Lucía
				13 San Martín
				14 parte de Caucete
				15 Pocito
				16 Rawson
				17 9 de Julio
				18 Sarmiento
				19 25 de Mayo

Tabla 1.1: Zonificación sísmica de la República Argentina (Tabla 2.1 del IC-103).

- **Clasificación según el sitio de emplazamiento de la construcción - Art. 2.3:**



- ✓ **Influencia del suelo - Art. 2.3.1:** Para la determinación de las acciones sísmicas de diseño, el sitio del emplazamiento se clasifica en seis categorías según las características de los suelos comprendidos en una profundidad de 30 m desde la superficie de terreno natural. La clasificación se basa en la velocidad media de onda de corte V_{sm} , el número de golpes medio del ensayo de penetración normalizado N_m y de la resistencia media al corte no drenado S_{um} .

Tipo espectral	Sitio	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO		
			Velocidad media de la onda de corte, V_{sm} (m/s)	Nº de golpes medio del ensayo de penetración normalizado N_m	Resistencia media al corte no drenado S_{um} (kPa)
Tipo 1	S _A	Formación de roca dura, con presencia superficial y escasa meteorización.	>1500	-	-
	S _B	Formación de roca dura con pequeña capa de suelo denso y/o roca meteorizada <3m	760 a 1500	-	-
	S _C	Formación de roca blanda o meteorizada que No cumple con S _A y S _B . Gravas y/o arenas muy densas. Suelo cohesivo pre-consolidado, muy duro. Gravas y/o arenas de densidad media.	360 a 760	>50	>100
Tipo 2	S _D	Suelo cohesivo consistente, de baja plasticidad. Gravas y/o arenas de baja densidad.	180 a 360	15 a 50	50 a 100
Tipo 3	S _E	Suelo cohesivo blando de baja plasticidad.	<180	<15	< 50
	S _F	Suelos dinámicamente inestables. Requieren estudios especiales.			

Tabla 1.2: Clasificación del sitio – Influencia del suelo (Tabla 2.2 del IC-103)

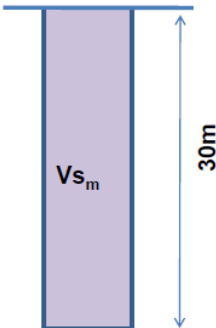
Este dato lo hemos obtenido del estudio de suelo presentado en este informe.

PARA LA DETERMINACIÓN DE ACCIONES SÍSMICAS EL REGLAMENTO CALIFICA AL SITIO DONDE SE EMPLAZARÁ LA CONSTRUCCIÓN

SE ESTIMA QUE LA MASA DE SUELO QUE PARTICIPA EN LOS EFECTOS DE SITIO ESTÁ COMPRENDIDA EN LOS PRIMEROS 30 m

PARA DEFINIR EL TIPO DE SITIO SE CONSIDERAN LOS VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS EN LOS PRIMEROS 30 m de PROFUNDIDAD

EL PARÁMETRO MÁS ADECUADO PARA CARACTERIZAR EL SITIO ES LA VELOCIDAD MEDIA DE LA ONDA DE CORTE V_{s_m}



$$V_{sm} = \frac{30}{\sum \left(\frac{t_i}{V_{si}} \right)} \quad [2.1]$$

$$N_m = \frac{30}{\sum \left(\frac{t_i}{N_i} \right)} \quad [2.2]$$

$$S_{um} = \frac{30}{\sum \left(\frac{t_i}{S_{ui}} \right)} \quad [2.3]$$

Figura 1.14: Determinación de la velocidad de onda de corte (IC-103)



- **Clasificación según el destino y función de la construcción - Art. 2.4:** A los fines del diseño sismorresistente, las construcciones se agrupan de acuerdo con sus funciones y con la trascendencia que puedan tener eventuales daños o colapsos de las mismas en caso de ocurrencia de sismos. Para ello se define un factor de riesgo para valorar las acciones sísmicas. Para nuestro caso tendremos:

GRUPO	FACTOR DE RIESGO γ_r
Ao	1.5
A	1.3
B	1.0
C	0.8

Tabla 1.3: Grupos y factores de riesgo según el destino y función de la construcción

- ✓ **Grupo Ao - $\gamma_r = 1,5$ - Art. 2.4.1:** Construcciones, instalaciones y equipamientos que cumplen funciones esenciales o bien el colapso total o parcial podría producir efectos catastróficos sobre importantes sectores de la población. Son construcciones cuyas estructuras, instalaciones, equipamientos y accesibilidad deben mantenerse en funcionamiento luego de ocurrido un terremoto destructivo. Ejemplo de este grupo son: sectores y componentes radiactivos de instalaciones con potencias superiores a 20 MW; depósitos de gases o líquidos inflamables o tóxicos, áreas esenciales de aeropuertos, hospitales, centros policiales y de bomberos, centrales de comunicación y radioemisoras de alcance regional, centrales de energía de emergencia, construcciones para servicios sanitarios básicos (agua potable).
- **Métodos para la evaluación de la acción sísmica - Art. 2.7:** La elección del procedimiento y el nivel mínimo de análisis a utilizar se realizarán teniendo en cuenta el destino de la construcción, la altura y el grado de regularidad.
- ✓ **Método estático - Art. 2.7.2:** El método estático consiste en la representación de la acción sísmica mediante un sistema de fuerzas estáticas equivalentes proporcionales a las cargas gravitatorias y a una forma supuesta del primer modo de vibración. Se admite para todas las construcciones hasta 3 niveles o de altura menor que 9 m. Se admite también para construcciones que cumplan lo siguiente:

Zona sísmica	Altura máxima de la Construcción (m)			Regularidad en planta Tabla 2.3 – Línea			Regularidad en altura Tabla 2.4 – Línea		
	Ao	A	B	Ao	A	B	Ao	A	B
3 y 4	12	30	45	1 _a , 3 _a 4 _a	1 _b , 4 _a	1 _b	1 _a , 2, 3, 5 _a	1 _b , 2, 3, 5 _a	1 _b , 2, 3, 5 _a
0*, 1 y 2	16	45	60	1 _b	1 _b	1 _b	1 _a , 2, 3	1 _b , 2, 3	1 _b , 2, 3

(*) Construcciones de la **zona 0** para las que es exigible la aplicación completa del reglamento.

La altura de la construcción se mide desde el nivel más alto del terreno circundante hasta la última masa. Las masas se definen conforme a 3.6.1 y 3.6.2.

Tabla 1.4: Condiciones para la aplicación del método estático (Tabla 2.5 del IC-103)



- **Regularidad estructural - Art. 2.6:** A fines de seleccionar los procedimientos para la evaluación de la acción sísmica se debe valorar el grado de irregularidad de la estructura tanto en planta como en altura. En la verificación de las condiciones de regularidad se considerarán efectos torsionales mediante una excentricidad adicional del 5% de la longitud de la planta perpendicular a la dirección de estudio.

✓ **Regularidad en planta - Art. 2.6.1:**

CONDICIONES		Ver Sección
1a	Son estructuras torsionalmente regulares o con irregularidad torsional baja cuando en todos los niveles o masas se cumple: $\Delta_{bk} / \Delta_{mk} \leq 1,2$	
1b	Son estructuras con irregularidad torsional media cuando en algún nivel o masa se cumple: $1,2 < \Delta_{bk} / \Delta_{mk} \leq 1,4$	
1c	Son estructuras con irregularidad torsional extrema cuando en algún nivel o masa se cumple: $\Delta_{bk} / \Delta_{mk} \geq 1,4$	2.6.3- a)
2a	Son estructuras regulares cuando los elementos resistentes para acción sísmica son continuos en altura y el esfuerzo se mantiene en un único plano vertical	
2b	Son estructuras irregulares todos los casos no incluidos en 2a	2.6.3- b)
3a	Son estructuras regulares los sistemas formados por elementos perpendiculares o con doble simetría	3.2
3b	Son estructuras irregulares todos los casos no incluidos en 3a	3.2.
4a	Son estructuras regulares de esquinas entrantes cuando la proyección de la planta se extiende más allá de la esquina entrante una longitud menor al 15% de las dimensiones de la planta en las direcciones de análisis	
4b	Son estructuras irregulares de esquinas entrantes todas aquellas no incluidas en 4a	2.6.3. e)

Tabla 1.5: Condiciones de regularidad en planta (Tabla 2.3 IC-103)

✓ **Regularidad en altura - Art. 2.6.2:**

CONDICIONES		Ver Sección
1a	Son estructuras regulares o con irregularidad baja en rigidez cuando en todos los niveles o masas se cumple: $\Delta_{mk} \leq 1,4\Delta_{mk+1}$	
1b	Son estructuras con irregularidad de rigidez media cuando en algún nivel se cumple: $1,4\Delta_{mk+1} < \Delta_{mk} \leq 1,7\Delta_{mk+1}$	
1c	Son estructuras con irregularidad de rigidez extrema cuando en algún nivel se cumple: $1,7\Delta_{mk+1} \leq \Delta_{mk}$	2.6.3- a)
2	Son estructuras con regularidad de masas cuando las masas de cada nivel varían menos de 30% respecto de los niveles adyacentes (1)	2.7.2.
3	Son estructuras con regularidad geométrica cuando en todos los niveles la dimensión horizontal del sistema resistente varía menos del 30% respecto de los niveles adyacentes	
4a	Son estructuras regulares cuando los elementos verticales son continuos en altura o los retranqueos en su plano son inferiores a la longitud del elemento. Las dimensiones de los componentes son constantes o crecientes hacia abajo	
4b	Son estructuras irregulares todos los casos no incluidos en 4a	2.6.3- b) 2.6.3- c)
5a	Son estructuras regulares en resistencia cuando en todos los niveles la resistencia lateral es superior al 80% de la resistencia del nivel inmediato superior	2.6.3.d)
5b	Son estructuras irregulares todos los casos no incluidos en 5a (piso débil)	2.6.3.a) 2.6.3.d)

(1) Se excluyen los techos livianos (peso propio inferior a $1,5 \text{ kN/m}^2$) o cuerpos salientes incluidos en el Capítulo 10.

Tabla 1.6: Condiciones de regularidad en altura (Tabla 2.4 IC-103)



- **Espectros de diseño para acciones horizontales para Estado Límite Último (ELU) – Art. 3.5:** Los espectros de diseño elástico se establecen para cada zona sísmica en función de la clasificación del sitio. Las ordenadas S_a del espectro elástico de aceleración para acciones horizontales de diseño E_H para una razón de amortiguamiento del $\zeta = 5\% = 0,05$ se definen por las siguientes expresiones:

$$S_a = C_a \cdot \left(1 + 1,5 \cdot \frac{T}{T_1}\right) ; \text{ para } T \leq T_1$$

$$S_a = 2,5 \cdot C_a ; \text{ para } T_1 < T \leq T_2$$

$$S_a = \frac{C_v}{T} ; \text{ para } T_2 < T \leq T_3$$

$$S_a = \frac{C_v \cdot T_3}{T^2} ; \text{ para } T > T_3$$

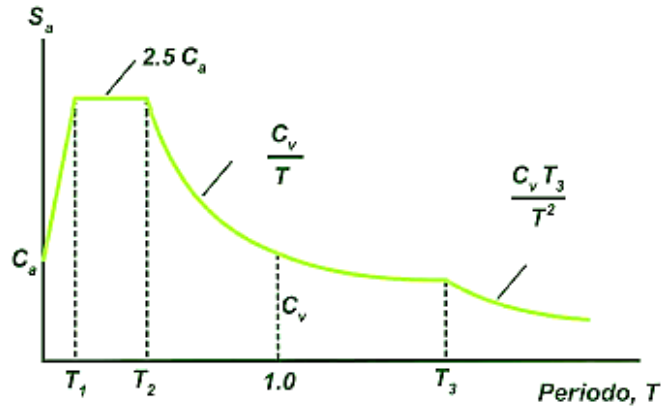


Figura 1.15: Espectro de diseño elástico (IC-103)

A continuación, se determinan los parámetros correspondientes.

- ✓ **Influencia de la zona sísmica y del sitio - Art. 3.5.1.1:** La zonificación sísmica está definida por su aceleración efectiva a_s en sitio tipo B. Los parámetros que definen los espectros son los coeficientes espectrales C_a y C_v que se presentan como:

Tipo Espectral (Sitio)	Zona Sísmica							
	4		3		2		1	
	$a_s = 0,35$		$a_s = 0,25$		$a_s = 0,15$		$a_s = 0,08$	
	C_a	C_v	C_a	C_v	C_a	C_v	C_a	C_v
1 (S_A, S_B, S_C)	$0,37 N_a$	$0,51 N_v$	$0,29 N_a$	$0,39 N_v$	$0,18$	$0,25$	$0,09$	$0,13$
2 (S_D)	$0,40 N_a$	$0,59 N_v$	$0,32 N_a$	$0,47 N_v$	$0,22$	$0,32$	$0,12$	$0,18$
3 (S_E)	$0,36 N_a$	$0,90 N_v$	$0,35 N_a$	$0,74 N_v$	$0,30$	$0,50$	$0,19$	$0,26$

Tabla 1.7: Valores de a_s , C_a y C_v para las distintas zonas sísmicas y tipos espectrales (Tabla 3.1 IC-103)

$a_s = 0,35$ [g] → Aceleración efectiva dada por la zona sísmica

$C_a = 0,40 \cdot N_a$ [g] → Coeficiente de aceleración del espectro de diseño

$C_v = 0,59 \cdot N_v$ [g] → Coeficiente de velocidad del espectro de diseño

$N_a = 1$ → Coeficiente de proximidad a falla para la zona del espectro sensible a la aceleración

$N_v = 1,2$ → Coeficiente de proximidad a falla para la zona del espectro sensible a la velocidad

$T_2 = \frac{C_v}{2,5 \cdot C_a}$ [s] → Periodo característico central del espectro de diseño



$$T_1 = 0,2 \cdot T_2 \text{ [s]} \rightarrow \text{Periodo característico inicial del espectro de diseño}$$

$$T_3 = 13 \text{ [s]} \rightarrow \text{Periodo característico final del espectro de diseño}$$

Tabla 3.2 Valor del periodo T_3

Zona sísmica	T_3 (s)
4	13
3	8
2	5
1	3

Tabla 1.8: Valor del periodo T_3 (Tabla 3.2 IC-103)

Reemplazando todas las ecuaciones en S_a , tenemos:

$$a_s = 0,35 \text{ [g]}$$

$$C_a = 0,40 \cdot N_a \rightarrow C_a = 0,40 \text{ [g]}$$

$$C_v = 0,59 \cdot N_v \rightarrow C_v = 0,708 \text{ [g} \cdot \text{s]}$$

$$T_3 = 13 \text{ s}$$

$$T_2 = \frac{C_v}{2,5 \cdot C_a}$$

$$T_2 = \frac{(0,59 \cdot N_v)}{2,5 \cdot (0,40 \cdot N_a)}$$

$$T_2 = \frac{0,59 \cdot (1,2)}{2,5 \cdot 0,40 \cdot (1)}$$

$$T_2 = 0,708 \text{ s}$$

$$T_1 = 0,2 \cdot T_2$$

$$T_1 = 0,2 \cdot 0,708 \text{ s}$$

$$T_1 = 0,1416 \text{ s}$$

Para $T \leq T_1$:

$$S_a = C_a \cdot \left(1 + 1,5 \cdot \frac{T}{T_1}\right)$$

$$S_a = 0,40 \cdot \left(1 + 1,5 \cdot \frac{T}{0,1416 \text{ s}}\right) \text{ [g]}$$

$$S_a = 0,40 + 4,23729 \cdot T \text{ [g]}$$

Para $T_1 < T \leq T_2$:

$$S_a = 2,5 \cdot C_a$$



$$S_a = 2,5 \cdot 0,40 \text{ [g]}$$

$$S_a = 1,00 \text{ [g]}$$

Para $T_2 < T \leq T_3$:

$$S_a = \frac{C_v}{T}$$

$$S_a = \frac{0,708}{T} \text{ [g]}$$

Para $T > T_3$:

$$S_a = C_v \cdot \frac{T_3}{T^2}$$

$$S_a = 0,708 \cdot \frac{13}{T^2} \text{ [g]}$$

$$S_a = \frac{9,204}{T^2} \text{ [g]}$$

Entonces, ordenando los resultados tenemos:

$$S_a = 0,40 + 4,23729 \cdot T \quad ; \quad \text{para } T \leq 0,1416 \text{ s}$$

$$S_a = 1,00 \quad ; \quad \text{para } 0,1416 \text{ s} < T \leq 0,708 \text{ s}$$

$$S_a = \frac{0,708}{T} \quad ; \quad \text{para } 0,708 \text{ s} < T \leq 13 \text{ s}$$

$$S_a = \frac{9,204}{T^2} \quad ; \quad \text{para } T > 13 \text{ s}$$

Con estos valores, tabulamos los valores espectrales correspondientes a la aceleración en función del periodo y obtenemos así el espectro de diseño según el Código CIRSOC 103 – 2013:



Espectro de diseño elástico de pseudo aceleraciones S_a - CIRSOC 103 - 2013

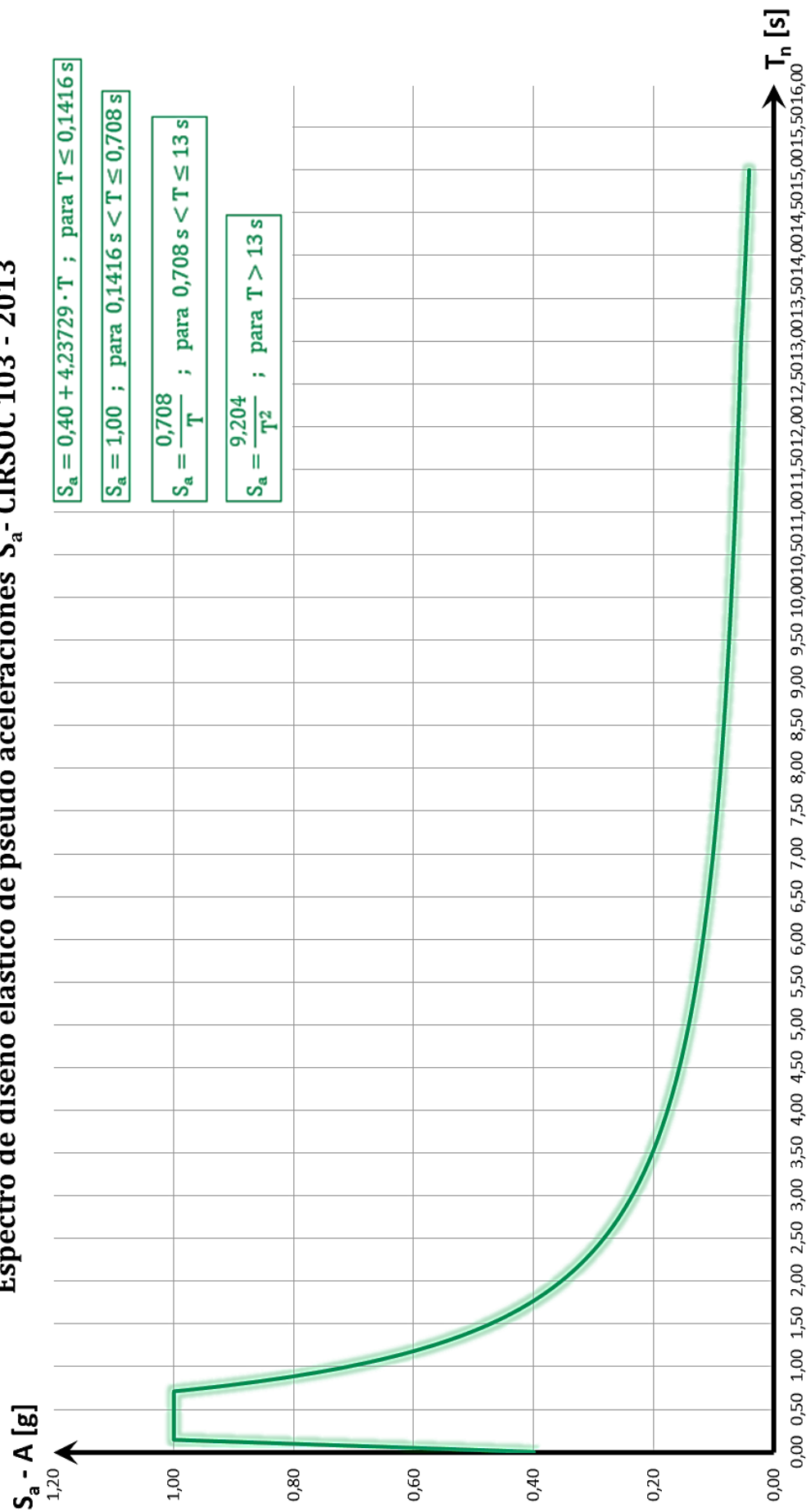


Figura 1.16: Espectro de diseño elástico de pseudo-aceleraciones según IC-103



En caso de querer determinar el espectro de pseudo-velocidades y el de desplazamientos, operamos:

$$\frac{S_a(T_n)}{g} = \text{dato [g]}$$

$$S_v(T_n) = \frac{S_a(T_n)}{\omega_n} \cdot g = \left(\frac{T_n}{2 \cdot \pi} \right) \cdot S_a(T_n) \cdot g \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$$

$$S_d(T_n) = \frac{S_a(T_n)}{\omega_n^2} \cdot g = \left(\frac{T_n}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot S_a(T_n) \cdot g \frac{S_v(T_n)}{\omega_n} \cdot g = \left(\frac{T_n}{2 \cdot \pi} \right) \cdot S_v(T_n) \cdot g \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \right]$$

$$g = 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

Con estas ecuaciones tabulamos los valores en Excel y obtenemos las gráficas correspondientes a los espectros de diseño elástico de pseudo-velocidades y desplazamientos según el reglamento CIRSOC 103 – 2013:

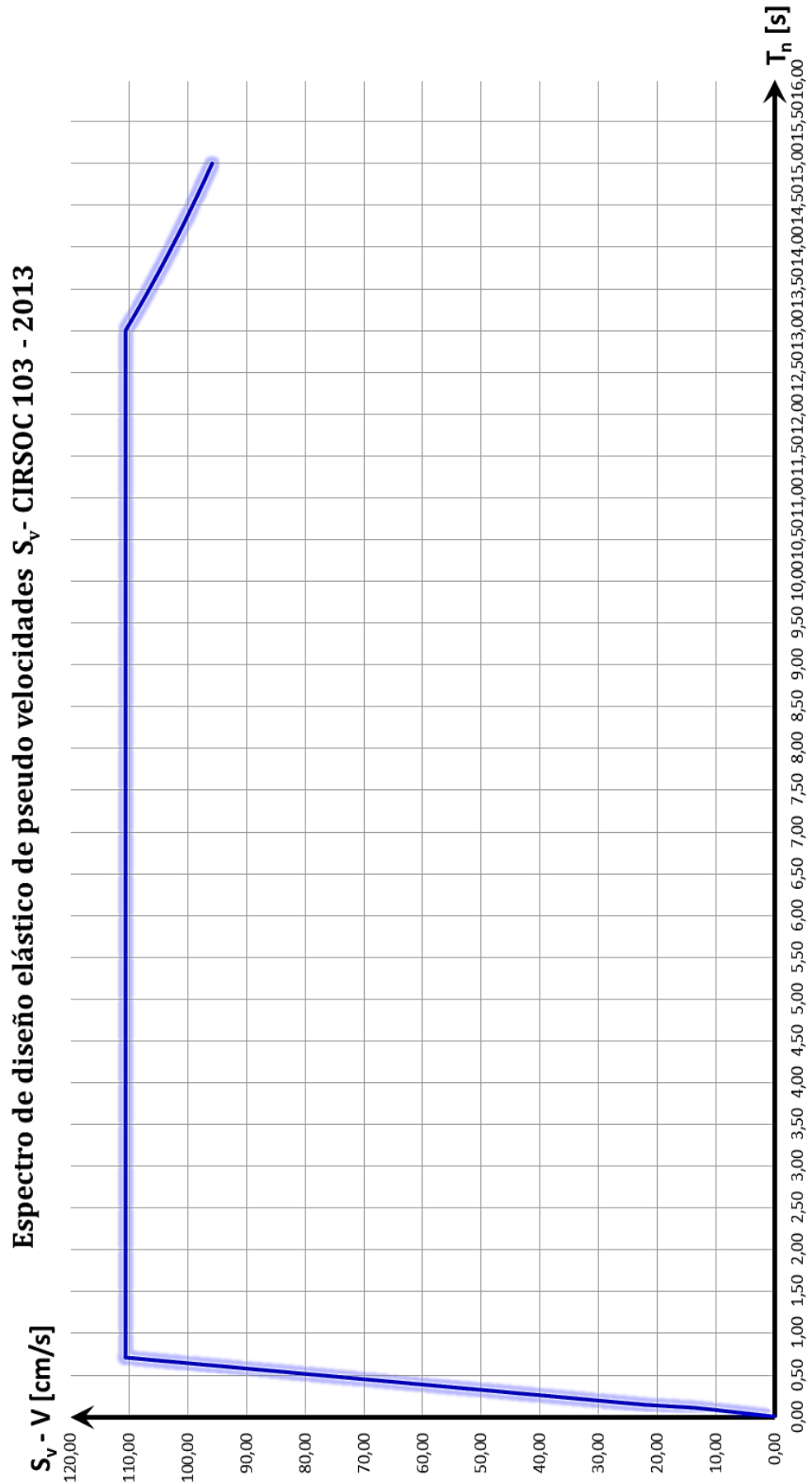


Figura 1.17: Espectro de diseño elástico de pseudo-velocidades según IC-103

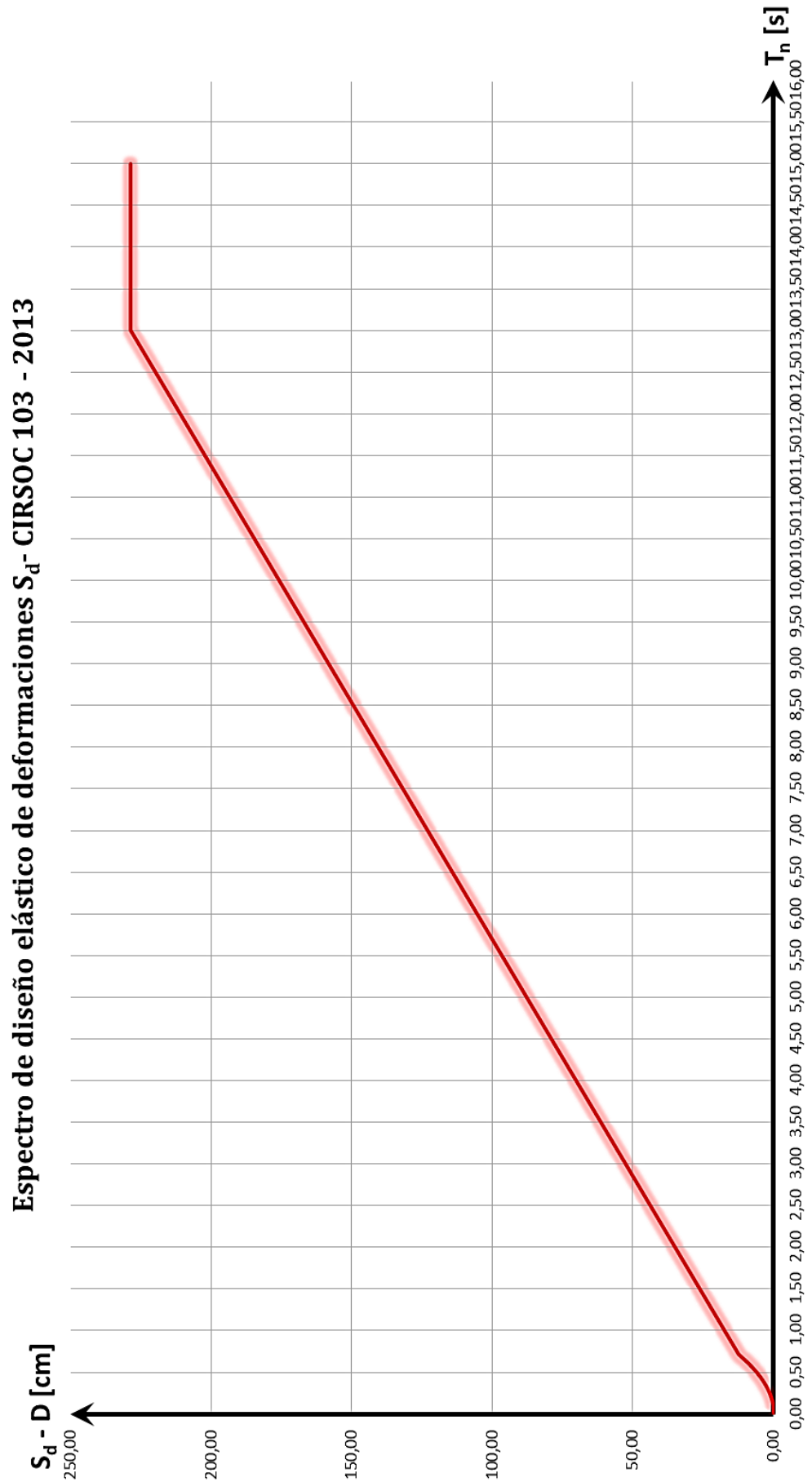


Figura 1.18: Espectro de diseño elástico de pseudo-velocidades según IC-103



Luego de haber determinado los tres espectros, procedemos a determinar el periodo fundamental aproximado, con el que calcularemos el periodo límite, el cual, luego de determinar los periodos de la estructura con el software, nos permitirá saber si se procederá a calcular con los periodos obtenidos por elementos finitos o si se deberá adoptar este último en caso que den menores a él.

Como nuestra estructura consta de 100% tabiques, este sistema constructivo, según la tabla siguiente, se corresponde a "Otros sistemas estructurales":

Tipo Estructural	C_r	x
Sistemas tipo pórtico de acero que resisten el 100% del corte basal requerido sin incorporación de componentes que restrinjan deformaciones (p. ej. mampostería, diagonales).	0,0724	0,80
Sistemas tipo pórtico de hormigón armado que resisten el 100% del corte basal sin incorporación de componentes que restrinjan deformaciones (p. ej. mampostería, diagonales).	0,0466	0,90
Sistemas tipo pórticos de acero con diagonales excéntricas o diagonales de pandeo restringido.	0,0731	0,75
Otros sistemas estructurales	0,0488	0,75

Tabla 1.9: Valores de C_r y x para la determinación del periodo fundamental aproximado (Tabla 6.2 IC-103)

Y así, reemplazando, considerando una altura total del bunker de 4 m, obtenemos:

$$T_a = C_r \cdot H^x$$

$$T_a = 0,0488 \cdot (4 \text{ m})^{0,75}$$

$$T_a = 0,138 \text{ s}$$

Obteniendo luego el periodo límite de:

$$T_{\text{lím}} = C_u \cdot T_a$$

$$T_{\text{lím}} = 1,40 \cdot 0,138 \text{ s}$$

$$T_{\text{lím}} = 0,193 \text{ s}$$

Como se mencionó, en el caso en que $T_{x,y,z,\theta} < T_{\text{lím}}$, se adoptará como periodo de cálculo el condicionante de $T_{\text{lím}}$, caso contrario, los determinados por el calculista. Ellos son:

W (Peso Total)= 293.29 t
g (gravedad)= 981 cm/s²
m (masa)= 0.2990 t s²/cm
Kx(Rigidez)= 7950.50 t/cm
Ky(Rigidez)= 16267.82 t/cm

Periodo de la Estructura (T):		T (seg)	Sa
Tx =	0.039 seg.	0.039	0.563
Ty =	0.027 seg.	0.027	0.514

$$\gamma_r = 1.5 \quad \text{Factor de Riesgo}$$

$$R_x = 3.5 \quad \text{Factor de Reduccion Global en X}$$

$$R_y = 3.5 \quad \text{Factor de Reduccion Global en Y}$$



$$T_x = 0,039 \text{ s} \rightarrow T_x < T_{\text{lím}} \rightarrow T_{\text{lím}} = T_{\text{definitivo}}$$

$$T_y = 0,027 \text{ s} \rightarrow T_y < T_{\text{lím}} \rightarrow T_{\text{lím}} = T_{\text{definitivo}}$$

Ya definida la pseudo-aceleración espectral para el cálculo procedemos a calcular el coeficiente sísmico global para ambas direcciones, el cual me permitirá definir la fuerza sísmica máxima que se da a nivel basal en la construcción, llamada "Corte Basal".

$$\text{Según Art. 6.2.2} \begin{cases} C = 2,5 \cdot \frac{C_a \cdot \gamma_r}{R} & \text{para } T \leq T_2 \\ C = \frac{S_a \cdot \gamma_r}{R} & \text{para } T \geq T_2 \\ C \geq 0,8 \cdot \frac{a_s \cdot N_v}{R} = C_{\text{Lím}} & \text{para zona sísmica 3 y 4} \end{cases}$$

$$C_{x;y,z,\theta} = C \quad ; \quad T = (T_{x;y,z,\theta}; T_{\text{lím}})$$

Donde el factor R es el factor de reducción global, el cual definiremos por igual para ambas direcciones según los datos brindados por el calculista:

Mater.	Nº	Tipo Estructural	R	C_d	Ω_o
Estructuras de hormigón armado	1	Tabiques aislados y acoplados (a)	$R = \frac{3A+5}{z}$ $5/z \leq R \leq 7$	R	2,5
	2	Pórticos con ductilidad completa (b), (c)	7	5,5	3
	3	Sistema dual Pórtico-Tabique	6	5	2,5
	4	Estructuras con diagonales concéntricas (d)	4	4	2,5
	5	Estructuras rigidizadas con diagonales excéntricas	6	4	2,5
	6	Columnas en voladizo	2,5	2,5	1,5
	7	Estructura con ductilidad limitada (b)	3,5	3,5	2,5
Estructuras de mampostería	Ladrillos Cerámicos Macizos				
	8	Encadenada simple	3	2,3	2,5
	9	Encadenada armada	3,5	2,5	2,5
	10	Reforzada con armadura distribuida	4	3	2,5
	11	Sin encadenados	1,5	2	2
	Bloques Huecos Portantes Cerámicos				
	12	Encadenada simple	2	2,3	2,5
	13	Encadenada armada	2,5	2,5	2,5
	14	Reforzada con armadura distribuida	3	3	2,5
	Bloques Huecos Portantes de Hormigón				
	15	Encadenada simple	2,5	2,3	2,5
	16	Encadenada armada	3	2,5	2,5
	17	Reforzada con armadura distribuida	3,5	3	2,5

Tabla 1.10: Valores de C_r y x para la determinación del periodo fundamental aproximado

$$C_{\text{Lím } x;y} = 0,8 \cdot \frac{a_s \cdot N_v}{R} = 0,8 \cdot \frac{0,35 \text{ g} \cdot 1,2}{3,5} \rightarrow C_{\text{Lím } x;y} = 0,09 \text{ [g]}$$

$$C_{x;y} = 2,5 \cdot \frac{C_a \cdot \gamma_r}{R} = 2,5 \cdot \frac{0,4 \text{ g} \cdot 1,5}{3,5} \rightarrow C_{x;y} = 0,429 \text{ [g]} \rightarrow C_{x;y} > C_{\text{Lím } x;y} \rightarrow \text{VERIFICA}$$



1.5 SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

1.5.1 CONCEPTOS GENERALES

En términos generales, los sistemas de aislación sísmica limitan la energía que el sismo trasfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones de la estructura aislada, previniendo el daño estructural y no estructural. La Figura 4.1 muestra una comparación del comportamiento, ante la acción de un sismo, de un edificio sin aislación y un edificio con aislación sísmica. Por su parte, los sistemas de disipación de energía, si bien no evitan el ingreso de energía a la estructura, permiten que la disipación de energía se concentre en dispositivos especialmente diseñados para esos fines, reduciendo sustancialmente la porción de la energía que debe ser disipada por la estructura. El uso de disipadores de energía reduce la respuesta estructural, disminuyendo el daño de componentes estructurales y no estructurales. La Figura 4.2 muestra la comparación del comportamiento de un edificio sin dispositivos de disipación de energía y un edificio con disipadores de energía.

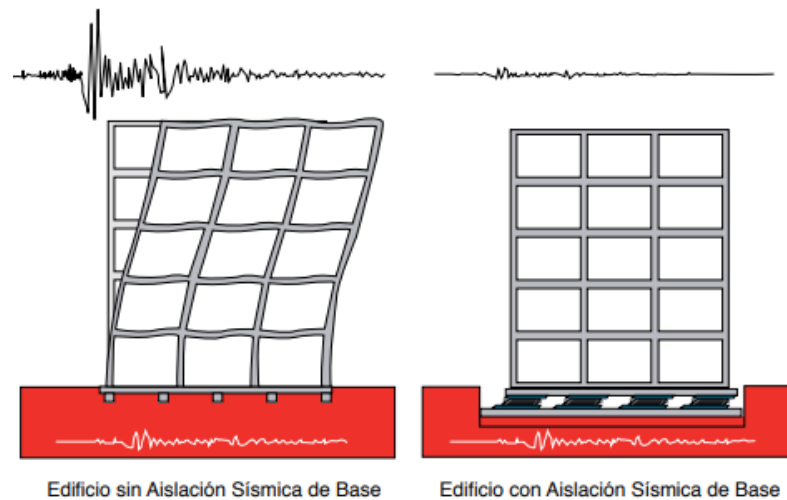


Figura 1.19: Comparación de respuesta sísmica de edificio sin aislación y edificio con aislamiento basal

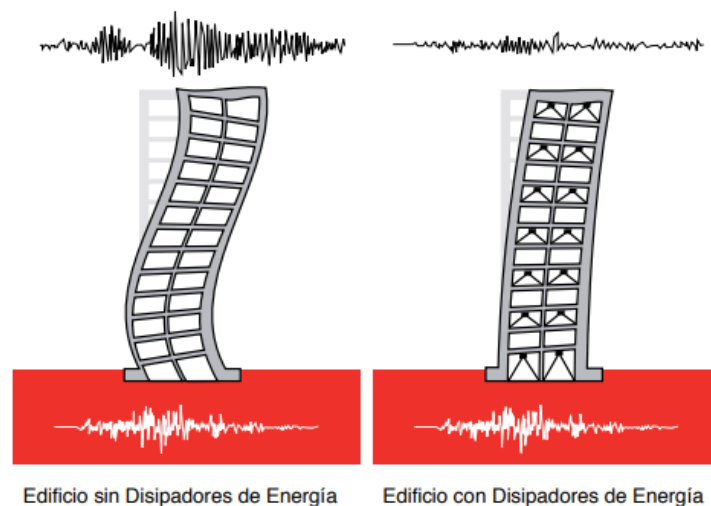


Figura 1.20: Comparación de edificio sin disipadores y edificio con disipadores de energía



1.5.2 COMPORTAMIENTO DE MÁQUINAS FRENTE A ACCIONES VIBRATORIAS

Si observamos el esquema con el que comenzamos el informe podemos notar la estructura será quien reciba primeramente las aceleraciones que le imprime el suelo durante el sismo, pero, ¿y qué sucede con este circuito en el caso en el que sobre la estructura se encuentren objetos o personas? La respuesta es la siguiente: Una vez que la estructura haya “absorbido” las aceleraciones y las haya transformado en fuerzas que son distribuida en cada uno de los elementos sismorresistentes, nivel a nivel, los equipos y personas (de ahora en más sólo nos centraremos en el equipamiento) recibirán aceleraciones de distinta magnitud a la estructura por cada nivel debido al “filtro” que impone ella misma sobre éstos, generando así un nuevo input, por cada nivel de piso. Este acelerograma que excita al subsistema luego se transformaría en espectro y luego en historia de respuesta para finalmente conocer las deformaciones y estado tensional crítico del equipo, pero si este proceso se hiciera manualmente se tornaría demasiado engorroso y extenso, llevando a su vez a cometer errores acumulativos en el cálculo. Es así que para estos análisis se utilizan softwares de elementos finitos. En ellos se modelan los equipos y la estructura, los cuales deben ser ubicados y “enlazados” nodalmente con las mallas de elementos finitos, generando automáticamente un acople y dependencia *estructura-equipo*. El nuevo circuito explicado se podría describir sintéticamente como:

- a. **Input estructural:** El terreno libera energía que se traduce en aceleraciones que se transportan como ondas que llegan a la estructura;
- b. **Nexo estructural:** El edificio recibe las aceleraciones y transforma en fuerzas a través de su masa;
- c. **Output estructural:** El edificio al transformar las aceleraciones en fuerzas por nivel, éstas generan de forma estática equivalente deformaciones y esfuerzos a través de conceptos de rigidez, flexibilidad y Leyes de Newton
- d. **Input instrumental:** Las fuerzas experimentadas en el edificio aceleran cada nivel en menor magnitud en altura, generando así un nuevo acelerograma a nivel de piso “k” de la estructura, el cual es el que recibe el equipo;
- e. **Nexo instrumental:** El equipo, tal como el edificio, recibe estas aceleraciones y filtra por medio de su masa y rigidez;
- f. **Output instrumental:** La máquina experimentará deformaciones (desplazamientos y rotaciones) y esfuerzos internos que pondrán a ésta en un estado crítico el cual podría llegar a dejar en desuso el instrumental, para lo cual deberemos planificar un método de aislamiento instrumental a nivel de base para que el filtro sea éste y no el equipo médico.

Este proceso conlleva a una respuesta dinámica de la estructura y del equipo, la cual se corresponde a la causa principal de los daños que sufren por un movimiento telúrico o terremoto, ya que como las aceleraciones se deben a la transferencia de ondas mecánicas (principalmente Rayleigh, de compresión y de corte) a través de un medio sólido (suelo), la magnitud y velocidad de ellas dependerá totalmente del tipo de terreno sobre el que se funda la estructura, ya que éste podrá amplificar o no el efecto destructivo sobre la estructura.

La respuesta sísmica de los objetos independientes ha sido ampliamente estudiada, destacándose, según el tipo de objeto y la superficie de apoyo, dos modos de respuesta fundamentales: el **balanceo o rocking** y el **deslizamiento o sliding**:

➤ **Respuesta traslacional (Sliding):**



- ✓ Horizontal (x);
- ✓ Horizontal (y);
- ✓ Vertical (z);

➤ **Respuesta rotacional:**

- ✓ Bamboleo (Rocking) (y);
- ✓ Cabeceo (Pitching) (x);
- ✓ Torsional (Twisting) (z).

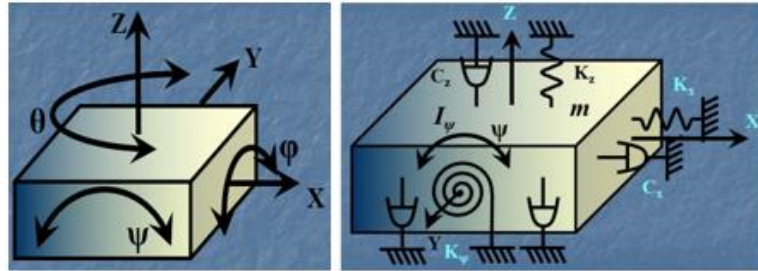


Figura 1.21: Grados de libertad en un cuerpo sometido a vibraciones

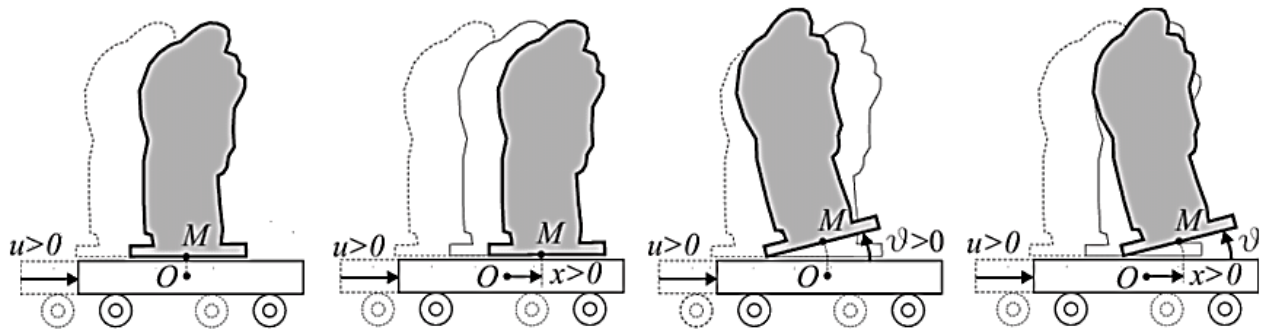


Figura 1.22: Fases del movimiento: (a) contacto total; (b) deslizamiento; (c) balanceo; (d) balanceo deslizante.

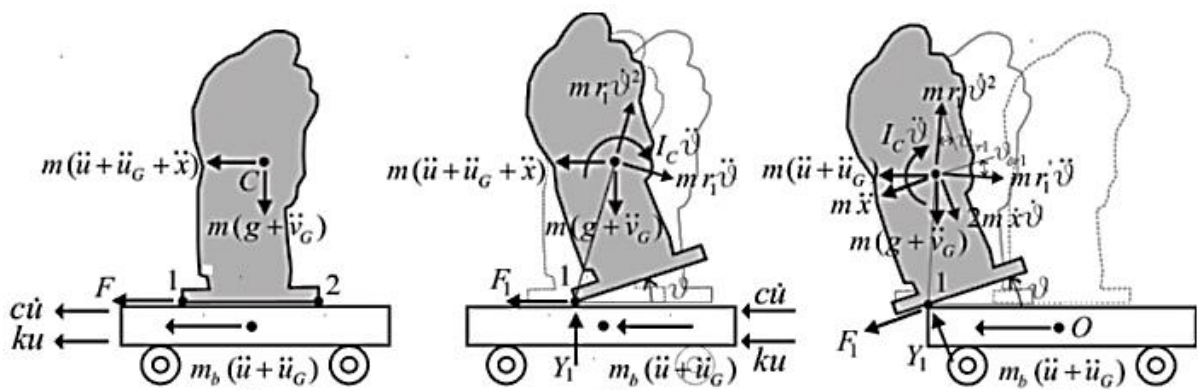


Figura 1.23: Fuerzas que actúan sobre un cuerpo rígido: (a) durante un movimiento de deslizamiento; (b) durante (deslizamiento) balanceo alrededor de la esquina 1; (c) durante el balanceo (deslizante) donde la esquina izquierda del cuerpo está fuera de la base oscilante.

Una técnica para evitar el desplazamiento de los equipos y componentes es el anclaje o fijación, sin embargo, presenta varios inconvenientes. En primer lugar, puede resultar muy costoso. Por otro lado, de acuerdo al sitio de instalación el anclaje del objeto



no siempre es factible. Finalmente, algunos estudios de prueba en mesa vibradora han mostrado que las aceleraciones máximas de los equipos anclados son significativamente (hasta siete veces) más grandes que las de los equipos independientes. Tales aceleraciones excesivas pueden dañar las partes internas de equipos sensibles a la aceleración y dan como resultado una pérdida de funcionalidad, por lo que el método de “aislación” se deberá analizar más adelante y extraer conclusiones de los resultados.

1.5.3 DISTINTOS TIPOS DE AISLADORES SISMICOS

1.5.3.1 Concepto General

Los aisladores sísmicos son una colección de elementos estructurales que tienen como fin desacoplar la superestructura de la subestructura del edificio para separar, literalmente, ésta del suelo y así proteger la integridad del edificio principalmente frente a las aceleraciones del sismo provenientes del terreno. El aislamiento sísmico es una herramienta de gran alcance de la ingeniería sísmica.

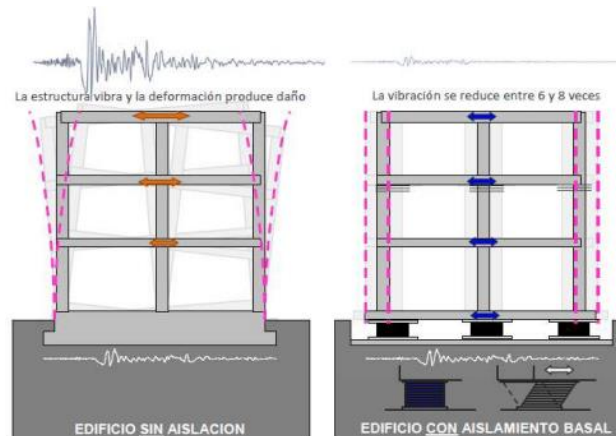


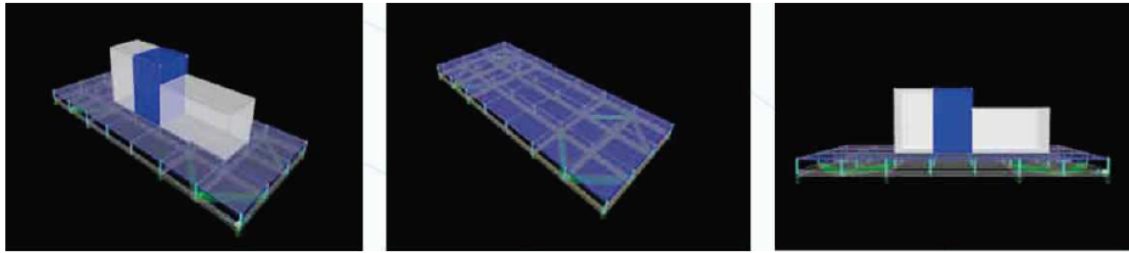
Figura 1.24: Comparación de respuesta sísmica de estructura sin aislamiento y con aislamiento de base

1.5.3.2 Aislamiento con plataformas de piso móviles

El aislamiento de piso se instala en el interior del edificio y no es parte de la estructura. El aislamiento tradicional se instala debajo de columnas y es parte integral de la superestructura. El mismo nivel de protección antisísmica puede lograrse con ambos sistemas.

Este sistema, desarrollado por la empresa Dynamic Isolation Systems, está compuesto por resortes multidireccionales, que tiene una rigidez muy baja en comparación con un aislador para edificios, y soportes rodantes de alta capacidad de carga en módulos estándar de 4 pies x 6 pies que se adaptan a baldosas de acceso estándar de 2 pies x 2 pies.

Están disponibles resortes con una rigidez de hasta 30 libras/pulg. El sistema es modular y puede ser utilizado como una plataforma de suelo aislada o como un sistema completo de piso.



Estos esquemas muestran el modelo informático SAP 2000 de un piso que se puso a prueba en la Universidad de Nevada, Reno. La medida del piso es 14 pies de ancho por 6 pies de profundidad. Hay módulos estándar de 4 pies por 6 pies en cada extremo, los cuales están unidos por largueros de 6 pies de largo. Los módulos se conectan a las unidades de muelles multi-direccionales y contienen rodillo y soportes de deslizamiento. Las baldosas informáticas conforman la superficie superior del piso aislado.

Figura 1.25: Modelado de los sistemas de aislamiento de piso

El aislamiento de piso es una buena alternativa cuando el aislamiento de todo el edificio no es práctico ni económico. Los lugares ideales para la utilización de este sistema son los centros de datos, equipos hospitalarios, procesos de fabricación de alta tecnología, obras de arte y productos valiosos tales como vacunas que requieren mayor protección sísmica que el proporcionado por una estructura convencional.

El sistema de aislamiento de piso de DIS fue probado en la mesa vibratoria de la Universidad de Nevada, Reno en el cual se obtuvo un rendimiento excelente. Para esta prueba, la aceleración máxima se redujo de 2g a 0,4g. Las aceleraciones espectrales también se redujeron hasta por un factor de cinco.



Foto 1.2: Piso aislado a escala completa con foso sísmico



Foto 1.3: Instalación de un piso aislado de 16.000 pies cuadrados en la instalación de investigación y teoría computacional de UC Berkeley

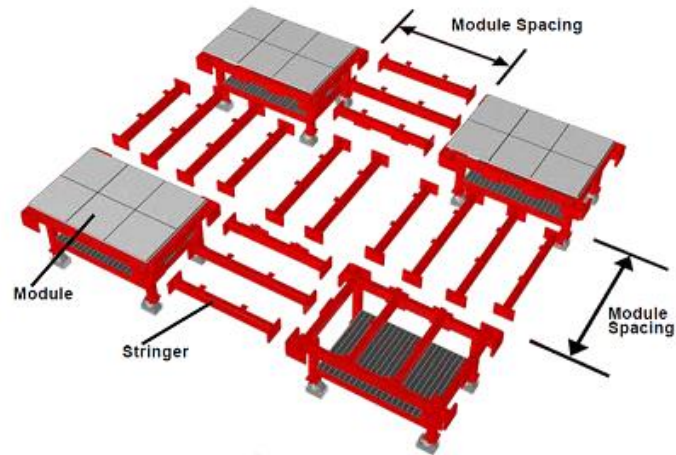


Figura 1.26: Partes del sistema de aislación de pisos

1.5.3.3 Sistema de aislamiento modular

El sistema de aislamiento modular, también patentado por la empresa Dynamic Isolation Systems, está compuesto por resortes multidireccionales y soportes rodantes de alta capacidad de carga alojados dentro de un atractivo marco de acero. El marco coincide con el tamaño de un centro de datos modular estándar y solo mide 12" (300 mm) de altura.

Durante eventos sísmicos, el MIS (Modular Isolation System) desacopla el centro de datos del suelo y absorbe la energía sísmica, sin afectar al centro de datos ni a su equipo.

Los MIS estándar están diseñados para centros de datos modulares de 25.000 a 65.000 libras en regiones sísmicas de moderadas a altas. Hay soluciones personalizadas disponibles para cualquier aplicación.



Foto 1.4: Sistema de aislamiento modular en Costa Rica. Se comportó de manera excepcional frente a un terremoto magnitud 7.6 en 2012



Figura 1.27: Diferentes tipos de Sistemas de aislamiento modular

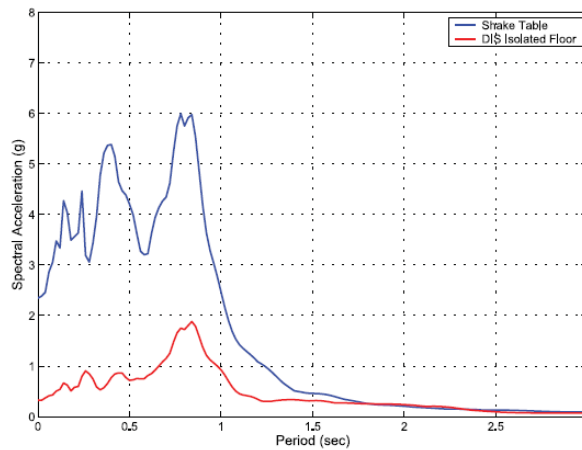


Figura 1.28: Reducción de la respuesta espectral con el uso de este sistema

1.5.3.4 Plataformas aisladas

Las Plataformas Aisladas, también patentada por DIS, se compone de resortes multidireccionales y soportes rodantes de alta capacidad alojados dentro de un atractivo marco de acero. Los módulos están disponibles en tamaños estándar (4 pies x 4 pies) y extendidos (4 pies x 6 pies).

Las plataformas se pueden atornillar juntas en los cuatro lados para crear diseños personalizados, como para admitir servidores individuales o una fila larga de racks de servidores.

Las alturas de la plataforma varían de 7 a 11 pulgadas, dependiendo de la capacidad de carga requerida. Además, están diseñadas para cargas de piso de 100 psf a 500 psf en regiones sísmicas de moderadas a altas. Hay disponibles soluciones diseñadas a medida para adaptarse a cualquier aplicación.

Las plataformas aisladas brindan protección contra el tiempo de inactividad del servidor y los daños a los equipos por un terremoto, ya que reducen las fuerzas a los equipos logrando que permanezcan intactos, operativos y en línea.

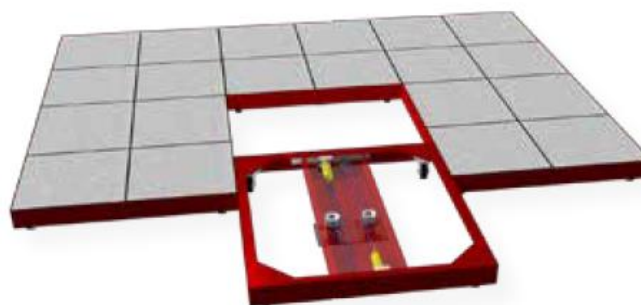


Foto 1.5: Módulo de plataformas aisladas



Foto 1.6: Las plataformas usan baldosas de computadora de tamaño estándar



Foto 1.7: La plataforma aislada de 40 pies de largo alberga dos bancos de servidores y equipos de TI

1.5.3.5 Aisladores elastoméricos

Los aisladores elastoméricos están conformados por láminas de caucho natural intercaladas con placas de acero, las cuales son vulcanizadas entre sí. El caucho se comporta como resorte horizontal con una rigidez lateral pequeña para proveer el desplazamiento requerido, y vertical con una rigidez mayor, pero no la suficiente para cubrir la demanda requerida. Para incrementar la a un nivel muy elevado lo que se hace es intercalar capas delgadas de caucho reforzadas con cuñas de acero. Gracias a su composición, se logra obtener un gran desplazamiento horizontal y una alta rigidez vertical. Estos dispositivos son fabricados a medida para cada proyecto, de acuerdo a la rigidez horizontal, rigidez vertical, desplazamiento, capacidad de carga y capacidad de amortiguamiento requerida.

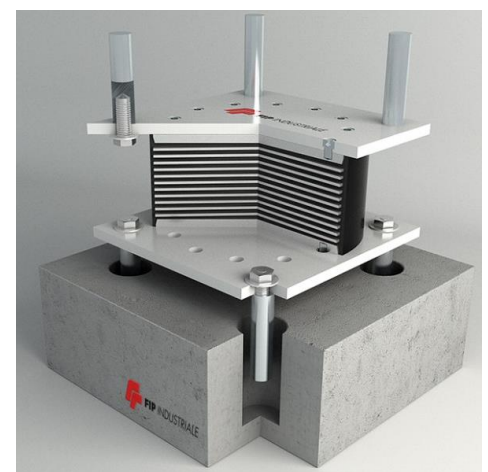
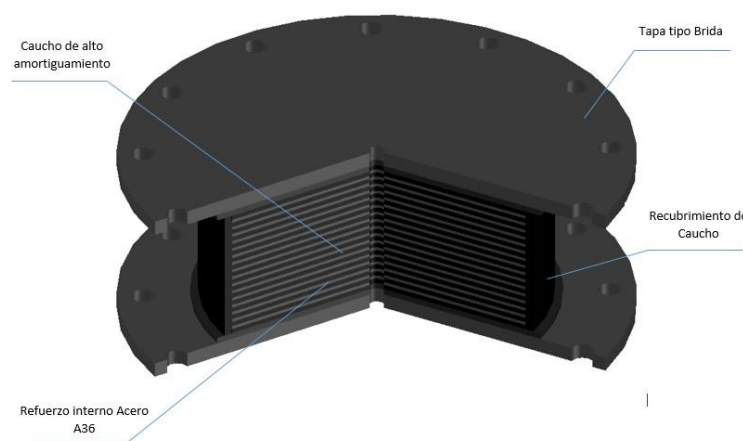


Figura 1.29: Aisladores elastoméricos y sus partes



Los distintos tipos de aisladores elastoméricos son:

- Aisladores Elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB).
- Aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo (LRB).
- Aisladores Elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB).
- Aisladores Elastoméricos con superficie deslizante.

Los mismos serán explicados detalladamente en el Capítulo: “DISEÑO CUALITATIVO DE DISPOSITIVOS DE AISLACIÓN SÍSMICA”.

1.5.3.6 Aisladores de péndulo de fricción (FPS)

Los dispositivos emplean el peso propio de la estructura para recentrar a la estructura aislada, de tal manera de minimizar los desplazamientos finales permanentes. Poseen un patín que desliza sobre una superficie esférica de acero inoxidable y está recubierto por Politetrafluoroetileno (PTFE o simplemente Teflón), que posee un coeficiente de fricción bajo y tiene como objetivo evitar la ralladura de la superficie esférica de acero.

Básicamente se conocen tres tipos de aisladores de péndulo de fricción:

- Primera generación: Tiene una superficie cóncava y una recta.
- Segunda generación: Ambas placas son cóncavas.
- Tercera generación, Básicamente se tiene un aislador dentro de otro.



Se observan los tres tipos de Aisladores Primera, Segunda y Tercera generación, respectivamente.

Figura 1.30: Tipos de aisladores de péndulo de fricción

Los mismos serán explicados detalladamente en el capítulo “DISEÑO CUALITATIVO DE DISPOSITIVOS DE AISLACION SISMICA”.

1.5.3.7 Aisladores helicoidales o de resortes de acero

Los sistemas de resortes para aislamiento sísmico fueron originalmente diseñados para controlar las vibraciones que generaban las turbinas en plantas hidroeléctricas y, posteriormente, extendidos a construcciones civiles (Nawrotzki P., 2001). El aislador está conformado por paquetes de resortes con baja rigidez en sentido horizontal y vertical, sin embargo, para aumentar el amortiguamiento del sistema de aislamiento se instalan en paralelo con amortiguadores visco-elásticos.

La cantidad de resortes que componen el paquete es función de la rigidez vertical, horizontal y de las capacidades a cargas estáticas y dinámicas impuestas por las acciones en servicio y sísmicas.



La rigidez horizontal y vertical de los resortes son funciones del módulo de corte del material del resorte, diámetro de la espira que conforma el resorte, número de espiras activas, diámetro exterior del resorte y altura libre del resorte (Tornello M., 2012). La rigidez lateral de los resortes, sujetos a acciones dinámicas se encuentra influenciada por un efecto combinado de flexión y torsión (Nawrotzki P., 2001).



Foto 1.8: Aisladores helicoidales. (a) Aislador de resortes utilizados en la residencia universitaria de la UTN-FRM



CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Como mencionamos en los objetivos de este proyecto, buscaremos proponer una alternativa de protección sísmica en una institución hospitalaria o donde se realicen estudios médicos de alta complejidad, con el fin de resguardar la integridad física tanto de las personas que trabajen allí y de pacientes, como de la estructura edilicia y elementos no estructurales, poniendo especial énfasis en los equipos de alta complejidad.

Para nuestro proyecto elegimos la ampliación a realizarse en la Fundación Escuela Medicina Nuclear (FUESMEN), ubicada en calle Garibaldi 405, Ciudad, Mendoza, detrás del Hospital Central. Esta institución se corresponde a la Sede Central, inaugurada en 1991. Cuenta con cinco plantas, 15 servicios y las dependencias administrativas correspondientes.

Sitio web oficial: <https://www.fuesmen.edu.ar/sede-central/>

El proyecto consta de la construcción de un edificio de dos plantas, con una superficie total de 785 m², con frente a calle Garibaldi, entre el edificio existente de FUESMEN y el Centro de Hemoterapia:

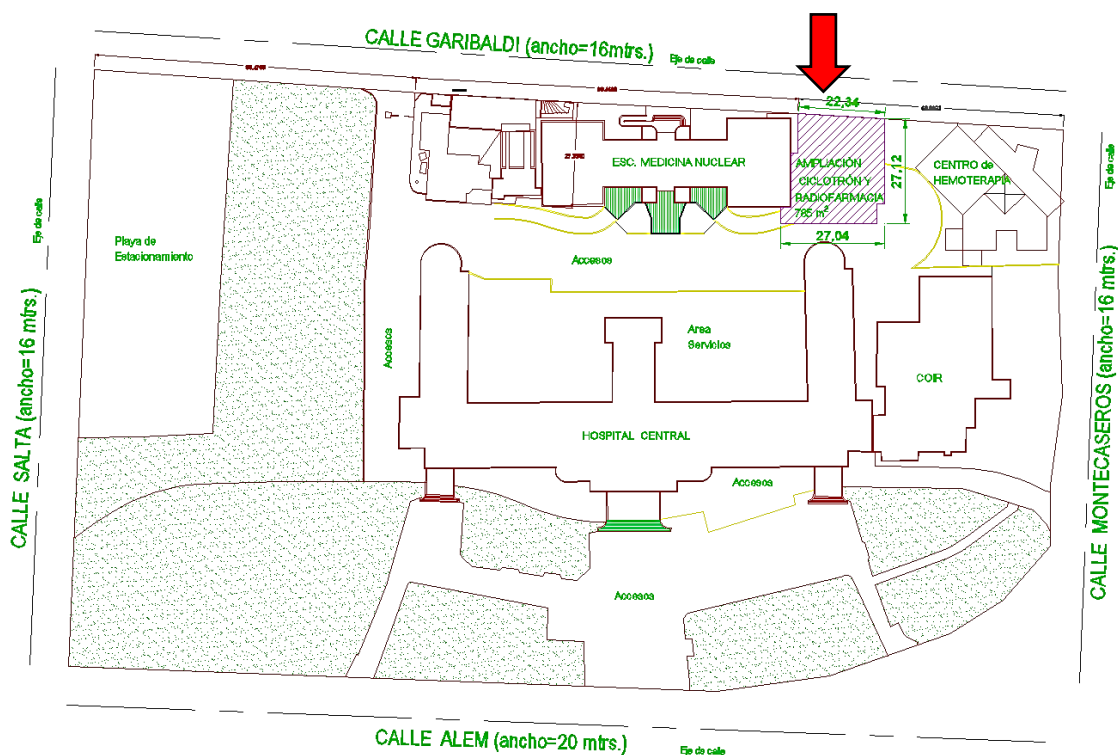


Figura 2.1: Planimetría del proyecto



Figura 2.2: Ubicación de la ampliación (Google Maps)

Esta ampliación tendrá como principal objetivo la producción y aplicación de radiofármacos en pacientes. Para ello se dispondrá de un ciclotrón *Ciclone 11* en el interior de un búnker de hormigón armado en planta baja.

Este aparato consiste en un instrumental de altísima complejidad de uso médico, compacto y auto blindado para evitar fugas de radiación, que produce radioisótopos utilizados en aplicaciones médicas mediante la aceleración de partículas. En el capítulo denominado “Selección de equipos médicos de alta complejidad” se explica en mayor profundidad el funcionamiento del mismo.

Ya introducido el equipo al cual aislar, se procede a describir de forma sintética el proyecto general a desarrollarse, concluyendo en el enfoque estructural sobre el búnker que contendrá el ciclotrón, para el cual propondremos un sistema de aislación sísmica estructural con fines de protección del equipo, ya que, por obvias razones, la estructura ante cualquier sismo jamás se dañaría, y más adelante veremos el porqué.



PLANO DE ARQUITECTURA DE PLANTA BAJA:

A continuación, se adjunta plano de planta baja, el mismo posee una superficie de 604,00 m² de los cuales 61,70 m² corresponden al Búnker + laberinto para ciclotrón.

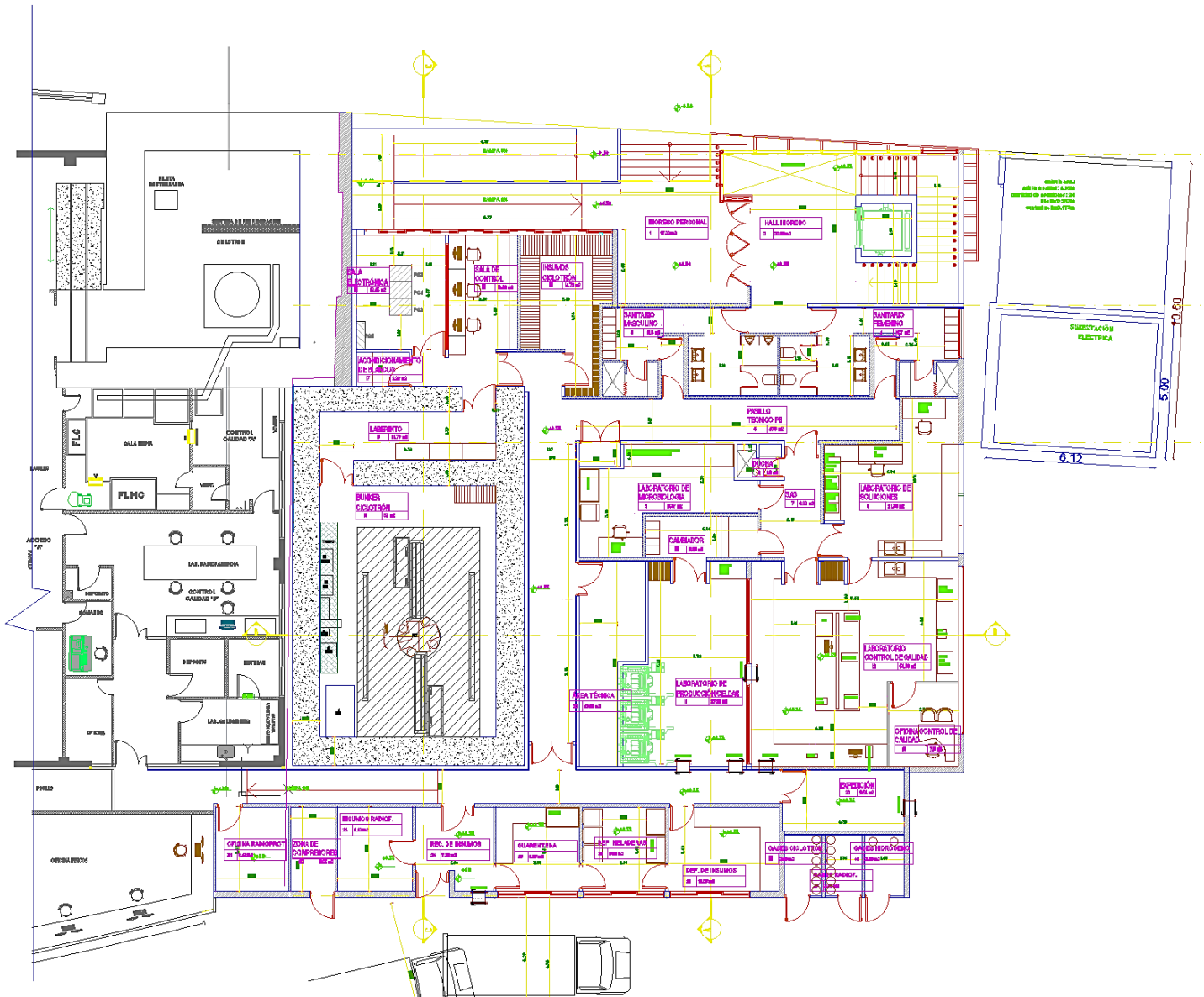


Figura 2.3: Plano de planta de PB de la ampliación



PLANO DE ARQUITECTURA DE PLANTA ALTA:

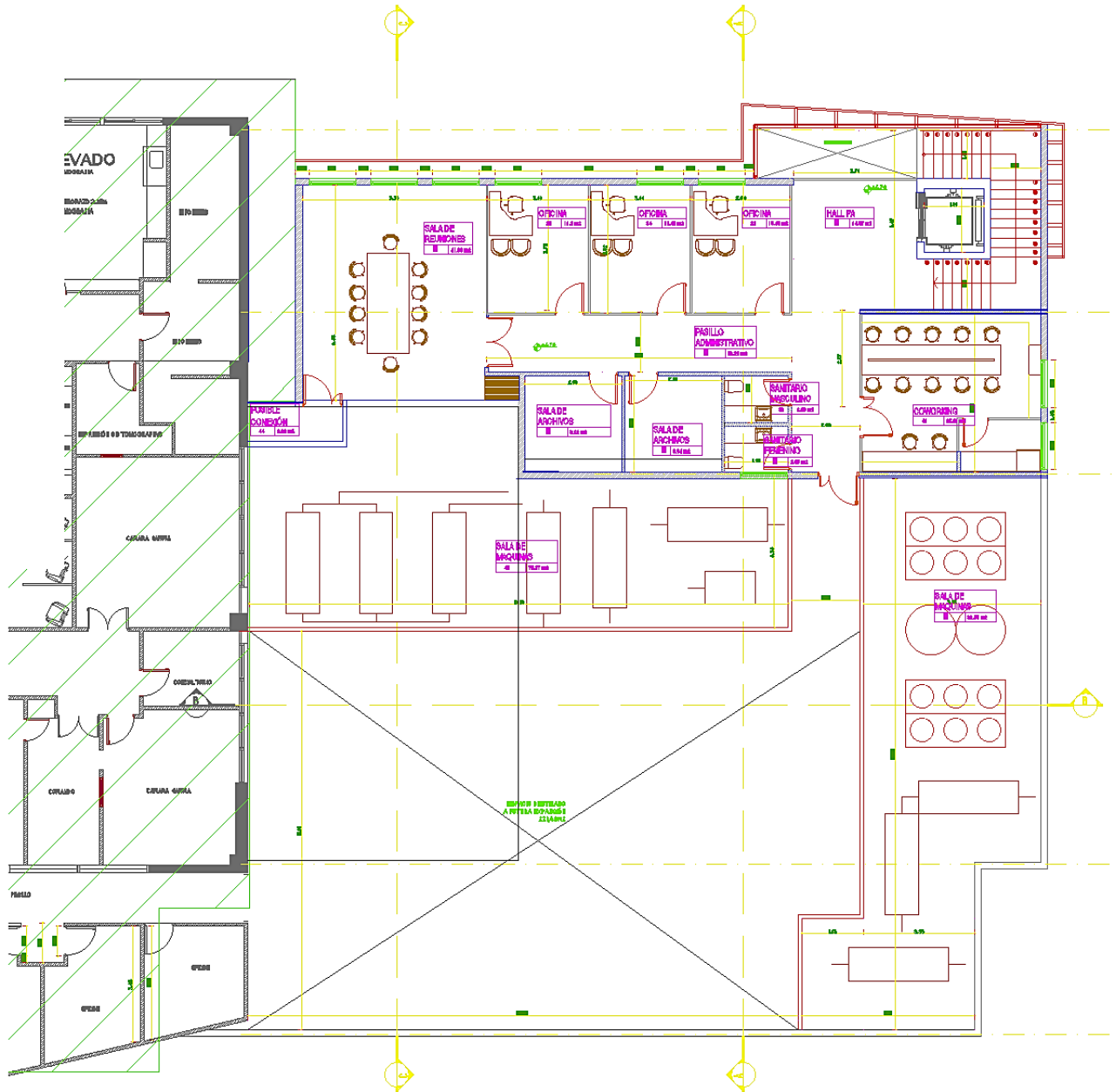
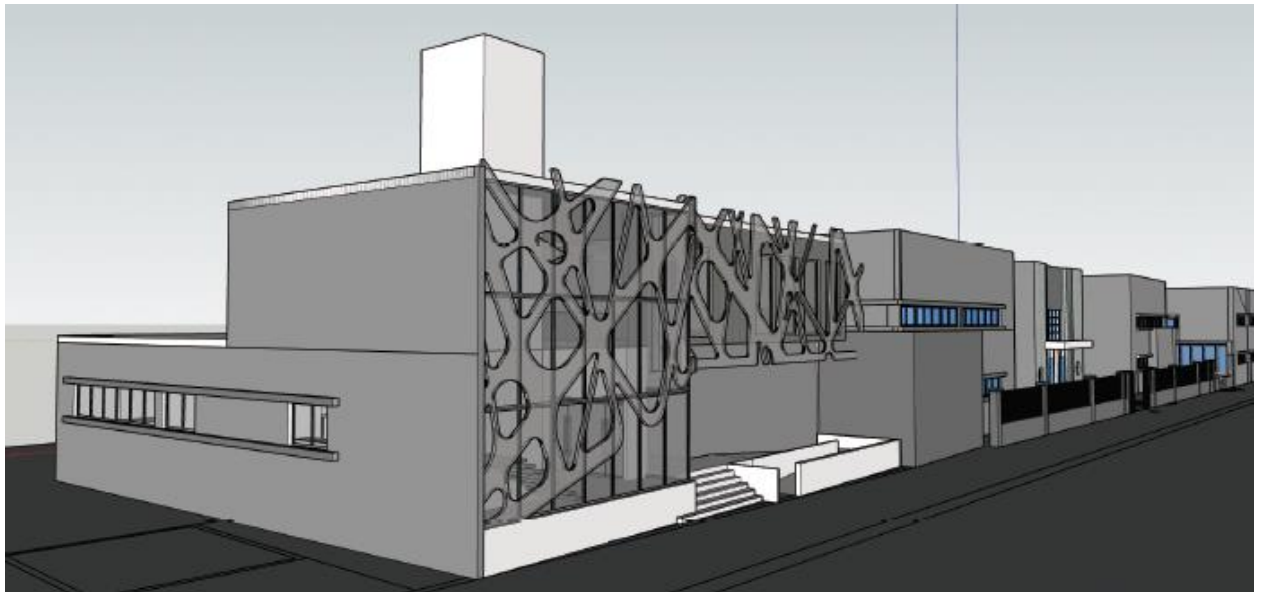


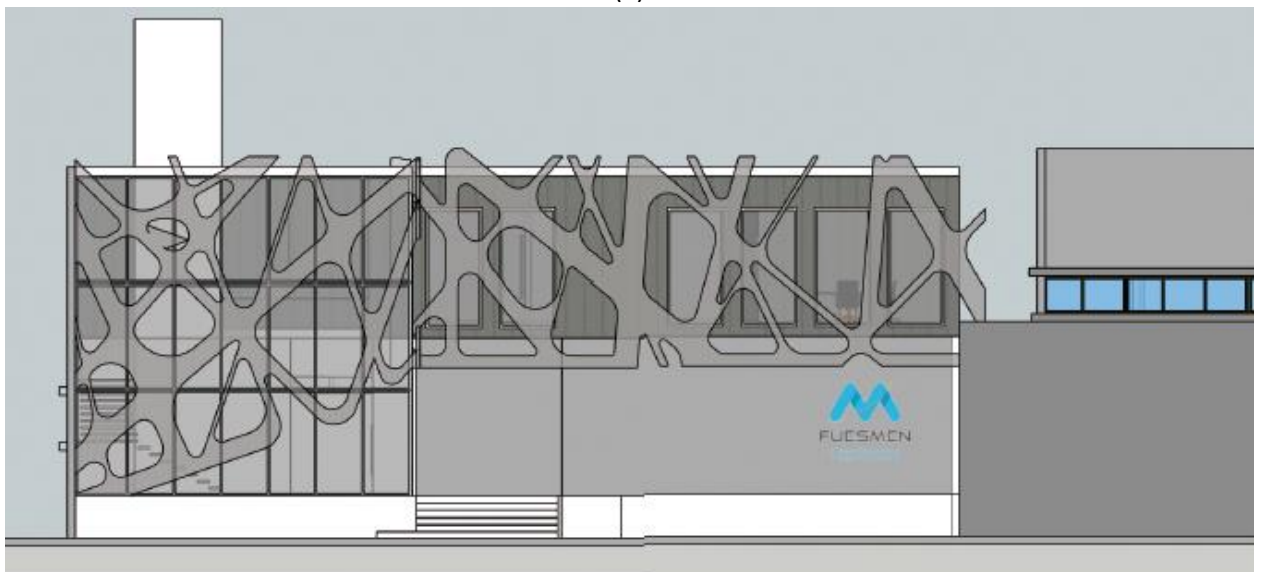
Figura 2.4: Plano de planta de PA de la ampliación



VISTAS Y CORTES 2D Y 3D:



(a)



(b)



(c)

Figura 2.5: (a), (b), (c): Vistas 2D y 3D de la ampliación junto a edificio existente de FUESMEN

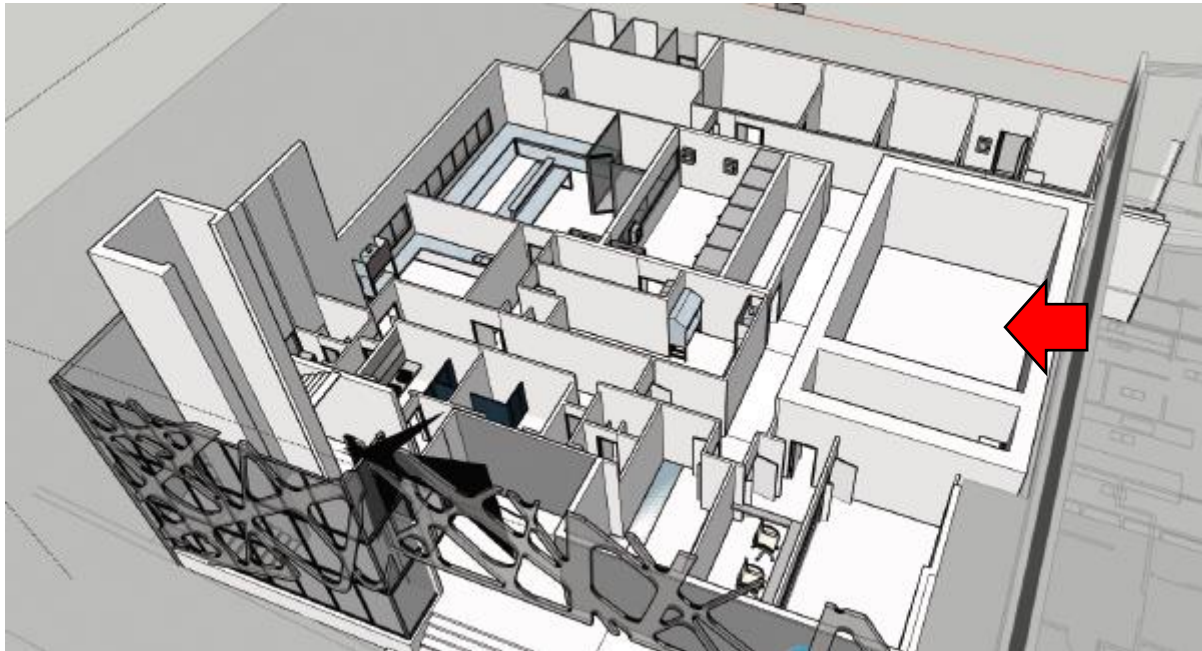


Figura 2.6: Vista/corte aérea 3D identificando la ubicación de la estructura de interés

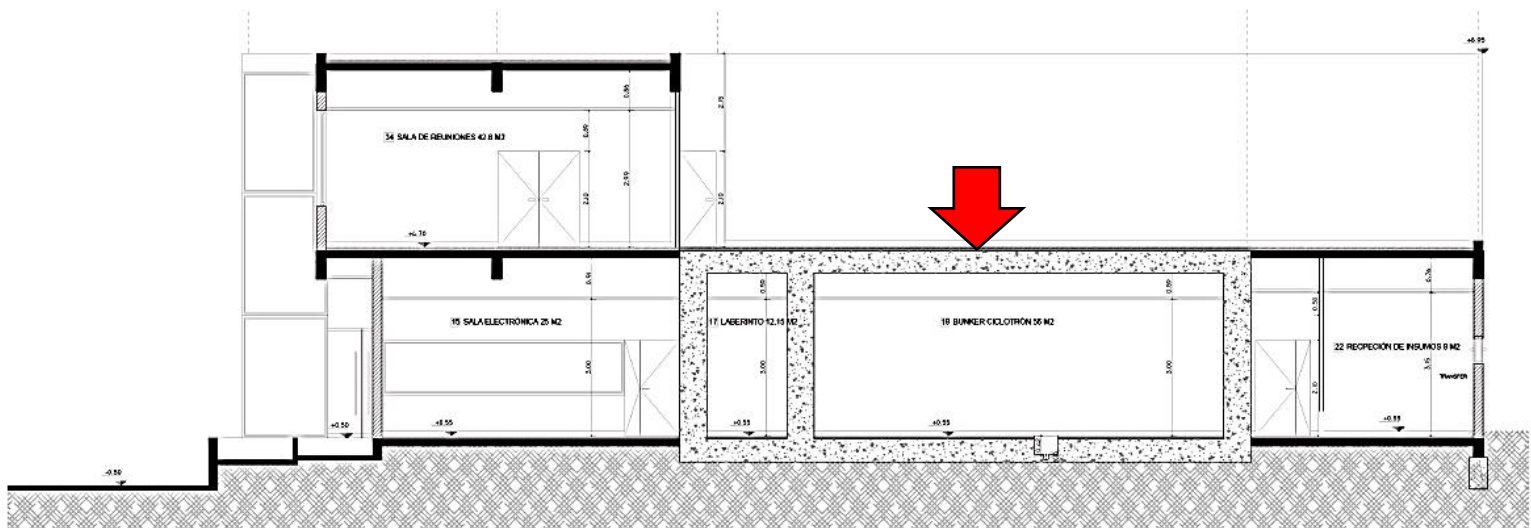


Figura 2.7: Corte longitudinal pasante por la estructura de interés

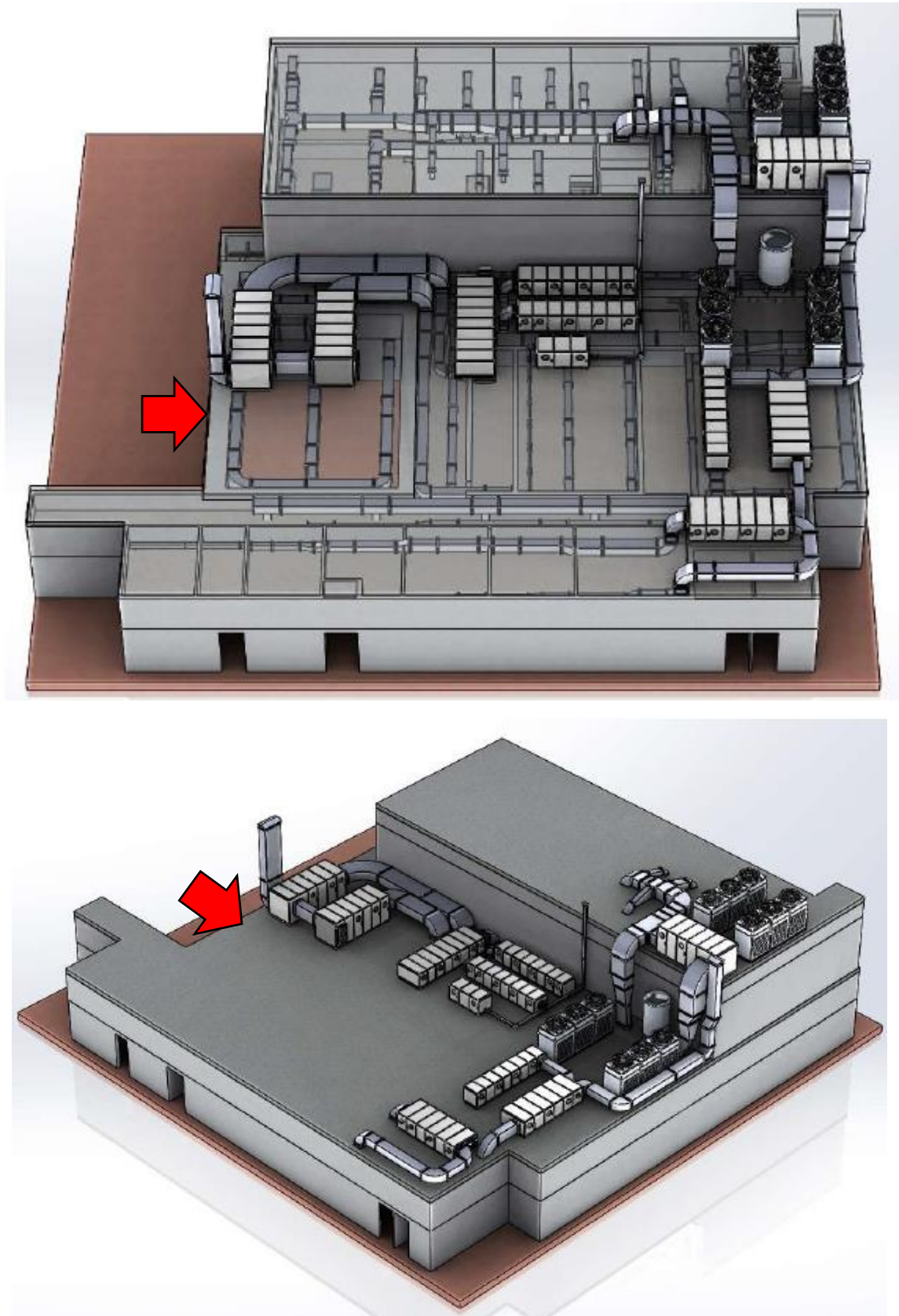


Figura 2.8: Vistas aéreas 3D con los sistemas de acondicionamiento de aire que se ubicarán en las losas/cubiertas de PB y PA, identificando la ubicación de la estructura de interés



PLANTAS Y DETALLES ESTRUCTURALES DEL BÚNKER:

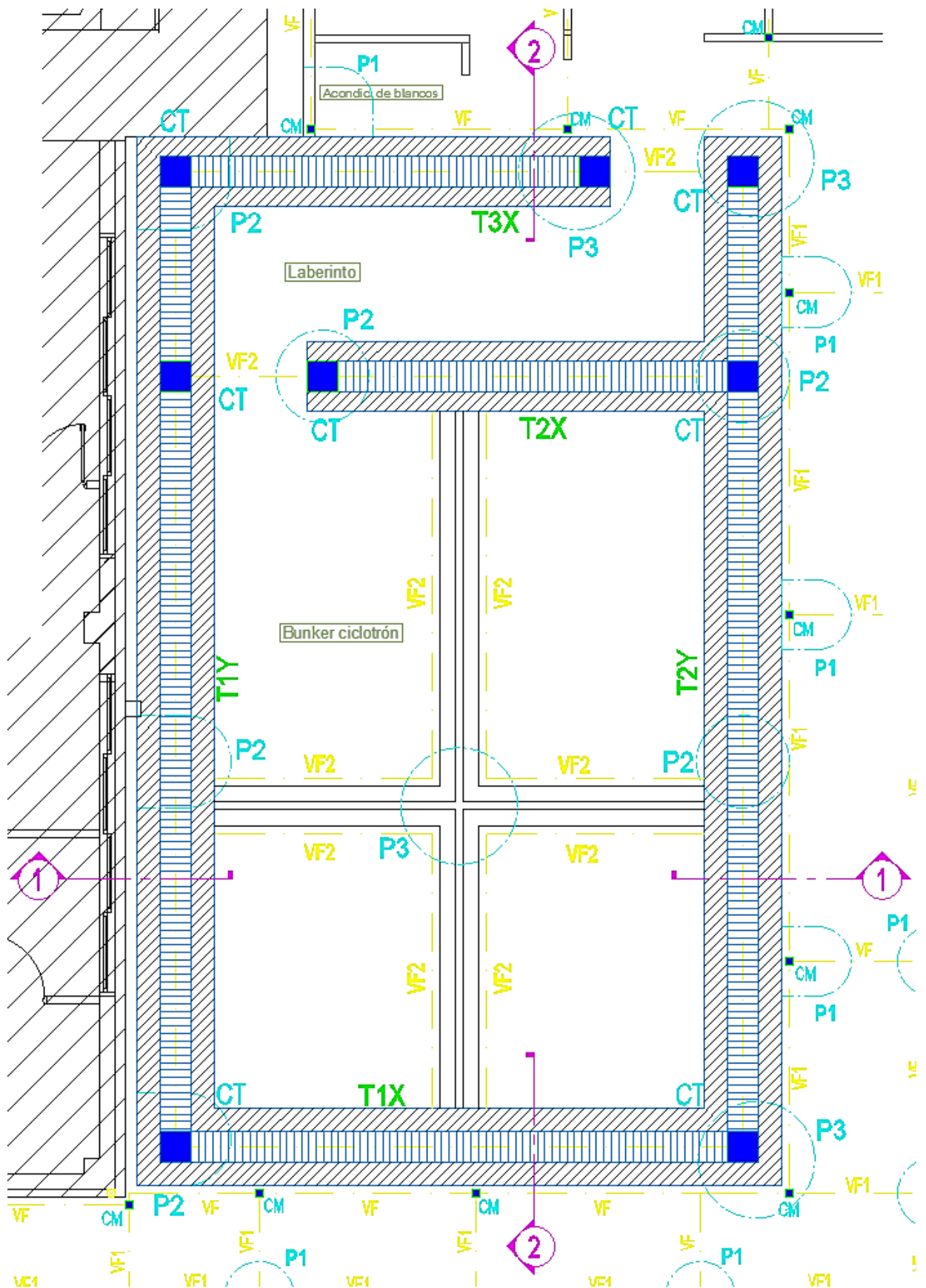


Figura 2.9: Planta estructural de fundaciones del bunker y laberinto

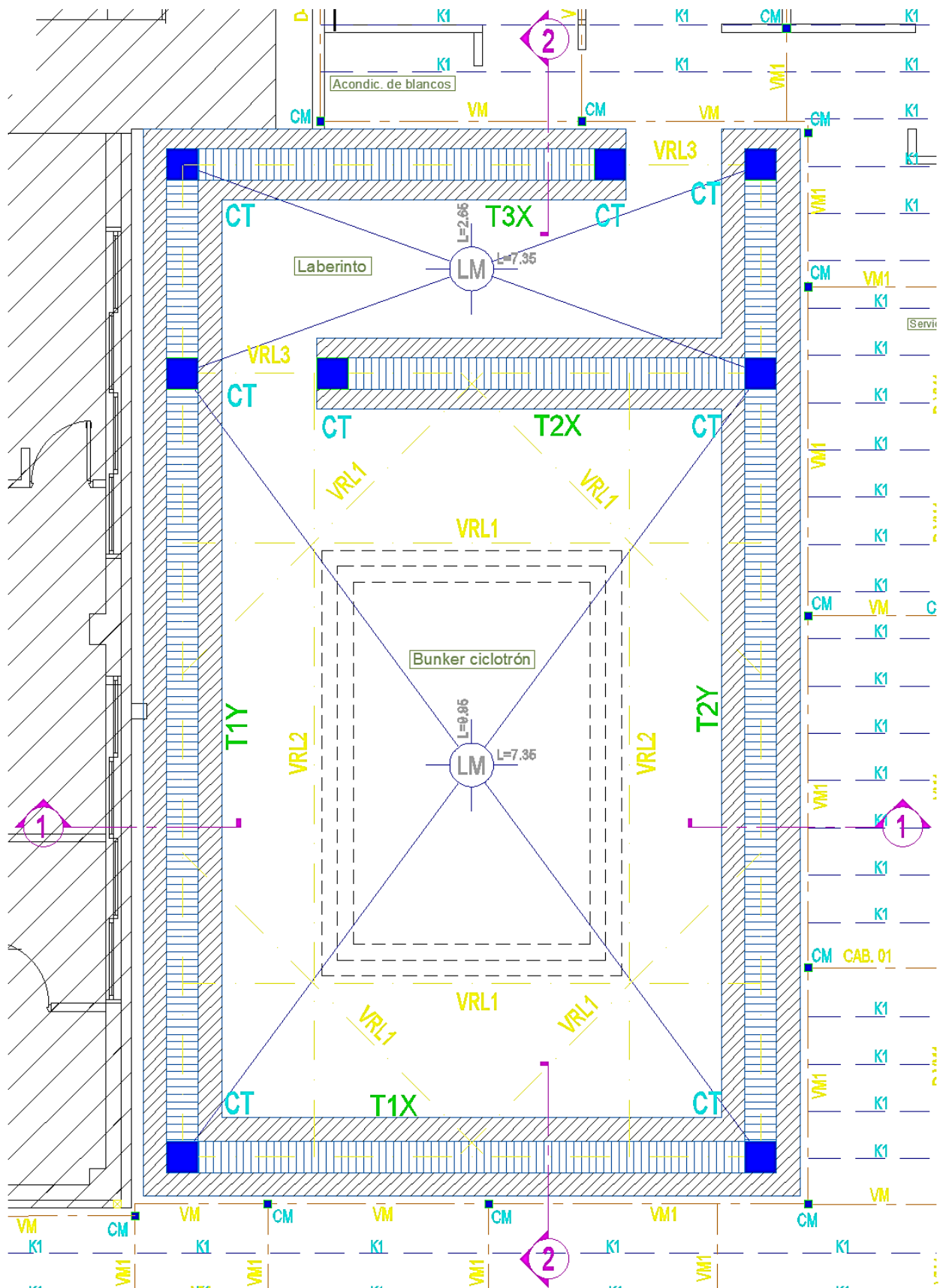


Figura 2.10: Planta estructural de techo del bunker y laberinto

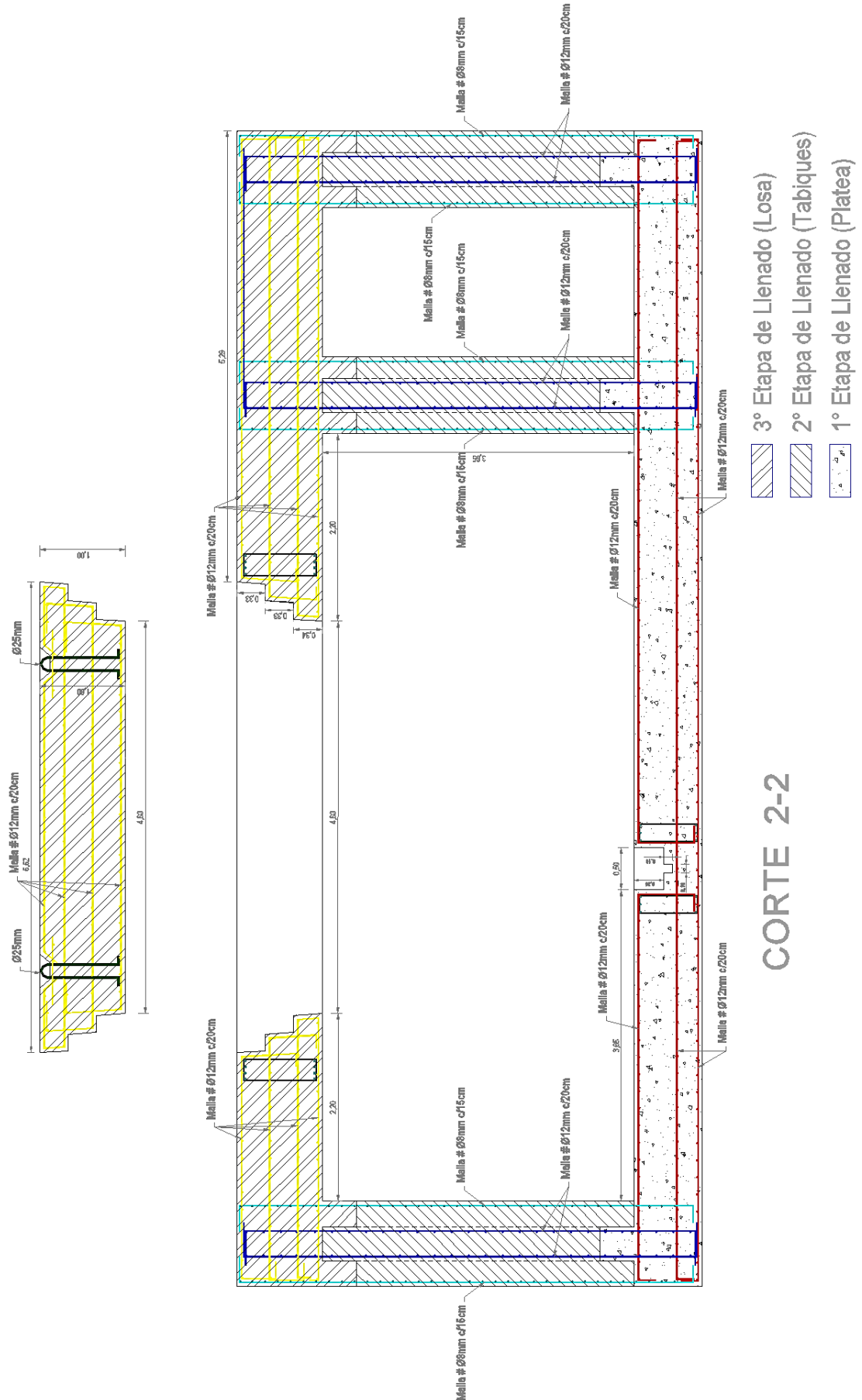


Figura 2.11: Corte estructural longitudinal

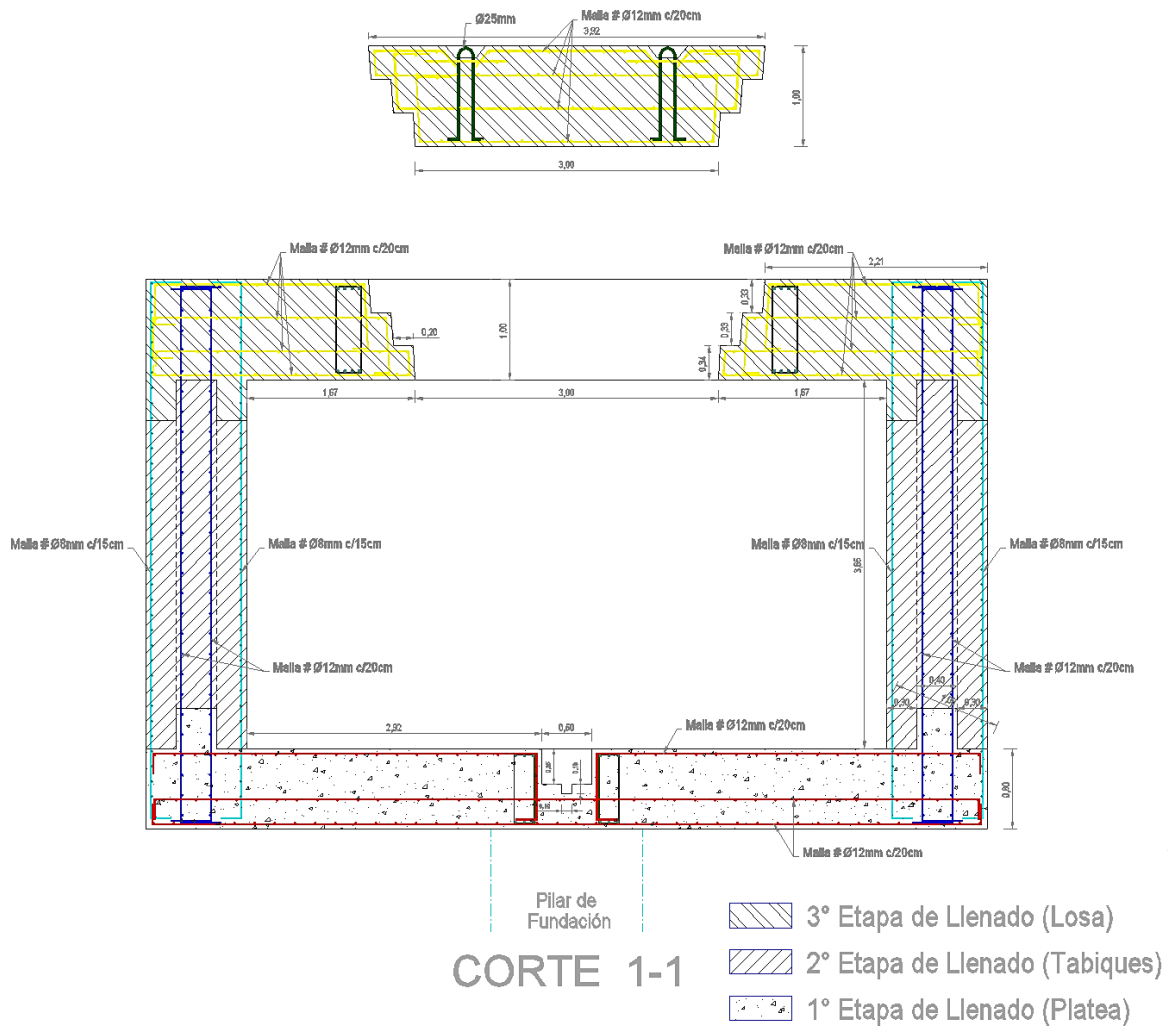


Figura 2.12: Corte estructural transversal

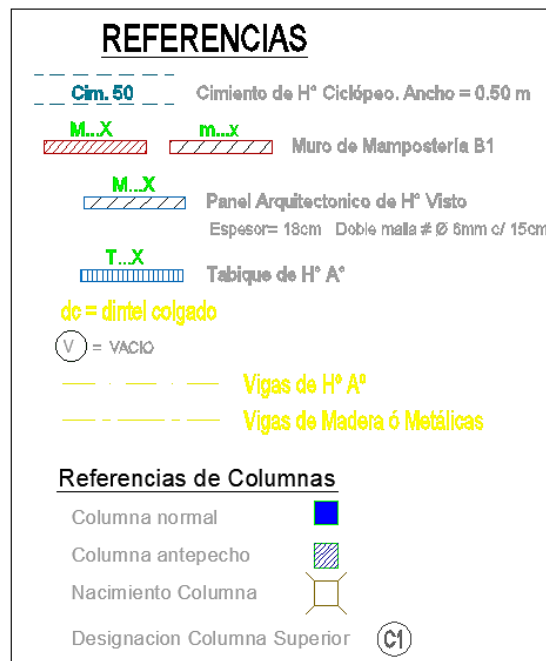


Figura 2.13: Referencias de plantas y cortes estructurales

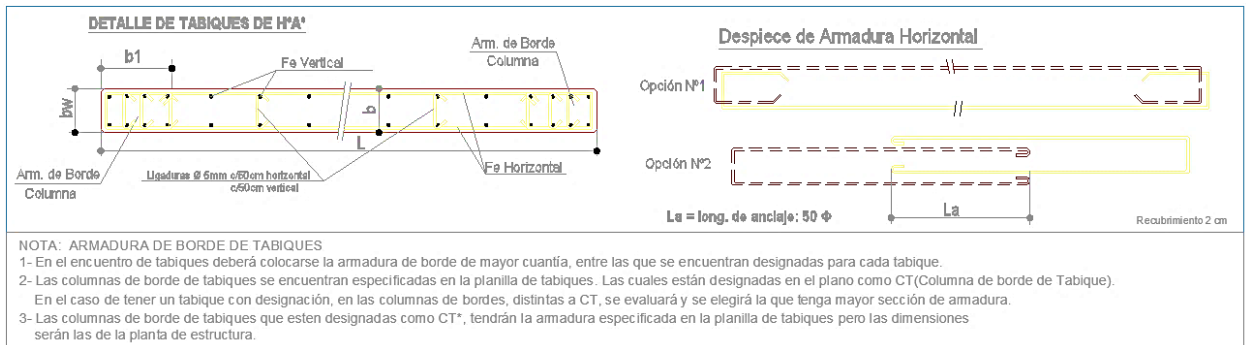


Figura 2.14: Detalle de armado de tabiques

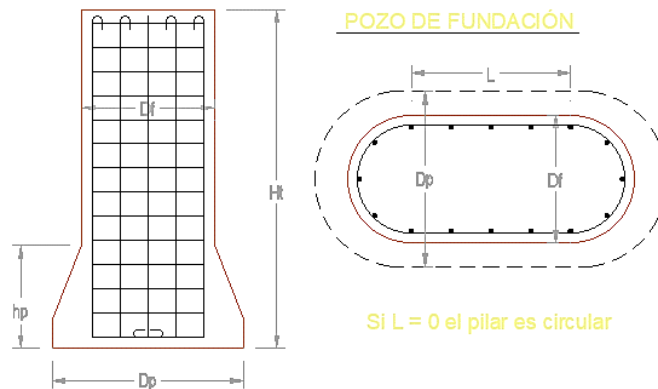


Figura 2.15: Detalle de armado de pozos de fundación

VIGAS DE H ^A °		f'c = 30 MPa		fy = 420 MPa		SOLICITACIONES												ARMADURA LONGITUDINAL PRINCIPAL				ARMADURA LATERAL				ARMADURA DE ESTRIBOS			
Desig.	Long. (Ln) m.	Q.TOTAL kg/m.	Dimen.		Mn (KNm)			Vn KN	Ap. Izquierdo (L/4)				Tramo				Ap. Derecho (L/4)				LATERAL		Ø		Sep (cm)				
			bw cm.	h cm.	Apoyo Izq. Sup/Inf	Tramo Sup/Inf	Apoyo Der. Sup/Inf		Izq./Der	As nec cm²	Sup. Inf.	Ø mm.	As real cm²	As nec cm²	Sup. Inf.	Ø mm.	As real cm²	As nec cm²	Sup. Inf.	Ø mm.	As real cm²	Izq. Der.	Ø mm	Izq. Iz/De.	Tramo dist	Der. dist	Ramas		
VIGAS COMUNES DE ENCADENADO O ARRISOTAMIENTO																													
VF	Var.	250	25	25	1.79	3.13	1.79	4.90	0.20	3	12	3.39	0.34	3	12	3.39	0.20	3	12	3.39	1	8	6	15	15	15	2		
VF1	Var.	520	25	70	80.11	171.80	80.11	74.01	2.91	4	16	8.04	6.36	4	16	8.04	2.91	4	16	8.04	3	12	8	15	15	15	2		
VF2	Var.	490	25	65	3.50	6.13	3.50	9.60	0.14	4	16	8.04	0.24	4	16	8.04	0.14	4	16	8.04	2	12	8	15	15	15	2		
VRL1	Var.	10510	25	85	243.23	425.66	243.23	370.79	7.35	5	20	15.71	13.19	5	20	15.71	7.35	5	20	15.71	3	12	8	10	10	10	2		
VRL2	Var.	5908	20	85	144.43	252.75	144.43	214.22	5.43	4	16	8.04	7.69	4	16	8.04	5.43	4	16	8.04	3	12	8	15	15	15	2		
VRL3	Var.	1060	40	100	7.57	13.25	7.57	20.78	12.85	7	16	14.07	12.85	7	16	14.07	12.85	7	16	14.07	4	12	8	15	15	15	2		

PLANILLA DE TABIQUES - B2														f'c = 30 MPa				fy = 420 MPa				Malla en Ambas Caras			
Elem.	Nivel	Dimensiones de Tabiques			Limitaciones Geométricas y Armadura de Borde (Columnas)								Arm. Vertical		Arm. Horizontal										
		Esp.(bw) m	Largo (Lw) m	Alt (Ln) m	b mm	b1 mm	Columna de Borde	Cant. Col.	As Long. Provista Cant.	Ø	Confinar	Estribos Ø	sep. (mm)	Ø (mm)	sep. (mm)										
T 1 X	PB	0.40	7.55	4.00	400	400	CT1	2	12	16	No	8	90	12	200	12	200								
T 2 X	PB	0.40	5.75	4.00	400	400	CT2	2	12	16	No	8	90	12	200	12	200								
T 3 X	PB	0.40	5.75	4.00	400	400	CT3	2	12	16	No	8	90	12	200	12	200								
T 1 Y	PB	0.40	12.55	4.00	400	400	CT1	2	12	16	No	8	90	12	200	12	200								
T 2 Y	PB	0.40	12.55	4.00	400	400	CT2	2	12	16	No	8	90	12	200	12	200								


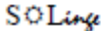
PILARES DE FUNDACIÓN																		fy = 420 Mpa		f'c = 21 Mpa	
Desig.	DIMENSIONES							ARMADURAS								DEMANDAS					
	Ht m	Cota de Fund. m	Df m	Dp m	hp m	L m	Ag m²	Longitudinal		As Real Total	Ø mm	Estribos Zona Crítica		Estribos Zona Normal		Pu Ton.	Mu Tm	Vu Ton.	E+S(+) Compr. Ton.	E+S(-) Tracc. Ton.	
	N°	Ø	Ø		Ø		Ø		Ø		Ø		Ø		Ø		Ø		Ø		
P1	4.00	-4.00	0.90	1.20	0.70		0.64	14	16	34.93	8	0.90	10	3.10	14	18.20	3.00	2.50	19.20		
P2	6.00	-6.00	1.20	1.50	0.70		1.13	18	16	42.98	8	5.76	10	0.24	14	35.00	28.80	24.00	71.00	-1.00	
P3	6.00	-6.00	1.50	1.80	0.70		1.77	24	16	55.04	8	1.50	10	4.50	14	10.50	1.26	1.05	13.65		

Tabla 2.1: Tablas de dimensionado de elementos estructurales del bunker y laberinto (vigas, tabiques y pilares de fundación)



ESTUDIO DE SUELO:

A continuación, se adjunta lo datos relevantes para la realización del proyecto del estudio de suelos.

 Soluciones de Ingeniería		
<i>Ing. César D. Almécija - San Martín Sur 2321 - Godoy Cruz - Mendoza. Tel. 0261 439 0885 - Cel. 15 569 9091 – email : solinge@hotmail.com</i>		
ESTUDIO DE SUELOS.		
OBRA:	Ampliación edificio FUESMEN.	
UBICACIÓN:	Garibaldi 405. Ciudad.	
Comitente:	FUESMEN.	
<u>1 - OBJETO.</u>		
Determinar las características físicas y geotécnicas del suelo para evaluar la capacidad portante en los distintos estratos y recomendar los sistemas de fundación más convenientes.		
<u>2 - DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS.</u>		
a) Trabajos de Campo (21-Nov-2020) Se realizaron dos (2) sondeos a cielo abierto de 8.50 m de profundidad, ubicados según croquis. De las excavaciones se extrajeron muestras representativas, se realizaron mediciones de la densidad in situ y ensayo de penetración dinámica.		
b) Ensayos de Laboratorio:		
<ul style="list-style-type: none">• Contenido natural de humedad.• Granulometría y Límites de consistencia.• Ensayo de resistencia al corte.		
c) Determinaciones de Gabinete:		
<ul style="list-style-type: none">• Clasificación de Suelos.• Cálculo de parámetros geotécnicos.• Cálculo de la Capacidad de carga.		
	Garibaldi 405. Ciudad – 03-Dic-2020	Hoja 1 de 7



4 - CONCLUSIONES.

De acuerdo a los requerimientos del elemento principal a fundar (Bunker para ciclotrón) se recomienda fundar mediante fundaciones profundas que accedan al estrato granular por debajo de la cota -6.00 m.

Para el resto de la estructura y en general se recomienda utilizar fundaciones basadas en pilares de fundación que accedan al ESTRATO GRANULAR por debajo de la cota -4.00 m

Las tensiones de punta a adoptar son las indicadas en el apartado 3.

Para tomar esfuerzos accidentales de tracción y compresión generados por la acción sísmica combinada con las cargas permanentes, se presenta a continuación una tabla de capacidad portante de pilares de fundación cilíndricos o cuadrados.

Capacidad de Pilares

Altura H	Diámetro Fuste D	Diámetro Punta Dp	Area Punta Ap	Area lateral Al	Fricción Lateral fu	Capacidad Ultima		
						Compr.	Cargas P + A Compr.	Tracción
m	m	m	m ²	m ²	T/m ²	T	T	T
4.00	0.90	1.10	0.95	11.31	2.95	48.41	91.42	35.63
4.00	0.90	1.40	1.54	11.31	2.95	75.68	139.15	40.13
4.00	0.90	1.70	2.27	11.31	2.95	109.50	198.33	44.63
6.00	0.90	1.10	0.95	16.96	4.80	86.64	164.03	81.68
6.00	0.90	1.40	1.54	16.96	4.80	130.41	240.62	92.68
6.00	0.90	1.70	2.27	16.96	4.80	184.68	335.59	103.67
8.00	0.90	1.10	0.95	22.62	6.55	132.56	251.49	144.54
8.00	0.90	1.40	1.54	22.62	6.55	194.12	359.21	164.54
8.00	0.90	1.70	2.27	22.62	6.55	270.44	492.79	184.54

Notas: P + A : Cargas Permanentes + Accidentales (Sismo, Viento, etc)
Las capacidades dadas son netas considerando el peso del pilar.



Determinación de las características dinámicas del suelo.

CIRSOC 103 (2013) 2.3.1. Influencia del suelo

A los efectos de la clasificación del sitio se recurre a la evidencia geológica, la información existente de estudios preliminares y de los realizados con motivo de la construcción en estudio.

En este caso se utiliza la correlación entre la velocidad de la onda de corte y el ensayo de penetración normalizado (SPT).

Se adopta en este caso el criterio establecido en el art. 2.3.3 para suelos estratificados y se calcula en Número de golpes medio de acuerdo a la siguiente planilla:

Estrato	Cota m	Espesor m	N medio #	
		t_i	N_i	t_i/N_i
1	-1.80	1.80	3	0.600
2	-3.40	1.80	5	0.320
3	-10.00	6.60	38	0.183
4	-30.00	20.00	50	0.400
5				
		30.00		1.50
		$N_m = \left[\frac{30}{\sum \left(\frac{t_i}{N_i} \right)} \right]$		Nm = 20

Con este valor se recurre a la Tabla 2.2 que presenta la clasificación de los sitios.

Para el CIRSOC 103 (2013) 2.3.1.: Suelo Tipo 2 (S_D)



ANÁLISIS Y COMBINACIONES DE CARGA, FUERZAS SÍSMICAS Y TORSIONES:

ANÁLISIS DE CARGAS - Peso Propio		
Elemento: Losa Entrepiso Tipo Maciza Esp.(losa)= 60 cm		
1 Piso	30 kg/m ²	
2 Carpeta de Nivelación	110 kg/m ²	esp. = 5 cm
3 Aislaciones	5 kg/m ²	
4 Losa	1440 kg/m ²	
5 Cieloraso	10 kg/m ²	
		D= 1595 kg/m ²

ANÁLISIS DE CARGAS		Combinaciones de Cargas:										Total (kg/m ²)
Elemento: Losa Entrepiso Tipo Maciza		Desig.	D			L		Lr		Ev		
10	Peso Propio D= 1595 kg/m ²	U1	1.40	1595	2233	200					319	2233
11	Sobrecarga L= 200 kg/m ²	U2-1	1.20	1595	1914	1.60	200	320	0.50		319	2234
11	Sobrecarga Cub. Lr=	U2-2	1.20	1595	1914	1.60	200	320			319	2234
12	Nieve S=	U3-1	1.20	1595	1914	0.50	200	100	1.60		319	2014
12	Sismo Ev= 319 kg/m ²	U3-2	1.20	1595	1914		200		1.60		319	1914
13	Viento W=	U4	1.20	1595	1914	0.50	200	100	0.50		319	2014
		U5	1.20	1595	1914	0.50	200	100	0.50	1.00	319	2333
		U6	0.90	1595	1436		200				319	1436
		U7	0.90	1595	1436		200			-1.00	319	-319
		U8 - Masas	1.00	1595	1595		200			0.25	200	50
												2333

f1 = 0.5
f2 = 0.2

DISTRIBUCION DE FUERZAS SISMICAS - CIRSOC 103										Distorsión horizontal de piso:											
Unidades: t - m										Valor límite de la distorsión de piso:											
Cortantes		Centro masas		Dimens. planta		Excentricidad accidental						γr = 1.50		Cond. D = 0.015		6.4.2. s/Tabla 6.4.					
Tsx = 135.77		xg = 6.68		Lx = 7.55		Incrém. Exentric. Estática = 1.00						dx = 0.023 cm		dux = 0.03		εskx = 0.0001 < 0.015 Verif. En dir. X					
Tsy = 135.77		yg = 11.37		Ly = 12.55		Incrém. por long. de Planta = 0.15						dy = 0.011 cm		duy = 0.02		εsky = 0.0000 < 0.015 Verif. En dir. Y					
Centro de giro		Excentricidades		Momentos torsores		PLANTA BAJA - B2															
xr = 6.68		ex1 = 1.14		ey1 = 1.91		Mtx1 = 258.89		Mty1 = 154.43		Unidades: Fuerza = tn (toneladas)											
yr = 11.35		ex2 = -1.13		ey2 = -1.86		Mtx2 = -252.27		Mty2 = -153.08		Longitudes = m (metros)											
Hp = 4.00 m																					
Direcc.	Elem	Riq	Coord	Cd	Cd+Ftx1	Cd+Ftx2	Fty1	Fty2	F máx	Espesor	Largo	Tens	Capacidad	cap/dem	Is	Ie (cm4)	Ae (cm ²)	Observaciones			
X	T 1 X	2702.53	5.40	60.85	47.90	73.47	7.72	7.65	73.47	0.40	7.55	2.43	351.49	4.78	38.92	4.30E+08	12080	Tab. H ² A ²			
	T 2 X	1663.61	15.00	37.46	42.36	32.69	2.92	2.90	42.36	0.40	5.75	1.84	267.69	6.32	29.46	1.90E+08	9200	Tab. H ² A ²			
	T 3 X	1663.61	17.35	37.46	45.51	29.62	4.80	4.76	45.51	0.40	5.75	1.98	267.69	5.88	31.66	1.90E+08	9200	Tab. H ² A ²			
	Suma =	6029.74		135.77	135.77	135.77	15.44	15.31	161.33				2.43	4.78							
Direcc.	Elem	Riq	Coord	Cd	Cd+Fty1	Cd+Fty2	Ftx1	Ftx2	F máx	Espesor	Largo	Tens	Capacidad	cap/dem	Is	Ie (cm4)	Ae (cm ²)	Observaciones			
Y	T 1 Y	5946.04	3.20	67.88	57.95	77.73	16.65	16.22	77.73	0.40	12.55	1.55	584.26	7.52	24.77	1.98E+09	20080	Tab. H ² A ²			
	T 2 Y	5946.04	10.15	67.88	77.81	58.04	16.65	16.22	77.81	0.40	12.55	1.55	584.26	7.51	24.80	1.98E+09	20080	Tab. H ² A ²			
	Suma =	11892.09		135.77	135.77	135.77	33.29	32.44	155.54				1.55	7.51							

DETERMINACIÓN DE MASAS - B2										
Planta Baja										
	Lx (m)	Ly (m)	Sup. (m ²)	q (kg/m ²)	Q1 (kg)	Xg (m)	Yg (m)	My (kgm)	Mx (kgm)	
De PB										
Entrepiso Losa	7.55	12.55	94.69	925	87588	6.68	11.37	585090	995878	
Muros 60 X	22.65	2.00	45.30	2400	108720	6.68	11.37	726250	1236146	
Muros 60 Y	25.10	2.00	50.20	2400	120480	6.68	11.37	804806	1369858	
					316788	6.68	11.37	2116146	3601882	
						Xg	Yg			
					Q total =	316788	6.68	11.37	2116146	3601882

DETERMINACIÓN DE FUERZAS SISMICAS - B2										
Cx =	0.429	Fsx =	135.77 tn							
Cy =	0.429	Fsy =	135.77 tn							
DISTRIBUCIÓN DEL CORTANTE EN ALTURA										
Nivel	Qi (t)	h	hi	Qi x hi	ci	Fsx (t)	Tsx (t)	Fsy (t)	Tsy (t)	
PB	316.8	4.00	4.00	1267	1.000	135.77	135.77	135.77	135.77	
	316.8			1267	1.000					

Tabla 2.2: Tablas de análisis de carga, combinaciones de carga, cálculo de fuerza sísmica y momentos torsores, y distribución de fuerza sísmica



CAPÍTULO III: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL ARTE

3.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

3.1.1 UNIVERSIDAD DE TROIS RIVIERES, TROIS-RIVIERES, QUEBEC, CANADÁ

Los frenos sísmicos se instalaron rápidamente en un enfoque por fases que permitió que la utilización del edificio volviera rápidamente a la normalidad y los amortiguadores de fricción permanecen ocultos en las paredes.



Foto 3.1: Amortiguadores de fricción instalados

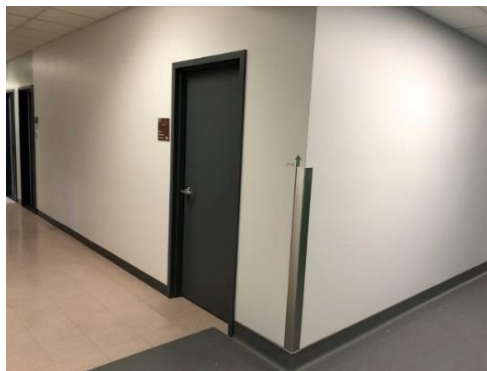


Foto 3.2: Amortiguadores de fricción ocultos en las paredes

3.1.2 UNIVERSITÉ DE LAVAL - PAVILLON ALEXANDRE VACHON, QUEBEC, CANADÁ

El edificio de la universidad en Quebec se modernizó utilizando amortiguadores de fricción sísmica. Los ingenieros estructurales aprovecharon la naturaleza mínimamente invasiva de la tecnología para reducir los impactos en las operaciones.



Foto 3.3: Universidad De Laval



Foto 3.4: Amortiguadores de fricción sísmica con técnicas de mínima invasión

3.1.3 ESCUELA PRIMARIA DE MONTREAL, CANADÁ

Esta escuela primaria se sometió a importantes renovaciones y debía actualizarse a los últimos estándares del código. Los limitadores de fuerza de fricción Ten-Co estaban ocultos dentro de las paredes para brindar protección sísmica mientras los niños pasan sus días aprendiendo y jugando.

3.1.4 CHAUR DE TROIS RIVIERES

El hospital en Los Rivières de Trois se modernizó utilizando los frenos sísmicos de Quaketek, lo que permitió importantes ahorros en el proyecto, lo que permitió que el proyecto se realizara de manera rápida y eficiente.



Foto 3.5: Frenos sísmicos en el hospital en los Rivières de Trois

3.1.5 HOSPITAL ALMA

El hospital de Alma se modernizó con amortiguadores de fricción sísmica que permitieron que el edificio cumpliera con los últimos requisitos sísmicos.



Foto 3.6: Amortiguadores de fricción sísmica en el hospital de Alma



3.1.6 CHUS FLEURIMONT, SHERBROOKE, CANADÁ

El hospital de Sherbrooke se modernizó utilizando amortiguadores de fricción sísmica. El proyecto se está realizando por etapas para minimizar el impacto en las operaciones del hospital.



Foto 3.7: Amortiguadores de fricción sísmica en el hospital de Sherbrooke

3.1.7 HOSPITAL DE FLORENCIA, CAQUETÁ, COLOMBIA

En una de las regiones de mayor riesgo de Colombia, los amortiguadores de fricción se han convertido rápidamente en una de las tecnologías preferidas para proteger la infraestructura clave. El hospital Florencia está ubicado en una región remota donde la disponibilidad de material es un desafío y las intervenciones deben realizarse rápidamente ya que el hospital es un elemento crítico de los servicios locales.



Foto 3.8: Amortiguadores de fricción sísmica en el hospital de Florencia

3.1.8 VALLE DE LILI, CALI, COLOMBIA

Los amortiguadores de fricción permitieron la instalación rápida de aparatos ortopédicos amortiguados, lo cual era esencial debido a los cambios rápidos que requería el hospital. Las salas de cirugía se modernizaron y se pusieron en funcionamiento rápidamente para atender a los pacientes y salvar vidas.

3.2 ANTECEDENTES NACIONALES

3.2.1 RESIDENCIA UNIVERSITARIA FRM-UTN

El primer edificio con aislamiento sísmico en Argentina diseñado por el Dr. Ing. Miguel Tornello es el emplazado en el predio de la residencia de estudiantes de la Facultad Regional Mendoza de la UTN. El sistema utilizado está conformado por resortes metálicos helicoidales y amortiguadores viscosos de la empresa GERB (GCS). Los aisladores basados en resortes helicoidales comenzaron a aplicarse en máquinas de pequeño porte y luego se extendieron a fundaciones de máquinas pesadas e instalaciones industriales de importancia. Sin embargo, en los últimos años se han realizado estudios sobre la respuesta de estructuras aisladas utilizando dichos sistemas cuando las mismas son sujetas a terremotos.



Foto 3.1: Residencia universitaria FRM-UTN.



Foto 3.2: Dispositivos de aislamiento y amortiguamiento colocados y en funcionamiento

3.2.2 EDIFICIO DE HISTOLOGÍA Y EMBRIOLOGÍA

El primer caso en Mendoza en utilizar aisladores del tipo elastoméricos fue el edificio de Histología y Embriología ubicado en la Universidad Nacional de Cuyo.

Se trata de un edificio de 6.150 m² con 5 plantas (cochera, planta baja y tres pisos) vinculado al terreno natural a través de apoyos de neopreno, los que mantienen la estructura aislada del suelo, atenuando los efectos de los movimientos sísmicos.

El sistema de aislación es mixto, está compuesto por aisladores elastoméricos, formados por almohadilla de neopreno intercaladas con chapas de acero, y apoyos deslizantes, formados por placas de acero inoxidable con una lámina tetrafluoruro de carbono (teflón), que reduce la fricción a valores despreciables.



Foto 3.39: Edificio de Histología y Embriología de la UNC.



CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE INSTITUCIONES LOCALES - INTERACCIÓN CON PROFESIONALES

Para poder contar con la documentación técnica de la estructura que íbamos a aislar inicialmente (ampliación Hospital Central) nos contactamos con el personal obrero, técnico de ingeniería y arquitectura y administrativo en el siguiente orden:

1. Jonathan Villarruel – Administración y coordinación de obra. Responsable de contarnos sobre el proyecto y brindarnos los contactos del Ing. Yamil Sabas y el Arq. Fernando Dotto, aclarándonos, que para poder utilizarla debíamos solicitar la debida autorización con el Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Mendoza;
1. Ing. Yamil Sabas – Ingeniería y dirección técnica. Responsable de contarnos sobre el proyecto, aclarándonos lo mismo que Jonathan;
2. Arq. Fernando Dotto – Arquitectura. Responsable de contarnos sobre el proyecto, aclarándonos lo ya mencionado también, y de brindarnos el contacto del Ing. Eduardo Vega, responsable del cálculo del proyecto;
3. Ing. Eduardo Vega – Calculista. Responsable de brindarnos el contacto de la Arq. Verónica Fader, encargada del área de arquitectura del proyecto, y de ponerse a nuestra disposición para contarnos acerca del proyecto y brindarnos la documentación necesaria una vez aprobada por la Provincia;
4. Arq. Verónica Fader - Directora de Arquitectura e Ingeniería, Subsecretaria de Obras Públicas, Ministerio de Infraestructura Pública. Responsable de tramitar la autorización para utilizar la documentación técnica de la obra con el Ministerio de Infraestructura de la Provincia por medio del Ing. Claudio Fortuna, para lo cual se nos solicitó que alguna autoridad de la Universidad le enviara un correo electrónico solicitando este material. Esto se debe a que la obra pertenece a la Provincia, la información era del tipo confidencial, por lo que no puede difundirse información con cualquier persona que no pertenezca al proyecto;
5. Dr. Ing. Miguel Tornello – Director del departamento de Ingeniería Civil de la UTN-FRM. Responsable de ponerse en contacto formalmente con la Arq. Verónica Fader para solicitar la documentación necesaria.

En cuanto a la información sobre el equipamiento, debido a la complejidad para encontrarla por internet, tuvimos que hablar con gente capacitada en el área de bioingeniería, electrónica e instrumentación. Los responsables participantes en este tema fueron:

2. Ing. Gustavo Palazzo – Responsable de la modelación estructural del Hospital Universitario, quien nos derivó a especialistas y recomendó fundaciones e instituciones para comunicarnos con ellos
3. Bioing. Matías Papini – Responsable del área de bioingeniería del Hospital Universitario, quién nos aportó documentación técnica sobre equipos tales como tomógrafos, resonadores magnéticos, equipos de rayos, etc.;
4. Bioing. Hernán Mendoza - Responsable del área de bioingeniería en Equipo SEISS Buenos Aires, quien nos aportó información sobre equipos ópticos de alta complejidad;

Luego de un tiempo, la Arq. Verónica Fader nos comentó que sería conveniente poder trabajar con un proyecto que se esté proyectando o construyendo, ya que de esa



forma podríamos hacer un seguimiento más minucioso del mismo, pudiendo interactuar de mejor manera con todos estos profesionales del área técnica y de construcción, por lo cual la idea fue sugerida al Ing. Miguel Tornello, quien nuevamente se puso en contacto con la profesional, coordinaron una reunión en febrero del 2021 en la cual decidieron que sería conveniente poder abordar dos proyectos muy interesantes:

- Construcción de Hospital Gahilac en Ciudad, Mendoza;
- Ampliación de la Sede Central de FUESMEN en Ciudad, Mendoza.

En cuanto al primer proyecto, era un gran desafío para nosotros ya que podíamos realizar el diseño del sistema de aislación sísmica para una institución muy grande, lo que podía ser una gran oportunidad para la Universidad, especialmente el CeReDeTec, para promover los aisladores estudiados y fabricados por los profesionales que nos han sido de ayuda para este proyecto final. Luego de un tiempo fuimos comunicados de que abordar este proyecto no sería conveniente debido a que los estudios de suelo habían arrojado resultados que no serían compatibles con un sistema de aislación sísmica por ser altas las probabilidades de licuación. Debido a esto adoptamos el segundo proyecto.

La ampliación de FUESMEN, como ya hemos detallado en capítulos anteriores, resultaba también ser un gran desafío para nosotros ya que estaríamos trabajando con una estructura proyectada desde cero, con un fin muy particular, proteger nada más y nada menos que un acelerador de partículas de altísima complejidad, lo cual demandaba una estructura súper compleja y hermética. Fue así que inmediatamente nos pusimos en contacto con Verónica Fader nuevamente y solicitamos información de profesionales para abordar el tema, y así fue que nuestro circuito siguió de la siguiente manera:

5. Arq. Guillermina del Campo – Dirección de Arquitectura e Infraestructura. Responsable de la arquitectura del proyecto de ampliación de FUESMEN, quien nos contó en profundidad el proyecto, nos brindó la documentación técnica necesaria y el contacto de la Arq. Pamela Weidenbaum;
6. Arq. Pamela Weidenbaum – Dirección de Arquitectura e Infraestructura. Responsable de la arquitectura del proyecto de ampliación de FUESMEN, quien también nos brindó documentación, incluyendo la del Ciclotrón, y nos permitió realizar una reunión en el Hospital Notti, donde ella trabaja, para contarnos en profundidad sobre el proyecto, sobre el equipo, dándonos sugerencias de todo tipo y poniéndose a disposición para que pudiéramos realizar una reunión con los ingenieros nucleares responsables del proyecto, y otros profesionales que también podían sernos de utilidad para nuestro proyecto final de carrera.
7. Ing. César Almécija – Calculista del proyecto. Responsable de brindarnos la documentación de estructuras y de estudio de suelos.



CAPÍTULO V: SELECCIÓN DE EQUIPOS MÉDICOS DE ALTA COMPLEJIDAD – DOCUMENTACIÓN Y EVALUACIÓN CUALITATIVA DE SUSCEPTIBILIDAD SÍSMICA

A continuación, adjuntaremos algunos equipos modernos utilizados en hospitales y centros médicos, donde daremos la siguiente información de cada equipo:

- Foto del equipo;
- Croquis de instalación del equipo con sus accesorios;
- Medidas y peso del equipo y de algunos accesorios importantes;

5.1 TOMÓGRAFO DISCOVERY CT590/RT



Foto 5.1: Tomógrafo Discovery CT590/RT

La finalidad de este equipo es obtener tomografías computarizadas del paciente. El término “tomografía computarizada”, o TC, se refiere a un procedimiento computarizado de imágenes por rayos X en el que se proyecta un haz angosto de rayos X a un paciente y se gira rápidamente alrededor del cuerpo, produciendo señales que son procesadas por la computadora de la máquina para generar imágenes transversales o “cortes” del cuerpo. Estos cortes se llaman imágenes tomográficas y contienen información más detallada que los rayos X convencionales. Una vez que la computadora de la máquina recolecta varios cortes sucesivos, se pueden “apilar” digitalmente para formar una imagen tridimensional del paciente que permita más fácilmente la identificación y ubicación de las estructuras básicas, así como de posibles tumores o anomalías.



5.2 RESONADOR DISCOVERY MR750W



Foto 5.2: Resonador Discovery MR750W

El resonador magnético es un equipo especializado en la obtención de imágenes del cuerpo en 2 y 3 dimensiones por medio de un campo electromagnético muy potente quien es el encargado de estimular los átomos de hidrógeno y a su vez con pulsos de radiofrecuencia para receptor estas energías sobresalientes de los momentos de relajación y recuperación de los átomos.

5.3 RX PRECISION 600FP



Foto 5.3: RX Precision 600FP

Este equipo que permite realizar rayos X (radiografías) ayuda a los médicos a diagnosticar y tratar las condiciones médicas. La toma de imágenes con rayos X supone la exposición de una parte del cuerpo a una pequeña dosis de radiación ionizante para producir imágenes del interior del cuerpo.



5.4 INNOVA IGS 520/530/540



Foto 5.4: INNOVA IGS 520/530/540

Este equipo denominado fluoroscopio consiste en una fuente de rayos X y una pantalla fluorescente entre las que se sitúa al paciente. Los fluoroscopios modernos acoplan la pantalla a un intensificador de imagen de rayos X y una cámara de vídeo CCD, lo que permite que las imágenes sean grabadas y reproducidas en un monitor en tiempo real.



5.5 CICLOTRÓN CICLONE 11

5.5.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

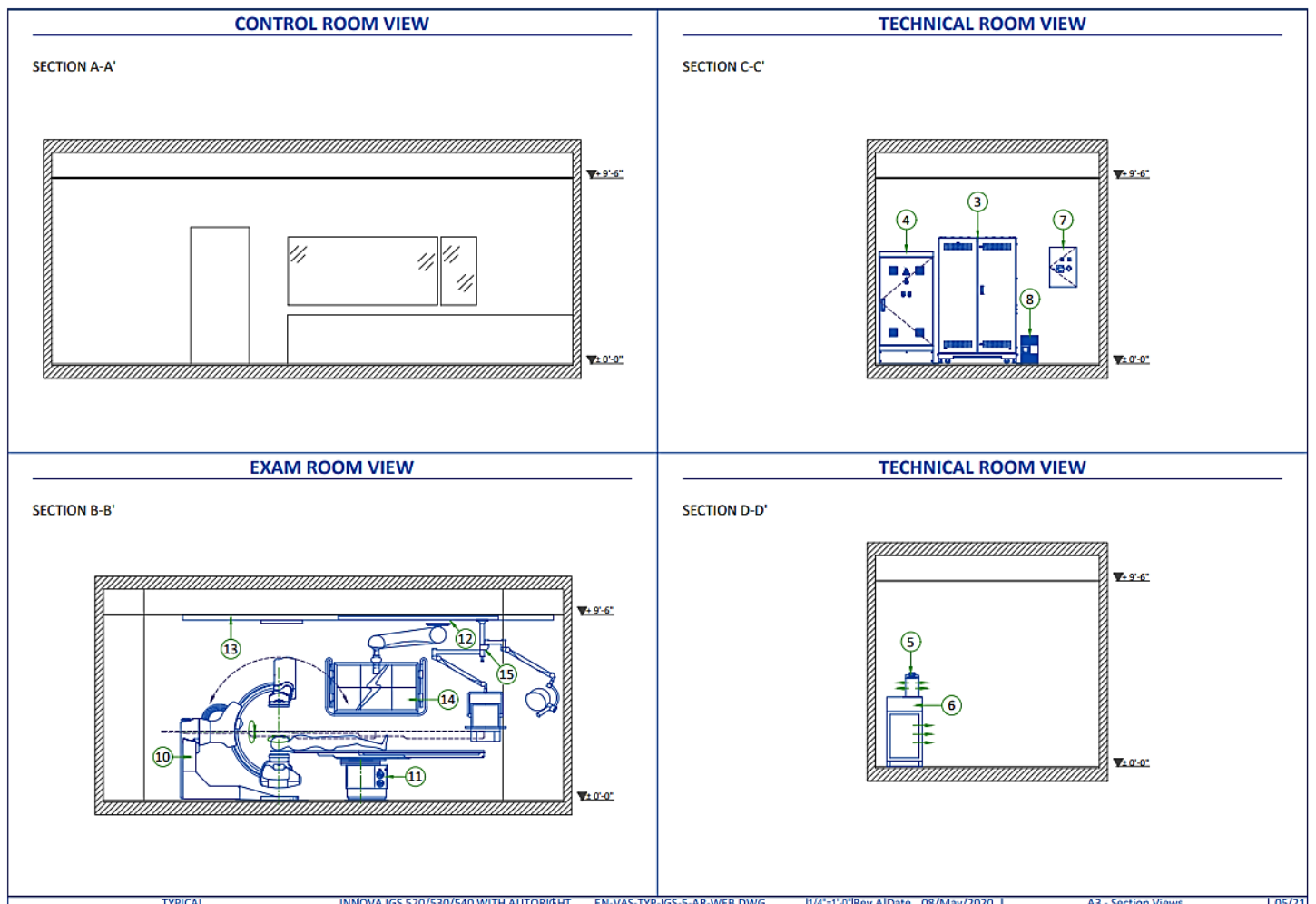


Figura 5.1: Ciclotrón Cyclone 11. Sistema móvil de protección plomada para radiación

Un ciclotrón consiste en un instrumental de altísima complejidad de uso médico, compacto y auto-blindado para evitar fugas de radiación, que produce radioisótopos utilizados en aplicaciones médicas mediante la aceleración de partículas (específicamente núcleos de átomos de hidrógeno). Tiene seis blancos que, mediante el bombardeo con los núcleos de hidrógeno acelerados, permiten la obtención de radioisótopos emisores de positrones. El radioisótopo recién producido es enviado desde



el ciclotrón al laboratorio de producción a través de una línea de transferencia segura, se recibe en el interior de unas celdas blindadas donde se incorpora al proceso de síntesis química automatizada para la obtención de los radiofármacos. Esto permite que los operarios dirijan todo el procedimiento en forma remota, sin contacto con el material radioactivo.

Un radiofármaco es un compuesto radiactivo, producto de la unión de una molécula biológica normal (proteína, aminoácido, etc.) con un isótopo obtenido en este instrumental sofisticado, utilizado en un 95% para diagnóstico por imagenología y un 5% para tratamiento de algunas enfermedades mediante tecnología PET (Tomografía por Emisión de Positrones). Los radiofármacos se utilizan como compuestos de contraste que se inyectan al paciente, por vía intravenosa, permitiendo observar y localizar el interior del organismo de un modo no invasivo y obtener así la imagen molecular de ese organismo o de la patología determinada que se pretende estudiar. Entre los radiofármacos que más se emplean se encuentran FDG (glucosa), Metionina, Colina o FDOPA.

Para la producción se requiere de un campo magnético muy potente que, para su generación, en el interior del equipo hay dos placas llamadas D1 y D2 conectadas a una fuente eléctrica que periódicamente cambia la polaridad. Cuando un protón está en el centro de las dos placas, es atraído a la placa D2, la cual es negativa, y al entrar a esa placa con campo magnético actuando sobre la partícula se produce un movimiento circular. Cuando el protón sale de la placa, la polaridad de estas cambia y D1 se carga negativamente. El proceso se repite varias veces, formando una órbita espiral con radio creciente hasta que la partícula sale acelerada, lista para colisionar y producirlos radioisótopos.

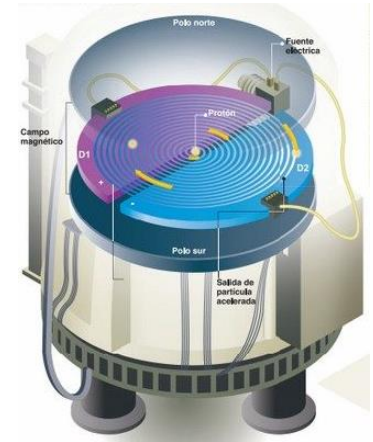


Figura 5.2: Campo magnético que acelera las partículas

Typical Production Yields - PET Isotopes

Isotope	Chemical Form	Target Reaction	Target Material	Target Size	Irradiation Time [min]	Recovered Activity EOB [mCi]	[GBq]
^{11}C	CO_2	$^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$	$\text{N}_2 + 0.5 - 1\% \text{O}_2$		30	1 300	44
^{13}N	NH_3	$^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$	H_2O (natural) +5 mMol Ethanol		15	150	5
^{18}F	F ⁻	$^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$	H_2^{18}O	S	60	500	19
					120	800	30
				M	60	900	33
					120	1 700	63
				L	60	1 500	56
120	3 500	111					
				dual beam	120	7 000	222
	F_2	$^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$	$^{18}\text{O}_2$ gas ⁽³⁾		60	650	22
^{15}O	H_2O	$^{15}\text{N}(p,n)^{15}\text{O}$	$^{15}\text{N}_2$ gas		10	1 050	37

Tabla 5.1: Rendimientos de producción típicos del Cyclone 11 - Isótopos PET



5.5.2 CROQUIS DE INSTALACIÓN SEGÚN CATÁLOGO OFICIAL

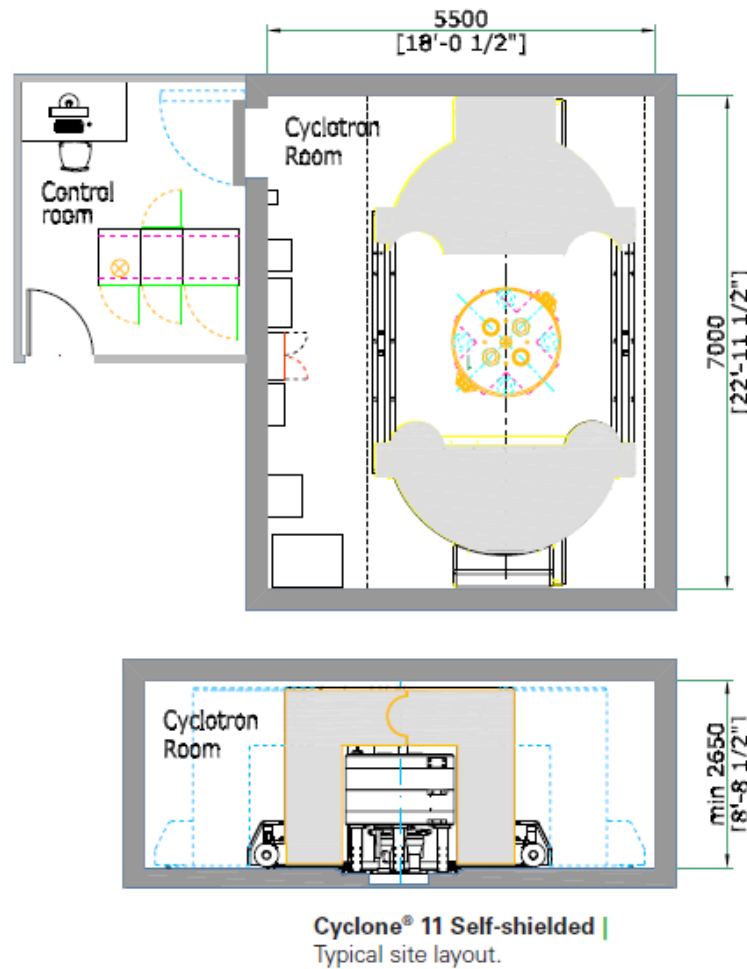


Figura 5.3: Esquema de componentes y distribución espacial

Para la adaptación del plano/croquis de ubicación del ciclotrón para nuestro proyecto, ver el **CAPÍTULO: “DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO AISLAR”**, donde se muestran planos completos de todos los sectores que requiere la instalación del dispositivo.



5.5.3 CONFIGURACIÓN DEL SITIO Y MEDIDAS DE LA HABITACIÓN


<p>Cyclone® 11 Site requirement guide</p> <p>2.1. Cyclotron Vault</p> <p>2.1.1. Room size for the Cyclone® 11</p> <p>2.1.2. Recommended location</p> <p>2.1.3. Anchoring plate/ floor loading</p> <p>2.1.4. Vault pit and trenches</p>	 <h2 style="text-align: center;">2. SITE CONFIGURATION AND ROOM SIZE</h2> <p>The Buyer should prepare the detailed application projects required for the construction of the building.</p> <p>The Buyer should construct the building according to these detailed application projects in a timely manner following the approval of projects and work program by IBA.</p> <p>Inside dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Without self-shielding: 3.5 m*3.5 m*2.65 m (w x d x h) ■ With self-shielding: 7.2 m*5.5 m*2.65 m high (w x d x h) <p>The vault door or access will be at least 1 m wide and 2 m high.</p> <p>The cyclotron, because of its weight, the cyclotron should be located on the lowest level of the building.</p> <p>(See also Chapter 8 "Rigging Requirements")</p> <p>The cyclotrons 11 weigh 13 metric tonnes resting on four pillars (see "Cyclotron layout recommendations" on page 13)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Pillar circle diameter 28 cm ■ Pillar foot print 615.7 cm² ■ Weight on floor/pillar 5.3 kg/cm² ■ Weight of optional self-shielding 2 x 30 ton 2 x 3 rails <p>Four anchoring steel plate located in the same plane under the cyclotron's feet (level difference less than 1 mm)</p> <p>A pit should be located under the cyclotron. The pit should be connected by cable ducts or by a trench to the power supply room and technical room. The cyclotron pit should be 30 cm deep under the cyclotron</p> <p>The floor will be level and smooth. The slope tolerance should be less than 5 mm/meter</p> <p>Pit and trenches should preferably be coated with epoxy paint and connected to a sump (in case of water leakage). In accordance with local regulations, the sump should be connected to a liquid waste storage.</p> <p>The required interconnection for IBA equipment is explained in Chapter 3 "Interconnection Between Rooms and Equipment".</p>
---	---

Tabla 5.2: Componentes y dimensiones del equipo

5.5.4 DIMENSIONES Y PESOS


<i>Description</i>	<i>Size WxDxH (mm)</i>	<i>Weight (kg)</i>
Cyclotron		
Cyclone® 11	1.54 dia.*1.90 H	13000
Power supply room equipment		
Power Distribution Cabinet PS 1	1000*300*1000	100
RF Amplifier PS2		
RF Amplifier PS 2	600*800*1850	400
Ion source main coil PS 3	600*800*1850	450
Control Cubicle (PLC) PS 4	600*800*1850	200
Technical room equipment		
Water Conditioner (filled)	1000*1850*1850	600
Demineralization Bottle	260 dia.*550	20
The other components are installed as per the Scope of Supply of the Contract.		
<i>Description</i>	<i>Size WxDxH (mm)</i>	<i>Weight (kg)</i>
Auxiliary Equipment in the vault		
Hydraulic Power Unit in the vault	500*600*630	80
Water Manifold on the vault wall	740*310*1670	90
Primary Pump in the vault	830*400*500	100
Hydraulic hoses (inc. oil)		40
<i>Description</i>	<i>Size WxDxH (mm)</i>	<i>Weight (kg)</i>
Control room equipment		
Control PC + printer	400*510*160	11
Screen	495*495*543	20
Compact design		
Unshielded cyclotron		
Total weight		13 Tons
Dimensions (dia. x height) [m]		∅ 1.54 x 1.95
Minimal internal room dimensions [m]		3.5 x 3.5 x 2.65 (wxdxh)
Shielded cyclotron		
Total weight		65 Tons
Dimensions (dia. x height) [m]		∅ 3.3 x 2.4
Minimal internal room dimensions [m]		7 x 5.5 x 2.65 (wxdxh)

Tabla 5.3: Componentes y dimensiones del equipo



5.5.5 REQUERIMIENTOS SOBRE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN

Cyclone® 11
Site requirement guide



5. NOTES ON RADIATION PROTECTION AND DECOMMISSIONING

The responsibility for radiation protection, calculation of the shielding and handling of induced and/or produced activity are the Buyer's responsibility in compliance with the local and national requirements.

The Buyer will be responsible for compliance with relevant safety standards concerning radiation protection. The Buyer shall provide the shielded structure required for operation of the supplies and the installation drawing of radiation protection from a specialist and all operating permits before installation.
IBA can produce beam at full power and full energy one week after installation.

The Buyer shall provide the following equipment for radiation monitoring, according to local regulations:

- Gamma detector in the vault with a display of the radiation rate
- Sound and light alarm if the activity threshold is exceeded
- A vault access control depending on the radiation rate level
- A portable gamma contamination detector
- Radiation monitoring station.

The Cyclones® 11 produces 11MeV, 120µA of protons.

The beam is stopped in the target material and produces secondary particles (neutron) and radiation (gamma rays).

5.1. Radiation Protection Plans and Permits

5.2. Radioactivity Monitoring In/ Out The Vault

5.3. General Information for Radiation Protection

Tabla 5.4: Requerimientos sobre protección contra la radiación

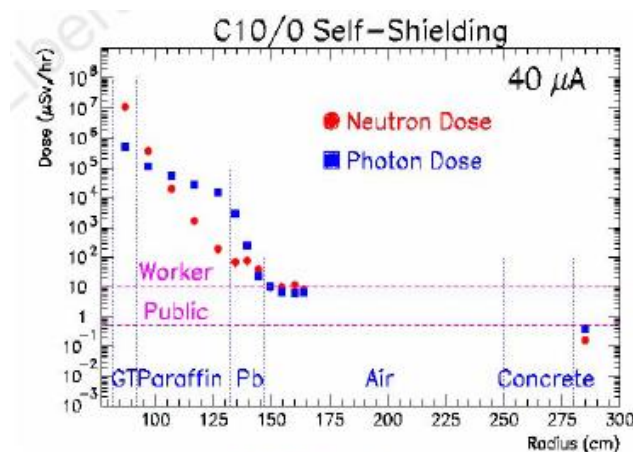


Fig. 26: Selfshielding performances

Figura 5.4: Desempeño del blindaje completo (plomo + hormigón + aire + parafina + GT)




<p>Cyclone® 11 Site requirement guide</p> 	
<p>5.5. Self-Shielding</p>	<p>A self-shielding option designed for a dose rate on contact of less than 15 $\mu\text{Sv/h}$ is available. It consists of two movable shells driven along rails by an electric motor. Each shell is filled with lead, steel and polyethylene.</p> <p>Warning: local regulations will determine the thickness of the concrete walls that enclose the cyclotron, to keep the radiation dose rate within the acceptable level (for example, 30 cm is required in European locations).</p> <p>IBA provides a frame with the rails for the shielding shells together with tubes and pipes for the cyclotron and associated equipment. This structure will be cast in the concrete floor slab before rigging the equipment.</p>
<p>5.5.1. Cyclotron shielding requirements</p>	<p>If the facility does not already possess a vault with sufficient radiation shielding, the Cyclone®11 can be supplied with a self-shielding which reduces radiation level emanating from the Cyclone® into the room.</p> <p>Type</p> <p>Two movable shells with rollers driven on rails by electric motors.</p> <p>Composition and Dimension</p> <p>The shells are made of a thick steel structure filled with lead and polyethylene-paraffin compound.</p> <p>A first lead filter is placed in front of the target to slow down neutrons. The neutrons are then absorbed in the polyethylene-paraffin while the primary and secondary gamma rays are stopped in the outer lead shield.</p> <p>The shell thickness is 85 cm around the cyclotron and 60 cm above, total self-styled diameter is 3.3 m.</p>

Tabla 5.5: Requerimientos sobre protección contra la radiación

5.5.6 CARCASA MÓVIL DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN



Foto 5.5: Carcasa cerrada – Carcasa abierta

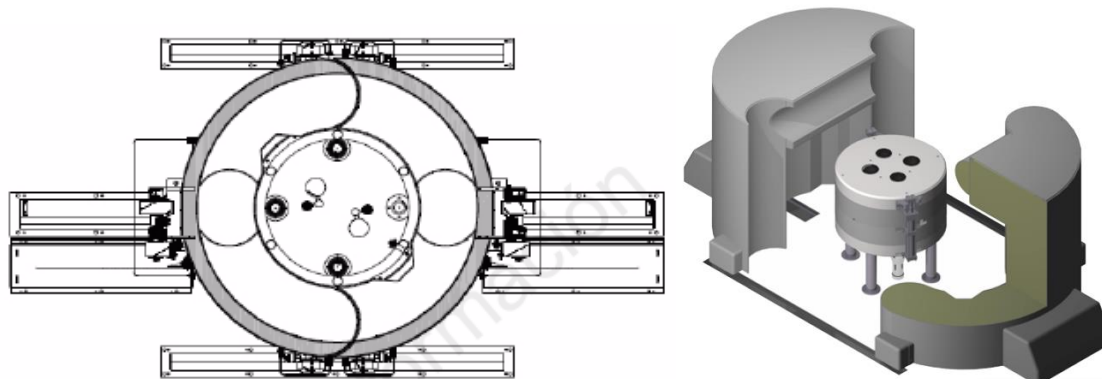


Figura 5.5: Carcasa cerrada – Carcasa abierta



5.6 EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS RECOPIRADOS Y ELECCIÓN DE LOS POTENCIALMENTE MÁS SUSCEPTIBLES PARA SU POSTERIOR EVALUACIÓN FRENTE A ACCIONES SÍSMICAS.

Luego del análisis de los equipos recopilados anteriormente en conjunto con especialistas en el tema se escoge como equipo médico más susceptible al ciclotrón debido a los siguientes factores:

- Novedoso equipo altamente sensible;
- Equipo de gran tamaño y peso;
- Supone una peligrosidad muy alta ya que éste funciona con radioactividad;
- Es utilizado en varias ramas de la medicina (oncología, cardiología, neurología).

Es por ello que es importante desacoplarlo de la estructura para que durante un evento sísmico sufra las menores aceleraciones posibles ya que si éste se rompiera o descalibrara el costo de reparación sería muy elevado sumando al tiempo de inactividad debido al mantenimiento del mismo.



CAPÍTULO VI: DISPOSITIVOS DE AISLACIÓN SÍSMICA

6.1 AISLADORES ELASTOMERICOS

Los aisladores elastoméricos son uno de los dispositivos más utilizados actualmente en el diseño de estructuras aisladas. Están conformados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero.

Durante su construcción, las láminas de acero y goma se intercalan horizontalmente dentro de un molde de acero que da la forma geométrica al aislador, que por lo general, presentan una sección circular o cuadrada. Una vez colocadas estas láminas en el molde, se coloca el aislador bajo una prensa y se le aplica presión y temperatura de 140°C por un tiempo que dependerá de la sección del aislador. Durante este proceso la goma se vulcaniza y adquiere su propiedad elástica. Además, el calor aplicado produce la reacción del pegamento epóxico con que han sido cubiertas las láminas de goma y acero. La adherencia debe ser más resistente que la goma misma y la falla por cizalle de un aislador debe ocurrir por deformación en la goma antes que por una falla del pegamento goma-acero. El conjunto de láminas de goma y placas de acero está cubierto en sus extremos superior e inferior por dos placas de acero, en las cuales se conecta con la superestructura en su parte superior y la fundación en su parte inferior.

Mediante esta configuración se logra la flexibilidad lateral necesaria para permitir el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y el suelo. La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de los aisladores elastoméricos depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos y, en menor grado, de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento.

Existen varios tipos de apoyos elastoméricos, entre ellos se encuentran los apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing), los apoyos de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing) y alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), y los apoyos de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing). También existen aisladores elastoméricos que cuenta con un disco de PTFE (Teflón) en su parte superior llamados Aisladores Deslizantes.

6.1.1 AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE BAJO AMORTIGUAMIENTO (LDRB)

Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores tipo LDRB presentan bajo amortiguamiento (2-5% como máximo), por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos dispositivos presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar. La respuesta de sistemas de aislamiento sísmico conformados por estos tipos de aisladores está influenciada por el valor del amortiguamiento y la rigidez equivalente del aislador (Kelly, 1993, 1996). La Figura 8.1 muestra un corte de un aislador elastomérico junto a sus principales características.

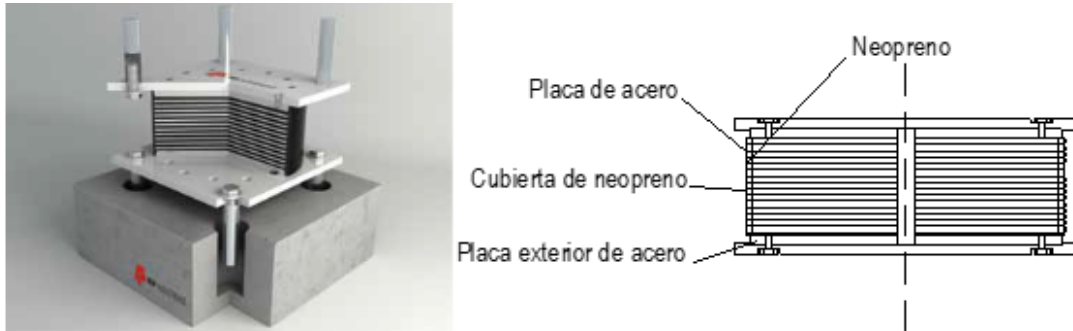


Figura 6.1: Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB) y sus partes

6.1.2 AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)

Los aisladores con núcleo de plomo (LRB) son aisladores elastoméricos similares a los LDRB pero poseen un núcleo de plomo, ubicado en el centro del aislador, que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 15%, lo que admite reducir los desplazamientos horizontales y mejorar la disipación de energía (Naeim et al., 1999). Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un terremoto, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo recristaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. La Figura 8.2 muestra los componentes de un aislador elastomérico tipo LRB.

Alejar el período fundamental de un edificio del período predominante de un terremoto no garantiza plenamente la protección de la estructura, debido a una posible resonancia con otras frecuencias naturales más altas (Bozzo et al., 2000). Por lo general diversos terremotos no muestran un período predominante claramente definido y es posible que la presencia de distintos picos espectrales conduzca a amplificaciones dinámicas. Para controlar dichas amplificaciones es oportuna la adición de amortiguamiento, parámetro que permite, de una manera más eficiente, la disipación de energía.

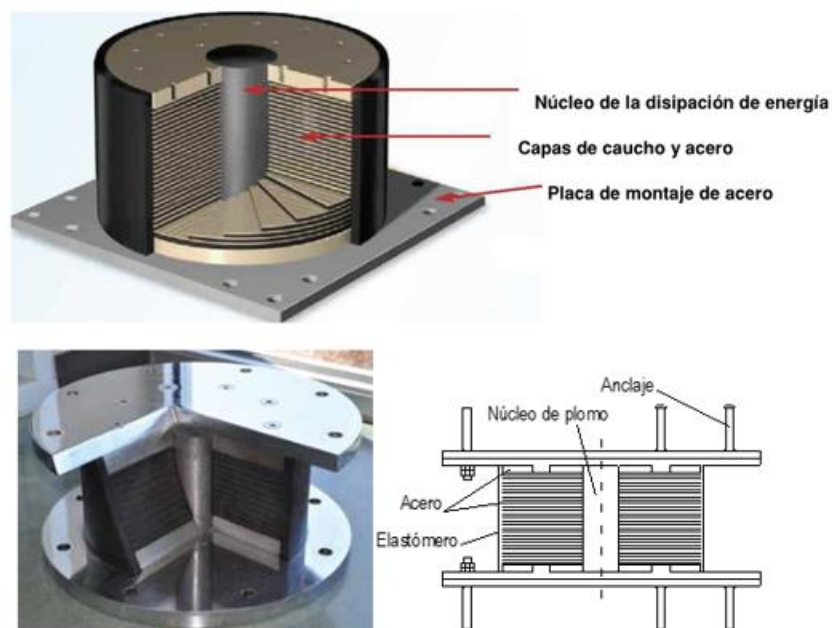


Figura 6.2: Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y sus partes



La relación fuerza- desplazamiento puede modelarse mediante el modelo histerético indicado en la Figura 8.3.

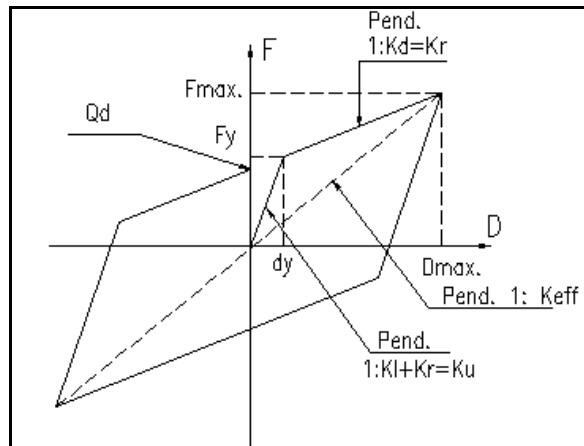


Figura 6.3: Constitutiva no lineal del aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)

6.1.3 AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDRB)

Los HDRB son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%. Los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDRB y LRB. A su vez, los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga. Estos dispositivos, al igual que los dispositivos tipo LRB, combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser, relativamente, de fácil fabricación.

El desarrollo de la goma con alto amortiguamiento fue obtenido en 1982 por *Malaysian Rubber Producers' Research Association (MRPRA)* y dicha característica permite diseñar sistemas de aislamiento sin la adición de mecanismos que provean un amortiguamiento adicional. El amortiguamiento puede ser incrementado a valores comprendidos entre un 10 y un 15% con el 100% del esfuerzo de corte (Naeim et al., 1999).

El amortiguamiento que provee el aislador de goma de alto amortiguamiento no es viscoso ni tampoco histerético, su respuesta se encuentra entre ambos. Para un amortiguamiento viscoso lineal la disipación de energía es función del cuadrado del desplazamiento, mientras que para amortiguamiento histerético tiende a ser lineal con el desplazamiento.

6.1.4 AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON SUPERFICIE DESLIZANTE

Los aisladores elastoméricos con superficie deslizante o también llamados deslizadores friccionales utilizan una superficie de deslizamiento, típicamente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE) más conocido como teflón, sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Este sistema de aislación sísmica permite disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante un terremoto. El coeficiente de fricción del aislador depende de variables tales como la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.) y el envejecimiento. Los aisladores deslizantes planos



generalmente deben ser acompañados por mecanismos o sistemas restituitivos (típicamente aisladores elastoméricos con o sin núcleo de plomo) que restituyan la estructura a su posición original luego del terremoto. Adicionalmente, estos dispositivos requieren de mayor mantenimiento y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede modificar los parámetros de diseño de los dispositivos.

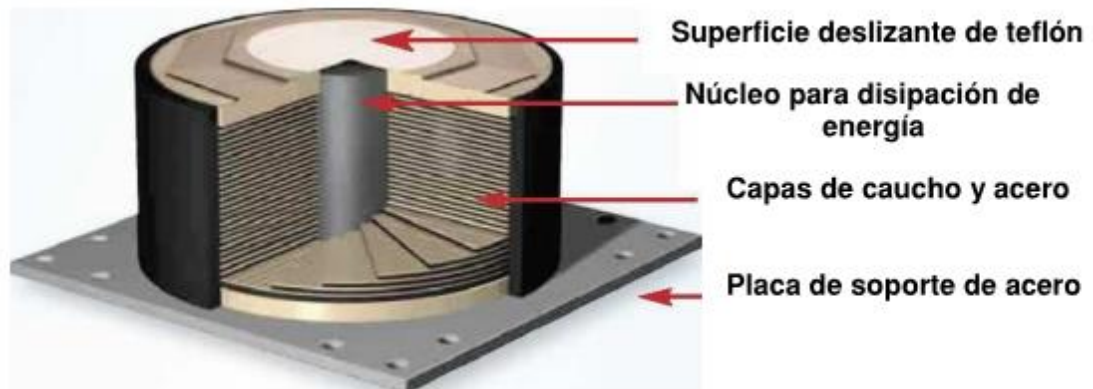


Figura 6.4: Aislador elastomérico con superficie deslizante y sus partes

6.2 AISLADORES FRICCIONALES O FPS

El sistema de péndulo de fricción (FPS, por su nombre en inglés: Friction Pendulum System) consiste en un deslizador friccional articulado que se desplaza sobre una superficie cóncava esférica, tal como se muestra en la Figura 8.5. La superficie esférica suele ser de acero inoxidable, y el deslizador está recubierto de PTFE (teflón), de modo de lograr coeficientes de fricción bajos que permitan el deslizamiento de las partes, y por ende el aislamiento de la estructura.

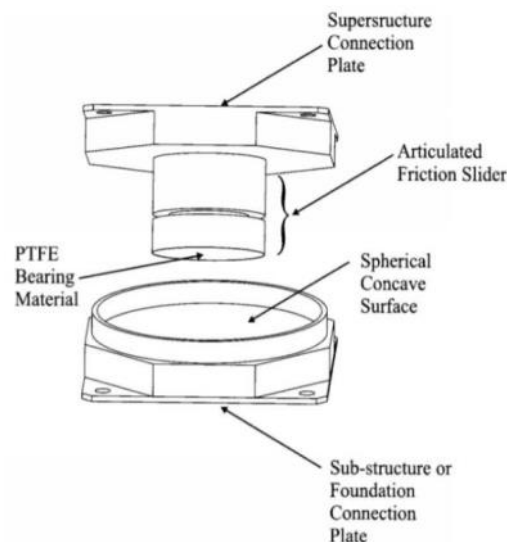


Figura 6.5: Sistema de péndulo de fricción (Christopoulos y Filiatrault, 2006)

El aislador FPS actúa como un fusible que sólo se activa cuando las fuerzas del terremoto superan el valor estático de la fricción. Una vez establecido el movimiento, el aislador desarrolla una fuerza lateral igual a la combinación de la fuerza de fricción movilizada y la fuerza restauradora, que se desarrolla como resultado del ascenso inducido de la estructura a lo largo de la superficie esférica. Esta fuerza restauradora es



proporcional al desplazamiento y al peso sobre el aislador, y es inversamente proporcional al radio de curvatura de la superficie esférica (Mokha et al., 1991b).

El sistema tiene las siguientes propiedades:

- Rigidez para fuerzas hasta el valor estático del coeficiente de fricción multiplicado por el peso;
- Fuerza lateral que es proporcional al peso que lleva el aislador, por ende, la fuerza lateral resultante se desarrolla en el centro de masa, eliminando así las excentricidades;
- Periodo de vibración en el modo de deslizamiento que es independiente de la masa de la estructura, y está relacionado sólo con el radio de curvatura de la superficie esférica. Además de estas propiedades, el sistema de péndulo de fricción tiene otras propiedades comunes a los sistemas de aislamiento deslizante, como una baja sensibilidad al contenido de frecuencias de la excitación y un alto grado de estabilidad (Mokha et al., 1991b).

La disipación de energía del sistema se logra a través de la fricción entre las superficies de deslizamiento. El coeficiente de fricción depende de la presión de contacto y la velocidad de deslizamiento. Dicho coeficiente disminuye con el incremento de presión, y aumenta con el incremento de la velocidad (Mokha et al., 1990). En la Figura 8.6 se ilustran los ciclos de histéresis de la respuesta de un aislador FPS, donde puede verse que el mecanismo de disipación es muy estable.

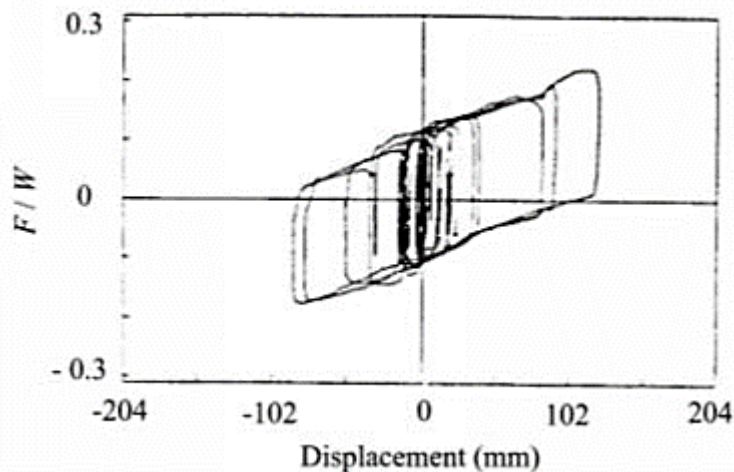


Figura 6.6: Ciclos de histéresis experimental de un FPS (Christopoulos y Filiatrault, 2006)

6.2.1 AISLADOR FPS DE PÉNDULO SIMPLE (PRIMERA GENERACIÓN)

El sistema de péndulo friccional simple es un dispositivo que consigue el efecto de aislamiento a través de un mecanismo deslizante unido a un efecto pendular. Consiste en un deslizador articulado que se mueve sobre una superficie de acero inoxidable, que tiene la característica de ser esférica cóncava.

Ante un movimiento sísmico, se producirá un desplazamiento del deslizador a lo largo de esta superficie, disipando energía por fricción, y a la vez como el desplazamiento se realiza sobre una superficie curva, hace que la misma carga vertical transmitida por el deslizador genere una componente tangencial, que es la responsable de centrar el sistema.



En las siguientes figuras se observan, respectivamente, un esquema de un aislador de simple péndulo, una foto de los componentes del mismo, y la relación constitutiva teórica.

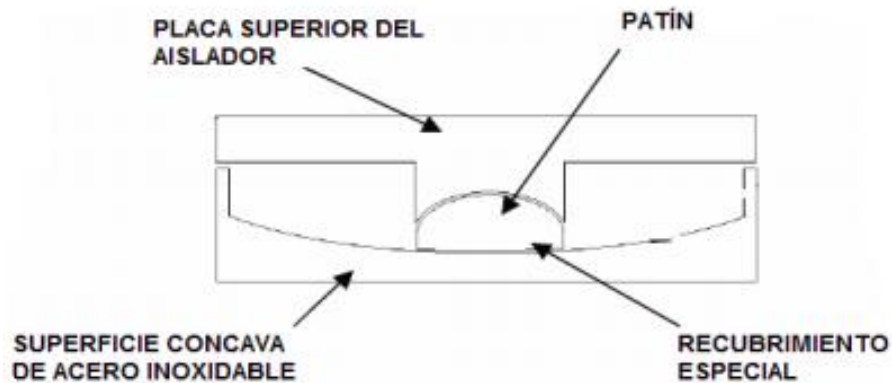


Figura 6.7: Sección transversal de un aislador de péndulo simple (Morgan y Mahin, 2011)



Foto 6.1: Componentes de un aislador de péndulo simple (Earthquake Protection Systems, Inc.)

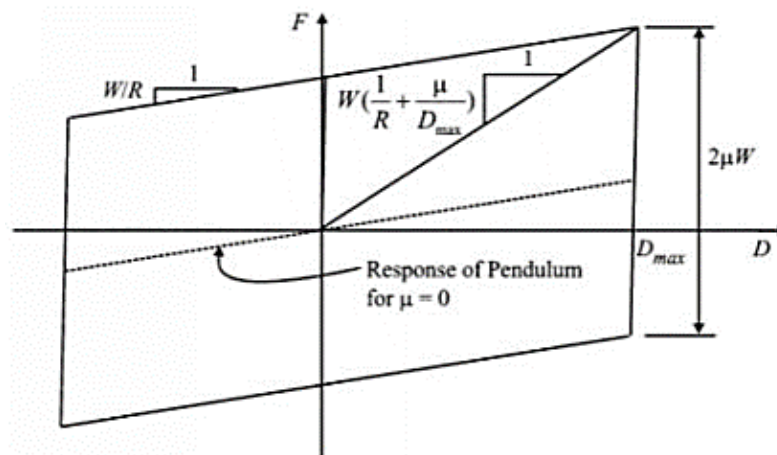


Figura 6.8: Constitutiva de un aislador de péndulo simple (Christopoulos y Filiatrault, 2006)

6.2.2 AISLADOR FPS DE PÉNDULO DOBLE (SEGUNDA GENERACIÓN)

El aislador de doble péndulo de fricción, mostrado en la Foto 8.2, se compone de dos superficies cóncavas de acero inoxidable con radios de curvatura R_1 y R_2 , y coeficientes de fricción μ_1 y μ_2 , que, en cada caso, pueden ser desiguales. Un deslizador recubierto con teflón separa las dos superficies.

Este último puede o no ser articulado, aunque si lo es permite, acomodar las rotaciones diferenciales de las superficies cóncavas superior e inferior cuando la fricción



es desigual, y distribuir la carga uniformemente sobre la superficie de contacto evitando un desgaste excesivo (Fenz y Constantinou, 2006).



Foto 6.2: Componentes de un aislador de péndulo doble (Morgan y Mahin, 2011)

En las siguientes figuras se muestra, respectivamente, un esquema del aislador, y la relación constitutiva trilineal característica. El término L_i corresponde a la longitud efectiva del péndulo, se define como $L_i = R_i - h_i$, ya que la altura del deslizador reduce el radio a lo largo del cual actúa la fuerza restitutiva.

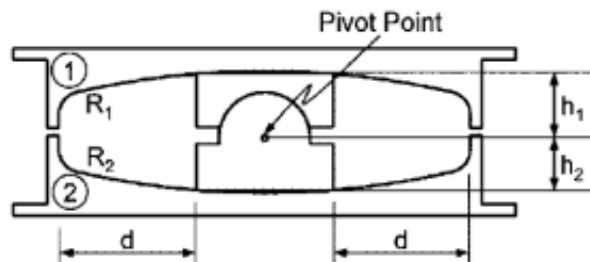


Figura 6.9: Sección transversal de un aislador de doble péndulo de fricción (Fenz y Constantinou, 2006)

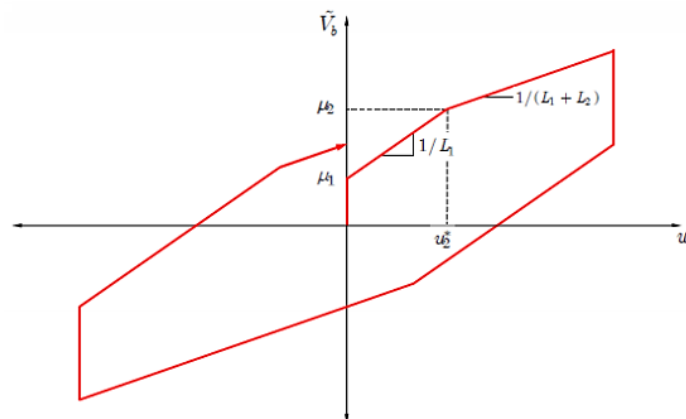


Figura 6.10: Constitutiva del aislador de doble péndulo (Morgan y Mahin, 2011)

Las principales **mejoras** del aislador de doble péndulo sobre el de simple péndulo son las siguientes:

- La deformación lateral se divide entre las superficies cóncavas superior e inferior, por lo que el diámetro requerido en cada plato cóncavo es significativamente menor que el equivalente a un péndulo simple;
- El equilibrio en la condición desplazada muestra que los momentos internos son distribuidos entre las placas superior e inferior en proporción a su desplazamiento desde la línea central de la condición no deformada;



- Los coeficientes de fricción y los radios, de los dos mecanismos del péndulo, pueden ser independientemente seleccionados para conseguir una relación fuerza – desplazamiento trilineal particular;
- Usando los mismos coeficientes de fricción y radios ($\mu_1 = \mu_2 = \mu$ y $R_1 = R_2 = R$), se puede lograr una relación bilineal como la del péndulo simple, en la cual el coeficiente de fricción es $\mu^* = \mu$ y el radio efectivo es $R^* = 2R - h_1 - h_1$ (Morgan y Mahin, 2011).

Resumiendo, la principal ventaja de este tipo de aisladores es que son más compactos que los de péndulo simple, y además permiten un comportamiento adaptativo. El primer punto, queda de manifiesto con la capacidad de desplazamiento y el período de vibración que pueden lograrse. En el caso de un aislador simétrico ($R_1=R_2$), la capacidad máxima de desplazamiento es $2d$, donde d es la capacidad máxima de desplazamiento de una sola superficie cóncava; mientras que el período es aproximadamente 1,4 veces mayor que el de un aislador de péndulo simple con el mismo radio de curvatura, ya que, si en la ecuación del periodo se reemplaza R por $2R$, se obtendría uno $\sqrt{2}$ veces más grande. El segundo punto, puede lograrse combinando una superficie con radio pequeño y baja fricción que se active con sismos de poca intensidad, y otra superficie con radio grande y mayor fricción para excitaciones más fuertes (Fenz y Constantinou, 2006).

6.2.3 AISLADOR FPS DE PÉNDULO TRIPLE (TERCERA GENERACIÓN)

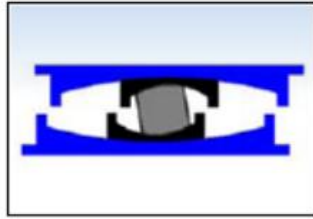
El aislador de triple péndulo de fricción fue desarrollado por la empresa Earthquake Protection Systems del Dr. Víctor Zayas. Consta de cuatro superficies cóncavas y tres mecanismos de péndulo independientes, que se activan secuencialmente a medida que los movimientos sísmicos se hacen más fuertes. El sistema tiene dos placas principales con superficies cóncavas separadas por un deslizador articulado. El deslizador articulado está formado por dos placas deslizantes cóncavas externas de las placas deslizantes son generalmente de teflón, mientras que el resto de las superficies son de acero inoxidable.

El primer péndulo se desarrolla entre el deslizador rígido y las caras internas de las dos placas deslizantes, posee baja fricción y período corto, y se activa con sismos de nivel de servicio con pequeñas excitaciones (Earthquake Protection Systems, Inc.).

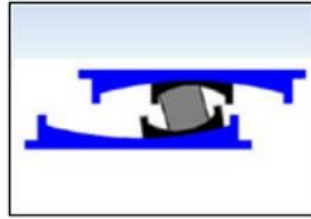
El segundo péndulo se forma entre la superficie de deslizamiento de la placa principal inferior y el deslizador articulado, se incrementa tanto el período como la fricción, y funciona bajo sismos de diseño con excitaciones moderadas (Earthquake Protection Systems, Inc.).

El tercer péndulo se desarrolla entre la superficie de deslizamiento de la placa principal superior y el deslizador articulado, el coeficiente de fricción es más elevado, y se activa con el sismo máximo creíble con niveles extremos de excitación (Earthquake Protection Systems, Inc.).

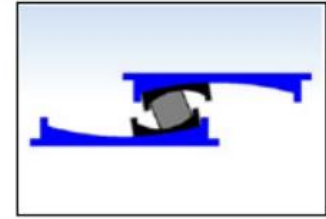
En la Figura 8.11 se muestran el esquema descripto de los tres péndulos:



Inner Pendulum Motion
Service Level Earthquake



Lower Pendulum Motion
Design Basis Earthquake



Upper Pendulum Motion
Maximum Credible Earthquake

Figura 6.11: Esquema de péndulos de un aislador triple (Earthquake Protection Systems, Inc.)

En las figuras siguientes se muestran los componentes de este aislador. En la primera imagen se observa la vista exterior del sistema, protegido por un fuelle para evitar el ingreso de polvo o materiales extraños a las superficies de deslizamiento. En la segunda imagen se observa un deslizador, que se denominará principal, formando un péndulo doble con las placas cóncavas grandes superior e inferior que tienen distintos coeficientes de fricción. En la tercera imagen se aprecia un deslizador interno, ubicado dentro del deslizador principal anterior, y que forma un nuevo péndulo doble con las placas cóncavas pequeñas del deslizador principal. Al tener estas dos placas igual coeficiente de fricción y ser rígido el deslizador interno, el péndulo interno trabaja como simple, de ahí que la combinación de un péndulo doble con uno simple derive en la denominación de péndulo triple.



Foto 6.3: Aislador de péndulo triple (Earthquake Protection Systems, Inc.)



Foto 6.4: Deslizador principal del aislador triple (Earthquake Protection Systems, Inc.)



Foto 6.5: Deslizador interno dentro del deslizador principal del aislador triple (Earthquake Protection Systems, Inc.)

La Figura 8.12 se muestra la geometría de un aislador de triple péndulo de fricción. Su comportamiento está caracterizado por cuatro radios de curvatura R_1 , R_2 , R_3 y R_4 (típicamente $R_1=R_4$ y $R_2=R_3$), cuatro alturas h_1 , h_2 , h_3 y h_4 (típicamente $h_1=h_4$ y $h_2=h_3$), cuatro capacidades de desplazamiento d_1 , d_2 , d_3 y d_4 (típicamente $d_1=d_4$ y $d_2=d_3$), y cuatro coeficientes de fricción μ_1 , μ_2 , μ_3 y μ_4 (típicamente $\mu_2 = \mu_3 < \mu_1 < \mu_4$) (Fadi y Constantinou, 2010).

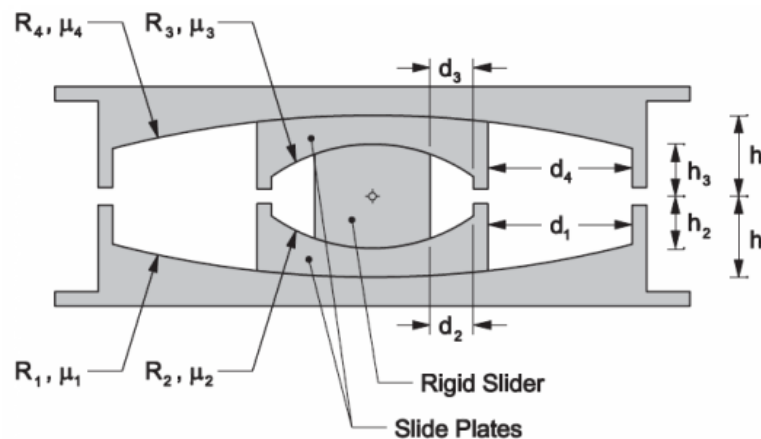


Figura 6.12: Sección transversal de un aislador de triple péndulo de fricción (Fenz y Constantinou, 2008a)

Los coeficientes de fricción se seleccionan de manera que el aislador presente inicialmente alta rigidez y baja fricción, y posteriormente, conforme se incrementa la amplitud de desplazamiento, disminuya la rigidez y aumente la fricción efectiva (Fenz y Constantinou, 2008a).

Las capacidades de deslizamiento de cada superficie se seleccionan de manera que haya un endurecimiento gradual para grandes desplazamientos. El deslizador debe llegar al tope de desplazamiento en las superficies 1 y 4 antes que en las superficies 2 y 3, siempre que el movimiento se inicie en las superficies 2 y 3 antes que en las superficies 1 y 4. Además el deslizamiento debe comenzar sobre la siguiente superficie de mayor fricción antes del inicio de cualquier endurecimiento, es decir antes de la detención de la superficie que estaba deslizando previamente (Fenz y Constantinou, 2008a).

El comportamiento adaptativo del aislador de triple péndulo resulta de las diferentes combinaciones de deslizamiento que pueden ocurrir en sus múltiples superficies cóncavas. El movimiento está organizado en varios regímenes, cada uno



correspondiente a una combinación distinta de superficies sobre las que se produce el deslizamiento. La rigidez del aislador es inversamente proporcional a la suma de los radios de curvatura de las superficies sobre las cuales se produce el deslizamiento. El coeficiente de fricción efectivo también se relaciona con los coeficientes de fricción de las superficies sobre las que se está produciendo el deslizamiento. La secuencia de los regímenes de deslizamiento está determinada por el coeficiente de fricción de cada interface y su relación entre la capacidad de desplazamiento y el radio de curvatura de las superficies (Fenz y Constantinou, 2008a).

A continuación, se presenta la Tabla 8.1 con los cinco regímenes de deslizamiento diferentes, ordenados por amplitud creciente de desplazamiento máximo, y luego la Figura 18 con los ciclos de histéresis correspondientes a cada régimen.






Régimen	Esquema	Descripción
I		Deslizamiento sólo sobre las superficies 2 y 3 (las dos superficies de menor e igual fricción).
II		El movimiento se detiene sobre la superficie 2; hay deslizamiento sobre las superficies 1 y 3 (cuando inicia el deslizamiento sobre la superficie 1, se detiene sobre la superficie 2 pero continúa sobre la superficie 3).
III		El movimiento se detiene sobre la superficie 3 y continúa detenido sobre la superficie 2; hay deslizamiento sobre las superficies 1 y 4 (cuando inicia el deslizamiento sobre la superficie 4, se detiene sobre la superficie 3 y continúa detenido sobre la superficie 2).
IV		La placa deslizante inferior llega al tope sobre la superficie 1; el movimiento permanece detenido sobre la superficie 3; hay deslizamiento sobre las superficies 2 y 4.
V		La placa deslizante superior llega al tope sobre la superficie 4 al igual que ocurriera sobre la superficie 1; hay deslizamiento sobre las superficies 2 y 3.

Tabla 6.1: Resumen de los regímenes de deslizamiento de los aisladores de triple péndulo (Fenz y Constantinou, 2008c)

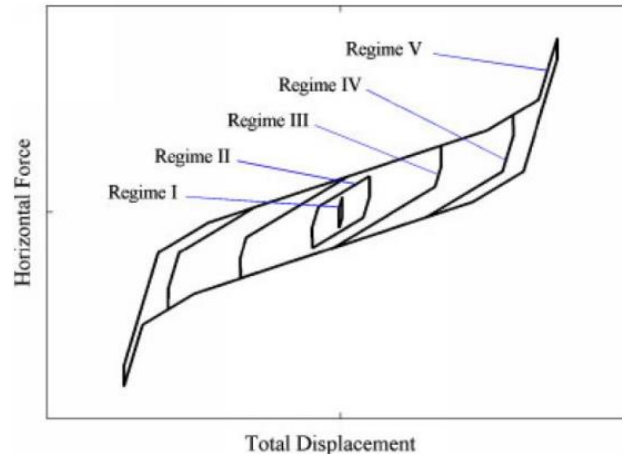


Figura 6.13: Constitutiva del aislador de triple péndulo (Fadi y Constantinou, 2010)

Los aisladores de péndulo de fricción están diseñados para operar en los regímenes I a IV, mientras que el régimen V debería reservarse para condiciones excepcionales que permitan un desplazamiento contenedor en terremotos más allá del máximo considerado. En el régimen V el aislador ha consumido sus capacidades de desplazamiento d_1 y d_4 y sólo se desliza sobre las superficies 2 y 3 (Fadi y Constantinou, 2010).

Los aisladores friccionales poseen algunas ventajas y desventajas con relación a los aisladores elastoméricos.

Entre las principales **ventajas** pueden citarse:

- Menores alturas.
- La separación entre el sistema de transmisión de carga vertical y el sistema de resistencia lateral (restitución).
- Posibilidad de limitar el nivel de corte basal máximo de la estructura a un valor preciso.
- Simplicidad del mecanismo de disipación y bajo costo.
- Los aisladores friccionales son más adecuados para estructuras livianas.
- Son efectivos en un amplio rango de frecuencias de excitación, dado que la fuerza de fricción es casi independiente de la frecuencia del movimiento.
- Se logra una frecuencia fundamental exacta.
- Es independiente de la masa.
- Fuerza friccional proporcional al peso y eso minimiza los efectos de torsión (en el sistema de aislación, no en la superestructura).
- El período de aislamiento, la capacidad de carga vertical, el amortiguamiento y la capacidad de desplazamiento pueden seleccionarse en forma independiente.
- Son menos sensibles a las temperaturas extremas.
- Son más compactos (Mokha et al., 1991b; Jia, 2017).

Entre las **desventajas** se pueden mencionar:



- El control de las fuerzas normales en la interfaz de aislación;
- Necesidad de proveer un mecanismo paralelo de restitución;
- Mayor incertidumbre en la variación del coeficiente de fricción, con el envejecimiento, abrasión y uso.
- El coeficiente de fricción depende de la presión de contacto y la velocidad de deslizamiento.
- El deslizador puede experimentar levantamiento frente a grandes momentos de vuelco de la estructura.
- El deslizador puede experimentar levantamiento frente a grandes momentos de vuelco de la estructura.
- La fuerza de fricción desarrollada es sensible a los cambios en la fuerza normal de contacto, por efecto de grandes deformaciones, aceleraciones verticales o levantamiento (Mokha et al., 1990; Almazán et al., 1998).
- La fuerza de fricción desarrollada es sensible a los cambios en la fuerza normal de contacto, por efecto de grandes deformaciones, aceleraciones verticales o levantamiento (Mokha et al., 1990; Almazán et al., 1998).
- Su proceso de fabricación demanda un mecanizado muy preciso de las superficies de deslizamiento.



CAPÍTULO VII: DISEÑO CUANTITATIVO DE DISPOSITIVOS DE AISLACIÓN SÍSMICA

7.1 AISLADORES ELASTOMERICOS

INTRODUCCIÓN

En esta etapa, previa a la modelación en un programa computacional como SAP2000, lo que haremos es definir todos aquellos parámetros necesarios para poder describir el comportamiento de los aisladores elastoméricos. Para ello realizaremos el diseño cuantitativo de un aislador elastomérico con núcleo de plomo tipo LRB con goma de alto amortiguamiento y rigidizados con planchas de acero, no solo para obtener las principales características del mismo sino como modo de un ejercicio enriquecedor de nuevos conceptos relacionados con los dispositivos de aislación sísmica.

Para este diseño se siguen los lineamientos indicados por el método estático del código de Chile (NCh2745, 2003) que se tuvo en cuenta en el trabajo de Doctorado en Ingeniería: "Curso de Protección Sísmica" del Dr. Ing. Miguel E. Tornello y también en la tesis del Dr. Ing. Gustavo Gioacchini. A continuación, se detalla el procedimiento.

DISEÑO DEL AISLADOR LRB

En el diseño de una estructura aislada se tienen como objetivos el control del esfuerzo de corte basal y la deformación máxima de los aisladores. La reducción del corte basal implica un aumento en la demanda de deformación que debe ser acomodada por los aisladores. Las variables de control son la rigidez lateral y el amortiguamiento del sistema de aislación.

Las características de la goma, que se utilizan en los aisladores, están en función de los compuestos utilizados en la fabricación de los mismos. Según las cantidades relativas de dichos componentes (Neopreno, Óxido de Zinc, Ácido Esteárico, Negro de humo, Dutrex, Vulcanox, Antilux, Azufre, PVI, etc.) es posible obtener diferentes características mecánicas de la goma (Araya Acle et al., 1994).

Endurecimiento	Modulo de elasticidad E		Modulo de corte Gr		Constante de material k'	Modulo Bulk K	
	IRHD/Shore A	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²		Mpa	kg/cm ²
30	9.35	0.92	3.09	0.30	0.93	10194.76	1000
35	12.23	1.18	3.45	0.37	0.89	10194.76	1000
40	15.32	1.50	4.57	0.45	0.85	10194.76	1000
45	19.35	1.80	5.48	0.54	0.80	10194.76	1000
50	22.42	2.20	6.54	0.64	0.73	10500.60	1030
55	33.12	3.25	9.23	0.81	0.64	11112.28	1090
60	45.35	4.45	10.69	1.08	0.57	11723.97	1150
65	60.61	5.85	13.99	1.37	0.54	12335.65	1210
70	74.25	7.35	17.65	1.73	0.53	12947.34	1270
75	95.83	9.40	22.64	2.22	0.52	13559.02	1330

Tabla 7.1: Características Mecánicas de los Elastómeros

Los parámetros mecánicos del aislador elastomérico dependen del valor del módulo de corte del elastómero (G) el cual, en general, se determina mediante ensayos. Para un material de comportamiento no lineal, como es la goma de alto amortiguamiento, el valor del módulo de corte tiene una incidencia importante sobre las características del aislador.



G50% = 0,50 MPa G20% = 1,10 Mpa

Dureza = 65 [Shore] k = 0,598 [s/u] (factor que depende de la dureza)

El valor del módulo de corte que se utiliza habitualmente para el diseño corresponde al 50% (G50%) de la deformación última (Kelly, 1991). Los ensayos realizados en estudios anteriores, demuestran que a partir de dicho punto el valor del módulo de corte permanece casi constante. (Araya Acle et al., 1994).

A continuación, mostraremos el procedimiento que se realizó en nuestra rutina de Excel para la obtención de los parámetros del aislador, al principio se iniciará un diseño preliminar de un aislador elastomérico tipo HDR.

Debido a que la estructura a la que está dirigido el presente trabajo está constituida por tabiques de gran espesor teniendo un peso bastante elevado se adoptan:

$$n_{a \text{ adop}} = 12 \text{ aisladores}$$

El peso total de estructura + equipo + sobrecargas a distribuirse en los aisladores es aproximadamente:

$$W_e = 1.000 \text{ ton} = 9.800 \text{ kN} = 9.800.000 \text{ N}$$

Tendremos:

$$N_a = \frac{W_e}{n_{a \text{ adop}}} \rightarrow \text{Carga normal máxima estimada para el diseño de aisladores}$$

$$N_a = \frac{9.800.000 \text{ N}}{12 \text{ aisladores}}$$

$$N_a = 816.666,67 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}$$

Las magnitudes de las cargas dinámicas sobre cada aislador deben ser evaluadas mediante una corrida computacional de un modelo espacial en 3D utilizando un análisis de historia en el tiempo para acelerogramas de distintos terremotos.

Para el presente análisis, a modo de simplificación, las cargas dinámicas han sido adoptadas a partir de la carga normal estática máxima del aislador. Estas son:

$$N_{a \text{ máx}} = 1,5 \cdot N_i \rightarrow \text{Carga normal dinámica máxima impuesta sobre cada aislador}$$

$$N_{a \text{ máx}} = 1,5 \cdot 816.666,67 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}$$

$$N_{a \text{ máx}} = 1.225.000,00 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}$$

$$N_{a \text{ mín}} = 0,5 \cdot N_i \rightarrow \text{Carga normal dinámica mínima impuesta sobre cada aislador}$$

$$N_{a \text{ mín}} = 0,5 \cdot 816.666,67 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}$$

$$N_{a \text{ mín}} = 408.333,33 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}$$



Es decir que se supone la no presencia de fuerzas de tracción sobre el dispositivo de aislamiento sísmico.

La técnica del aislamiento sísmico utiliza básicamente dos estrategias fundamentales para reducir las demandas sísmicas sobre las estructuras ubicadas por encima de ellas: aumentar el periodo y el amortiguamiento. Con relación al valor del periodo no existe un valor óptimo del mismo sobre todo porque valores altos implicarían importantes desplazamientos del sistema de aislamiento lo cual redundaría en dimensiones a veces no admisibles para el proyecto, por el contrario, con valores bajos de periodo no es posible satisfacer las estrategias que plantea la técnica del aislamiento. Estos desplazamientos pueden ser controlados si se introduce un amortiguamiento adicional al sistema de aislamiento. Un criterio aceptado dentro de la especialidad es trabajar con valores de periodos que estén alejados de los plafones de máximas aceleraciones de los terremotos que pueden esperarse en una región, en nuestro caso es habitual tomar valores comprendidos entre los 2,00 s y 2,50 s. (Tornello, 2007). Debido a que el diseño de un sistema de aislamiento conformado por aisladores elastoméricos requiere un proceso iterativo en el cual también se valora el periodo del conjunto aislado, es posible asumir, para iniciar dicho proceso iterativo, un valor inicial de 2,30 s.

$T_{ef} = 2,30 \text{ s}$ → Periodo efectivo al cual se desea llevar la estructura aislada

Rigidez Lateral Requerida

Una vez escogido el período efectivo, de acuerdo con las características de los sismos en el lugar de emplazamiento de la estructura y de las condiciones locales de suelo, se determina la rigidez lateral requerida del sistema de aislamiento:

$$T_{ef} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W_e}{K_{L \text{ req}} \cdot g}} \rightarrow \text{Periodo efectivo al cual se desea llevar la estructura aislada}$$

$$K_{L \text{ req}} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_{ef}}\right)^2 \cdot \frac{W_e}{g} \rightarrow \text{Rigidez lateral requerida del sistema de aislamiento}$$

$$K_{L \text{ req}} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{2,00 \text{ s}}\right)^2 \cdot \frac{9.800.000 \text{ N}}{9,810 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}}$$

$$K_{L \text{ req}} = 7.455,23 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

A este valor lo dividimos por el número de aisladores adoptados para obtener la rigidez lateral requerida de cada aislador:

$$K_{L \text{ req a}} = \frac{K_{L \text{ req}}}{n_{a \text{ adop}}} \rightarrow \text{Rigidez lateral requerida del cada aislador}$$

$$K_{L \text{ req a}} = \frac{9.859,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{12 \text{ aisladores}}$$

$$K_{L \text{ req a}} = 621,27 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}}$$

**Estimación del Desplazamiento de Diseño y Máximo:**

El Reglamento NCh2745 define:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_D = \frac{C_D}{B_D} \rightarrow \text{Desplazamiento de diseño, en el centro de rigidez del sistema de aislación} \\ Z = 1,25 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Factor dependiente de la zona sísmica chilena. Se adopta por relación el} \\ \text{correspondiente a la zona de mayor riesgo sísmico (Tabla 5 de la norma)} \end{array} \right. \\ C_D = 300 \cdot Z \text{ [mm]} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Coeficiente sísmico de desplazamiento correspondiente al nivel} \\ \text{sísmico de diseño. Valor para suelo tipo II y TD > 2 s} \end{array} \right. \\ \beta_D = 15,00 \% \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Coeficiente relativo a la razón de amortiguamiento efectivo del sistema} \\ \text{(de aislación para el desplazamiento de diseño, } B_D \text{ (Tabla 2 de la norma))} \end{array} \right. \\ B_D = 1,67 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Coeficiente de reducción por amortiguamiento determinado a partir de las} \\ \text{razones entre valores espectrales calculados para registros compatibles} \\ \text{chilenos y distintos niveles de la razón de amortiguamiento } \beta_D \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$C_D = 300 \cdot 1,25 \text{ [mm]}$$

$$C_D = 375,00 \text{ mm}$$

$$D_D = \frac{375,00 \text{ mm}}{1,67}$$

$$D_D = 224,55 \text{ mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} D_M = \frac{C_M}{B_M} \rightarrow \text{Desplazamiento máximo, en el centro de rigidez del sistema de aislación} \\ M_M = 1,20 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Coeficiente relacionado con la respuesta al sismo máximo} \\ \text{posible (Tabla 3 de la norma)} \end{array} \right. \\ C_M = 300 \cdot M_M \cdot Z \text{ [mm]} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Coeficiente sísmico de desplazamiento correspondiente al nivel} \\ \text{sísmico máximo posible. Valor para suelo tipo II y TD > 2 s} \end{array} \right. \\ Z = 1,25 \\ \beta_M = 15,00 \% \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Coeficiente relativo a la razón de amortiguamiento efectivo del sistema} \\ \text{(de aislación para el desplazamiento máximo, } B_M \text{ (Tabla 2 de la norma))} \end{array} \right. \\ B_M = 1,67 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Coeficiente de reducción por amortiguamiento determinado a partir de las} \\ \text{razones entre valores espectrales calculados para registros compatibles} \\ \text{chilenos y distintos niveles de la razón de amortiguamiento } \beta_M \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$C_M = 300 \cdot 1,20 \cdot 1,25 \text{ [mm]}$$

$$C_M = 450 \text{ mm}$$

$$D_M = \frac{450 \text{ mm}}{1,67}$$

$$D_M = 269,46 \text{ mm}$$



Amortiguamiento efectivo, β_D o β_M (porcentaje del valor crítico)	Factor β_D y β_M Suelos I, II y III
≤ 2	0,65
5	1,00
10	1,37
15	1,67
20	1,94
25	2,17
30	2,38
≥ 50	3,02

Tabla 7.2: Características Mecánicas de los Elastómeros (Tabla 2 NCh2745)

Zona sísmica	Z
1	3/4
2	1
3	5/4

Tabla 7.3: Z en función de la zona sísmica, adaptándose a Mendoza (Tabla 5 NCh2745)

Zona sísmica	M_M
1	1,2
2	1,2
3	1,2

Tabla 7.4: Factor de amplificación para el sismo máximo posible (probabilidad de excedencia del PGA igual a 10 % en 100 años) (Tabla 3 NCh2745)

Los valores de desplazamientos evaluados con la (D_D) y (D_M) deben incrementarse debido a la torsión natural y accidental del sistema de aislamiento. En la presente etapa de diseño es suficiente evaluarlos con las siguientes expresiones:

$$D_{TD} = D_D \cdot \left(1 + y_i \cdot \frac{12 \cdot e}{a_i^2 + b_i^2} \right) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Desplazamiento total de diseño de un elemento del} \\ \text{sistema de aislación, incluyendo tanto el desplazam.} \\ \text{traslacional en el centro de rigidez } D_D, \text{ como la} \\ \text{componente torsional} \end{array} \right.$$

$$D_{TM} = D_M \cdot \left(1 + y_i \cdot \frac{12 \cdot e}{a_i^2 + b_i^2} \right) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Desplazamiento total máximo de un elemento del} \\ \text{sistema de aislación, incluyendo tanto el desplazam.} \\ \text{traslacional en el centro de rigidez } D_D, \text{ como la} \\ \text{componente torsional} \end{array} \right.$$

Sin embargo, la Norma Chilena NCh 2745 nos dice que el desplazamiento total de diseño, D_{TD} , y el desplazamiento total máximo, D_{TM} , se pueden tomar menores que lo indicado en Ecuaciones anteriores, pero no menores que 1,1 veces D_D ni 1,1 veces D_M , respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculos que el sistema de aislación está debidamente configurado para resistir la torsión.

Por lo tanto, a modo de simplificación suponemos que el sistema de aislación resiste la torsión, los valores totales de desplazamientos para nuestro caso serán:

$$D_{TD} = 224,55 \text{ mm} \cdot 1,1$$

$$D_{TD} = 247,01 \text{ mm}$$



$$D_{TM} = 269,46 \text{ mm} \cdot 1,1$$

$$D_{TM} = 296,41 \text{ mm}$$

Dimensionamiento del aislador

Para conocer una sección transversal preliminar del aislador tendremos

$$\sigma_c = \frac{N_{a.máx}}{A_a} = \frac{4 \cdot N_{a.máx}}{\pi \cdot D_a^2} \rightarrow \text{Tensión admisible a compresión del aislador}$$

$$\sigma_c = 5 \text{ MPa} = 5 \frac{\text{MPa}}{\text{aislador}}$$

$$D_{a \text{ nec}} = \sqrt{\frac{4 \cdot N_{a.máx}}{\pi \cdot \sigma_c}} \rightarrow \text{Diámetro necesario del aislador}$$

$$D_{a \text{ nec}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.225.000 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}}{\pi \cdot 5 \frac{\text{N/mm}^2}{\text{aislador}}}}$$

$$D_{a \text{ nec}} = 558,52 \text{ mm} \rightarrow D_{a \text{ adop}} = 600 \text{ mm}$$

$$A_t = \frac{\pi \cdot D_{a \text{ adop}}^2}{4} \rightarrow \text{Área de la sección transversal del aislador con diámetro adoptado}$$

$$A_t = \frac{\pi \cdot (600 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_t = 282.743,34 \text{ mm}^2$$

Para determinar la altura total de la goma usaremos la rigidez lateral requerida individual.

$$K_{L \text{ req.a}} = G * \frac{A_t}{H_{g \text{ .calc}}} \rightarrow H_{g \text{ .calc}} = G * \frac{A_t}{K_{L \text{ req.a}}}$$

Donde:

H_g = Altura total de la goma en mm.

$$H_{g \text{ .calc}} = 0,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{282.743,34 \text{ mm}^2}{621,27 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}$$

$$H_{g \text{ .calc}} = 227,55 \text{ mm}$$

A los fines del diseño se adopta:

$$t_r = 10 \text{ mm} = 10 \frac{\text{mm}}{\text{lámmina}} \rightarrow \text{Espesor de láminas de goma}$$



$$t_s = 2 \text{ mm} = 2 \frac{\text{mm}}{\text{lámmina}} \rightarrow \text{Espesor de láminas de acero}$$

$$n_r = \frac{H_{g,calc}}{t_r} \rightarrow \text{Cantidad de láminas de goma a utilizar}$$

$$n_r = \frac{227,55 \text{ mm}}{10 \frac{\text{mm}}{\text{lámmina}}}$$

$$n_r = 22 \text{ láminas}$$

$$n_s = n_r - 1 \rightarrow \text{Cantidad de láminas de acero a utilizar}$$

$$n_r = 22 \text{ láminas} - 1 \text{ lámina}$$

$$n_r = 21 \text{ láminas}$$

Esto implica que el aislador tenga:

$$H_t = n_r \cdot t_r + n_s \cdot t_s \rightarrow \text{Altura total del aislador}$$

$$H_t = 22 \text{ láminas} \cdot 10 \frac{\text{mm}}{\text{lámmina}} + 21 \text{ láminas} \cdot 2 \frac{\text{mm}}{\text{lámmina}}$$

$$H_t = 262 \text{ mm}$$

Finalmente, el periodo del sistema de aislamiento será:

$$T_{final} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W_e}{K_{hT} \cdot g}}$$

$$T_{final} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{9.800.000 \text{ N}}{7.711,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 9.810 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}}} = 2,26 \text{ seg}$$

En resumen, el diseño preliminar de un aislador elatomérico tipo HDRB, conduce a las características geométricas siguientes:

Parámetro	Magnitud	mm
Diametro Aislador	600	mm
Altura Paquete de Goma	220,00	mm
Altura Total (goma + acero)	262,00	mm
Espesor Placas de Goma	10	mm
Espesor Placas de Acero	2	mm

Tabla 7.5: Resumen de resultados obtenidos para aislador elastomérico



Diseño del aislador con núcleo de plomo

El diseño de aisladores de goma con núcleo de plomo se realiza a través de un proceso iterativo debido a que el amortiguamiento y la rigidez efectiva dependen del desplazamiento máximo. En términos generales los pasos que se siguen son:

- Se asume un valor cualquiera de desplazamiento $D_{máx}$.
- Se calcula la fuerza de fluencia F_y , para ello es necesario definir el diámetro del núcleo de plomo.
- Se calcula la fuerza Q_d .
- Se calcula la rigidez posfluencia K_d .
- Se calcula $F_{max} = Q_d + K_d \cdot D_{máx}$.
- Con los valores calculados se definen puntos característicos de la constitutiva del aislador, por lo que a continuación se determina el amortiguamiento equivalente ξ_{eq} y la rigidez efectiva K_{eff} . Con este último valor se puede estimar el periodo del sistema amortiguado T_i .
- Con el valor del periodo del sistema amortiguado se define un parámetro "B" que permite determinar el desplazamiento del conjunto aislado. A dicho valor se lo compara con el $D_{máx}$, supuesto en el primer paso. Si no hay coincidencia se repite el proceso hasta que ambos parámetros converjan al valor buscado.

El proceso iterativo comenzó con un valor de:

$$D_{máx-it1} = 284,17 \text{ mm}$$

El diámetro del núcleo de plomo se define de acuerdo a los siguientes límites recomendados:

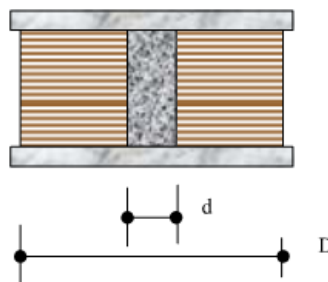


Figura 7.1: Esquema aislador con diámetros de interés

$$\frac{D_{a \text{ adop}}}{6} \leq d_p \leq \frac{D_{a \text{ adop}}}{3} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Diámetro de núcleo de plomo con límites en función} \\ \text{del diámetro del aislador adoptado en el caso anterior} \end{array} \right.$$

$$\frac{600 \text{ mm}}{6} \leq d_p \leq \frac{600 \text{ mm}}{3}$$

$$100 \text{ mm} \leq d_p \leq 200 \text{ mm}$$

Definiendo a:

$Q_d \rightarrow$ Fuerza lateral para un desplazamiento nulo en el aislador

$t_l = 9 \text{ MPa} \rightarrow$ Tensión de fluencia del núcleo de plomo



Tenemos:

$$d_p \geq 1,24 \cdot \sqrt{\frac{Q_d}{t_1}}$$

El valor de Q_d se obtiene de los procesos de diseño a partir de pasos de cálculos siguientes. Por lo tanto, el diseño del diámetro del núcleo de plomo es un proceso iterativo.

Para nuestro caso se opta por:

$$d_{p \text{ adop}} = 110 \text{ mm}$$

Los parámetros característicos de la ley constitutiva del aislador con núcleo de plomo se indican a continuación:

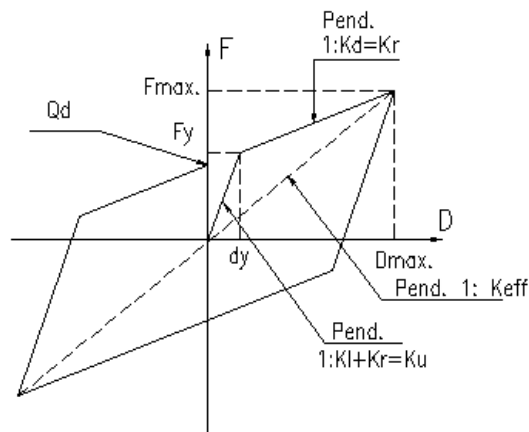


Figura 7.2: Constitutiva no lineal del aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)

La constitutiva indicada en la Figura 9.2, surge debido a un comportamiento combinado entre la goma y el núcleo de plomo. Por lo tanto, el valor de la fuerza F y la rigidez efectiva K_{eff} pueden determinarse con las siguientes expresiones:

$$F = Q_d + K_d \cdot D \rightarrow \text{Ley de variación de la fuerza aplicada sobre el aislador}$$

$$K_{eff} = \frac{F}{D_{m\acute{a}x}} = \frac{Q_d}{D_{m\acute{a}x}} + K_d \rightarrow \text{Rigidez efectiva del aislador}$$

Si se designa:

K_l → Rigidez elástica del núcleo plomo

K_r → Rigidez elástica de la goma

h_l → Altura del núcleo del plomo

h_r → Altura neta de la goma

La rigidez total se evalúa como:

$$K_d = K_l + K_r = G_o \cdot \frac{A_l}{h_l} + G_r \cdot \frac{A_r}{h_r} = G_r \cdot \frac{A_r}{h_r} \cdot \left(1 + \frac{A_l}{A_r} \cdot \frac{G_o}{G_r} \cdot \frac{h_r}{h_l} \right) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Rigidez post - fluecia} \\ \text{del aislador} \end{array} \right.$$



Si se designa un factor:

$$\alpha_1 = \frac{G_o}{G_r} \cdot \frac{h_r}{h_l}$$

De esta forma, obtenemos:

$$K_d = G_r \cdot \frac{A_r}{H_r} \cdot \left(1 + \alpha_1 \cdot \frac{A_l}{A_r}\right)$$

Donde:

$$G_r = 0,50 \text{ MPa} = 0,50 \frac{\text{MPa}}{\text{aislador}} \rightarrow \text{Módulo de corte del elastómero}$$

$$A_t = 282.743,34 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Sección transversal total del aislador}$$

$$A_l = \frac{\pi \cdot d_{p \text{ adop}}^2}{4} \rightarrow \text{Sección transversal del núcleo de plomo}$$

$$A_l = \frac{\pi \cdot (110 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_l = 9.503,32 \text{ mm}^2$$

$$A_r = A_t - A_l = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{a \text{ adop}}^2 - d_{p \text{ adop}}^2) \rightarrow \text{Sección transversal neta de goma}$$

$$A_r = 282.743,34 \text{ mm}^2 - 9.503,32 \text{ mm}^2$$

$$A_r = 273.240,02 \text{ mm}^2$$

$$H_r = 220 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 \cdot \frac{A_l}{A_r} = 0,20 \rightarrow \text{Parámetro habitual tomado para el diseño}$$

$$K_d = G_r \cdot \frac{A_r}{H_r} \cdot \left(1 + \alpha_1 \cdot \frac{A_l}{A_r}\right)$$

$$K_d = 0,50 \frac{\text{N/mm}^2}{\text{aislador}} \cdot \frac{273.240,02 \text{ mm}^2}{200 \text{ mm}} \cdot (1 + 0,20)$$

$$K_d = 745,20 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}}$$

Luego, determinamos:

$$F_y = t_1 \cdot A_l = t_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_{p \text{ adop}}^2}{4} = 7,07 \cdot d_{p \text{ adop}}^2 \rightarrow \text{Fuerza de fluencia del núcleo de plomo}$$

$$F_y = 7,07 \frac{\text{N/mm}^2}{\text{aislador}} \cdot (110 \text{ mm})^2$$



$$F_y = 85.547 \frac{N}{\text{aislador}}$$

El valor de la fuerza para un desplazamiento nulo Q_d se puede expresar como:

$$Q_d = F_y - (K_r \cdot d_y + K_d \cdot d_y) = (K_l - K_r + K_d) \cdot d_y = K_l \cdot d_y \cdot \left(1 - \frac{K_r}{K_l} + \frac{K_d}{K_l}\right)$$

Donde:

$$F_y = K_l \cdot d_y$$

La relación $\left(\frac{K_r}{K_l} \cong 0\right)$, luego puede considerarse que $\left(\frac{K_d}{K_l} \cong \frac{1}{5} a \frac{1}{6}\right)$, por lo tanto a los fines prácticos del diseño es habitual usar la siguiente expresión:

$$Q_d \cong 0,85 \cdot F_y$$

$$Q_d \cong 0,85 \cdot 85.547 \frac{N}{\text{aislador}}$$

$$Q_d \cong 72.714,95 \frac{N}{\text{aislador}}$$

Con relación a la rigidez posfluencia, es habitual, a los fines del diseño, tomar valores de α_1 comprendidos entre:

$$0 \leq \alpha_1 \leq 1/12$$

↙
↘

Escuela americana Escuela neozelandesa

Para la presente aplicación se toma el valor indicado más arriba. Si se utiliza dicha relación la rigidez total puede expresarse en forma aproximada de acuerdo a lo que indica la ecuación siguiente:

$$K_u \cong 6,5 \cdot K_r \rightarrow \text{Rigidez total del aislador}$$

Donde:

$$K_r = G_r \cdot \frac{A_r}{H_r}$$

$$K_r = 0,50 \frac{N/mm^2}{\text{aislador}} \cdot \frac{273.240,02 \text{ mm}^2}{220 \text{ mm}}$$

$$K_r = 621,00 \frac{N/mm}{\text{aislador}}$$

Por lo tanto:

$$K_u \cong 6,5 \cdot K_r$$

$$K_u \cong 6,50 \cdot 621,00 \frac{N/mm}{\text{aislador}}$$



$$K_u \cong 4.036,50 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}}$$

Con el valor de la rigidez total es posible determinar el desplazamiento de fluencia:

$$d_y = \frac{F_y}{K_u} \rightarrow \text{Desplazamiento de fluencia}$$

$$d_y = \frac{85.547 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}}{4.440,15 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}}}$$

$$d_y = 21,19 \text{ mm}$$

Amortiguamiento equivalente y rigidez efectiva

El valor de la fuerza máxima se determina como habíamos expresado:

$$F_{\text{máx}} = Q_d + K_d \cdot D_{\text{máx}}$$

$$F_{\text{máx}} = 72.714,95 \frac{\text{N}}{\text{aislador}} + 819,72 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}} \cdot 600 \text{ mm}$$

$$F_{\text{máx}} = 284.477,60 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}$$

Por lo tanto:

$$K_{\text{eff}} = \frac{F_{\text{máx}}}{D_{\text{máx}}} \rightarrow \text{Rigidez efectiva del aislador}$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{284.477,60 \frac{\text{N}}{\text{aislador}}}{284,17 \text{ mm}}$$

$$K_{\text{eff}} = 1.001,09 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}}$$

Como el sistema de aislamiento está conformado por 12 aisladores elastoméricos en consecuencia, tendremos:

$$K_{\text{eff(TOTAL)}} = n_{\text{a adop}} \cdot K_{\text{eff}} \rightarrow \text{Rigidez efectiva total del sistema de aislamiento}$$

$$K_{\text{eff(TOTAL)}} = 12 \text{ aisladores} \cdot 1.001,09 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}}$$

$$K_{\text{eff(TOTAL)}} = 12.013,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Luego definimos:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{4 \cdot Q_d \cdot (D_{\text{máx}} - d_y)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{eff(TOTAL)}} \cdot D_{\text{máx}}^2} \cdot 100 \rightarrow \text{Amortiguamiento equivalente del aislador}$$



$$\xi_{\text{eff}} = \frac{4 \cdot 72.714,95 \frac{\text{N}}{\text{aislador}} \cdot (284,17 \text{ mm} - 19,27 \text{ mm})}{2 \cdot \pi \cdot 12.013,04 \frac{\text{N/mm}}{\text{aislador}} \cdot (284,17 \text{ mm})^2} \cdot 100$$

$$\xi_{\text{eff}} = 15,059 \%$$

Por lo tanto:

$$T_{\text{sistema}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W_e}{K_{\text{eff(TOTAL)}} \cdot g}} \rightarrow \text{Periodo del sistema aislado}$$

$$T_{\text{sistema}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{9.800.000 \text{ N}}{12.013,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 9.810 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}}}$$

$$T_i = 1,812 \text{ s}$$

Verificación del desplazamiento total

Como habíamos mencionado el desplazamiento máximo viene dado por la ecuación:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_M = \frac{C_M}{B_M} \\ M_M = 1,20 \\ C_M = 300 \cdot M_M \cdot Z \text{ [mm]} \\ Z = 1,25 \\ \beta_M = 15,059 \% \\ B_M = 1,583537 \end{array} \right.$$

$$C_M = 300 \cdot 1,20 \cdot 1,25 \text{ [mm]}$$

$$C_M = 450 \text{ mm}$$

$$D_M = \frac{450 \text{ mm}}{1,583537}$$

$$D_M = 284,17 \text{ mm}$$

El valor encontrado (284,17 mm) converge al supuesto como desplazamiento máximo al principio del proceso de la iteración por lo tanto finaliza la determinación de los principales parámetros del aislador LRB. Se podrá observar entonces que el diseño de un sistema de aislamiento sísmico conformado por aisladores elastoméricos con núcleo de plomo resulta ser un proceso iterativo donde el parámetro que controla la convergencia es el desplazamiento. El proceso iterativo para encontrar los valores finales de desplazamiento, amortiguamiento y rigidez efectiva se realizó a través de una rutina de cálculo en Excel. Los **resultados finales** de la iteración se muestran en la siguiente tabla:



Parámetros	Notación	Valor	Unidad
Cantidad de aisladores	n°	12,00	Un.
Desplazamiento máximo	DM	284,17	mm
Rigidez efectiva	Keff	1.001,09	N/mm
Rigidez posfluencia	Kd	745,20	N/mm
Rigidez efectiva total	Keff.total	12.013,04	N/mm
Rigidez total	Ku	4.036,50	N/mm
Desplazamiento de fluencia	dy	21,19	mm
Fuerza de fluencia	Fy	85.547,00	N
Fuerza máxima	Fmáx.	284.477,60	N
Periodo del sistema aislado	Ti	1,812	s
Amortiguamiento efectivo	ζ_{eff}	15,059%	%
Fuerza a desplazamiento nulo	Qd	72.714,95	N
Rigidez vertical	Kv	3.419.780,68	N/mm

Tabla 7.6: Resumen de resultados obtenidos para aislador elastomérico con núcleo de plomo

7.2 AISLADORES FRICCIONALES FPS

INTRODUCCIÓN

A continuación, se desarrollará el proceso para diseñar los aisladores friccionales para nuestro proyecto. Para este caso, a diferencia del caso anterior, plantearé las ecuaciones que intervienen en el dimensionado del aislador, pero se desarrollará la rutina de cálculo en Excel, colocando la tabla resumen al final del apartado.

Peso total del sistema

Para calcular el peso total del sistema deberemos sumar los siguientes factores:

- Peso ciclotrón = 13 ton
- Peso cascarón de plomo = 65 ton
- Peso búnker = 900 ton
- Peso total = $W_T = 978 \text{ ton} = 9.604 \text{ KN}$

Peso que recae a cada aislador

En nuestro proyecto adoptamos colocar **12 aisladores**

$$W_a = \frac{W_T}{n_a}$$

$$W_a = \frac{9.604 \text{ KN}}{12 \text{ aisladores}}$$

$$W_a = 800,33 \frac{\text{kN}}{\text{aislador}}$$



DISEÑO DEL DISPOSITIVO

Periodo del sistema

Es el periodo al cual queremos llevar nuestra estructura, el mismo debería ser tal que nos traslade el periodo de la estructura fuera del plañón del espectro,

En nuestro caso adoptamos un período:

$$T_{\text{adop}} = 1,80 \text{ s}$$

Radio de curvatura

$$R = \left(\frac{T}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot g \cdot 1000 \text{ [mm]}$$

Coefficiente de fricción

Dicho coeficiente depende del material con el que estemos trabajando y de la variación de la velocidad, a continuación, se adjuntan tablas con valores de dicho coeficiente.

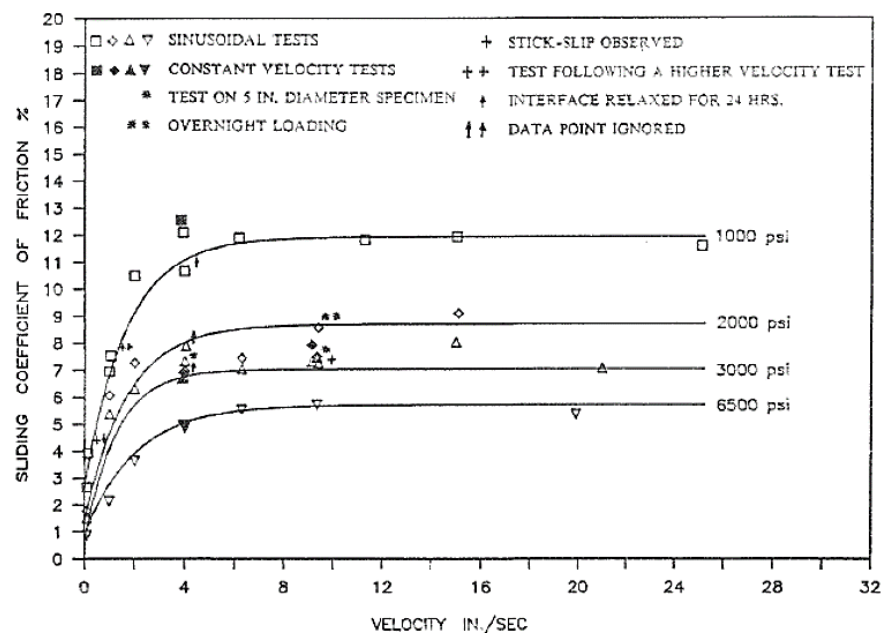


Figura 7.3: Variación del coeficiente de fricción en función de la velocidad

Se puede ver en la tabla que el coeficiente de fricción disminuye con la velocidad, por lo que podemos optar por dos valores, uno estático y otro dinámico.

PROPIEDADES	TEFLÓN	TEFLÓN CON BRONCE
Porcentaje en peso de carga [%]	0	60
Peso específico [g/cm ³]	2.13	3.76
Resistencia a compresión [kg/cm ²]	44	102
Coefficiente de fricción estático	0.13	0.15
Coefficiente de fricción dinámico	0.06	0.08

Tabla 7.7: Propiedades mecánicas de aisladores FPS de teflón y de teflón con bronce



Para los fines de diseño adoptaremos un coeficiente de fricción promedio entre estos dos, el cual corresponde a:

$$\mu (\text{teflón}) = 0,10$$

$$\mu (\text{teflón} + \text{bronce}) 0,12$$

Para nuestro proyecto y cálculo se adopta:

$$\mu = 0,10$$

Desplazamiento máximo propuesto inicial

A continuación, comenzamos nuestro proceso iterativo a través de la variable $X_{m\acute{a}x}$ proponiendo un valor al que llamaremos $X_{m\acute{a}x 1}$ que luego deberemos verificar.

$$X_{m\acute{a}x 1}$$

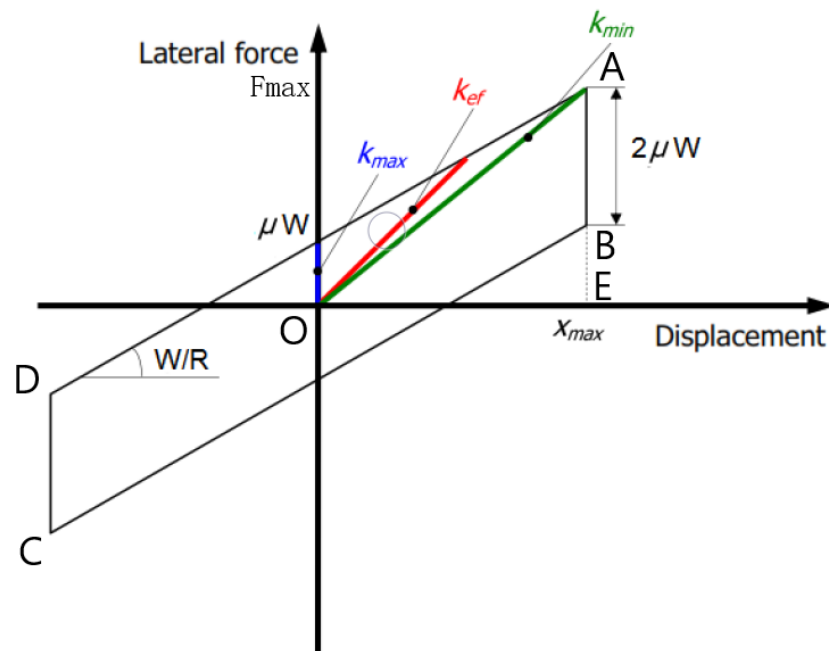


Figura 7.4: Ley constitutiva de un aislador FPS

Fuerza lateral máxima

Corresponde a la fuerza lateral máxima que puede soportar el aislador:

$$F_{m\acute{a}x} = \mu \cdot W + X_{m\acute{a}x} \cdot \frac{W_a}{R} \text{ [kN]}$$

Energía disipada en un ciclo de histéresis

Geométricamente corresponde al área ABCD y representa la energía que disipa cada aislador en un ciclo de funcionamiento:

$$E_d = 4 \cdot \mu \cdot W_a \cdot X_{m\acute{a}x} \text{ [KN} \cdot \text{mm]}$$

**Energía elástica**

Geoméricamente corresponde al área encerrada bajo el triángulo de respuesta elástica OAE y representa la energía elástica capaz de desarrollar cada aislador en un ciclo.

$$E_e = \frac{F_{m\acute{a}x} \cdot X_{m\acute{a}x}}{2} \text{ [KN} \cdot \text{mm]}$$

Amortiguamiento efectivo

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{E_d}{4 \cdot \pi \cdot E_e} \text{ [%]}$$

Factor de amortiguamiento

$$B = \left(\frac{\xi_{\text{eff}}}{0,05} \right)^3$$

Ordenada del espectro de diseño

Corresponde a la ordenada del espectro de diseño para un segundo:

$$SM_1 \text{ [g]}$$

Desplazamiento máximo a verificar

Continuamos el proceso iterativo hasta que $X_{m\acute{a}x 2}$ sea igual al valor $X_{m\acute{a}x 1}$ propuesto al comienzo de la iteración:

$$X_{m\acute{a}x 2} = \frac{SM_1 \cdot T}{4 \cdot \pi^2 \cdot B} \cdot 1000 \text{ [mm]}$$

Desplazamiento admisible

Para poder completar nuestro proceso iterativo debemos corroborar que:

$$X_{m\acute{a}x} < X_{\text{adm}}$$

Dicho desplazamiento lo podemos calcular con el espectro de desplazamientos dependiendo del periodo adoptado anteriormente.

Diámetro del aislador

Dada la naturaleza constructiva del aislador el diámetro del mismo, visto en planta deberá ser el doble del desplazamiento admisible.

$$D_a = 2 \cdot X_{m\acute{a}x} \text{ [mm]}$$

Rigidez efectiva del aislador

$$K_{\text{eff}} = W_a \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{X_{m\acute{a}x}} \right) \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

Coefficiente de fricción máxima

$$\mu_{m\acute{a}x} = \frac{X''_{m\acute{a}x}}{g} + \frac{X_{m\acute{a}x}}{R}$$

Por lo tanto, el procedimiento para calcular el mismo es el siguiente:



Colocamos los datos necesarios para nuestro proyecto:

DATOS	
T (s)	1,80
Wtotal [kN]	9604
μ (est)	0,08
μ (din)	0,13
Xadm [mm]	313,157293
N° aisl	12
Waisl [kN]	800,333333
Diametro [m]	626,314587

Tabla 7.8: Tabla resumen de parámetros necesarios para el dimensionamiento de los aisladores

A través de las fórmulas explicadas anteriormente comenzamos nuestro proceso iterativo de cálculo, obteniendo:

Parámetro	DC
T [s]	1,80
R1, R2 [mm]	800,64
μ	0,11
W [kN]	800,33
$x_{m\acute{a}x}^*$ [mm]	365,00
E_d [kN.mm]	122691
E_d/W [1.mm]	153,30
E_e [kN.mm]	81923
ξ_{ef} [%]	11,92%
B	1,30
SM1 [g]	1,06
$x_{m\acute{a}x}$ [mm]	365,03
x_{adm} [mm]	626,314587
$F_{m\acute{a}x}$ [kN]	448,89
$F_{m\acute{a}x}/W$	0,56
k_{ef} [kN/mm]	1,230
k_{ef}/W [1/mm]	0,0015
F_f/W	0,11
$k_{m\acute{i}n}/W$ [1/mm]	0,00125
T_{ef} [s]	1,69

	Datos a colocar
	Iterar (deben coincidir)
	Datos (SAP2000)

Tabla 7.9: Resultados del proceso de iteración y resultados finales

Finalmente, dichos parámetros debemos utilizarlos en el software SAP2000.



Parámetros SAP			
Effective Stifness	Kef	1229,848	[kN/m]
Effective Damping	ξ_{ef} [%]	0,12	
Distance from End-J			
Stifness	Kef	1229,84779	[kN/m]
Friction Coefficient, Slow	$\mu(\text{est})$	0,08	
Friction Coefficient, Fast	$\mu(\text{din})$	0,13	
Rate parameter			
Net pendulum radius	R	0,80064165	[m]

Tabla 7.10: Parámetros de SAP2000



CAPÍTULO VIII: MODELACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se analizará por medio del software de cálculo SAP2000 el comportamiento de la estructura descrita en el Capítulo II ante acciones exclusivamente dinámicas como lo es el sismo, despreciando en los resultados, a fines académicos, la incidencia de cargas permanentes, sobrecargas y sus combinaciones, que ya se han estudiado en otras asignaturas, pudiendo contrastar gráfica y numéricamente la respuesta en el tiempo de deformaciones, aceleraciones, cortes basales y trabajo/energía involucrada durante la aplicación de acelerogramas reales, para el mismo búnker sin aislamiento sísmico/base fija, con aislamiento mediante dispositivos L.R.B. y con aislamiento mediante dispositivos F.P.S.

8.1 MODELADO DE LA ESTRUCTURA EN SOFTWARE

El proceso para poder obtener los modelos de elementos finitos finales para poder analizarlos ante las acciones sísmicas consistió en:

1. Definición de la grilla de referencia con planos estructurales principales en dirección X e Y, y los niveles en Z del búnker, utilizando como información la documentación técnica de la estructura presentada en el Capítulo II:

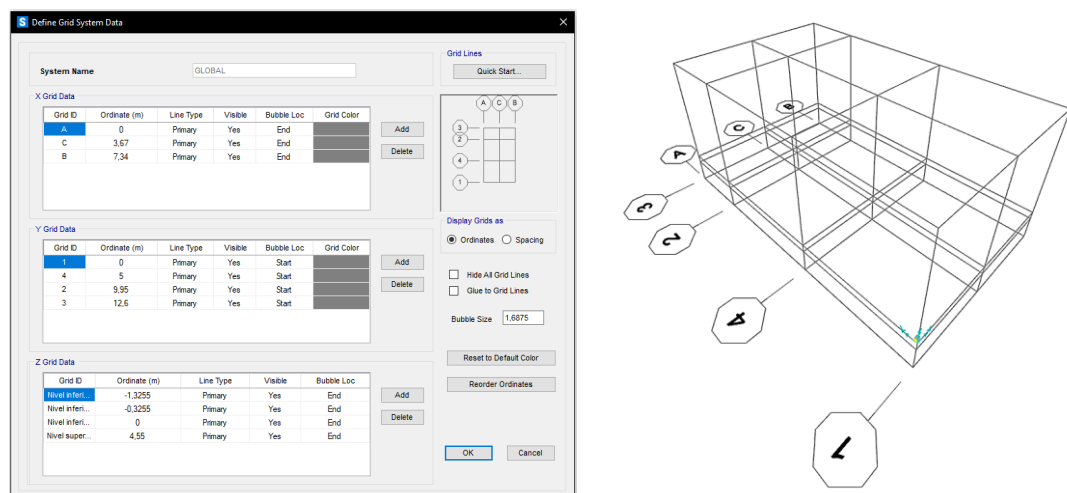


Figura 8.1: Definición de grilla para modelado de estructura en SAP2000

2. Definición de los materiales de los elementos estructurales:

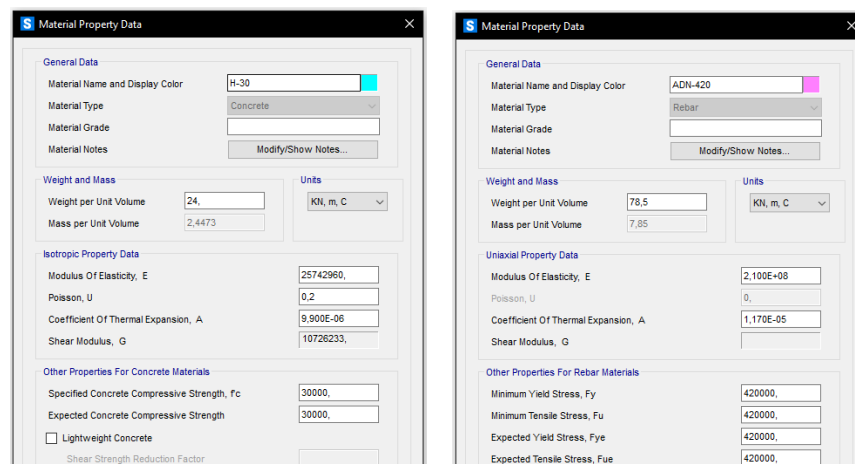


Figura 8.2: Definición de materiales para modelado de estructura



3. Definición de las secciones de los elementos estructurales:

3.1. Elementos "Frame": vigas de techo, de fundación, columnas y fustes para apoyo de dispositivos de aislamiento sísmico:



Figura 8.3: Definición de secciones de vigas, columnas y fustes de estructura

3.2. Elementos "Shell": Losa de base, de techo, tabiques en dirección X e Y:

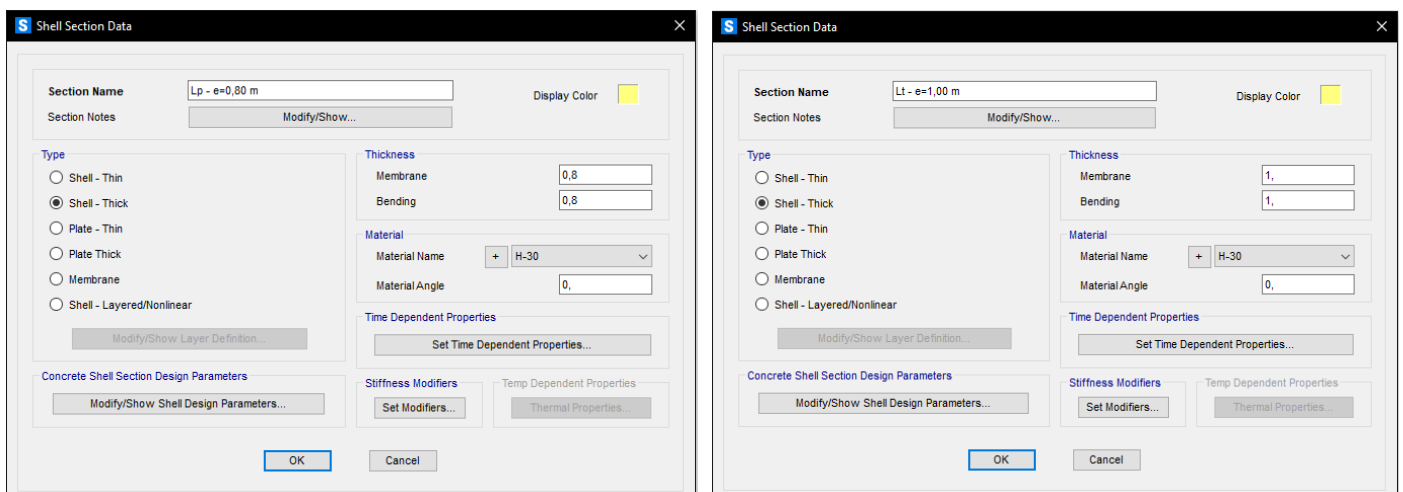


Figura 8.4: Definición de secciones de losas de estructura

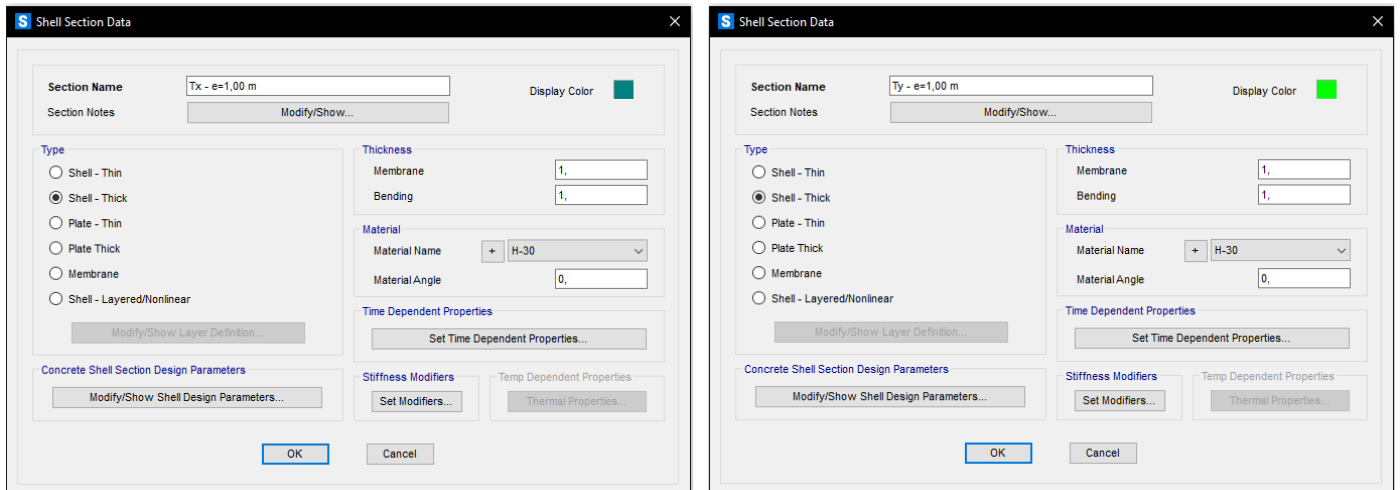


Figura 8.5: Definición de secciones de tabiques de estructura

4. Disposición de los elementos estructurales tipo “Frame” (vigas, columnas y fustes) y tipo “Shell” (losas y tabiques) en la grilla predefinida (para búnker sin aislamiento y con aislamiento):

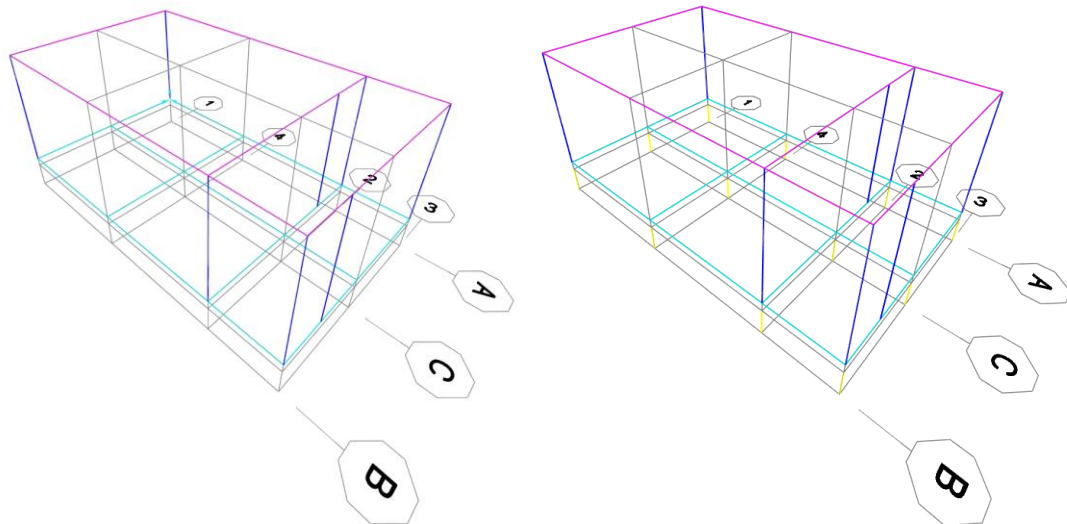


Figura 8.6: Disposición de elementos barra en grilla del modelo

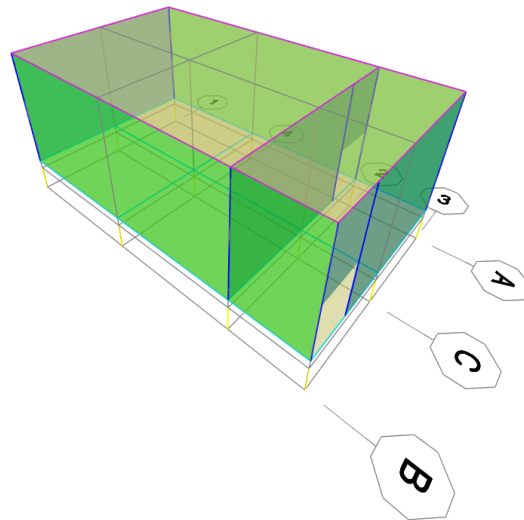
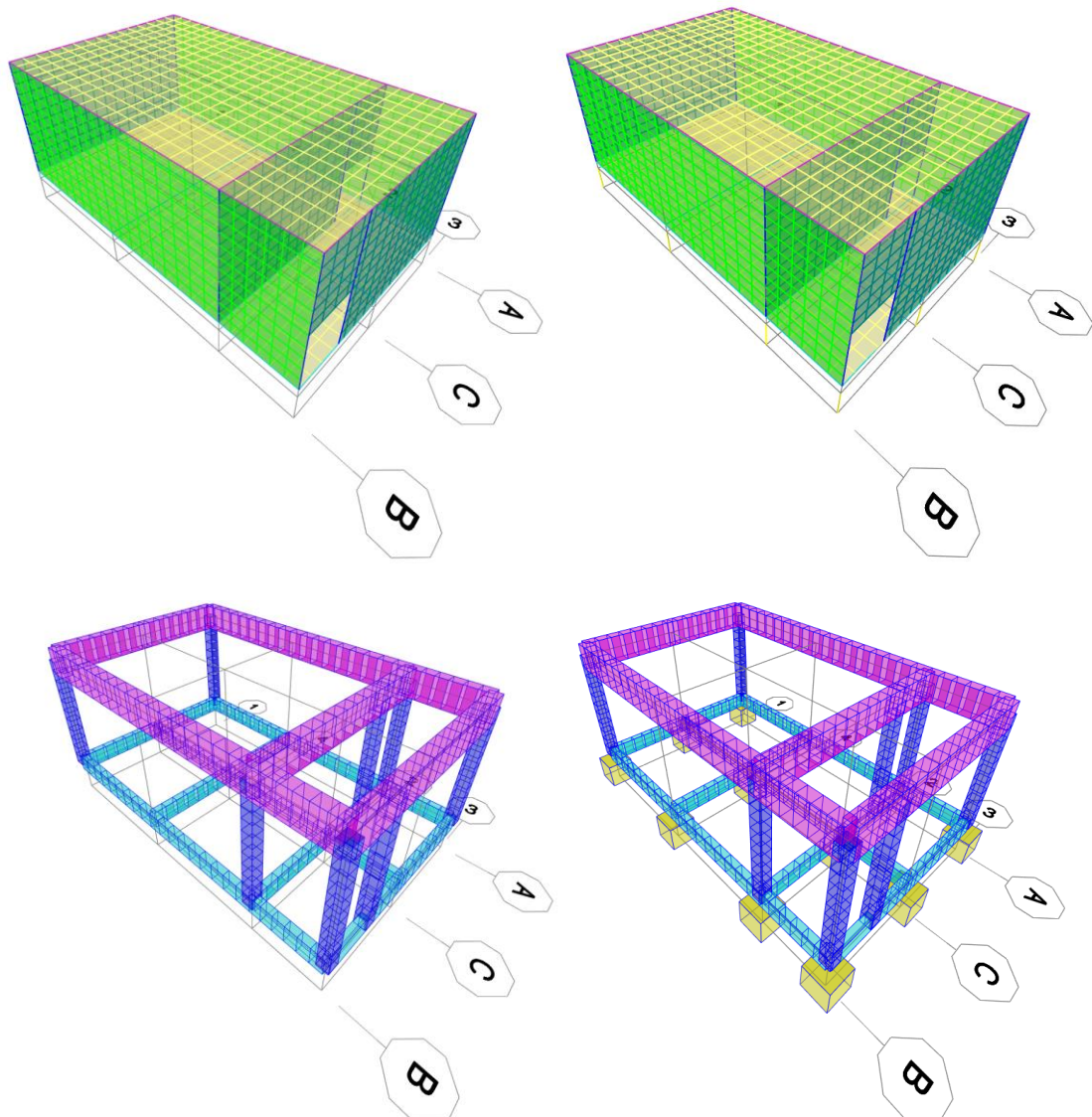


Figura 8.7: Disposición de elementos placa en grilla del modelo

5. Discretización de los elementos barra y placa, procurando la coincidencia de nodos para la correcta vinculación y transferencia de esfuerzos elementos finitos entre sí:



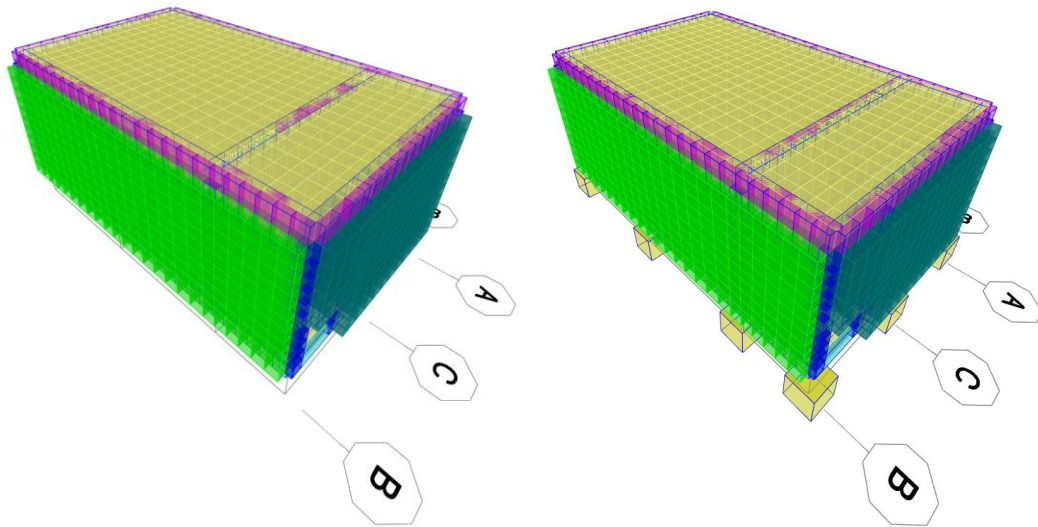
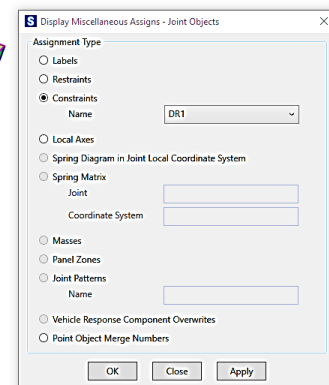
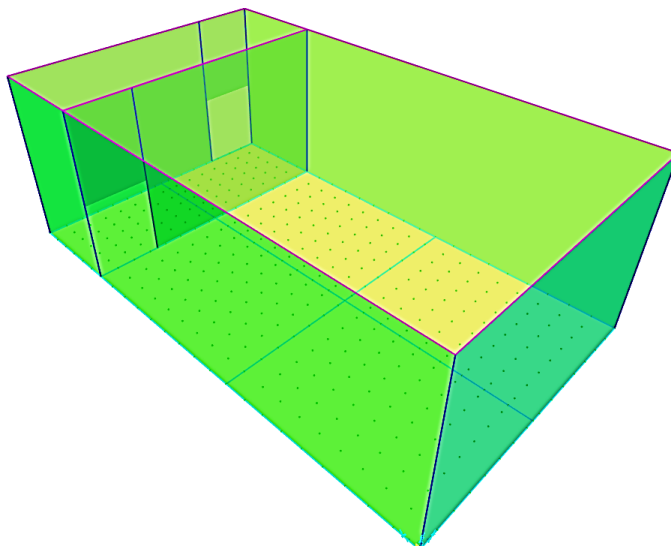
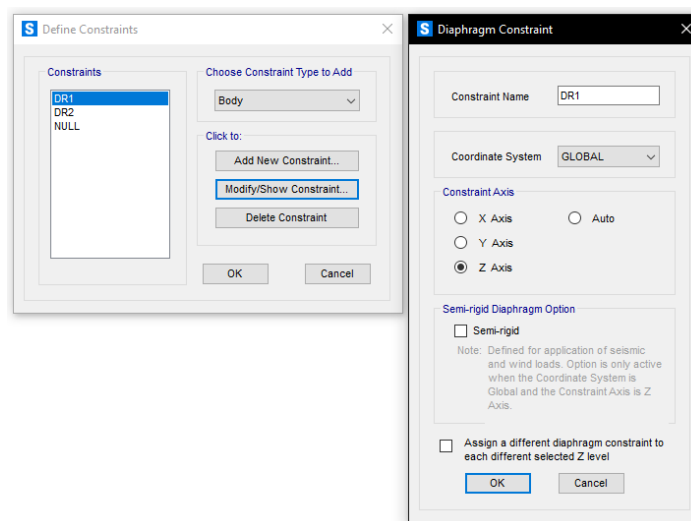


Figura 8.8: Discretización y mallado de elementos estructurales

6. Definición y asignación de diafragmas rígidos para losa de base (D.R.1) y de techo (D.R.2) mediante "Constraints":



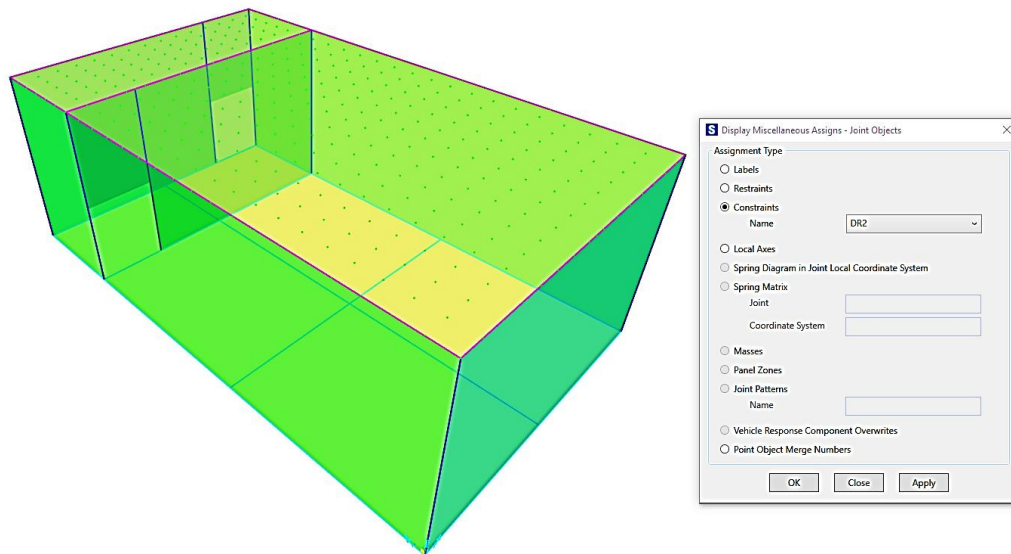


Figura 8.9: Definición y aplicación de diafragmas rígidos sobre losas

7. Definición de las propiedades mecánicas de los dispositivos de aislamiento: 7.1. Aisladores elastoméricos (L.R.B.):

The image shows a screenshot of the "Link/Support Property Data" dialog box. The "Link/Support Type" is set to "Rubber Isolator" and the "Property Name" is "Aislador LRB". The "P-Delta Parameters" section has "Shear Couple" selected. The "Total Mass and Weight" section has "Mass" and "Weight" set to 0. The "Factors For Line, Area and Solid Springs" section has "Property is Defined for This Length in a Line Spring" and "Property is Defined for This Area in Area and Solid Springs" set to 1. The "Directional Properties" section has a table with checkboxes for U1, U2, U3, R1, R2, and R3. The "Stiffness Options" section has "Effective Stiffness" and "Effective Stiffness (KE)" selected, and "Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor" set to 1. There are "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	Nonlinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...



Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: Aislador LRB
Direction: U1
Type: Rubber Isolator
NonLinear: No

Properties Used For All Analysis Cases

Effective Stiffness: 3419781,
Effective Damping: 0,1506

OK Cancel

GLOBAL KN, m, C

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: Aislador LRB
Direction: U2
Type: Rubber Isolator
NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 1001,09
Effective Damping: 0,1506

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0,156

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 745,2
Yield Strength: 85,547
Post Yield Stiffness Ratio: 0,1

OK Cancel

GLOBAL KN, m, C

Figura 8.10: Definición de propiedades de aisladores elastoméricos en SAP2000

7.2. Aisladores friccionales (F.P.S.):

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Friction Isolator
Property Name: FPS
Property Notes: Modify/Show...

P-Delta Parameters

Shear Couple
 Equal End Moments
 Advanced Modify/Show

Total Mass and Weight

Mass: 0, Rotational Inertia 1: 0,
Weight: 0, Rotational Inertia 2: 0,
Rotational Inertia 3: 0,

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1,
Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1,

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	Nonlinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness
Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Effective Stiffness (KE)
Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1,

OK Cancel

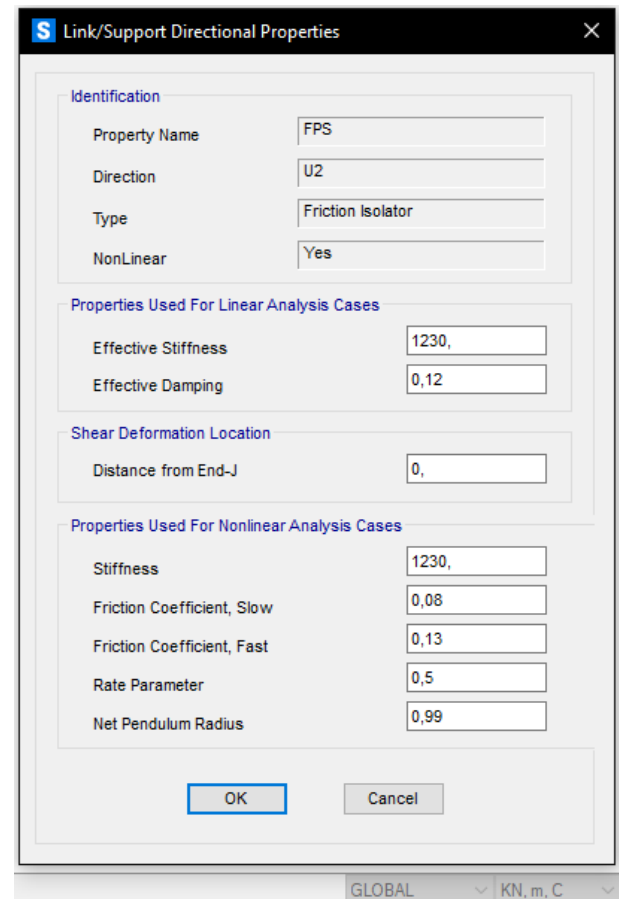
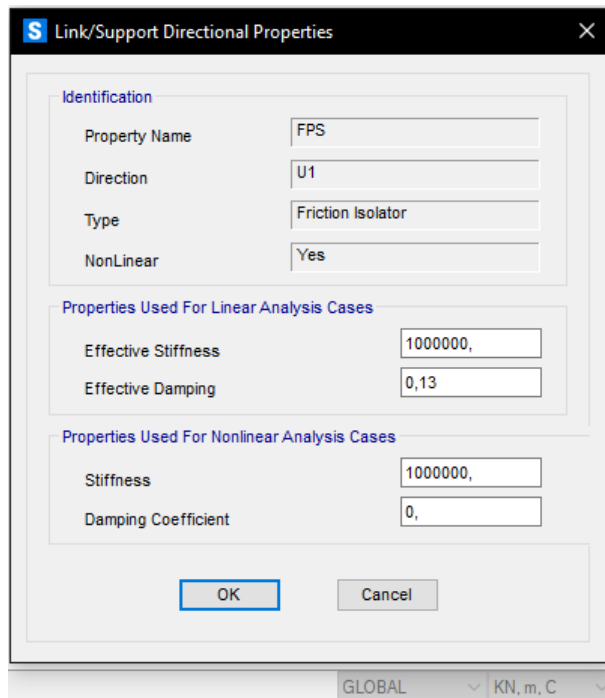


Figura 8.11: Definición de propiedades de aisladores friccionales en SAP2000

- Vinculación de la estructura al suelo mediante “Restraints” o restricciones de grados de libertad, tipo empotramiento para búnker sin aislamiento sísmico, y mediante elementos tipo “Link” (aisladores) correspondientes a los búnkeres con aislamiento sísmico:

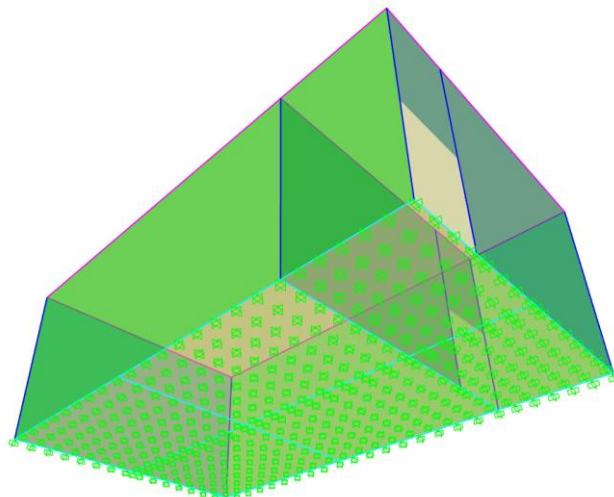


Figura 8.12: Aplicación de empotramientos en base de búnker de base fija

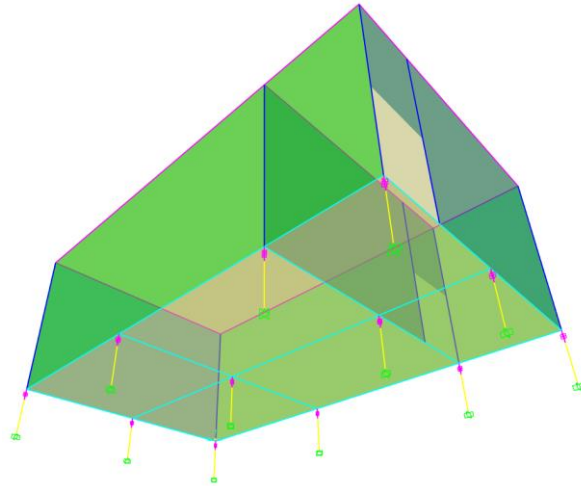


Figura 8.13: Ubicación de aisladores elastoméricos entre fustes y losa de base de búnker

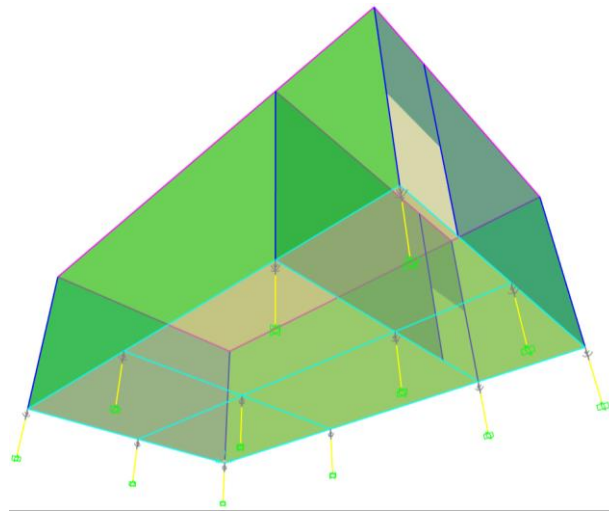


Figura 8.14: Ubicación de aisladores friccionales entre fustes y losa de búnker

9. Definición de estados simples de carga o patrones de cargas estáticas, tales como el peso propio de la estructura, el cual el programa determina automáticamente según las características de los materiales y secciones ya definidas, el peso propio del equipo (con su protección de plomo) a proteger y sobrecargas de uso en el interior del búnker:

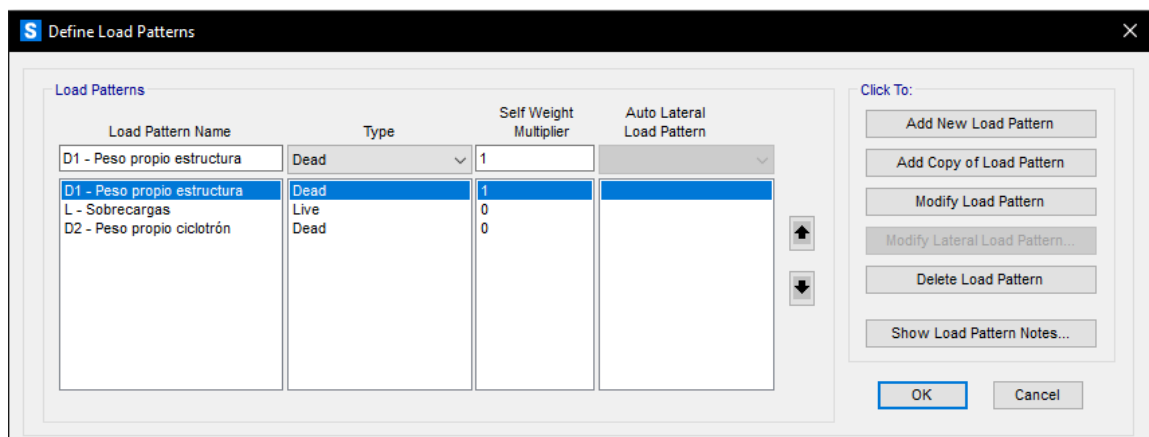


Figura 8.15: Definición de estados simples de cargas



10. Definición del peso sísmico a considerar para el análisis modal de la estructura (se recuerda que se han despreciado estados simples de carga permanentes y de uso, como así también y sus combinaciones en Estado Límite de Servicio y Estado Límite Último con acciones dinámicas a fines de simplificación del proyecto):

La acción gravitatoria asociada a la acción sísmica actuante en un punto i cualquiera se determina mediante:

$$W_i = D_i + \sum f_1 L_i + f_2 S_i \quad [3.15]$$

Los factores de simultaneidad f_1 y f_2 se especifican en la Tabla 3.3. Si la construcción analizada no está incluida en la Tabla 3.3 el proyectista deberá proponerlo considerando la probabilidad de simultaneidad con el terremoto de diseño.

Tabla 3.3 Factor de simultaneidad para sobrecargas de uso y accidentales

Carga de ocupación o de uso (L)	f_1
La sobrecarga de servicio sólo actúa excepcionalmente, por ejemplo en techos o azoteas accesibles sólo con fines de mantenimiento.	0
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga es reducida, por ejemplo locales donde no es frecuente la aglomeración de personas o cosas: edificios para vivienda, hoteles, oficinas, etc.	0,25
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga es intermedia, por ejemplo locales en los que es frecuente la aglomeración de personas o cosas: edificios públicos, grandes tiendas, templos, cines, teatros, escuelas, hoteles, etc.	0,50
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga total es elevada, por ejemplo: depósitos, edificios para archivos, etc.	0,75
Normalmente está presente la totalidad de la sobrecarga de servicio, por ejemplo: tanques, silos, depósitos destinados a estar llenos la mayor parte del tiempo, etc.	1,00
Verificación local de partes de la construcción, salvo que la sobrecarga sea equilibrante	1,00
Cocheras	(*)
Otros casos	0,20
Acción de la nieve (S) sólo en las zonas que especifica CIRSOC 104.	f_2
Cubiertas horizontales o que no permitan la evacuación de la nieve	0,70
Otros casos	0,20

(*) Se hará un análisis de carga con el 100% de las cocheras ocupadas y el peso real de los vehículos.

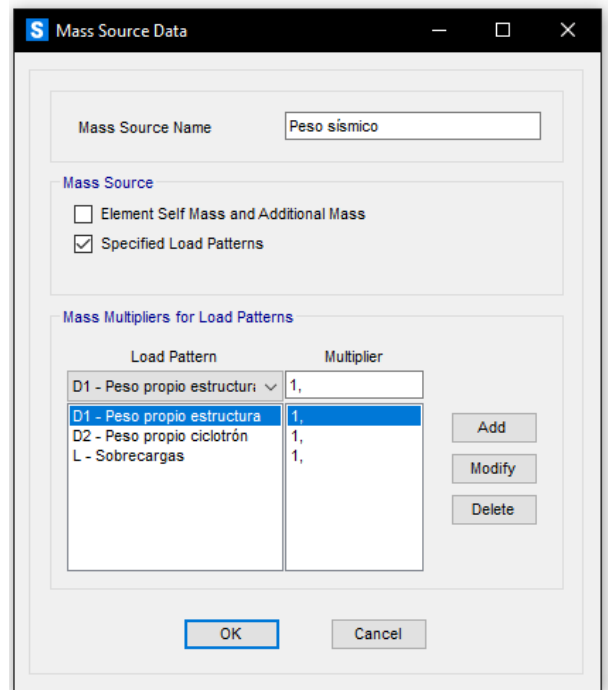


Figura 8.16: Definición de peso sísmico

11. Recopilación y ajuste de acelerogramas en formato de archivos ".txt" por acelerómetros en las zonas correspondientes, archivos compuestos por un gran número de registros de aceleraciones expresadas en cm/s^2 , es decir, variaciones en magnitud y dirección de la velocidad experimentada en el tiempo por este dispositivo. Para cada sismo, se cuenta con registro en ambas direcciones (despreciando la vertical), la E-O coincidente con la X-X del modelo, y la N-S coincidente con la Y-Y. Los registros han sido obtenidos, para cada caso, en un paso de tiempo determinado, que van de los 0,005 segundos entre cada pulso registrado, es decir, a una tasa de $1/0,005\text{s}=200$ registros/s para el sismo de El Centro, hasta los 0,02 segundos entre cada pulso registrado, es decir, a una tasa de $1/0,02\text{s}=50$ registros/s para el sismo de Cauçete, San Juan, en 1977, o los de Northbridge, en 1994.

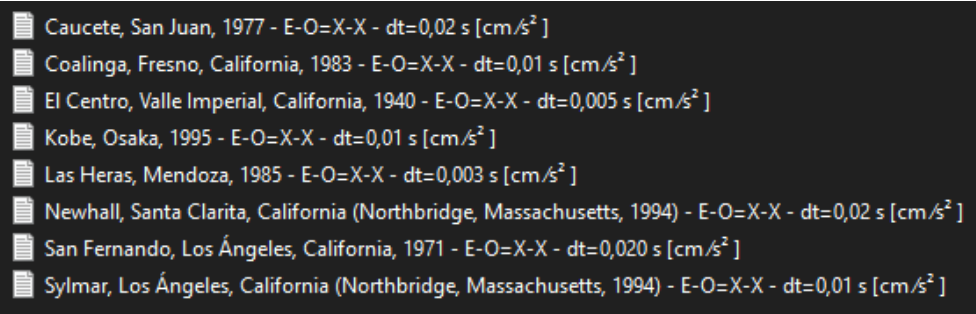


Figura 8.17: Registros sísmicos en dirección X-X a utilizar para análisis

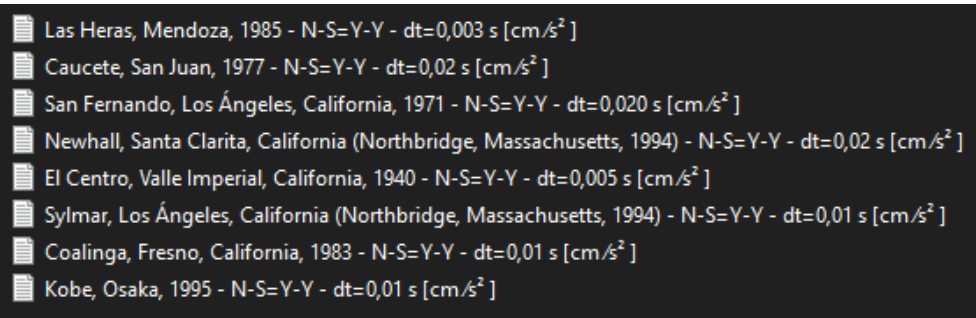


Figura 8.18: Registros sísmicos en dirección Y-Y a utilizar para análisis

12. Definición en el software de los acelerogramas como funciones Tiempo-Historia o “Time-History”, cargando los archivos en formato .txt con las aceleraciones como información, debiendo colocar los intervalos de tiempo considerados entre cada pulso, obteniendo como resultado el gráfico correspondiente al input que excitará a la estructura, generando resultados correspondientes a un análisis dinámico lineal, o no lineal en caso que hubiera interés de incursionar en el rango elasto-plástico de la estructura o dispositivos de aislamiento.

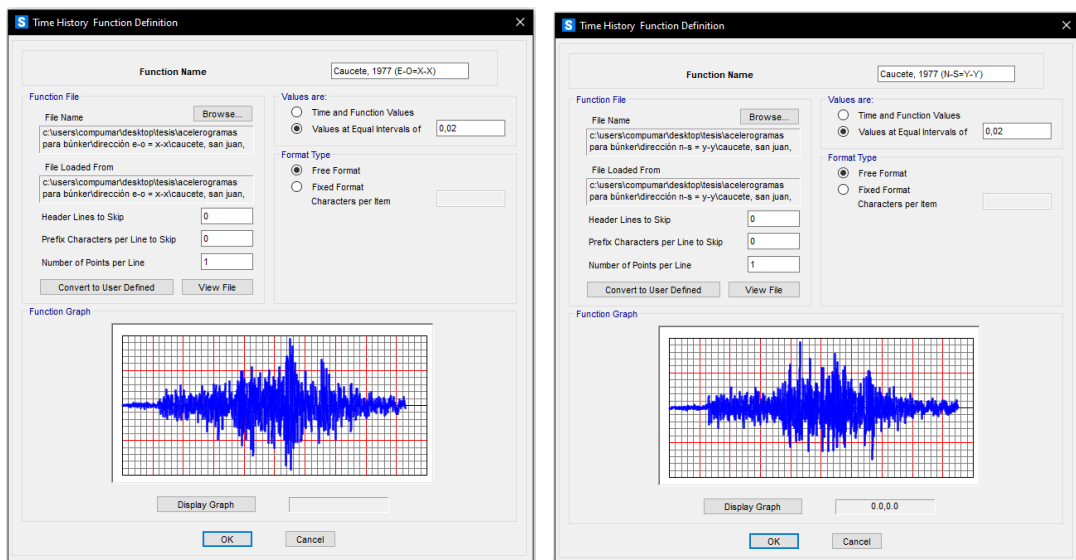


Figura 8.19: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Caucete, 1977

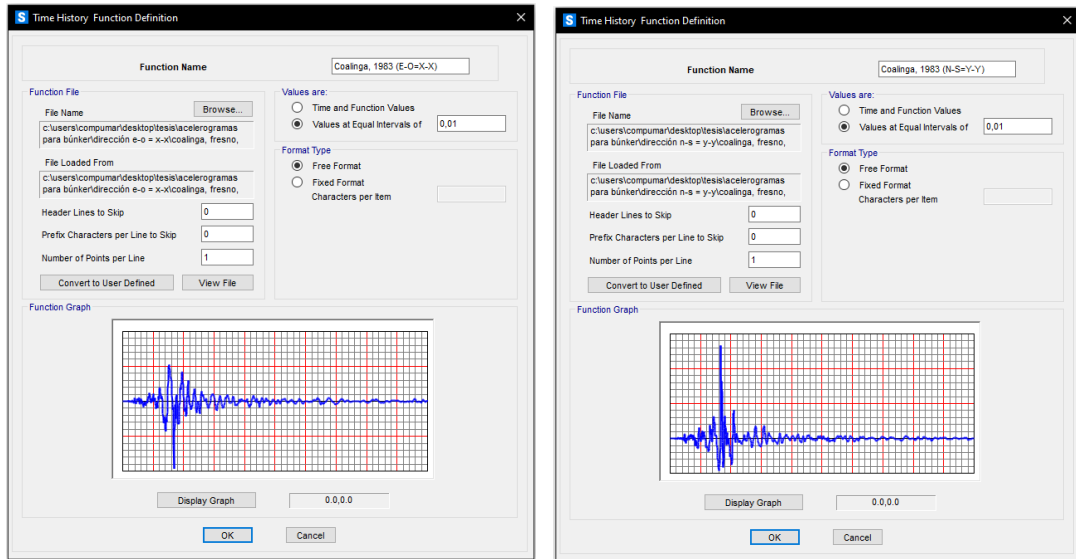


Figura 8.20: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Coalinga, 1983

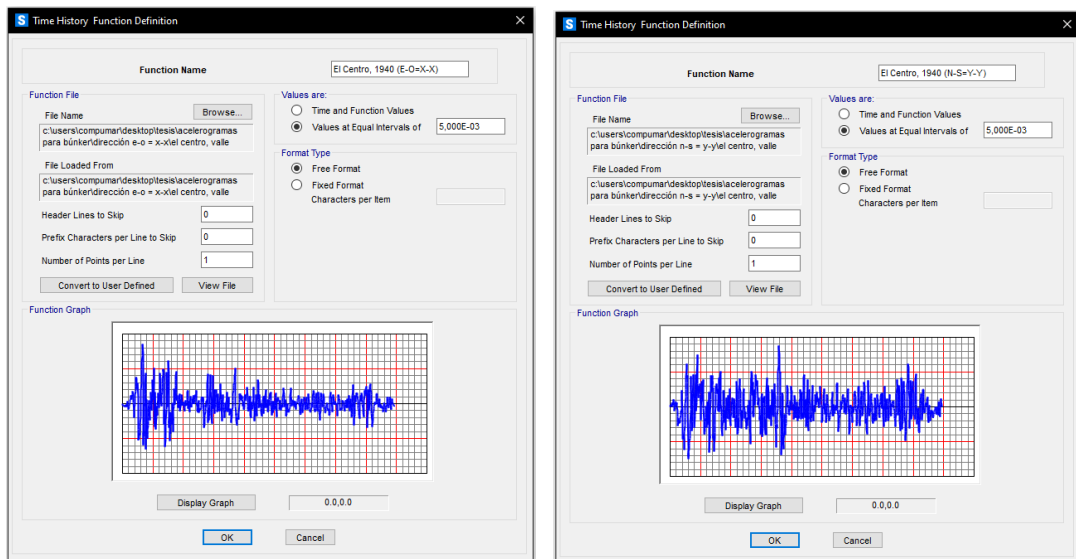


Figura 8.21: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de El Centro, 1940

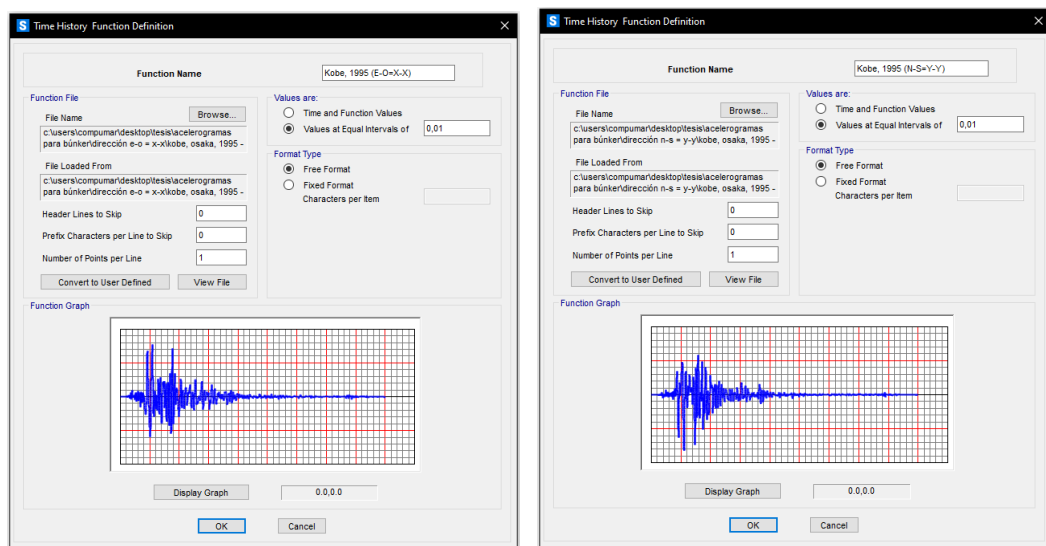


Figura 8.22: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Kôbe, 1995

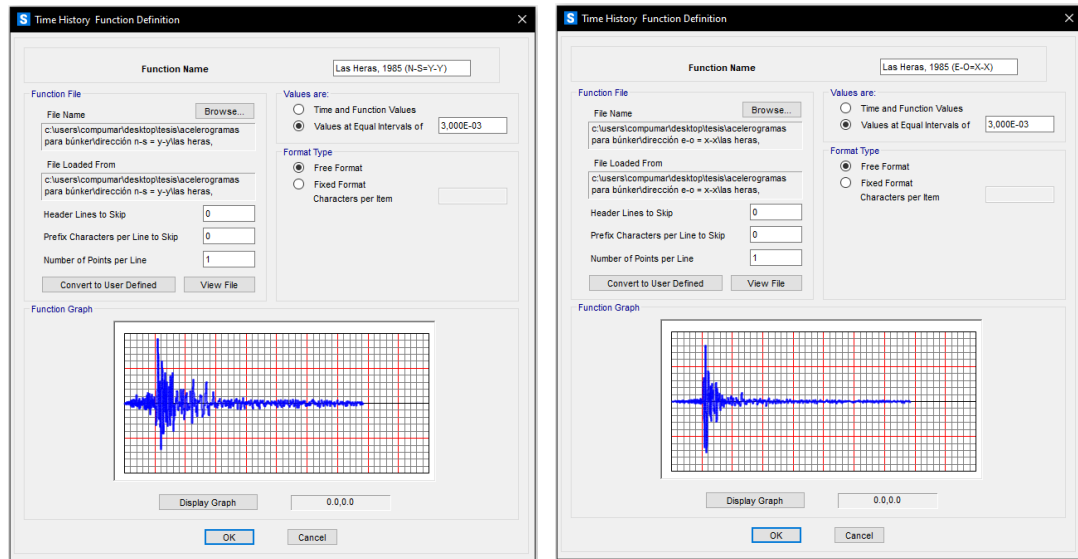


Figura 8.23: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Las Heras, 1985

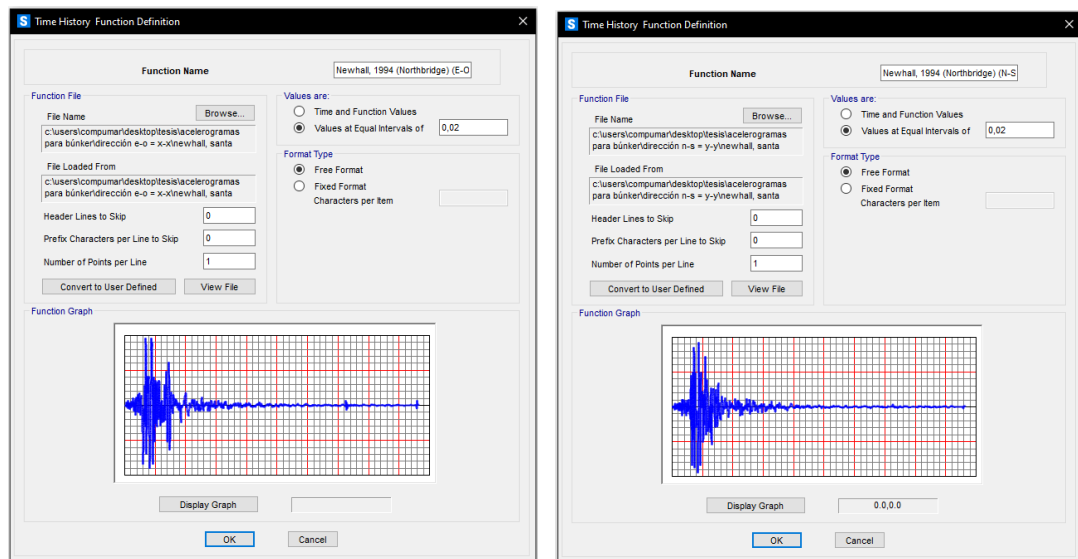


Figura 8.24: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Newhall [Northbridge], 1994

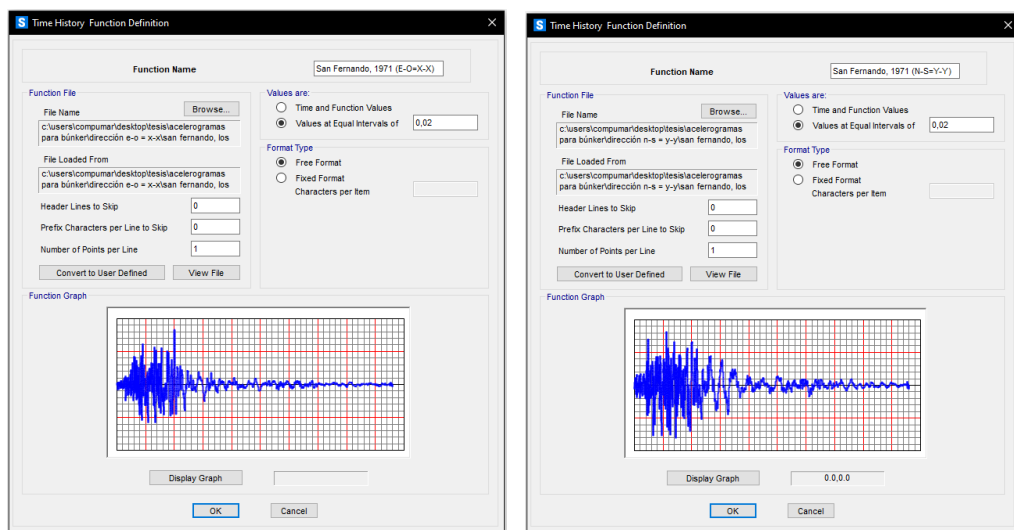


Figura 8.25: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Valle de San Fernando, 1971

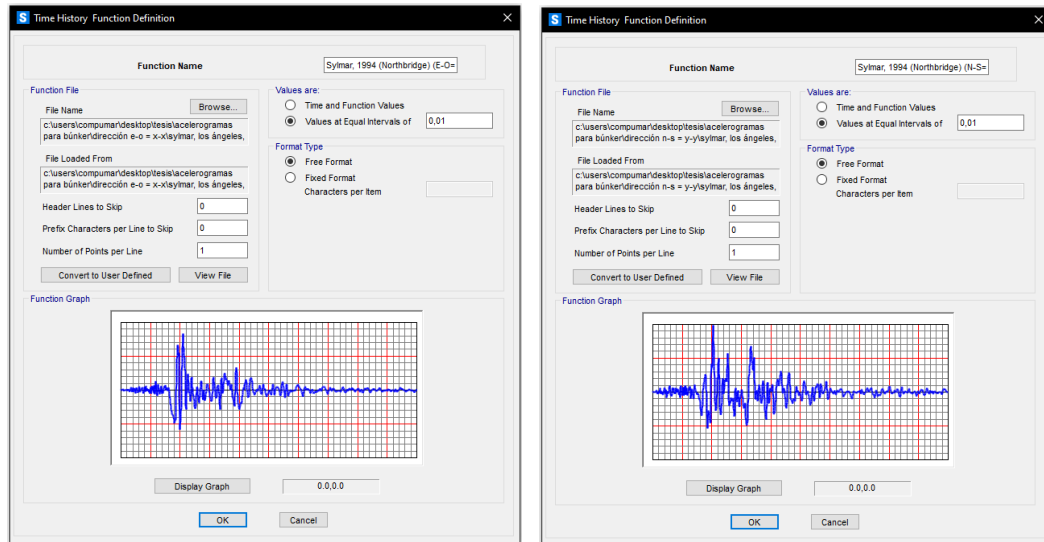
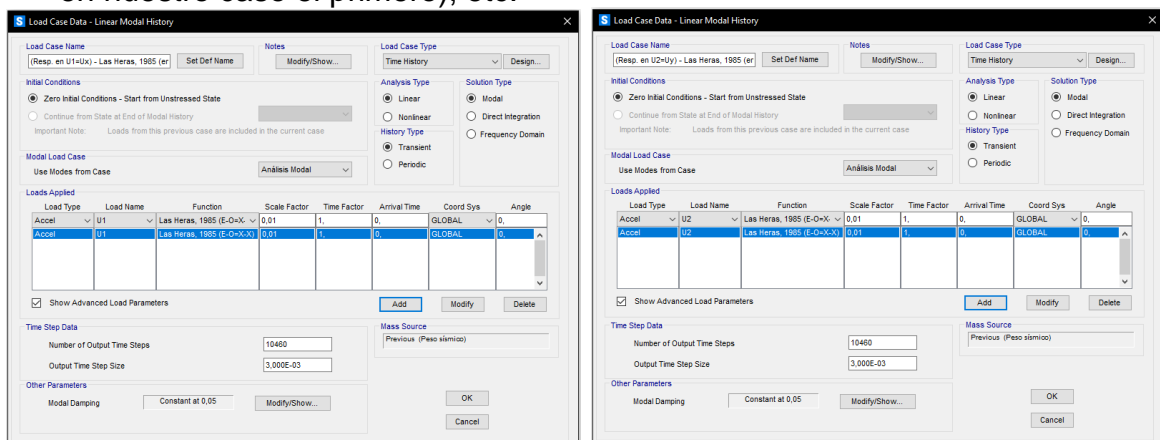


Figura 8.26: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Sylmar [Northbridge], 1994

13. Con cada uno de los registros/inputs ya cargados en el software mediante funciones temporales, dividimos, a su vez, cada uno de ellos dos direcciones de respuesta posibles (despreciando la vertical), es decir, una respuesta en X-X y el Y-Y para la acción incidiendo en dirección X-X y en la dirección Y-Y, obteniendo cuatro resultados variantes para cada sismo, o dos para cada registro cargado, teniendo las siguientes combinaciones:

- Sismo en dirección X-X → Respuesta del búnker en dirección X-X
- Sismo en dirección X-X → Respuesta del búnker en dirección Y-Y
- Sismo en dirección Y-Y → Respuesta del búnker en dirección Y-Y
- Sismo en dirección Y-Y → Respuesta del búnker en dirección X-X

El procedimiento consistió en definir los parámetros de los casos de carga tiempo-historia tales como la cantidad de registros a procesar, magnitud del paso del tiempo de salida, dirección del sismo, dirección de la respuesta, unidades de las aceleraciones y del tiempo, transformando las primeras de cm/s^2 a m/s^2 consiguiendo esto aplicando un factor de escala de 0,01 (en caso de venir el registro en "g", se aplicaría un factor de 9,81), el tipo de análisis (lineal o no lineal, en nuestro caso el primero), etc.



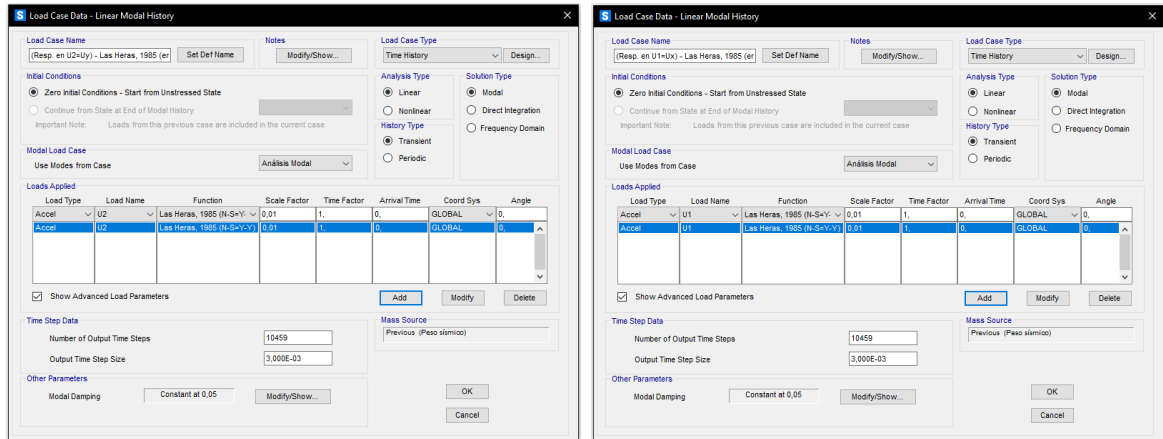


Figura 8.27: Definición de parámetros para acción sísmica de Las Heras, 1985

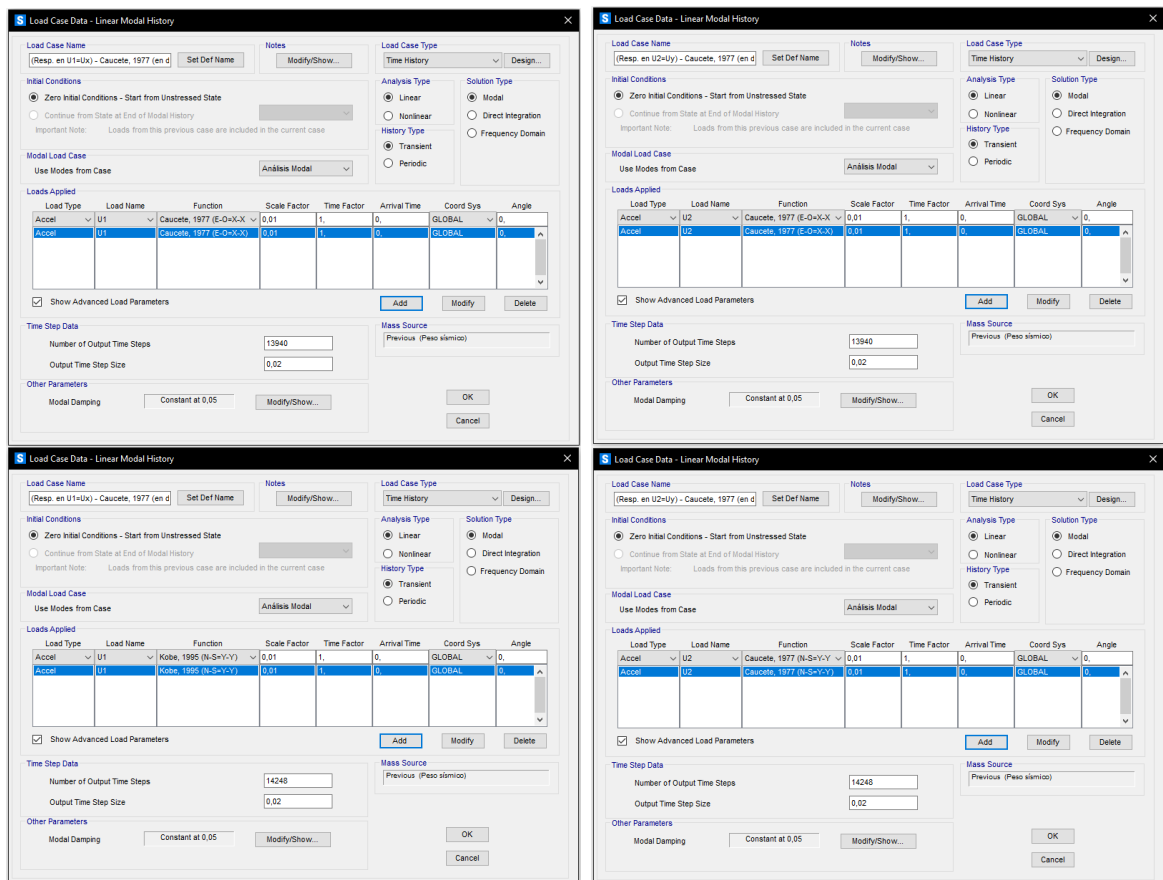


Figura 8.28: Definición de parámetros para acción sísmica de Caucete, 1977

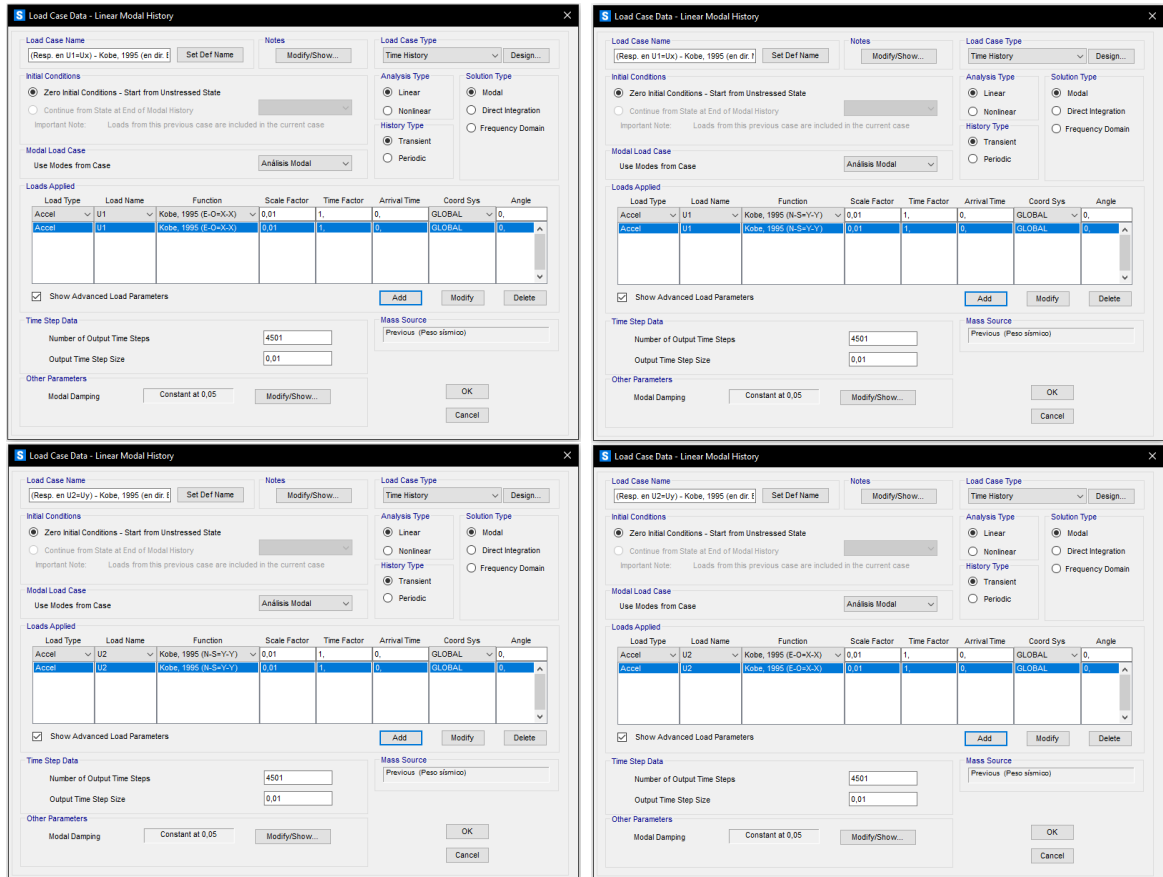


Figura 8.29: Definición de parámetros para acción sísmica de Kōbe, 1995

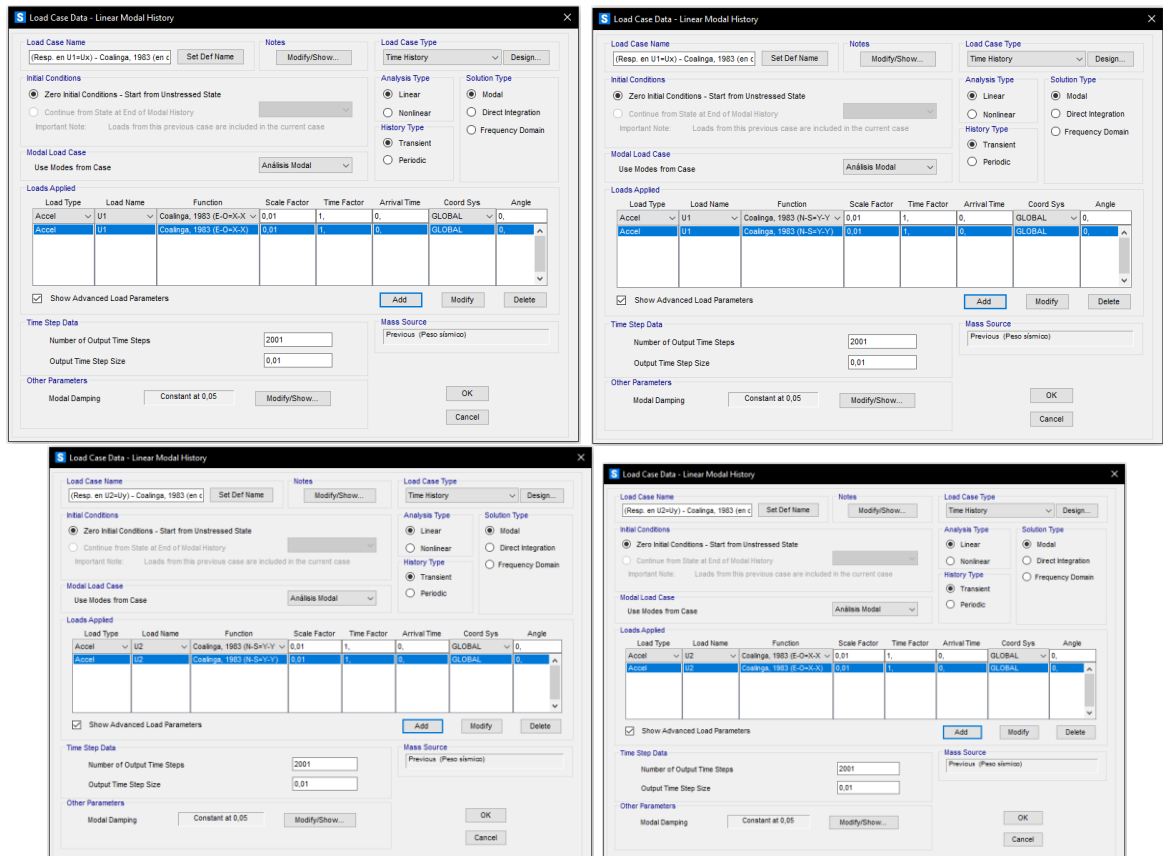


Figura 8.30: Definición de parámetros para acción sísmica de Coalinga, 1983

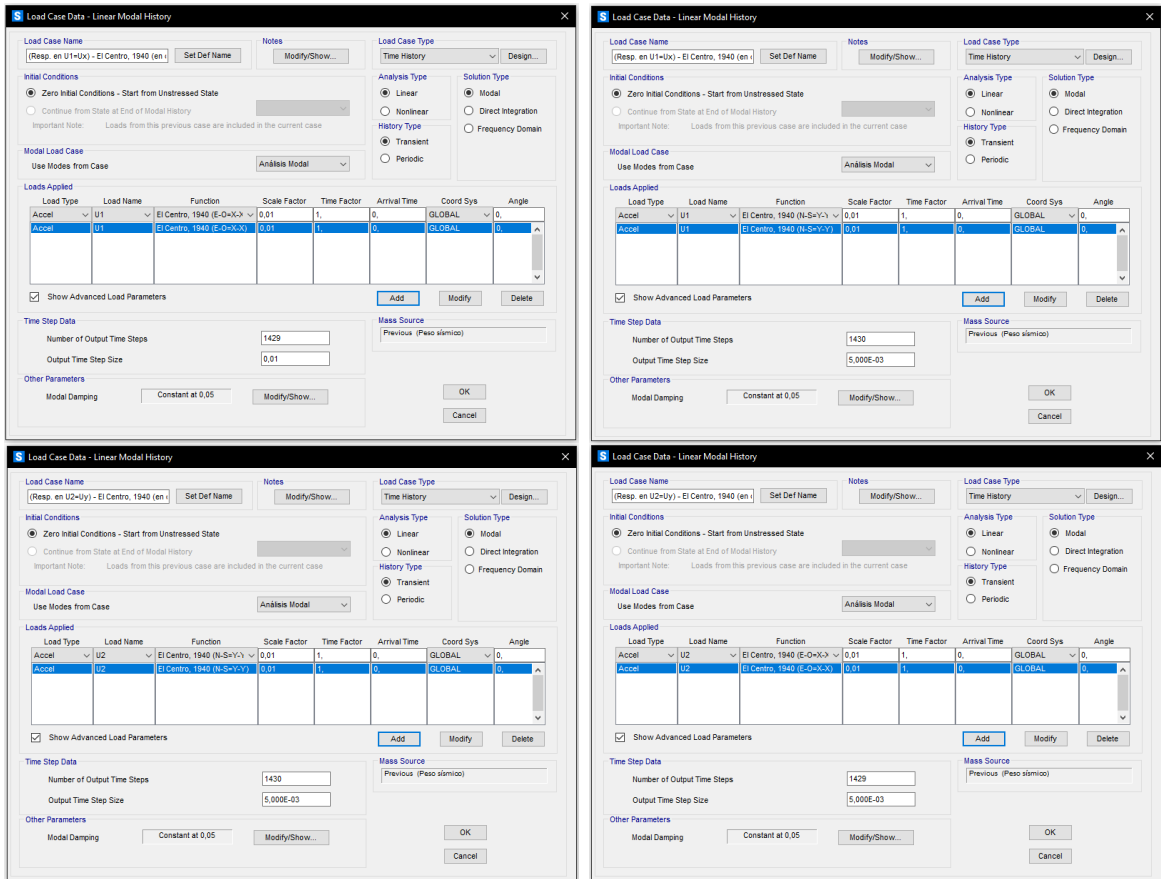


Figura 8.31: Definición de parámetros para acción sísmica de El Centro, 1940

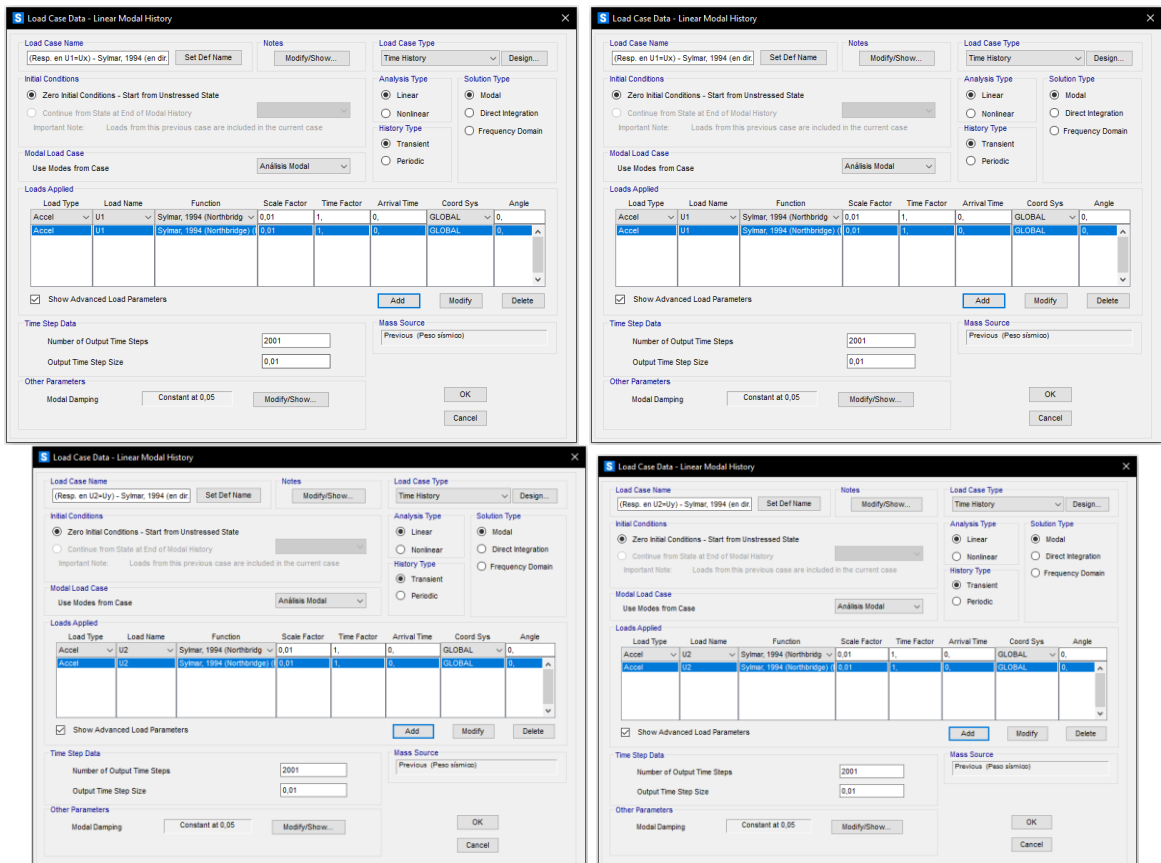


Figura 8.32: Definición de parámetros para acción sísmica de Sylmar [Northbridge], 1994

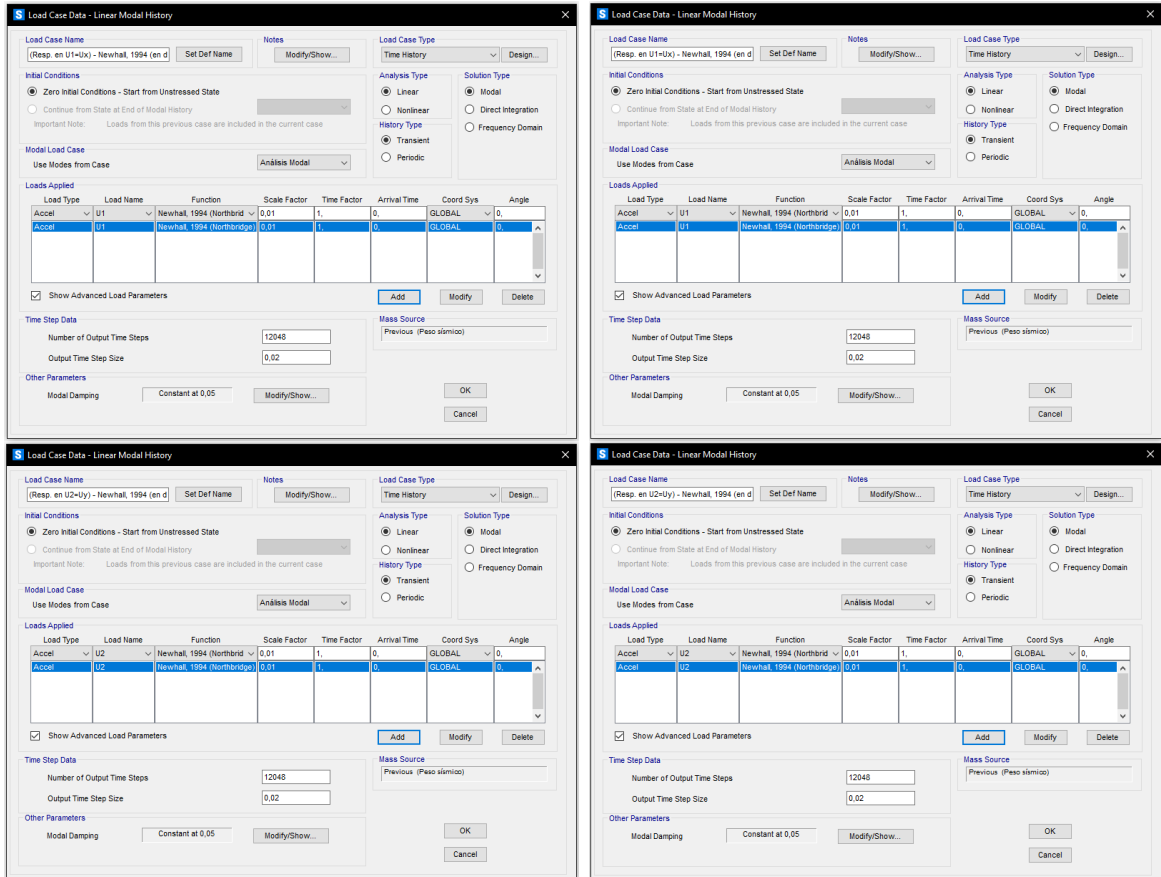


Figura 8.33: Definición de parámetros para acción sísmica de Newhall [Northbridge], 1994

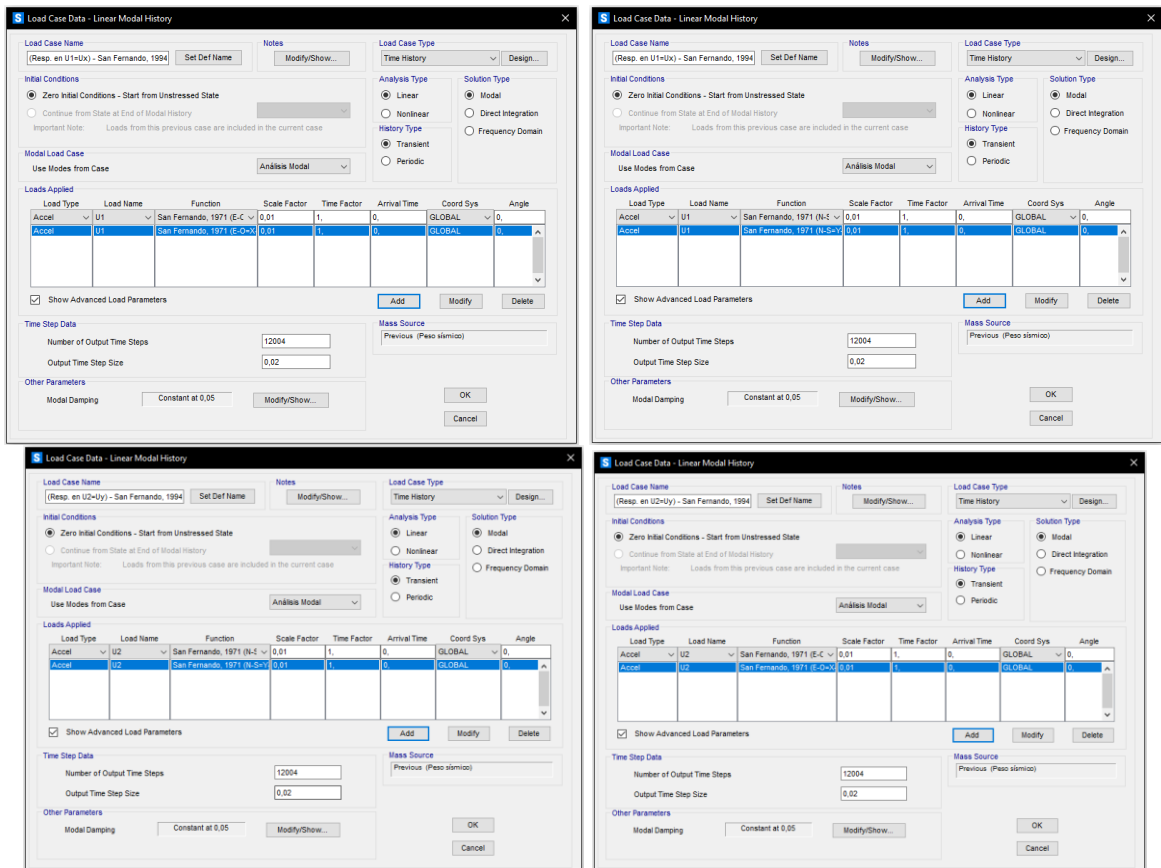


Figura 8.34: Definición de parámetros para acción sísmica de Valle de San Fernando, 1971



Finalmente, la cantidad de cargas procesadas por el programa fueron:

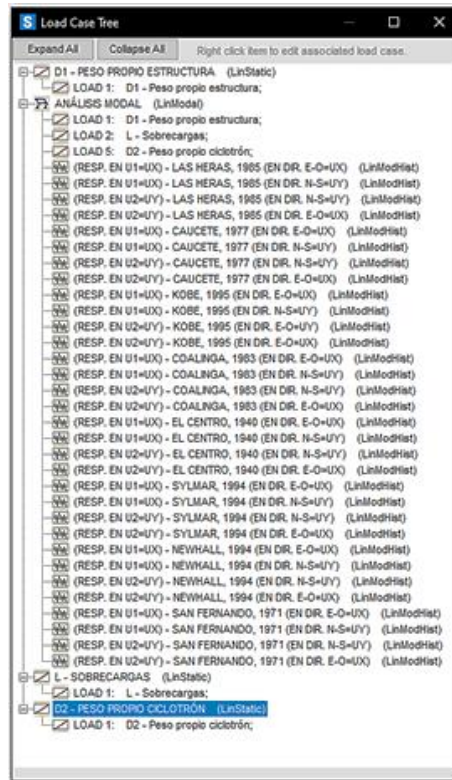


Figura 8.35: Lista de acciones consideradas en el modelo de SAP2000

8.2 OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Ya finalizado el modelado de la estructura en SAP2000, se procede a la obtención de los outputs de interés para nuestro análisis, como son:

- Desplazamientos relativos en base (debajo de ciclotrón) (nodo 40)
- Desplazamientos relativos en techo (nodo 600)
- Diferencia de desplazamientos entre techo y base
- Aceleraciones absolutas en base (debajo de ciclotrón) (nodo 40)
- Aceleraciones absolutas en techo (nodo 600)
- Diferencia de aceleraciones absolutas entre techo y base
- Análisis Modal (periodos y frecuencias)
- Cortes basales
- Desplazamientos relativos en aislador central (debajo de ciclotrón) (link 73)
- Energías vinculadas al movimiento sísmico, amortiguamiento, etc.
- Espectros de respuestas de pseudo-aceleraciones

A continuación, se mostrarán gráficos comparativos de cada uno de los resultados mencionados para los tres tipos de estructuras:



8.2.1 DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN BASE (DEBAJO DE CICLOTRÓN) - TABLA

COMPARACIÓN DE RESULTADOS									
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	DESPLAZAMIENTOS DE ESTRUCTURA					
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		EN BASE (Nodo 40)					
				BÚNKER NO AISLADO		BÚNKER AISLADO - L.R.B.		BÚNKER AISLADO - F.P.S.	
			D _{1-x} = D _{x-x} mm	D _{2-y} = D _{y-y} mm	D _{1-x} = D _{x-x} mm	D _{2-y} = D _{y-y} mm	D _{1-x} = D _{x-x} mm	D _{2-y} = D _{y-y} mm	
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	17,15094	0,00050	21,11888	0,00058
			Min	0,0000	0,0000	-45,19698	-0,00039	-45,97801	-0,00046
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	14,58719	0,00012	14,73286	0,00016
			Min	0,0000	0,0000	-8,30117	-0,00014	-8,54845	-0,00016
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,00004	14,71940	0,00005	14,69250
			Min	0,0000	0,0000	-0,00004	-8,64005	-0,00005	-8,79836
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	844,04540	0,02789	832,72578	0,02666
			Min	0,0000	0,0000	-733,01906	-0,02762	-732,68487	-0,02752
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	315,05961	0,01221	324,93282	0,01032
			Min	0,0000	0,0000	-349,42257	-0,01262	-306,01497	-0,01012
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,01682	566,91160	0,01782	465,56537
			Min	0,0000	0,0000	-0,01658	-548,08489	-0,01745	-463,97288
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	0,02730	792,16120	0,02857	619,45378
			Min	0,0000	0,0000	-0,02740	-665,84989	-0,02843	-750,50540
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	262,13889	0,00778	282,17775	0,00980
			Min	0,0000	0,0000	-285,44557	-0,00655	-362,37685	-0,00921
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	315,05961	0,01221	324,93282	0,01032
			Min	0,0000	0,0000	-349,45712	-0,01262	-306,02819	-0,01012
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	0,01277	317,30221	0,01108	317,28049
			Min	0,0000	0,0000	-0,01296	-362,81388	-0,01118	-253,14936
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,00622	257,16256	0,00891	335,32869
			Min	0,0000	0,0000	-0,00611	-306,16592	-0,00895	-385,84468
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	96,86586	0,00313	101,66729	0,00300
			Min	0,0000	0,0000	-95,22628	-0,00332	-89,60383	-0,00291
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	93,83878	0,00203	91,39963	0,00168
			Min	0,0000	0,0000	-80,40529	-0,00207	-84,62041	-0,00187
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,00219	94,39349	0,00165	91,67730
			Min	0,0000	0,0000	-0,00214	-82,65647	-0,00171	-86,63673
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,00323	99,47371	0,00315	103,70921
			Min	0,0000	0,0000	-0,00327	-94,41188	-0,00313	-89,33831
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	63,60613	0,00034	48,89372	0,00036
			Min	0,0000	0,0000	-17,22875	-0,00039	-19,11459	-0,00045
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	32,71175	0,00030	32,13382	0,00031
			Min	0,0000	0,0000	-26,28933	-0,00044	-29,01737	-0,00045
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,00029	32,50929	0,00032	31,90014
			Min	0,0000	0,0000	-0,00039	-29,13792	-0,00035	-26,40226
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	0,00031	20,32401	0,00035	21,87688
			Min	0,0000	0,0000	-0,00023	-17,78469	-0,00022	-20,00960
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	508,28833	0,00890	503,52481	0,01263
			Min	0,0000	0,0000	-446,51030	-0,00936	-501,67152	-0,01215
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	263,65770	0,00705	374,16397	0,00975
			Min	0,0000	0,0000	-318,21436	-0,00738	-351,89281	-0,01016
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	0,00694	313,41636	0,01041	429,22694
			Min	0,0000	0,0000	-0,00658	-336,12805	-0,01071	-365,73272
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,00761	503,97571	0,01201	556,96201
			Min	0,0000	0,0000	-0,00755	-477,57541	-0,01186	-534,56490
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	5577,55383	0,15302	4501,00751	0,10483
			Min	0,0000	0,0000	-5837,54920	-0,15258	-4480,07140	-0,10351
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	3098,40636	0,07679	1986,00789	0,05008
			Min	0,0000	0,0000	-2955,45131	-0,07584	-2892,85504	-0,05482
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,08533	2242,67703	0,06181	2025,19449
			Min	0,0000	0,0000	-0,08574	-2902,65198	-0,05755	-2841,09688
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,16480	5136,56772	0,10765	4009,83009
			Min	0,0000	0,0000	-0,16596	-5292,33630	-0,10599	-3908,13770
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	1584,82677	0,03930	1015,12850	0,03026
			Min	0,0000	0,0000	-1204,40321	-0,04001	-943,58597	-0,02906
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	1094,01082	0,03040	1135,99153	0,03745
			Min	0,0000	0,0000	-1113,42930	-0,03067	-1130,37845	-0,03577
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,0000	0,0000	0,03321	1158,19367	0,03816	957,73674
			Min	0,0000	0,0000	-0,03304	-1203,12167	-0,03919	-922,89095
Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,0000	0,0000	0,04130	1191,09664	0,03091	1004,71236	
		Min	0,0000	0,0000	-0,04192	-1118,28536	-0,03162	-849,74264	

Tabla 8.1: Desplazamientos relativos a nivel de base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones



8.2.3 DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS, DIFERENCIA ENTRE TECHO Y BASE - TABLA

COMPARACIÓN DE RESULTADOS									
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	DESPLAZAMIENTOS DE ESTRUCTURA					
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		DIF. (TECHO-BASE)					
				BÚNKER NO AISLADO		BÚNKER AISLADO - L.R.B.		BÚNKER AISLADO - F.P.S.	
			$D_{1-x} = D_{x-x}$	$D_2 = D_{yy}$	$D_{1-x} = D_{x-x}$	$D_2 = D_{yy}$	$D_{1-x} = D_{x-x}$	$D_2 = D_{yy}$	
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,04974	-0,00015	0,00309	-0,57276	0,00637	-0,58203
			Min	-0,05511	0,00013	-0,00731	0,70915	-0,01743	0,82488
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01816	-0,00007	0,00254	-0,18996	0,00605	-0,22529
			Min	-0,02532	0,00005	-0,00143	0,19986	-0,00129	0,24113
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00001	-0,01313	0,00000	-0,00102	0,00000	-0,00222
			Min	-0,00001	0,01834	0,00000	0,00060	0,00000	0,00134
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00003	-0,03624	0,00000	-0,00130	0,00001	-0,00354
			Min	-0,00003	0,03988	0,00000	0,00318	-0,00001	0,00700
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,02476	-0,00007	0,10306	-10,67622	0,25477	-14,13713
			Min	-0,02585	0,00007	-0,09511	14,53298	-0,16210	12,41689
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,10978	-0,00021	0,05146	-6,72019	0,05777	-7,57627
			Min	-0,07655	0,00030	-0,03664	7,77270	-0,09155	7,43699
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00001	-0,01455	0,00000	-0,03963	0,00006	-0,06989
			Min	-0,00002	0,01866	0,00003	0,03832	-0,00007	0,06974
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00001	-0,01815	-0,00007	-0,05525	0,00003	-0,09296
			Min	-0,00002	0,01890	0,00017	0,04605	-0,00006	0,11289
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,06427	-0,00022	0,04281	-6,28809	0,10198	-6,96574
			Min	-0,08294	0,00017	-0,03029	3,63027	-0,09279	4,58599
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,10978	-0,00021	0,05146	-6,72019	0,05777	-7,57627
			Min	-0,07768	0,00030	-0,03658	7,77450	-0,09119	7,43699
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00007	-0,08015	-0,00004	-0,02217	0,00000	-0,04784
			Min	-0,00005	0,05727	0,00004	0,02534	-0,00001	0,03815
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00004	-0,04660	-0,00008	-0,01780	0,00005	-0,05021
			Min	-0,00006	0,06044	0,00003	0,02128	-0,00003	0,05796
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,10409	-0,00015	0,01466	-1,50321	0,03668	-1,59257
			Min	-0,05535	0,00028	-0,01517	1,53199	-0,02212	1,46039
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,04942	-0,00038	0,01378	-1,47540	0,03093	-1,37891
			Min	-0,14072	0,00013	-0,01218	1,17189	-0,02864	1,03314
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00013	-0,03587	0,00000	-0,00656	0,00000	-0,01377
			Min	-0,00016	0,10107	0,00000	0,00574	0,00000	0,01306
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00007	-0,07521	-0,00001	-0,00691	0,00001	-0,01557
			Min	-0,00005	0,04041	0,00001	0,00654	0,00000	0,01343
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,05503	-0,00012	0,00856	-0,34922	0,01696	-0,36806
			Min	-0,04581	0,00014	-0,00233	0,80835	-0,00489	0,60651
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,03770	-0,00009	0,00552	-0,47684	0,01299	-0,59998
			Min	-0,03192	0,00009	-0,00374	0,55846	-0,00702	0,54506
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00012	-0,02497	0,00000	-0,00225	-0,00001	-0,00475
			Min	-0,00010	0,02308	0,00000	0,00202	0,00000	0,00398
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00024	-0,04284	-0,00001	-0,00141	0,00001	-0,00330
			Min	-0,00020	0,03379	0,00000	0,00124	0,00000	0,00299
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,07843	-0,00030	0,07080	-13,61977	0,20802	-13,78338
			Min	-0,11204	0,00020	-0,02533	9,06793	-0,06099	8,80723
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,04273	-0,00021	0,02710	-6,57215	0,10346	-6,12409
			Min	-0,07937	0,00011	-0,03181	6,47521	-0,08746	6,77040
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00003	-0,03109	-0,00005	-0,02191	0,00003	-0,06442
			Min	-0,00005	0,05758	0,00006	0,02354	-0,00003	0,05500
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00009	-0,05527	-0,00005	-0,03505	0,00004	-0,08326
			Min	-0,00008	0,08169	0,00007	0,03375	-0,00004	0,08066
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,07245	-0,00021	0,71078	-84,70053	1,40093	-65,56418
			Min	-0,07722	0,00020	-0,72800	78,05932	-1,26050	57,63290
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,07639	-0,00020	0,40696	-46,28971	0,66750	-48,55081
			Min	-0,07417	0,00021	-0,39025	42,63133	-0,74381	25,87429
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00004	-0,05595	0,00002	-0,15649	-0,00025	-0,30318
			Min	-0,00004	0,05428	-0,00056	0,20257	0,00009	0,42694
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00004	-0,05299	-0,00018	-0,35792	0,00043	-0,60156
			Min	-0,00005	0,05659	-0,00015	0,36960	0,00002	0,58730
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,02331	-0,00009	0,20609	-17,75871	0,31014	-11,14906
			Min	-0,03341	0,00006	-0,15210	21,92684	-0,30539	13,65644
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01728	-0,00005	0,15082	-16,18716	0,32977	-14,86082
			Min	-0,01758	0,00005	-0,13858	13,36753	-0,33809	16,14413
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00001	-0,01267	-0,00005	-0,08055	0,00015	-0,14386
			Min	-0,00001	0,01289	0,00007	0,08383	0,00002	0,13863
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00001	-0,01712	-0,00014	-0,08329	0,00011	-0,15062
			Min	-0,00002	0,02447	0,00014	0,07767	-0,00006	0,12741

Tabla 8.3: Diferencia de desplazamientos relativos entre nivel de techo y base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones

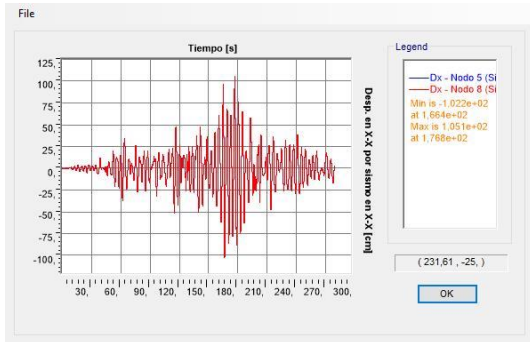


8.2.4 DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS [mm] - GRÁFICOS

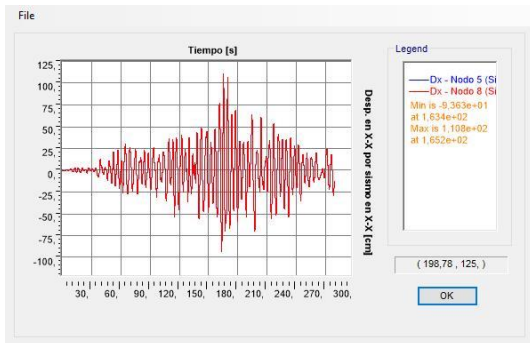
A. SISMOS EN DIRECCIÓN X-X → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN X-X

a. *Caucete, San Juan, 1977:*

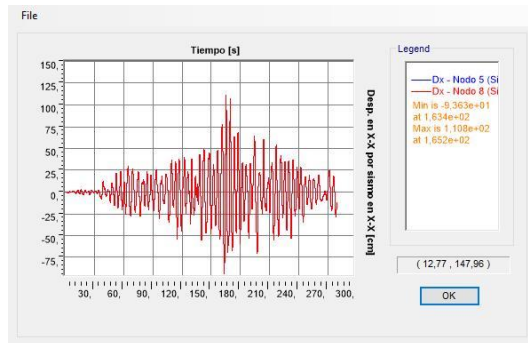
BÚNKER AISLADO CON F.P.S (Ordenadas a escala patrón)



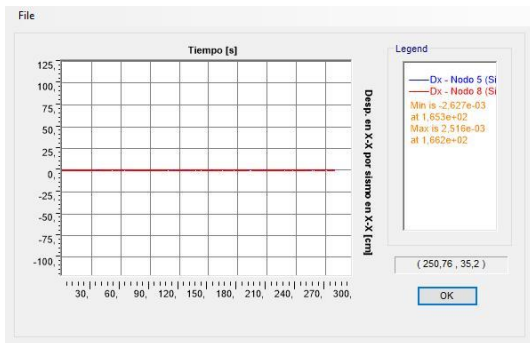
BÚNKER AISLADO CON L.R.B. (Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B. (Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO (Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO (Ordenadas s/ escala propia)

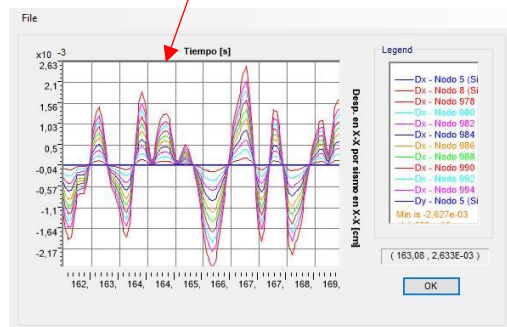
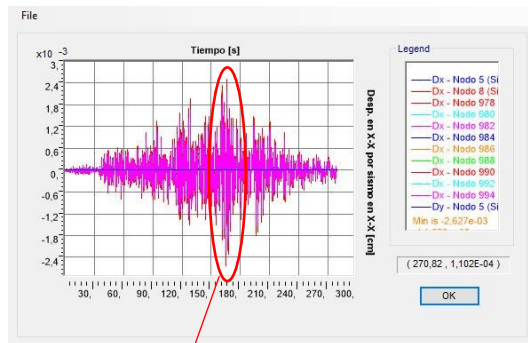
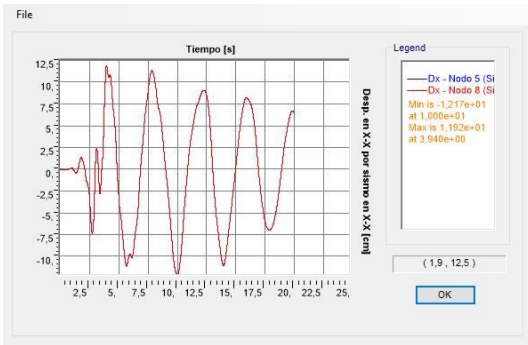


Figura 8.36: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Caucete en X-X

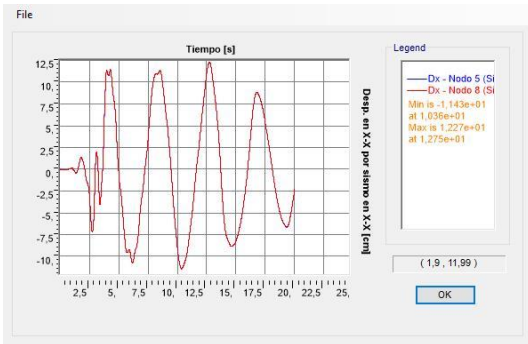


b. Coalinga, California, 1983:

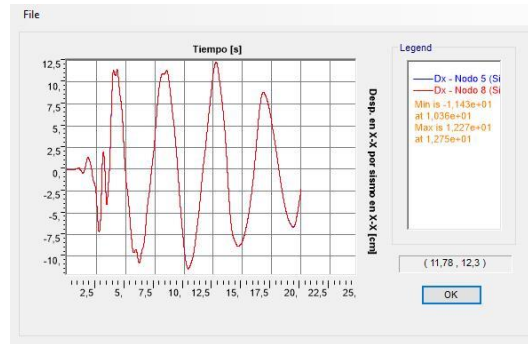
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



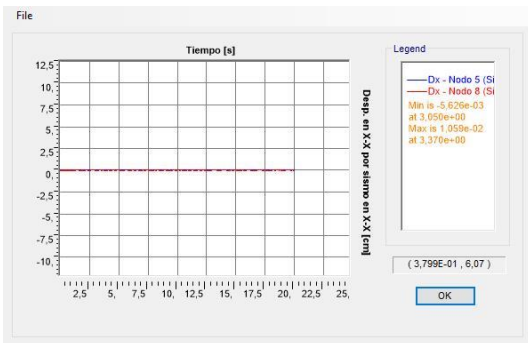
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

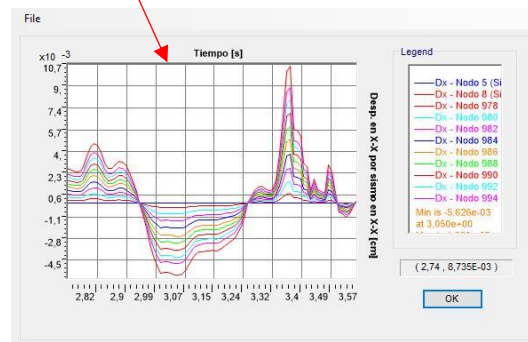
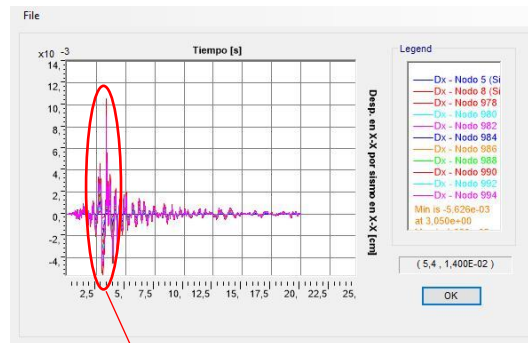
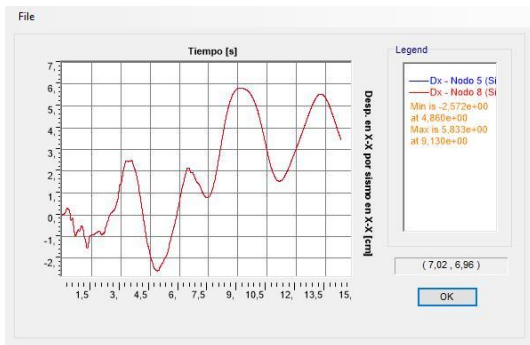


Figura 8.37: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Coalinga en X-X

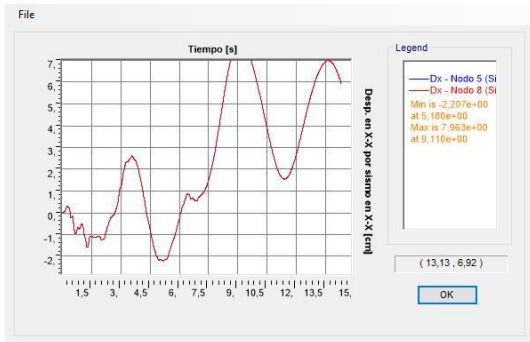


c. El Centro, California, 1940

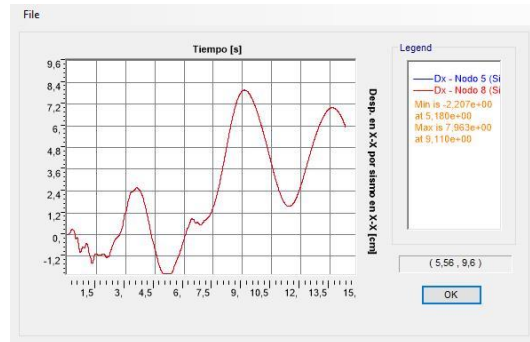
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



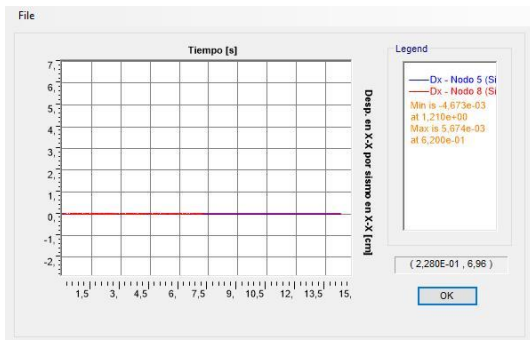
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

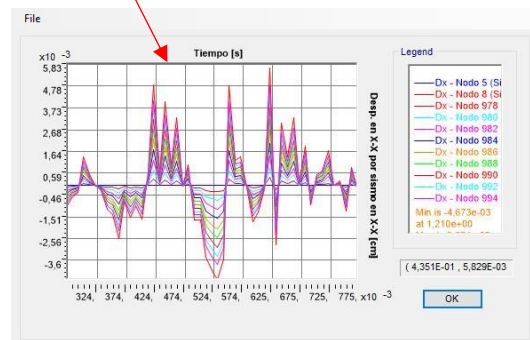
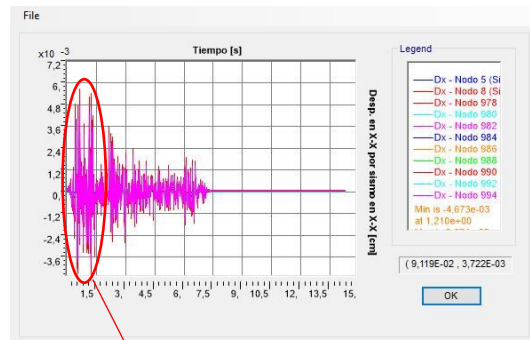
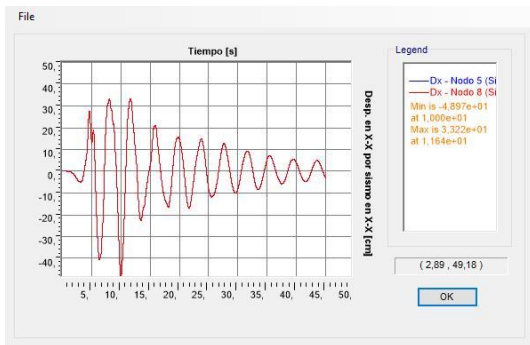


Figura 8.38: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de El Centro en X-X

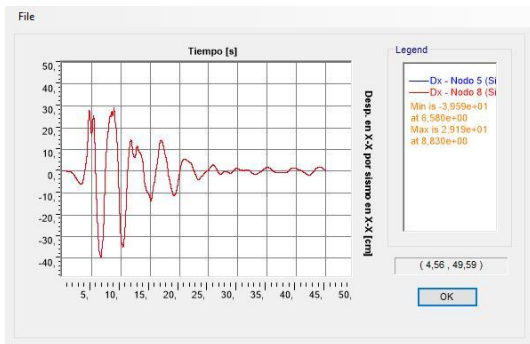


d. Kōbe, Osaka, 1995

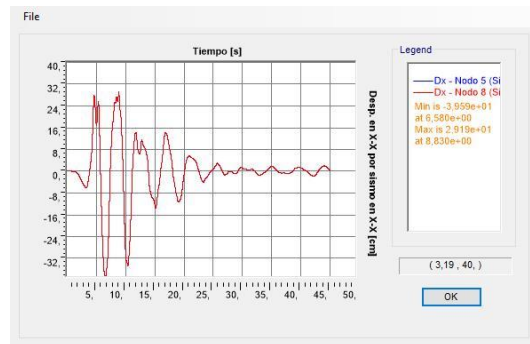
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



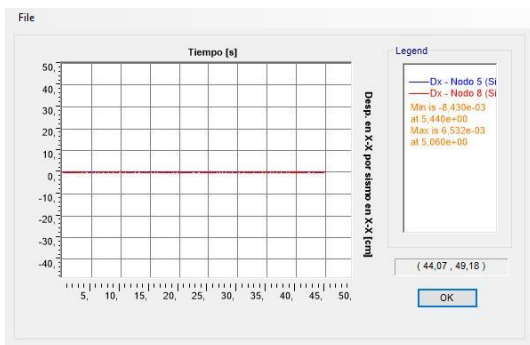
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

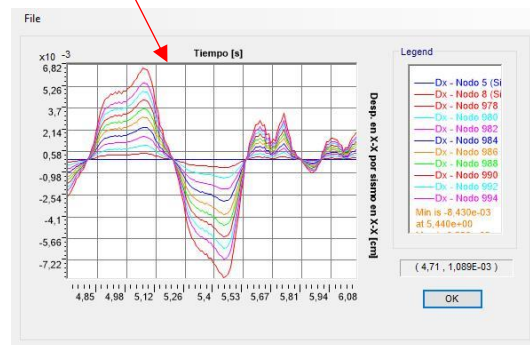
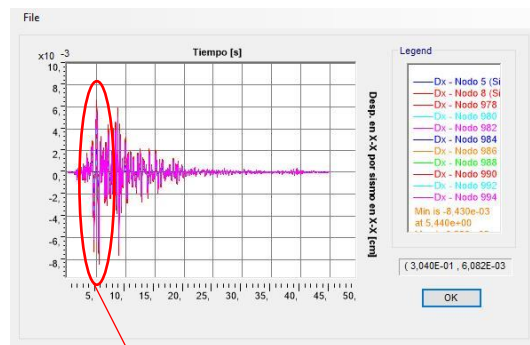
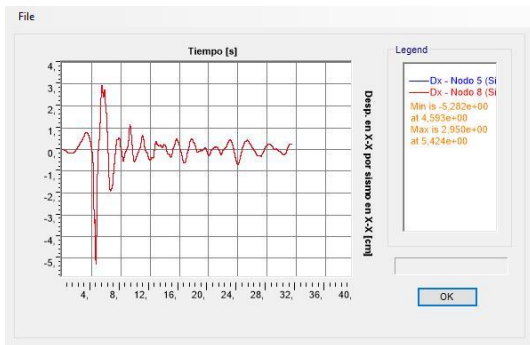


Figura 8.39: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Kōbe en X-X

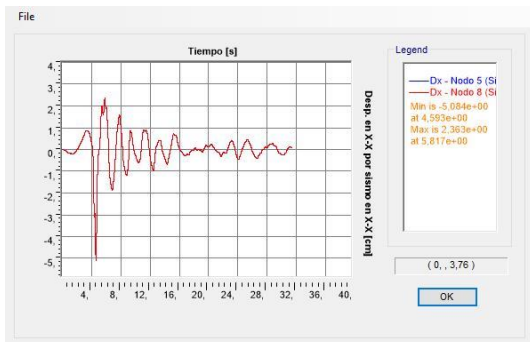


e. Las Heras, Mendoza, 1985:

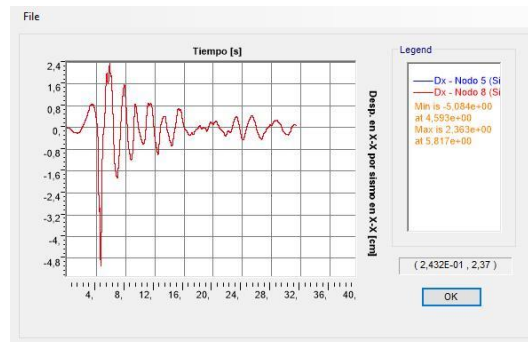
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



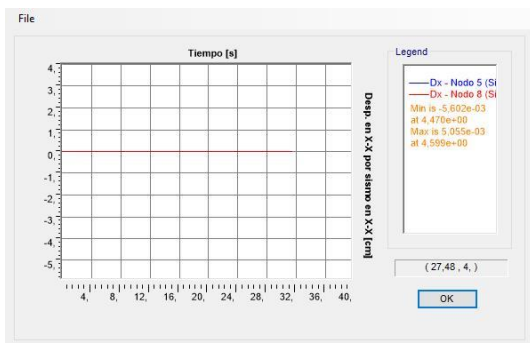
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

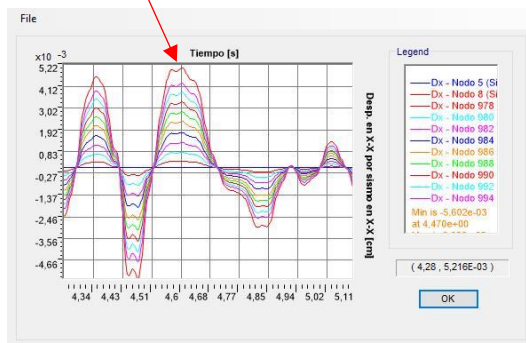
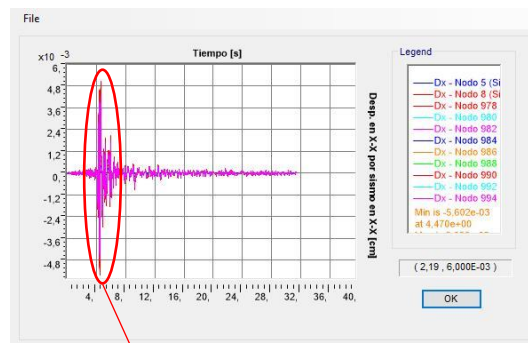
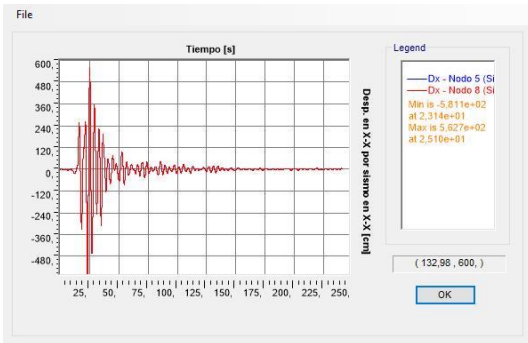


Figura 8.40: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Las Heras en X-X

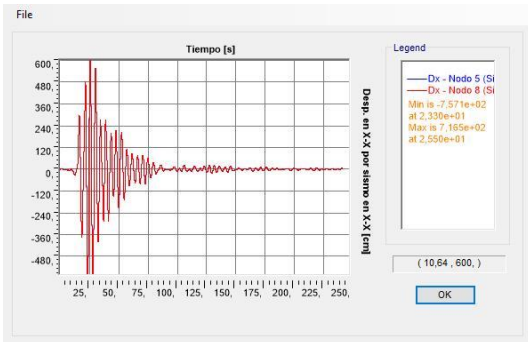


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

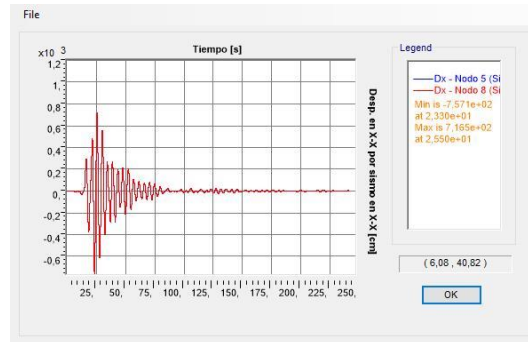
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



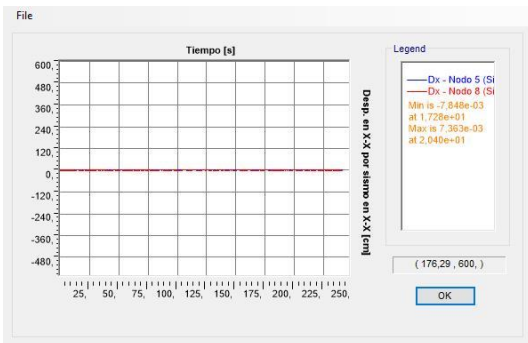
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

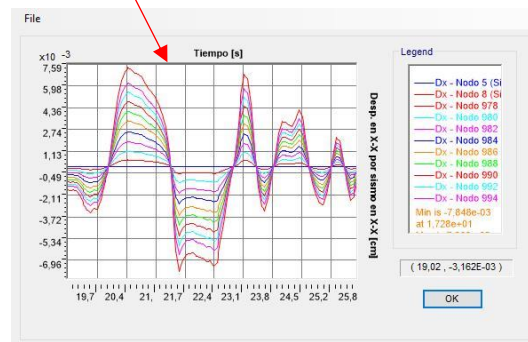
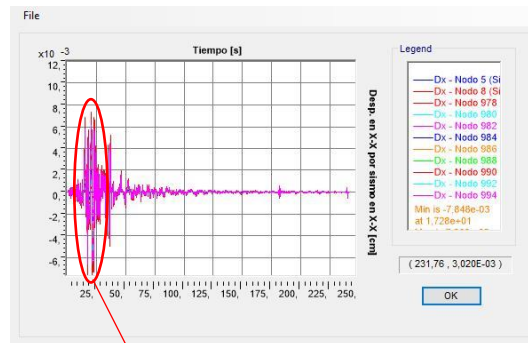
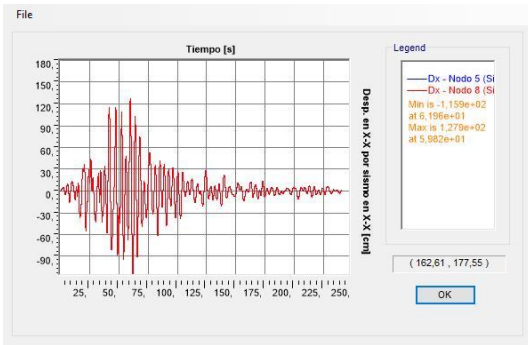


Figura 8.41: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Newhall en X-X

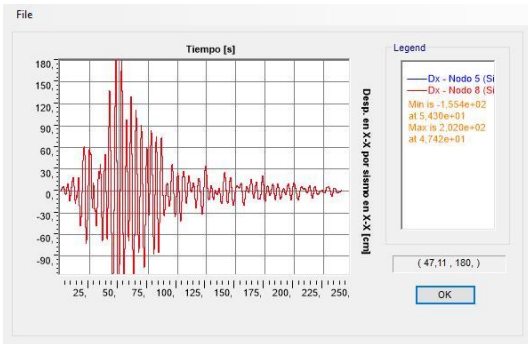


g. San Fernando, California, 1971

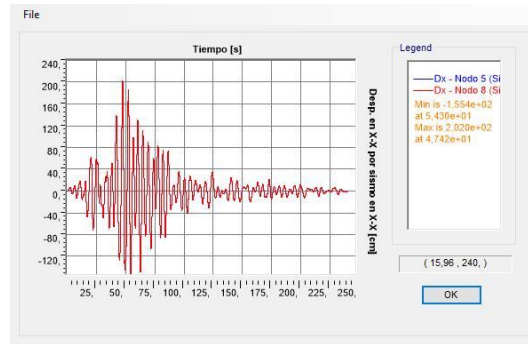
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



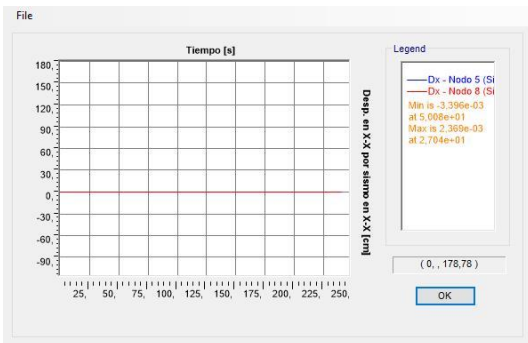
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

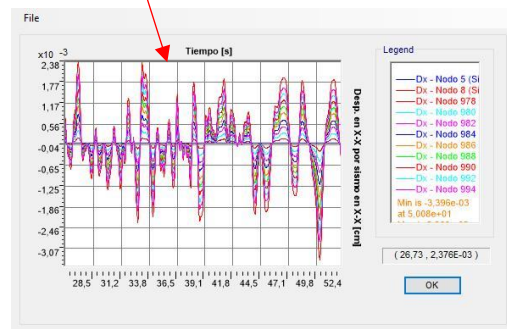
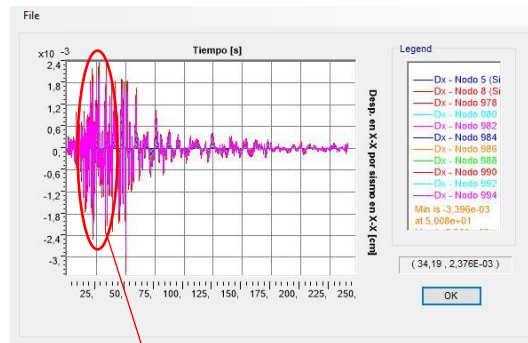
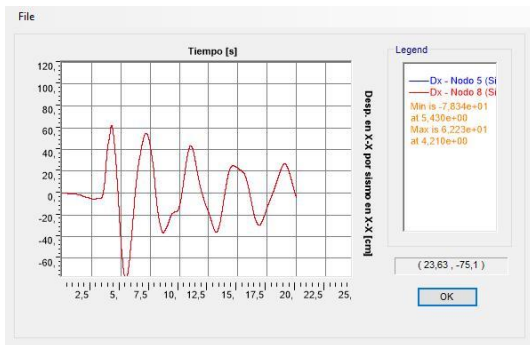


Figura 8.42: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X

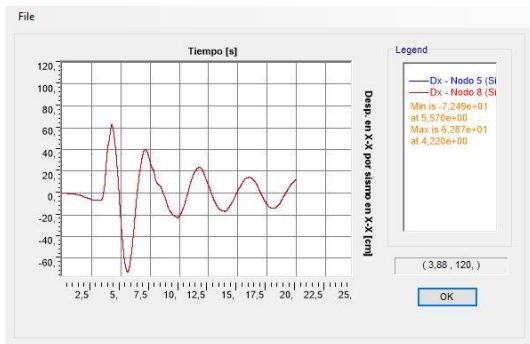


h. Sylmar California, 1994 [Northbridge]

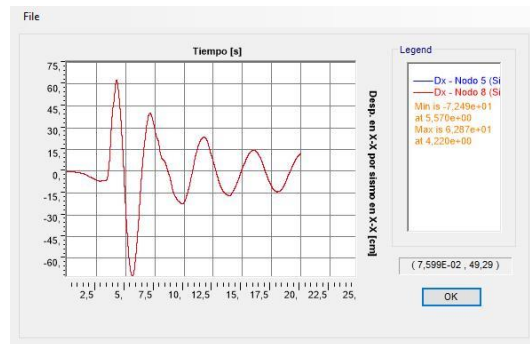
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



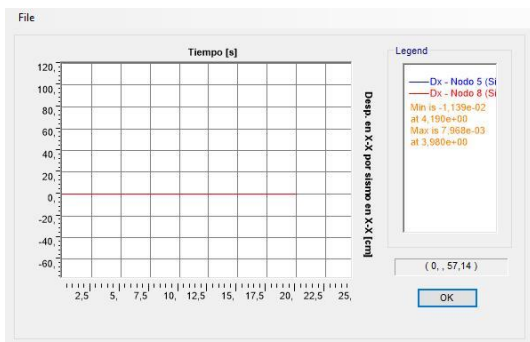
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

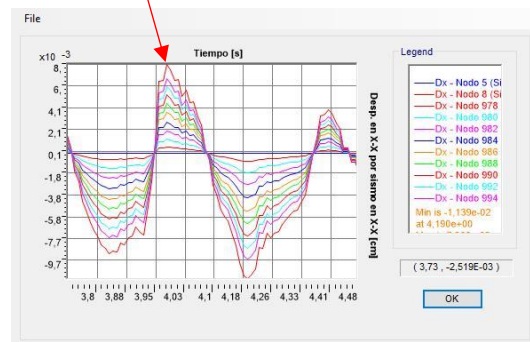
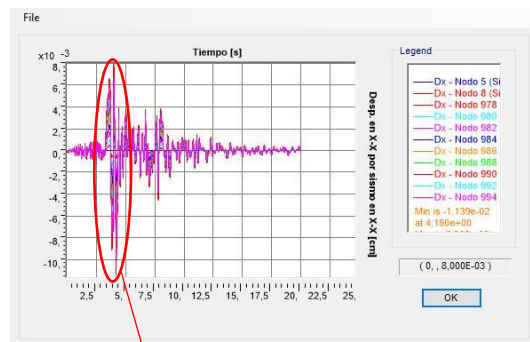


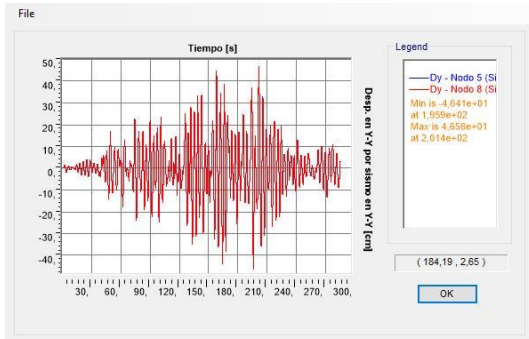
Figura 8.43: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Sylmar en X-X



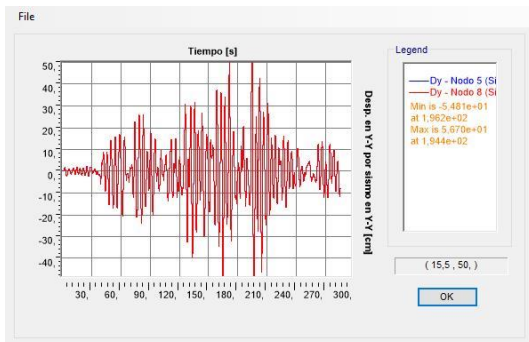
B. SISMOS EN DIRECCIÓN Y-Y → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN Y-Y

a. *Caucete, San Juan, 1977*

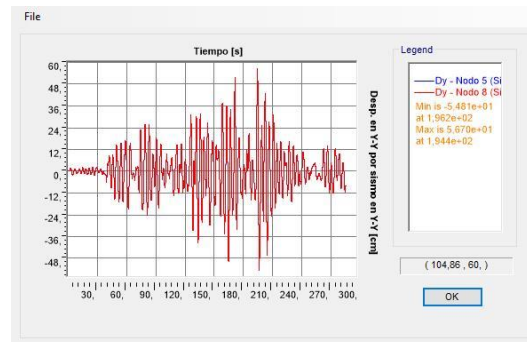
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



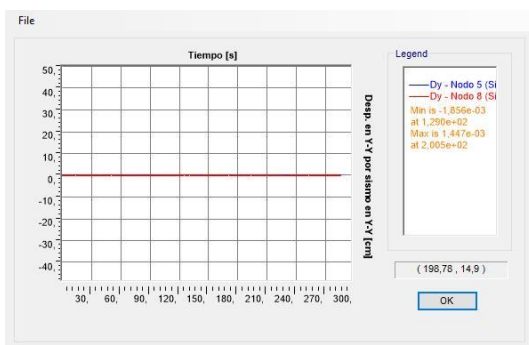
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

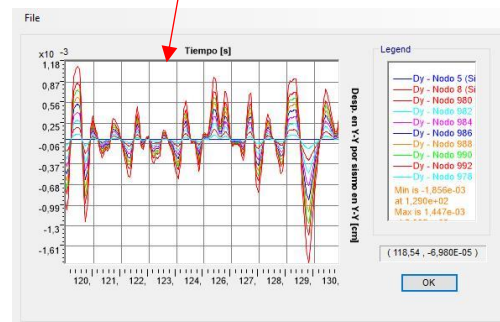
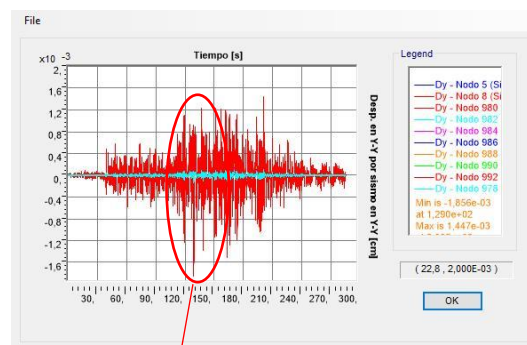
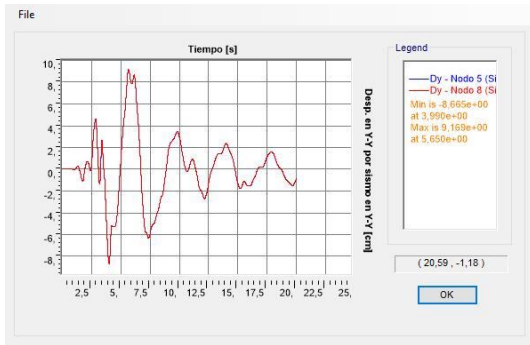


Figura 8.44: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Caucete en Y-Y

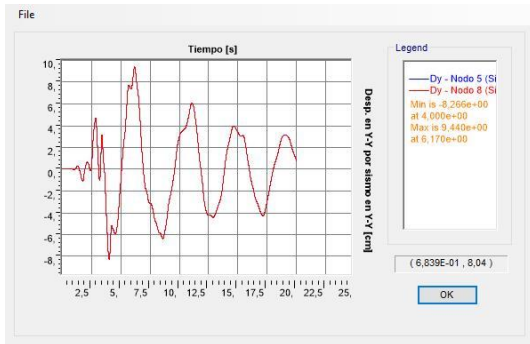


b. Coalinga, California, 1983

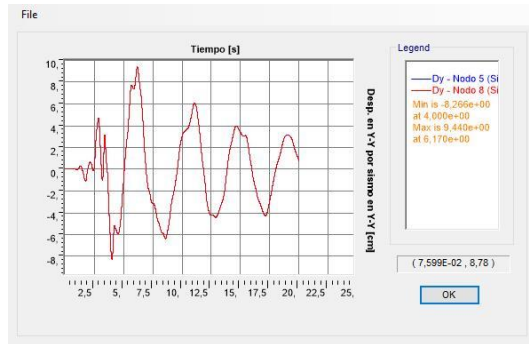
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



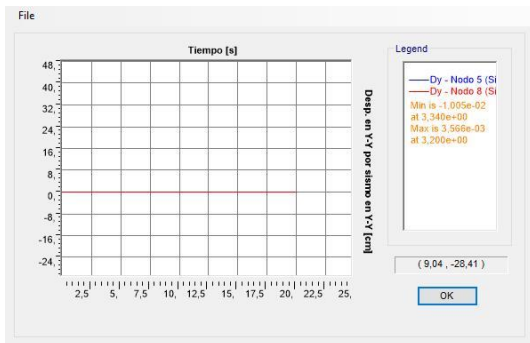
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

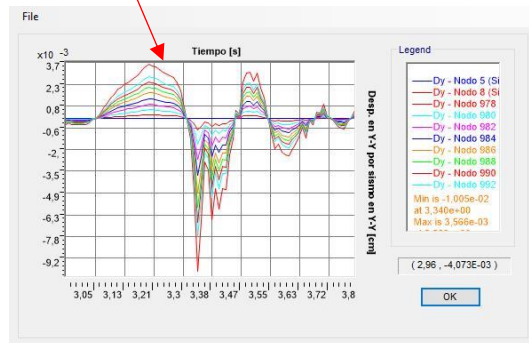
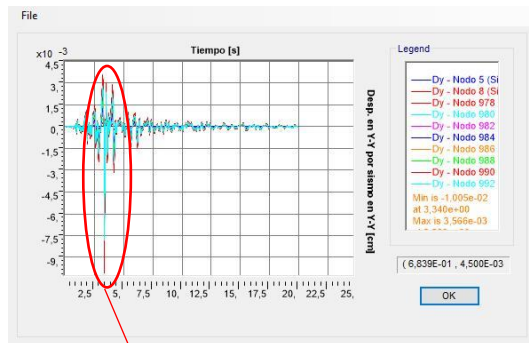
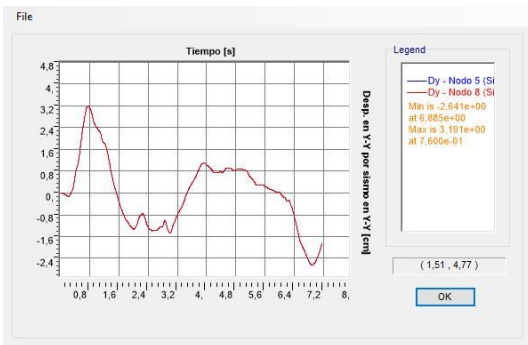


Figura 8.45: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y

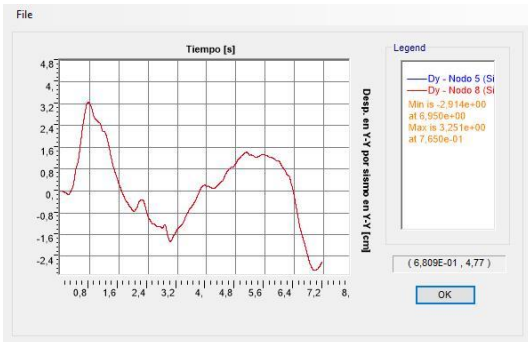


c. El Centro, California, 1940

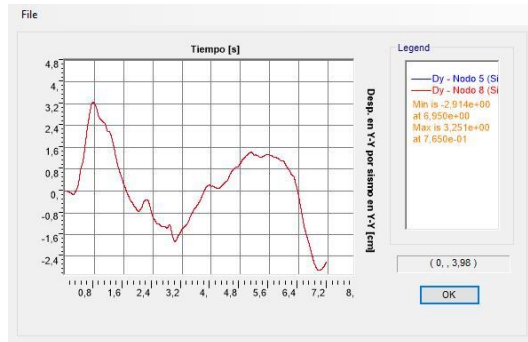
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



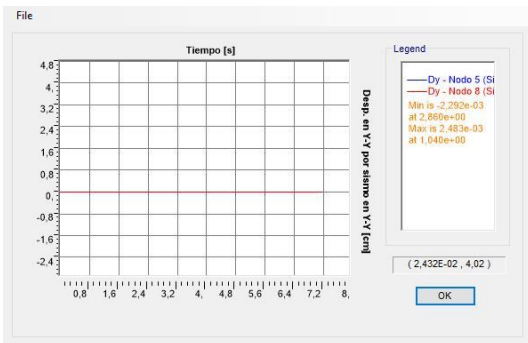
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

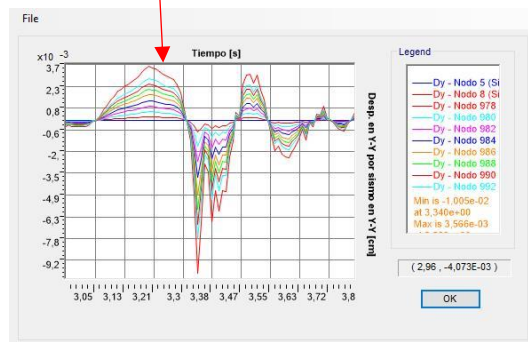
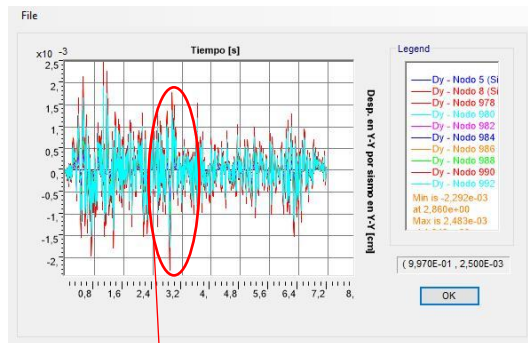
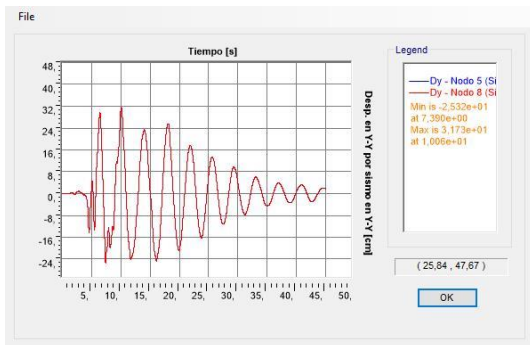


Figura 8.46: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y

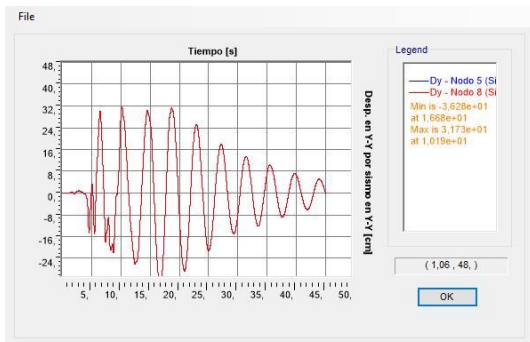


d. Kōbe, Osaka, 1995

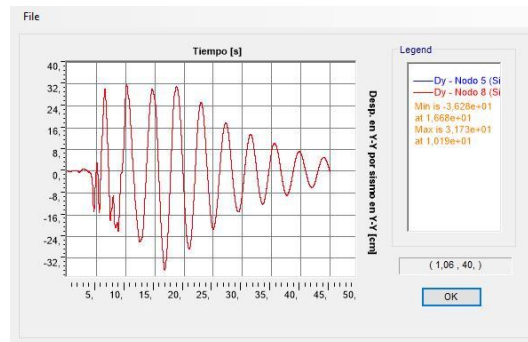
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



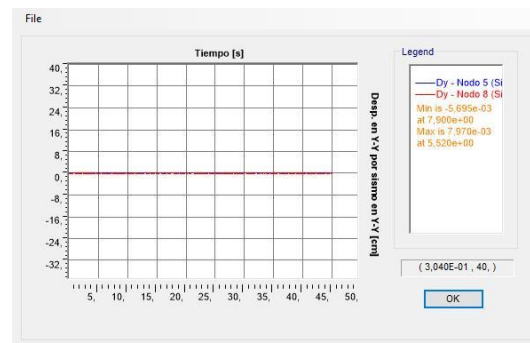
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

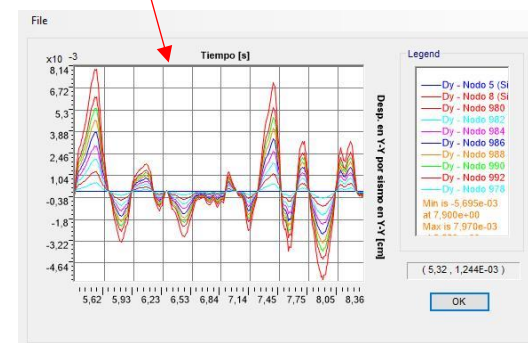
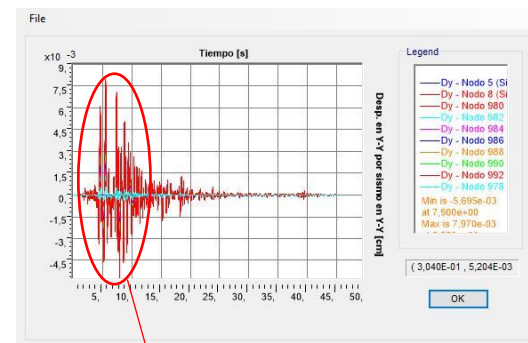
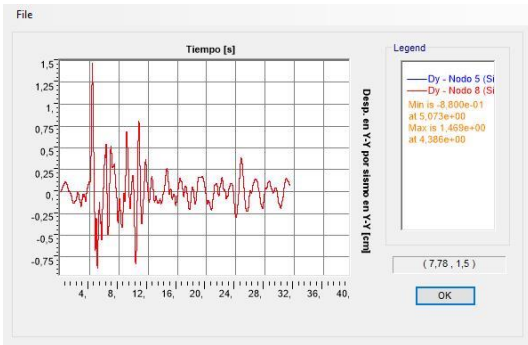


Figura 8.47: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Kōbe en Y-Y

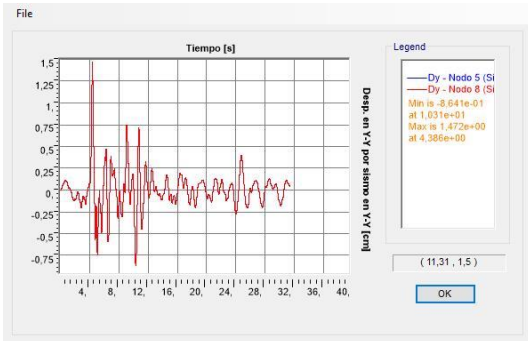


e. Las Heras, Mendoza, 1985

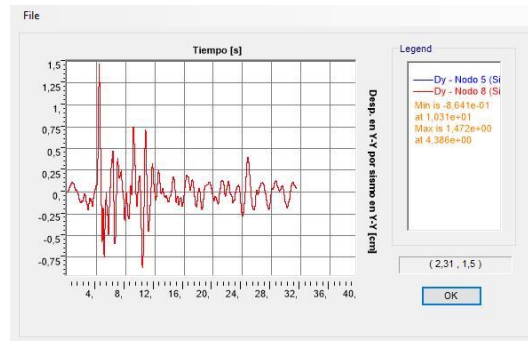
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



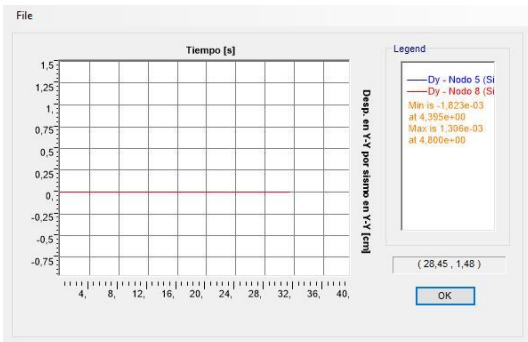
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

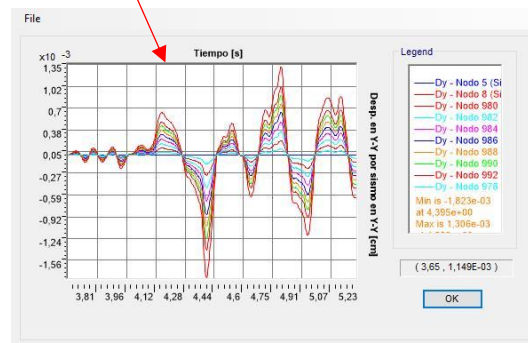
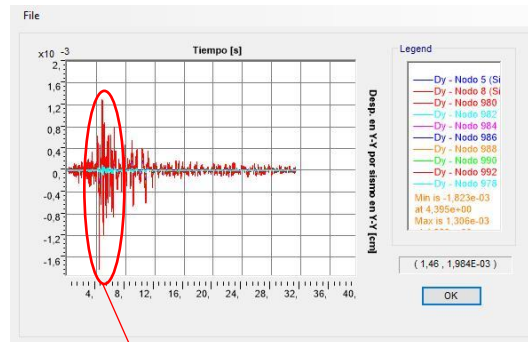
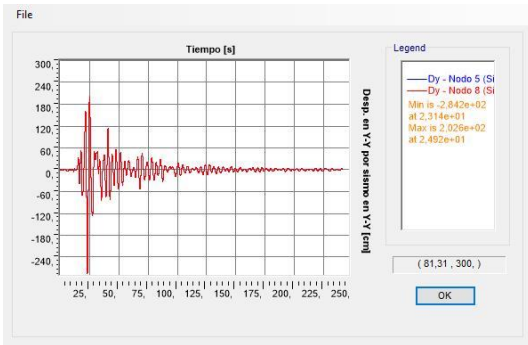


Figura 8.48: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y

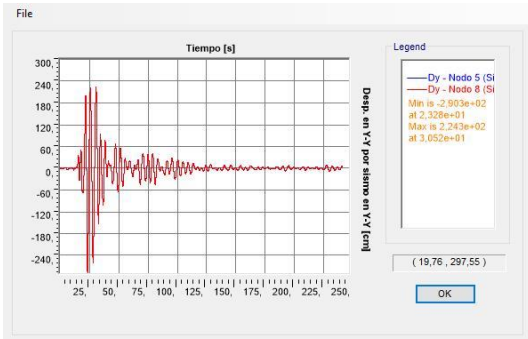


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

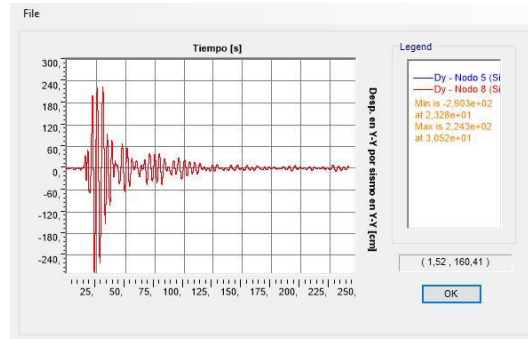
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



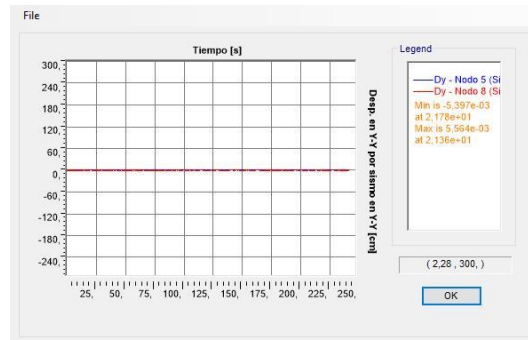
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

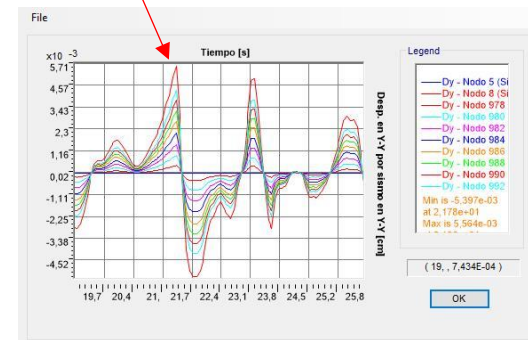
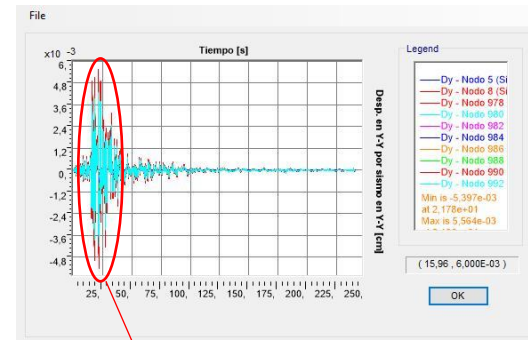
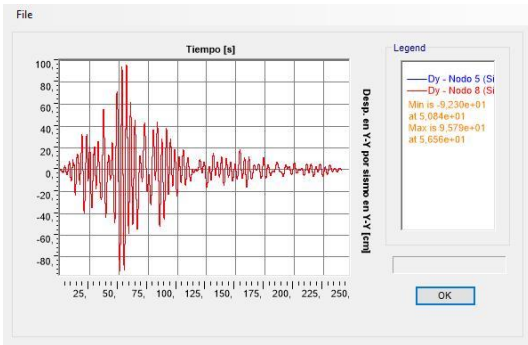


Figura 8.49: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y

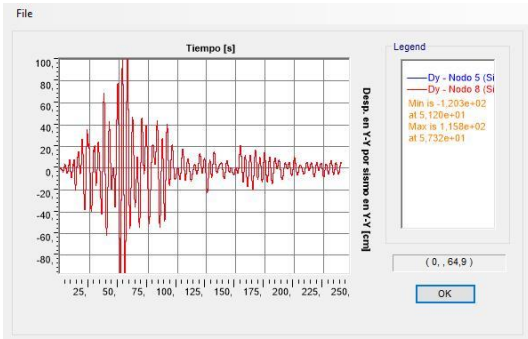


g. San Fernando, California, 1971

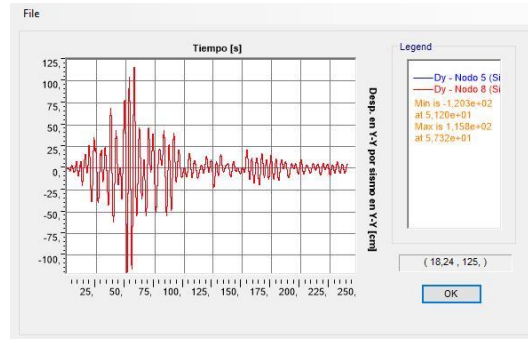
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



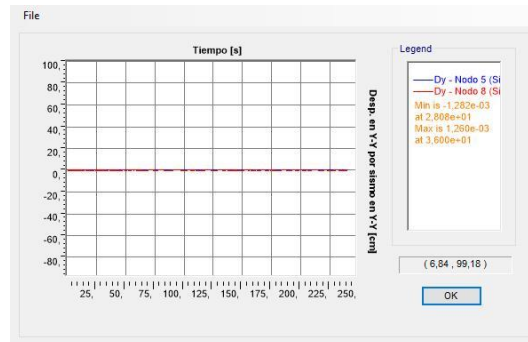
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

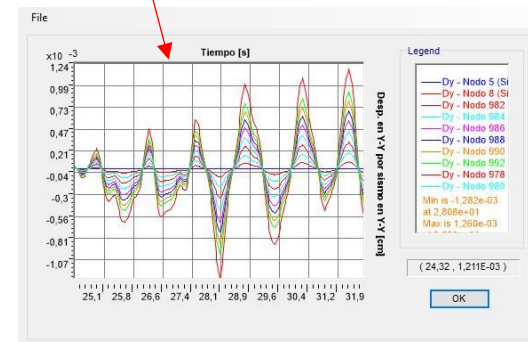
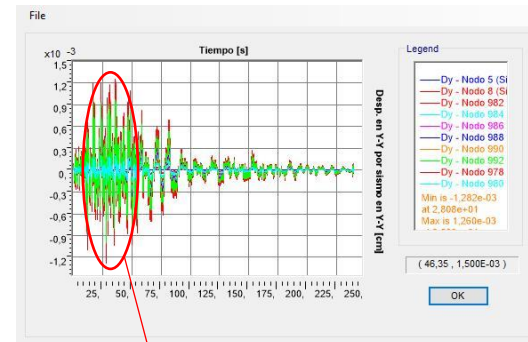
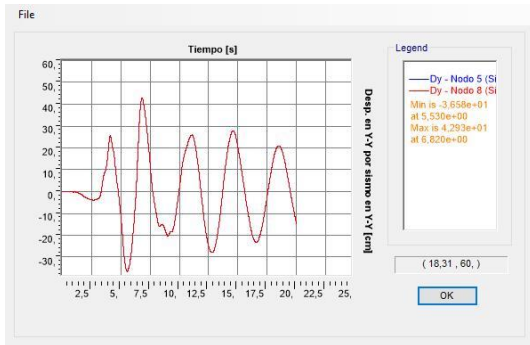


Figura 8.50: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y

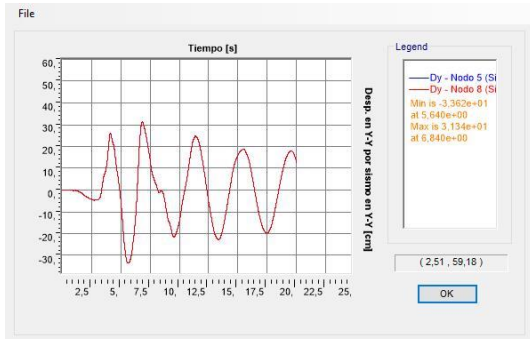


h. Sylmar, California, 1994 [Northbridge]

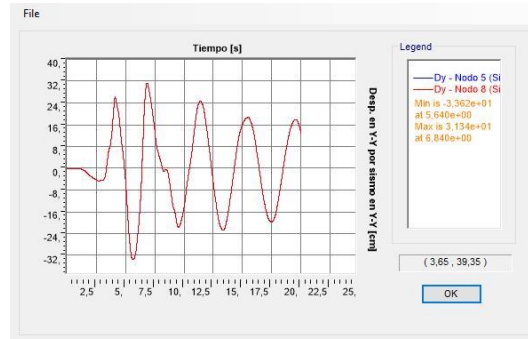
BÚNKER AISLADO CON F.P.S
(Ordenadas a escala patrón)



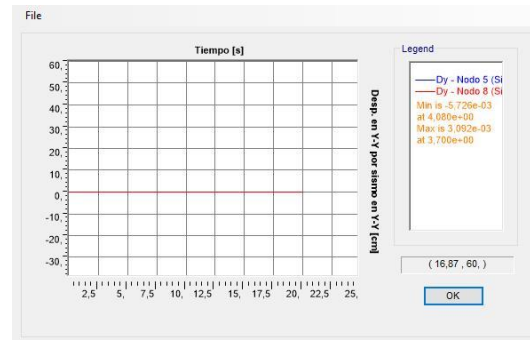
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)

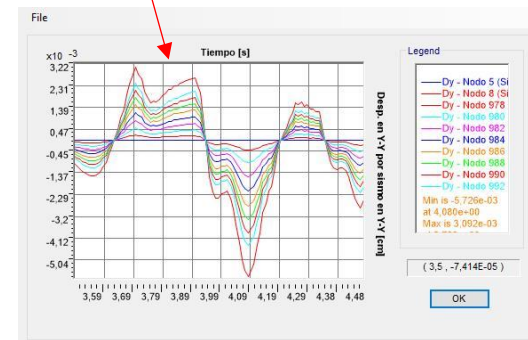
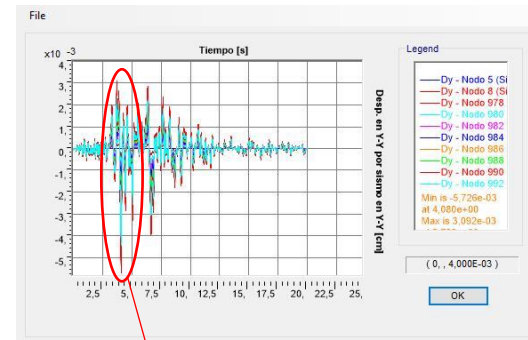


Figura 8.51: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y



8.2.5 ACCELERACIONES ABSOLUTAS EN BASE (DEBAJO DE CICLOTRÓN) – TABLA

COMPARACIÓN DE RESULTADOS									
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	ACCELERACIONES DE ESTRUCTURA					
				EN BASE (Nodo 40)					
				BÚNKER NO AISLADO		BÚNKER AISLADO - L.R.B.		BÚNKER AISLADO - F.P.S.	
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS	A ₁₋₁ = A _{x-x} m/s ²	A ₂₋₂ = A _{y-y} m/s ²	A ₁₋₁ = A _{x-x} m/s ²	A ₂₋₂ = A _{y-y} m/s ²	A ₁₋₁ = A _{x-x} m/s ²	A ₂₋₂ = A _{y-y} m/s ²	
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,01227	0,00000	0,10862	0,00000	0,13204	0,00001
			Min	-3,68438	0,00000	-0,04109	0,00000	-0,05885	-0,00001
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,84068	0,00000	0,01939	0,00000	0,02490	0,00000
			Min	-1,31810	0,00000	-0,03441	0,00000	-0,04170	0,00000
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	1,84068	0,00000	0,02149	0,00000	0,02837
			Min	0,00000	-1,31810	0,00000	-0,03717	0,00000	-0,04472
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	4,01227	0,00000	0,11798	0,00000	0,14272	
		Min	0,00000	-3,68438	0,00000	-0,04760	0,00000	-0,07063	
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	1,93180	0,00000	1,51255	0,00009	1,83572	0,00009
			Min	-1,85370	0,00000	-1,74167	-0,00007	-2,11134	-0,00008
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,80760	0,00000	0,71341	0,00004	0,77164	0,00005
			Min	-8,20570	0,00000	-0,65679	-0,00003	-0,81433	-0,00004
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	1,90550	0,00004	1,24078	0,00005	1,28892
			Min	0,00000	-1,48570	-0,00004	-1,28236	-0,00005	-1,29221
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	1,93180	0,00006	1,50380	0,00007	2,09128	
		Min	0,00000	-1,85370	-0,00006	-1,79521	-0,00007	-1,71763	
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	6,19200	0,00000	0,59198	0,00003	0,91976	0,00003
			Min	-4,78350	0,00000	-0,56246	-0,00003	-0,72115	-0,00004
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,80760	0,00000	0,71341	0,00004	0,77165	0,00005
			Min	-8,20570	0,00000	-0,65679	-0,00003	-0,81436	-0,00004
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	5,80760	0,00003	0,82341	0,00003	0,73353
			Min	0,00000	-8,20570	-0,00003	-0,72245	-0,00003	-0,88998
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	6,19200	0,00001	0,70255	0,00003	1,07783	
		Min	0,00000	-4,78350	-0,00002	-0,59074	-0,00002	-0,93253	
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,13260	0,00000	0,20279	0,00001	0,23171	0,00001
			Min	-7,70558	0,00000	-0,21729	-0,00001	-0,27533	-0,00001
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	10,61022	0,00000	0,17665	0,00001	0,22486	0,00001
			Min	-3,64541	0,00000	-0,20036	-0,00001	-0,23690	-0,00001
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	10,61022	0,00000	0,19625	0,00000	0,24994
			Min	0,00000	-3,64541	0,00000	-0,21892	0,00000	-0,26126
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	4,13260	0,00001	0,21764	0,00001	0,25157	
		Min	0,00000	-7,70558	-0,00001	-0,24097	-0,00001	-0,30420	
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	3,41700	0,00000	0,03690	0,00000	0,04894	0,00000
			Min	-2,63100	0,00000	-0,13067	0,00000	-0,12397	0,00000
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	2,10100	0,00000	0,05584	0,00000	0,07438	0,00000
			Min	-1,78600	0,00000	-0,07380	0,00000	-0,08806	0,00000
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	2,10100	0,00000	0,06706	0,00000	0,07483
			Min	0,00000	-1,78600	0,00000	-0,07891	0,00000	-0,09418
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	3,41700	0,00000	0,04118	0,00000	0,05630	
		Min	0,00000	-2,63100	0,00000	-0,04793	0,00000	-0,06321	
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	8,26760	0,00000	0,89640	0,00007	1,24728	0,00008
			Min	-5,78034	0,00000	-1,07869	-0,00005	-1,30365	-0,00006
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,92639	0,00000	0,64893	0,00003	0,89389	0,00004
			Min	-3,19399	0,00000	-0,56581	-0,00004	-0,95506	-0,00004
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	5,92639	0,00002	0,76627	0,00003	1,02415
			Min	0,00000	-3,19399	-0,00002	-0,71854	-0,00003	-1,20187
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	8,26760	0,00002	1,07968	0,00003	1,49201	
		Min	0,00000	-5,78034	-0,00002	-1,16466	-0,00003	-1,55706	
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	5,78193	0,00000	12,00482	0,00037	11,32580	0,00033
			Min	-5,41569	0,00000	-11,46257	-0,00034	-11,40850	-0,00030
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,54430	0,00000	6,08549	0,00018	7,29999	0,00021
			Min	-5,71620	0,00000	-6,38150	-0,00019	-5,04152	-0,00021
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	5,54430	0,00017	6,57728	0,00014	7,90550
			Min	0,00000	-5,71620	-0,00018	-5,05890	-0,00014	-5,62157
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	5,78193	0,00034	11,97882	0,00028	10,86474	
		Min	0,00000	-5,41569	-0,00035	-11,59900	-0,00029	-11,13593	
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	2,49955	0,00000	2,47344	0,00009	2,38999	0,00008
			Min	-1,74666	0,00000	-3,26424	-0,00009	-2,56839	-0,00009
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,31711	0,00000	2,28686	0,00007	2,85642	0,00010
			Min	-1,29415	0,00000	-2,25474	-0,00008	-2,86690	-0,00011
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00000	1,31711	0,00007	2,71827	0,00010	2,55945
			Min	0,00000	-1,29415	-0,00007	-2,61348	-0,00010	-2,65645
Sismo en dirección E-O = X-X		Max	0,00000	2,49955	0,00009	2,52482	0,00008	2,35465	
		Min	0,00000	-1,74666	-0,00009	-2,69161	-0,00008	-2,78540	

Tabla 8.4: Aceleraciones absolutas a nivel de base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones



8.2.7 ACCELERACIONES ABSOLUTAS, DIFERENCIA ENTRE TECHO Y BASE - TABLA

COMPARACIÓN DE RESULTADOS									
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	ACCELERACIONES DE ESTRUCTURA					
				DIF. (TECHO-BASE)					
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		BÚNKER NO AISLADO		BÚNKER AISLADO - L.R.B.		BÚNKER AISLADO - F.P.S.	
			$A_{1-1} = A_{x-x}$ m/s^2	$A_{2-2} = A_{y-y}$ m/s^2	$A_{1-1} = A_{x-x}$ m/s^2	$A_{2-2} = A_{y-y}$ m/s^2	$A_{1-1} = A_{x-x}$ m/s^2	$A_{2-2} = A_{y-y}$ m/s^2	
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,12099	-0,00044	0,00020	-0,00770	0,00175	-0,01110
			Min	-0,03571	0,00051	-0,00012	0,00791	-0,00051	0,01016
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,05940	-0,00012	0,00008	-0,00327	0,00091	-0,00424
			Min	-0,04269	0,00014	-0,00013	0,00308	-0,00026	0,00312
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00004	-0,03976	0,00000	-0,00003	0,00000	-0,00014
			Min	-0,00004	0,02720	0,00000	0,00004	0,00000	0,00008
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00015	-0,07286	0,00000	-0,00023	0,00000	-0,00037
			Min	-0,00013	0,02228	0,00000	0,00006	0,00000	0,00008
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-0,00035	-0,00004	0,00041	-0,07237	0,00012	-0,07588
			Min	0,00365	0,00019	-0,00049	0,08225	-0,00112	0,08983
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-0,09400	-0,00059	0,00003	-0,05738	0,00004	-0,07103
			Min	-0,01017	0,00039	-0,00019	0,07000	-0,00016	0,08834
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00033	-0,00264	0,00000	-0,00013	0,00000	-0,00023
			Min	-0,00023	0,00226	0,00000	0,00011	0,00000	0,00021
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00024	-0,00011	0,00000	-0,00010	0,00000	-0,00059
			Min	-0,00019	0,00227	0,00000	0,00021	0,00000	0,00022
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,01042	-0,00048	0,00039	-0,03553	0,00065	-0,03732
			Min	-0,02667	0,00039	-0,00060	0,04693	-0,00085	0,05457
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00622	-0,00059	0,00003	-0,05738	0,00003	-0,07103
			Min	-0,01017	0,00075	-0,00019	0,07003	-0,00014	0,08834
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00299	-0,05619	0,00000	-0,00011	0,00000	-0,00091
			Min	-0,00283	-0,00329	0,00000	0,00012	0,00000	0,00056
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00184	0,01182	0,00000	-0,00019	0,00000	-0,00042
			Min	-0,00173	-0,01941	0,00000	0,00016	0,00000	0,00019
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-0,00003	-0,00195	0,00023	-0,00979	0,00038	-0,01062
			Min	0,00945	0,00423	-0,00063	0,01592	-0,00121	0,02047
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,13586	-0,00950	0,00044	-0,00864	0,00088	-0,01161
			Min	-0,08360	0,00761	-0,00026	0,01026	-0,00046	0,01294
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01835	0,11544	0,00001	-0,00015	0,00000	-0,00038
			Min	-0,02472	0,02581	0,00000	0,00008	0,00000	0,00026
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00919	0,00567	0,00000	-0,00006	0,00000	-0,00016
			Min	-0,00735	0,08486	0,00000	0,00022	0,00000	0,00051
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,31469	-0,01387	0,00011	-0,00240	-0,00021	-0,00313
			Min	-2,07452	0,01095	-0,00001	0,00238	-0,00004	0,00334
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,40277	-0,00939	0,00015	-0,00479	0,00062	-0,00588
			Min	-1,44445	0,00670	-0,00010	0,00572	0,00019	0,00704
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01230	-0,31962	0,00000	-0,00002	0,00000	-0,00007
			Min	-0,01610	1,01928	0,00000	-0,00001	0,00000	-0,00001
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,03022	-0,09512	0,00000	-0,00003	0,00000	0,00015
			Min	-0,02838	2,16651	0,00000	-0,00001	0,00000	-0,00009
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,08831	-0,00237	-0,00020	-0,08710	0,00023	-0,09904
			Min	-0,16334	0,00170	-0,00109	0,10514	-0,00248	0,12252
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,02264	-0,00072	0,00039	-0,05175	0,00089	-0,04959
			Min	-0,01874	0,00062	-0,00102	0,05436	-0,00158	0,04924
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00312	0,03192	0,00000	-0,00020	0,00000	-0,00043
			Min	-0,00264	-0,00224	0,00000	0,00019	0,00000	0,00059
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00522	-0,11019	0,00000	-0,00008	0,00000	-0,00052
			Min	-0,00714	-0,08671	0,00000	0,00038	0,00000	0,00052
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-0,00960	-0,00013	0,00209	-0,23167	0,00462	-0,20573
			Min	0,00192	0,00017	-0,00126	0,24112	-0,00562	0,25512
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-0,00291	-0,00017	0,00081	-0,13177	0,00310	-0,16915
			Min	0,00729	0,00017	-0,00093	0,18573	-0,00231	0,25647
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00063	-0,00384	0,00000	-0,00081	0,00000	-0,00180
			Min	-0,00105	0,00510	0,00001	0,00026	0,00000	0,00092
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00074	-0,00555	0,00000	-0,00118	0,00000	-0,00222
			Min	-0,00042	0,00105	0,00000	0,00079	0,00000	0,00197
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-0,00310	-0,00004	0,00027	-0,07278	0,00085	-0,08952
			Min	0,00560	0,00016	-0,00052	0,08776	-0,00086	0,07611
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-0,00289	-0,00056	0,00028	-0,04446	0,00086	-0,06308
			Min	0,00295	0,00003	-0,00032	0,05325	-0,00074	0,05254
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00028	-0,00157	0,00000	-0,00020	0,00000	-0,00035
			Min	-0,00067	0,00163	0,00000	0,00015	0,00000	0,00037
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00020	-0,00175	0,00000	-0,00015	0,00000	-0,00026
			Min	-0,00027	0,00311	0,00000	0,00020	0,00000	0,00034

Tabla 8.6: Diferencia de aceleraciones absolutas entre nivel de techo y base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones

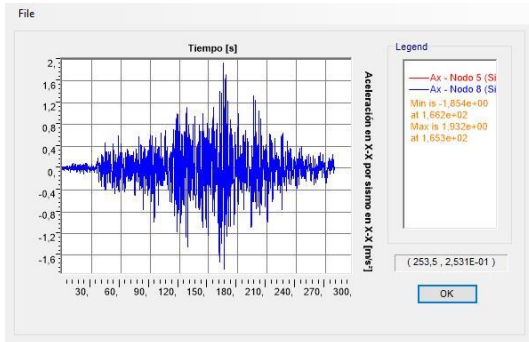


8.2.8 ACCELERACIONES ABSOLUTAS [m/s²] - GRÁFICOS

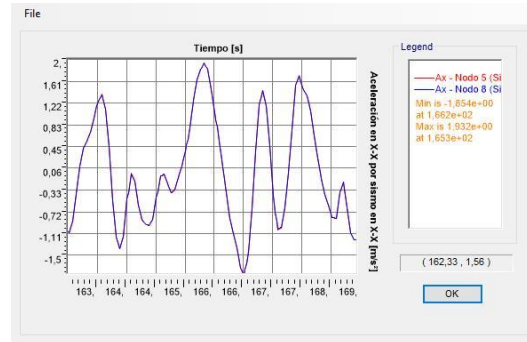
A. SISMOS EN DIRECCIÓN X-X → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN X-X

a. *Caucete, San Juan, 1977:*

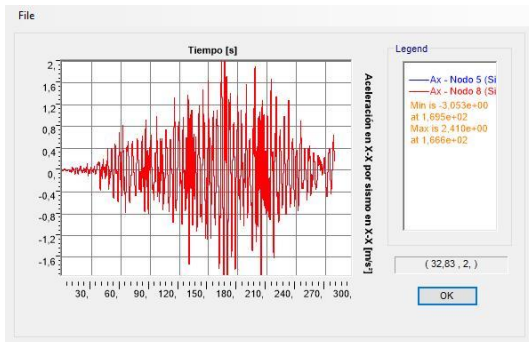
BÚNKER SIN AISLAMIENTO (Ordenadas a escala patrón)



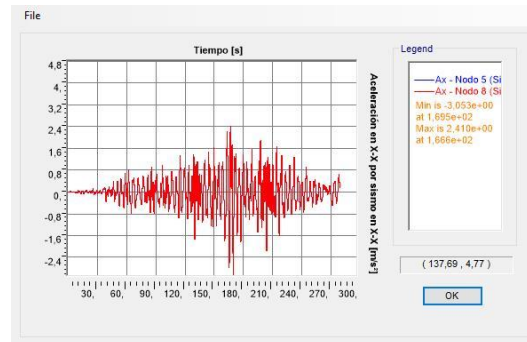
BÚNKER SIN AISLAMIENTO (Zoom)



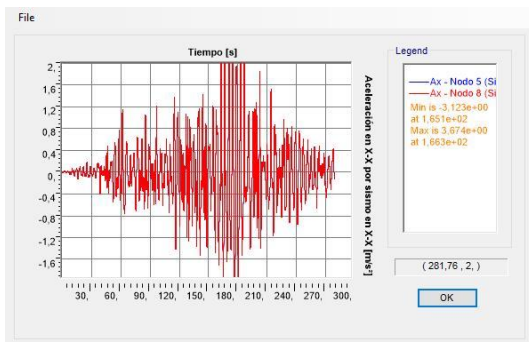
BÚNKER AISLADO CON L.R.B. (Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B. (Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S. (Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S. (Ordenadas s/ escala propia)

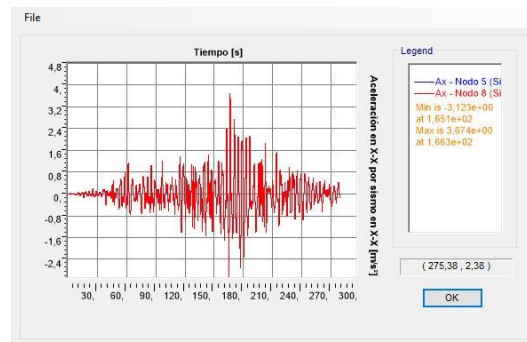
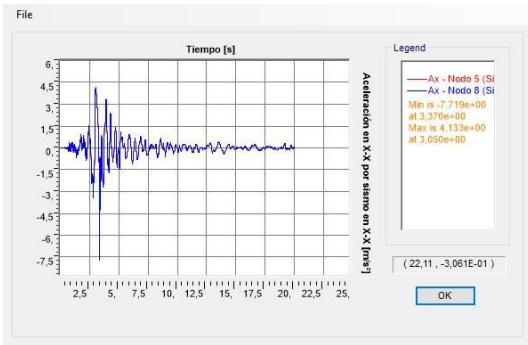


Figura 8.52: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Caucete en X-X

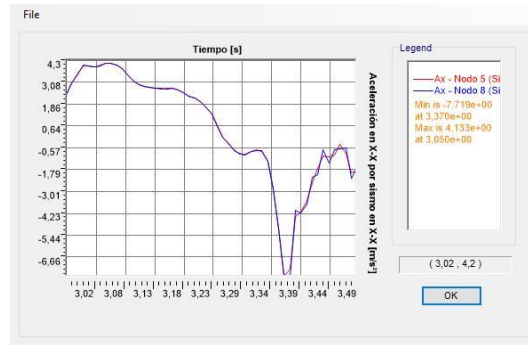


b. Coalinga, California, 1983:

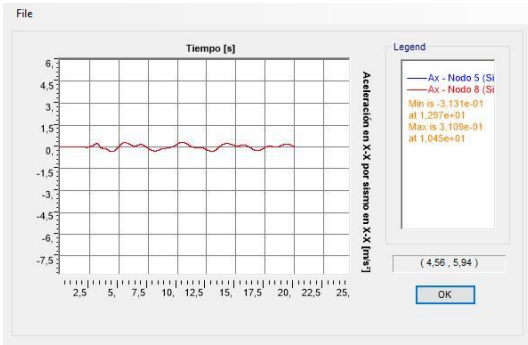
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



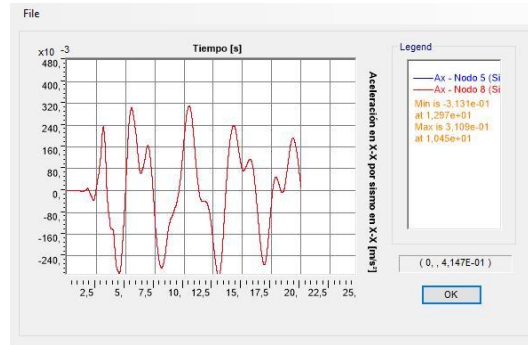
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



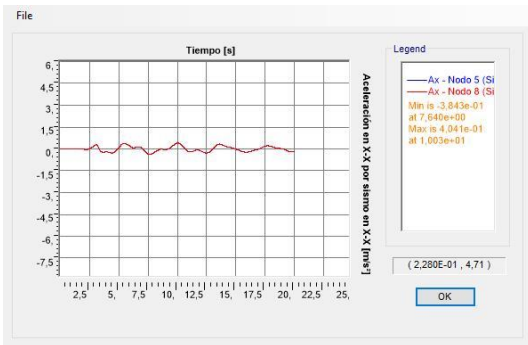
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

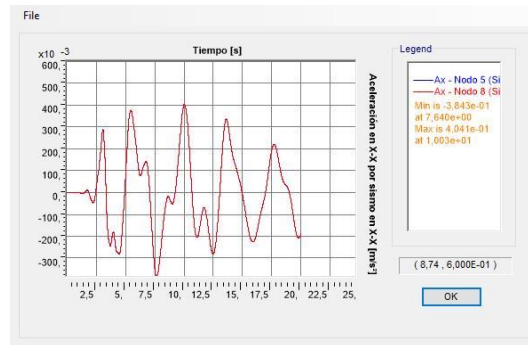
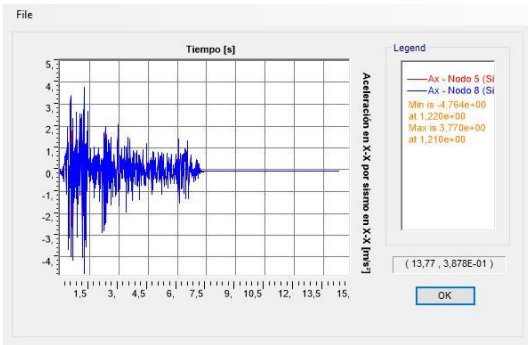


Figura 8.53: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Coalinga en X-X

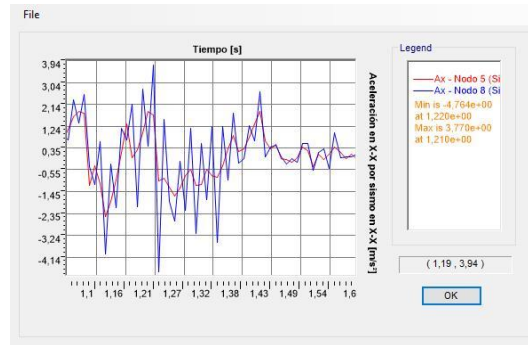


c. El Centro, California, 1940:

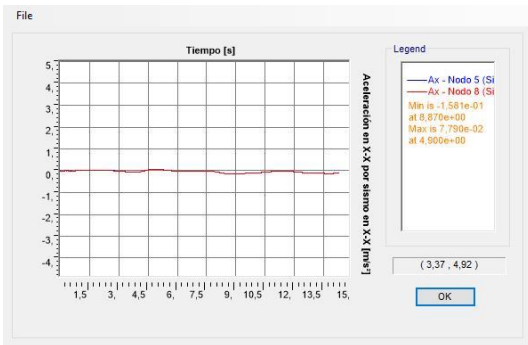
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



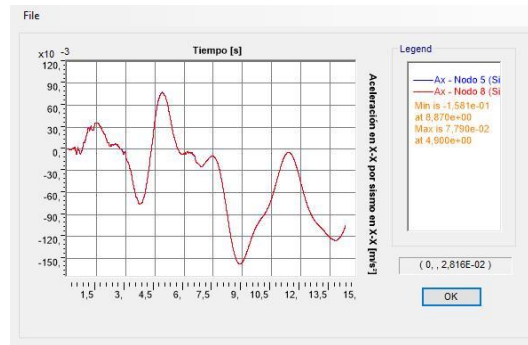
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



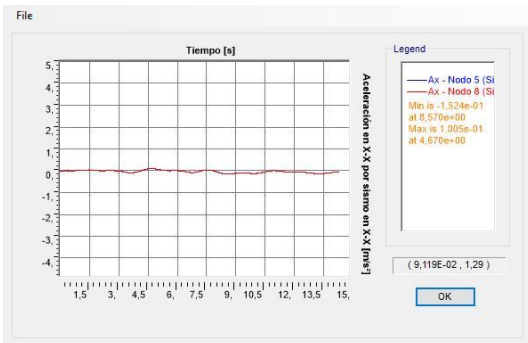
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

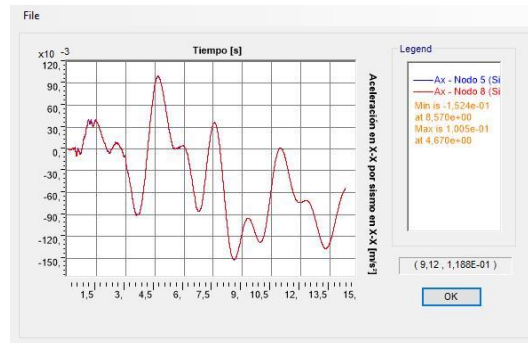
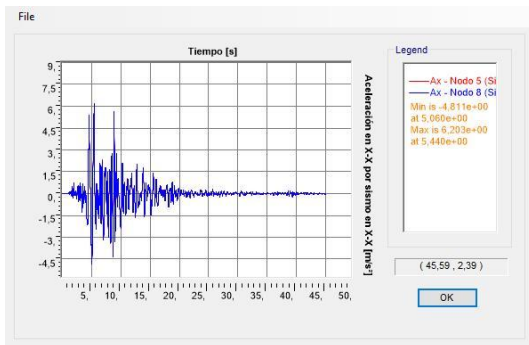


Figura 8.54: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de El Centro en X-X

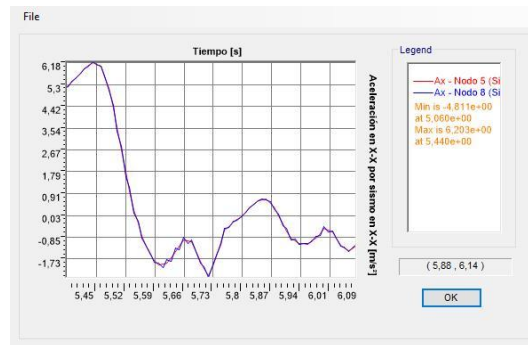


d. Kōbe, Osaka, 1995:

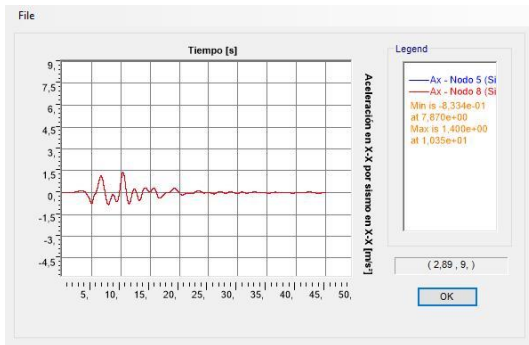
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



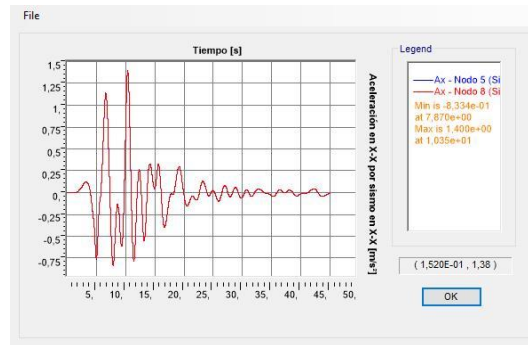
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



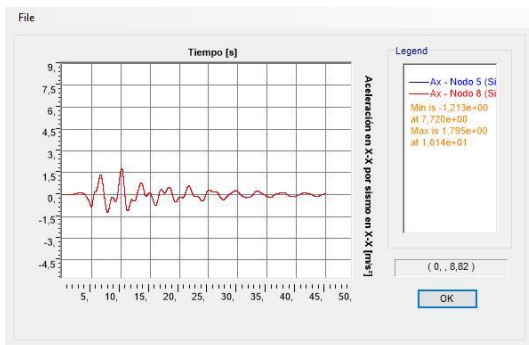
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

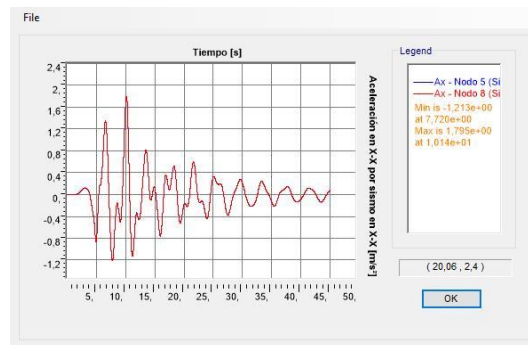
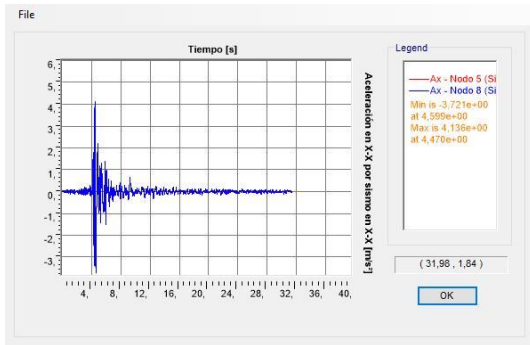


Figura 8.55: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Kōbe en X-X

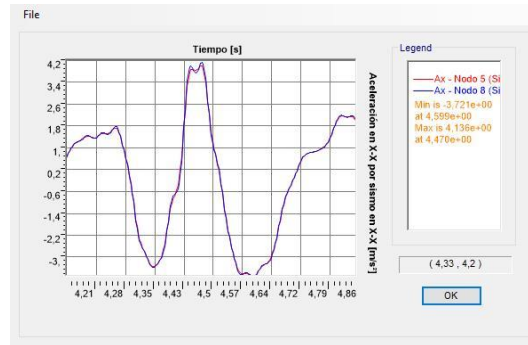


e. Las Heras, Mendoza, 1985:

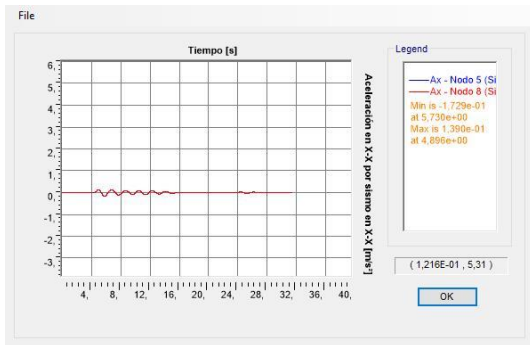
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



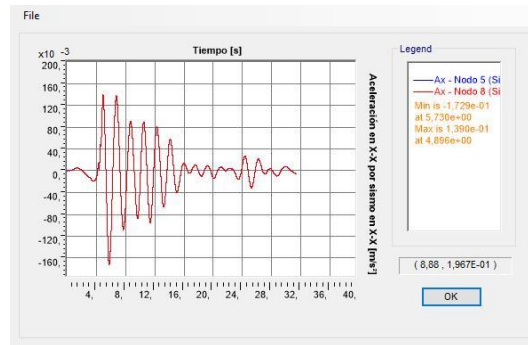
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



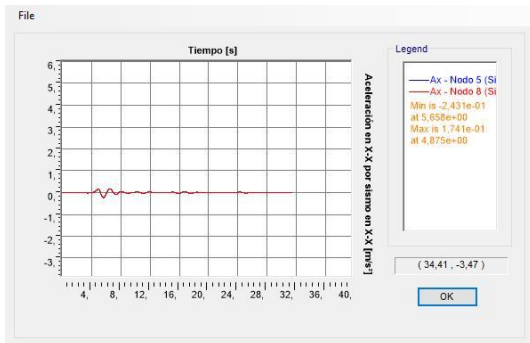
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

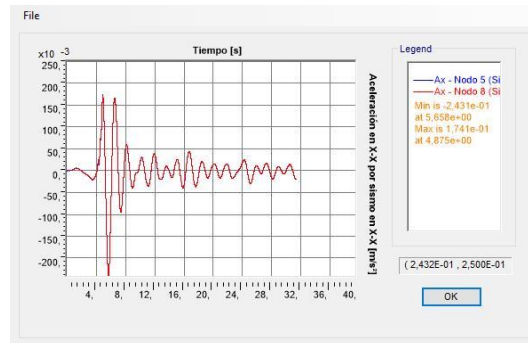
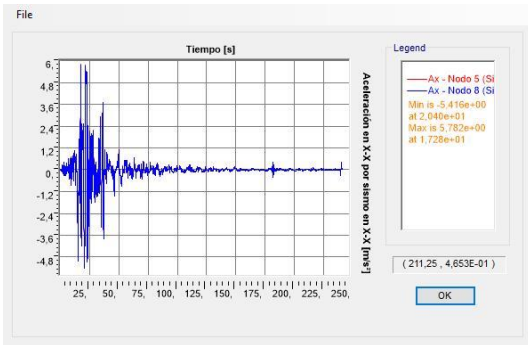


Figura 8.56: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Las Heras en X-X

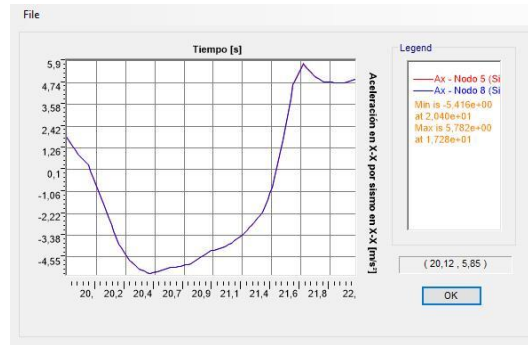


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

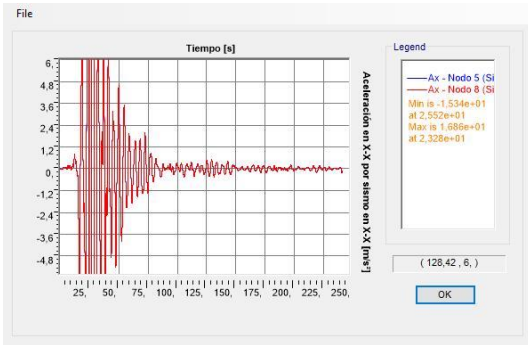
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



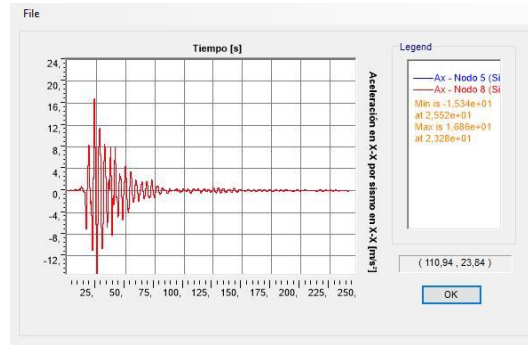
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



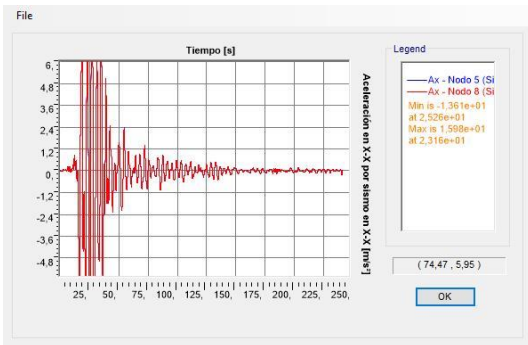
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

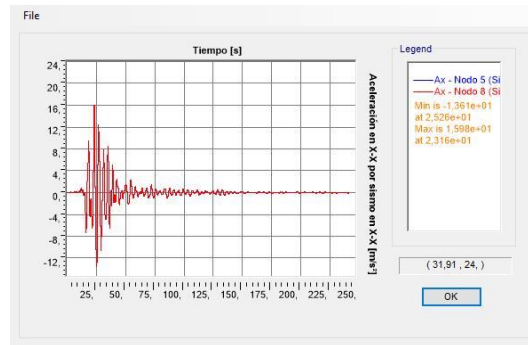
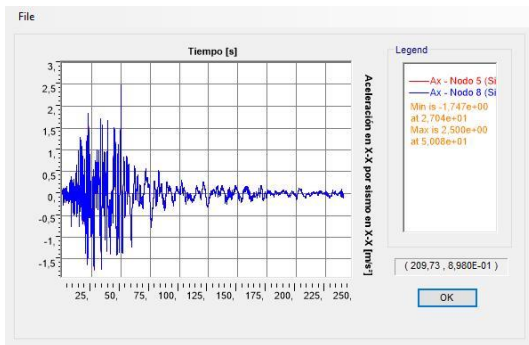


Figura 8.57: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Newhall en X-X

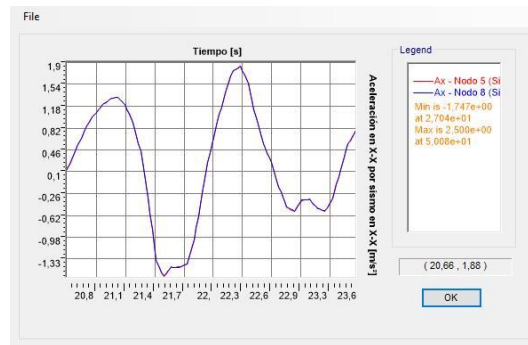


g. San Fernando, California, 1971

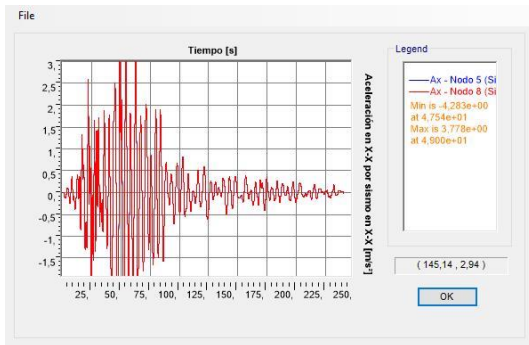
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



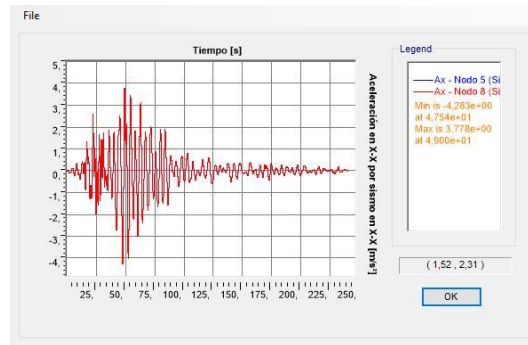
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



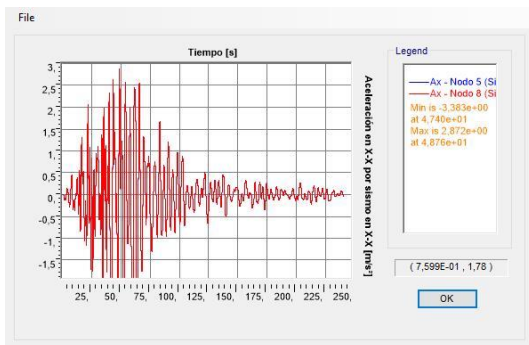
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

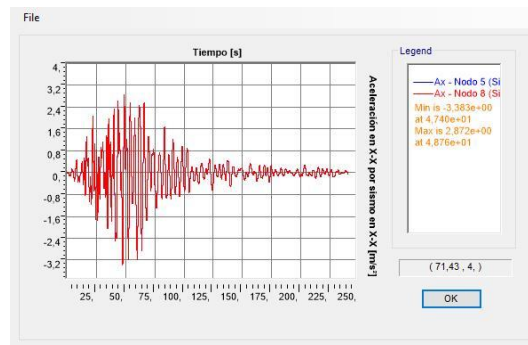
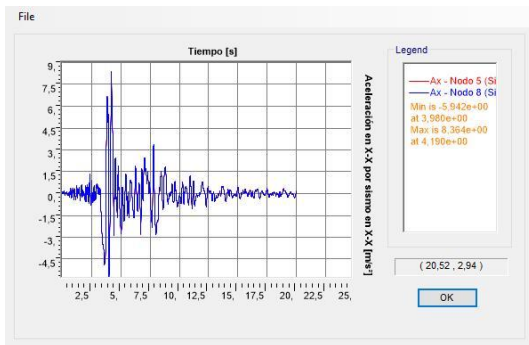


Figura 8.58: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X

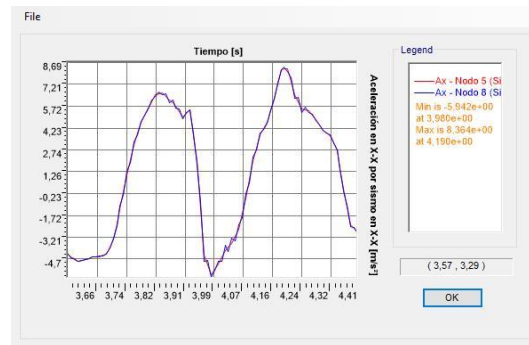


h. Sylmar, California, 1994 [Northbridge]

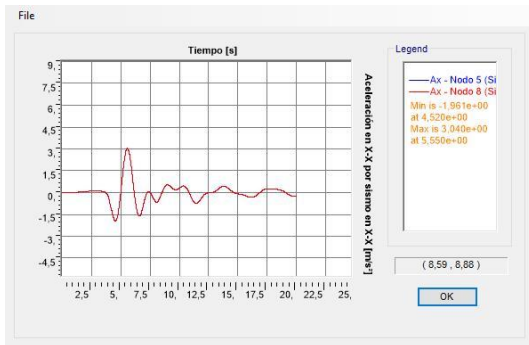
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



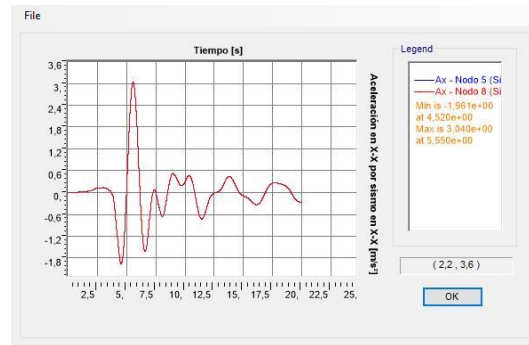
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



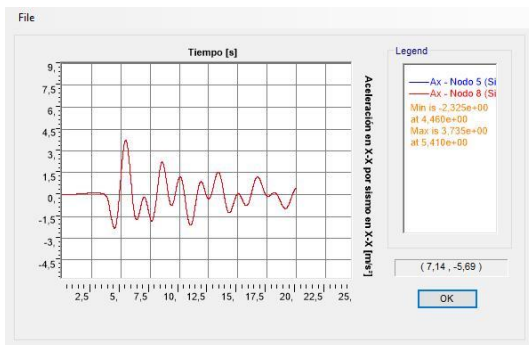
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

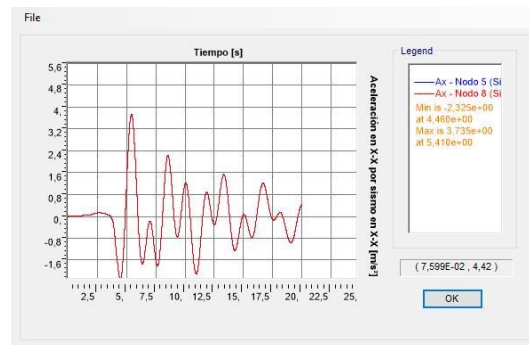


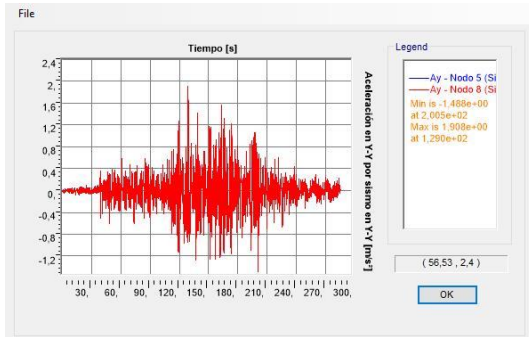
Figura 8.59: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Sylmar en X-X



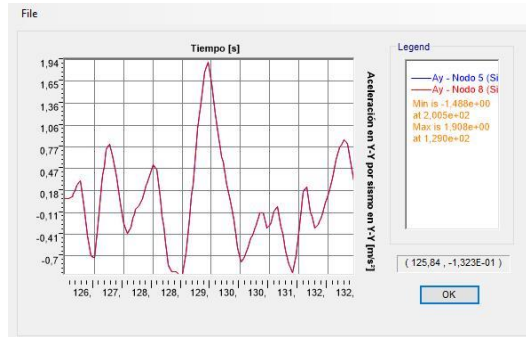
B. SISMOS EN DIRECCIÓN Y-Y → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN Y-Y

a. *Caucete, San Juan, 1977:*

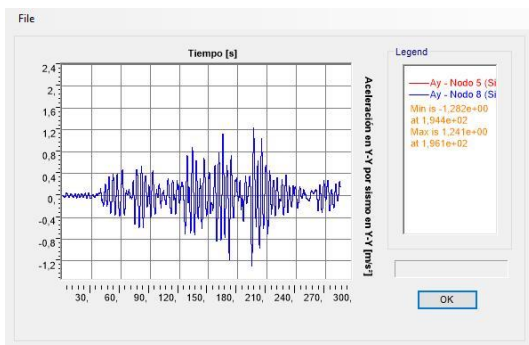
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



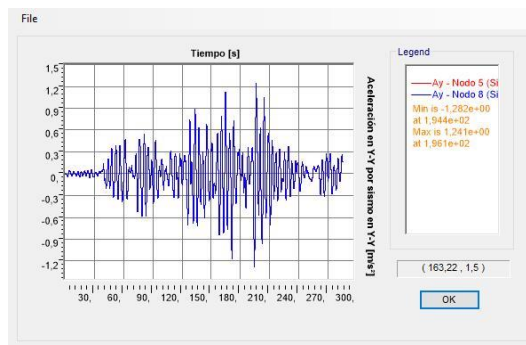
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



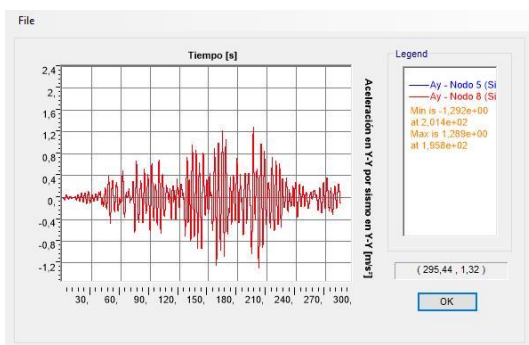
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

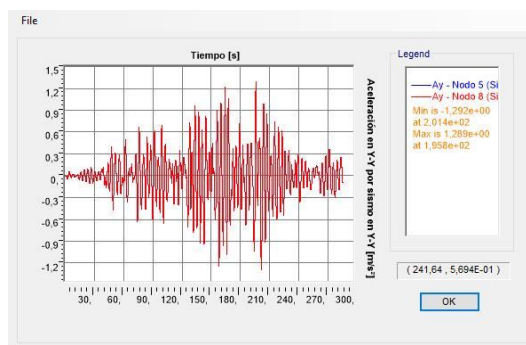
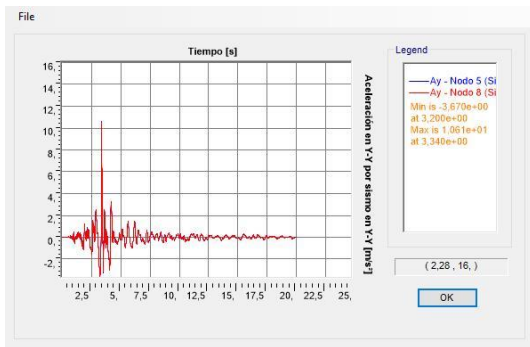


Figura 8.60: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Caucete en Y-Y

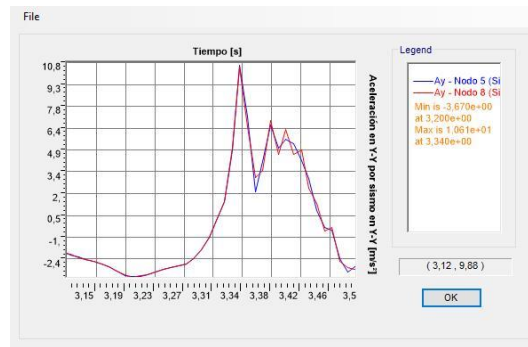


b. Coalinga, California, 1983:

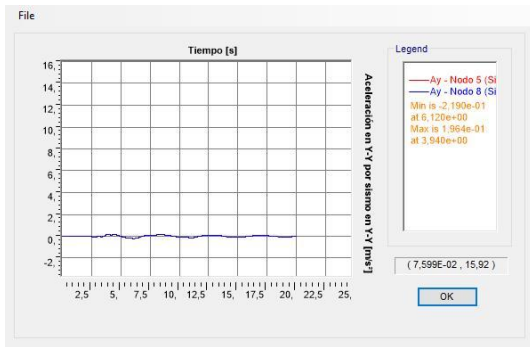
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



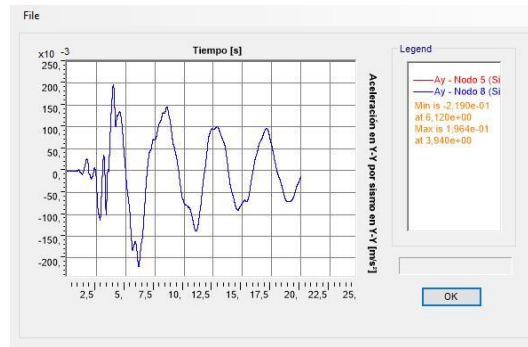
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



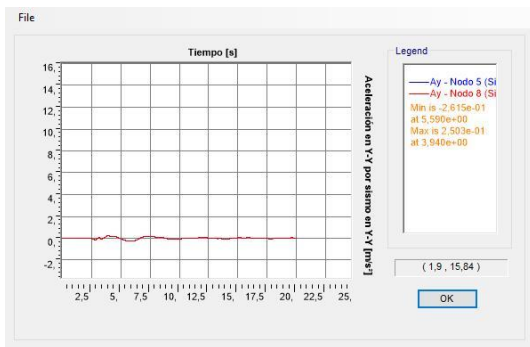
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

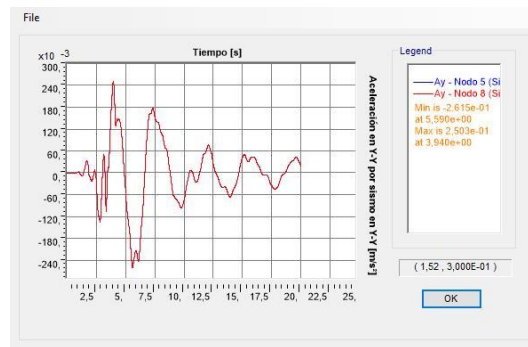
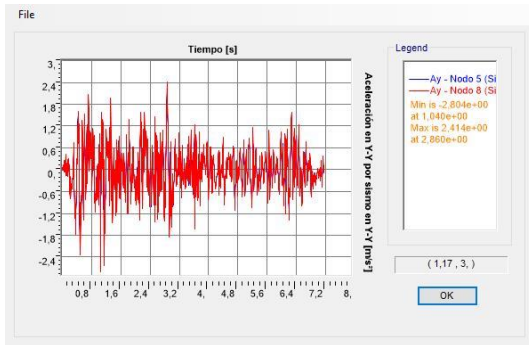


Figura 8.61: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y

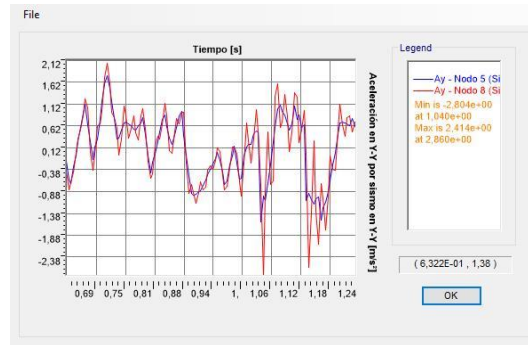


c. El Centro, California, 1940:

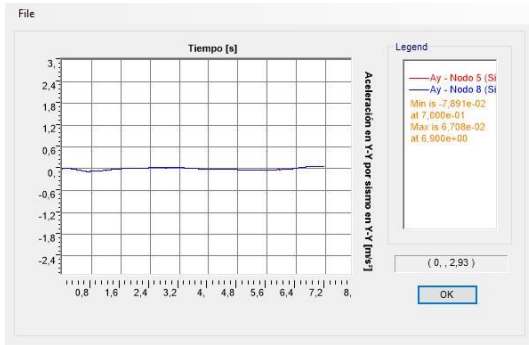
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



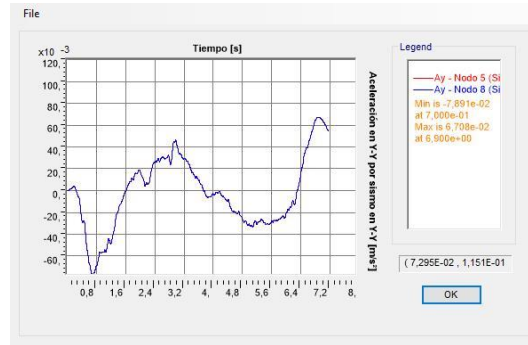
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



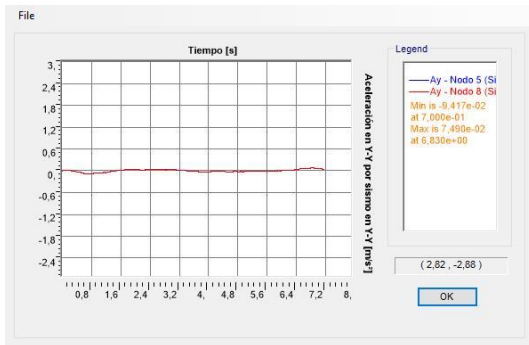
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

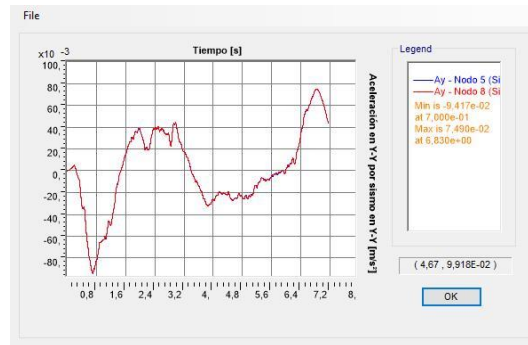
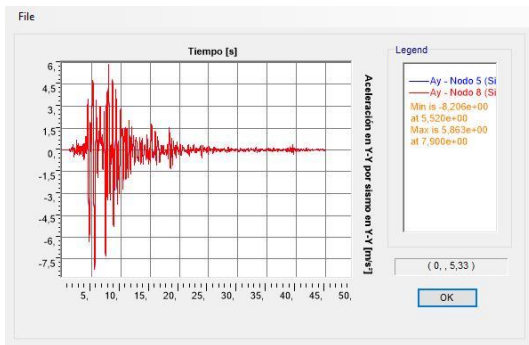


Figura 8.62: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y

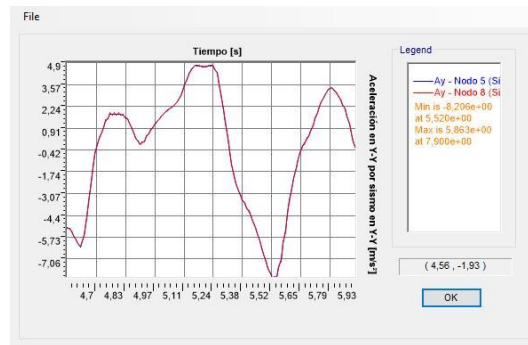


d. Kōbe, Osaka, 1995:

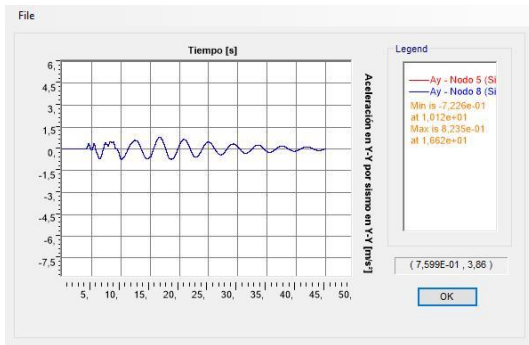
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



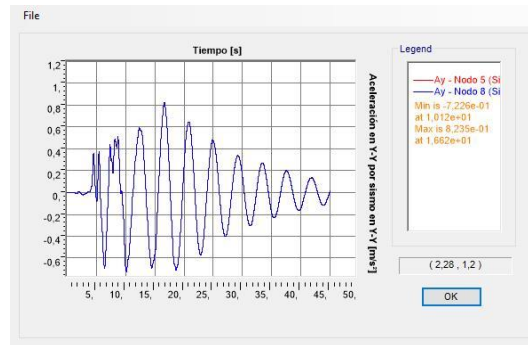
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



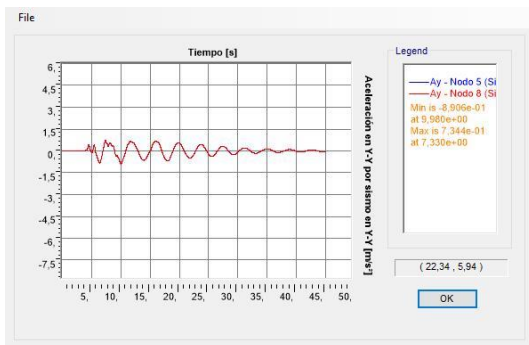
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

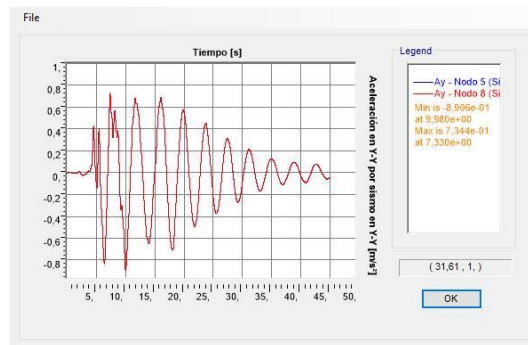
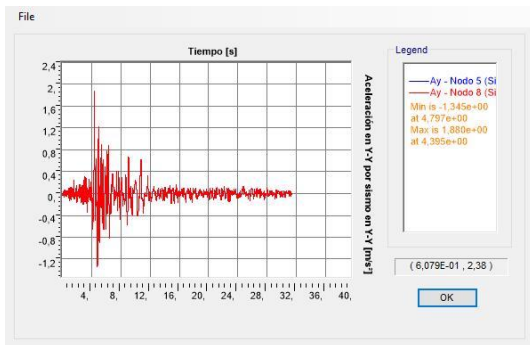


Figura 8.63: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Kōbe en Y-Y

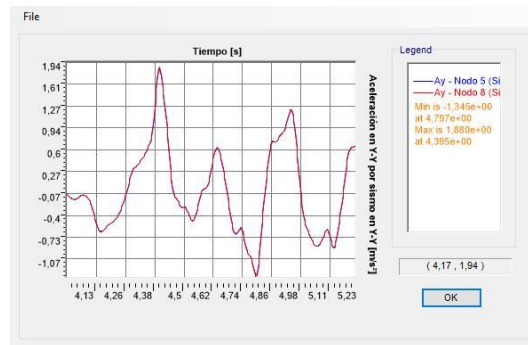


e. Las Heras, Mendoza, 1985:

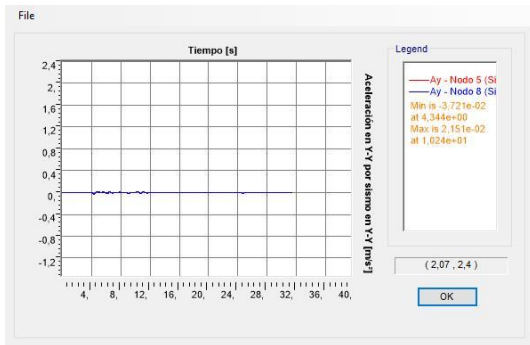
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



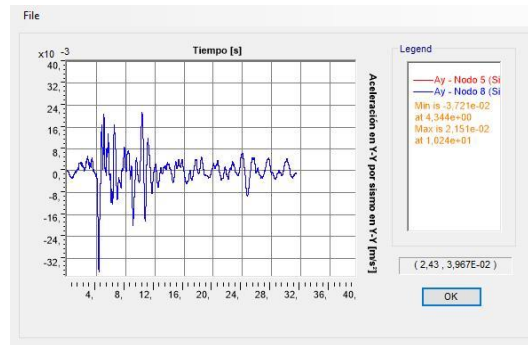
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



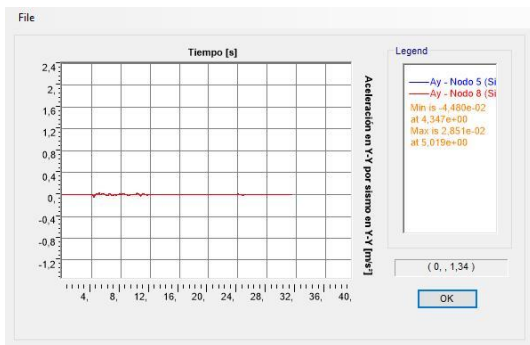
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

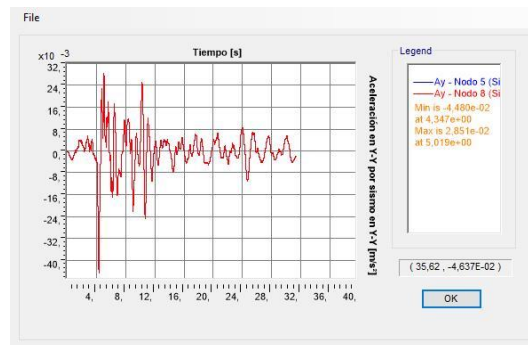
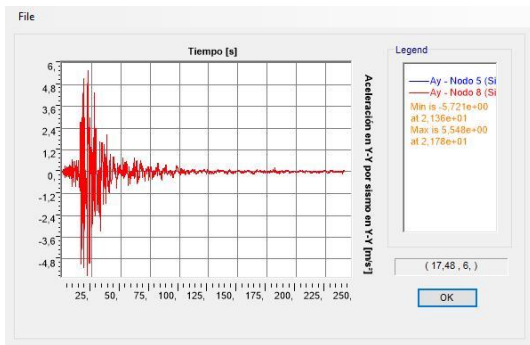


Figura 8.64: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y

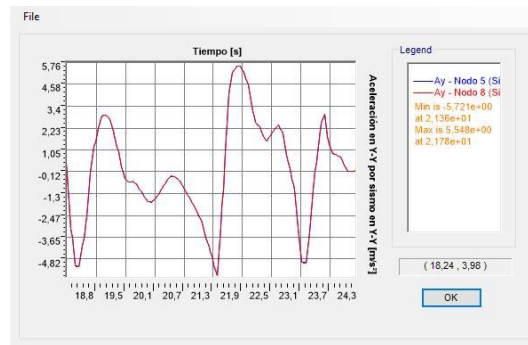


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

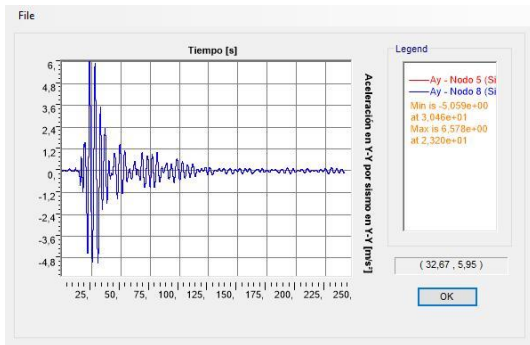
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



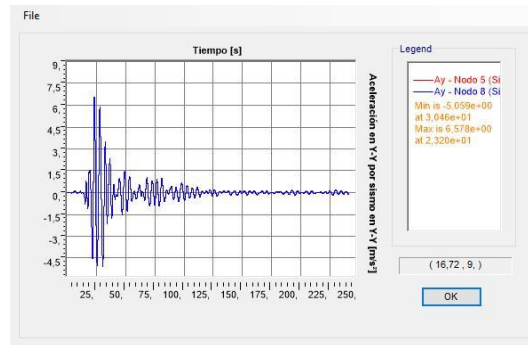
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



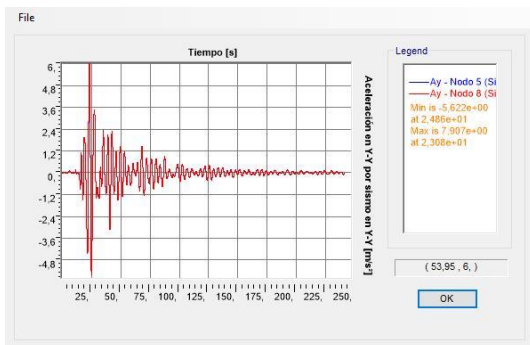
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

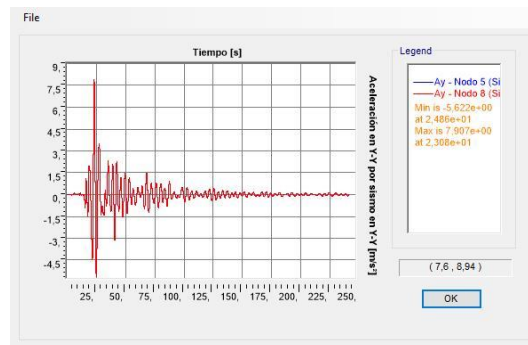
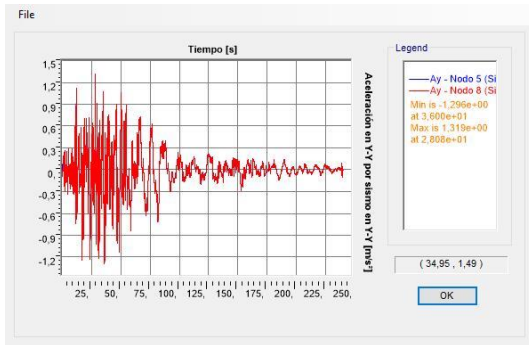


Figura 8.65: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y

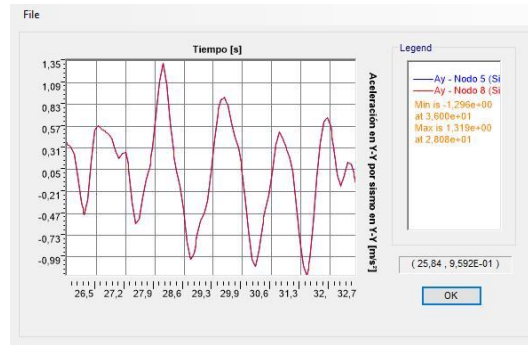


g. San Fernando, California, 1971

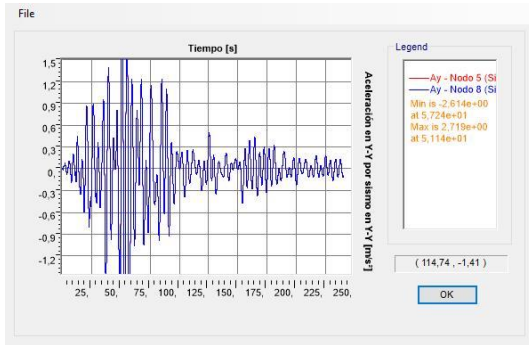
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



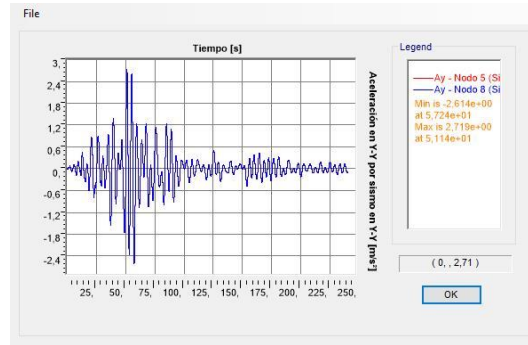
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



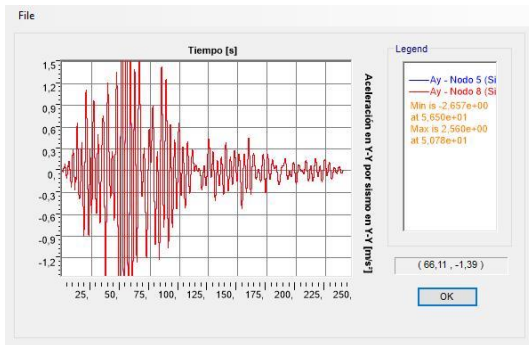
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

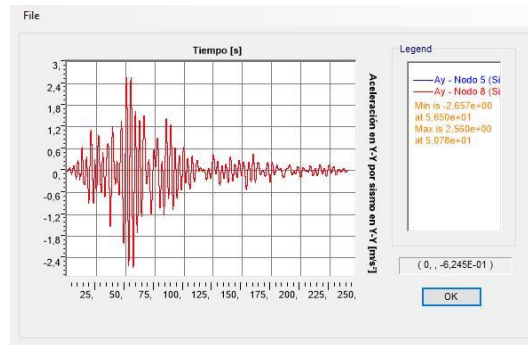
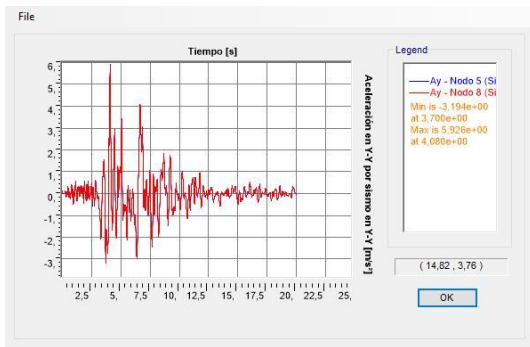


Figura 8.66: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y

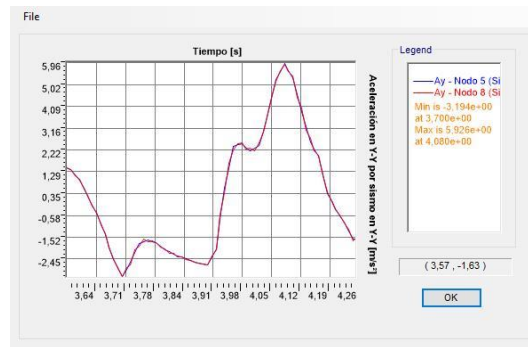


h. Sylmar, California, 1994 [Northbridge]

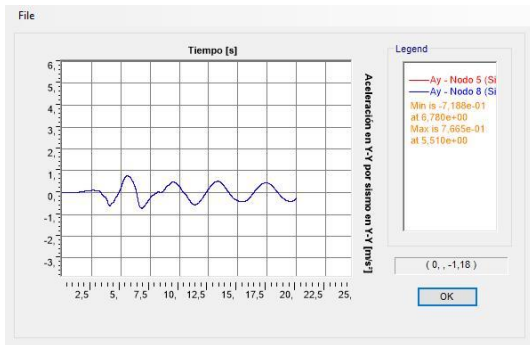
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



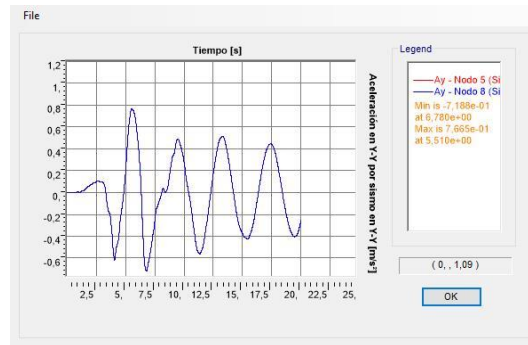
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Zoom)



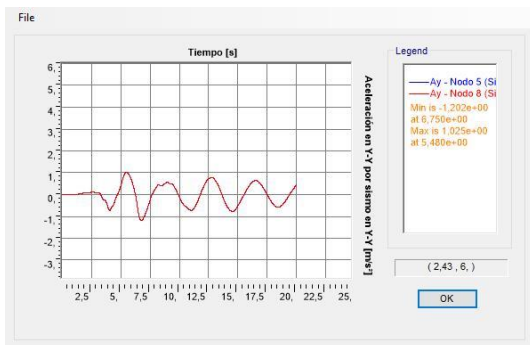
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

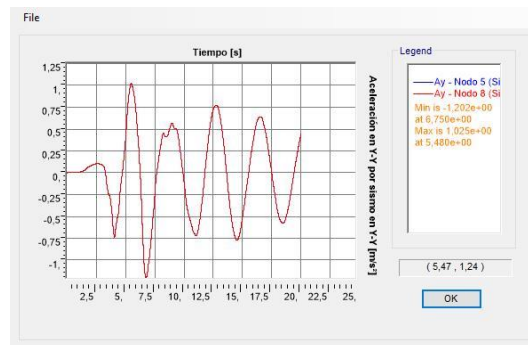


Figura 8.67: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y



8.2.9 **DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN AISLADOR CENTRAL (DEBAJO DE CICLOTRÓN) – TABLA**

COMPARACIÓN DE RESULTADOS							
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	DESPLAZAMIENTOS DE AISLADOR DEBAJO DE CICLOTRÓN (Link 73)			
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		BÚNKER AISLADO - L.R.B.		BÚNKER AISLADO - F.P.S.	
				D ₂₋₂ = D _{x-x} mm	D ₃ = D _{y-y} mm	D ₂₋₂ = D _{x-x} mm	D ₃ = D _{y-y} mm
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	17,14462	0,00050	21,10672	0,00058
			Min	-45,18036	-0,00039	-45,95153	-0,00046
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	14,58182	0,00012	14,72438	0,00016
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00004	14,71401	0,00005	14,68404
			Min	-0,00004	-8,63689	-0,00005	-8,79329
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00013	18,80501	0,00017	23,51914
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	843,73583	0,02790	832,24632	0,02664
			Min	-732,75008	-0,02760	-732,26301	-0,02751
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	314,94376	0,01220	324,74574	0,01032
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01681	566,70404	0,01781	465,29731
			Min	-0,01657	-547,88422	-0,01744	-463,70573
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,02729	791,87117	0,02856	619,09712
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	262,04249	0,00777	282,01528	0,00980
			Min	-285,34098	-0,00655	-362,16820	-0,00920
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	314,94376	0,01220	324,74574	0,01032
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01276	317,18604	0,01107	317,09781
			Min	-0,01296	-362,68105	-0,01117	-253,00361
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00622	257,06841	0,00891	335,13562
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	96,83027	0,00313	101,60875	0,00300
			Min	-95,19128	-0,00332	-89,55224	-0,00291
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	93,80431	0,00203	91,34701	0,00168
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00219	94,35893	0,00164	91,62451
			Min	-0,00214	-82,62620	-0,00171	-86,58685
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00323	99,43729	0,00314	103,64949
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	63,58279	0,00034	48,86557	0,00036
			Min	-17,22242	-0,00038	-19,10359	-0,00045
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	32,69971	0,00030	32,11532	0,00031
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00029	32,49738	0,00032	31,88177
			Min	-0,00039	-29,12726	-0,00035	-26,38706
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00031	20,31657	0,00035	21,86429
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	508,10169	0,00888	503,23489	0,01262
			Min	-446,34720	-0,00935	-501,38268	-0,01214
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	263,56111	0,00703	373,94854	0,00975
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,00694	313,30161	0,01040	428,97980
			Min	-0,00658	-336,00498	-0,01070	-365,52214
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,00761	503,79119	0,01200	556,64132
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	5575,50748	0,15284	4498,41595	0,10477
			Min	-5835,40780	-0,15244	-4477,49190	-0,10345
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	3097,26930	0,07670	1984,86440	0,05005
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,08529	2241,85592	0,06178	2024,02843
			Min	-0,08569	-2901,58924	-0,05752	-2839,46106
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,16475	5134,68708	0,10759	4007,52134
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	1584,24522	0,03927	1014,54402	0,03025
			Min	-1203,96135	-0,03998	-943,04268	-0,02904
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1093,60917	0,03037	1135,33746	0,03743
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,03320	1157,76962	0,03814	957,18530
			Min	-0,03303	-1202,68118	-0,03917	-922,35958
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,04129	1190,66055	0,03090	1004,13387
			Min	-0,04191	-1117,87592	-0,03160	-849,25338

Tabla 8.7: Desplazamientos relativos en aisladores para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones



8.2.10 CORTES BASALES – TABLA

COMPARACIÓN DE RESULTADOS - CORTES BASALES									
SITIO (AÑO)	SISMO EN ANÁLISIS DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		MAGNITUD	EN BASE			EN BASE		
				$V_{1-1} = V_{x-x}$			$V_{2-2} = V_{y-y}$		
				B.N.A. kN	B.A. - L.R.B. kN	B.A. - F.P.S. kN	B.N.A. kN	B.A. - L.R.B. kN	B.A. - F.P.S. kN
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	21.020,00	464,80	588,20	-	-	-
			Min	-19.280,00	-190,10	-266,30	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	9.619,00	98,98	119,10
			Min	-	-	-	-6.887,00	-160,20	-199,80
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	10.100,00	7.880,00	11.090,00	-	-	-
			Min	-9.689,00	-8.945,00	-9.547,00	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	9.937,00	6.577,00	6.838,00
			Min	-	-	-	-7.748,00	-6.800,00	-6.867,00
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	32.380,00	3.031,00	4.649,00	-	-	-
			Min	-25.020,00	-2.945,00	-3.894,00	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	30.310,00	4.350,00	3.631,00
			Min	-	-	-	-42.780,00	-3.792,00	-4.662,00
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	21.610,00	1.072,00	1.236,00	-	-	-
			Min	-40.160,00	-1.053,00	-1.365,00	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	55.140,00	962,20	1.249,00
			Min	-	-	-	-19.020,00	-1.112,00	-1.336,00
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	17.800,00	188,30	247,40	-	-	-
			Min	-13.740,00	-693,70	-670,70	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	11.120,00	349,00	387,50
			Min	-	-	-	-9.577,00	-390,40	-466,10
Sylmar, California (1994) [Northbridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	43.220,00	4.090,00	5.881,00	-	-	-
			Min	-30.270,00	-5.495,00	-7.176,00	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	30.870,00	4.040,00	5.366,00
			Min	-	-	-	-16.640,00	-3.722,00	-6.298,00
Newhall, California (1994) [Northbridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	30.220,00	62.210,00	58.650,00	-	-	-
			Min	-28.310,00	-59.810,00	-60.190,00	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	28.910,00	34.810,00	41.840,00
			Min	-	-	-	-29.810,00	-26.950,00	-29.870,00
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	13.070,00	12.890,00	12.730,00	-	-	-
			Min	-9.128,00	-17.080,00	-13.530,00	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	6.868,00	14.440,00	13.620,00
			Min	-	-	-	-6.749,00	-13.920,00	-14.130,00

Tabla 8.8: Cortes basales para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones

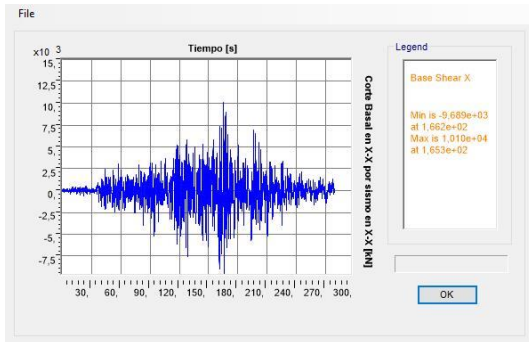


8.2.11 CORTES BASALES [kN] - GRÁFICOS

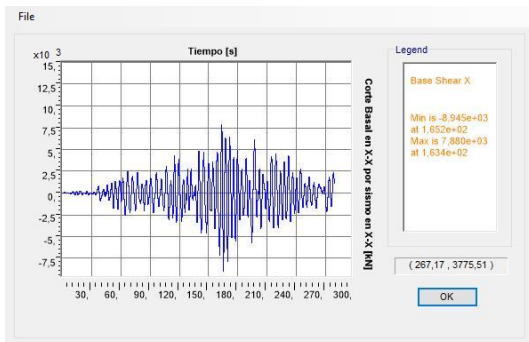
A. SISMOS EN DIRECCIÓN X-X → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN X-X

a. *Caucete, San Juan, 1977:*

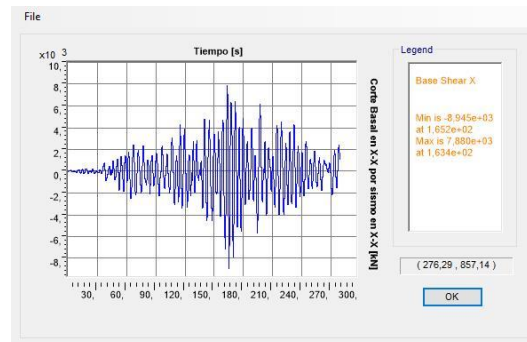
BÚNKER SIN AISLAMIENTO (Ordenadas a escala patrón)



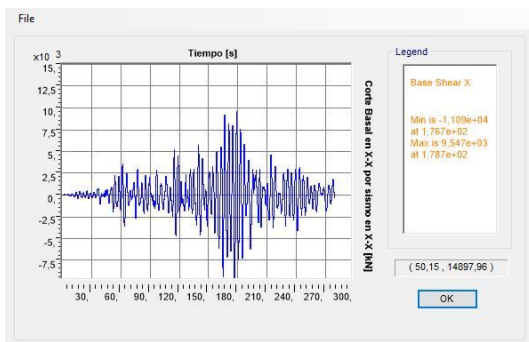
BÚNKER AISLADO CON L.R.B. (Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B. (Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S. (Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S. (Ordenadas s/ escala propia)

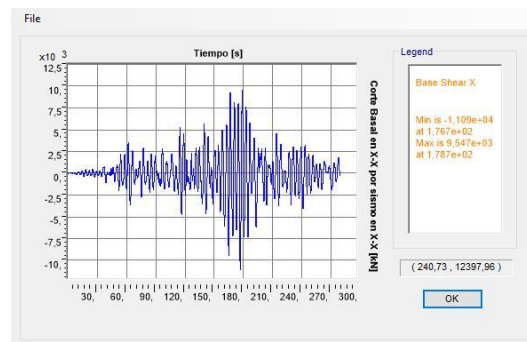
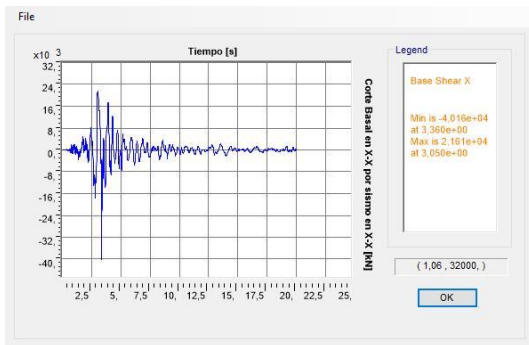


Figura 8.68: Cortes basales en X-X para sismo de Caucete en X-X

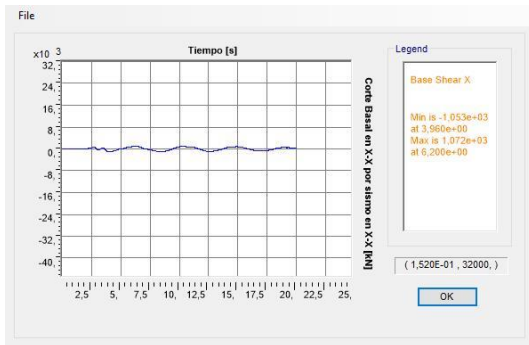


b. Coalinga, California, 1983:

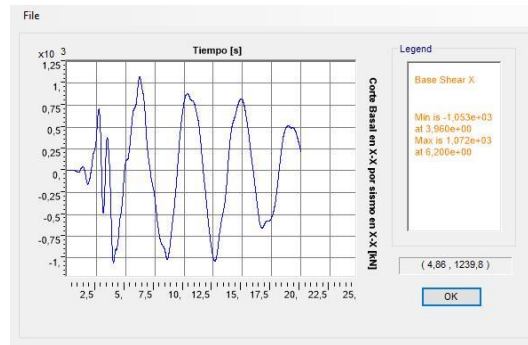
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



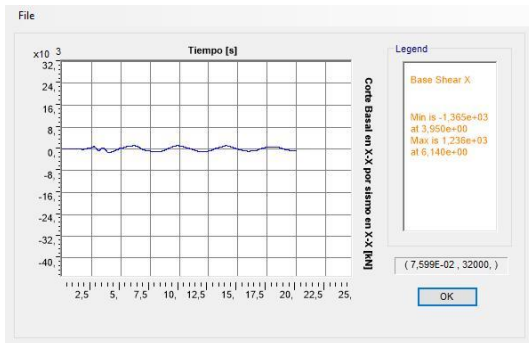
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

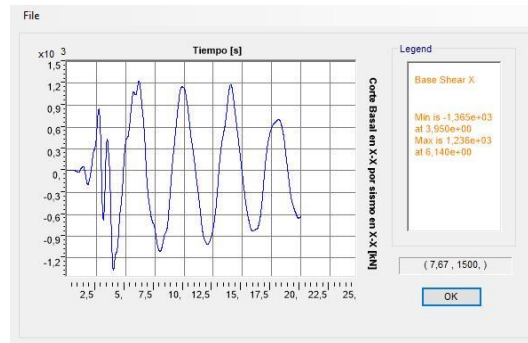
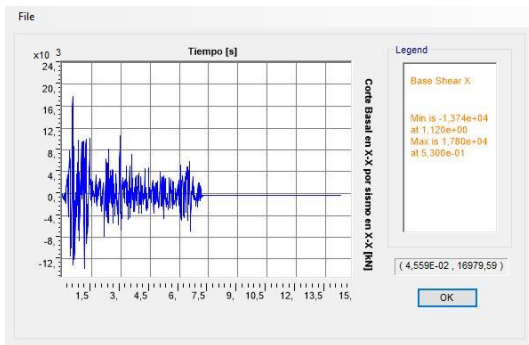


Figura 8.69: Cortes basales en X-X para sismo de Coalinga en X-X

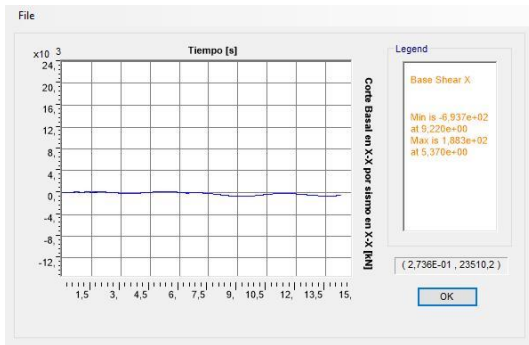


c. El Centro, California, 1940:

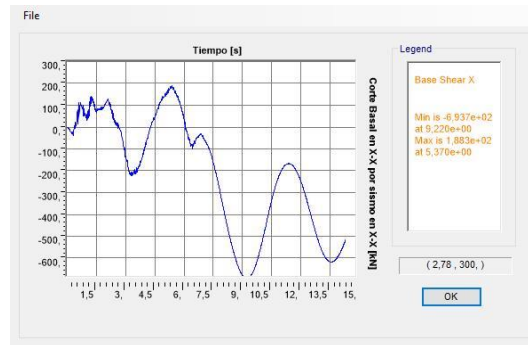
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



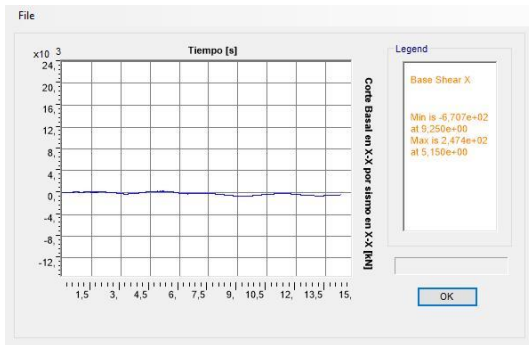
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

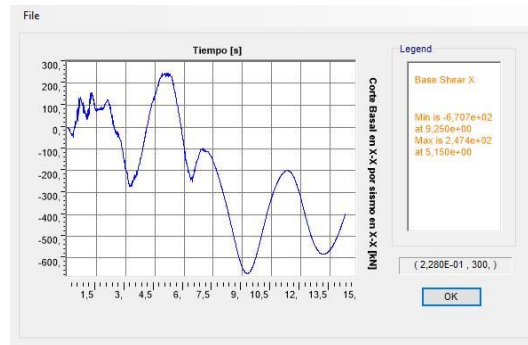
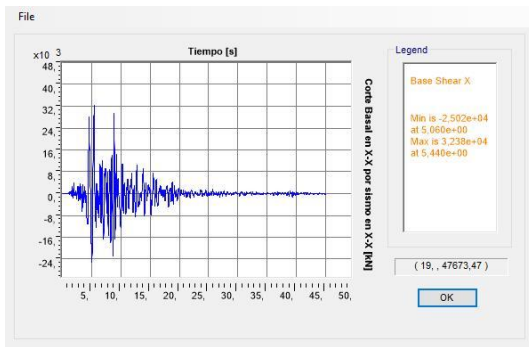


Figura 8.70: Cortes basales en X-X para sismo de El Centro en X-X

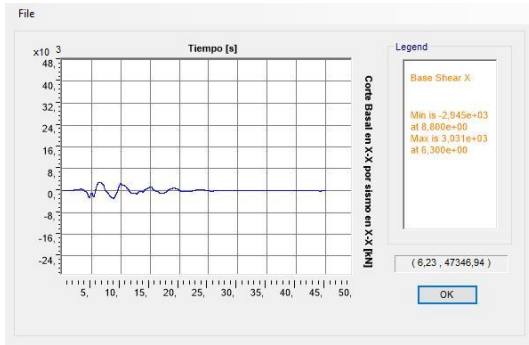


d. Kōbe, Osaka, 1995:

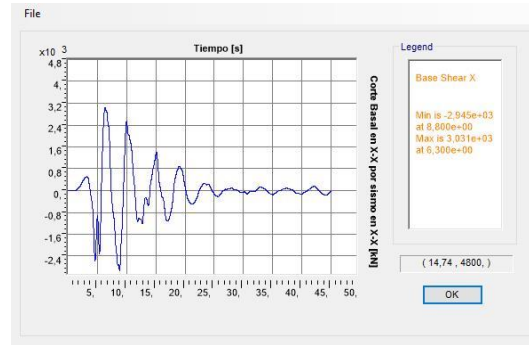
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



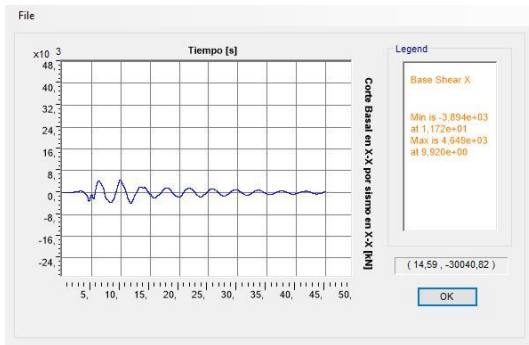
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

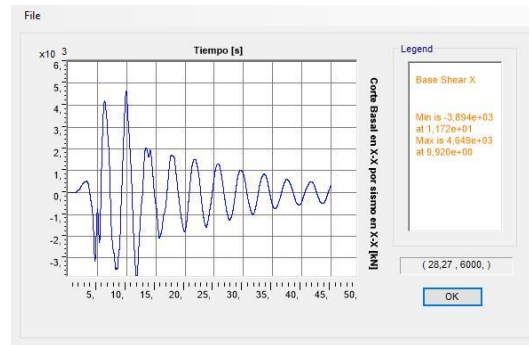
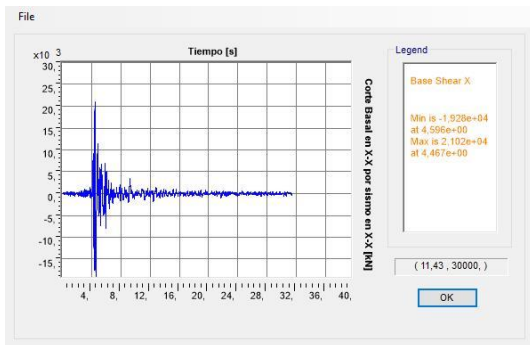


Figura 8.71: Cortes basales en X-X para sismo de Kōbe en X-X

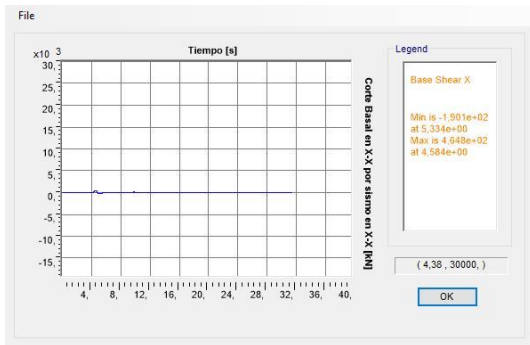


e. Las Heras, Mendoza, 1985:

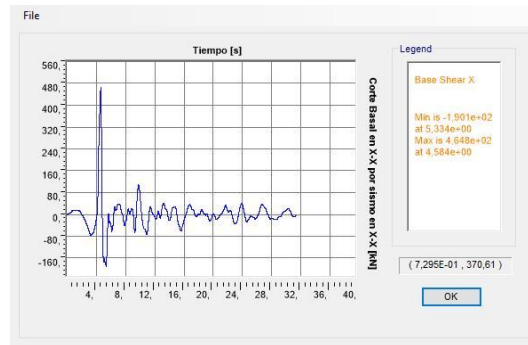
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



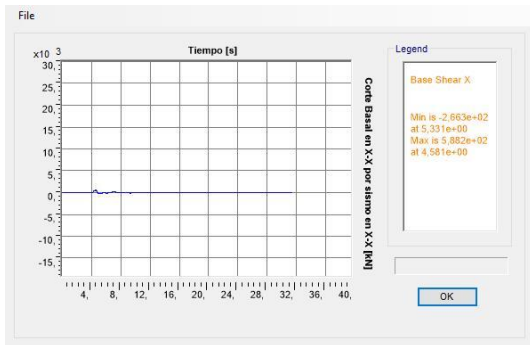
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

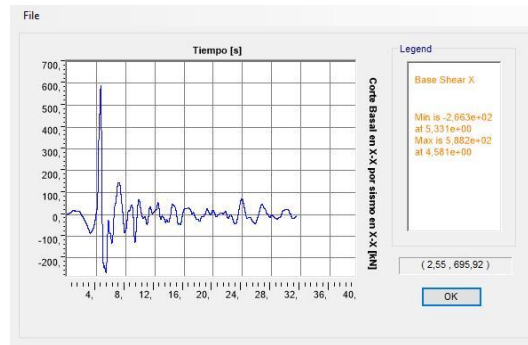
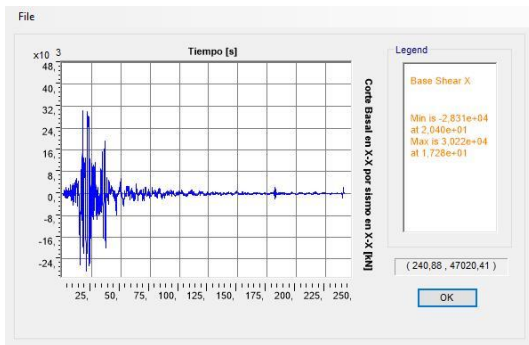


Figura 8.72: Cortes basales en X-X para sismo de Las Heras en X-X

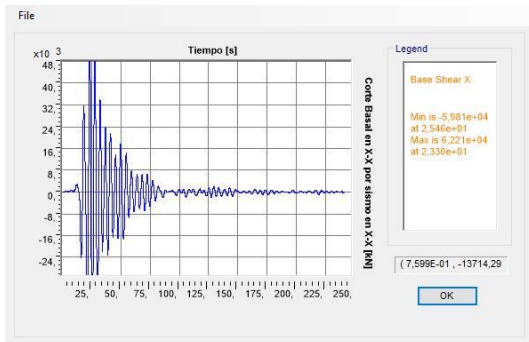


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

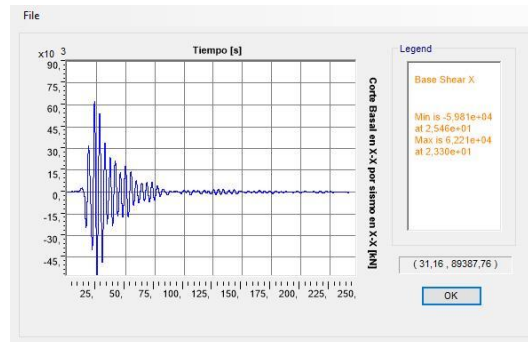
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



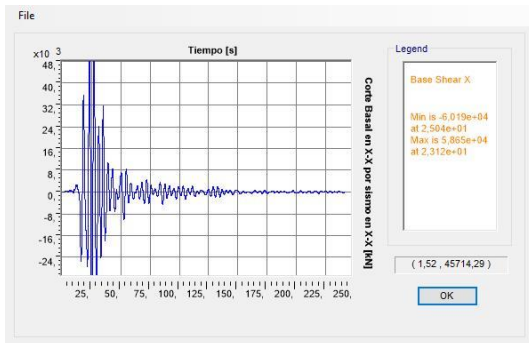
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

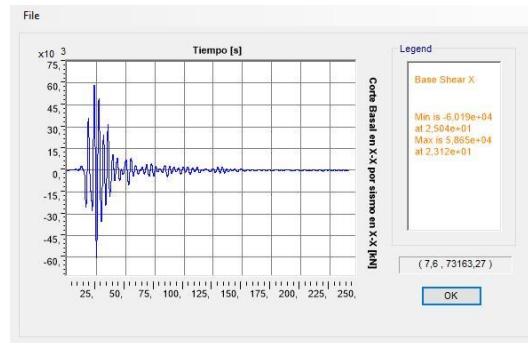
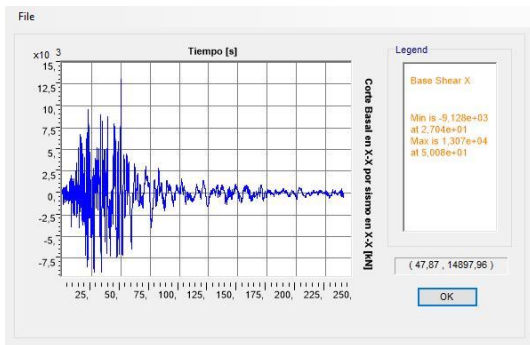


Figura 8.73: Cortes basales en X-X para sismo de Newhall en X-X

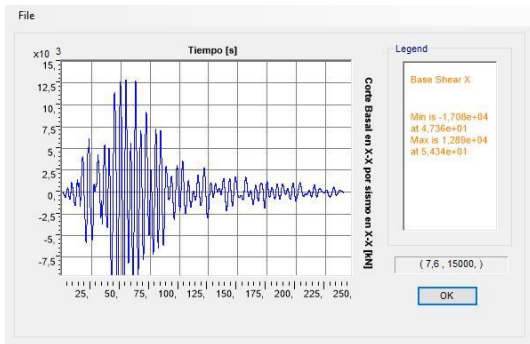


g. San Fernando, California, 1971

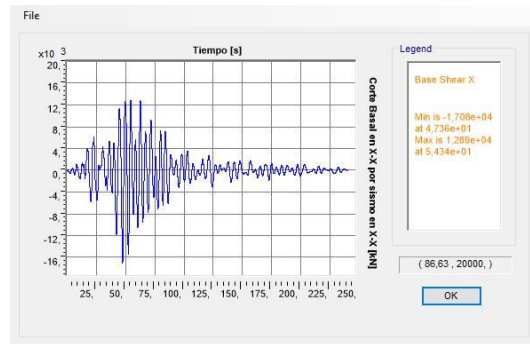
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



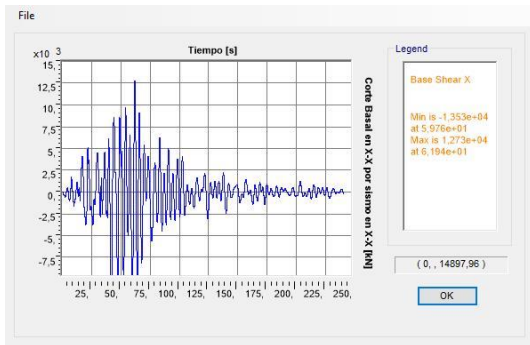
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

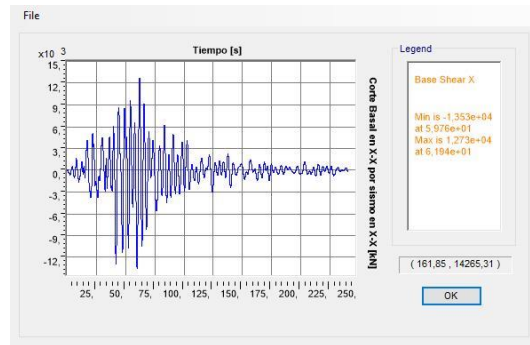
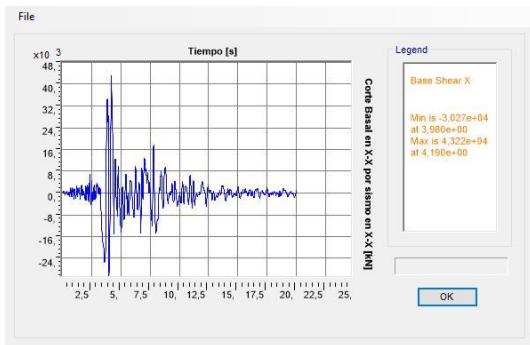


Figura 8.74: Cortes basales en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X

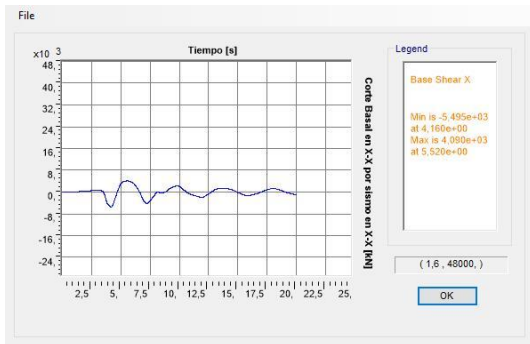


h. Sylmar, California, 1994 [Northbridge]

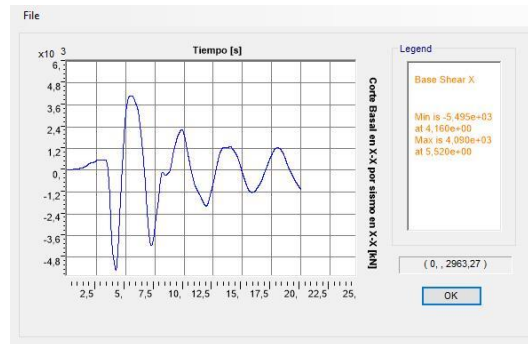
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



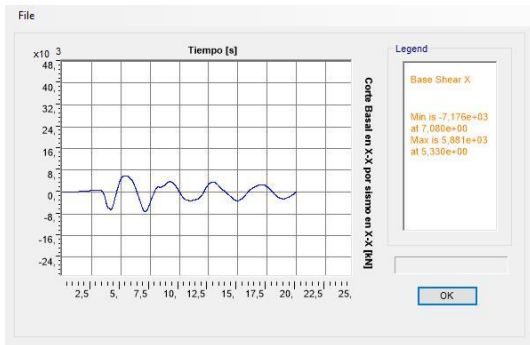
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

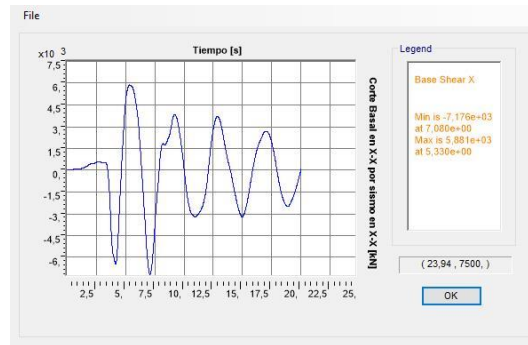


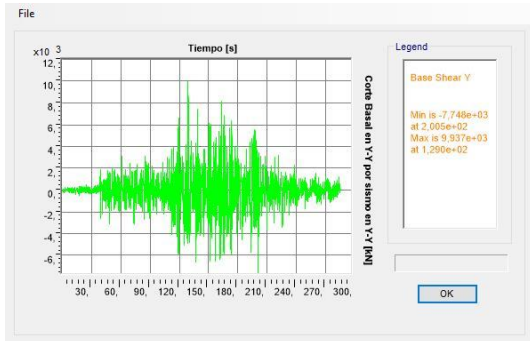
Figura 8.75: Cortes basales en X-X para sismo de Sylmar en X-X



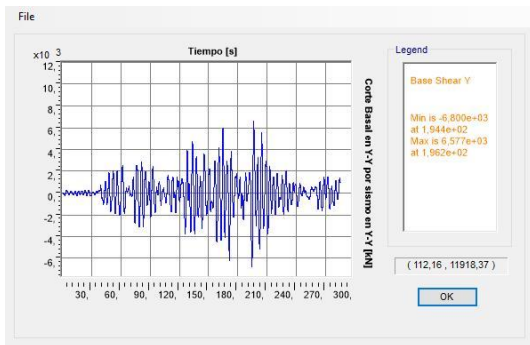
B. SISMOS EN DIRECCIÓN Y-Y → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN Y-Y

a. *Caucete, San Juan, 1977:*

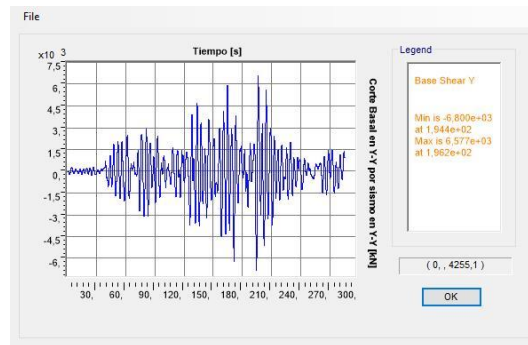
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



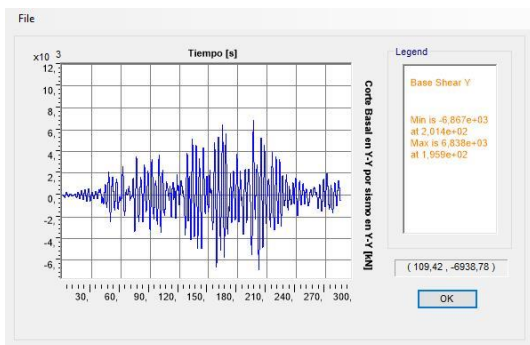
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

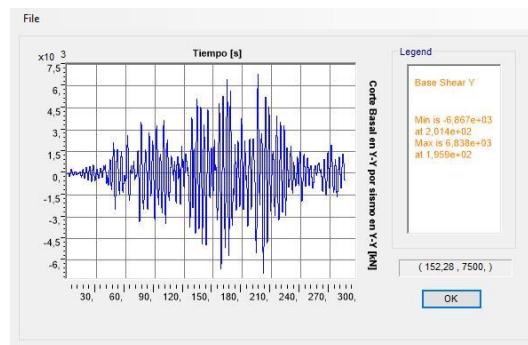
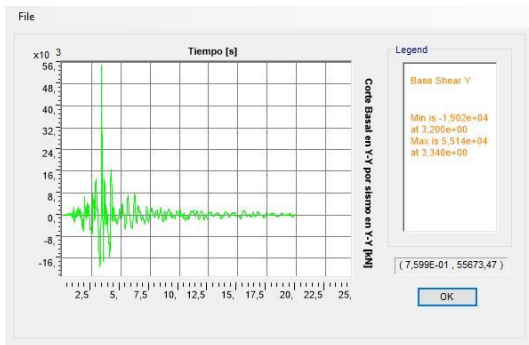


Figura 8.76: Cortes basales en Y-Y para sismo de Caucete en Y-Y

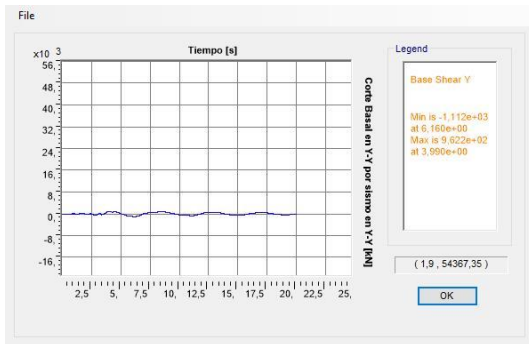


b. Coalinga, California, 1983:

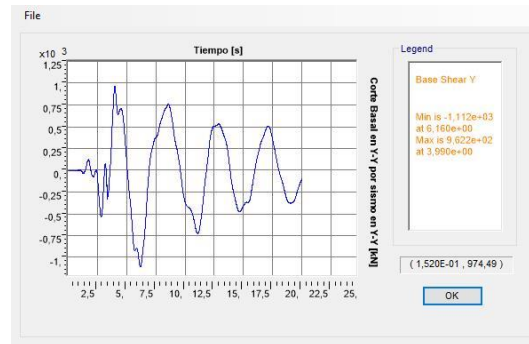
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



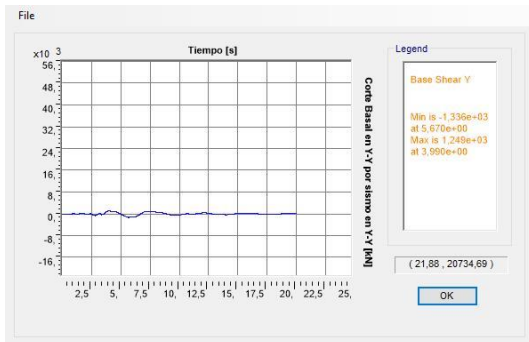
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

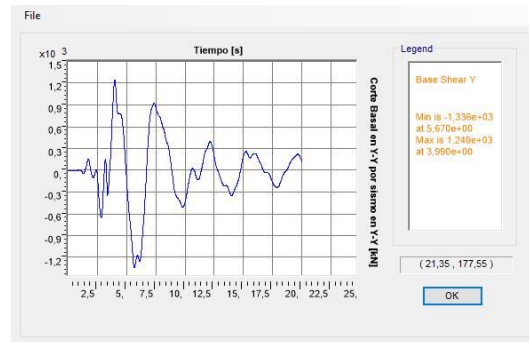
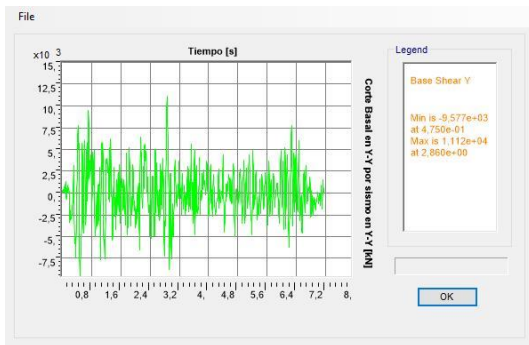


Figura 8.77: Cortes basales en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y

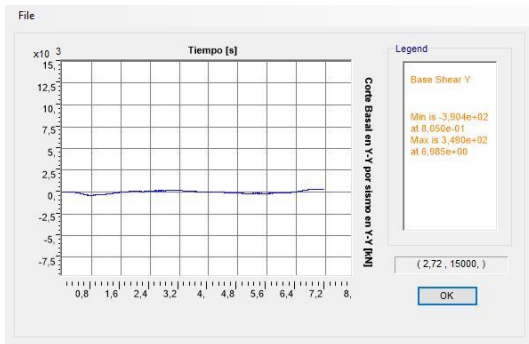


c. El Centro, California, 1940:

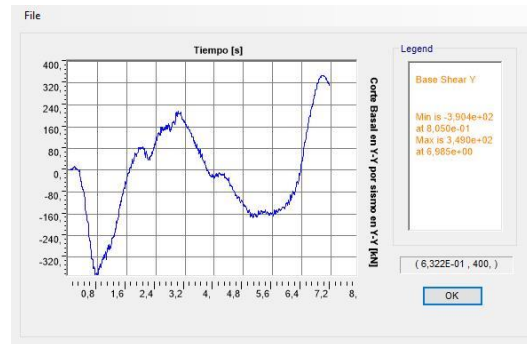
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



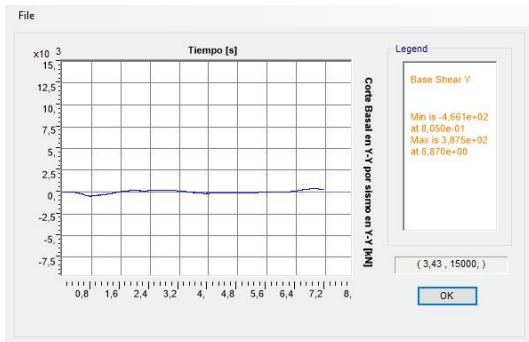
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

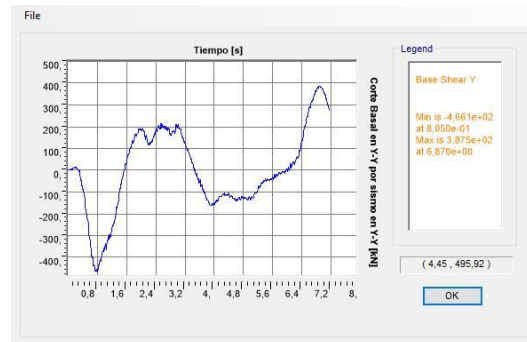
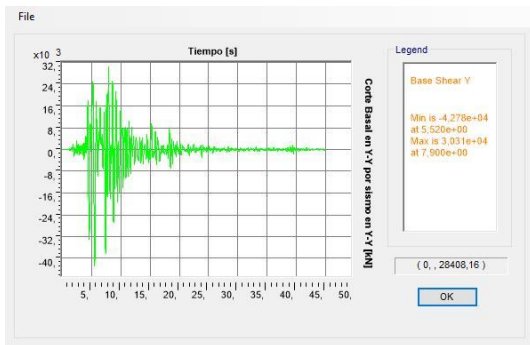


Figura 8.78: Cortes basales en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y

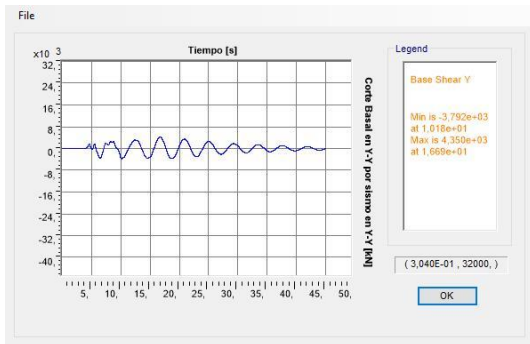


d. Kōbe, Osaka, 1995:

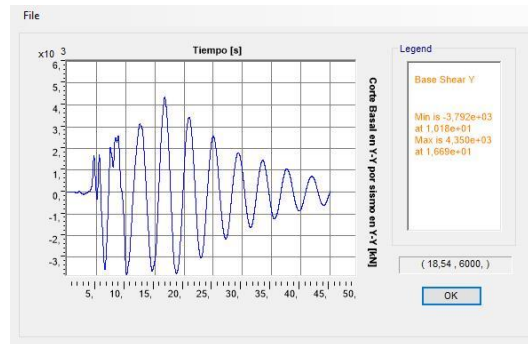
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



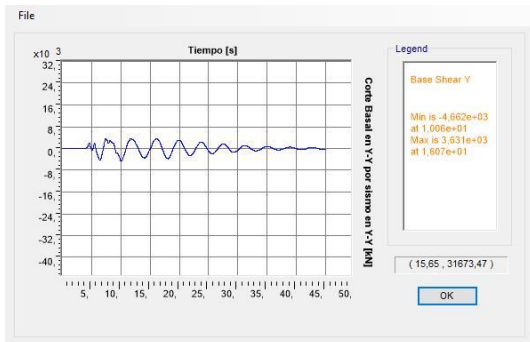
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

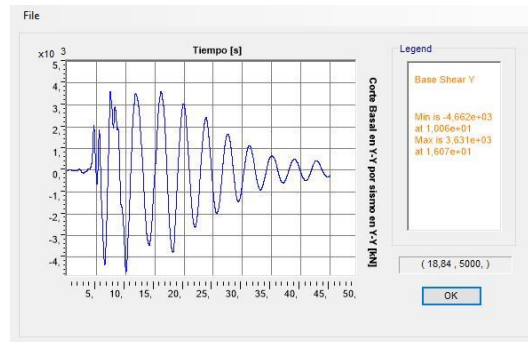
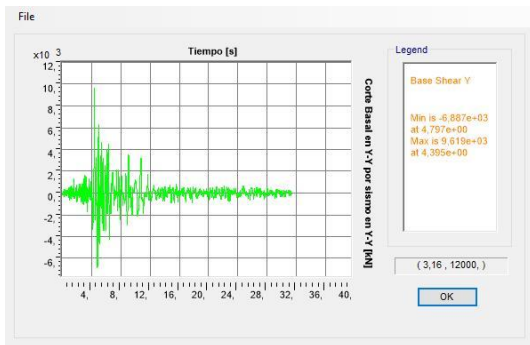


Figura 8.78: Cortes basales en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y

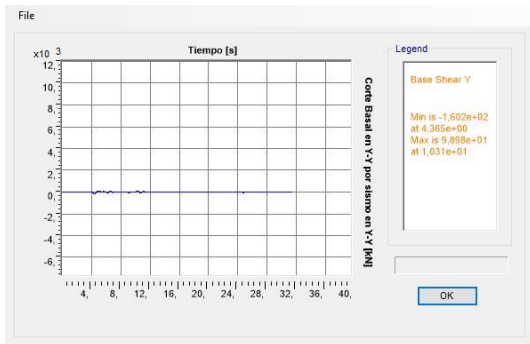


e. Las Heras, Mendoza, 1985:

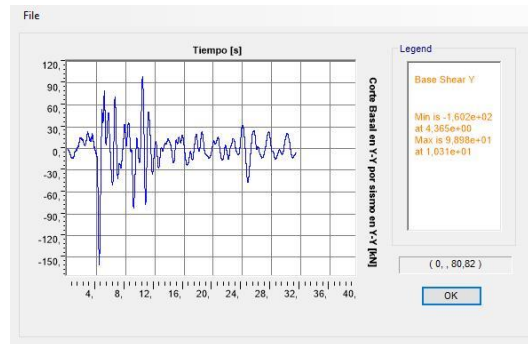
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



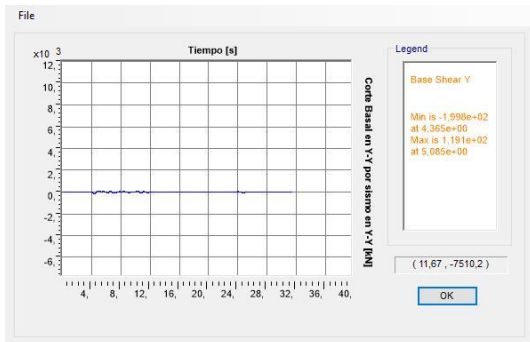
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

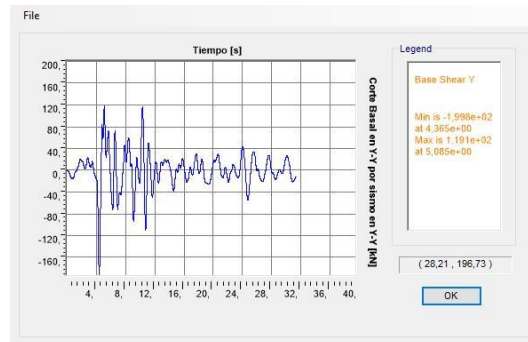
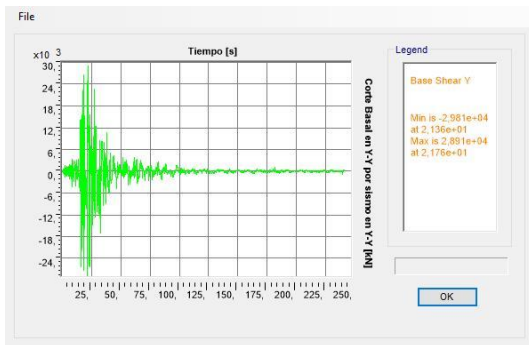


Figura 8.79: Cortes basales en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y

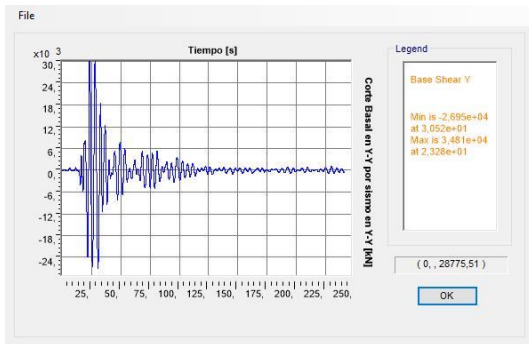


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

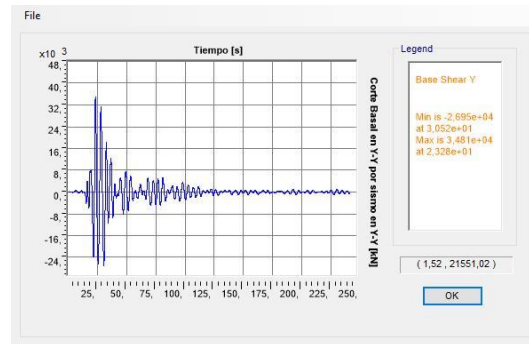
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



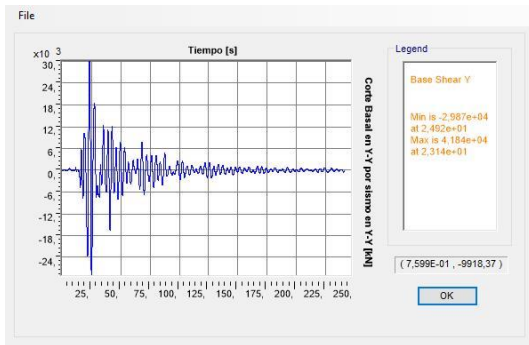
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

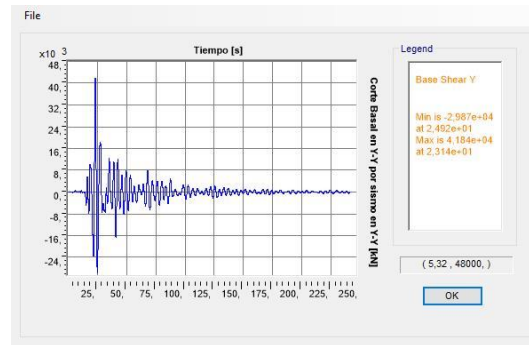
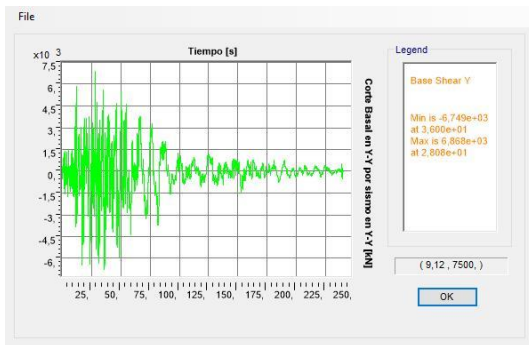


Figura 8.80: Cortes basales en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y

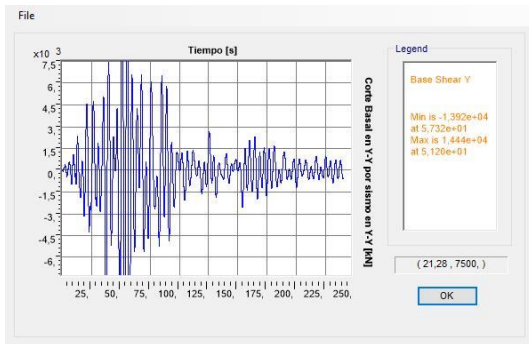


g. San Fernando, California, 1971

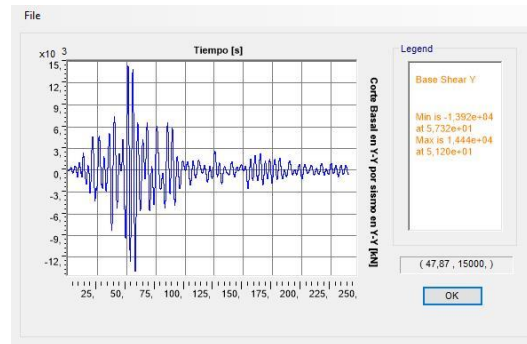
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



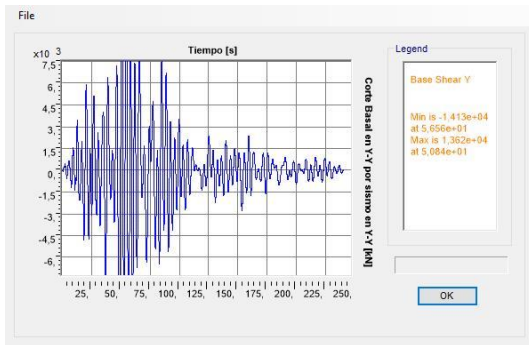
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

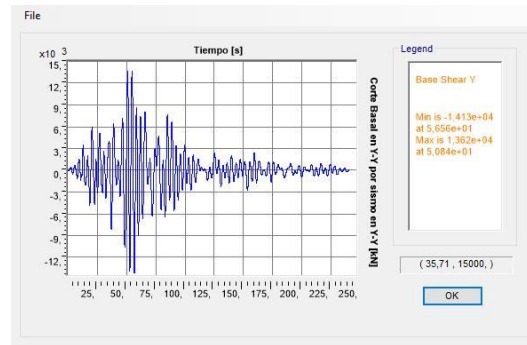
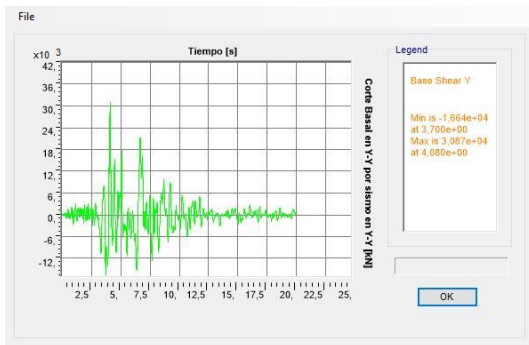


Figura 8.81: Cortes basales en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y

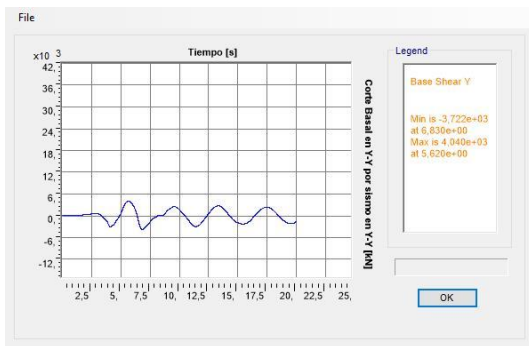


h. Sylmar, California, 1994 [Northbridge]

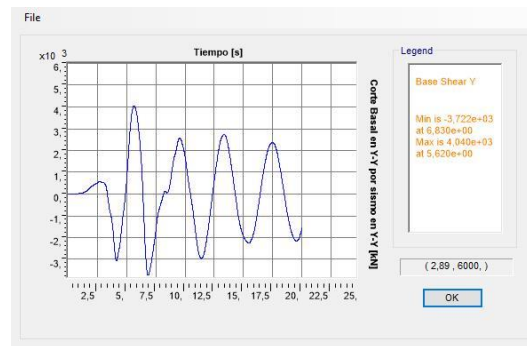
BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas a escala patrón)



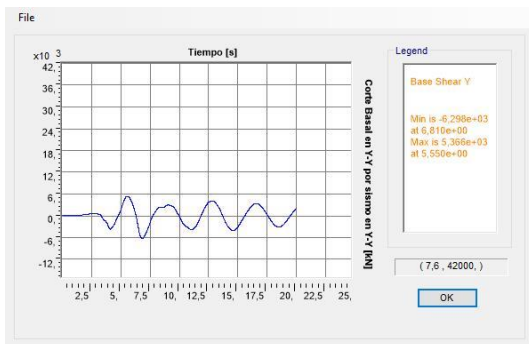
BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala patrón)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

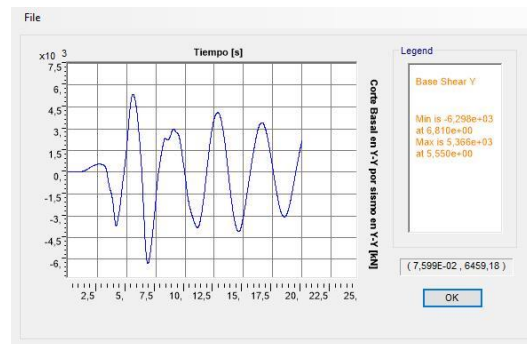


Figura 8.82: Cortes basales en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y

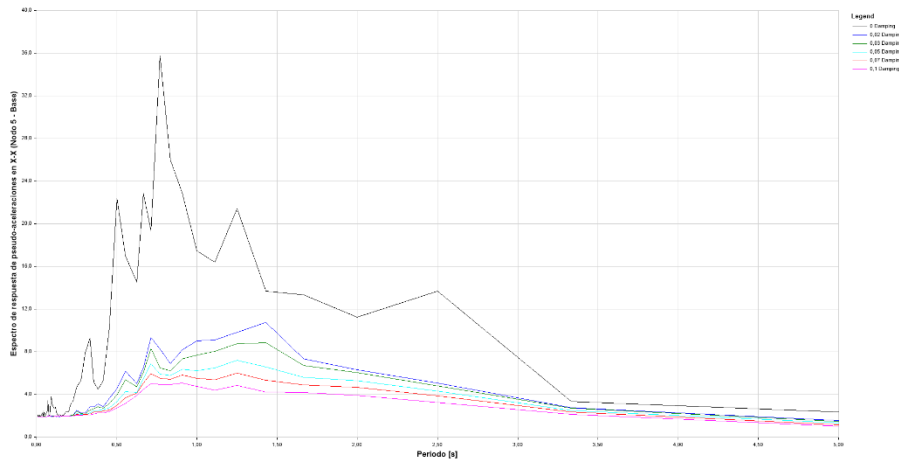


8.2.12 ESPECTROS DE RESPUESTA DE PSEUDO-ACELERACIONES - GRÁFICOS

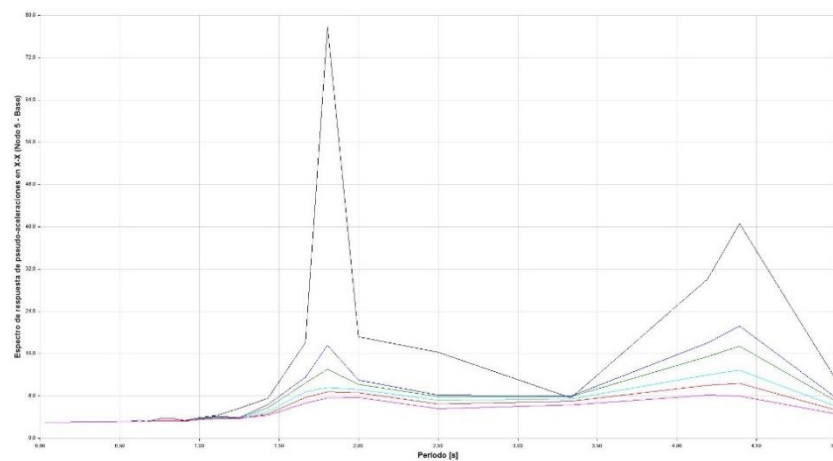
A. SISMOS EN DIRECCIÓN X-X → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN X-X

a. *Caucete, San Juan, 1977:*

BÚNKER SIN AISLAMIENTO (Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B. (Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S. (Ordenadas s/ escala propia)

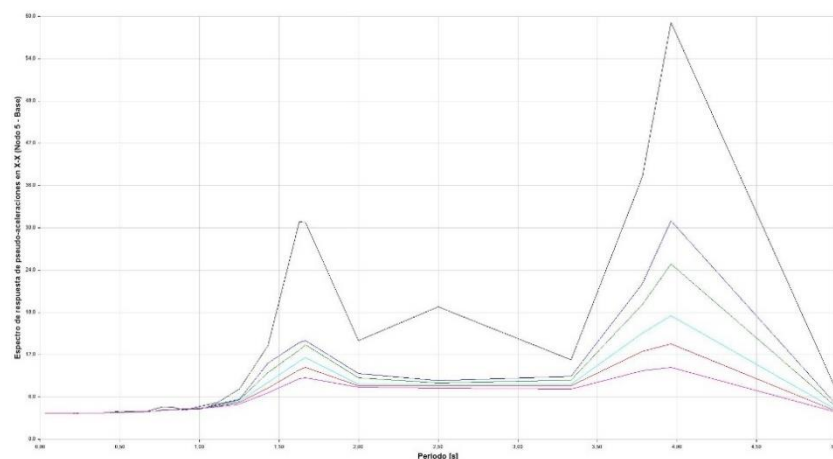
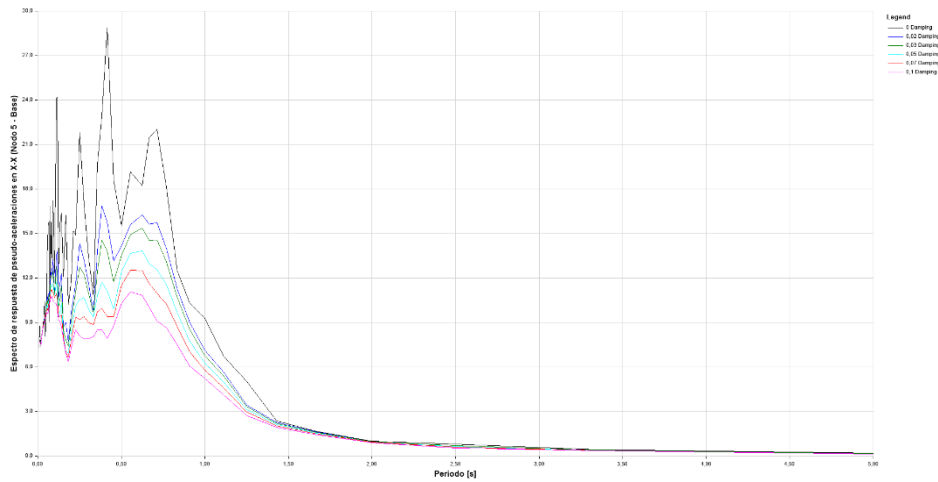


Figura 8.83: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Caucete en X-X

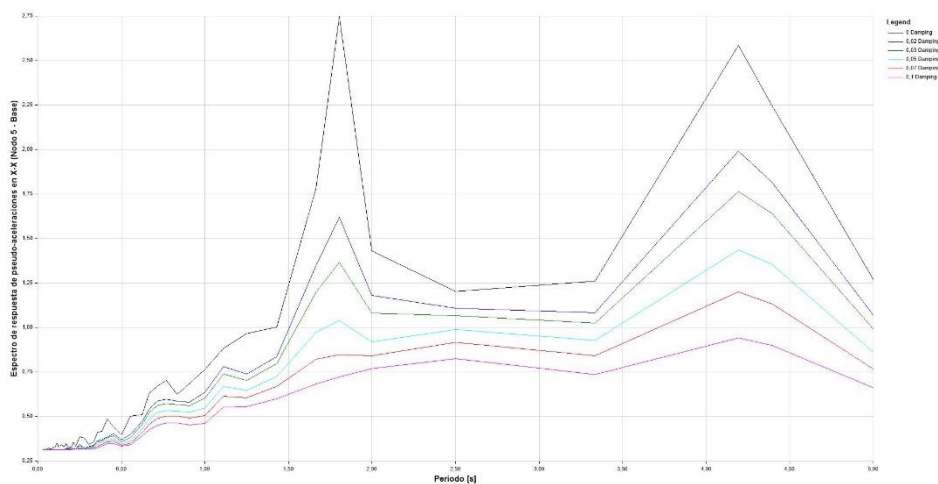


b. Coalinga, California, 1983:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

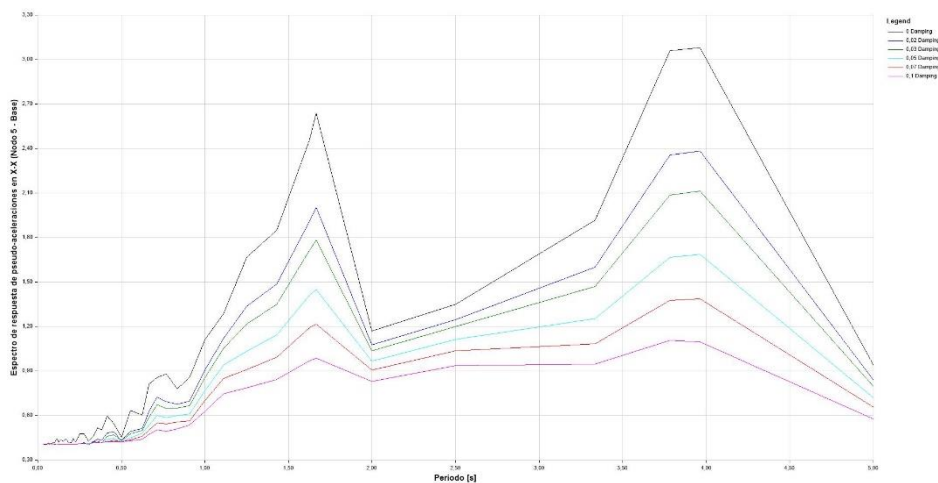
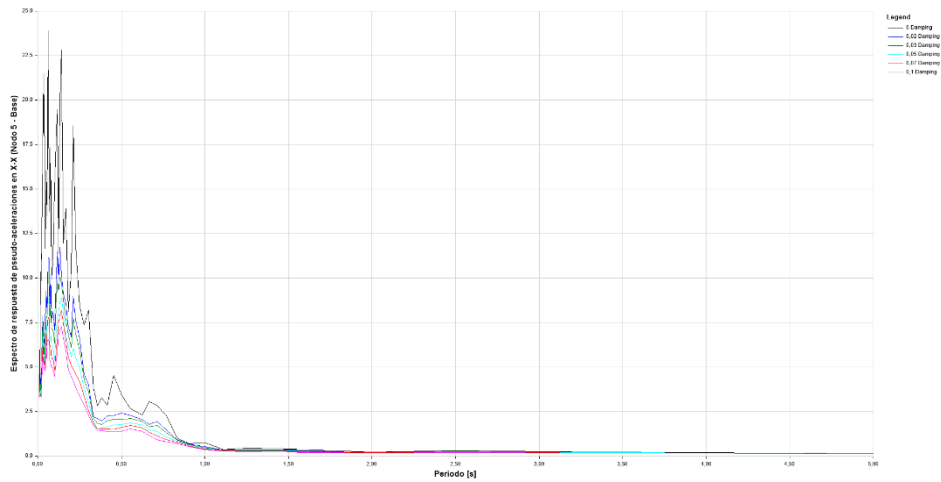


Figura 8.84: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Coalinga en X-X

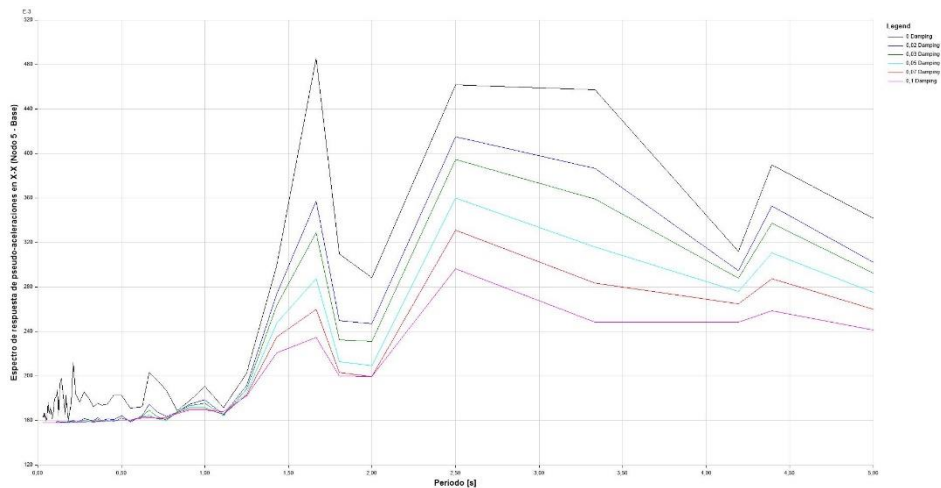


c. El Centro, California, 1940:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

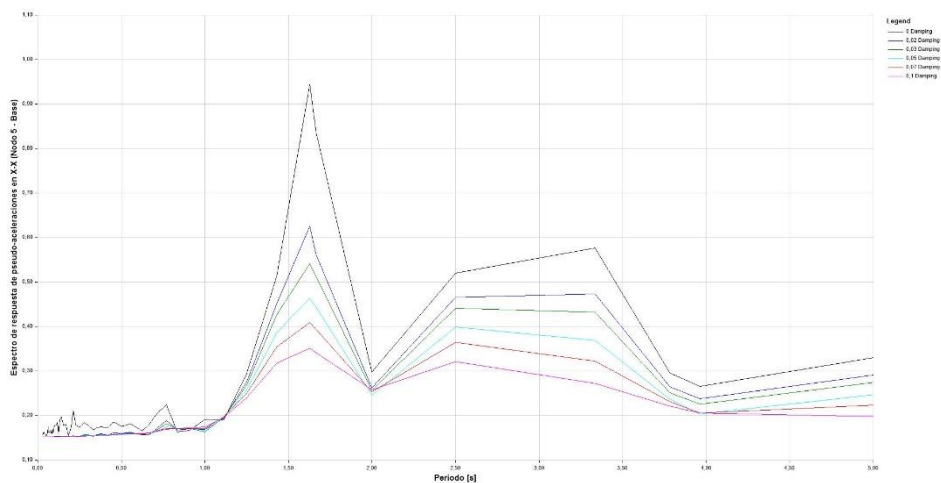
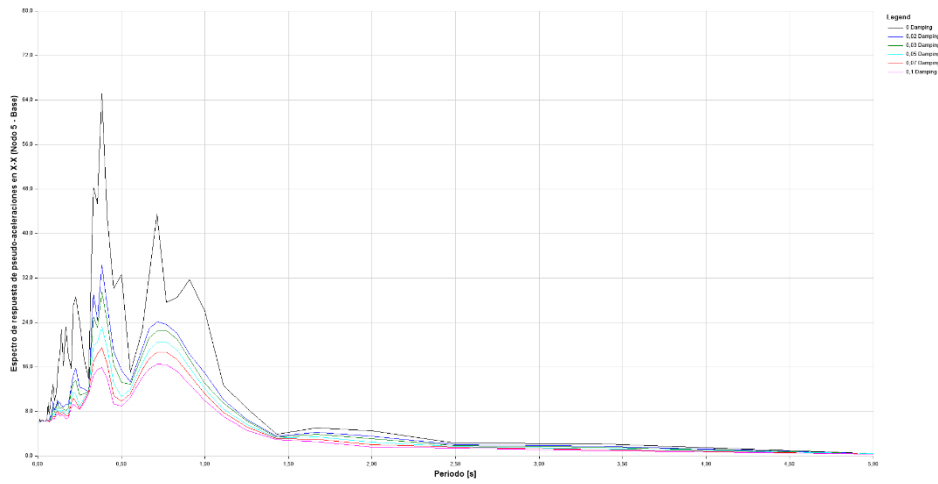


Figura 8.85: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de El Centro en X-X

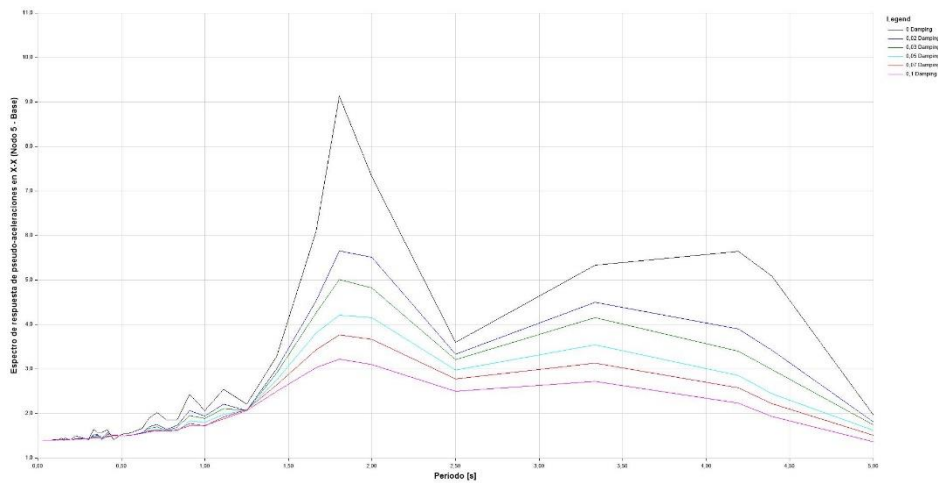


d. Kōbe, Osaka, 1995:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

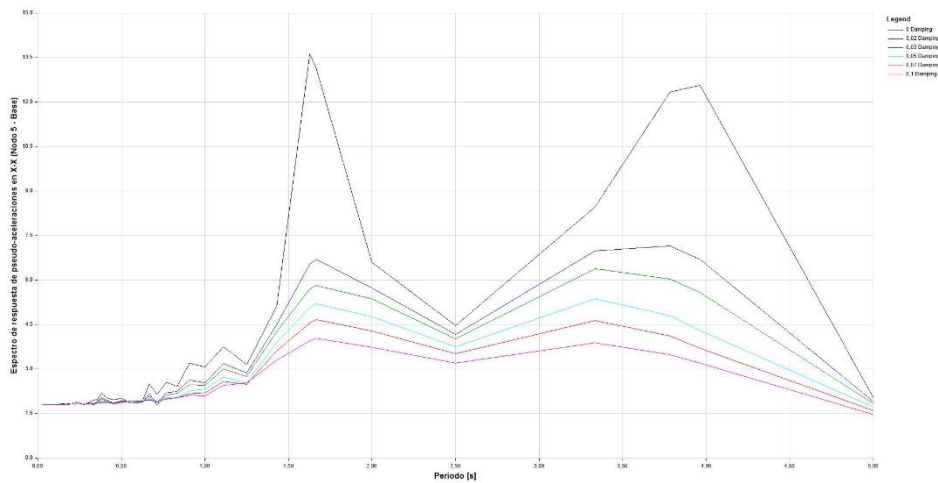
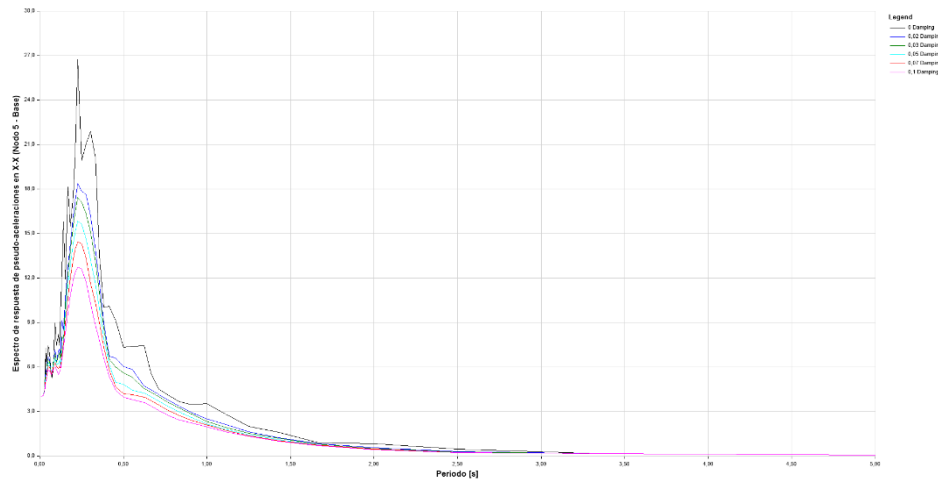


Figura 8.86: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Kōbe en X-X

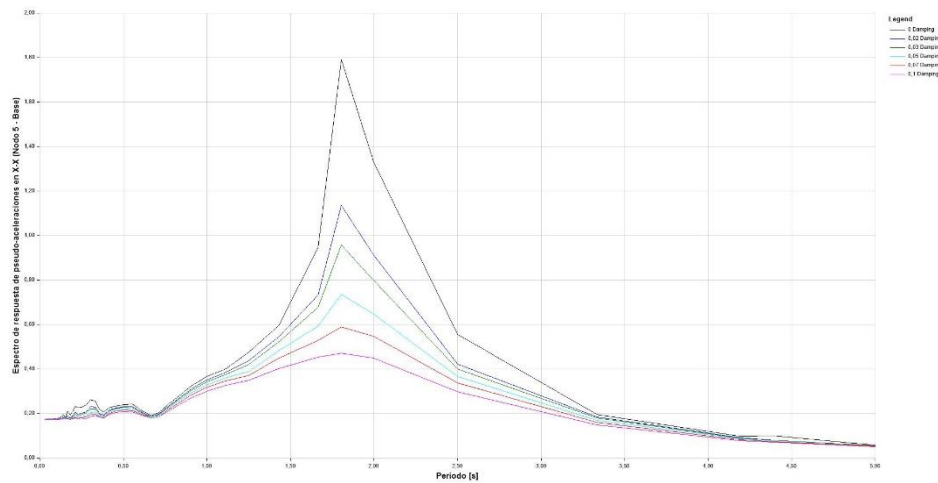


e. Las Heras, Mendoza, 1985:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

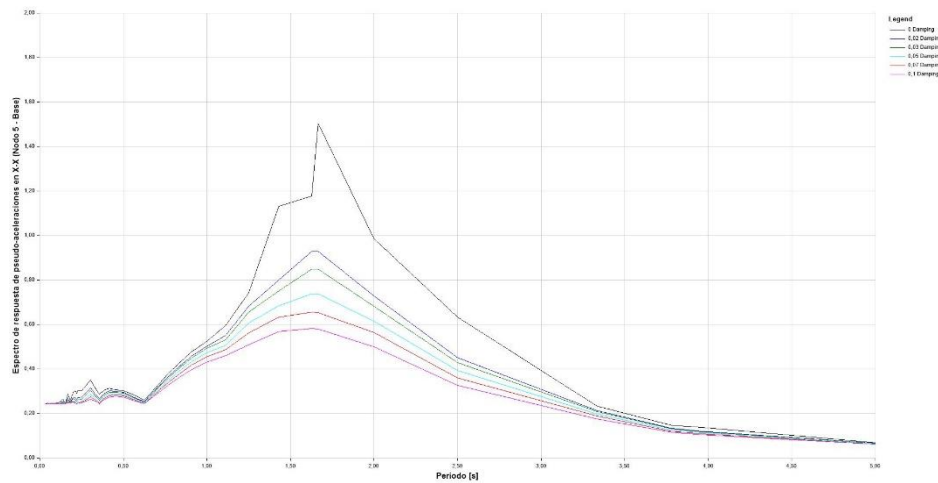
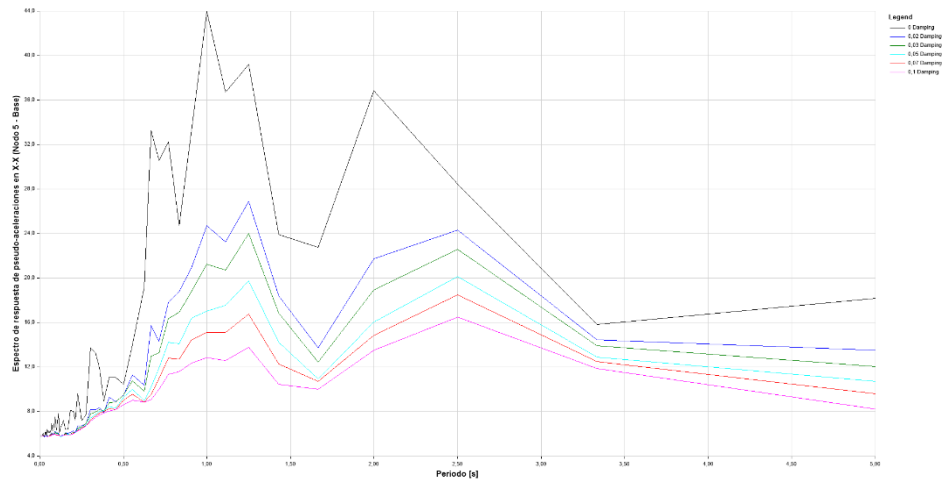


Figura 8.87: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Las Heras en X-X

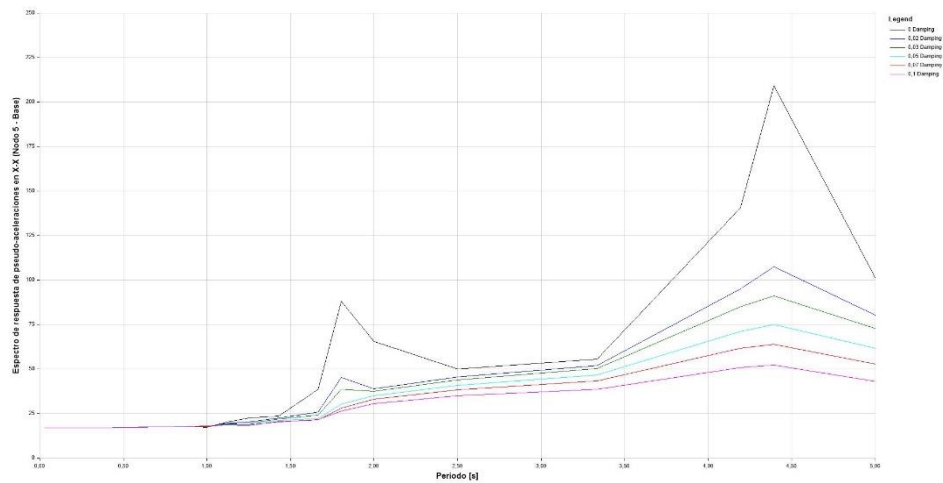


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

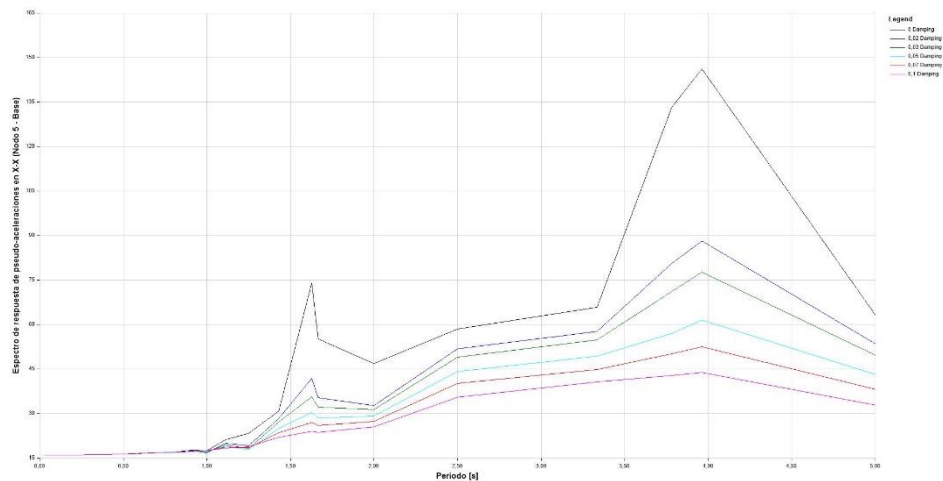
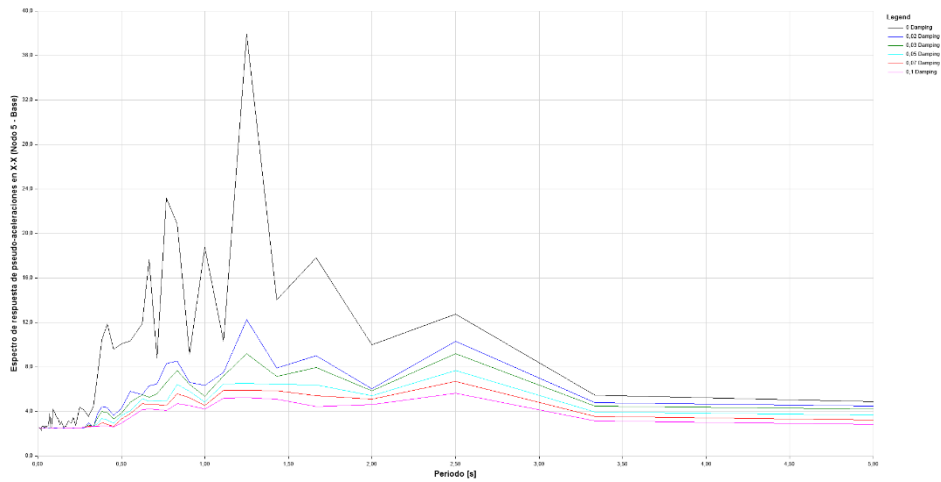


Figura 8.88: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Newhall en X-X

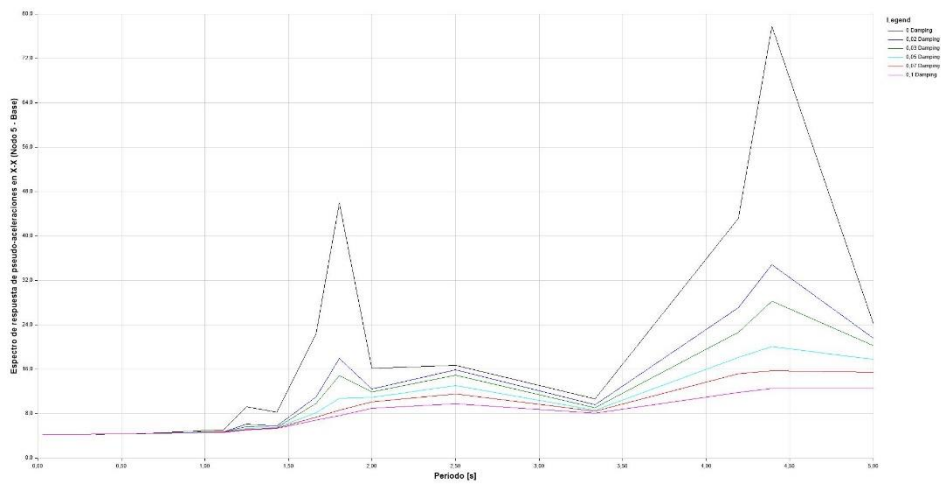


g. San Fernando, California, 1971

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

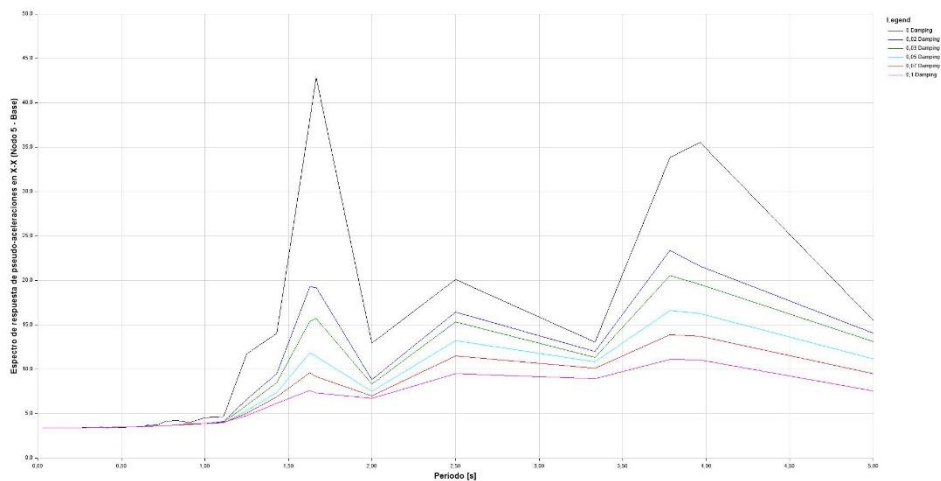
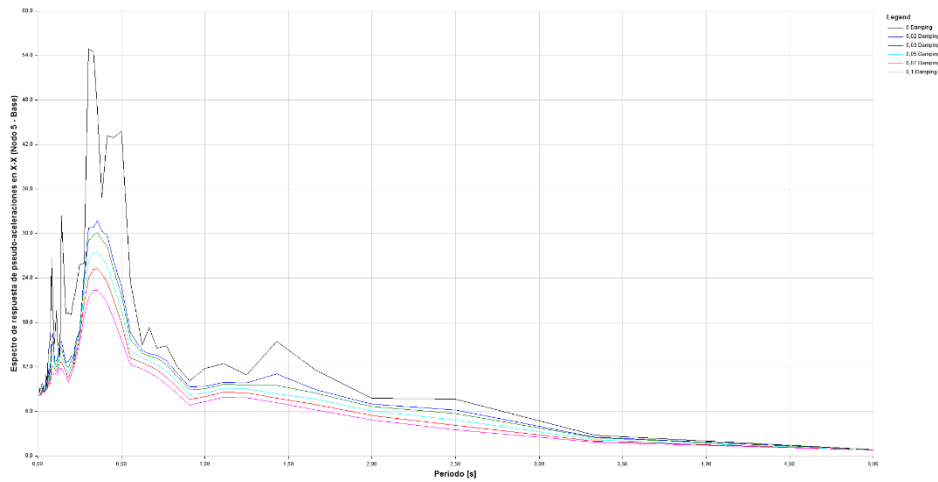


Figura 8.89: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X

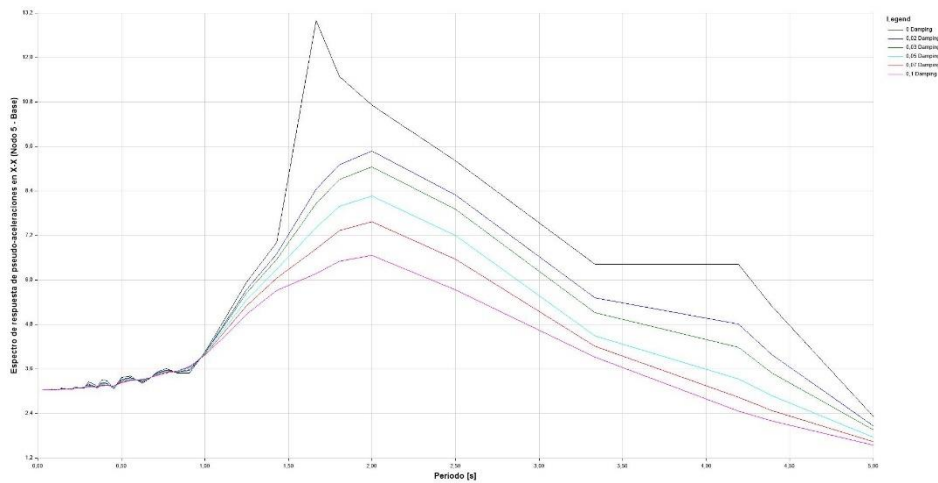


h. Sylmar, California, 1994 [Northbridge]

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

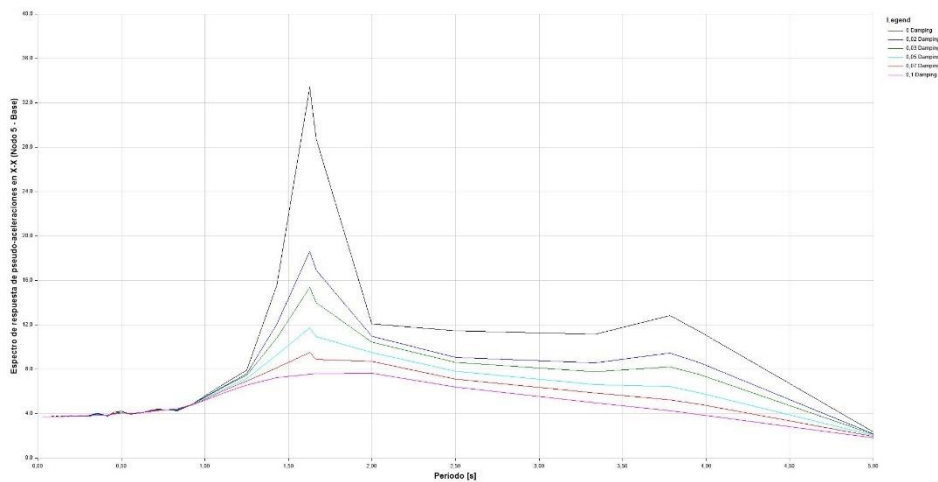


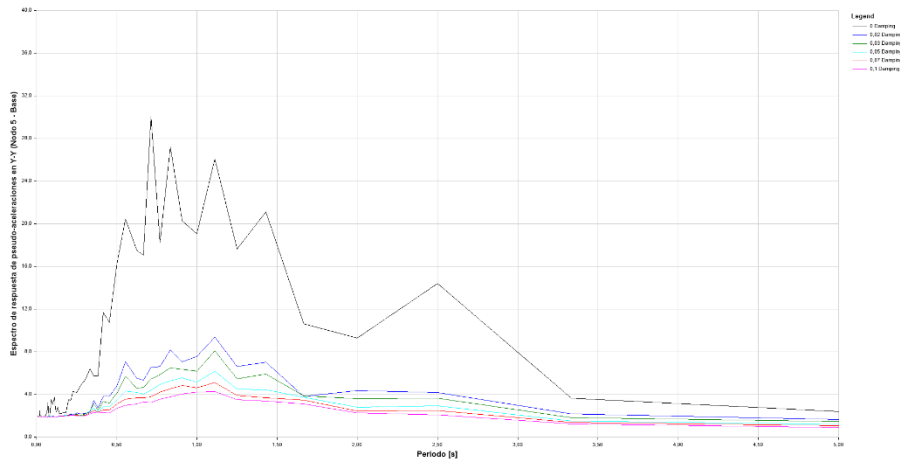
Figura 8.90: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Sylmar en X-X



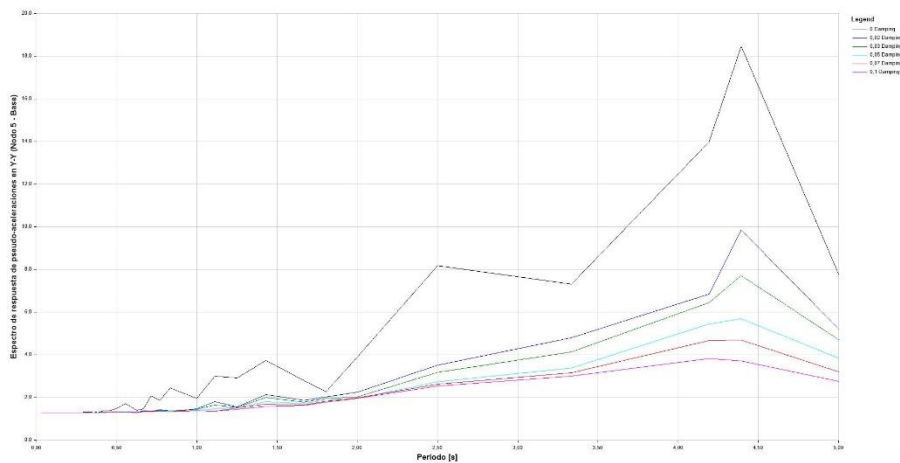
B. SISMOS EN DIRECCIÓN Y-Y → RESPUESTA ESTRUCTURAL EN Y-Y

a. *Caucete, San Juan, 1977:*

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

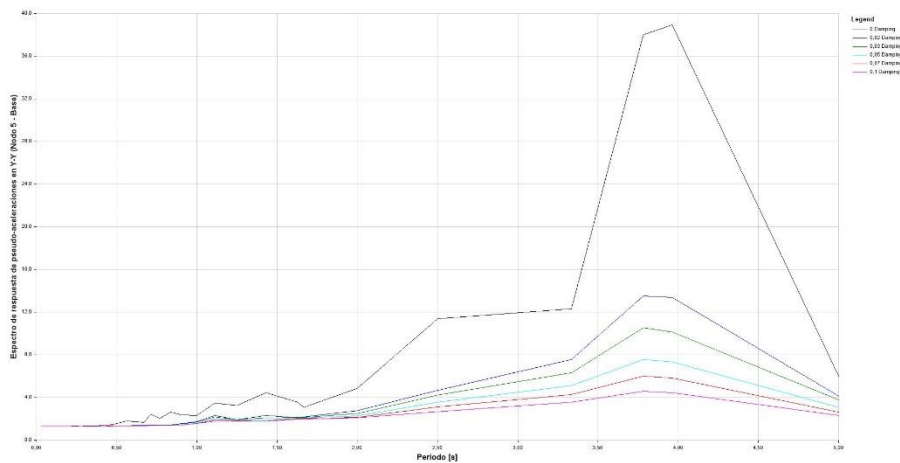
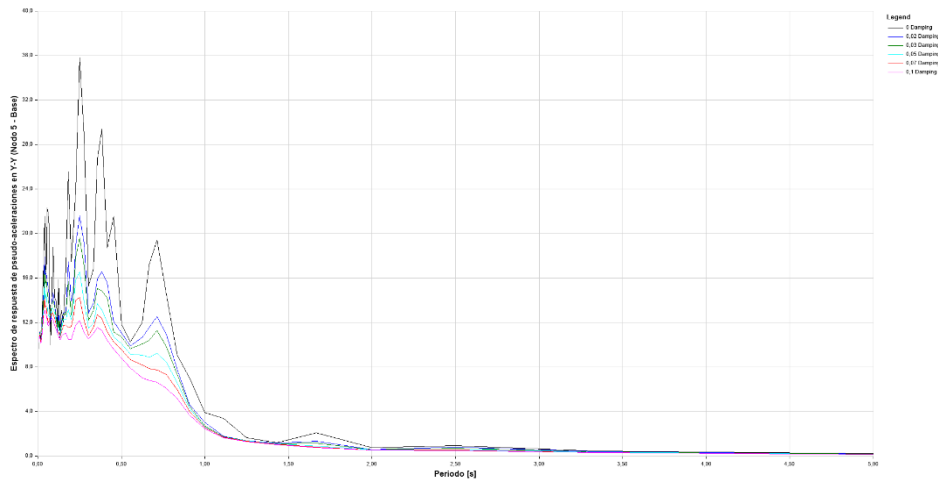


Figura 8.91: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Caucete en Y-Y

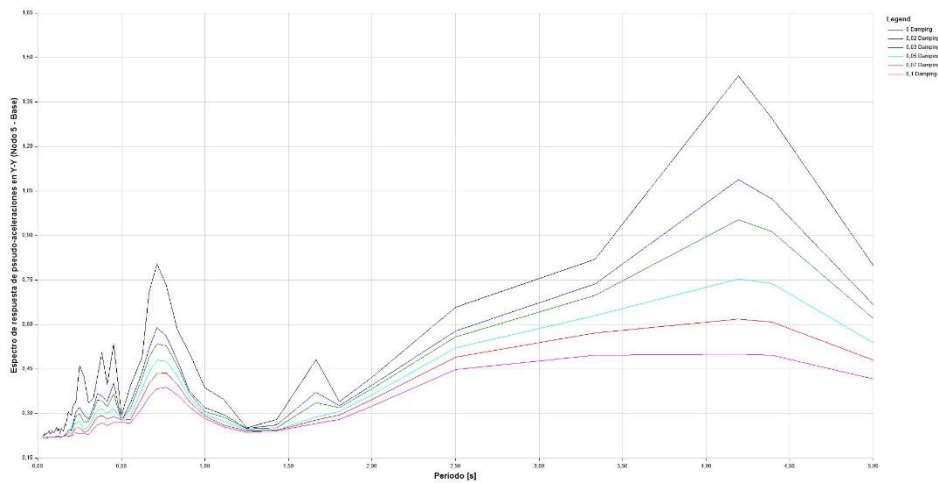


b. Coalinga, California, 1983:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

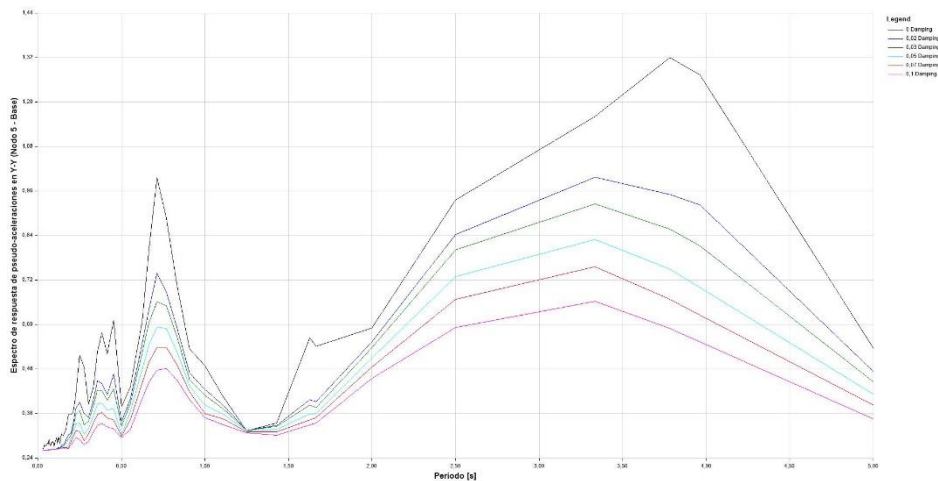
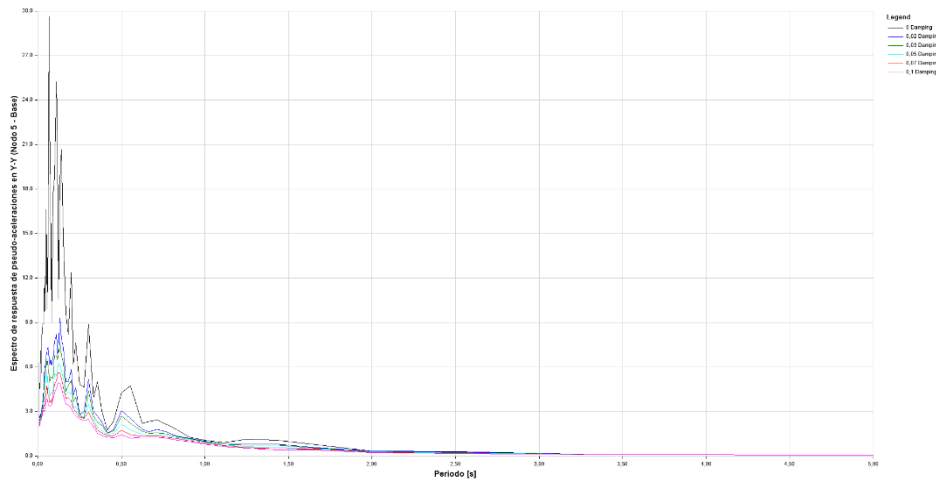


Figura 8.92: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y

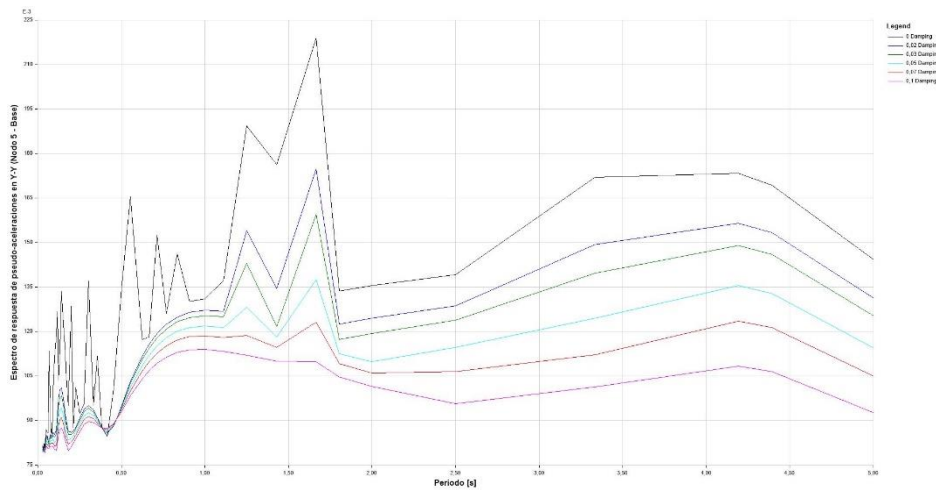


c. El Centro, California, 1940:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

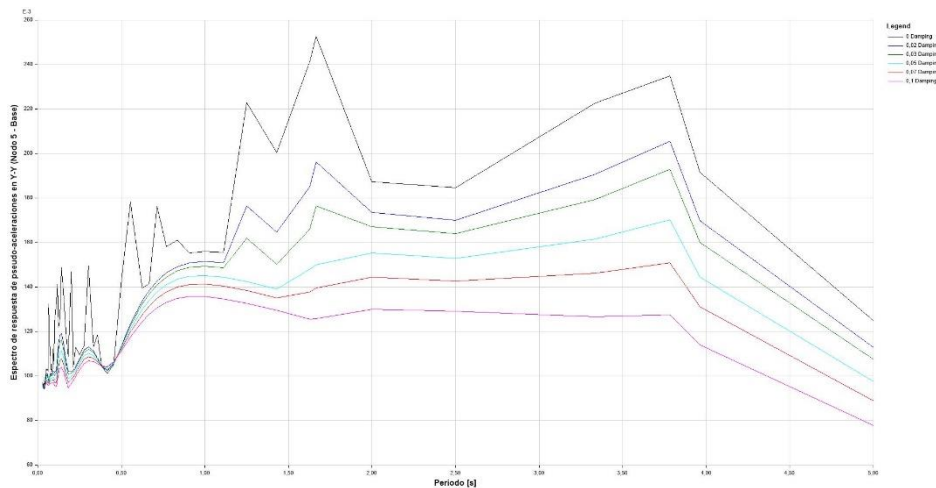
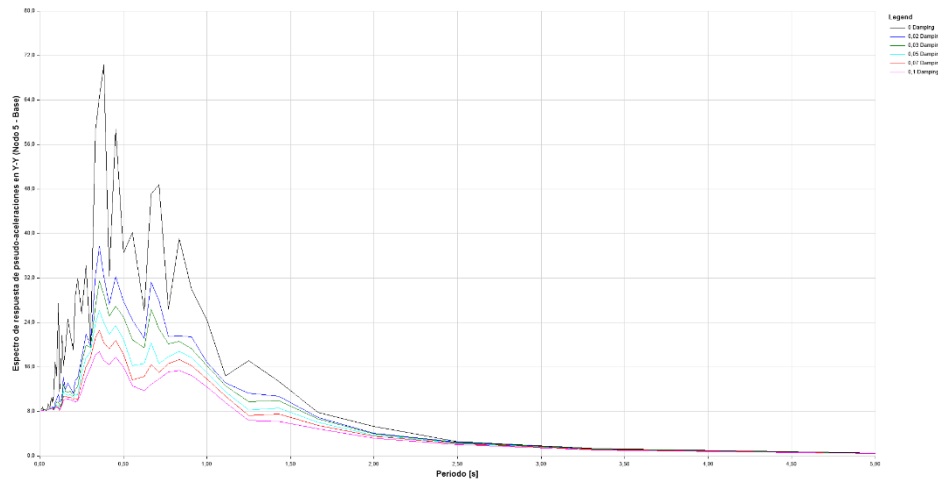


Figura 8.93: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y

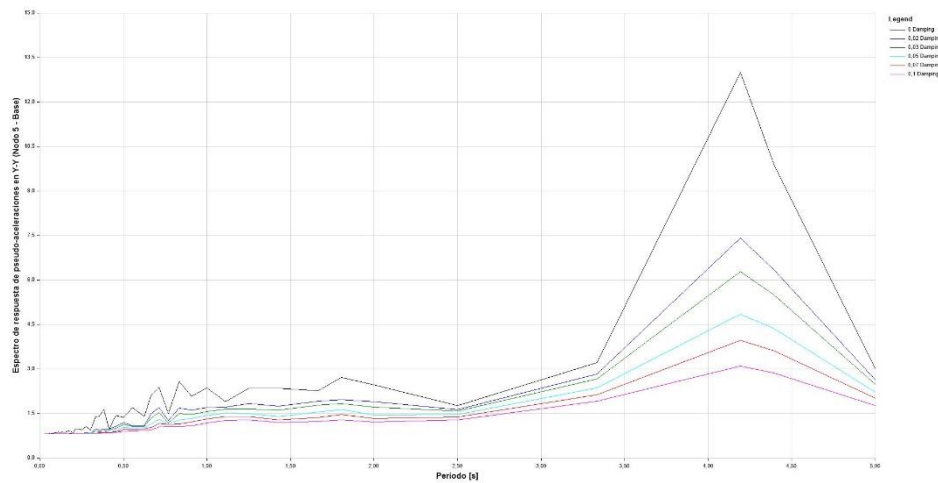


d. Kōbe, Osaka, 1995:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

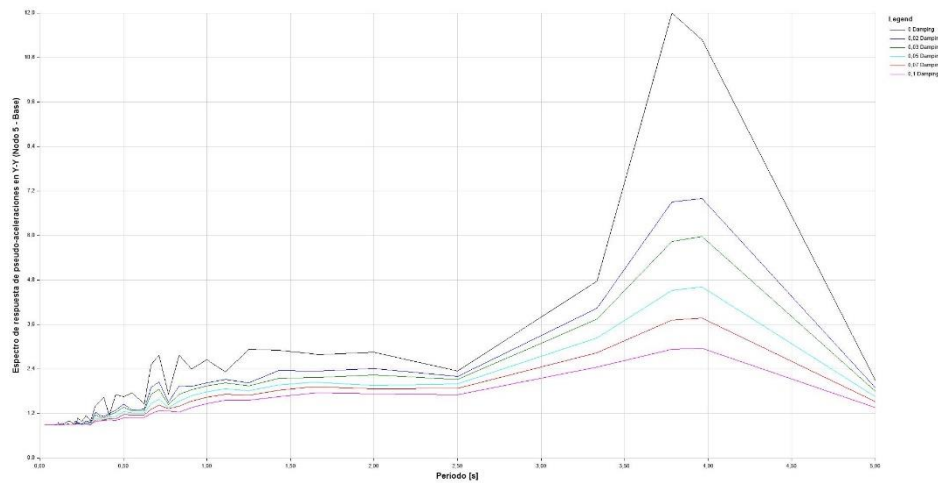
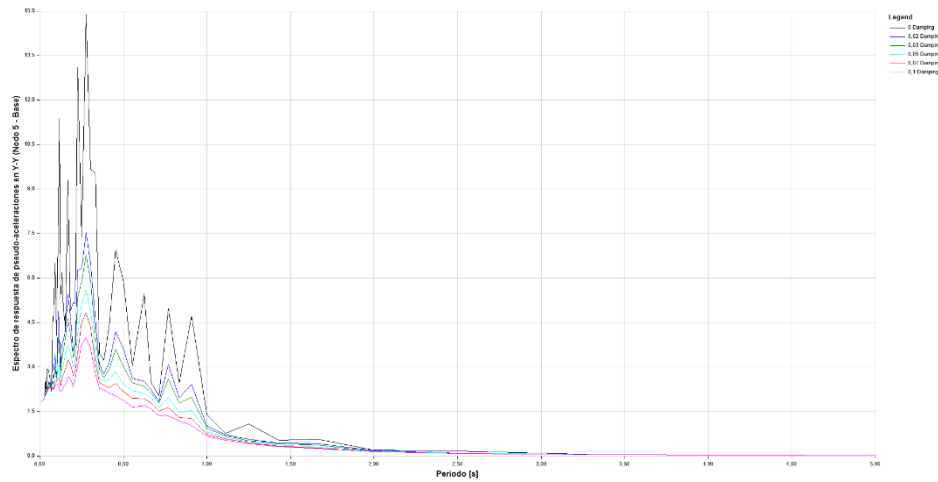


Figura 8.94: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Kōbe en Y-Y

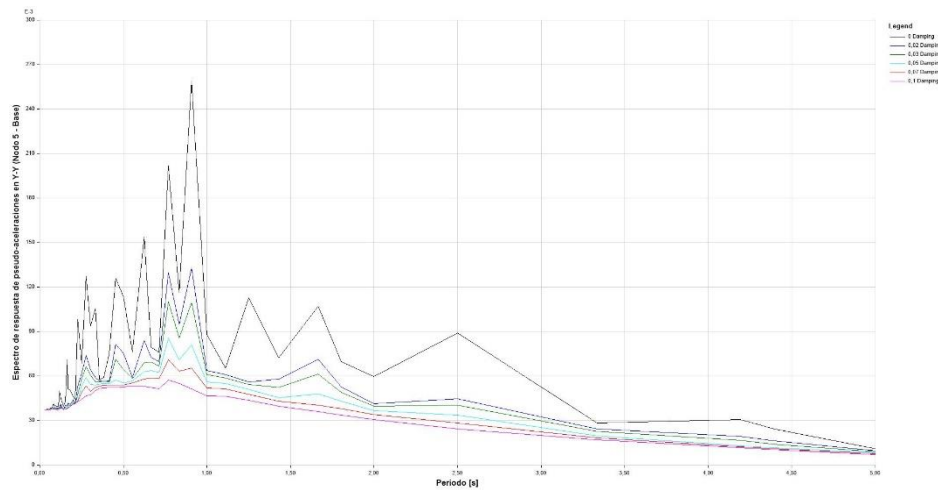


e. Las Heras, Mendoza, 1985:

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

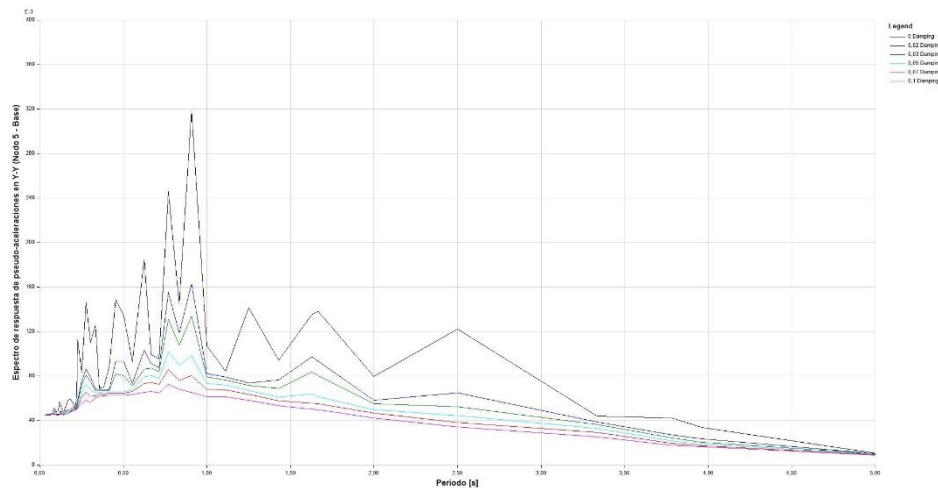
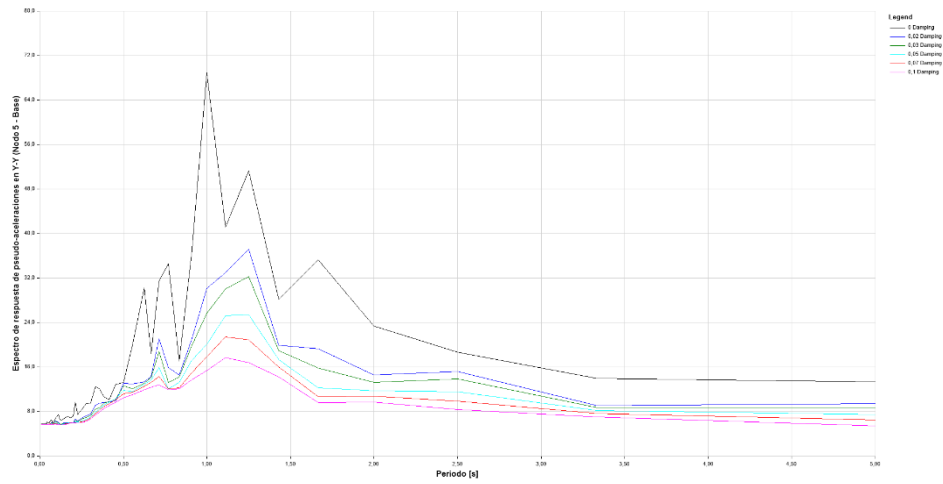


Figura 8.95: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y

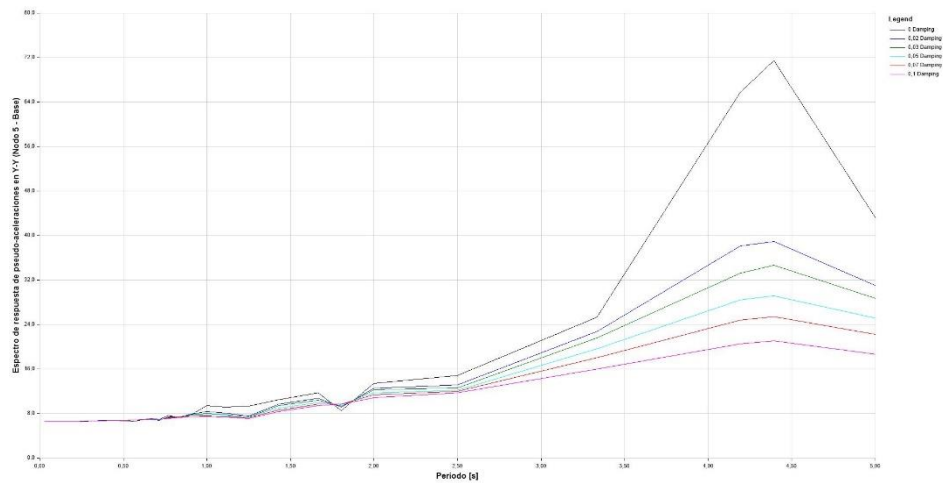


f. Newhall, California, 1994 [Northbridge]

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

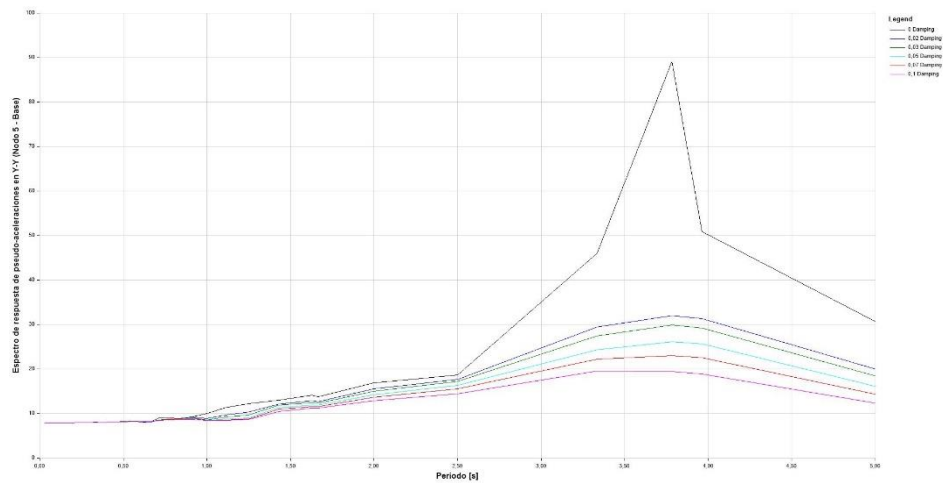
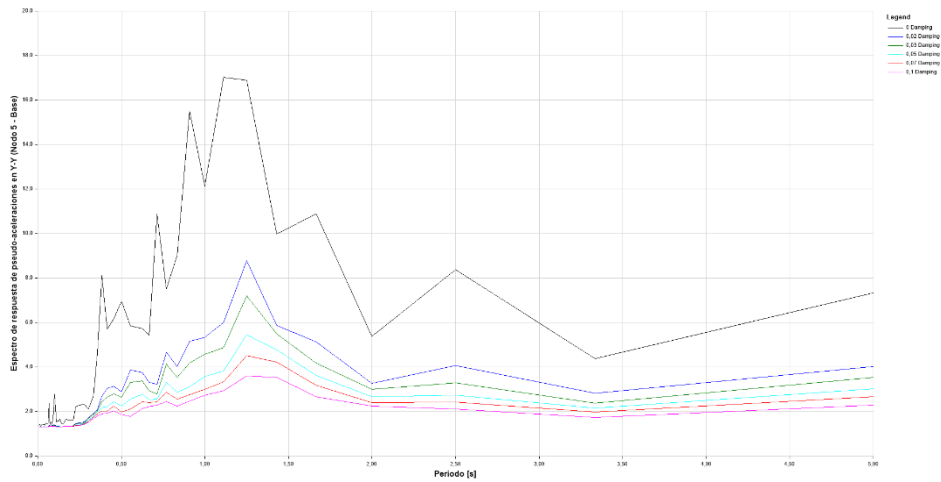


Figura 8.96: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y

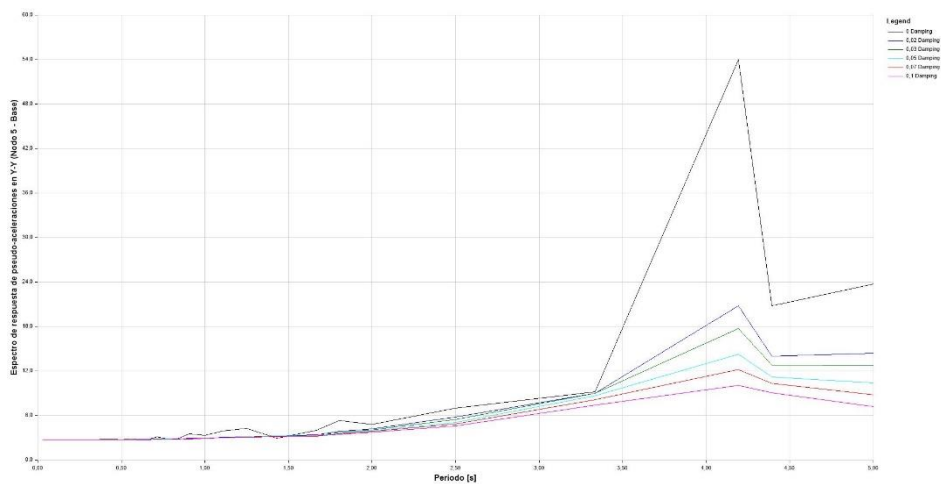


g. San Fernando, California, 1971

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

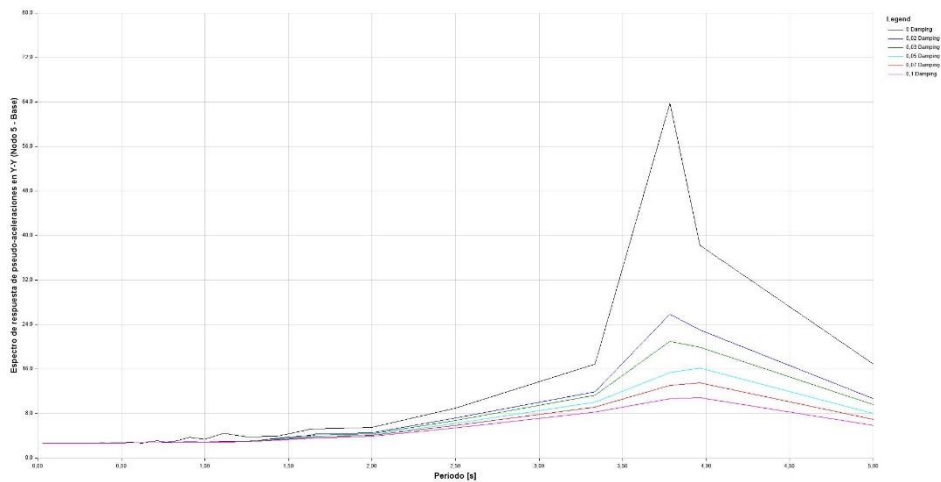
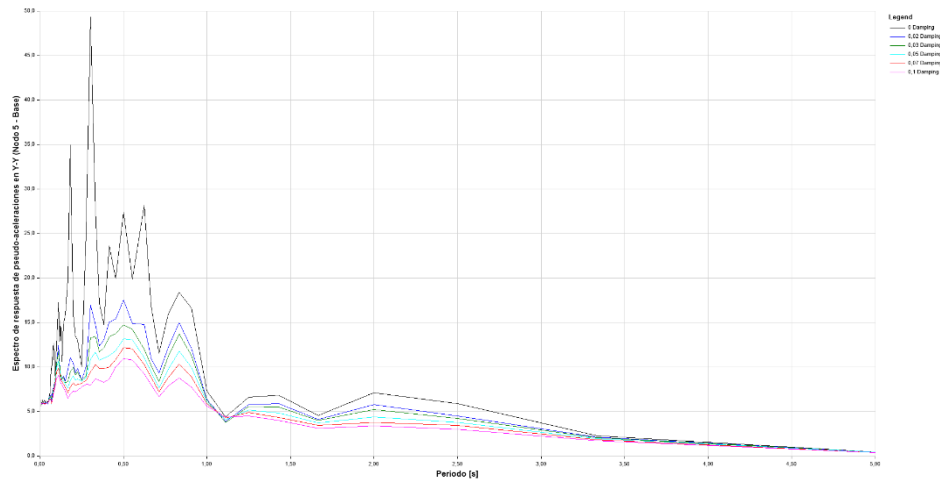


Figura 8.97: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y

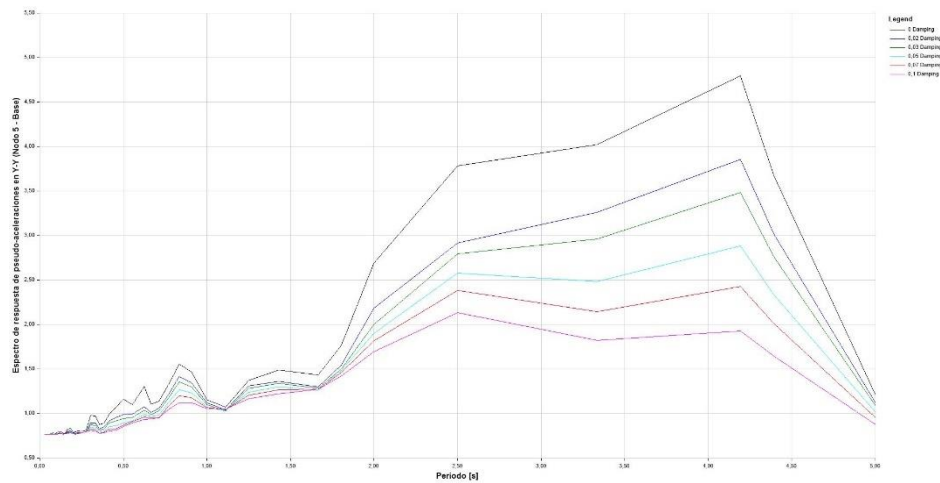


h. Sylmar, California, 1994 [Northbridge]

BÚNKER SIN AISLAMIENTO
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON L.R.B.
(Ordenadas s/ escala propia)



BÚNKER AISLADO CON F.P.S.
(Ordenadas s/ escala propia)

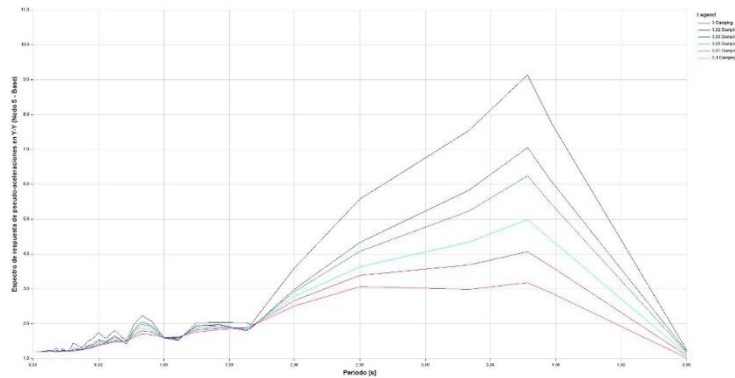


Figura 8.98: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y



8.2.13 ANÁLISIS MODAL – TABLA Y GRÁFICOS

ANÁLISIS MODAL	BÚNKER NO AISLADO / BASE FIJA			BÚNKER AISLADO - LRB			BÚNKER AISLADO - FPS		
	Periodo	Frecuencia	Característica del modo	Periodo	Frecuencia	Característica del modo	Periodo	Frecuencia	Característica del modo
Modo 1	0,0216 s	46,396 Hz	Traslacional en X-X (búnker completo)	4,3923 s	0,228 Hz	Traslacional en X-X (búnker completo)	3,9630 s	0,252 Hz	Traslacional en X-X (búnker completo)
Modo 2	0,0193 s	51,940 Hz	Traslacional en Z-Z (búnker completo)	4,1912 s	0,239 Hz	Traslacional en Y-Y (búnker completo)	3,7815 s	0,264 Hz	Traslacional en Y-Y (búnker completo)
Modo 3	0,0184 s	54,416 Hz	Traslacional en Y-Y (búnker completo)	1,8036 s	0,554 Hz	Rotacional en Z-Z (búnker completo)	1,6273 s	0,614 Hz	Rotacional en Z-Z (búnker completo)
Modo 4	0,0144 s	69,674 Hz	Rotacional en Z-Z (búnker completo)	0,1641 s	6,094 Hz	Traslacional en Z-Z (losa debajo de ciclotrón)	0,2204 s	4,537 Hz	Traslacional en Z-Z (losa debajo de ciclotrón)

Tabla 8.9: Análisis Modal para los 3 búnker

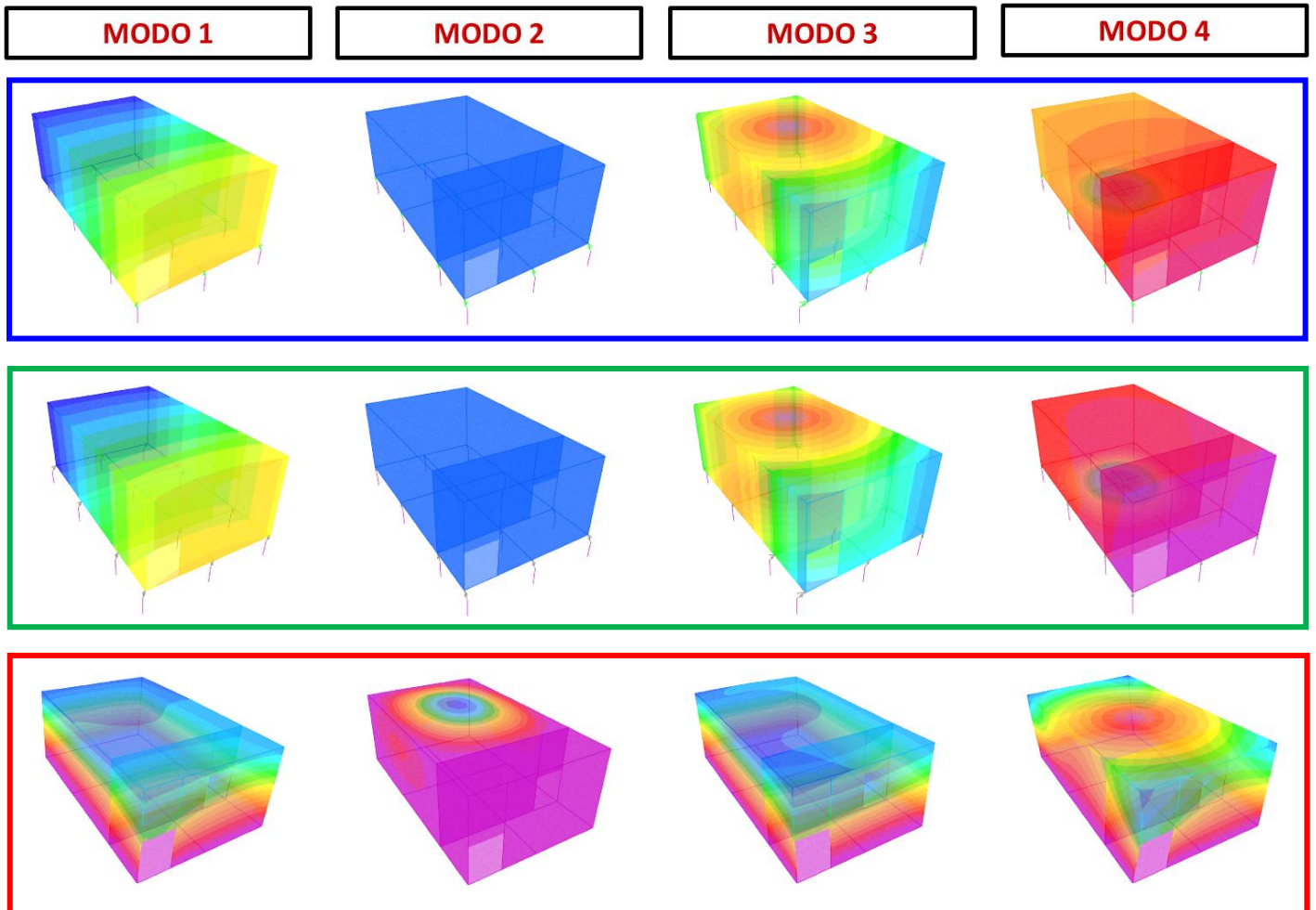


Figura 8.99: Modo 1, 2, 3 y 4 de vibración de los 3 búnker



CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES

Con todos los resultados de interés recopilados (en forma gráfica y numérica) es posible describir las siguientes diferencias:

- **Desplazamientos relativos:**
 - En X-X, en el análisis para techo, los F.P.S. tienen mejor desempeño que los L.R.B. al permitir mayores desplazamientos (17 vs. 15 para 32 casos de estudio);
 - En Y-Y, en el análisis para techo, los L.R.B. tienen mejor desempeño que los F.P.S. al permitir mayores desplazamientos (17 vs. 15 para 32 casos de estudio).
- **Aceleraciones absolutas:**
 - En X-X y en Y-Y, en el análisis tanto para base y como para techo, los L.R.B. tienen mejor desempeño que los F.P.S. para filtrar las aceleraciones provenientes del terreno, reduciéndolas en mayor magnitud (23 vs. 3 para 32 casos de estudio, siendo 7 los casos en los que fracasa la aislación sísmica), pero se observa que, para los sismos de Newhall y Valle de San Fernando, el sistema de aislamiento para ambos casos es ineficiente, incluso, contraproducente, ya que las incrementa.
- **Cortes basales:**
 - En X-X, los L.R.B. tienen mejor desempeño que los F.P.S. para filtrar los cortes máximos a nivel de base en el búnker (11 vs. 2 para 16 casos de estudio, siendo 3 los casos en los que fracasa la aislación sísmica), pero se observa que, como para el caso de las aceleraciones, para los sismos de Newhall y Valle de San Fernando, el sistema de aislamiento para ambos casos es ineficiente, incluso, contraproducente, ya que los incrementa.
 - En Y-Y, los L.R.B. también tienen mejor desempeño que los F.P.S. para filtrar los cortes máximos a nivel de base en el búnker (12 vs. 1 para 16 casos de estudio, siendo 3 los casos en los que fracasa la aislación sísmica), pero se observa que, como para el caso de las aceleraciones, para los sismos de Newhall y Valle de San Fernando, el sistema de aislamiento para ambos casos es ineficiente, incluso, contraproducente, ya que los incrementa.

En conclusión, para el incremento de los desplazamientos, el sistema de aislamiento elegido es prácticamente indiferente, pero para filtrado de aceleraciones y esfuerzos de corte a nivel de fundación, en prácticamente el 90% de los casos predomina el sistema de aislamiento mediante dispositivos elastoméricos L.R.B., todo esto correspondiéndose a dispositivos con propiedades geométricas, físicas y mecánicas establecidas y determinadas en el Capítulo VII.



9.1. COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS A NIVEL DE TECHO PARA LOS TRES TIPOS DE BÚNKER

COMPARACIÓN DE RESULTADOS - DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS										
SITIO (AÑO)	SISMO EN ANÁLISIS		MAGNITUD	EN TECHO (Nodo 600)						
	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		$D_{i-1} = D_{i-x}$						
				B.N.A. mm	B.A. - L.R.B. mm	(Dx2-Dx1)/Dx1 veces mayor	B.N.A. mm	B.A. - F.P.S. mm	(Dx3-Dx1)/Dx1 veces mayor	Aislador que permite mayores desplazamientos
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,04974	17,15403	343,89	0,04974	21,12525	423,74	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,05511	-45,20430	819,27	-0,05511	-45,99544	833,63	Friccionales F.P.S.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01816	14,58973	802,62	0,01816	14,73891	810,84	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,02532	-8,30260	326,92	-0,02532	-8,54974	336,68	Friccionales F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,02476	844,14846	34.092,23	0,02476	832,98055	33.641,19	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,02585	-733,11417	28.363,70	-0,02585	-732,84697	28.353,37	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,10978	315,11107	2.869,39	0,10978	324,99059	2.959,38	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,07655	-349,45921	4.563,99	-0,07655	-306,10652	3.997,67	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,06427	262,18169	4.078,38	0,06427	282,27973	4.391,09	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,08294	-285,47586	3.440,79	-0,08294	-362,46964	4.369,05	Friccionales F.P.S.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,10978	315,11107	2.869,39	0,10978	324,99059	2.959,38	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,07768	-349,49371	4.498,32	-0,07768	-306,11938	3.939,93	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-
Coalíng, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,10409	96,88052	929,76	0,10409	101,70396	976,10	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,05535	-95,24146	1.719,65	-0,05535	-89,62595	1.618,20	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,04942	93,85256	1.898,00	0,04942	91,43056	1.849,00	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,14072	-80,41747	570,48	-0,14072	-84,64905	600,55	Friccionales F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,05503	63,61470	1.155,02	0,05503	48,91068	887,82	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,04581	-17,23108	375,18	-0,04581	-19,11948	416,40	Friccionales F.P.S.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,03770	32,71727	866,90	0,03770	32,14681	851,77	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,03192	-26,29307	822,72	-0,03192	-29,02440	908,29	Friccionales F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,07843	508,35912	6.480,61	0,07843	503,73283	6.421,62	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,11204	-446,53563	3.984,40	-0,11204	-501,73251	4.477,04	Friccionales F.P.S.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,04273	263,68480	6.169,37	0,04273	374,26743	8.757,07	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,07937	-318,24617	4.008,50	-0,07937	-351,98027	4.433,51	Friccionales F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,07245	5578,26461	76.994,74	0,07245	4502,40843	62.144,90	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,07722	-5838,27720	75.601,83	-0,07722	-4481,33190	58.030,05	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,07639	3098,81331	40.566,29	0,07639	1986,67539	26.007,03	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,07417	-2955,84156	39.851,25	-0,07417	-2893,59885	39.012,06	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,02331	1585,03286	68.002,81	0,02331	1015,43864	43.565,10	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-0,03341	-1204,55531	36.049,50	-0,03341	-943,89136	28.248,23	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01728	1094,16163	63.325,87	0,01728	1136,32130	65.765,95	Friccionales F.P.S.
			Min	-0,01758	-1113,56788	63.327,47	-0,01758	-1130,71654	64.302,72	Friccionales F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 9.1: Comparación y resultados finales – Desplazamientos relativos a nivel de techo en X-X



COMPARACIÓN DE RESULTADOS - DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS											
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	EN TECHO (Nodo 600)							
SITO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		$D_{2,2} = D_{Y,Y}$							
				B.N.A. mm	B.A. - L.R.B. mm	(Dx2-Dx1)/Dx1 veces mayor	B.N.A. mm	B.A. - F.P.S. mm	(Dx3-Dx1)/Dx1 veces mayor	Aislador que permite mayores desplazamientos	
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01313	14,72042	1.119,79	0,01313	14,69472	1.117,83	Elastoméricos - L.R.B.	
		Min	-0,01834	-8,64065	470,19	-0,01834	-8,79970	478,86	Friccionales F.P.S.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,03624	18,81320	518,07	0,03624	23,53623	648,38	Friccionales F.P.S.			
	Min	-0,03988	-45,77404	1.146,82	-0,03988	-46,11542	1.155,38	Friccionales F.P.S.			
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01455	566,95123	38.962,04	0,01455	465,63526	31.999,22	Elastoméricos - L.R.B.	
		Min	-0,01866	-548,12321	29.368,51	-0,01866	-464,04262	24.863,31	Elastoméricos - L.R.B.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,01815	792,21645	43.642,48	0,01815	619,54674	34.130,05	Elastoméricos - L.R.B.			
	Min	-0,01890	-665,89594	35.235,32	-0,01890	-750,61829	39.718,46	Friccionales F.P.S.			
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,08015	317,32438	3.958,33	0,08015	317,32833	3.958,38	Friccionales F.P.S.	
		Min	-0,05727	-362,83922	6.334,59	-0,05727	-253,18751	4.419,94	Elastoméricos - L.R.B.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,04660	257,18037	5.517,66	0,04660	335,37890	7.195,66	Friccionales F.P.S.			
	Min	-0,06044	-306,18720	5.064,72	-0,06044	-385,90264	6.383,57	Friccionales F.P.S.			
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,03587	94,40004	2.630,95	0,03587	91,69107	2.555,42	Elastoméricos - L.R.B.	
		Min	-0,10107	-82,66221	816,91	-0,10107	-86,64980	856,37	Friccionales F.P.S.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,07521	99,48062	1.321,70	0,07521	103,72478	1.378,14	Friccionales F.P.S.			
	Min	-0,04041	-94,41842	2.335,68	-0,04041	-89,35173	2.210,29	Elastoméricos - L.R.B.			
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,02497	32,51154	1.301,08	0,02497	31,90490	1.276,78	Elastoméricos - L.R.B.	
		Min	-0,02308	-29,13994	1.261,34	-0,02308	-26,40624	1.142,92	Elastoméricos - L.R.B.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,04284	20,32542	473,42	0,04284	21,88018	509,71	Friccionales F.P.S.			
	Min	-0,03379	-17,78593	525,44	-0,03379	-20,01259	591,35	Friccionales F.P.S.			
Sylmar, California (1994) [Northbridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,03109	313,43828	10.081,29	0,03109	429,29136	13.807,91	Friccionales F.P.S.	
		Min	-0,05758	-336,15159	5.837,40	-0,05758	-365,78771	6.352,13	Friccionales F.P.S.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,05527	504,01077	9.117,57	0,05527	557,04527	10.077,07	Friccionales F.P.S.			
	Min	-0,08169	-477,60916	5.845,53	-0,08169	-534,64555	6.543,73	Friccionales F.P.S.			
Newhall, California (1994) [Northbridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,05595	2242,83351	40.083,24	0,05595	2025,49767	36.198,98	Elastoméricos - L.R.B.	
		Min	-0,05428	-2902,85455	53.483,19	-0,05428	-2841,52382	52.353,19	Elastoméricos - L.R.B.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,05299	5136,92564	96.940,42	0,05299	4010,43165	75.681,80	Elastoméricos - L.R.B.			
	Min	-0,05659	-5292,70590	93.527,88	-0,05659	-3908,72500	69.071,17	Elastoméricos - L.R.B.			
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	0,01267	1158,27422	91.410,43	0,01267	957,88060	75.595,29	Elastoméricos - L.R.B.	
		Min	-0,01289	-1203,20550	93.314,15	-0,01289	-923,02959	71.584,98	Elastoméricos - L.R.B.		
Sismo en dirección E-O = X-X	Max	0,01712	1191,17994	69.597,59	0,01712	1004,86297	58.711,41	Elastoméricos - L.R.B.			
	Min	-0,02447	-1118,36303	45.706,17	-0,02447	-849,87005	34.732,94	Elastoméricos - L.R.B.			

Tabla 9.2: Comparación y resultados finales – Desplazamientos relativos a nivel de techo en Y-Y



9.2. COMPARACIÓN DE ACELERACIONES ABSOLUTAS A NIVEL DE BASE Y TECHO PARA LOS TRES TIPOS DE BÚNKER

COMPARACIÓN DE RESULTADOS - ACELERACIONES ABSOLUTAS														
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	EN BASE (Nodo 40)								Aislador más eficiente		
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		A ₁₋₁ = A _{x-x}										
				B.N.A.		B.A. - L.R.B.		Reducción de...		B.N.A.			B.A. - F.P.S.	
			m/s ²	g%	m/s ²	g%	m/s ²	g%	m/s ²	g%	m/s ²	g%	m/s ²	g%
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,012	40,92	0,109	1,11	97,29	4,012	40,92	0,132	1,35	96,71	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,684	-37,57	-0,041	-0,42	98,88	-3,684	-37,57	-0,059	-0,60	98,40	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,841	18,77	0,019	0,20	98,95	1,841	18,77	0,025	0,25	98,65	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,318	-13,44	-0,034	-0,35	97,39	-1,318	-13,44	-0,042	-0,43	96,84	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	1,932	19,70	1,513	15,42	21,70	1,932	19,70	1,836	18,72	4,97	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,854	-18,90	-1,742	-17,76	6,04	-1,854	-18,90	-2,111	-21,53	-13,90	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,808	59,22	0,713	7,28	87,72	5,808	59,22	0,772	7,87	86,71	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-8,206	-83,68	-0,657	-6,70	92,00	-8,206	-83,68	-0,814	-8,30	90,08	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	6,192	63,15	0,592	6,04	90,44	6,192	63,15	0,920	9,38	85,15	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-4,784	-48,78	-0,562	-5,74	88,24	-4,784	-48,78	-0,721	-7,35	84,92	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,808	59,22	0,713	7,28	87,72	5,808	59,22	0,772	7,87	86,71	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-8,206	-83,68	-0,657	-6,70	92,00	-8,206	-83,68	-0,814	-8,30	90,08	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,133	42,14	0,203	2,07	95,09	4,133	42,14	0,232	2,36	94,39	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-7,706	-78,58	-0,217	-2,22	97,18	-7,706	-78,58	-0,275	-2,81	96,43	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	10,610	108,20	0,177	1,80	98,34	10,610	108,20	0,225	2,29	97,88	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,645	-37,18	-0,200	-2,04	94,50	-3,645	-37,18	-0,237	-2,42	93,50	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	3,417	34,85	0,037	0,38	98,92	3,417	34,85	0,049	0,50	98,57	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-2,631	-26,83	-0,131	-1,33	95,03	-2,631	-26,83	-0,124	-1,26	95,29	Friccionales F.P.S.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	2,101	21,43	0,056	0,57	97,34	2,101	21,43	0,074	0,76	96,46	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,786	-18,21	-0,074	-0,75	95,87	-1,786	-18,21	-0,088	-0,90	95,07	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	8,268	84,31	0,896	9,14	89,16	8,268	84,31	1,247	12,72	84,91	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-5,780	-58,95	-1,079	-11,00	81,34	-5,780	-58,95	-1,304	-13,29	77,45	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,926	60,44	0,649	6,62	89,05	5,926	60,44	0,894	9,12	84,92	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,194	-32,57	-0,566	-5,77	82,29	-3,194	-32,57	-0,955	-9,74	70,10	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	5,782	58,96	12,005	122,42	-107,63	5,782	58,96	11,326	115,50	-95,88	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-5,416	-55,23	-11,463	-116,89	-111,65	-5,416	-55,23	-11,409	-116,34	-110,66	Ninguno, aislación ineficiente
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,544	56,54	6,085	62,06	-9,76	5,544	56,54	7,300	74,44	-31,67	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-5,716	-58,29	-6,382	-65,08	-11,64	-5,716	-58,29	-5,042	-51,41	11,80	Friccionales - F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	2,500	25,49	2,473	25,22	1,04	2,500	25,49	2,390	24,37	4,38	Friccionales F.P.S.
			Min	-1,747	-17,81	-3,264	-33,29	-86,88	-1,747	-17,81	-2,568	-26,19	-47,05	Ninguno, aislación ineficiente
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,317	13,43	2,287	23,32	-73,63	1,317	13,43	2,856	29,13	-116,87	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-1,294	-13,20	-2,255	-22,99	-74,23	-1,294	-13,20	-2,867	-29,24	-121,53	Ninguno, aislación ineficiente
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 9.3: Comparación y resultados finales – Aceleraciones absolutas a nivel de base en X-X



COMPARACIÓN DE RESULTADOS - ACCELERACIONES ABSOLUTAS														
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	EN BASE (Nodo 40)								Aislador más eficiente		
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		A _{2,2} = A _{y-y}										
				B.N.A.		B.A. - L.R.B.		Reducción de...	B.N.A.		B.A. - F.P.S.		Reducción de...	
				m/s ²	g%	m/s ²	g%	%	m/s ²	g%	m/s ²	g%	%	
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,841	18,77	0,021	0,22	98,83	1,841	18,77	0,028	0,29	98,46	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,318	-13,44	-0,037	-0,38	97,18	-1,318	-13,44	-0,045	-0,46	96,61	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,012	40,92	0,118	1,20	97,06	4,012	40,92	0,143	1,46	96,44	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,684	-37,57	-0,048	-0,49	98,71	-3,684	-37,57	-0,071	-0,72	98,08	Elastoméricos - L.R.B.
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,906	19,43	1,241	12,65	34,88	1,906	19,43	1,289	13,14	32,36	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,486	-15,15	-1,282	-13,08	13,69	-1,486	-15,15	-1,292	-13,18	13,02	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	1,932	19,70	1,504	15,34	22,16	1,932	19,70	2,091	21,33	-8,26	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,854	-18,90	-1,795	-18,31	3,16	-1,854	-18,90	-1,718	-17,52	7,34	Friccionales F.P.S.
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,808	59,22	0,823	8,40	85,82	5,808	59,22	0,734	7,48	87,37	Friccionales F.P.S.
			Min	-8,206	-83,68	-0,722	-7,37	91,20	-8,206	-83,68	-0,890	-9,08	89,15	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	6,192	63,15	0,703	7,16	88,65	6,192	63,15	1,078	10,99	82,59	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-4,784	-48,78	-0,591	-6,02	87,65	-4,784	-48,78	-0,933	-9,51	80,51	Elastoméricos - L.R.B.
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	10,610	108,20	0,196	2,00	98,15	10,610	108,20	0,250	2,55	97,64	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,645	-37,18	-0,219	-2,23	93,99	-3,645	-37,18	-0,261	-2,66	92,83	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,133	42,14	0,218	2,22	94,73	4,133	42,14	0,252	2,57	93,91	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-7,706	-78,58	-0,241	-2,46	96,87	-7,706	-78,58	-0,304	-3,10	96,05	Elastoméricos - L.R.B.
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	2,101	21,43	0,067	0,68	96,81	2,101	21,43	0,075	0,76	96,44	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,786	-18,21	-0,079	-0,80	95,58	-1,786	-18,21	-0,094	-0,96	94,73	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	3,417	34,85	0,041	0,42	98,79	3,417	34,85	0,056	0,57	98,35	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-2,631	-26,83	-0,048	-0,49	98,18	-2,631	-26,83	-0,063	-0,64	97,60	Elastoméricos - L.R.B.
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,926	60,44	0,766	7,81	87,07	5,926	60,44	1,024	10,44	82,72	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,194	-32,57	-0,719	-7,33	77,50	-3,194	-32,57	-1,202	-12,26	62,37	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	8,268	84,31	1,080	11,01	86,94	8,268	84,31	1,492	15,22	81,95	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-5,780	-58,95	-1,165	-11,88	79,85	-5,780	-58,95	-1,557	-15,88	73,06	Elastoméricos - L.R.B.
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,544	56,54	6,577	67,07	-18,63	5,544	56,54	7,906	80,62	-42,59	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-5,716	-58,29	-5,059	-51,59	11,50	-5,716	-58,29	-5,622	-57,33	1,66	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	5,782	58,96	11,979	122,16	-107,18	5,782	58,96	10,865	110,80	-87,91	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-5,416	-55,23	-11,599	-118,28	-114,17	-5,416	-55,23	-11,136	-113,56	-105,62	Ninguno, aislación ineficiente
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,317	13,43	2,718	27,72	-106,38	1,317	13,43	2,559	26,10	-94,32	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-1,294	-13,20	-2,613	-26,65	-101,95	-1,294	-13,20	-2,656	-27,09	-105,27	Ninguno, aislación ineficiente
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	2,500	25,49	2,525	25,75	-1,01	2,500	25,49	2,355	24,01	5,80	Friccionales - F.P.S.
			Min	-1,747	-17,81	-2,692	-27,45	-54,10	-1,747	-17,81	-2,785	-28,41	-59,47	Ninguno, aislación ineficiente

Tabla 9.4: Comparación y resultados finales – Aceleraciones absolutas a nivel de base en Y-Y



COMPARACIÓN DE RESULTADOS - ACELERACIONES ABSOLUTAS														
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	EN TECHO (Nodo 600)									Aislador más eficiente	
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		$A_{1,1} = A_{x,x}$										
				B.N.A.		B.A. - L.R.B.		Reducción de...	B.N.A.		B.A. - F.P.S.			Reducción de...
			m/s ²	g%	m/s ²	g%	%	m/s ²	g%	m/s ²	g%	%		
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,133	42,15	0,109	1,11	97,37	4,133	42,15	0,134	1,36	96,76	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,720	-37,94	-0,041	-0,42	98,89	-3,720	-37,94	-0,059	-0,61	98,40	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,900	19,38	0,019	0,20	98,98	1,900	19,38	0,026	0,26	98,64	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,361	-13,88	-0,035	-0,35	97,46	-1,361	-13,88	-0,042	-0,43	96,92	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	1,931	19,70	1,513	15,43	21,67	1,931	19,70	1,836	18,72	4,95	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-1,850	-18,87	-1,742	-17,77	5,83	-1,850	-18,87	-2,112	-21,54	-14,18	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,714	58,27	0,713	7,28	87,51	5,714	58,27	0,772	7,87	86,49	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-8,216	-83,78	-0,657	-6,70	92,00	-8,216	-83,78	-0,814	-8,31	90,09	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	6,202	63,25	0,592	6,04	90,45	6,202	63,25	0,920	9,39	85,16	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-4,810	-49,05	-0,563	-5,74	88,29	-4,810	-49,05	-0,722	-7,36	84,99	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,814	59,29	0,713	7,28	87,73	5,814	59,29	0,772	7,87	86,73	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-8,216	-83,78	-0,657	-6,70	92,00	-8,216	-83,78	-0,815	-8,31	90,09	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	4,133	42,14	0,203	2,07	95,09	4,133	42,14	0,232	2,37	94,38	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-7,696	-78,48	-0,218	-2,22	97,17	-7,696	-78,48	-0,277	-2,82	96,41	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	10,746	109,59	0,177	1,81	98,35	10,746	109,59	0,226	2,30	97,90	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,729	-38,03	-0,201	-2,05	94,62	-3,729	-38,03	-0,237	-2,42	93,63	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	3,732	38,06	0,037	0,38	99,01	3,732	38,06	0,049	0,50	98,69	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-4,706	-47,99	-0,131	-1,33	97,22	-4,706	-47,99	-0,124	-1,26	97,36	Friccionales F.P.S.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	2,504	25,53	0,056	0,57	97,76	2,504	25,53	0,075	0,76	97,00	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,230	-32,94	-0,074	-0,75	97,71	-3,230	-32,94	-0,088	-0,90	97,28	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	8,356	85,21	0,896	9,14	89,27	8,356	85,21	1,248	12,72	85,07	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-5,944	-60,61	-1,080	-11,01	81,83	-5,944	-60,61	-1,306	-13,32	78,02	Elastoméricos - L.R.B.
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,949	60,67	0,649	6,62	89,09	5,949	60,67	0,895	9,12	84,96	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-3,213	-32,76	-0,567	-5,78	82,36	-3,213	-32,76	-0,957	-9,76	70,22	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	5,772	58,87	12,007	122,44	-108,01	5,772	58,87	11,330	115,55	-96,29	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-5,414	-55,21	-11,464	-116,91	-111,75	-5,414	-55,21	-11,414	-116,40	-110,83	Ninguno, aislación ineficiente
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	5,541	56,51	6,086	62,07	-9,83	5,541	56,51	7,303	74,48	-31,79	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-5,709	-58,22	-6,382	-65,09	-11,80	-5,709	-58,22	-5,044	-51,44	11,65	Friccionales - F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	2,496	25,46	2,474	25,23	0,91	2,496	25,46	2,391	24,38	4,23	Friccionales F.P.S.
			Min	-1,741	-17,76	-3,265	-33,29	-87,52	-1,741	-17,76	-2,569	-26,20	-47,57	Ninguno, aislación ineficiente
		Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	1,314	13,40	2,287	23,32	-74,03	1,314	13,40	2,857	29,14	-117,41	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-1,291	-13,17	-2,255	-23,00	-74,65	-1,291	-13,17	-2,868	-29,24	-122,09	Ninguno, aislación ineficiente
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 9.5: Comparación y resultados finales – Aceleraciones absolutas a nivel de techo en X-X



9.3. COMPARACIÓN DE CORTES BASEALES PARA LOS TRES TIPOS DE BÚNKER

COMPARACIÓN DE RESULTADOS - CORTES BASEALES										
SISMO EN ANÁLISIS			MAGNITUD	EN BASE						
SITIO (AÑO)	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		$V_{1-1} = V_{x-x}$						
				B.N.A. kN	B.A. - L.R.B. kN	Reducción de... %	B.N.A. kN	B.A. - F.P.S. kN	Reducción de... %	Aislador más eficiente
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	21.020,00	464,80	97,79	21.020,00	588,20	97,20	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-19.280,00	-190,10	99,01	-19.280,00	-266,30	98,62	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	10.100,00	7.880,00	21,98	10.100,00	11.090,00	-9,80	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-9.689,00	-8.945,00	7,68	-9.689,00	-9.547,00	1,47	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	32.380,00	3.031,00	90,64	32.380,00	4.649,00	85,64	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-25.020,00	-2.945,00	88,23	-25.020,00	-3.894,00	84,44	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	21.610,00	1.072,00	95,04	21.610,00	1.236,00	94,28	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-40.160,00	-1.053,00	97,38	-40.160,00	-1.365,00	96,60	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	17.800,00	188,30	98,94	17.800,00	247,40	98,61	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-13.740,00	-693,70	94,95	-13.740,00	-670,70	95,12	Friccionales F.P.S.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	43.220,00	4.090,00	90,54	43.220,00	5.881,00	86,39	Elastoméricos - L.R.B.
			Min	-30.270,00	-5.495,00	81,85	-30.270,00	-7.176,00	76,29	Elastoméricos - L.R.B.
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	30.220,00	62.210,00	-105,86	30.220,00	58.650,00	-94,08	Ninguno, aislación ineficiente
			Min	-28.310,00	-59.810,00	-111,27	-28.310,00	-60.190,00	-112,61	Ninguno, aislación ineficiente
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	13.070,00	12.890,00	1,38	13.070,00	12.730,00	2,60	Friccionales F.P.S.
			Min	-9.128,00	-17.080,00	-87,12	-9.128,00	-13.530,00	-48,23	Ninguno, aislación ineficiente
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 9.7: Comparación y resultados finales – Cortes basales en X-X



COMPARACIÓN DE RESULTADOS - CORTES BASEALES											
SITIO (AÑO)	SISMO EN ANÁLISIS		MAGNITUD	EN BASE							
	DIRECCIÓN DE LA RESPUESTA	DIRECCIÓN DEL SISMO EN ANÁLISIS		V _{z2} = V _{y,y}							
				B.N.A. kN	B.A. - L.R.B. kN	Reducción de... %	B.N.A. kN	B.A. - F.P.S. kN	Reducción de... %	Aislador más eficiente	
Las Heras, Mendoza (1985)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	9.619,00	98,98	98,97	9.619,00	119,10	98,76	Elastoméricos - L.R.B.	
			Min	-6.887,00	-160,20	97,67	-6.887,00	-199,80	97,10	Elastoméricos - L.R.B.	
Caucete, San Juan (1977)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	9.937,00	6.577,00	33,81	9.937,00	6.838,00	31,19	Elastoméricos - L.R.B.	
			Min	-7.748,00	-6.800,00	12,24	-7.748,00	-6.867,00	11,37	Elastoméricos - L.R.B.	
Kobe, Osaka (1995)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	30.310,00	4.350,00	85,65	30.310,00	3.631,00	88,02	Friccionales F.P.S.	
			Min	-42.780,00	-3.792,00	91,14	-42.780,00	-4.662,00	89,10	Elastoméricos - L.R.B.	
Coalinga, California (1983)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	55.140,00	962,20	98,25	55.140,00	1.249,00	97,73	Elastoméricos - L.R.B.	
			Min	-19.020,00	-1.112,00	94,15	-19.020,00	-1.336,00	92,98	Elastoméricos - L.R.B.	
El Centro, California (1940)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	11.120,00	349,00	96,86	11.120,00	387,50	96,52	Elastoméricos - L.R.B.	
			Min	-9.577,00	-390,40	95,92	-9.577,00	-466,10	95,13	Elastoméricos - L.R.B.	
Sylmar, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	30.870,00	4.040,00	86,91	30.870,00	5.366,00	82,62	Elastoméricos - L.R.B.	
			Min	-16.640,00	-3.722,00	77,63	-16.640,00	-6.298,00	62,15	Elastoméricos - L.R.B.	
Newhall, California (1994) [Northridge]	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	28.910,00	34.810,00	-20,41	28.910,00	41.840,00	-44,73	Ninguno, aislación ineficiente	
			Min	-29.810,00	-26.950,00	9,59	-29.810,00	-29.870,00	-0,20	Elastoméricos - L.R.B.	
San Fernando, California (1971)	Respuesta en 1-1 = E-O = X-X	Sismo en dirección E-O = X-X	Max	-	-	-	-	-	-	-	
			Min	-	-	-	-	-	-	-	
	Respuesta en 2-2 = N-S = Y-Y	Sismo en dirección N-S = Y-Y	Max	6.868,00	14.440,00	-110,25	6.868,00	13.620,00	-98,31	Ninguno, aislación ineficiente	
			Min	-6.749,00	-13.920,00	-106,25	-6.749,00	-14.130,00	-109,36	Ninguno, aislación ineficiente	

Tabla 9.8: Comparación y resultados finales – Cortes basales en Y-Y



CAPÍTULO X: AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, se agradece al apoyo brindado por las autoridades de la Facultad Regional de Mendoza de la UTN en el desarrollo del proyecto, en especial al Dr. Ing. Miguel E. Tornello, Dr. Ing. Gustavo Gioacchini y el Dr. Ing. Juan Pablo Cordone. Como así también a los integrantes de la cátedra: Ing. Pablo Martín, Ing. Gustavo Castro e Ing. Helvio Grili.

A las autoridades del Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, del Departamento de Ingeniería Civil y de la Facultad Regional Mendoza, por el apoyo y la provisión del marco necesario para el desarrollo de este proyecto.

También agradecer a todos los profesores que durante esta larga etapa nos aportaron su grano de arena para formarnos como profesionales.

Por último, queremos agradecer a todos nuestros familiares y amigos por la paciencia que nos tuvieron y por acompañarnos durante este hermoso trayecto.



ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I:

Figura 1.1: Elementos asociados a las placas tectónicas: 1-Astenosfera; 2-Litosfera; 3-Punto caliente; 4-Corteza oceánica; 5-Plano de subducción; 6-Corteza continental y orogénesis; 7-Rift continental (inicio de la apertura de un nuevo océano); 8-Borde convergente; 9-Borde divergente; 10-Borde transformante; 11-Volcán en escudo; 12-Dorsal oceánica; 13-Borde convergente; 14-Estratovolcán; 15-Arco-isla; 16-Placa; 17-Astenosfera; 18-Fosa oceánica.	5
Figura 1.2: Las 14 placas tectónicas mayores	6
Figura 1.3: Cinturón de Fuego del Pacífico	6
Figura 1.4: Anatomía de un terremoto	7
Figura 1.5: Tipos de ondas sísmicas	8
Figura 1.6: Acelerograma en donde se distinguen los tipos de ondas	8
Figura 1.7: Modelo de esferas que representa las distintas magnitudes en escala de Richter en cuanto energía liberada en un sismo. Comparación de magnitudes con bombas atómicas equivalentes.	9
Figura 1.8: Aceleración del terreno - Sismo en El Centro	10
Figura 1.9: Respuesta de deformación de tres sistemas de 1 GDL con amortiguamiento del 2% y periodo natural $T_n=0,5, 1$ y 2 segundos - Sismo en El Centro	10
Figura 1.10: Mapa de zonificación sísmica de Argentina.....	12
Figura 1.11: Mapa de sismicidad de Argentina.....	13
Figura 1.12: Epicentro de los terremotos destructivos en Argentina (1692 - 2015)	14
Figura 1.13: Actividad sísmica en nuestra región debido a los efectos de la subducción de la Placa de Nazca en la Placa Sudamericana	15
Figura 1.14: Determinación de la velocidad de onda de corte (IC-103)	16
Figura 1.15: Espectro de diseño elástico (IC-103).....	19
Figura 1.16: Espectro de diseño elástico de pseudo-aceleraciones según IC-103	22
Figura 1.17: Espectro de diseño elástico de pseudo-velocidades según IC-103.....	24
Figura 1.18: Espectro de diseño elástico de pseudo-velocidades según IC-103.....	25
Figura 1.19: Comparación de respuesta sísmica de edificio sin aislación y edificio con aislamiento basal	28
Figura 1.20: Comparación de edificio sin disipadores y edificio con disipadores de energía.....	28
Figura 1.21: Grados de libertad en un cuerpo sometido a vibraciones.....	30
Figura 1.22: Fases del movimiento: (a) contacto total; (b) deslizamiento; (c) balanceo; (d) balanceo deslizante.	30
Figura 1.23: Fuerzas que actúan sobre un cuerpo rígido: (a) durante un movimiento de deslizamiento; (b) durante (deslizamiento) balanceo alrededor de la esquina 1; (c) durante el balanceo (deslizante) donde la esquina izquierda del cuerpo está fuera de la base oscilante.	30
Figura 1.24: Comparación de respuesta sísmica de estructura sin aislación y con aislación de base.....	31
Figura 1.25: Modelado de los sistemas de aislamiento de piso	32
Figura 1.26: Partes del sistema de aislación de pisos	33
Figura 1.27: Diferentes tipos de Sistemas de aislamiento modular	33
Figura 1.28: Reducción de la respuesta espectral con el uso de este sistema	34
Figura 1.29: Aisladores elastoméricos y sus partes	35
Figura 1.30: Tipos de aisladores de péndulo de fricción	36



CAPÍTULO II:

Figura 2.1: Planimetría del proyecto.....	38
Figura 2.2: Ubicación de la ampliación (Google Maps).....	39
Figura 2.3: Plano de planta de PB de la ampliación	40
Figura 2.4: Plano de planta de PA de la ampliación.....	41
Figura 2.5: (a), (b), (c): Vistas 2D y 3D de la ampliación junto a edificio existente de FUESMEN.....	42
Figura 2.6: Vista/corte aérea 3D identificando la ubicación de la estructura de interés	43
Figura 2.7: Corte longitudinal pasante por la estructura de interés.....	43
Figura 2.8: Vistas aéreas 3D con los sistemas de acondicionamiento de aire que se ubicarán en las losas/cubiertas de PB y PA, identificando la ubicación de la estructura de interés	44
Figura 2.16: Planta estructural de fundaciones del bunker y laberinto.....	445
Figura 2.17: Planta estructural de techo del bunker y laberinto.....	46
Figura 2.11: Corte estructural longitudinal.....	47
Figura 2.12: Corte estructural transversal	48
Figura 2.13: Referencias de plantas y cortes estructurales	48
Figura 2.14: Detalle de armado de tabiques.....	49
Figura 2.15: Detalle de armado de pozos de fundación	49

CAPÍTULO V:

Figura 5.1: Ciclotrón Cyclone 11. Sistema móvil de protección plomada para radiación.....	63
Figura 5.2: Campo magnético que acelera las partículas	64
Figura 5.3: Esquema de componentes y distribución espacial.....	65
Figura 5.4: Desempeño del blindaje completo (plomo + hormigón + aire + parafina + GT)	68
Figura 5.5: Carcasa cerrada – Carcasa abierta	69

CAPÍTULO VI:

Figura 6.1: Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB) y sus partes	72
Figura 6.2: Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y sus partes	72
Figura 6.3: Constitutiva no lineal del aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).....	73
Figura 6.4: Aislador elastomérico con superficie deslizante y sus partes.....	74
Figura 6.5: Sistema de péndulo de fricción (Christopoulos y Filiatrault, 2006).....	74
Figura 6.6: Ciclos de histéresis experimental de un FPS (Christopoulos y Filiatrault, 2006)	75
Figura 6.7: Sección transversal de un aislador de péndulo simple (Morgan y Mahin, 2011).....	76
Figura 6.8: Constitutiva de un aislador de péndulo simple (Christopoulos y Filiatrault, 2006).....	76
Figura 6.9: Sección transversal de un aislador de doble péndulo de fricción (Fenz y Constantinou, 2006)	77
Figura 6.10: Constitutiva del aislador de doble péndulo (Morgan y Mahin, 2011).....	77
Figura 6.11: Esquema de péndulos de un aislador triple (Earthquake Protection Systems, Inc.)	79
Figura 6.12: Sección transversal de un aislador de triple péndulo de fricción (Fenz y Constantinou, 2008a)	80
Figura 6.13: Constitutiva del aislador de triple péndulo (Fadi y Constantinou, 2010)	82

CAPÍTULO VII:

Figura 7.1: Esquema aislador con diámetros de interés.....	91
Figura 7.2: Constitutiva no lineal del aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).....	92
Figura 7.3: Variación del coeficiente de fricción en función de la velocidad.....	98
Figura 7.4: Ley constitutiva de un aislador FPS.....	99



CAPÍTULO VIII:

Figura 8.1: Definición de grilla para modelado de estructura en SAP2000	103
Figura 8.2: Definición de materiales para modelado de estructura	103
Figura 8.3: Definición de secciones de vigas, columnas y fustes de estructura	104
Figura 8.4: Definición de secciones de losas de estructura	104
Figura 8.5: Definición de secciones de tabiques de estructura	105
Figura 8.6: Disposición de elementos barra en grilla del modelo.....	105
Figura 8.7: Disposición de elementos placa en grilla del modelo.....	106
Figura 8.8: Discretización y mallado de elementos estructurales	107
Figura 8.9: Definición y aplicación de diafragmas rígidos sobre losas.....	108
Figura 8.10: Definición de propiedades de aisladores elastoméricos en SAP2000	109
Figura 8.11: Definición de propiedades de aisladores friccionales en SAP2000	110
Figura 8.12: Aplicación de empotramientos en base de búnker de base fija.....	110
Figura 8.13: Ubicación de aisladores elastoméricos entre fustes y losa de base de búnker.....	111
Figura 8.14: Ubicación de aisladores friccionales entre fustes y losa de base de búnker	111
Figura 8.15: Definición de estados simples de cargas	111
Figura 8.16: Definición de peso sísmico.....	112
Figura 8.17: Registros sísmicos en dirección X-X a utilizar para análisis.....	113
Figura 8.18: Registros sísmicos en dirección Y-Y a utilizar para análisis.....	113
Figura 8.19: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Cauçete, 1977	113
Figura 8.20: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Coalinga, 1983	114
Figura 8.21: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de El Centro, 1940	114
Figura 8.22: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de K�be, 1995	114
Figura 8.23: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Las Heras, 1985.....	115
Figura 8.24: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Newhall [Northbridge], 1994.....	115
Figura 8.25: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Valle de San Fernando, 1971	115
Figura 8.26: Definición de funciones tiempo-historia para sismo de Sylmar [Northbridge], 1994	116
Figura 8.27: Definición de parámetros para acción sísmica de Las Heras, 1985	117
Figura 8.28: Definición de parámetros para acción sísmica de Cauçete, 1977	117
Figura 8.29: Definición de parámetros para acción sísmica de K�be, 1995	118
Figura 8.30: Definición de parámetros para acción sísmica de Coalinga, 1983.....	118
Figura 8.31: Definición de parámetros para acción sísmica de El Centro, 1940.....	119
Figura 8.32: Definición de parámetros para acción sísmica de Sylmar [Northbridge], 1994	119
Figura 8.33: Definición de parámetros para acción sísmica de Newhall [Northbridge], 1994	120
Figura 8.34: Definición de parámetros para acción sísmica de Valle de San Fernando , 1971	120
Figura 8.35: Lista de acciones consideradas en el modelo de SAP2000	121
Figura 8.36: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Cauçete en X-X	125
Figura 8.37: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Coalinga en X-X	126
Figura 8.38: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de El Centro en X-X.....	127
Figura 8.39: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de K�be en X-X.....	128
Figura 8.40: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Las Heras en X-X.....	129
Figura 8.41: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Newhall en X-X.....	130
Figura 8.42: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X	131
Figura 8.43: Desplazamientos relativos en X-X para sismo de Sylmar en X-X	132
Figura 8.44: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Cauçete en Y-Y.....	133
Figura 8.45: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y.....	134



Figura 8.46: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y	135
Figura 8.47: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Köbe en Y-Y.....	136
Figura 8.48: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y	137
Figura 8.49: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y.....	138
Figura 8.50: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y.....	139
Figura 8.51: Desplazamientos relativos en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y.....	140
Figura 8.52: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Caucete en X-X.....	144
Figura 8.53: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Coalinga en X-X.....	145
Figura 8.54: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de El Centro en X-X.....	146
Figura 8.55: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Köbe en X-X.....	147
Figura 8.56: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Las Heras en X-X	148
Figura 8.57: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Newhall en X-X.....	149
Figura 8.58: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X.....	150
Figura 8.59: Aceleraciones absolutas en X-X para sismo de Sylmar en X-X.....	151
Figura 8.60: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Caucete en Y-Y	152
Figura 8.61: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y	153
Figura 8.62: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y.....	154
Figura 8.63: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Köbe en Y-Y	155
Figura 8.64: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y	156
Figura 8.65: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y	157
Figura 8.66: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y	158
Figura 8.67: Aceleraciones absolutas en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y	159
Figura 8.68: Cortes basales en X-X para sismo de Caucete en X-X	162
Figura 8.69: Cortes basales en X-X para sismo de Coalinga en X-X.....	163
Figura 8.70: Cortes basales en X-X para sismo de El Centro en X-X.....	164
Figura 8.71: Cortes basales en X-X para sismo de Köbe en X-X	165
Figura 8.72: Cortes basales en X-X para sismo de Las Heras en X-X.....	166
Figura 8.73: Cortes basales en X-X para sismo de Newhall en X-X	167
Figura 8.74: Cortes basales en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X	168
Figura 8.75: Cortes basales en X-X para sismo de Sylmar en X-X	169
Figura 8.76: Cortes basales en Y-Y para sismo de Caucete en Y-Y.....	170
Figura 8.77: Cortes basales en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y	171
Figura 8.78: Cortes basales en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y	172
Figura 8.78: Cortes basales en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y	173
Figura 8.79: Cortes basales en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y.....	174
Figura 8.80: Cortes basales en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y.....	175
Figura 8.81: Cortes basales en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y.....	176
Figura 8.82: Cortes basales en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y.....	177
Figura 8.83: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Caucete en X-X.....	178
Figura 8.84: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Coalinga en X-X.....	179
Figura 8.85: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de El Centro en X-X....	180
Figura 8.86: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Köbe en X-X	181
Figura 8.87: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Las Heras en X-X ...	182
Figura 8.88: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Newhall en X-X	183
Figura 8.89: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Valle de San Fernando en X-X	184
Figura 8.90: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en X-X para sismo de Sylmar en X-X.....	185
Figura 8.91: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Caucete en Y-Y	186
Figura 8.92: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Coalinga en Y-Y	187



Figura 8.93: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de El Centro en Y-Y	188
Figura 8.94: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Köbe en Y-Y	189
Figura 8.95: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Las Heras en Y-Y.....	190
Figura 8.96: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Newhall en Y-Y	191
Figura 8.97: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Valle de San Fernando en Y-Y.....	192
Figura 8.98: Espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones en Y-Y para sismo de Sylmar en Y-Y	193
Figura 8.99: Modo 1, 2, 3 y 4 de vibración de los 3 búnker	194



ÍNDICE DE FOTOS

CAPÍTULO I:

Foto 1.1: Acelerógrafo de última generación y base de datos que almacena los registros mencionados emplazados en el CeReDeTec - UTN FRM.....	9
Foto 1.2: Piso aislado a escala completa con foso sísmico	32
Foto 1.3: Instalación de un piso aislado de 16.000 pies cuadrados en la instalación de investigación y teoría computacional de UC Berkeley.....	32
Foto 1.4: Sistema de aislamiento modular en Costa Rica. Se comportó de manera excepcional frente a un terremoto magnitud 7.6 en 2012	33
Foto 1.5: Módulo de plataformas aisladas	34
Foto 1.6: Las plataformas usan baldosas de computadora de tamaño estándar.....	35
Foto 1.7: La plataforma aislada de 40 pies de largo alberga dos bancos de servidores y equipos de TI ...	35
Foto 1.8: Aisladores helicoidales. (a) Aislador de resortes utilizados en la residencia universitaria de la UTN-FRM	37

CAPÍTULO III:

Foto 3.1: Amortiguadores de fricción instalados.....	54
Foto 3.2: Amortiguadores de fricción ocultos en las paredes	54
Foto 3.3: Universidad De Laval	54
Foto 3.4: Amortiguadores de fricción sísmica con técnicas de mínima invasión	55
Foto 3.5: Frenos sísmicos en el hospital en los Rivieres de Trois	55
Foto 3.6: Amortiguadores de fricción sísmica en el hospital de Alma.....	55
Foto 3.7: Amortiguadores de fricción sísmica en el hospital de Sherbrooke	56
Foto 3.8: Amortiguadores de fricción sísmica en el hospital de Florencia	56
Foto 3.1: Residencia universitaria FRM-UTN.	57
Foto 3.2: Dispositivos de aislamiento y amortiguamiento colocados y en funcionamiento	57
Foto 3.3: Edificio de Histología y Embriología de la UNC.....	57

CAPÍTULO V:

Foto 5.1: Tomógrafo Discovery CT590/RT	60
Foto 5.2: Resonador Discovery MR750W	61
Foto 5.3: RX Precision 600FP.....	61
Foto 5.4: INNOVA IGS 520/530/540	62
Foto 5.5: Carcasa cerrada – Carcasa abierta.....	69

CAPÍTULO VI:

Foto 6.1: Componentes de un aislador de péndulo simple (Earthquake Protection Systems, Inc.)	76
Foto 6.2: Componentes de un aislador de péndulo doble (Morgan y Mahin, 2011)	77
Foto 6.3: Aislador de péndulo triple (Earthquake Protection Systems, Inc.).....	79
Foto 6.4: Deslizador principal del aislador triple (Earthquake Protection Systems, Inc.).....	79
Foto 6.5: Deslizador interno dentro del deslizador principal del aislador triple (Earthquake Protection Systems, Inc.).....	80



ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I:

Tabla 1.1: Zonificación sísmica de la República Argentina (Tabla 2.1 del IC-103).....	15
Tabla 1.2: Clasificación del sitio – Influencia del suelo (Tabla 2.2 del IC-103).....	16
Tabla 1.3: Grupos y factores de riesgo según el destino y función de la construcción	17
Tabla 1.4: Condiciones para la aplicación del método estático (Tabla 2.5 del IC-103)	17
Tabla 1.5: Condiciones de regularidad en planta (Tabla 2.3 IC-103)	18
Tabla 1.6: Condiciones de regularidad en altura (Tabla 2.4 IC-103).....	18
Tabla 1.7: Valores de a_s , C_a y C_v para las distintas zonas sísmicas y tipos espectrales (Tabla 3.1 IC-103) ..	19
Tabla 1.8: Valor del periodo T_3 (Tabla 3.2 IC-103)	20
Tabla 1.9: Valores de C_r y x para la determinación del periodo fundamental aproximado (Tabla 6.2 IC-103)	26
Tabla 1.10: Valores de C_r y x para la determinación del periodo fundamental aproximado	27

CAPÍTULO II:

Tabla 2.1: Tablas de dimensionado de elementos estructurales del bunker y laberinto (vigas, tabiques y pilares de fundación).....	49
Tabla 2.2: Tablas de análisis de carga, combinaciones de carga, cálculo de fuerza sísmica y momentos torsores, y distribución de fuerza sísmica	53

CAPÍTULO V:

Tabla 5.1: Rendimientos de producción típicos del Ciclone 11 - Isótopos PET	64
Tabla 5.2: Componentes y dimensiones del equipo	67
Tabla 5.3: Componentes y dimensiones del equipo	67

CAPÍTULO VI:

Tabla 6.1: Resumen de los regímenes de deslizamiento de los aisladores de triple péndulo (Fenz y Constantinou, 2008c)	81
--	----

CAPÍTULO VII:

Tabla 7.1: Características Mecánicas de los Elastómeros.....	84
Tabla 7.2: Características Mecánicas de los Elastómeros (Tabla 2 NCh2745)	88
Tabla 7.3: Z en función de la zona sísmica, adaptándose a Mendoza (Tabla 5 NCh2745)	88
Tabla 7.4: Factor de amplificación para el sismo máximo posible (probabilidad de excedencia del PGA igual a 10 % en 100 años) (Tabla 3 NCh2745)	88
Tabla 7.5: Resumen de resultados obtenidos para aislador elastomérico.....	90
Tabla 7.6: Resumen de resultados obtenidos para aislador elastomérico con núcleo de plomo	97
Tabla 7.7: Propiedades mecánicas de aisladores FPS de teflón y de teflón con bronce	98
Tabla 7.8: Tabla resumen de parámetros necesarios para el dimensionamiento de los aisladores.....	101
Tabla 7.9: Resultados del proceso de iteración y resultados finales	101
Tabla 7.10: Parámetros de SAP2000.....	102



CAPÍTULO VIII:

Tabla 8.1: Desplazamientos relativos a nivel de base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones	122
Tabla 8.2: Desplazamientos relativos a nivel de techo para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones	123
Tabla 8.3: Diferencia de desplazamientos relativos entre nivel de techo y base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones	124
Tabla 8.4: Aceleraciones absolutas a nivel de base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones	141
Tabla 8.5: Aceleraciones absolutas a nivel de techo para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones	142
Tabla 8.6: Diferencia de aceleraciones absolutas entre nivel de techo y base para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones	143
Tabla 8.7: Desplazamientos relativos en aisladores para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones	160
Tabla 8.8: Cortes basales para los 8 sismos y sus combinaciones de direcciones.....	161
Tabla 8.9: Análisis Modal para los 3 búnker	194

CAPÍTULO VIII:

Tabla 9.1: Comparación y resultados finales – Desplazamientos relativos a nivel de techo en X-X	196
Tabla 9.2: Comparación y resultados finales – Desplazamientos relativos a nivel de techo en Y-Y	197
Tabla 9.3: Comparación y resultados finales – Aceleraciones absolutas a nivel de base en X-X	198
Tabla 9.4: Comparación y resultados finales – Aceleraciones absolutas a nivel de base en Y-Y.....	199
Tabla 9.5: Comparación y resultados finales – Aceleraciones absolutas a nivel de techo en X-X.....	200
Tabla 9.6: Comparación y resultados finales – Aceleraciones absolutas a nivel de techo en Y-Y	201
Tabla 9.7: Comparación y resultados finales – Cortes basales en X-X.....	202
Tabla 9.8: Comparación y resultados finales – Cortes basales en Y-Y	203



REFERENCIAS PARA CONTENIDOS

- Libro “Dinámica de Estructuras” – 4ta ed. – Autor: Anil K. Chopra (Libro de cabecera para la totalidad del desarrollo del capítulo I)
- Apuntes de Dinámica Estructural – Sistemas de 1GDL y NGDL - UTN-FRM. Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Carlos Frau
- Apuntes de Cimentaciones – Dinámica de Cimentaciones. Autor: Ing. Pablo Martin
- Apuntes de Análisis Estructural I. Autor: Ing. Gustavo Palazzo
- Libro de Análisis Estructural I. Autor: Ing. Carlos Segerer
- Apuntes de Doctorado en Aislación Sísmica – UTN-FRM. Autor: Ing. Miguel Tornello
- Tesis doctoral – Aislación sísmica de recipientes de residuos peligrosos. Autor: Ing. Juan Pablo Cordone
- Tesis doctoral – Diseño de aislador sísmico elastomérico. Autor: Ing. Gustavo Gioacchini
- Revista Internacional “Experiencias sobre aislamiento sísmico en Mendoza, Argentina. Diseño, modelación y construcción”. Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Carlos Frau.
- Revista Internacional “Resultados instrumentales obtenidos para el edificio aislado de la UTN. Eficiente de los modelos numéricos para predecir las respuestas sísmicas” .Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Carlos Frau - Ing. Roberto Aguiar - Ing. Gustavo Fozzatti.
- Asociación argentina de Mecánica Computacional - Mecánica Computacional - Vol. XXVIII, págs. 299-325 (2009) - "Modelo propuesto para el análisis sísmico de estructuras con aisladores de base tipo resorte". Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Roberto Aguiar
- Código INPRES-CIRSOC 103 – 2018
- Norma Chilena NCh2745
- <http://www.dis-inc.com/>
- <https://www.inpres.gob.ar/>
- <https://www.argentina.gob.ar/sinagir/riesgos-frecuentes/sismos>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Cintur%C3%B3n_de_Fuego_del_Pac%C3%ADfico
- https://es.wikipedia.org/wiki/Placa_tect%C3%B3nica
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto>
- <https://www.unocero.com/noticias/como-se-miden-los-sismos-y-cuanta-energia-liberan/#:~:text=Cuando%20ocurre%20un%20movimiento%20tel%C3%BArico,en%20forma%20de%20ondas%20s%C3%ADsmicas.&text=En%20general%20se%20va%20multiplicando,punto%20en%20la%20escala%20Richter.>
- <https://www.sitioandino.com.ar/n/149843-quien-estudia-los-movimientos-sismicos-en-mendoza/>
- [https://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1/#:~:text=Una%20aceleraci%C3%B3n%20m%C3%A1xima%20mayor%20no,\(11%20m%2Fs%C2%B2\).](https://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1/#:~:text=Una%20aceleraci%C3%B3n%20m%C3%A1xima%20mayor%20no,(11%20m%2Fs%C2%B2).)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_libertad_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_libertad_(f%C3%ADsica))
- <https://www.inesa-tech.com/blog/estudio-placas-formulacion-timoshenko>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Resonancia>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Delta_de_Dirac#cite_note-1
- <https://www.youtube.com/watch?v=HuxHFV6iuqc> (Delta de Dirac)
- <https://www.fcdn.org.ar/laboratorio-de-radiofarmacia/>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Radiof%C3%A1rmaco>
- <https://www.cun.es/enfermedades-tratamientos/pruebas-diagnosticas/diagnostico-radiofarmacos>
- <https://www.quaketek.com/es/disipadores-sismicos-disipadores-a-friccion/>
- <https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/amortiguadores-de-friccion/>
- <https://www.taylordevices.com/es/products/fluid-viscous-dampers/>
- <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/269/258>
- <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1692/2/T-ESPE-021748-1.pdf>



REFERENCIAS PARA FOTOS, FIGURAS Y TABLAS

- Libro “Dinámica de Estructuras” – 4ta ed. – Autor: Anil K. Chopra (Libro de cabecera para la totalidad del desarrollo del capítulo I)
- Apuntes de Dinámica Estructural – Sistemas de 1GDL y NGDL - UTN-FRM. Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Carlos Frau
- Apuntes de Cimentaciones – Dinámica de Cimentaciones. Autor: Ing. Pablo Martin
- Apuntes de Análisis Estructural I. Autor: Ing. Gustavo Palazzo
- Libro de Análisis Estructural I. Autor: Ing. Carlos Segerer
- Apuntes de Doctorado en Aislación Sísmica – UTN-FRM. Autor: Ing. Miguel Tornello
- Tesis doctoral – Aislación sísmica de recipientes de residuos peligrosos. Autor: Ing. Juan Pablo Cordone
- Tesis doctoral – Diseño de aislador sísmico elastomérico. Autor: Ing. Gustavo Gioacchini
- Revista Internacional “Experiencias sobre aislamiento sísmico en Mendoza, Argentina. Diseño, modelación y construcción”. Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Carlos Frau.
- Revista Internacional “Resultados instrumentales obtenidos para el edificio aislado de la UTN. Eficiente de los modelos numéricos para predecir las respuestas sísmicas” .Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Carlos Frau - Ing. Roberto Aguiar - Ing. Gustavo Fozzatti.
- Asociación argentina de Mecánica Computacional - Mecánica Computacional - Vol. XXVIII, págs. 299-325 (2009) - "Modelo propuesto para el análisis sísmico de estructuras con aisladores de base tipo resorte". Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Roberto Aguiar
- Asociación argentina de Mecánica Computacional - Mecánica Computacional - Vol. XXXIV, págs. 1423-1441 (2016) - "Comportamiento de aisladores elastoméricos de baja carga axial bajo acciones verticales y horizontales cíclicas". Autores: Ing. Miguel Tornello - Ing. Gustavo Gioacchini - Ing. Juan Pablo Cordone - Ing. Carlos Frau
- Código INPRES-CIRSOC 103 – 2018
- Norma Chilena NCh2745
- <http://www.dis-inc.com/>
- <http://evelynlov.weebly.com/presentaciones-e-imaacutegenes-de-ayuda.html>
- <http://fundamentosdemaquinaswmn.blogspot.com/2010/07/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Seis_grados_de_libertad
- <https://dademuch.com/2019/04/07/ejercicio-de-diagrama-de-bloques-a-partir-de-la-transformada-de-laplace-de-un-sistema-masa-resorte-amortiguador/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_vigas_de_Timoshenko
- https://www.youtube.com/watch?v=hX_n1-zfe0Q
- <https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustraci%C3%B3n-serie-y-circuitos-paralelos-image67662763>
- <https://www.bombascentrifugas.net/p/bombas-en-serie-y-paralelo.html>
- <https://fdocumentos.tips/document/la-resiliencia-elastica-unitaria.html>
- <https://www.areatecnologia.com/materiales/resiliencia-materiales.html>
- <http://www.ashm.mx/blog/partes-de-los-cilindros-hidraulicos/>
- <https://curiosoando.com/friccion-estatica>
- <https://es.materials4me.com/conocimiento-ideas/guia-de-materiales/proceso-de-union-con-soldadura/>
- <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/uniones-y-conexiones>
- <https://anclaf.com/las-fisuras-en-las-estructuras-de-concreto-reforzado/>
- <https://civilgeeks.com/2014/01/19/comportamiento-y-diseno-de-nudos-de-concreto-armado/>
- http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2008000200004
- <http://www.nuyuntek.cl/producto/disipador-friccional/>
- <http://www.disipaing.com/fps/>
- <http://www.nuyuntek.cl/producto/amortiguador-o-disipador-viscoso/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=HuxHFV6iuqc> (Delta de Dirac)
- https://www.researchgate.net/figure/Phases-of-motion-a-full-contact-b-sliding-c-rocking-d-slide-rocking_fig1_334808442



- https://www.researchgate.net/figure/Forces-acting-on-rigid-body-a-during-a-sliding-motion-b-during-slide-rocking_fig3_334808442
- <https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/amortiguadores-de-friccion/>
- <https://www.quaketek.com/es/disipadores-sismicos-disipadores-a-friccion/>
- https://www.instagram.com/p/BjuRDm2HQDe/?utm_medium=copy_link
- <https://www.taylordevices.com/es/products/fluid-viscous-dampers/>
- <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/269/258>
- <https://atomcllc.com/taipei-101-ascensores-mas-veloces-del-mundo/>
- <https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/el-poder-del-pendolo-amortiguador-de-masa-sintonizado/>
- <https://twitter.com/noticiascdt/status/1068207991034388480?lang=fi>
- <https://lahora.com.ec/noticia/1101941055/lo-queda-be-saber-de-la-gran-placa-denazca>
- <https://www.ingecivil.net/2018/08/13/funcionan-los-aisladores-sismicos/>
- <http://www.sismica.cl/?portfolio=aisladores-elastomericos-si>
- <https://es.slideshare.net/kevinorlandogalindoantezana/aislamientosismicoestructura-argentina>