

PROCESO DE ANALISIS Y DISEÑO UTILIZANDO DISIPADORES SISMICOS TIPO SLB

EJEMPLOS DE APLICACION

Versión 14-01-2016

Gustavo Gaxiola, Helbert Gonzales y Luis Bozzo

Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L.

Consultas:

info.postensa@gmail.com (Perú)

mexico@luisbozzo.com (México)

info@luisbozzo.com (España)



INDICE	Pág.
INTRODUCCION	4
<i>Ejemplo A. Uso de paneles disipativos – Caso Edificio Prefabricado (5 niveles)</i>	
ETAPA 1. CONSTRUCCION DEL MODELO BASE	5
A.1.1 Definiciones básicas. Materiales y Geometría de los elementos	5
A.1.2 Asignación de cargas	5
A.1.3 Diseño de la estructura por cargas gravitacionales	6
A.1.4 Revisión de periodos	7
ETAPA 2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE DISIPACION SISMICA	8
A.2.1 Modelado simplificado de los disipadores sísmicos para predimensionamiento	8
A.2.2 Definición de análisis dinámico modal espectral	11
A.2.3 Revisión de periodos	14
A.2.4 Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso	15
A.2.5 Revisión de cortante basal	17
A.2.6 Cálculo de fuerza cortante en dispositivos para su predimensionamiento	18
ETAPA 3.- DEFINIR CARACTERISTICAS NO LINEALES DE LOS DISIPADORES SHEAR LINK	20
A.3.1 Asignación de parámetros para disipadores con características del laboratorio	20
A.3.2 Definición de análisis no lineal tiempo historia	24
A.3.3 Revisión de periodos	29
A.3.4 Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso	29
A.3.5 Revisión de fuerza cortante en disipadores SL	31
A.3.6 Revisión de cortante basal	32
A.3.7 Disipación de energía	33

Ejemplo B. Uso de paneles disipativos Caso Urbania 23 niveles

Ejemplo C. Uso de diagonales metálicas Caso Nettalco

Ejemplo D. Por Definir

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

• INTRODUCCION

Se presenta una metodología paso a paso para el análisis y diseño sismorresistente de estructuras de concreto reforzado con la incorporación de dispositivos de protección sísmica tipo Shear Link, así como su modelado con software clásicos de diseño de estructuras ETABS y SAP200. Con la incorporación de estos dispositivos se busca unificar los campos de control moderno y diseño clásico de estructuras (Bozzo et. al 1999) mediante conexiones no lineales tipo *Shear Link Bozzo(SLB)*, fabricadas en el Perú por la empresa Postensa SAC. Estos dispositivos concentran las demandas de ductilidad en conexiones fabricadas industrialmente y con propiedades mecánicas definidas por lo que representan un avance al diseño clásico de estructuras basado en la ductilidad y hiperestatismo. Es decir, más que un determinado disipador o amortiguador la conexión SLB es una rótula plástica que el diseñador puede ubicar según su inventiva y conocimientos. En este sentido NO son de aplicación directa los códigos FEMA 356, FEMA 440, ASCE7 o el código Chileno, los cuales especifican, por ejemplo, que también los edificios sin disipadores deben de resistir el 75% del cortante basal. Dichas normativas se aplican para edificios diseñados con amortiguadores (NO conexiones o disipadores SLB) los cuales son sistemas reactivos a la velocidad de la estructura por lo que sus beneficios en la respuesta global requieren altas velocidades y empiezan, por tanto, a ser efectivos para unas deformaciones muy superiores a las requeridas por el sistema SLB (que empieza a proteger a la estructura a decimas de mm).

Este documento presenta 4 ejemplos de aplicación que hemos desarrollado desde el clásico sistema de diagonales Chevron a innovadores muros desacoplados discontinuos y muros acoplados con diagonales disipativas. Sin embargo, tal como se ha indicado es la inventiva y creatividad del diseñador de estructuras las que pueden expandir el uso y ubicación de estas conexiones no lineales.

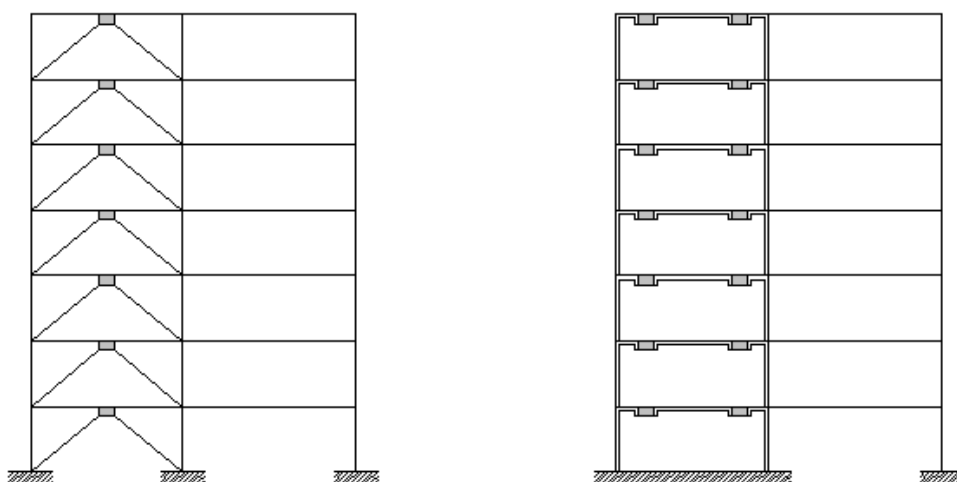
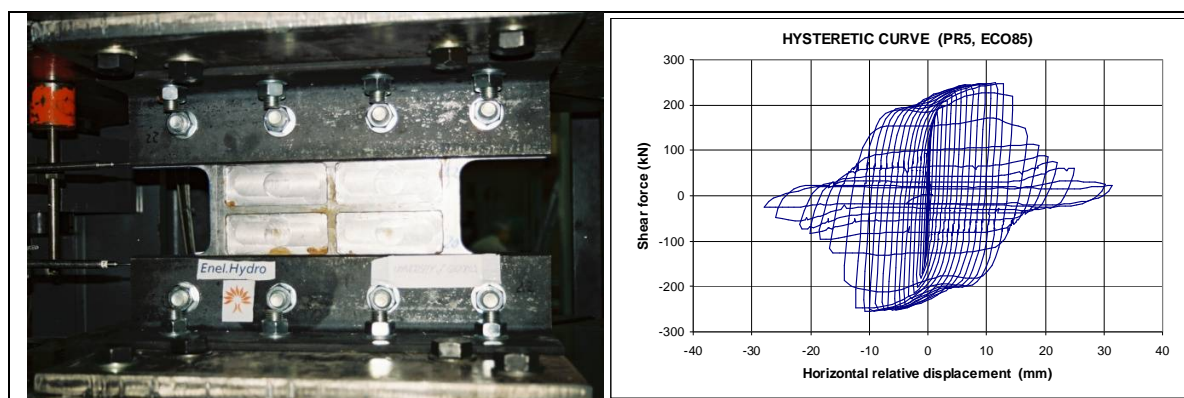


Figura 1. (a) Aplicación clásica con diagonales metálicas y disipadores (b) aplicación propuesta mediante muros desacoplados de concreto de solo 15cm con conexiones SLB los cuales no necesitan estar alineados verticalmente dado que la conexión no transfiera carga axial.

Las conexiones SLB han tenido cuatro etapas diferenciadas de desarrollo desde el año 1995. En la primera etapa se realizaron análisis puramente numéricos para determinar la eficiencia de dispositivos basados en la ductilidad. Posteriormente entre los años 1997 y 2000 se desarrolló un primer dispositivo pequeño para la protección de muros con el aporte de X. Cahis de usar el frezado o mecanizado para generar planos de menor rigidez (Cahis et al 2000). Este dispositivo de dimensiones de, aproximadamente, solo 200mmx250mm plastificaba a decimas de mm bajo fuerzas de solo 10kN y transfería un máximo de 40kN. Se ideó para la protección de muros de poca resistencia y de allí sus valores tan bajos de fuerza de inicio de plastificación. Este primer dispositivo se ensayó en la mesa vibratoria del laboratorio de ISMES (Italia) y demostró con mucho éxito que era posible diseñar estructuras con el nivel de fuerzas de un sistema flexible pero con el nivel de desplazamientos de un sistema rígido permitiendo el ideal sismorresistente. Posteriormente en el trabajo (Hurtado et. al 2008) se generalizaron 32 dispositivos variando sus dimensiones en planta y altura realizando una optimización cualitativa de su geometría, aportando tablas de diseño que básicas para determinar la información de entrada y definiciones de las propiedades mecánicas de los disipadores. Actualmente se fabrica por Postensa SAC en Perú disipadores de tercera generación, compactos y de mayor capacidad de disipación y flexibilidad a rotura lo cuales incluyen capas de neoprenos para su mejor protección.



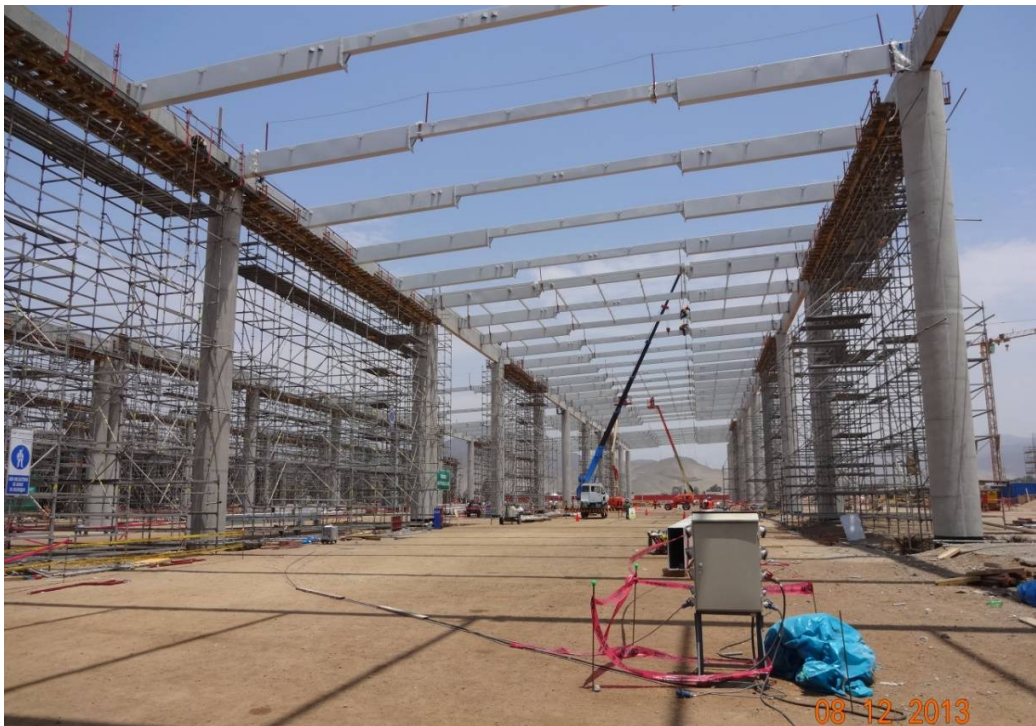
Fotografía ensayo ISMES, Italia, año 2002 y curva histerética resultante para SL30_2.

En la actualidad se han fabricado más de 800 dispositivos instalados en Lima, Acapulco, Santa Fe y Guadalajara. El primer edificio con este sistema se construyó en Lima en el año de 2003 y se denomina Casino Mubarak tal como se presentó en el Congreso Nacional de Iquitos en dicho año (ver Fotografía 1). Posteriormente se presentó al concurso para la rehabilitación del Aeropuerto Jorge Chavez de Lima demostrándose sus ventajas para corregir la muy elevada torsión del proyecto original ubicándose diagonales (que se pueden observar en la rampa de salida rumbo al embarque internacional) en la cara opuesta al núcleo de elevadores para compensarla, tal como se construyó aunque empleando otro sistema menos eficiente y caro pero fabricado en EU.



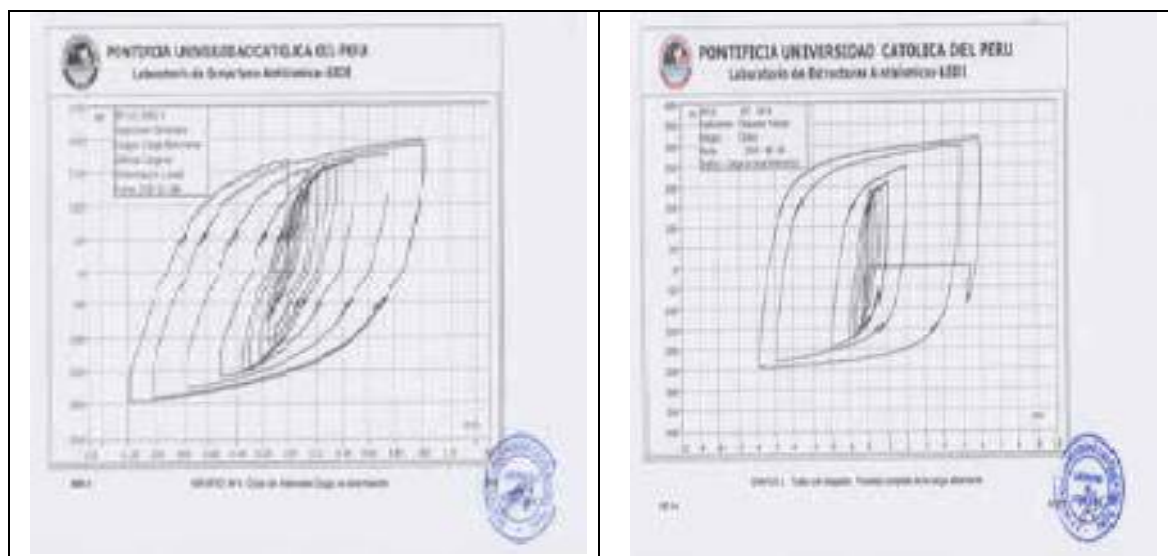
Fotografía 1. Primer edificio con disipadores de energía en Latinoamérica, Casino Mubarak, construido en Lima, Perú en el año 2003 con SLBs.

Posteriormente con el Dr. Alberto Ordoñez y con el objetivo de proporcionar ductilidad al nudo estructural se construyó (a nuestro conocimiento actual) el más grande edificio industrial que incorpora dispositivos de control en el mundo: la fábrica Lindley en Pucusana. En este caso los dispositivos se incorporan en diagonales que liberan al nodo de proporcionar ductilidad y proporcionan mayor redundancia al sistema, tal como ilustran las imágenes siguientes:



Fotografía 2. Fábrica Lindley construida en el año 2013 incorporando 256 unidades de dispositivos SLB para mejorar respuesta sísmica en nudo estructural. Cálculo Dr. Alberto Ordoñez.

Estos dispositivos se deben ensayar para calibrar las fuerzas de inicio de plastificación ajustándose los parámetros de diseño. Para la nave Lindley se ensayaron en el laboratorio de la Universidad Católica y se muestran a continuación curvas histeréticas:



Fotografía ensayo Laboratorio de la Universidad Católica del Perú de disipador para Fábrica Lindley. Abajo izquierda ensayo histerético del disipador y derecha ensayo del mismo disipador 9 meses después sometido nuevamente a plastificación. Según se observa su comportamiento en el segundo ensayo a plastificación es mejor que el primero dado que las curvas post fluencia son más aplanadas. Esto claramente refuta la afirmación habitual de fabricantes de sistemas reactivos a la velocidad (o amortiguadores propiamente dichos) de que estos dispositivos de plastificación se deben de cambiar después de cada sismo severo, lo cual es evidente NO es correcto. Posterior a un sismo severo solo amerita una inspección visual, como en cualquier estructura convencional.

Tal como se ha indicado se han fabricado más de 800 unidades de este dispositivo. A continuación se muestra la relación de proyectos ejecutados con disipadores SLB junto con el tipo de dispositivo y estructura global:

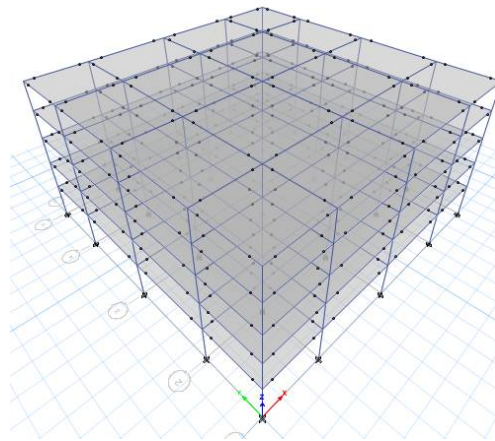
1	RELACION DE DISIPADORES SL BOZZO DISSIPATOR DESARROLLADOS Y VENDIDOS									
2										
3										
4	PAIS	PROYECTO	CLIENTE	TIPO	GEOMETRIA	ESTRUCTURA EDIFICACION	VENTANAS DISIPADORAS	TIPO	CANTIDAD	SUBTOTAL
6	PERU	CASINO MUBARAK-SAN BORJA	MUBARAK	Empernado	H	Concreto Armado	4		20	20
7	PERU	FABRICA EMBOTELLADORA LINDLEY-CHILCA	CORP LINDLEY	Inserto en Tubo	Rectangular	Metálica	2	SL-100-4	266	266
8	PERU	DEPARTAMENTO ODONTOLOGIA -USMP-ATE	APM	Inserto en Tubo	Rectangular	Metálica	2	SL-130-5	8	28
9							2	SL-340-7	8	
10							2	SL-240-45	8	
11							2	SL-130-3	2	
12							2	SL130-35	2	
13	PERU	EDIFICIO OFICINAS MONTERROSA-SURCO	SACCURA	Inserto en Tubo	Rectangular	Concreto Armado	2	SL-240-4,5	8	18
14							2	SL-340-7	10	
15	PERU	EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALTOS DEL OLIVAR-SAN ISIDRO	CONSTRUOTORA LEXSON	Inserto en Tubo	Rectangular	Concreto Armado	2	SL-330-6	9	42
16							2	SL-280-10	12	
17							2	SL160-6	21	
18	PERU	FABRICA TEXTIL VULCANO - ATE	JE CONSTRUCCIONES GENERALES	Empernado	H	Concreto Armado	4	SL-20-2	2	42
19							4	SL-25-2	6	
20							4	SL-25-3	3	
21							4	SL-30-2	9	
22							4	SL-30-3	5	
23							4	SL-30-4	1	
24							4	SL-40-2	9	
25							4	SL-40-3	4	
26							4	SL-40-4	2	
27							4	SL-50-3	1	
28										
29	MEXICO	TORRE PARADOX-MEXICO DF	Grupo Servicios Coordinados	Empernado	H	Concreto Armado	4	SL-40-3	5	118
30								SL-50-3	1	
31								SL-50-5	1	
32								SL-50-6	17	
33								SL-50-8	17	
34								SL-50-10	29	
35								SL-60-5	10	
36								SL-70-5	32	
37								SL-70-7	6	
38	MEXICO	EDIFICIO ACAPULCO - ACAPULCO	Grupo Servicios Coordinados	Inserto en Tubo	Rectangular	Concreto Armado	2	SL-390-6	20	20
39	MEXICO	EDIFICIO URBANIA - GUADALAJARA	Grupo Servicios coordinados	Empernado	H	Concreto Armado	4	SL-20-3	8	132
40								SL-25-3	12	
41								SL-25-4	40	
42								SL-30-5	36	
43								SL-50-4	20	
44								SL-50-5	16	
45	MEXICO	EDIFICIO IXTAPA - IXTAPA	Grupo Servicios Coordinados	Empernado	H	Concreto Armado	4	SL-70-5	18	94
46								SL-50-5	34	
47								SL-40-4	21	
48								SL-40-5	21	
49	ECUADOR	HOSPITAL	Roberto Aguilar	Empernado	H	Concreto Armado	4	6	23	23
51								3		
52								11		
53								3		
54										
55										803
56										

- **EJEMPLO A. USO DE PANELES DISIPATIVOS – CASO EDIFICIO PREFABRICADO 5 NIVELES**

Etapa 1. Construcción del modelo base

A.1.1 Definiciones básicas. Materiales y Geometría de los elementos

Construir la geometría de la estructura en el software de análisis (Etabs, SAP2000)



Para este caso se definieron columnas con dimensión 35cmx35cm y resistencia del concreto C40Mpa, para traveses se consideró dimensiones 30cmx65cm con concreto C35Mpa. (Articulados en sus extremos M22,M33 ya que se piensa fuera un elemento prefabricado). Se definió el sistema de piso como unidireccional de canto 35cm, orientado sobre el eje Y.

A.1.2 Asignación de cargas

Se asignaron cargas típicas para vivienda (2.5kN/m² + 2.0kN/m²) – (permanentes + uso)

Se diseñó la estructura bajo acciones de carga gravitacional, considerando las combinaciones del reglamento para concreto estructural ACI318-11

COMB (9-1) – 1.4DL

COMB (9-2) – 1.2DL + 1.6LL

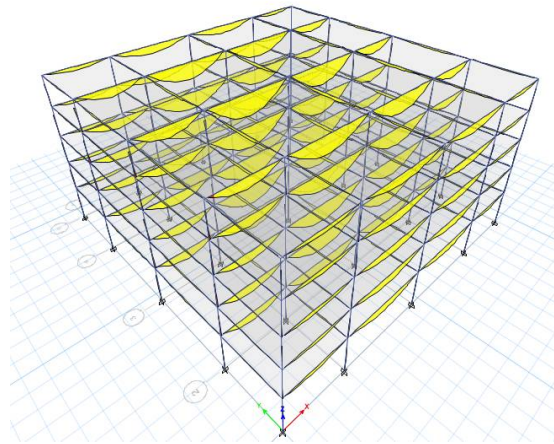


Figura 1. Estructura bajo cargas gravitacionales

A.1.3 Diseño de la estructura por cargas gravitacionales

	1	2	3	4	5	
	1.00%	1.62%	3.79%	1.62%	1.00%	
Base	0.08% 0.09% 0.05%	0.08% 0.17% 0.07%	0.07% 0.17% 0.08%	0.05% 0.09% 0.06%	0.08% 0.18% 0.07%	1.00%
Story1	0.00% 0.00% 0.00%	0.01% 0.00% 0.04%	0.04% 0.00% 0.01%	0.00% 0.00% 0.00%	0.00% 0.00% 0.00%	1.00%
Story2	0.05% 0.09% 0.06%	0.08% 0.18% 0.07%	0.07% 0.18% 0.08%	0.06% 0.09% 0.05%	0.08% 0.18% 0.07%	1.00%
Story3	0.00% 0.00% 0.00%	0.02% 0.00% 0.03%	0.03% 0.00% 0.02%	0.00% 0.00% 0.00%	0.04% 0.09% 0.06%	1.00%
Story4	0.00% 0.00% 0.00%	0.02% 0.00% 0.03%	0.03% 0.00% 0.02%	0.00% 0.00% 0.00%	0.06% 0.10% 0.06%	1.00%
Story5	0.06% 0.10% 0.05%	0.09% 0.18% 0.07%	0.07% 0.18% 0.09%	0.05% 0.10% 0.06%	0.00% 0.00% 0.00%	1.00%
	0.00% 0.00% 0.00%	1.318E-03% 0.00% 0.03%	0.03% 0.00% 1.302E-03%	0.00% 0.00% 0.00%	0.00% 0.00% 0.00%	

Figura 2. Diseño de las columnas (expresado en % de acero requerido)

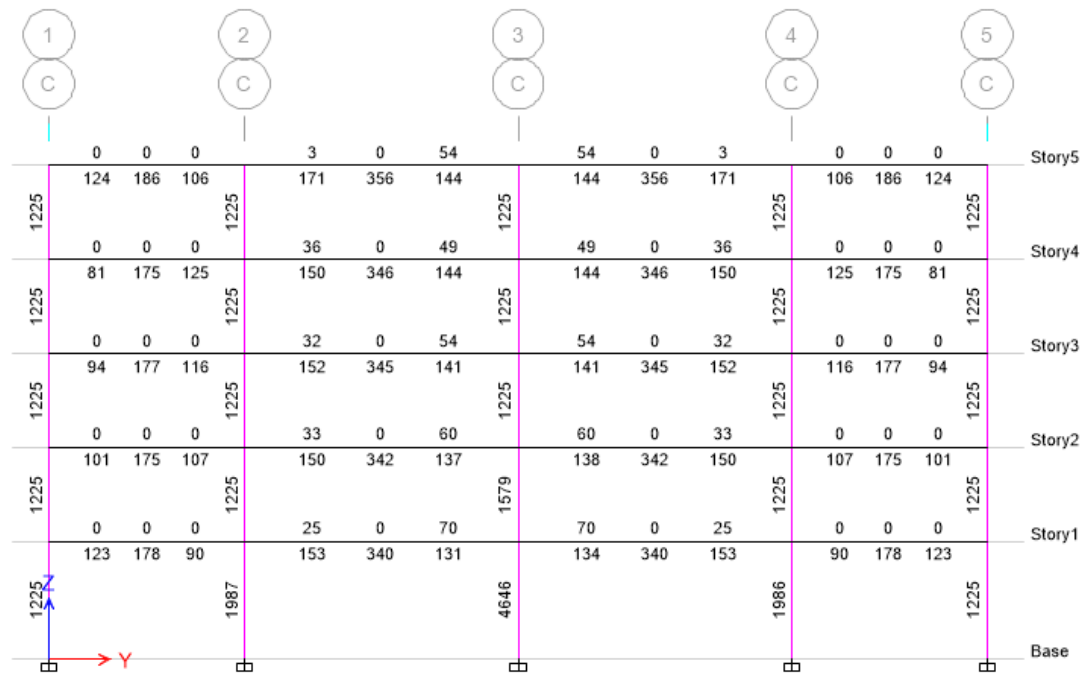


Figura 3. Diseño de las traves (expresado en mm² de acero requerido)

A.1.4 Revisión de periodos

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		sec												
Modal	1	2.258	0.792	0.000	0.000	0.792	0.000	0.000	0.000	0.207	0.000	0.000	0.207	0.000
Modal	2	1.025	0.000	0.084	0.000	0.792	0.084	0.000	0.011	0.000	0.779	0.011	0.207	0.779
Modal	3	0.958	0.000	0.806	0.000	0.792	0.890	0.000	0.095	0.000	0.083	0.106	0.207	0.862
Modal	4	0.603	0.137	0.000	0.000	0.930	0.890	0.000	0.000	0.567	0.000	0.106	0.774	0.862
Modal	5	0.321	0.000	0.018	0.000	0.930	0.908	0.000	0.163	0.000	0.077	0.269	0.774	0.938
Modal	6	0.306	0.000	0.065	0.000	0.930	0.973	0.000	0.630	0.000	0.019	0.900	0.774	0.958
Modal	7	0.263	0.049	0.000	0.000	0.979	0.973	0.000	0.000	0.145	0.000	0.900	0.919	0.958
Modal	8	0.175	0.000	0.018	0.000	0.979	0.991	0.000	0.050	0.000	0.004	0.950	0.919	0.962
Modal	9	0.168	0.000	0.002	0.000	0.979	0.993	0.000	0.006	0.000	0.026	0.956	0.919	0.988
Modal	10	0.146	0.017	0.000	0.000	0.996	0.993	0.000	0.000	0.067	0.000	0.956	0.986	0.988
Modal	11	0.119	0.000	0.006	0.000	0.996	0.999	0.000	0.040	0.000	0.000	0.996	0.986	0.988
Modal	12	0.107	0.000	0.000	0.000	0.996	0.999	0.000	0.000	0.000	0.010	0.996	0.986	0.998

Figura 4. Revisión de los modos de vibración de la estructura

Periodos Fundamentales:

T_x=2.258s - Traslacional

T_y=1.025s - Rotacional

$T_z=0.958s$ – Traslacional

ETAPA 2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE DISIPACION SISMICA

A.2.1 Modelado simplificado de los disipadores sísmicos para predimensionamiento

Se realiza un análisis dinámico modal convencional agregando los muros disipativos ($e=15cm$) considerando 2 disipadores sísmicos por cada panel. Para este ejercicio se agregaran los paneles de concreto $e=15cm$ en escuadra por las 4 esquinas.

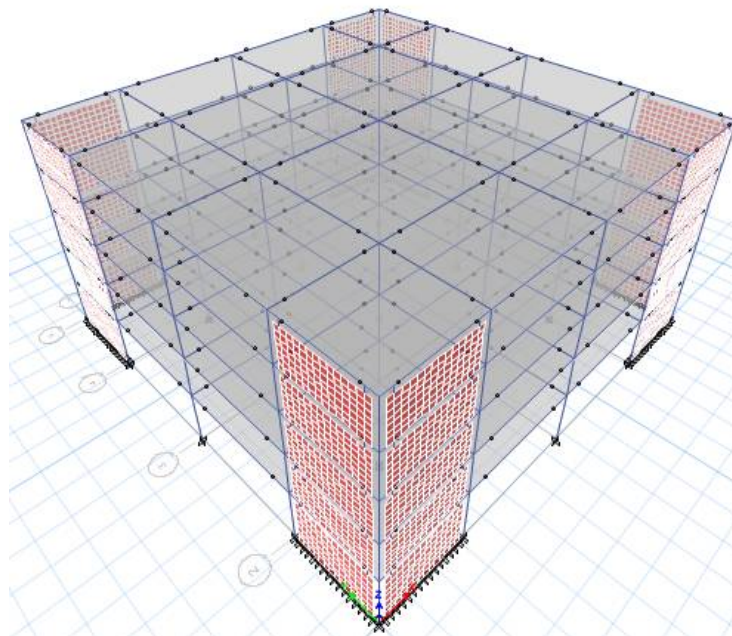


Figura 5. Vista isométrico de la estructura con paneles disipativos

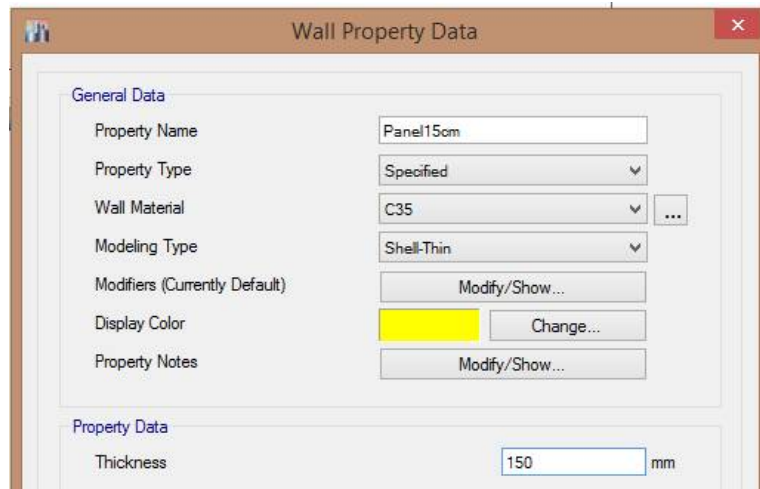


Figura 6. Definición del panel disipativo espesor= 15cm y calidad del concreto C35MPa

Inicialmente se definirá los dispositivos disipadores como elementos tipo frame rectangulares de dimensiones 30cm x 2cm para así obtener el cortante inicial para unprediseño.

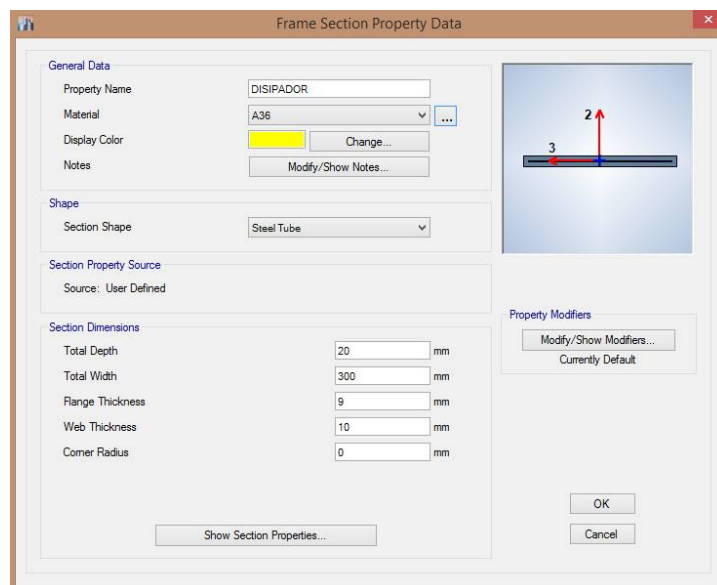


Figura 7. Modelado de disipador mediante elementos frame con geometría rectangular y propiedades de acero estructural tipo A36 (ETAPA INICIAL).

Nota. También se podrá definir como un elemento frame tipo placa de acero (Steel plate) utilizando la herramienta de sectiondesigner.

Se asignan los disipadores en ambos extremos del panel de concreto. Es importante liberar el extremo del disipador para no tomar fuerza axial.

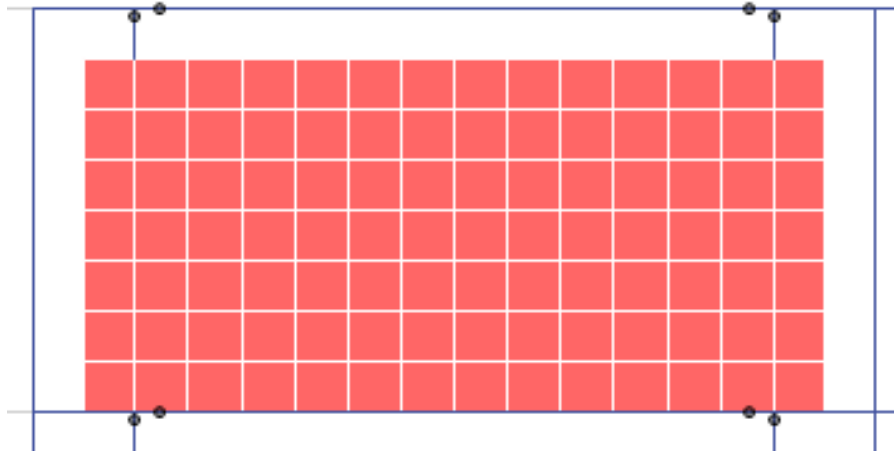


Figura 8. Panel disipativo de concreto + disipador sísmico (modelado tipo "frame") para prediseño

Se deberá confirmar que los elementos modelados como "disipador" se encuentren definidos en el plano del muro por lo que se recomienda extraer la vista para visualizar gráficamente y confirmar la orientación de sus ejes locales.



Figura 9. Confirmación de orientación de la placa disipativa

A.2.2 Definición de análisis dinámico modal espectral

Se define el espectro de respuesta. Para este ejercicio se consideró el reglamento de construcción de la ciudad de Guadalajara (MEX) con un tipo de suelo TII definido como un perfil predominantemente medio-denso.

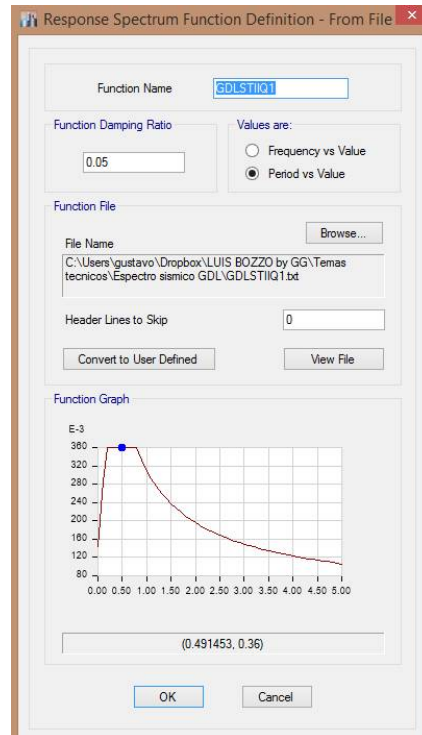


Figura 10. Diseño elástico $Q=1$, Coeficiente sísmico $C=0.36g$

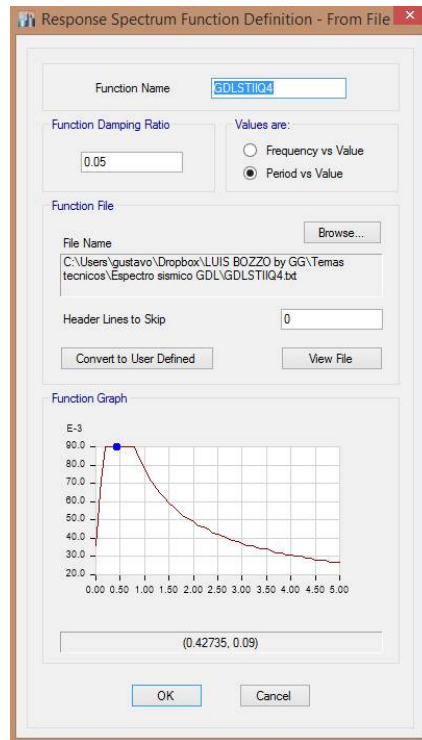


Figura 11. Diseño inelástico $Q=4$, Coeficiente sísmico reducido $C=0.09g$

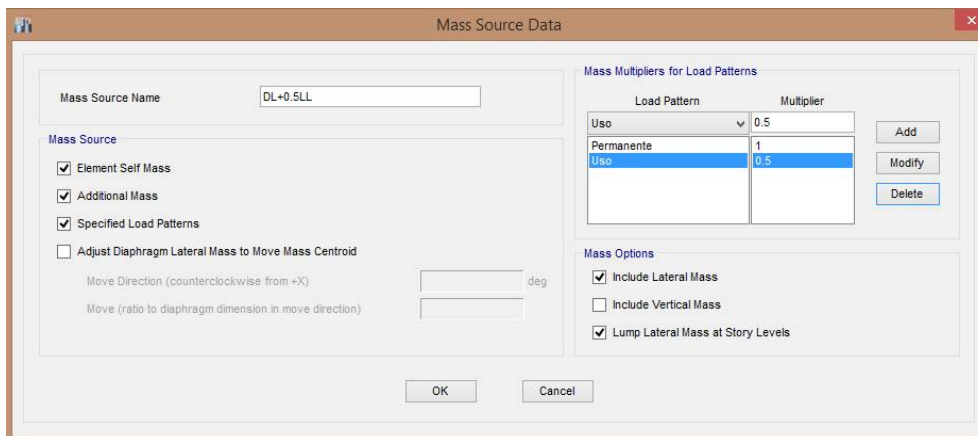


Figura 12. Se define la masa sísmica. Nota: Cuidar de no duplicar la carga del peso propio.

Se define los casos de análisis sísmico considerando efectos bidireccionales (100% de la componente más 30% de la componente perpendicular a ella). Se recomienda utilizar el método CQC (combinación cuadrática completa) para el caso de que existan periodos muy cercanos entre sí.

Load Case Data

General

Load Case Name: SX [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (DL+0.5LL)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	GDLSTIQ1	9806.65
Acceleration	U2	GDLSTIQ1	2942

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 13. Caso sísmico dirección 100%X +30%Y

Load Case Data

General

Load Case Name: SY [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (DL+0.5LL)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	GDLSTIQ1	9806.65
Acceleration	U1	GDLSTIQ1	2942

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 14. Caso sísmico dirección 30%X + 100%Y

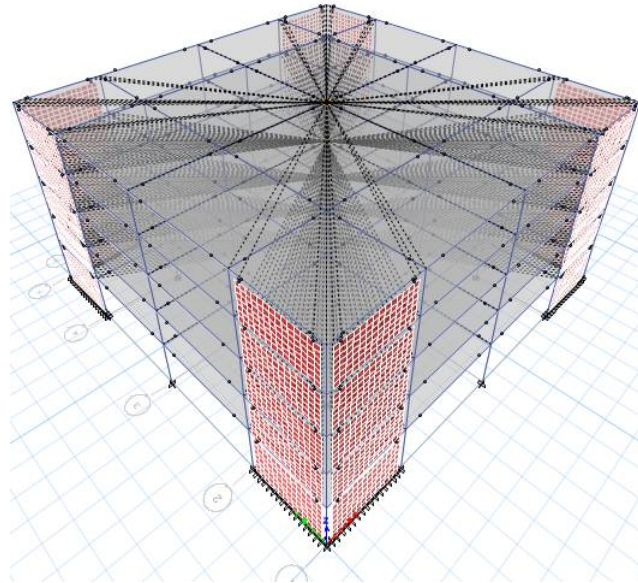


Figura 15. Asignación de un diafragma rígido para la transmisión del cortante sísmico.

A.2.3 Revisión de periodos

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	0.443	0.782	0.000	0.000	0.782	0.000	0.000	0.000	0.231	0.000	0.000	0.231	0.000
Modal	2	0.408	0.000	0.803	0.000	0.782	0.803	0.000	0.209	0.000	0.000	0.209	0.231	0.000
Modal	3	0.245	0.000	0.000	0.000	0.782	0.803	0.000	0.000	0.000	0.819	0.209	0.231	0.819
Modal	4	0.148	0.170	0.000	0.000	0.952	0.803	0.000	0.000	0.609	0.000	0.209	0.840	0.819
Modal	5	0.139	0.000	0.158	0.000	0.952	0.961	0.000	0.656	0.000	0.000	0.865	0.840	0.819
Modal	6	0.09	0.034	0.000	0.000	0.986	0.961	0.000	0.000	0.104	0.000	0.865	0.944	0.819
Modal	7	0.085	0.000	0.000	0.000	0.986	0.961	0.000	0.000	0.000	0.144	0.866	0.944	0.963
Modal	8	0.084	0.000	0.029	0.000	0.986	0.990	0.000	0.090	0.000	0.000	0.956	0.944	0.963
Modal	9	0.071	0.011	0.000	0.000	0.997	0.990	0.000	0.000	0.043	0.000	0.956	0.987	0.963
Modal	10	0.067	0.000	0.007	0.000	0.997	0.998	0.000	0.036	0.000	0.000	0.991	0.987	0.963
Modal	11	0.06	0.003	0.000	0.000	0.999	0.998	0.000	0.000	0.010	0.000	0.991	0.996	0.963
Modal	12	0.059	0.000	0.001	0.000	0.999	0.999	0.000	0.005	0.000	0.000	0.996	0.996	0.963

Figura 16. Revisión de los modos de vibración de la estructura

Periodos Fundamentales:

$T_x=0.443s$ - Traslacional

$T_y=0.408s$ - Traslacional

$T_z=0.245s$ - Rotacional

Se revisa que el periodo calculado con el análisis dinámico no deberá ser mayor a 1.35 veces el periodo calculado con el método A del reglamento de construcción de GDL.

Método A. El periodo fundamental de vibración, T , puede ser aproximado utilizando la siguiente formula.

$$T=C_t(h_n)^{3/4}$$

Donde:

- $C_t=0.085$ para marcos de acero resistentes a momento
- $C_t=0.073$ para marcos de concreto resistentes a momento y marcos de acero contraventeados excéntricamente
- $C_t=0.049$ para los demás edificios
- H_n = altura del edificio en metros.

$$T_A=0.049*(12.6m)^{0.75}=0.327*1.35=0.44\text{seg}$$

Revisión Dirección X

$$T_{\max}=0.443\text{seg}$$

Revisión Dirección Y

$$T_{\max}=0.408\text{seg}$$

A.2.4 Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso

Revisión de desplazamientos laterales con el análisis dinámico considerando el espectro elástico.

Distorsión de entrepiso permitida ≤ 0.011 ó $0.004Q=0.011$ – (Reglamento de Guadalajara)

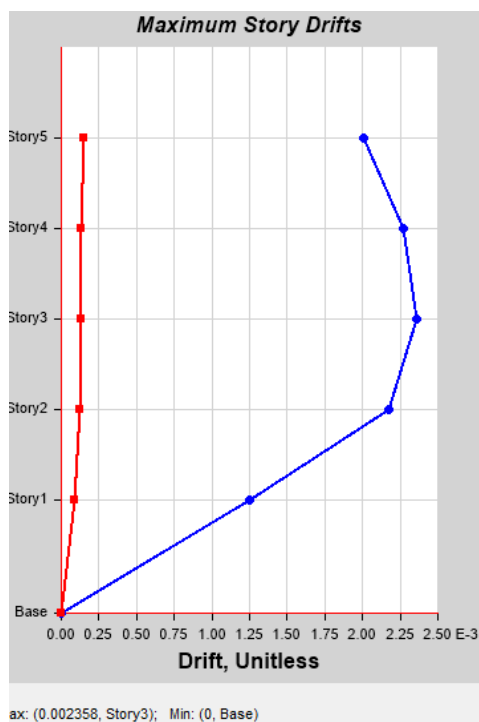


Figura 17. Revisión de deriva de entrepiso máxima (eje x) = 0.002 – CUMPLE

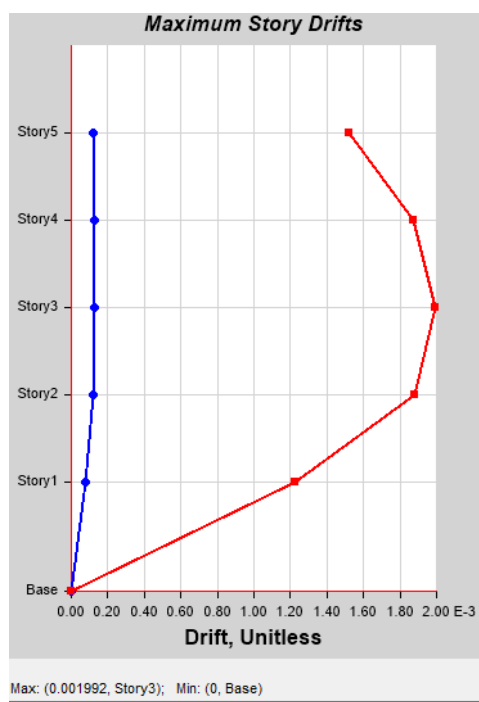


Figura 18. Revisión de deriva de entrepiso máxima (eje y) = 0.0019 – CUMPLE

NOTA: Los desplazamientos relativos de entrepiso fueron menores de 0.0075 por lo que no se requiere de un análisis P-Δ.

A.2.5 Revisión de cortante basal

Calculo de Masa sísmica = (1.0Peso propio + 1.0Carga permanente + 0.5Carga Viva)= 26,648kN

Se revisa el cortante basal derivado del análisis dinámico con el espectro inelástico, siendo este no menor al 80% del que produce el método estático.

$V_0 > 0.8 * \text{aceleración} * \text{Masa sísmica} / Q$

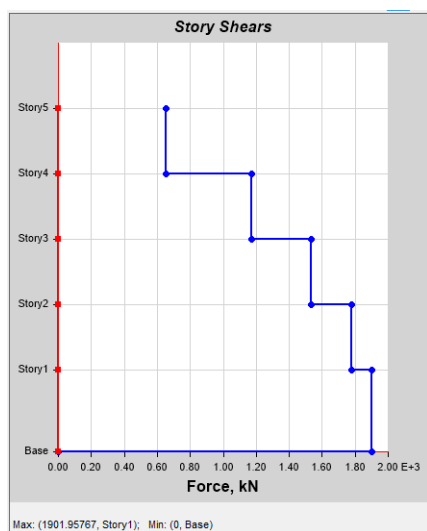


Figura 19. Cortantes de entrepiso dirección "x". $V_{\text{basal}(x)} = 1901 \text{ kN}$

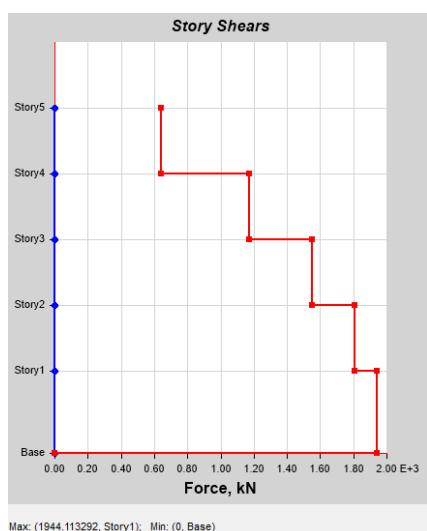


Figura 20. Cortantes de entrepiso dirección "y". $V_{\text{basal}(y)} = 1944 \text{ kN}$

A.2.6 Cálculo de fuerza cortante en dispositivos para su predimensionamiento

Se procede a determinar los cortantes en cada dispositivo para su predimensionamiento utilizando la tabla (Hurtado et al 2008).

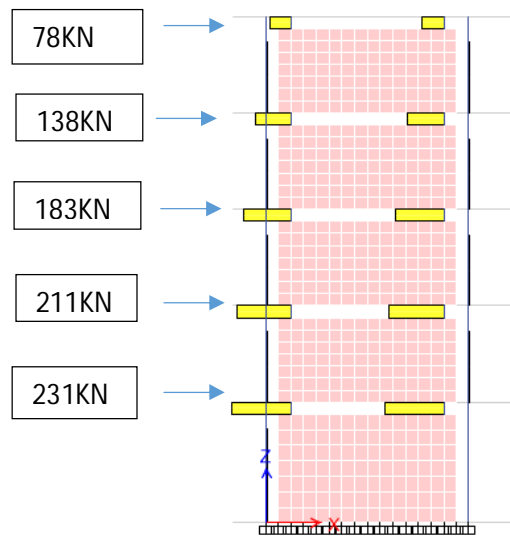


Figura 21. Cortantes en cada conexión tipo SL dirección "x", fuerzas reducidas por factor de comportamiento sísmico (Q)=4

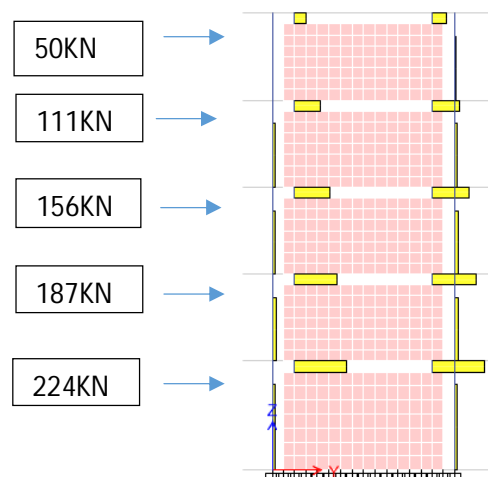


Figura 22. Cortantes en cada conexión tipo SL dirección "y", fuerzas reducidas por factor de comportamiento sísmico (Q)=4

Selección del dispositivo *Shear LinkBozzo (SLB)* de acuerdo a su demanda cortante (F_y -Fuerza de plastificación)

Table 2. The most relevant design parameters for the devices

Device	e	K ₁ (kN/cm)	K ₂ (kN/cm)	d _r (mm)	f _r (tN)	D _r (mm)	F _r (tN)	F _{max} (tN)	D ₁ (mm)	E _d (kN.cm)
SL5_2	2	546,1	14,4	0,250	13,65	0,463	25,27	47,32	39,93	54
SL5_3	3	663,5	13,4	0,321	21,30	0,549	36,40	56,59	89,87	69
SL5_4	4	763,8	11,8	0,357	27,27	0,628	47,96	65,26	159,83	84
SL5_5	5	834,3	8,8	0,357	29,78	0,716	59,76	72,93	249,81	97
SL10_2	2	1 273,8	22,1	0,250	31,85	0,437	55,68	89,56	29,81	109
SL10_3	3	1 644,4	21,6	0,277	45,55	0,491	80,67	113,62	67,10	146
SL10_4	4	1 979,1	20,1	0,304	60,16	0,540	106,86	136,91	119,35	182
SL10_5	5	2 216,7	17,4	0,331	73,26	0,600	133,00	159,27	186,45	216
SL15_2	2	2 285,9	22,4	0,250	57,15	0,567	129,60	163,04	20,29	216
SL15_3	3	2 929,6	23,3	0,268	78,51	0,565	165,55	200,32	45,66	271
SL15_4	4	3 493,5	22,9	0,286	99,91	0,573	200,20	236,30	81,18	325
SL15_5	5	3 856,1	22,3	0,321	123,78	0,618	238,33	271,48	126,85	377
SL20_2	2	2 971,2	24,1	0,250	74,28	0,536	159,18	195,36	15,96	262
SL20_3	3	3 980,0	24,9	0,268	106,66	0,527	209,68	247,72	35,92	339
SL20_4	4	4 719,3	25,8	0,286	134,97	0,553	261,00	298,88	63,85	414
SL20_5	5	5 262,7	24,0	0,321	168,93	0,596	313,46	349,12	99,77	489
SL25_2	2	3 660,6	24,3	0,250	91,51	0,514	188,18	224,74	14,44	305
SL25_3	3	4 859,0	25,2	0,268	130,22	0,524	254,52	292,09	32,50	404
SL25_4	4	5 921,3	24,7	0,286	169,35	0,544	321,82	358,05	57,79	501
SL25_5	5	6 613,5	24,5	0,321	212,29	0,588	389,20	423,17	90,30	597
SL30_2	2	4 353,6	24,5	0,250	108,84	0,497	216,56	253,78	13,75	348
SL30_3	3	5 791,0	25,5	0,268	155,20	0,513	297,22	336,02	30,93	468
SL30_4	4	7 129,9	25,4	0,286	203,91	0,531	378,46	416,81	54,99	587
SL30_5	5	7 981,8	25,2	0,321	256,21	0,575	459,17	496,73	85,92	704
SL40_2	2	5 820,4	30,9	0,250	145,51	0,490	285,12	331,02	14,02	455
SL40_3	3	7 778,5	32,0	0,268	208,46	0,507	394,44	442,74	31,55	619
SL40_4	4	9 621,2	33,1	0,286	275,17	0,523	503,33	553,98	66,90	781
SL40_5	5	10 777,4	31,8	0,321	345,95	0,570	614,29	662,15	104,53	941
SL50_2	2	7 223,6	32,9	0,250	180,59	0,473	342,00	391,08	13,40	542
SL50_3	3	9 703,1	35,9	0,268	260,04	0,495	480,00	533,58	30,16	749
SL50_4	4	12 109,3	32,7	0,286	346,33	0,514	622,22	671,76	53,62	954
SL50_5	5	13 566,7	31,0	0,321	435,49	0,563	764,00	810,65	83,79	1160

Figura 23. Tabla con valores característicos de los dispositivos tipo *Shear Link Bozzo SLB* (Hurtado et al 2008)

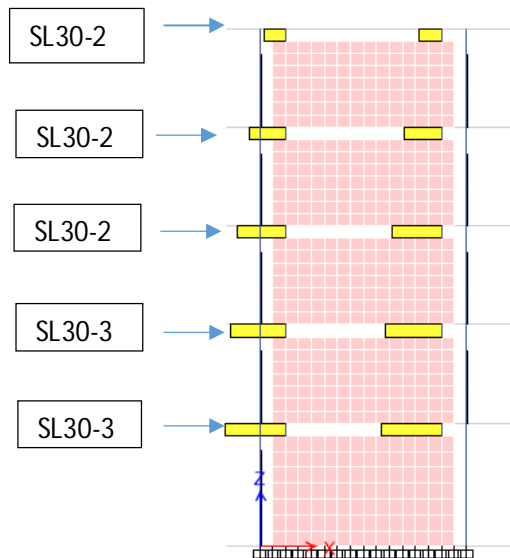


Figura 23. Selección del dispositivo sísmico SL, dirección "x"

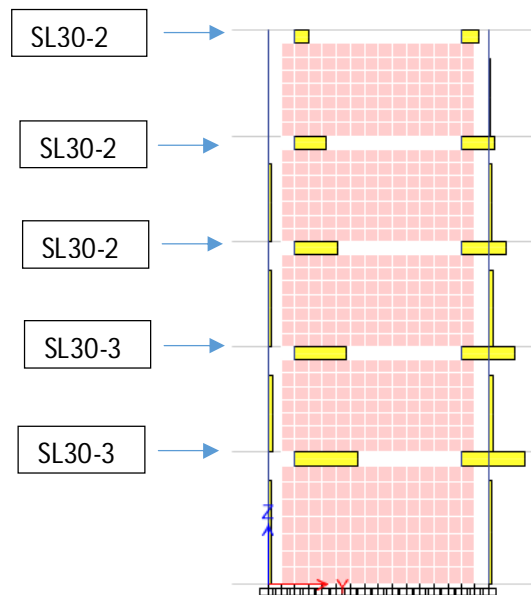


Figura 24. Selección del dispositivo sísmico SL, dirección "y"

ETAPA 3.- DEFINIR CARACTERÍSTICAS NO LINEALES DE LOS DISIPADORES SHEAR LINK

A.3.1 Asignación de parámetros de disipadores con características del laboratorio

Se asigna la respuesta no lineal de las conexiones SLB utilizando el modelo plástico de Wen por medio de elementos no lineales tipo link. NOTA. Se deberá liberar la fuerza axial en estos elementos.

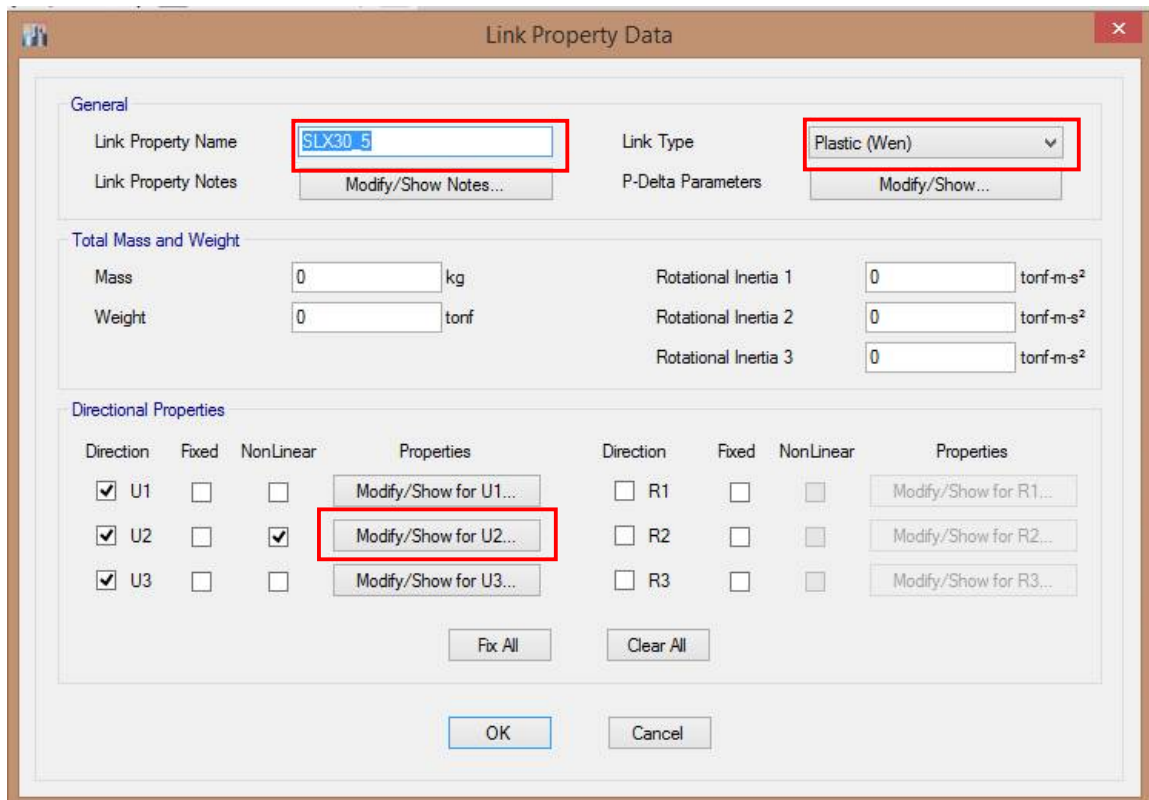


Figura 25. Asignación de propiedades no lineales a "link" (disipador SL)

- Se recomienda incluir la dirección en que trabaja el disipador dentro del mismo nombre del elemento link para facilidad de identificación
- Se asigna el modelo históricoWen para la representación no lineal del dispositivo.
- Se deberá indicar la dirección donde se desarrollara el comportamiento del disipador, para el caso en donde el disipador actúa en el eje "X" global (plano ZX) las propiedades no lineales deberán incluirse para U2, si el comportamiento se desarrolla en el eje "Y" global (plano ZY) las propiedades no lineales deberán definirse para U3.

Se podrá restringir el desplazamiento del disipador usando los apartados "fixed", pero se recomienda ampliamente asignar una rigidez suficiente para limitar este desplazamiento (Ej. 10 KN/cm), esto permitirá utilizar la técnica de un FastNonlinearAnalysis utilizando los vectores Ritz.

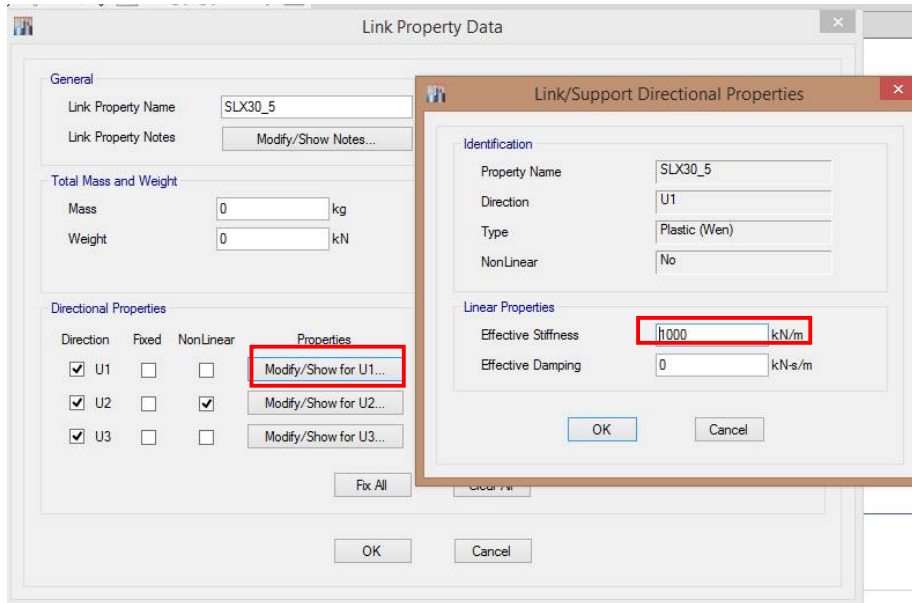


Figura 26. Asignación de rigidez lateral del dissipador

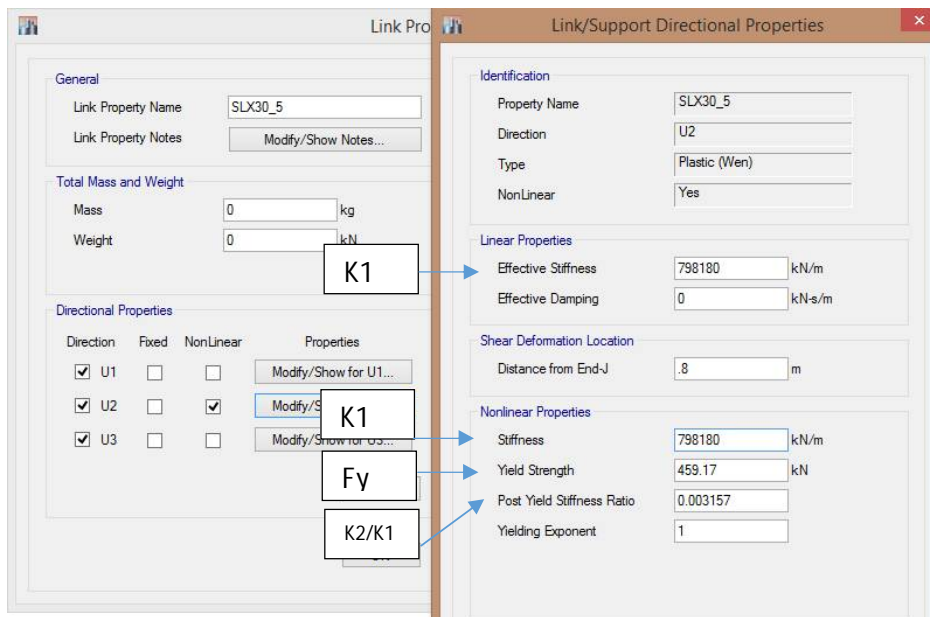


Figura 27. Asignación los parámetros de diseño del dissipador. (Características de laboratorio tabla Hurtado 2008).

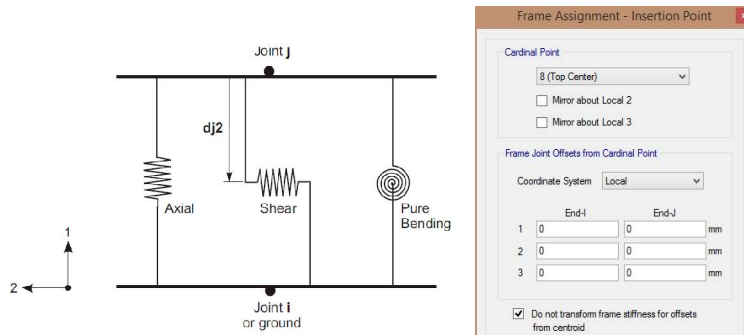


Figura 28. La distancia desde "J" se refiere a la longitud desde el punto de inserción (revisar en trabe/muro) hasta el centro del disipador. Revisar la definición con la que fue trazado. En este caso se considero $H_{trabe} + H_{dis}/2 = 65\text{cm} + 30/2\text{cm} = 80\text{cm}$

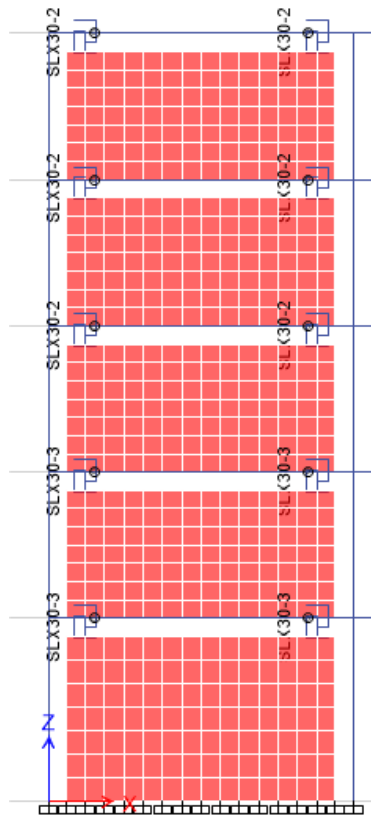


Figura 29. Asignación de los disipadores de acuerdo al prediseño en cada dirección respectivamente.

A.3.2 Definición de análisis no lineal tiempo historia

Modal Case Data

General

Modal Case Name: RITZ [Design...]

Modal Case Sub Type: Ritz [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: DL+0.5LL

P-Delta/Nonlinear Stiffness

Use Preset P-Delta Settings: None [Modify/Show...]

Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dyn. Par. Ratio, %
Acceleration	UX	0	99
Acceleration	UY	0	99
Link	All	0	99

[Add] [Delete]

Other Parameters

Maximum Number of Modes: 95

Minimum Number of Modes: 95

[OK] [Cancel]

Figura 30. Definición del análisis modal utilizando vectores Ritz. NOTA: Se deberán agregar un número mínimo de modos igual al número de diafragmas multiplicado por 3 + el número total de elementos tipo link.

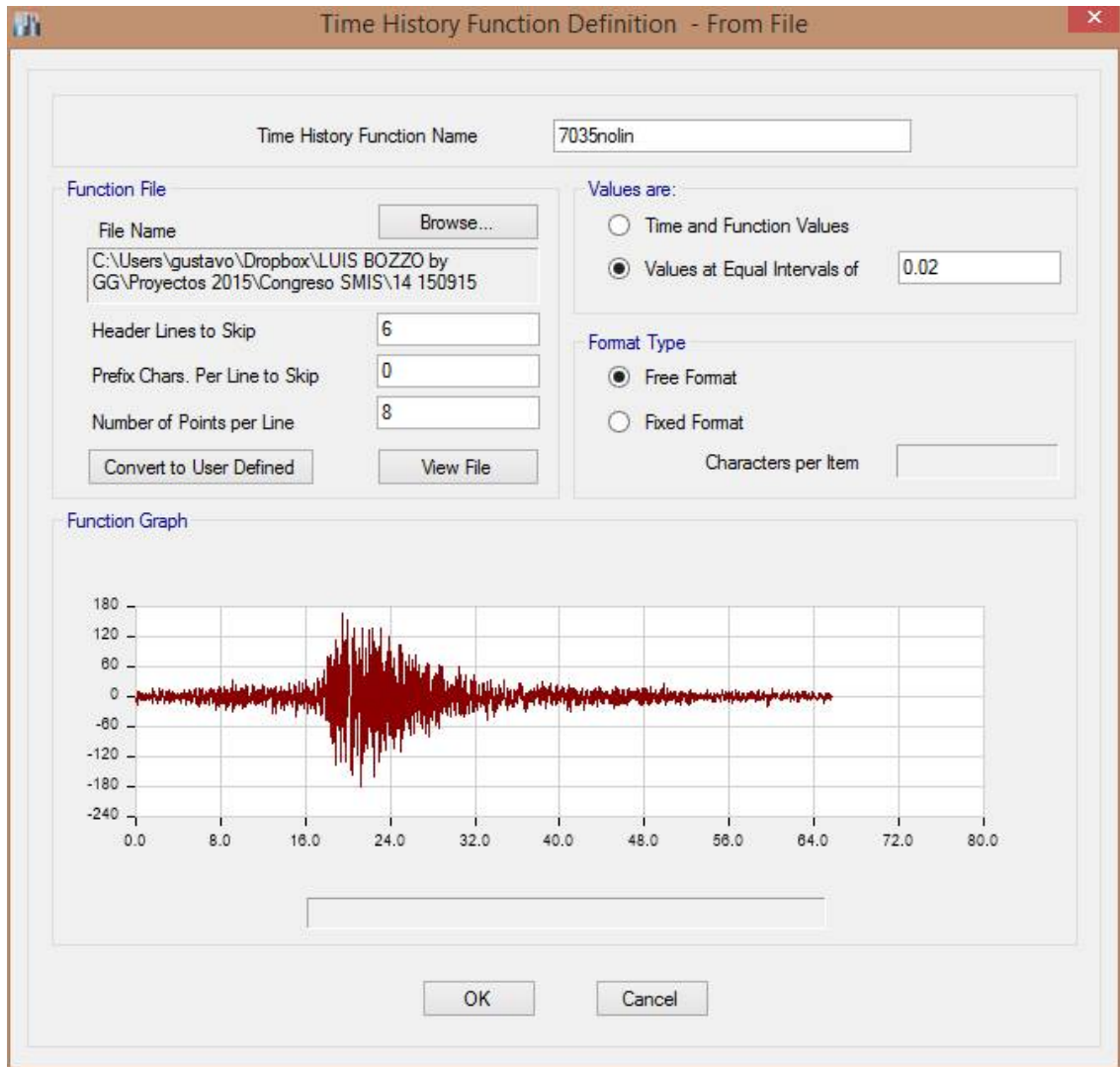


Figura 31. Definir la función tiempo historia agregando el registro de aceleraciones. Ej. Registro sísmico peruano 7035 con un intervalo de aceleraciones de $\Delta t=0.02\text{seg}$

Se declara el análisis no lineal tiempo historia utilizando los Vectores Ritz, asignando el registro de aceleraciones en la dirección deseada. Revisar recomendaciones que se muestran en la normativa local para el escalamiento de registros.

Load Case Data

General

Load Case Name: TH7035 X FNA

Load Case Type/Subtype: Time History | Nonlinear Modal (FNA)

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (DL+0.5LL)

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: [Empty]

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	7035nolin	2.17

Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: RITZ

Number of Output Time Steps: 2000

Output Time Step Size: 0.02 sec

Modal Damping: Proportional: Mass: 0.2431; Stiff: 0.0016

Nonlinear Parameters: User Defined

OK Cancel

Figura 32. Definir el análisis no lineal tiempo historia (FNA).

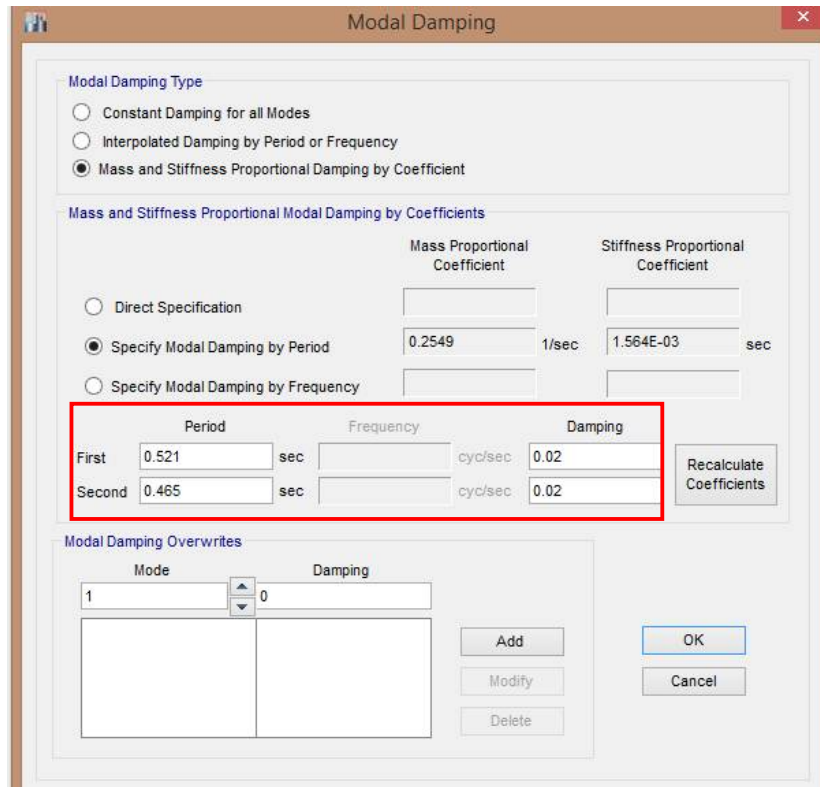


Figura 33. Asignar el amortiguamiento de la estructura.

Seleccionar la opción de Especificar el amortiguamiento por medio del periodo, considerando como información de entrada el amortiguamiento $\xi=0.02$ para estructuras de concreto con agrietamiento ligero y los primeros dos periodos. Se recomienda un 2% para estructuras nuevas y para una estructura existente 5%.

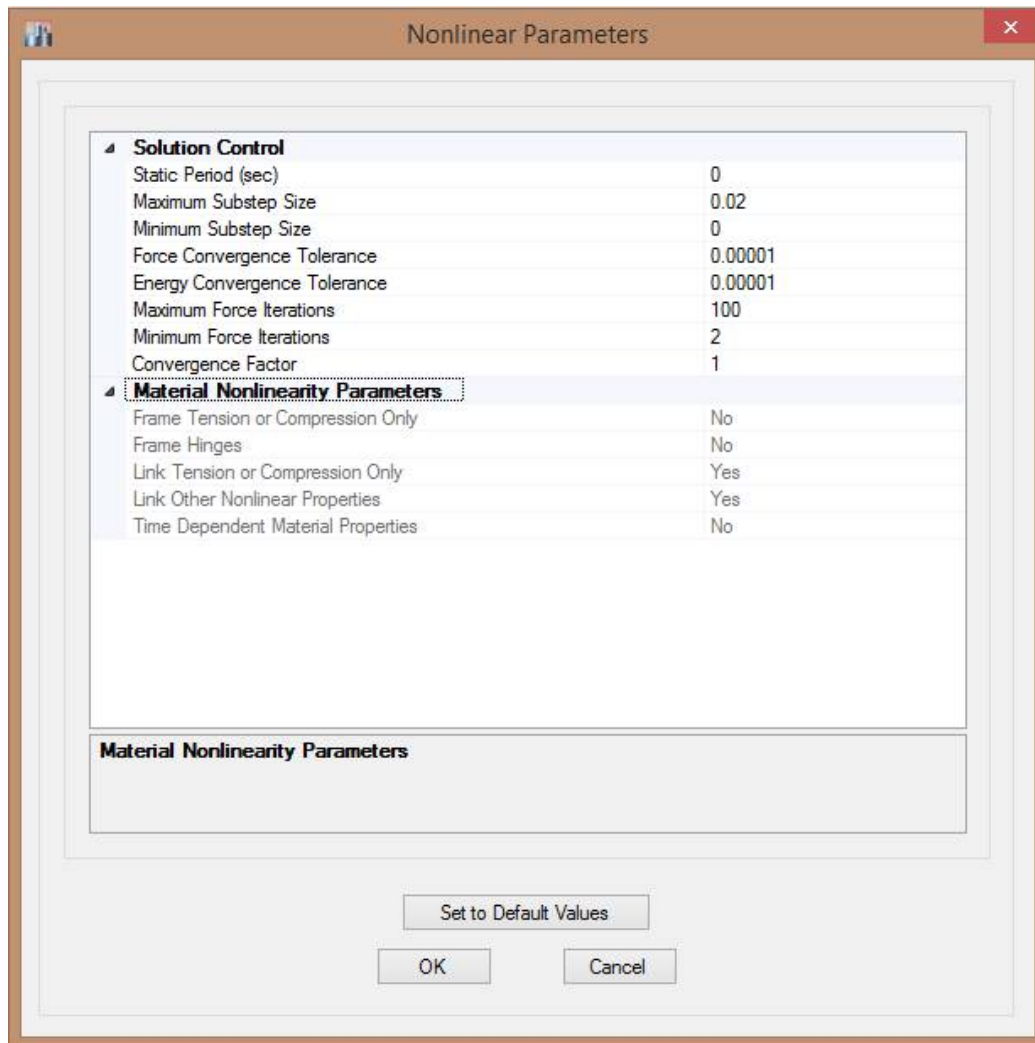


Figura 34. Asignar los parámetros para la solución numérica (tolerancias, pasos, iteraciones, etc)

A.3.3 Revisión de periodos

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
EIGEN	1	0.521	0.799	-	-	0.799	-	-	-	0.213	-	-	0.213	-
EIGEN	2	0.465	-	0.824	-	0.799	0.824	-	0.187	-	-	0.187	0.213	-
EIGEN	3	0.296	-	-	-	0.799	0.824	-	-	-	0.828	0.187	0.213	0.828
EIGEN	4	0.172	0.151	-	-	0.951	0.824	-	-	0.627	-	0.187	0.840	0.828
EIGEN	5	0.156	-	0.137	-	0.951	0.960	-	0.680	-	-	0.867	0.840	0.828
EIGEN	6	0.101	-	-	-	0.951	0.960	-	-	-	0.130	0.867	0.840	0.959
EIGEN	7	0.099	0.034	-	-	0.985	0.960	-	-	0.096	-	0.867	0.936	0.959
EIGEN	8	0.091	-	0.029	-	0.985	0.989	-	0.081	-	-	0.949	0.936	0.959
EIGEN	9	0.073	0.012	-	-	0.997	0.989	-	-	0.051	-	0.949	0.987	0.959
EIGEN	10	0.069	-	0.009	-	0.997	0.998	-	0.044	-	-	0.992	0.987	0.959
EIGEN	11	0.061	-	-	-	0.997	0.998	-	-	-	0.029	0.992	0.987	0.988
EIGEN	12	0.060	0.004	-	-	1.000	0.998	-	-	0.013	-	0.992	1.000	0.988

Figura 35. Revisión de los modos de vibración de la estructura

Periodos Fundamentales:

$T_x=0.521s$ - Traslacional

$T_y=0.465s$ - Traslacional

$T_z=0.296$ - Rotacional

A.3.4 Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso

Para el ejercicio se han promediado la respuesta de 4 registros de aceleraciones de sismos peruanos (7035, 7036, 7339, 7050), todos estos escalados a una aceleración máxima de 0.4g.

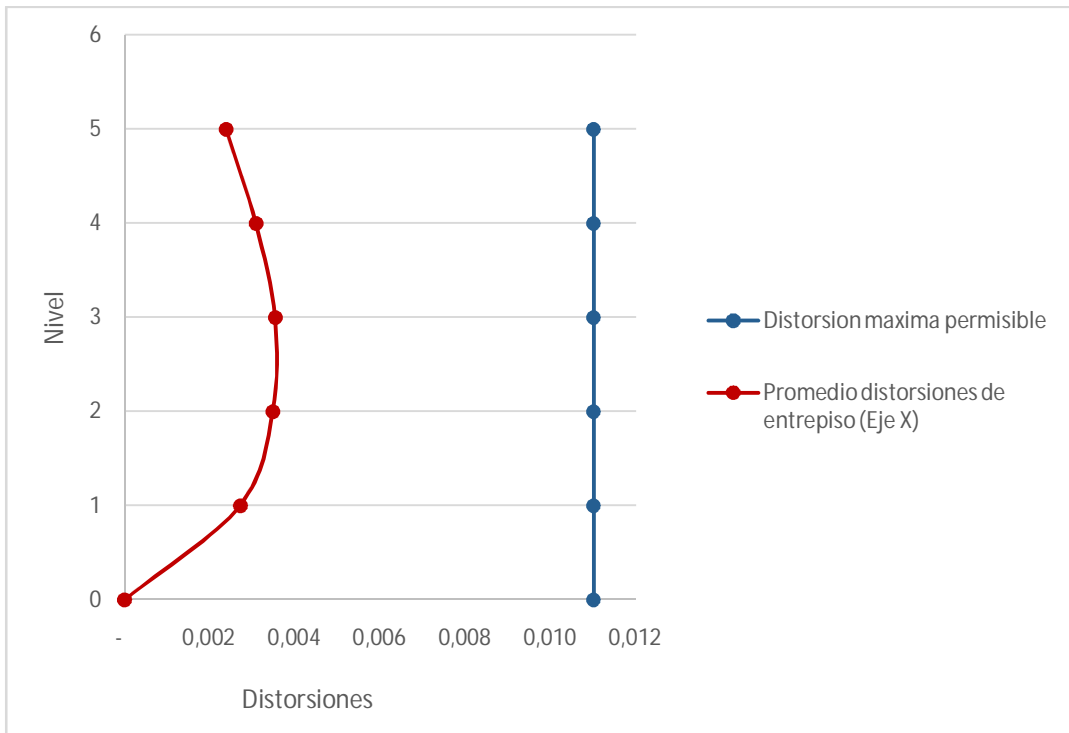


Figura 36. Revisión de deriva de entrepiso máxima (eje x) = 0.0035 – CUMPLE

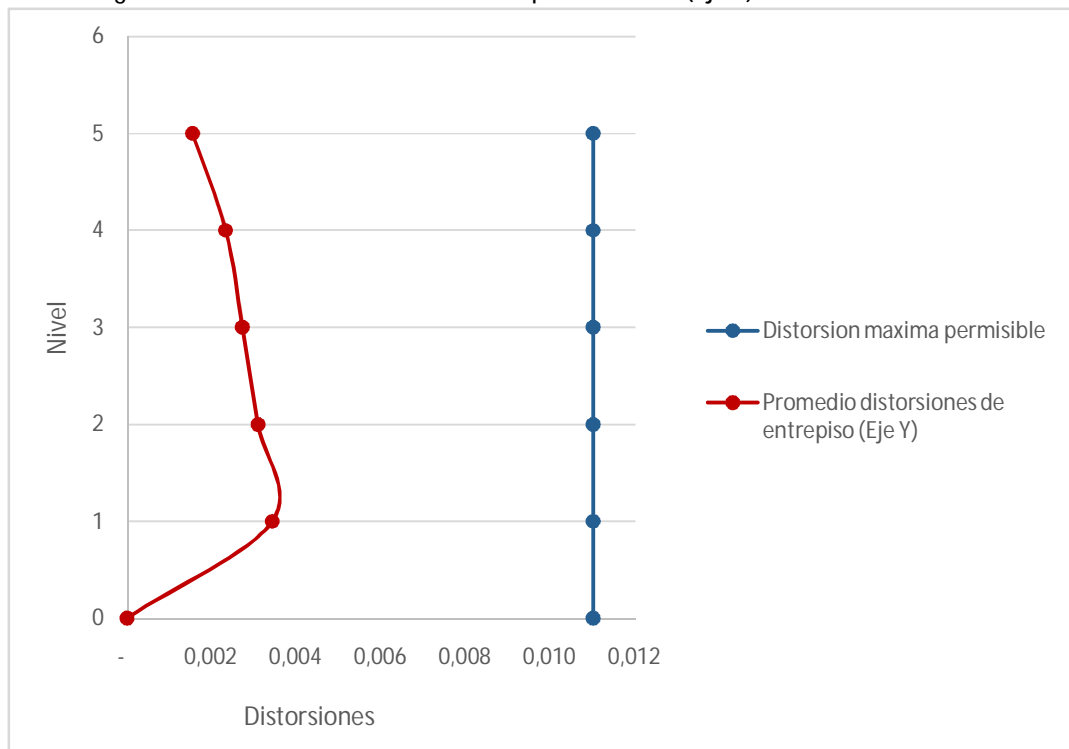


Figura 37. Revisión de deriva de entrepiso máxima (eje y) = 0.0034 – CUMPLE

A.3.5 Revisión de fuerza cortante en disipadores SL

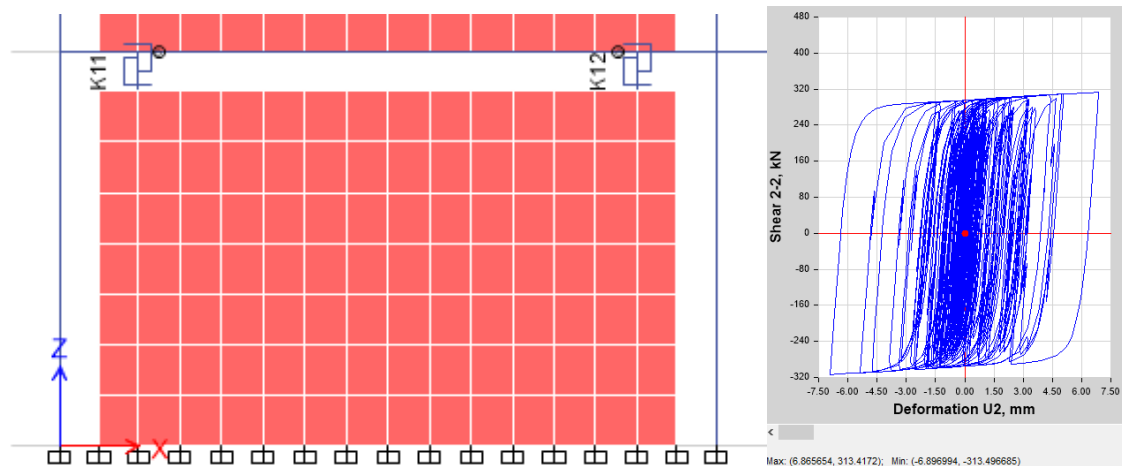


Figura 38. Revisión de disipador sísmico, conexión no lineal K11 (dirección "X") registro 7050. En la fase de prediseño se asignó un dispositivo SL30-3 con un $F_y=297\text{kN}$. Después del análisis se puede ver que la fuerza máxima a la que estará sometido el dispositivo es de 313kN , por lo que se podría optar por utilizar un disipador de mayor resistencia como el tipo SL30_4 ($F_y=378\text{kN}$).

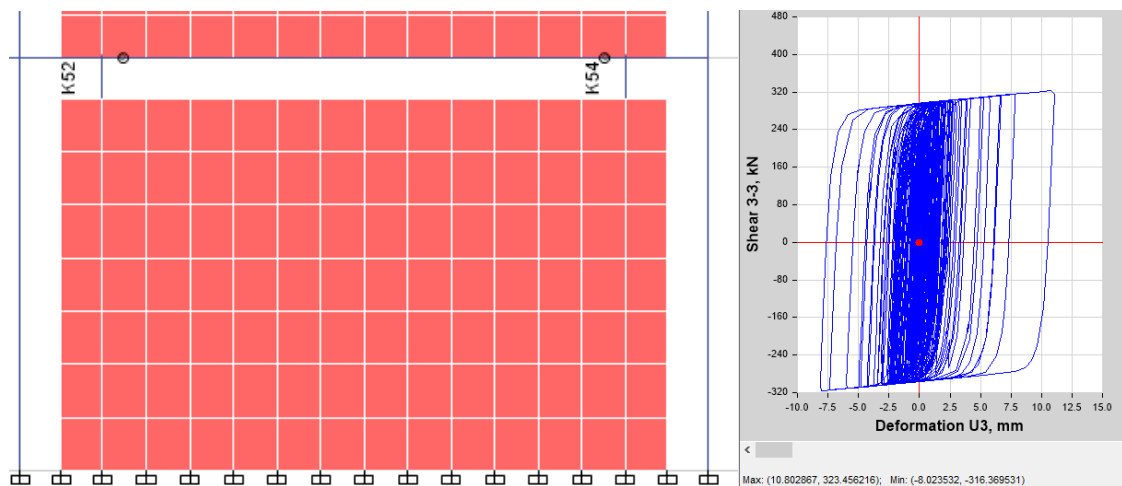


Figura 39. Revisión de disipador sísmico, conexión no lineal K54 (dirección "Y") registro 7050. En la fase de prediseño se asignó un dispositivo SL30-3 con un $F_y=297\text{kN}$. Después del análisis se puede ver que la fuerza máxima a la que estará sometido el dispositivo es de 323kN , por lo que se podría optar por utilizar un disipador de mayor resistencia como el tipo SL30_4 ($F_y=378\text{kN}$).

Se deberá revisar cada dispositivo para corroborar que la capacidad del disipador sea mayor a la fuerza cortante a la cual estará sometido durante el evento sísmico.

A.3.6 Revisión del cortante basal

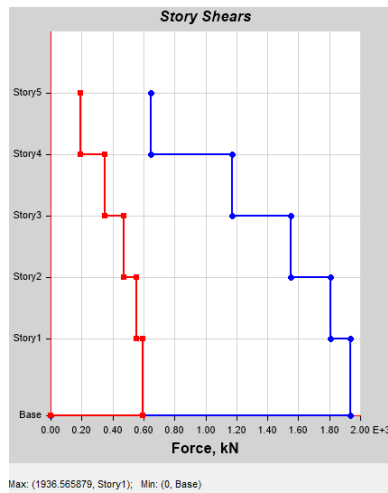


Figura 40. Cortantes de entrepiso dirección "x". $V_{basal}(x)=1936\text{kN}$

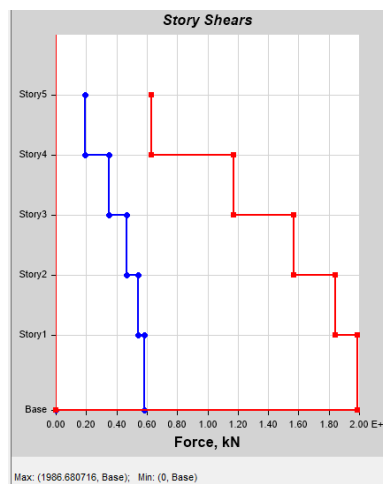
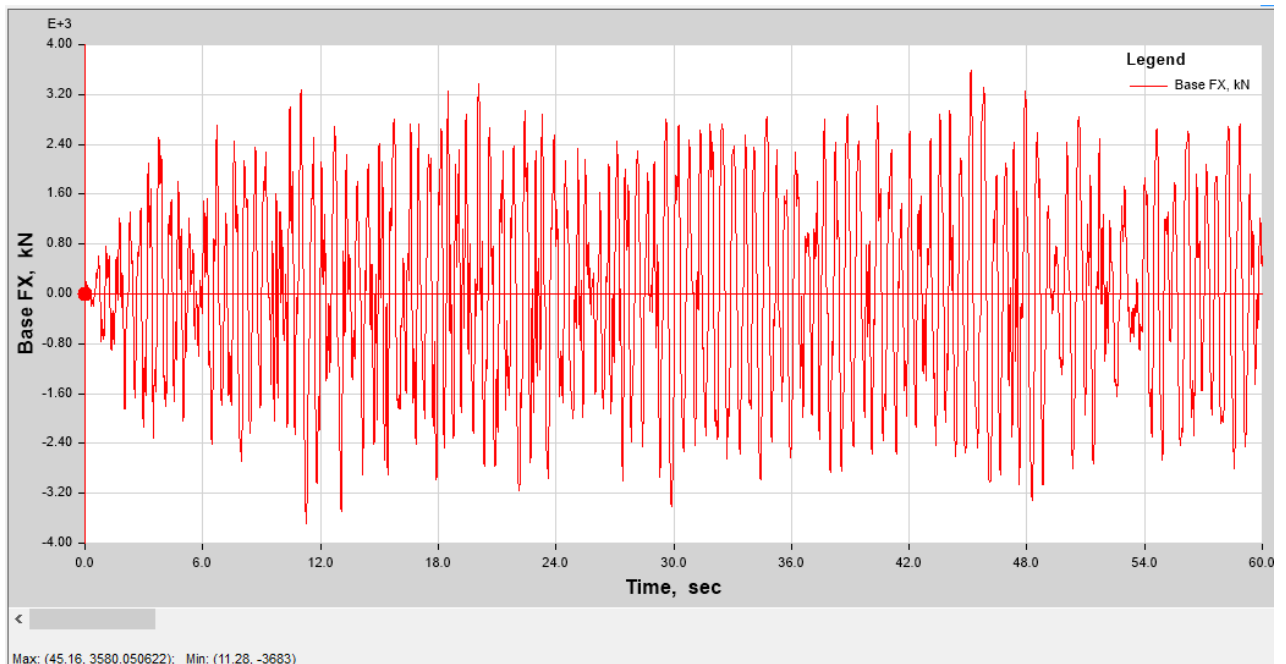


Figura 41. Cortantes de entrepiso dirección "y". $V_{basal}(y)=1986\text{ kN}$

Historia del tiempo para cortante basal. TH7050



Historia del cortante basal $V_{\text{basalMax}}(t=45.16\text{seg})=3580\text{kN}$

A.3.7 Disipación de energía

- **Ejemplo B. Uso de paneles disipativos Caso Urbania 23 niveles**
- **Ejemplo C. Uso de diagonales metálicas Caso Nettalco**
- **Ejemplo D. Por Definir**

- **CONCLUSIONES**

- **BIBLIOGRAFIA**

- Bozzo, L. and Barbat A. (1999), Diseño sismorresistente de edificios. Técnicas convencionales y avanzadas, Editorial Reverte, Barcelona.
- Cahis X, Torres LI, Bozzo L. (2000). An inovative elasto-plastic energy dissipator for the structural and non-structural building protection. *12th World Conference on Earthquake Engineering*: Auckland, New Zeland.
- Hurtado F., y Bozzo L. Numerical and experimental analysis of a shear-link energy dissipater for seismic protection of buildings. *14th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, 2008, Beijing, China