



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

**“REHABILITACIÓN SÍSMICA MEDIANTE MÉTODOS DE
AISLACIÓN PASIVA EN EDIFICIO MODELO”**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

PROFESOR GUÍA: DAVID DOMINGUEZ SANTOS.

ANGELO ALEXIS GUERRA POBLETE.

CURICÓ - CHILE

2017

**AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN
DE MEMORIAS DE PREGRADO Y TESIS DE POSTGRADO**

Yo, **Ángelo Guerra Poblete**, cédula de Identidad N° 17.819.470-4, autor de la memoria o tesis que se señala a continuación, SI autorizo a la Universidad de Talca para publicar en forma total o parcial, tanto en formato papel y/o electrónico, copias de mi trabajo Esta autorización se otorga en el marco de la Ley N° 20.435 que modifica la Ley N° 17.336 sobre Propiedad Intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la Universidad.

Título de la memoria o tesis:	"REHABILITACIÓN SÍSMICA MEDIANTE MÉTODO DE AISLACIÓN PASIVA EN EDIFICIO MODELO"
Unidad Académica:	Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción
Carrera o Programa:	Escuela de Ingeniería en Construcción
Título y/o grado al que se opta:	Ingeniero Constructor, Licenciado en Ingeniería en Construcción
Nota de calificación	6.8

Timbre Escuela

FACULTAD DE INGENIERIA
 INGENIERIA EN
CONSTRUCCION

Firma de
Alumno



Rut: 17819470-4

Fecha: 18/12/2017

ÍNDICE.

RESUMEN EJECUTIVO	5
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	7
1.1.- Introducción.....	7
1.2.-Objetivos.....	8
1.2.1.-Objetivo general.	8
1.2.2.-Objetivos específicos.	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	9
2.1.- Sismicidad chilena.....	9
2.1.1.- Tipos de sismos tectónicos.	10
2.1.2.- Historia sísmica chilena.	14
2.2.-Protección sísmica.	17
2.2.1.-Tipos de sistemas de protección sísmica para edificaciones.....	17
2.3.- Aislación sísmica.	20
2.3.1.- Concepto.....	21
2.3.2.- Componentes generales de sistemas de aislación.	21
2.3.3.- Tipos de aisladores.	22
2.4.-Disipación sísmica.....	27
2.4.1.- Concepto.....	28
2.4.2.-Principios de la disipación sísmica.....	29
2.4.3.-Tipos de disipadores.	29
2.5.-Rigidizadores.....	35
2.5.1.-Muros.....	35
2.5.2.-Cruces de San Andrés.	36
2.6.-Normativa sísmica.	37
2.6.1-Normativa sísmica chilena.....	38

2.6.2.-Otras Normativas sísmicas.....	42
CAPÍTULO III: EDIFICIO MODELO.....	44
3.1.-Edificaciones Universidad de Talca.....	44
3.1.1.-Campus Talca.....	44
3.2.-Selección y modelado del edificio representativo de estudio.....	52
3.2.1.-Características de la edificación.....	52
CAPÍTULO IV: DISCRETIZACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA.....	55
4.1.- Aisladores de base.....	55
4.1.1.- Impacto Arquitectónico.....	55
4.1.2.- Ventajas o beneficios.....	55
4.1.3.- Desventajas o limitaciones de uso.....	56
4.1.4.- Características relevantes.....	56
4.2.-Disipadores sísmicos.....	57
4.2.1.- Impacto Arquitectónico.....	57
4.2.2.- Ventajas o beneficios.....	58
4.2.3.- Desventajas o limitaciones de uso.....	58
4.1.4.- Características relevantes.....	58
4.3.-Selección del sistema de protección sísmica.....	59
CAPÍTULO V: CÁLCULOS PREVIOS DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.....	61
5.2.- Cálculo del peso efectivo de la estructura.....	61
5.2.1.- Cálculo cargas permanentes.....	62
5.2.2.- Calculo sobre carga de uso.....	66
5.3.- Aceleración espectral.....	67
5.4.- Cálculo del periodo aproximado de la estructura.....	72
5.5.- Cálculo de la estructura sin aisladores.....	73
5.6.- Cálculo espectro de respuesta.....	70

CAPÍTULO VI: DISEÑO AISLADOR SÍSMICO DE BASE ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO.	78
6.1.- Cálculo de los factores de diseño.	78
6.2.- Cálculo del área requerida de plomo.	83
6.3.- Cálculo del área de caucho requerido.	83
6.4.- Dimensionamiento de aisladores.	84
6.5.- Cálculo de parámetros para estructura aislada sísmicamente.....	88
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN.	96
7.1.- Análisis de resultados.	96
7.1.1.- Cumplimiento Norma ASCE 7-05.....	96
7.1.2.- Comparación de datos obtenidos.....	98
7.1.3.- Análisis de espectro de respuesta.	100
7.2.- Conclusión.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXO 1: LOSA PISO 2.	103
ANEXO 2: LOSA PISO 1.	104
ANEXO 3: LOSA PISO 0.	105
ANEXO 4: ELEVACIONES.....	106
ANEXO 5: PLANO Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS LOSA 2.	107
ANEXO 6: PLANO Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS LOSA 1.	108
ANEXO 7: PLANO Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS LOSA 0.	109
ANEXO 8: ASIGNACIÓN DE TIPOS DE AISLADOR POR PILARES.	110
ANEXO 9: AISLADOR TIPO 1.	111
ANEXO 10: AISLADOR TIPO 2.	111
ANEXO 11: AISLADOR TIPO 3.	112
ANEXO 12: AISLADOR TIPO 4.	112
ANEXO 13: AISLADOR TIPO 5.	113

RESUMEN EJECUTIVO.

En la presente memoria se analiza sísmicamente una edificación modelo basada en los edificios presentes en el campus Lircay de la Universidad de Talca, ubicada en la ciudad del mismo nombre en la Séptima Región del Maule. La finalidad es acondicionar sísmicamente esta edificación, mediante la implementación de un sistema de protección sísmica utilizando como guía de cálculo la normativa norteamericana ASCE 7-05 y cumpliendo con lo establecido en la Norma Chilena NCh 433 of.96.

Chile es uno de los países más sísmicos a nivel mundial, por lo que, el tema de protección sísmica es bastante importante a la hora de construir. Para ello se debe saber el origen de los sismos, su tipología y la magnitud que estos alcancen, siempre considerando la historia sísmica nacional con el fin de prever futuros movimientos.

Actualmente existe una gran variedad de sistemas de protección sísmica, desde los más avanzados que poseen sistemas de automatización y respuesta en el instante hasta los más básicos que proveen una protección bastante baja a la hora de ocurrido un terremoto de gran magnitud. Con la intención de seleccionar el sistema adecuado acorde a las necesidades del edificio modelo, es necesario estudiar cada uno de estos sistemas de protección; tanto activos, semiactivos y pasivos, como por aislación, disipación o rigidización.

Se realiza un estudio de campo buscando la similitud entre las estructuras con tal de conseguir una edificación modelo que cumpla con los estándares de una edificación presente en la Universidad de Talca. Se discretizará sobre cuál será el sistema de protección sísmica adecuado para esta edificación modelo creada.

Se estudia la Normativa Chilena, con el fin de establecer los requisitos de diseños exigidos por esta. Se harán enfoques en lo establecido por diversas normativas de cálculo internacionales, tanto a nivel Sudamericano como también Europeo. Se calcula en base a lo establecido en la ASCE 7-05 para diseñar los aisladores que poseerá el edificio modelo. Además, se dará cumplimiento a los requisitos de diseño establecidos en esta Normativa.

Finalmente se realiza un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos para la estructura antes de la incorporación de un sistema de protección sísmica y después de la incorporación del sistema de protección sísmica, observando la mejora que se presenta y el real beneficio que esto generaría.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1.- Introducción.

En el último gran terremoto ocurrido el 27 de febrero del año 2010, el área de ingeniería y construcción chilena demostró estar muy preparada para estas catástrofes, debido a la mínima cantidad de edificaciones destruidas. La Normativa chilena NCh-433/of.1996, en su capítulo 5 artículo 1.1 inciso C establece que las estructuras “*aunque presenten daños, eviten el colapso en sismos de intensidad excepcionalmente severos*”¹. La población espera que sus edificaciones resistan en su totalidad, protejan y resguarden sus bienes, por lo que el solo hecho de no colapsar no es suficiente. Con la implementación de sistemas de aislación o disipación sísmica se puede lograr disminuir el movimiento de las distintas partes que componen la estructura principal del edificio.

La implementación de estos sistemas a partir del 27 de febrero se han hecho más frecuentes, no obstante gran parte de las edificaciones existentes no cuentan con estos tipos de sistemas, por lo que la implementación de antiguas edificaciones con estos nuevos sistemas, sería una herramienta de gran ayuda frente a nuevos sismos.

Tras lo ocurrido recientemente en el norte de nuestro país y considerando la recurrencia de los terremotos últimamente, se está trabajando en una nueva reglamentación sísmica, la cual incorporará la implementación de aisladores de base en algunos tipos de construcciones, con el fin de garantizar la seguridad en las edificaciones.

Existen diversos sistemas de aislación y disipación sísmica, siendo necesario definir cuál es el adecuado para los diversos tipos de construcción. En esta memoria se abordará sólo los sistemas de aislación pasiva. Por ello se utilizará un “edificio tipo” a modo de ejemplificar la rehabilitación sísmica con el sistema de aislación señalado, con el fin de disminuir los daños sufridos por las estructuras frente a los sismos.

¹ Norma chilena NCh433, 1996, Chile

1.2.-Objetivos.

1.2.1.-Objetivo general.

Rehabilitar sísmicamente mediante sistema de aislación de base pasivo de un edificio modelo basado en las edificaciones existentes de la Universidad de Talca (campus Talca).

1.2.2.-Objetivos específicos.

1.2.2.1.-Estudiar los sistemas pasivos de disipación o aislación sísmica presentes en el mercado.

1.2.2.2.-Estudiar y definir los tipos de edificaciones característicos en la Universidad de Talca (campus Talca), con la intención de generar un edificio modelo y realizar análisis de vulnerabilidad sísmica.

1.2.2.3.-Utilizar la Normativa 433.of 96 “Diseño sísmico de edificios”, para el análisis de edificación seleccionado.

1.2.2.4.-Analizar un sistema de aislación sísmica necesario para la estructura del edificio modelo mediante la Norma ASCE 7-10.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1.- Sismicidad chilena.

Chile es un país que se encuentra situado al borde de la placa Sudamericana la cual se superpone a la placa de Nazca, ubicada en la zona norte y central del país. Estas placas son responsables del movimiento constante de 6,8 centímetros cada año, por lo que la tensión en este sector es permanente, provocando periódicamente movimientos de gran magnitud. A su vez en la zona sur del país se encuentran las placas Antártica y Scotia, las cuales provocan un movimiento de 2 y 0,5 centímetros² por año respectivamente.

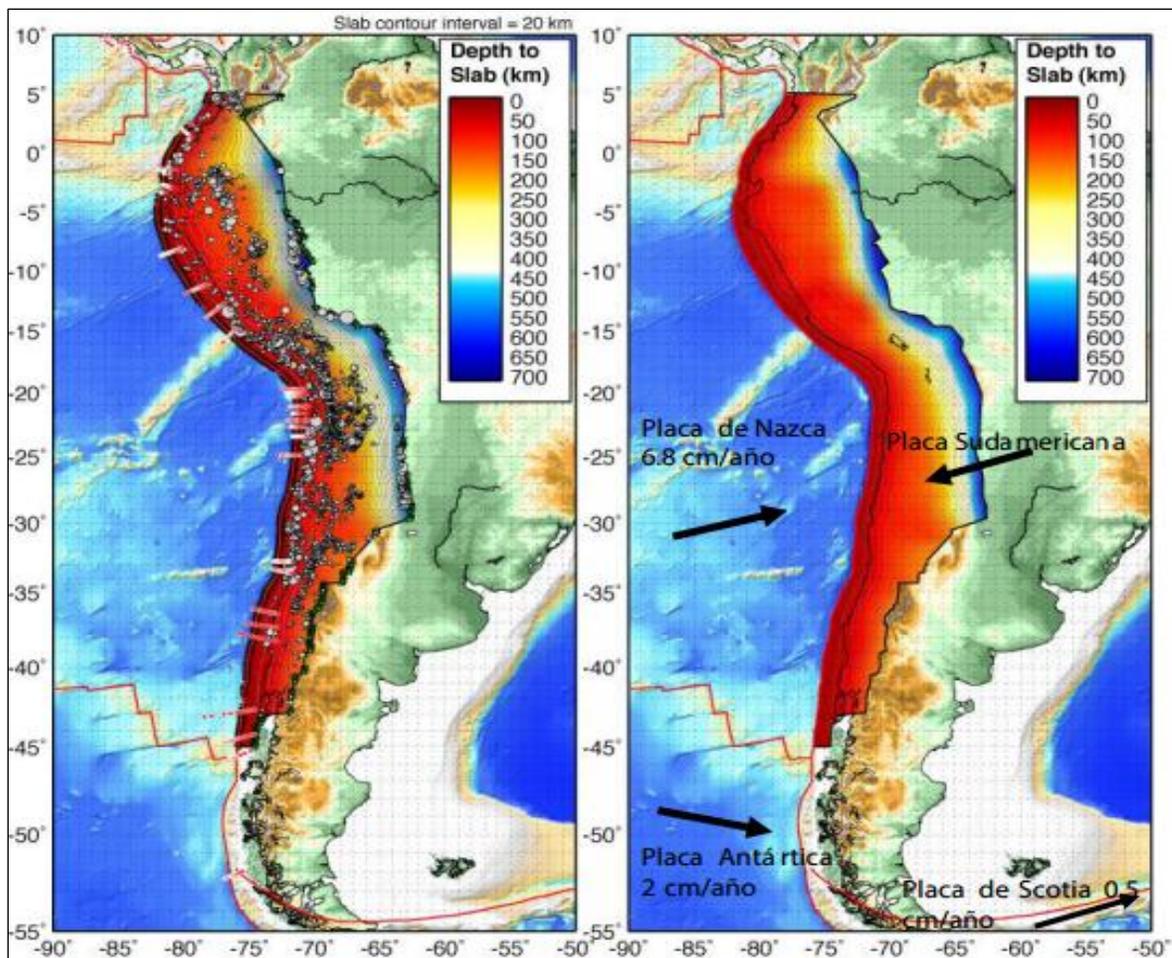


Imagen 1: a) sismos y sus profundidades.

b) Dirección y desplazamiento de las placas.

Fuente: Centro sismológico nacional.

² Centro de sismología nacional de la Universidad de Chile.

En la *imagen 1b* se observa el desplazamiento de las placas ubicadas en el continente americano que interactúan con la placa sudamericana. Además permite visualizar la profundidad de subducción de la placa de Nazca bajo el continente, mediante una escala de colores. Finalmente en la *imagen 1a* se muestra los sismos ocurridos en la zona, lo cual permiten dimensionar la profundidad y la geometría de la zona de subducción.

Los terremotos se originan por la liberación de energía ocasionada por la acción volcánica o tectónica, sin embargo, los movimientos producidos por la actividad volcánica son en su mayoría de menor intensidad comparados por los producidos por desplazamiento de las placas tectónicas.

2.1.1.- Tipos de sismos tectónicos.

Según la profundidad a la que se encuentre un sismo lo podemos clasificar de tres formas: superficial, intermedio y profundo. Los terremotos superficiales se encuentra a una profundidad no más allá de los 70 kilómetros, son los más comunes y generalmente su hipocentro (punto en el cual se libera la energía como se grafica en la *imagen 2*) está a una profundidad entre 10 y 25 kilómetros, por ello son también los más destructivos. Los terremotos intermedios son aquellos cuya profundidad va de entre los 70 y 300 kilómetros. Si supera esta barrera nos encontramos con los sismos profundos, los cuales son en su gran mayoría imperceptibles y son captados sólo por los sismógrafos.

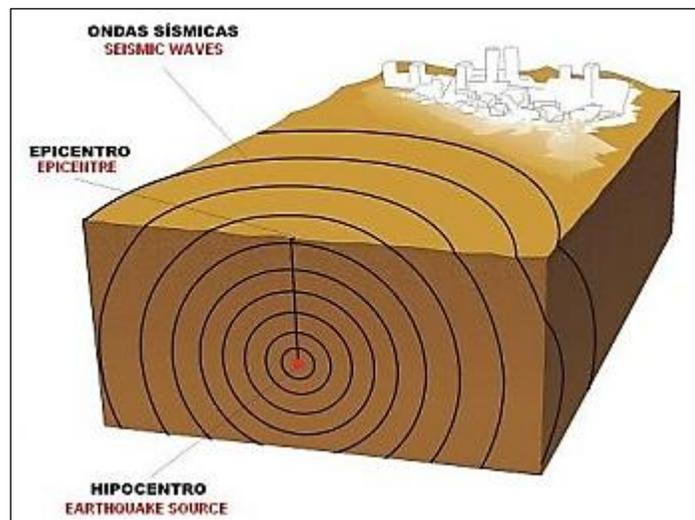


Imagen 2: Componentes de un sismo.

Fuente: Ministerio de Educación.

La zona de subducción se denomina a la zona en que los bordes de dos placas convergen, una de ellas, la más densa y pesada penetra a la otra. En respuesta a este suceso ocurren los sismos y terremotos tectónicos.

Tal y como se representa en la *imagen 3*, la respuesta a los movimientos de las placas provocan los siguientes efectos:

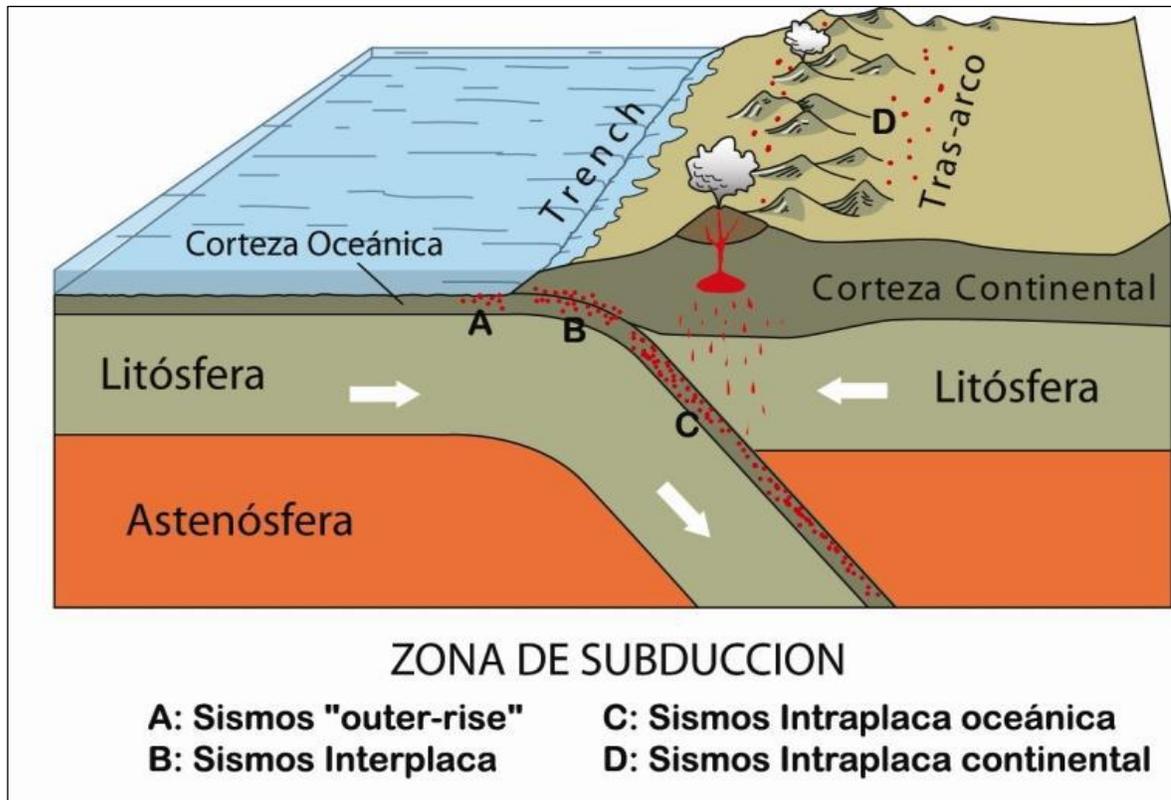


Imagen 3: Zona de subducción y tipos de sismos tectónicos.

Fuente: Centro sismológico nacional.

2.1.1.1.- Sismos outer-rise.

Son los sismos ocurridos fuera de la costa de trench o fosa oceánica, lugar donde se forma un valle producto de la unión entre ambas placas). Éste se produce porque la fuerza de roce es mayor a la fuerza neta, debido a que, la placa de Nazca intenta penetrar a la placa sudamericana, ya que no se produce movimiento entre ellas. Por lo general los terremotos de esta categoría no superan los 8.0 grados Richter. El ejemplo más reciente es el terremoto de 2001 en las costas de Valparaíso el cual fue de 6.7 Richter. En la zona demarcada en la *imagen 4*, situamos los sismos de tipo outer-rise.

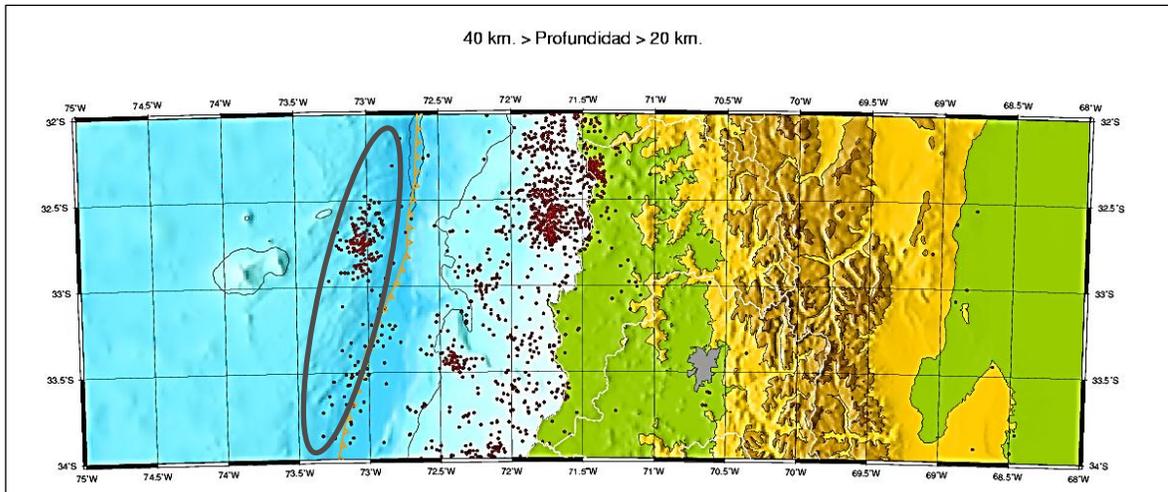


Imagen 4: Sismos Outer-rise.

Fuente: Centro sismológico nacional.

2.1.1.2.- Sismos interplaca.

El movimiento entre las placas se encuentra impedido por la fuerza de roce entre ellas, estas se pueden mover relativamente cuando la fuerza neta es mayor que la fuerza de roce. Cada vez que ocurre un movimiento de este tipo se provoca un evento sísmico interplaca. La magnitud de este movimiento es directamente proporcional al tamaño del sismo. Estos terremotos pueden provocar movimiento vertical del fondo oceánico, lo que ocasionaría una ola denominada tsunami. Este tipo de sismos son los que presentan mayores magnitudes, ejemplos de ellos son el sismo de Valdivia del año 1960 de 9,5 grados y el del año 2010 del Maule de 8,8 grados. En la zona demarcada en la imagen 5, situamos los sismos de tipo interplaca.

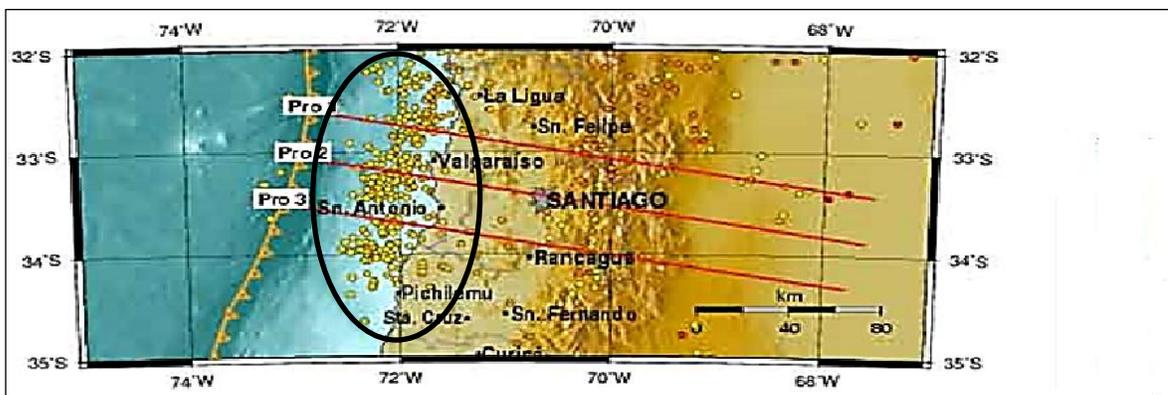


Imagen 5: Sismos interplaca.

Fuente: Centro sismológico nacional.

2.1.1.3.- Sismos interplaca oceánica.

Este tipo de sismos ocurren dentro de la placa subductada, denominada en este caso placa de Nazca. Este tipo de sismo se produce debido al gran peso que se ejerce sobre ella la placa sudamericana y el fuerte acoplamiento entre estas. Dichos sismos se provocan a profundidades mayores a los 60 kilómetros. El daño producido por estos sismos es mayor al daño provocado por los sismos interplaca de igual magnitud, (ejemplos son: Chillan en el año 1939 de grado 8,3 y Punitaqui en el 1997 de 7,1 grados Richter). En las zonas demarcadas en la *imagen 6*, situamos los sismos de tipo interplaca oceánica.

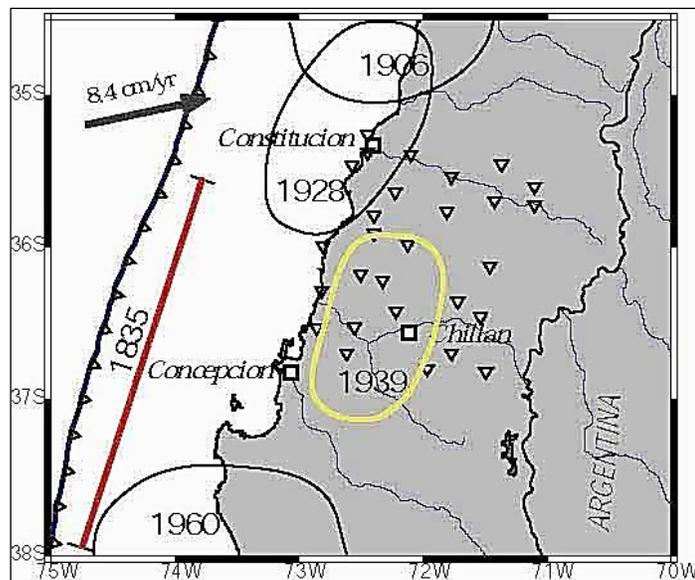


Imagen 6: sismos interplaca oceánica.

Fuente: Centro sismológico nacional.

2.1.1.4.- Sismos interplaca continental.

Son sismos que ocurren a profundidades no mayores a los 30 kilómetros, provocados por las deformaciones ocurridas en la placa continental por la convergencia interplaca y por fuerzas locales. La mayor deformación proveniente de la subducción es la Cordillera de los Andes. Como podemos observar en la *imagen 7* generalmente estos sismos ocurren en la Cordillera (Chile o Argentina), son ejemplos de este tipo de sismos es el del año 1958 de Las Melosas 6,3 grados Richter cercano al Cajón del Maipo en Santiago.

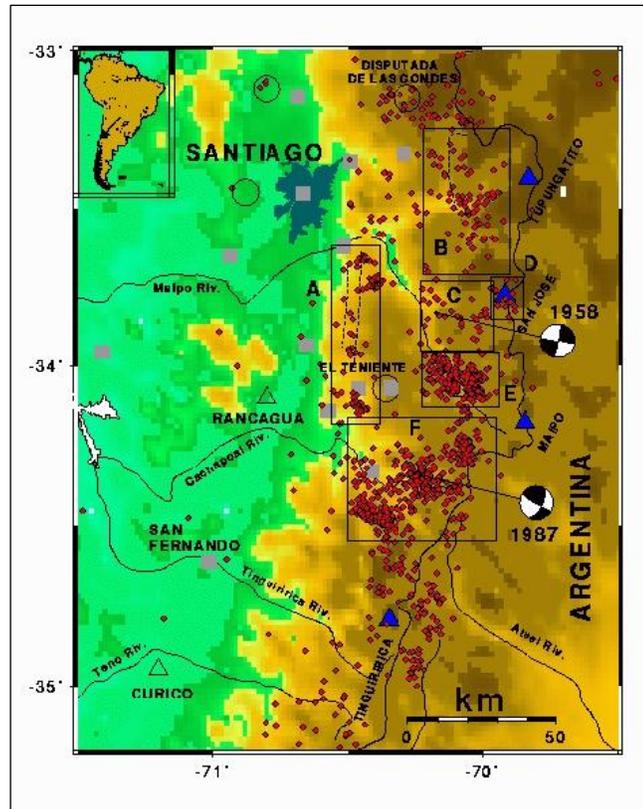


Imagen 7: sismos interplaca.

Fuente: Centro sismológico nacional.

2.1.2.- Historia sísmica chilena.

En el ranking de los 16 terremotos de mayor intensidad a nivel mundial realizado por el servicio geológico estadounidense adjunto en la *imagen 8*, podemos observar que tres de ellos tienen lugar en nuestro país. En su gran mayoría los terremotos encontrados en esta tabla, ocurren en países pertenecientes al cinturón de fuego del pacífico, siendo la placa de Nazca la de mayor actividad sísmica.

El terremoto más grande de la historia a nivel mundial documentado, fue el terremoto de Valdivia el año 1960 con una magnitud de 9,5 en la escala de Richter, en el cual la superficie descendió 4 metros bajo el nivel del mar y que además produjo la erupción del volcán Puyehue. Paralelamente se generó la ola del tsunami que alcanzó las costas de Japón y Hawái. Este terremoto dejó alrededor de 2000 personas muertas y millones de damnificados.

	UBICACIÓN	FECHA	MAGNITUD (RICHTER)	LATITUD	LONGITUD
1	Valdivia, Chile	1960/05/22	9.5	-38.29	-73.05
2	Prince William Sound, Alaska	1964/03/28	9.2	61.02	-147.65
3	Costa Oeste de Sumatra Norte	2004/12/26	9.1	3.30	95.78
4	Costa Este de Honshu, Japón	2011/03/11	9.0	38.322	142.369
5	Kamchatka, Rusia	1952/11/04	9.0	52.76	160.06
6	Maule, Chile	2010/02/27	8.8	-35.846	-72.719
7	Costa de Ecuador	1906/01/31	8.8	1.0	-81.5
8	Islas Rata, Alaska	1965/02/04	8.7	51.21	178.50
9	Sumatra Norte, Indonesia	2005/03/28	8.6	2.08	97.01
10	Assam, Tibet	1950/08/15	8.6	28.5	96.5
11	Islas Andreanof, Alaska	1957/03/09	8.6	51.56	-175.39
12	Sumatra Sur, Indonesia	2007/09/12	8.5	-4.438	101.367
13	Mar de Banda, Indonesia	1938/02/01	8.5	-5.05	131.62
14	Kamchatka, Rusia	1923/02/03	8.5	54.0	161.0
15	Frontera Chile-Argentina	1922/11/11	8.5	-28.55	-70.50
16	Islas Kuril	1963/10/13	8.5	44.9	149.6

Imagen 8: Ranking de terremotos más destructivos del siglo XX.

Fuente: United States Geological Survey.

Posteriormente se presentaron otros terremotos de gran magnitud como el del año 1985 de 7,8 con epicentro cercano a la ciudad de Santiago que afectó la V, VI, VII y la región metropolitana, dejando 177 muertos. El terremoto del Maule del año 2010 de 8,8 grados Richter, junto con el tsunami derivado de éste, provoca la pérdida de alrededor de 497 personas³ y recientemente el terremoto ocurrido el 16 de septiembre del año 2015 en las cercanías de Coquimbo 8,4 grados Richter. Estas últimas catástrofes producidas han impulsado a que las autoridades y los profesionales del área se preocupen por general nuevas técnicas para solucionar en gran medida los problemas producidos por dichos eventos.

En la *imagen 9* podemos observar los sismos más relevantes ocurridos en nuestro país desde el año 1575 al año 2010. Los cuales se definen, según su intensidad, en una escala de colores clasificando con color rojo los sismos de alta intensidad superiores a los 8,3 grados Richter; naranja nos indica sismo de intensidad alta-moderada, en los 8,0 y 8,2 grados Richter, amarillo para sismos de intensidad alta-baja perteneciente a todo movimiento inferior a 7,9 grados Richter. La elipse nos indica la ubicación del sismo y su dimensión nos grafica la amplitud que abarcó dicho terremoto.

³ Listado oficial de muertes en terremoto 2010, El Mercurio, 09 de marzo de 2010.

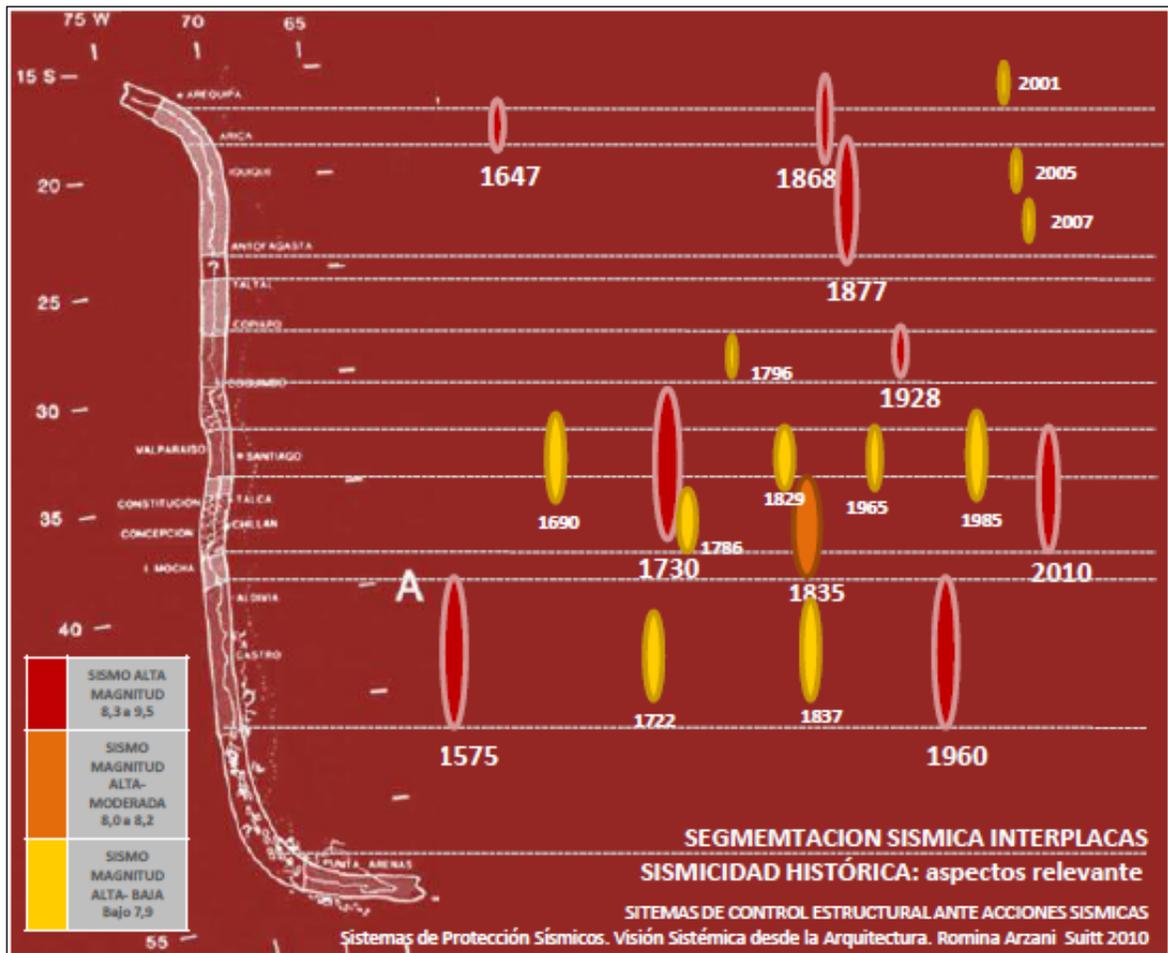


Imagen 9: Sismos registrados desde 1575 a 2010 de alta magnitud.

Fuente: sistemas de protección sísmica, Romina Arzani Suitt.

2.2.-Protección sísmica.

La ingeniería sísmica se dedica al estudio de las estructuras y su comportamiento frente a un sismo, analizando la relación de la estructura con el suelo. Dicha información es relevante para prever las consecuencias de las acciones sísmicas de la edificación.

Las protecciones sísmicas son sistemas, mediante los cuales, se intenta evitar las catástrofes producidas por los terremotos, con el fin de prevenir destrucciones mayores en elementos estructurales y en algunos casos no estructurales que componen la edificación.

Un terremoto inserta energía adicional a la edificación, que puede ser muy perjudicial. Con el fin de atacar este problema se establecen 3 formas de cálculo a la hora de diseñar una edificación:

a) Por resistencia: consiste en sobredimensionar los elementos estructurales con el fin de que tengan una resistencia tal que puedan soportar las cargas sísmicas sin romperse. Esta metodología tiene como inconveniente el alto costo, grandes dimensiones y riesgo de rotura frágil.

b) Por ductilidad: consiste en dimensionar la estructura de tal forma que esta disipe parte de la energía sísmica por deformación plástica de los elementos que la componen. Se reduce el riesgo de rotura por fragilidad y el dimensionado de los elementos es menor. No obstante se producen daños en la estructura, pero sin que esta colapse.

c) Por disipación: consiste en introducir elementos anexos a la estructura del edificio, con la finalidad de disipar la energía producida por un sismo. Dichos elementos no tienen ninguna función resistente cuando no se encuentra durante un terremoto.

2.2.1.-Tipos de sistemas de protección sísmica para edificaciones.

En la actualidad existen diversos tipos de sistemas de protectores sísmicos que van desde diseños relativamente simples a complejos sistemas totalmente automatizados. Atendiendo a su complejidad los sistemas se pueden categorizar en tres:

2.2.1.1.-Sistemas activos.

Son los sistemas más complejos, ya que incluyen sensores de movimiento, los actuadores dinámicos, sistemas de control y procesador de datos distribuidos a lo largo de la edificación como se muestra en la *imagen 10*. Este tipo de sistema monitorea, en tiempo real, la estructura mediante sensores detectando los movimientos producidos en ésta y generando mediante un sistema de control una fuerza que contrarresta los efectos sísmicos, con el fin de mantener el equilibrio de la estructura.

Este tipo de sistema se ha estudiado e implementado mayoritariamente en Estados Unidos y Japón. Estos sistemas son la mejor herramienta de protección sísmica. Por otra parte tienen desventajas por su alto costo y la dependencia de una fuente externa de energía al momento de ocurrir un terremoto.

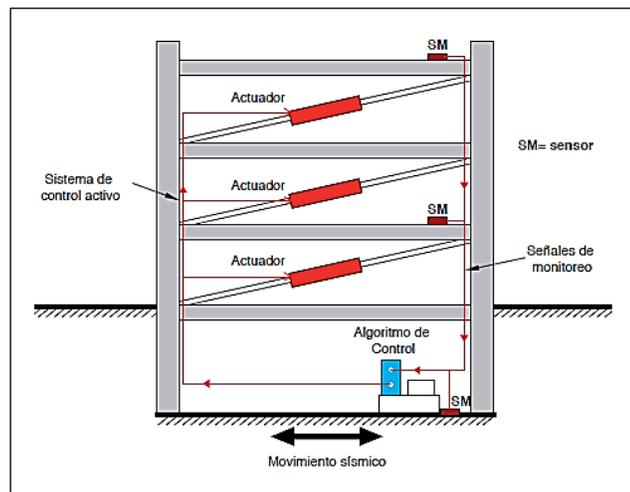


Imagen 10: sistema activo.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

Básicamente este tipo de sistema funciona mediante las mediciones generadas por los sensores los que en su mayoría son acelerómetros, los que miden las fuerzas externas (sismos, vientos) y la respuesta de la estructura. Estos elementos son instalados en puntos estratégicos de la estructura. La información obtenida por los sensores es procesada por un algoritmo de control, que determina la fuerza necesaria que deben aplicar los actuadores para mantener la estabilidad del edificio. Estos actuadores generalmente ejercen su efecto sobre masas, elementos de arriostre o tendones activos tal como se muestra en la *imagen 10*. En la *imagen 11* se grafica el funcionamiento básico de un sistema activo de protección sísmica.

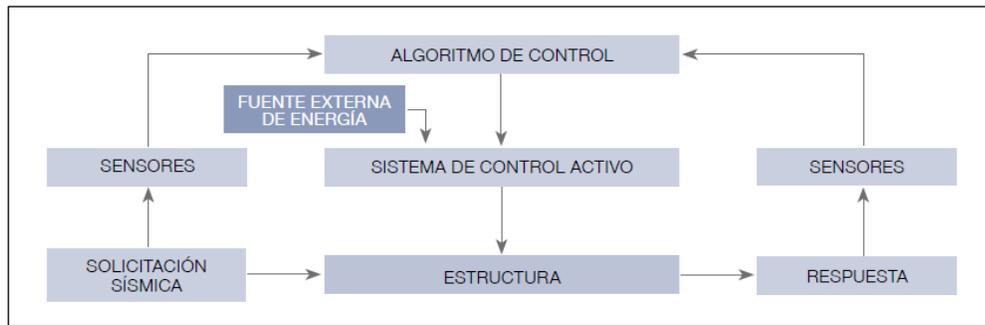


Imagen 11: Diagrama de sistema activo de protección sísmica.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.2.1.2.-Sistemas semi-activos.

Este tipo de sistema es similar al activo, posee un sistema de monitoreo en tiempo real, su diferencia con el sistema activo es que no generan una fuerza actuante de control directamente sobre la estructura. Estos actúan variando las capacidades mecánicas de los dispositivos de disipación sísmica, en tiempo real.

Algunos ejemplos de estos sistemas de protección son los amortiguadores de masa semi-activos como el que se observa en la *imagen 12*, los dispositivos de fricción con fricción controlable y los dispositivos con fluidos electro-reológicos o magneto-reológicos.

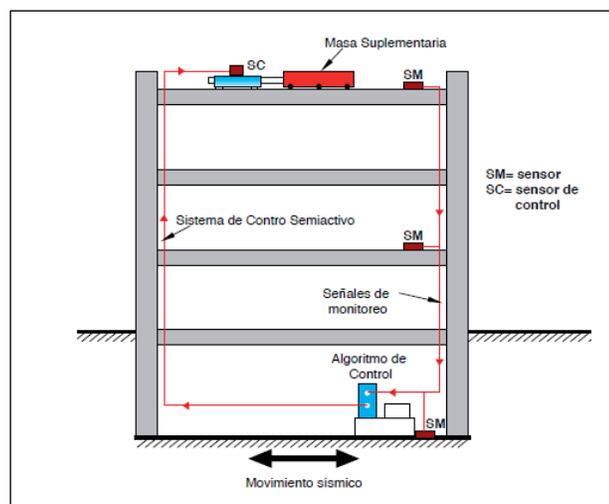


Imagen 12: sistema semi-activo.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.2.1.3.-Sistemas pasivos.

Estos tipos de sistemas de protección sísmica son los más utilizados en la actualidad. Son dispositivos de aislación de base y de disipación de energía. Dichos sistemas actúan reduciendo la respuesta dinámica de las estructuras mediante sistemas mecánicos diseñados especialmente para disipar la energía obtenida de un sismo. Este tipo de sistemas no posee un mecanismo de control de las fuerzas actuantes en respuesta a las fuerzas aplicadas por un terremoto, tal como se grafica en la *imagen 13*, lo que hace que la incertidumbre sea mayor a la hora de ocurrir un evento sísmológico.

Ya que estos son los sistemas más utilizados en la actualidad serán los que estudiaremos en el siguiente capítulo.

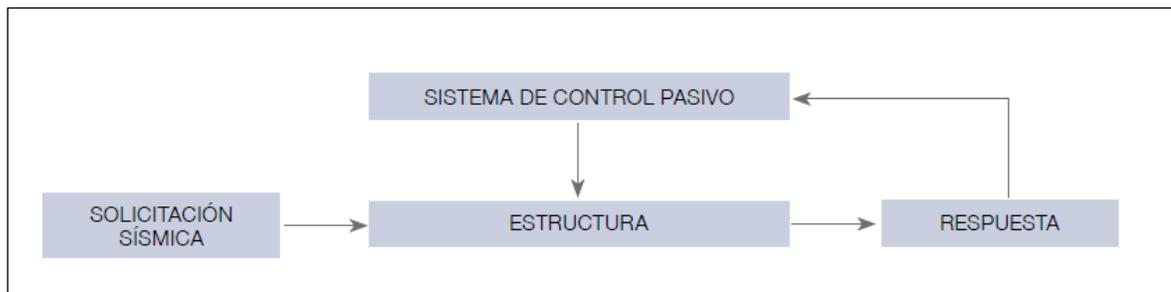


Imagen 13: diagrama sistema pasivo de protección sísmica.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.- Aislación sísmica.

El aislamiento sísmico es utilizado para la protección sísmica de diversos tipos de estructuras, tanto en nuevas como estructuras existentes que requieren de refuerzo o rehabilitación. A diferencia de las técnicas convencionales de reforzamiento de estructuras, el aislamiento sísmico busca reducir los esfuerzos a niveles que puedan ser resistidos por la estructura existente. Debido a esto último, la aislación sísmica de base es especialmente útil para la protección y refuerzo de edificios históricos y patrimoniales.

2.3.1.- Concepto.

El aislamiento sísmico es una técnica de control que puede ser pasivo o combinado con sistemas de amortiguamiento u otras técnicas de control, siendo estos sistemas de protección activos o semi-activos, ampliamente usadas en estructuras civiles. Las respuestas del comportamiento de los edificios con estos sistemas son satisfactorios. Básicamente, el aislamiento sísmico es una técnica que consiste en desacoplar una estructura del suelo, colocando un mecanismo entre la cimentación de la estructura y el suelo o entre la superestructura y la subestructura, a nivel de cielo del subterráneo. Este dispositivo es muy flexible en la dirección horizontal; pero, sumamente rígido en la dirección vertical. En la *imagen 13* vemos un comparativo del comportamiento de dos edificios, uno con aislador de base y el otro sin estos.

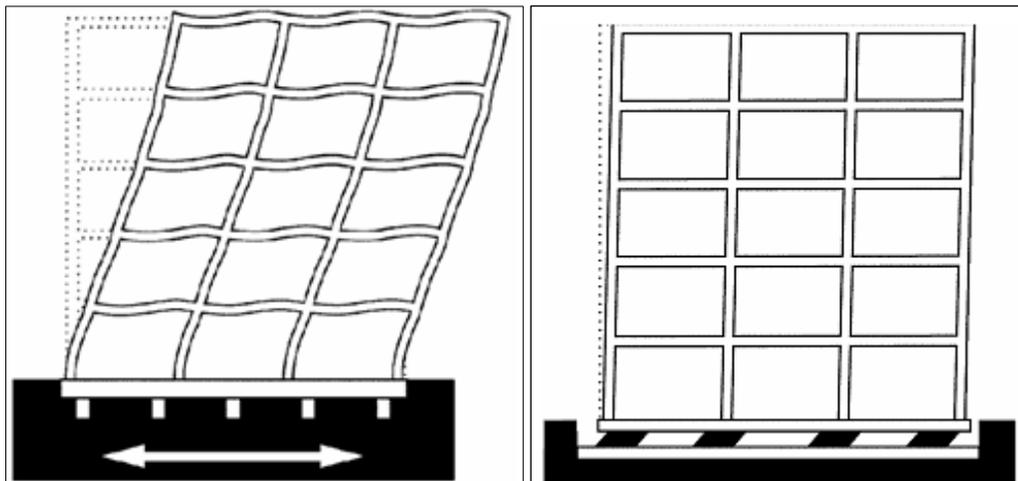


Imagen 14: a) edificación sin aislador de base. b) edificación con aislador de base.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.2.- Componentes generales de sistemas de aislamiento.

Toda estructura aislada sísmicamente posee 3 componentes básicos, graficados en la *imagen 15*.

- Unidad aislamiento: es un elemento muy flexible en el sentido horizontal, pero a su vez muy rígido en el sentido vertical. Permitiendo grandes deformaciones frente a las cargas de un sismo.
- Interfaz de aislamiento: es la línea imaginaria que divide la parte superior de estructura que se encuentra aislada de la parte inferior que se mueve rígidamente con el terreno.

c) Sistema de aislamiento: conjunto de los sistemas de aislamiento, que componen elementos de disipación de energía y sistemas de restricción de desplazamiento.

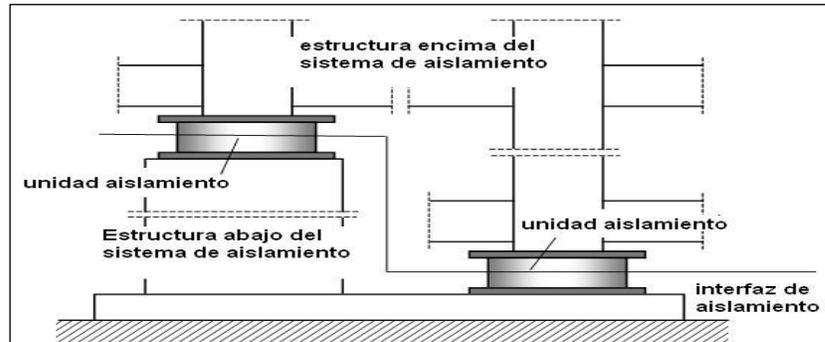


Imagen 15: diagrama de aisladores de base.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.3.- Tipos de aisladores.

2.3.3.1.- Aisladores elastoméricos de caucho natural.

Estos fueron los primeros aisladores utilizados para sistemas de aislamiento. Estos aisladores se aplastaban debido al peso propio de la estructura. Estaban compuestos por simples bloques de caucho sin ningún tipo de refuerzo, ni placa de conexión. En la actualidad se ha mejorado el sistema, utilizando caucho en láminas múltiples con refuerzo de láminas de acero entre las capas.

Con estos aisladores se logran resistencias verticales, que soportan una resistencia superior, la que brinda el refuerzo de láminas de acero incorporados, además de aumentar la rigidez vertical también ha aumentado la resistencia horizontal de los mismos. La principal ventaja de estos sistemas es que no necesitan mantenimiento, sin embargo una de sus grandes desventajas es que, debido a su bajo amortiguamiento, suelen necesitarse amortiguadores externos. En la *imagen 16* tenemos a la izquierda el esquema de un aislador de este tipo y en el lado derecho observamos su ubicación en obra.

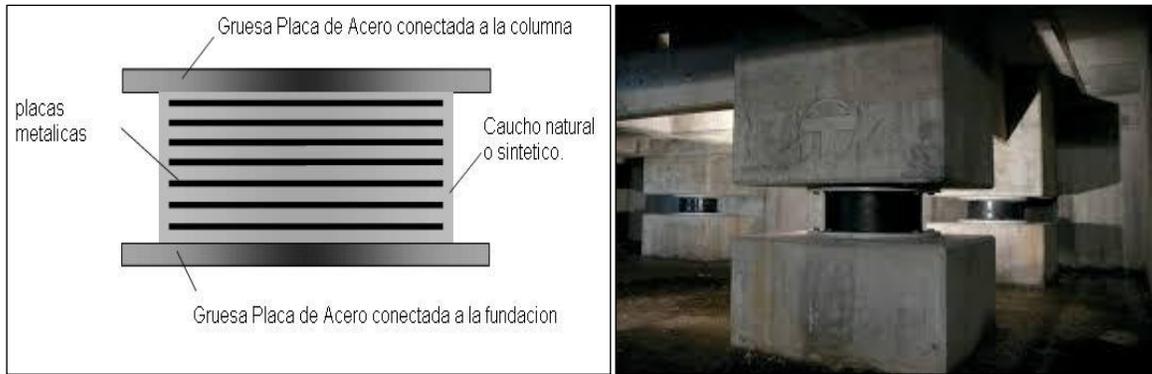


Imagen 16: Aisladores de base elastoméricos de caucho natural.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.3.2.- Aisladores de caucho con núcleo de plomo.

El bajo amortiguamiento de los aisladores naturales es superado utilizando un núcleo de plomo en el centro del aislador. Para esto, se hace un hueco en las placas y en el caucho, insertando el núcleo de plomo, que es un poco más ancho que el agujero, con tanta fuerza que se fusionan y trabajan como una unidad. En la *imagen 17* tenemos a la izquierda el esquema de un aislador de este tipo y en el lado derecho observamos uno real.

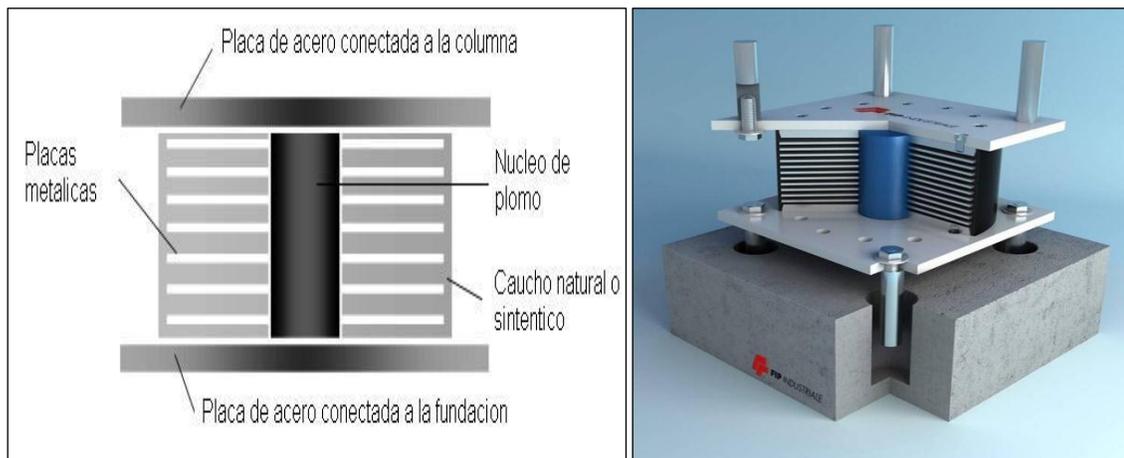


Imagen 17: Aisladores de base elastoméricos de caucho con núcleo de plomo.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.3.3.-Aisladores elastoméricos de caucho de alto amortiguamiento.

Estos aisladores están compuestos de materiales especiales. El caucho lleva aditivos como carbón en polvo, aceites, resinas, polímeros u otros elementos, que le dan al caucho propiedades especiales como: mayor amortiguamiento y mejores propiedades ante altas deformaciones, sin necesidad de agregar un núcleo de plomo. Las propiedades de amortiguamiento varían según los materiales utilizados en su construcción. En pruebas realizadas con estos aisladores han demostrado ser altamente eficientes soportando las pruebas más rigurosas. En la *imagen 18* tenemos a la izquierda el esquema de un aislados de este tipo y en el lado derecho observamos uno real.

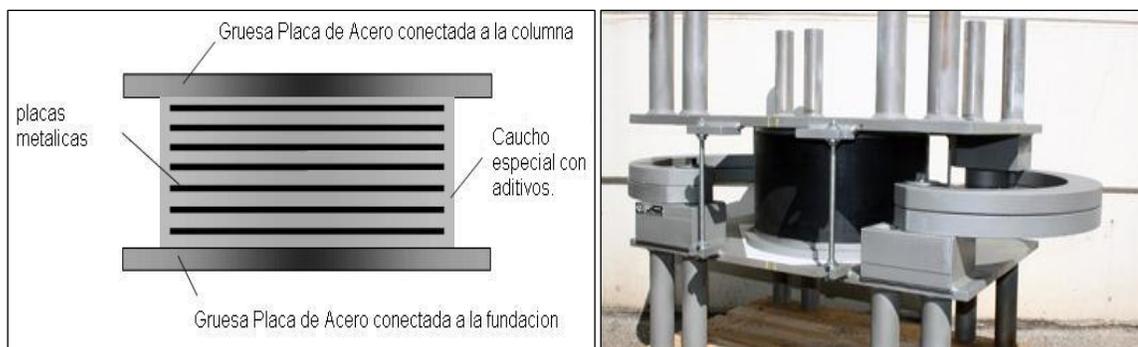


Imagen 18: Aisladores de base elastoméricos de caucho de alto amortiguamiento.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.3.4. Aisladores de base fundados en sistemas resistentes a fricción.

El sistema de aislamiento de base resistente a fricción, trata de superar el problema de alta fricción que existe entre el teflón y el acero, a altas velocidades de movimiento, utilizando muchas superficies deslizantes en un solo soporte. Debido a que la velocidad del movimiento entre la base y el tope del soporte, es dividida por el número de capas, la velocidad en cada capa es pequeña manteniendo, de esta manera, un bajo coeficiente de fricción.

Además de los elementos deslizantes, este sistema también tiene un núcleo de caucho que no soporta cargas verticales pero que provee una fuerza restauradora. En este sistema se inserta una barra de acero en el centro de este núcleo con el fin de mejorar el control de los desplazamientos. En la *imagen 19* tenemos el esquema de un aislador de este tipo.

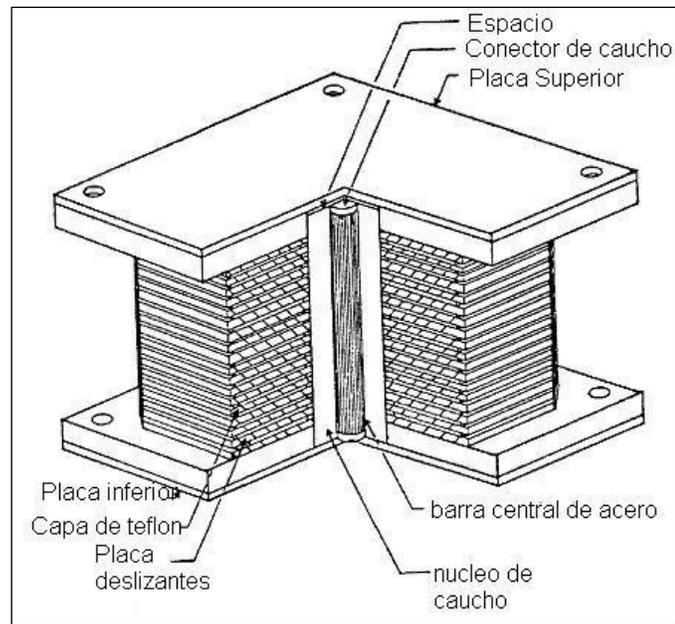


Imagen 19: Aisladores de base elastoméricos fundados en sistemas resistentes a fricción.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.3.5.- Aisladores de base utilizando péndulo de fricción.

El sistema de péndulo de fricción es un sistema de aislamiento de base que combina un efecto de deslizamiento con una fuerza restauradora debido a la geometría. El péndulo de fricción tiene un deslizador que está articulado sobre una superficie de acero inoxidable. La parte del apoyo articulado que está en contacto con la superficie esférica, está rodeada por una película de un material compuesto de baja fricción. La otra parte del apoyo articulado, es de acero inoxidable que descansa en una cavidad que también está cubierta con material compuesto de poca fricción.

A medida que el soporte se mueve sobre la superficie esférica, la masa que ésta soporta, aumenta, otorgando al sistema una mayor fuerza restauradora. La fricción entre el apoyo articulado y la superficie esférica genera cierto amortiguamiento. La rigidez efectiva del aislador y el periodo de oscilación de la estructura están controlados por la curvatura de la superficie cóncava. En la *imagen 20* tenemos a la izquierda el esquema de un aislados de este tipo y en el lado derecho observamos uno real.

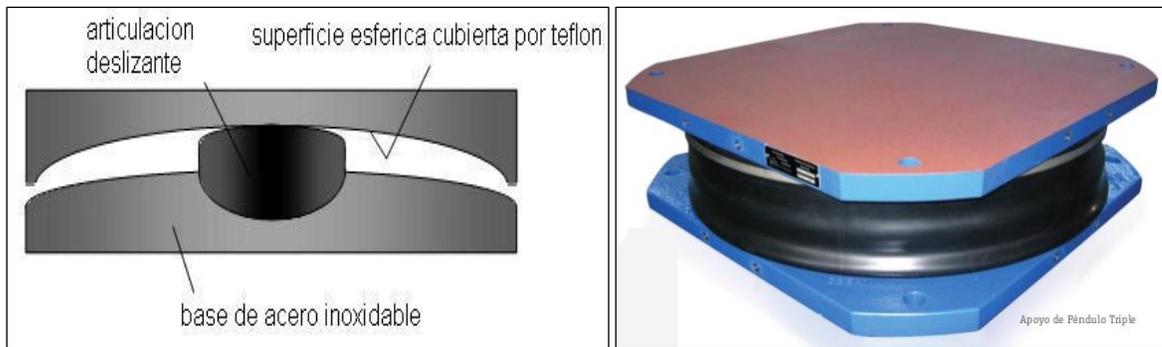


Imagen 20: Aisladores de base utilizando péndulo de fricción.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.3.6.- Sistemas de aislamiento utilizando sistemas de resortes.

Cuando se requiere un aislamiento tridimensional completo, se usan resortes helicoidales de acero que son flexibles horizontal y verticalmente. Los resortes están totalmente desprovistos de amortiguamiento y siempre son usados en conjunto con el sistema de amortiguamiento viscoso. Esto cambia la respuesta del edificio, de un movimiento que, en el caso de un aislamiento tradicional se puede aproximar a uno de cuerpo rígido horizontal, a un movimiento similar pero incluyendo una componente de pendulación. En la *imagen 21* tenemos a la izquierda el esquema de un aislador de este tipo puesto en obra y en el lado derecho observamos uno real desde más cerca.

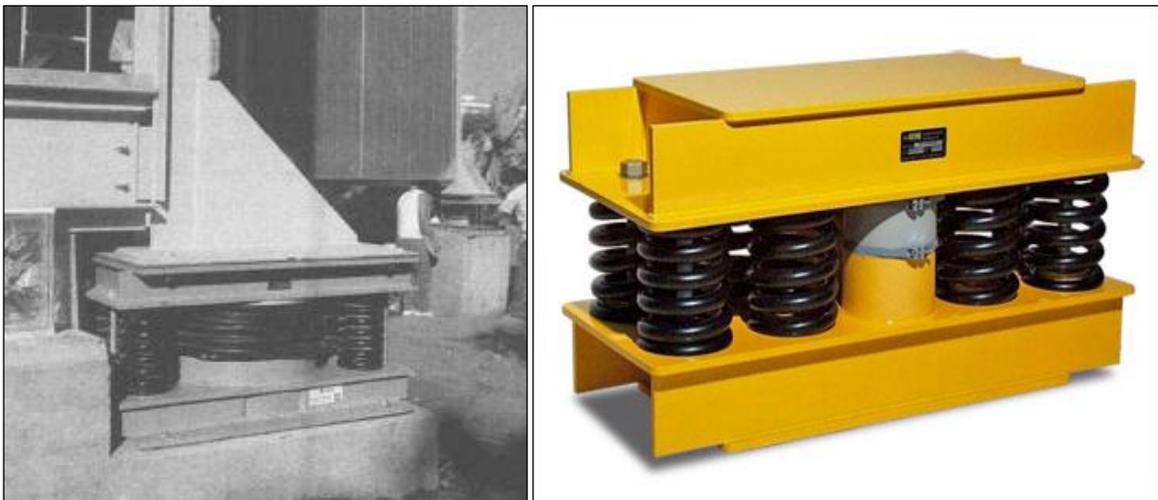


Imagen 21: Aisladores de base utilizando sistema de resortes.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.3.3.7.- Aisladores de base utilizando péndulo de fricción de doble curvatura.

El péndulo de fricción con doble curvatura es una propuesta innovadora. La ventaja de este sistema es que se pueden lograr mayores desplazamientos con un péndulo del mismo tamaño en planta, ya que en el movimiento contribuyen ambas partes del péndulo. En la *imagen 22* tenemos a la izquierda el esquema de un aislador de este tipo y en el lado derecho observamos uno real.

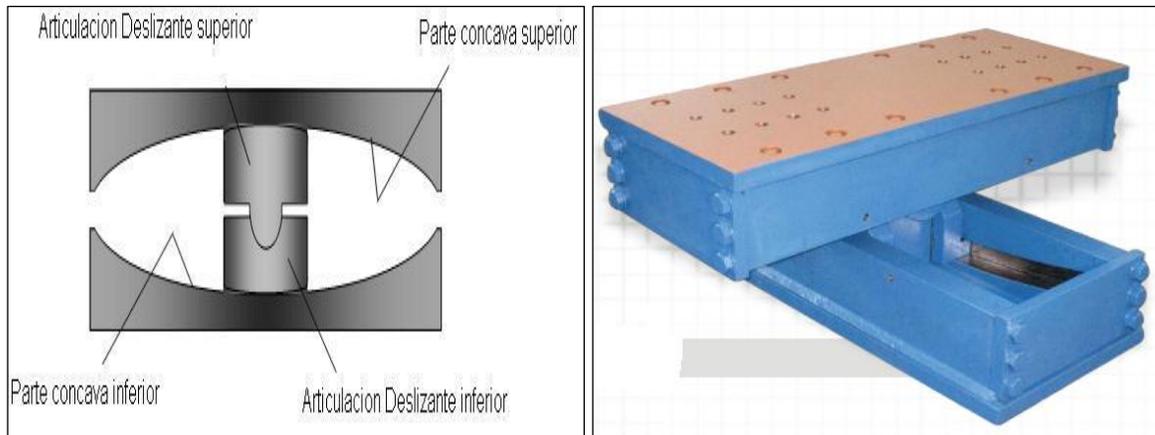


Imagen 22: Aisladores de base utilizando péndulo de fricción de doble curvatura.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.4.-Disipación sísmica.

Los disipadores de energía, a diferencia de los aisladores, no buscan aislar la estructura de las fuerzas y movimientos provocados por un sismo, sino, disipar la energía entregada por éste a la estructura. Estos dispositivos no se utilizan tan solo para solicitaciones sísmicas, sino que también son utilizados para absorber esfuerzos provocados por el viento. Este sistema protege la estructura reduciendo los daños de elementos estructurales como no estructurales del edificio.

Estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura. Un caso particular de dispositivo de disipación de energía, que ha comenzado recientemente a ser utilizado en Chile para la protección sísmica de estructuras, corresponde a los amortiguadores de masa sintonizada. Estos dispositivos, ubicados en puntos estratégicos de las estructuras, permiten reducir la respuesta estructural. Al igual que los sistemas de aislación sísmica de base, los dispositivos de disipación de energía, han sido ampliamente utilizados a nivel mundial en el diseño de estructuras nuevas y en el refuerzo de estructuras existentes.

2.4.1.- Concepto.

Los disipadores de energía son aquellos elementos encargados de disipar la energía acumulada por los movimientos de la edificación, asegurándose que la estructura no sea excedida y se produzcan daños. Los disipadores son instalados en la supraestructura de la edificación en lugares estratégicos.

Los disipadores de energía reducen la demanda de deformaciones y esfuerzos provocados por los sismos aumentando el amortiguamiento estructural. Esta disminución de los esfuerzos producidos a la estructura puede ser de hasta un 50 %, reduciendo notablemente los daños que se producen.

En la *imagen 23* observamos el comportamiento que presenta frente a un evento sísmico una estructura que posee disipadores y otra estructura que no los posee, queda graficado que la oscilación de la estructura del edificio es notablemente mayor en la estructura que no cuenta con sistemas de disipación sísmica.

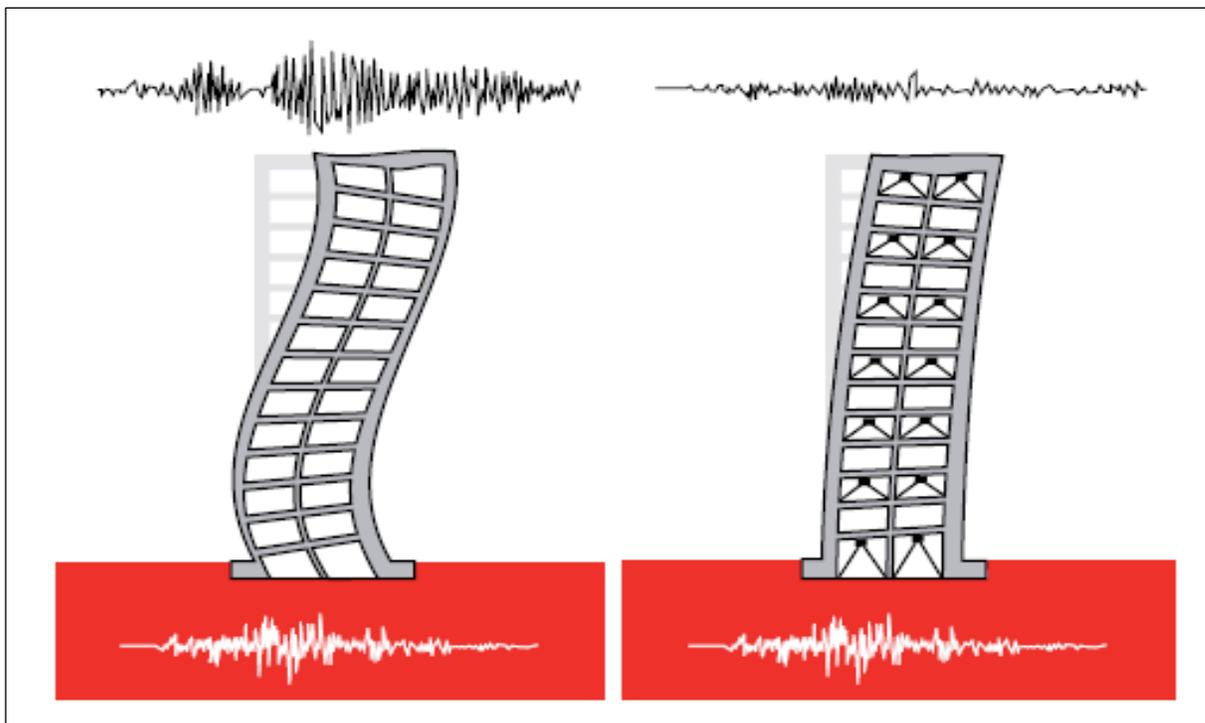


Imagen 23: a) Edificios sin disipadores de energía. b) Edificios con disipadores de energía.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.4.2.-Principios de la disipación sísmica.

Los dispositivos de disipación de energía modifican las propiedades dinámicas del amortiguamiento del sistema estructural de los edificios, de modo que las vibraciones inducidas por los movimientos telúricos sean absorbidas por estos. Son utilizados por edificios flexibles fundados en cualquier tipo de suelo.

La disipación se realiza mediante el comportamiento plástico de los metales dúctiles, la extrusión del plomo, la deformación de corte de polímeros viscoelásticos, la pérdida de energía en fluidos viscosos y la fricción seca entre superficies en contacto bajo presión. Estos son los principales modos de actuación de disipación de la energía, como se muestra en la *imagen 24*.

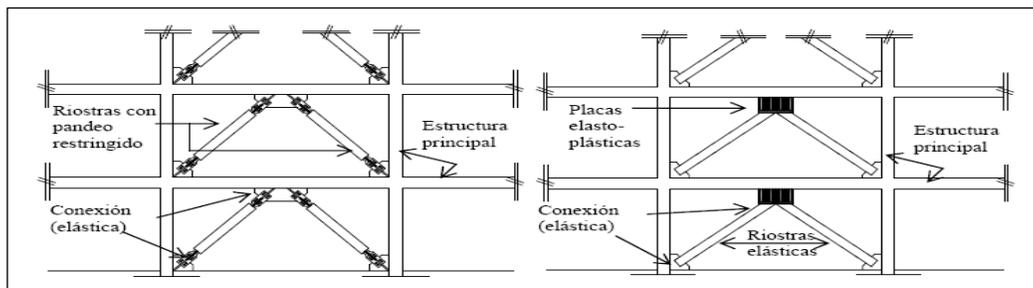


Imagen 24: Esquema de edificios con disipadores de energía.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.4.3.-Tipos de disipadores.

Los disipadores de energía se pueden categorizar en cuatro subgrupos (según su método de activación), estos pueden ser activados por: desplazamiento, velocidad, una combinación de desplazamiento y velocidad, o bien, por movimiento.

2.4.3.1.-Disipadores activos por desplazamiento.

En esta categoría los dispositivos se activan por el desplazamiento que sufren gracias al desplazamiento de la estructura que es provocado por los movimientos sísmicos. Estos disipan la energía mediante la deformación plástica de sus componentes o bien por la fricción de superficies especialmente diseñadas para ello.

2.4.3.1.1.- Disipadores metálicos.

Estos dispositivos disipan la energía mediante la fluencia de los metales debido a los esfuerzos de flexión, corte, torsión o combinaciones de ellos. Tienen un excelente comportamiento ante las adversidades medio ambientales. Además se puede agregar rigidizadores o amortiguadores dentro de la estructura sin que estos pierdan funcionalidad. Su comportamiento es bastante predecible, estable y confiable al largo plazo, su geometría está diseñada para sufrir una deformación uniforme en todas las placas que lo componen. En la *imagen 25* observamos disipador de energía metálico tipo ADAS.

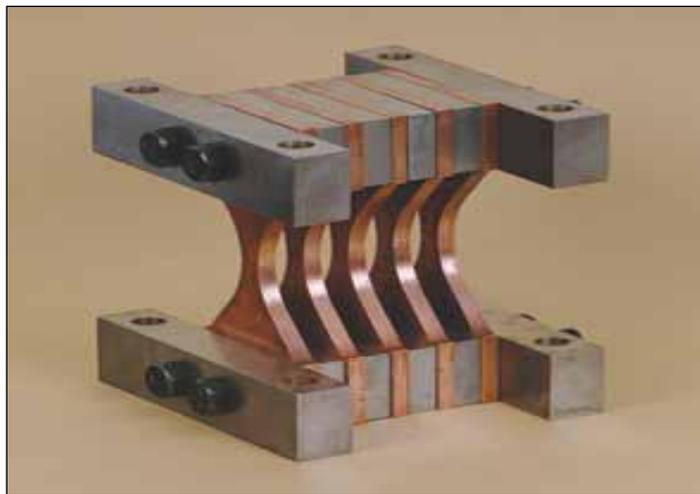


Imagen 25: Disipador de energía metálico tipo ADAS.

Fuente: Corporación de desarrollo tecnológico CCHC.

2.4.3.1.2.- Disipadores friccionales.

Estos dispositivos disipan la energía mediante la fricción entre dos o más superficies en contacto producido por el desplazamiento relativo de estas. La activación de estos dispositivos requiere de una carga determinada, de lo contrario estos permanecen inactivos. Mayoritariamente estos dispositivos disponen de conexiones deslizantes con orificios ovalados o bien superficies en contacto con cargas de precompresión. En la *imagen 26* tenemos a la izquierda el esquema de un disipador de tipo Pall y en el lado derecho observamos uno real

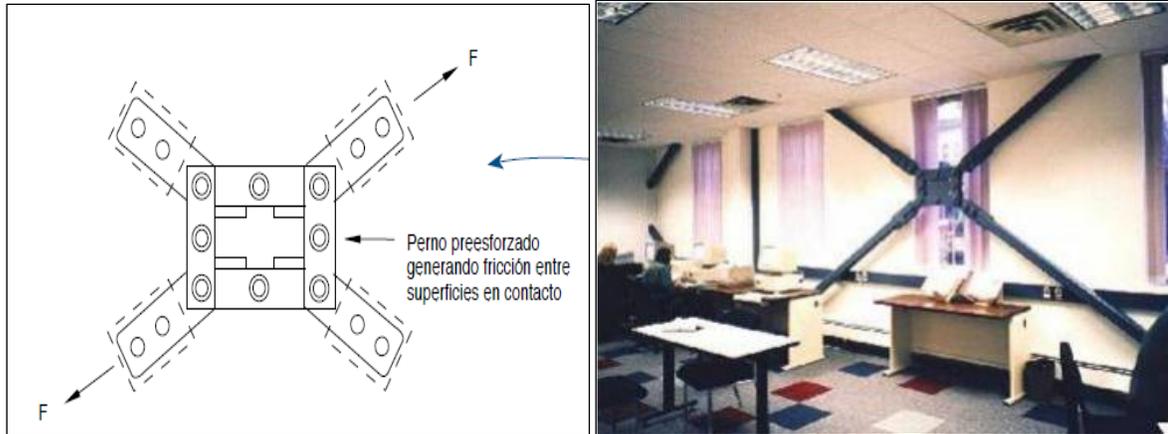


Imagen 26: Dissipador de energía friccional tipo Pall.

Fuente: Sigweb.

2.4.3.1.3.- Dissipadores de extrusión de materiales.

Este tipo de dissipadores basan su comportamiento en la extrusión de materiales. Estos dispositivos utilizan el plomo a través de perforaciones. Estos generan simultáneamente amortiguación y rigidez en las estructuras. Son bastantes resistentes a los efectos climáticos y son duraderos en el tiempo independiente de las cargas que deban soportar por efectos sísmicos.

En la *imagen 27* observamos un dissipador de energía de extrusión de material. Son diagonales de pandeo rígido las que se ubican en las fachadas de las edificaciones.



Imagen 27: Dissipador de energía extrusión de materiales tipo diagonales de pandeo rígido.

Fuente: RBA products.

2.4.3.1.4.-Disipadores autocentrantes.

Los dispositivos autocentrantes basan su comportamiento en la forma y el fundamento de los ciclos de histéresis que se generan en los elementos pretensionados o en las uniones. Estos disipadores vuelven a su posición a lo largo del terremoto, estos dispositivos utilizan las propiedades de los materiales que los componen y de la geometría que los configura para disipar la energía durante un sismo, una vez finalizado el evento, este vuelve a su estado original. En la *imagen 28* observamos disipador de energía autocentrante.



Imagen 28: Disipador de energía autocentrante tipo biela.

Fuente: CDT Cámara Chilena de la Construcción.

2.4.3.2.- Disipadores activos por Velocidad.

Este tipo de disipadores se activa por la velocidad relativa de los extremos del dispositivo, producida por el movimiento de la estructura durante un evento sísmico. Son recomendables para todo tipo de sismo de alta, mediana y baja intensidad. Este sistema actúa añadiendo amortiguación a la estructura pero sin afectar la rigidez de la misma.

2.4.3.2.1.- Dispositivos fluido-viscosos.

Este tipo de disipadores funciona forzando el paso de un fluido a través de un agujero diseñado con un diámetro, longitud e inclinación. El fluido utilizado es altamente viscoso. Este dispositivo es similar a los amortiguadores hidráulicos de un automóvil, como vemos en la *imagen 29*.



Imagen 29: a) Dispositivo fluido-viscoso.

Fuente: CDT Cámara Chilena de la Construcción.

b) amortiguador de automóvil.

Fuente: Monroe.

2.4.3.2.2.- Muros viscosos.

Este tipo de sistema de disipación está compuesto por dos placas acero exteriores que hacen la función de muro, el cual, está relleno por un fluido altamente viscoso y con una placa central que se encuentra inmersa en este fluido con libertad de movimiento. Su comportamiento depende de factores como la temperatura de trabajo, número de ciclos, frecuencia y amplitud de la carga sísmica. En la *imagen 30* podemos observar unos esquemas representativos de muros viscosos.

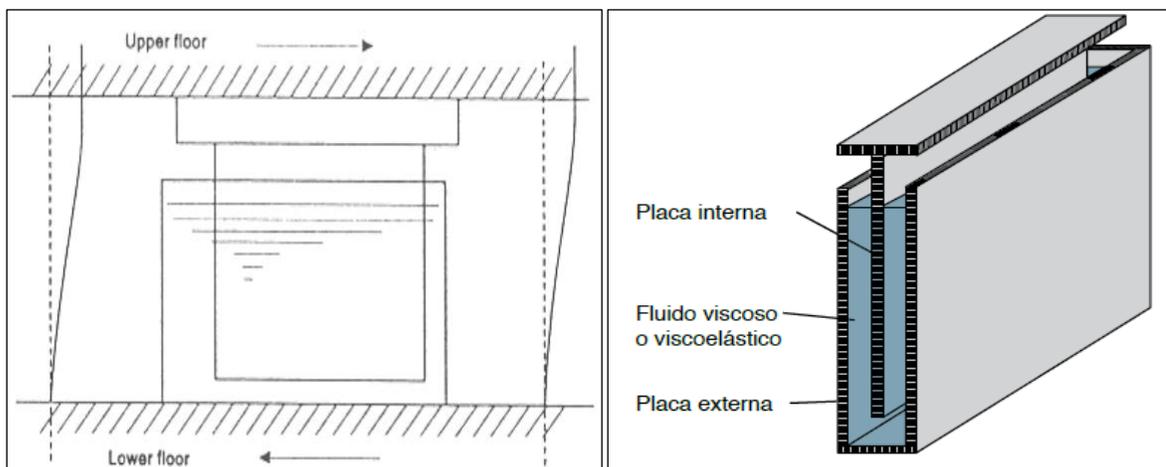


Imagen 30: Esquemas de muros viscosos.

Fuente: CDT Cámara Chilena de la Construcción.

2.4.3.3.- Disipadores activos por velocidad y desplazamiento.

Este tipo de disipadores se activa por el desplazamiento y la velocidad relativa de los extremos del dispositivo, producida por un terremoto, estos dispositivos agregan simultáneamente rigidez y amortiguamiento a la estructura.

2.4.3.3.1.- Dispositivos viscoelásticos sólidos.

Están conformados por dos o más placas metálicas, entre las cuales se añade una capa de material viscoelástico como se ve en la *imagen 31*. En este caso la energía es disipada a través del material viscoelástico por el movimiento de las placas. Este sistema aparece en uniones arriostradas. El comportamiento del material viscoelástico puede variar dependiendo de la temperatura de trabajo, ciclos de movimiento y de la frecuencia y amplitud del movimiento.

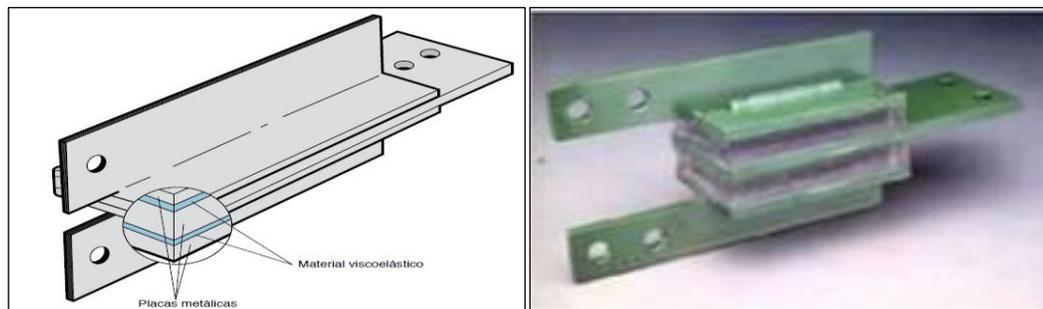


Imagen 31: Dispositivo sólido viscoelástico.

Fuente: Mario Jara, U, Nacional Federico Villarreal.

2.4.3.3.- Disipadores activos por movimiento.

Los principales dispositivos de este tipo son los osciladores de resonancia o amortiguadores de masa sintonizada. Este sistema se ubica en la parte superior de las edificaciones; son utilizados en edificios de gran altura con el fin de disminuir los efectos del viento y las acciones sísmicas. Este dispositivo es activado por las vibraciones inerciales transmitidas por la estructura, utilizando el acoplamiento de las frecuencias emitidas por las vibraciones de la estructura y del oscilador resonante. La *imagen 32* nos muestra dos tipos de amortiguadores de masas resonantes.

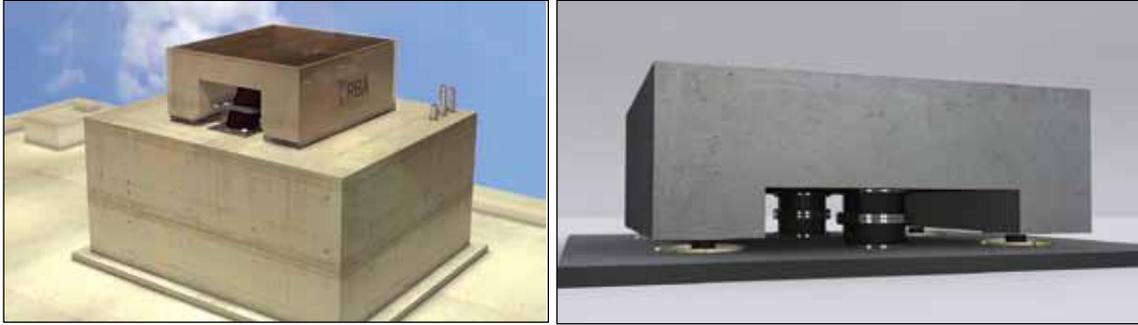


Imagen 32: Amortiguadores de masas resonantes.

Fuente: CDT Cámara Chilena de la Construcción.

2.5.-Rigidizadores.

Son todos aquellos elementos estructurales adicionales, cuyo fin es entregar resistencia adicional a la estructura en el sentido horizontal. Con el fin de soportar las fuerzas ocasionadas por vientos y sismos principalmente. Estos elementos entregan rigidez a la estructura por lo que, en sismos de gran intensidad, pueden ser perjudiciales para la estructura si no se encuentran en una posición correcta, son dispositivos que ayudan a las estructuras de gran altura en conjunto con otros tipos de protección sísmica.

Podemos distinguir los tipos de rigidizadores:

2.5.1.-Muros.

La incorporación de muros estructurales en una edificación como se muestra en la *imagen 33*, tiene por propósito rigidizar y fortalecer a la estructura. Las ventajas que se logran son múltiples:

- Reducen las deflexiones relativas entre pisos y por lo tanto el riesgo de daño en elementos no estructurales fijados a la estructura, ofreciendo protección casi total contra daños durante sismos de bajas intensidades.

- Reducen el daño estructural en sismos menos frecuentes y de mayor intensidad. Para lograr este propósito es necesario darles a los muros suficiente fortaleza para que permanezcan sustancialmente en el rango elástico.

-Mantienen suficiente rigidez para proteger de daños a los elementos no estructurales, aun después de sufrir extensa fisuración por flexión y corte, cuando son exigidas a su máxima resistencia.

-Son susceptibles de comportamiento dúctil y capaz de comportarse como elementos disipadores de la energía sísmica, cuando incursionan en el rango inelástico en sismos muy fuertes.

Se debe poner especial énfasis en algunos aspectos de la configuración estructural con muros de corte, para garantizar que el comportamiento sísmico sea el deseado. Dependiendo de su configuración geométrica, orientación y ubicación en planta, un muro puede contribuir en la resistencia de momentos de volteo, de fuerzas cortantes y de torsiones; puede también, en una ubicación inconveniente, ser origen de torsiones en la edificación y de sobreesfuerzos en otros elementos; por lo que es necesario ejercitar mucho juicio en la ubicación y proporciones de los muros así como en su relación con otros elementos.



Imagen 33: Edificación en altura con muros de hormigón armado.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.5.2.-Cruces de San Andrés.

Las cruces de San Andrés son las formas más comunes de arriostrar edificios y naves industriales de perfiles de acero, ya que nos entregan resistencia al pandeo de estas estructuras. En edificación las cruces de san Andrés son útiles para entregar rigidez al edificio y con ello evitar que este sufra deformaciones. Generalmente son instaladas entre los pisos de una edificación en los muros de fachada.

Uno de los grandes dilemas con estas estructuras es dar la continuidad para un funcionamiento simétrico de las partes. Esto se logra mediante la unión con placas metálicas soldadas donde un perfil se corta y el otro pasa por el centro de estos.

También son utilizadas con dispositivos de disipación sísmica como los de tipo metálico o friccionarios. La *imagen 34* nos muestra una cruz de San Andrés en una edificación.



Imagen 34: edificación con cruces de san Andrés.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción.

2.6.-Normativa sísmica.

Toda normativa busca regular y establecer estándares para regir una materia o actividad dentro de una nación. El tema sísmico es un factor muy importante que requiere su propia reglamentación. La gran mayoría de los países poseen una reglamentación sísmica. Chile, por ser uno de los más sísmicos a nivel mundial, posee su propia reglamentación sísmica. Esto basándose en la normativa estadounidense ASCE 7-05.

2.6.1-Normativa sísmica chilena.

En respuesta al terremoto ocurrido en el 1928 en Talca, las autoridades en el año 1935 crean la primera normativa de reglamentación estructural que posee referencias a los efectos sísmicos en estas. En el año 1960 luego del devastador terremoto de Valdivia, Chile adopta una Normativa de diseño sísmico moderno la hasta ahora vigente NCh 433, la cual es corregida en 1972 y posteriormente en 1996 tras ocurrido el terremoto de Antofagasta en el 1995. El año 2003 se crea la Norma NCh2745 la que hace referencia al análisis y diseño sísmico de edificios con aislación sísmica.

En el año 2010, ocurrió un sismo de gran intensidad (8,8 grados Richter) en la región del Maule y Biobío dejando 497 muertos. Las construcciones tuvieron un comportamiento bastante bueno frente a este sismo, no obstante las autoridades respondieron modificando el año 2011 tanto la Norma NCh 433, dando mayores niveles de seguridad a las estructuras.

2.6.1.1.- Zonificación Sísmica.

Esta normativa establece los estándares mínimos de diseño para edificación, incluyendo los equipos y elementos secundarios de las construcciones. No se aplica para la construcción de obras civiles tales como puentes, muelles, túneles, entre otros. Tampoco se hace aplicable a edificaciones industriales que ya tienen su propia normativa.

La normativa chilena establece 3 zonificaciones sísmicas a nivel nacional, las cuales se muestran en el mapa de la *imagen 35*. Sin embargo, las zonificaciones de las regiones IV,V,VI,VII,VIII,IX y Metropolitana, se establecen explícitamente en la normativa, para cada comuna dentro de su región una zonificación específica.

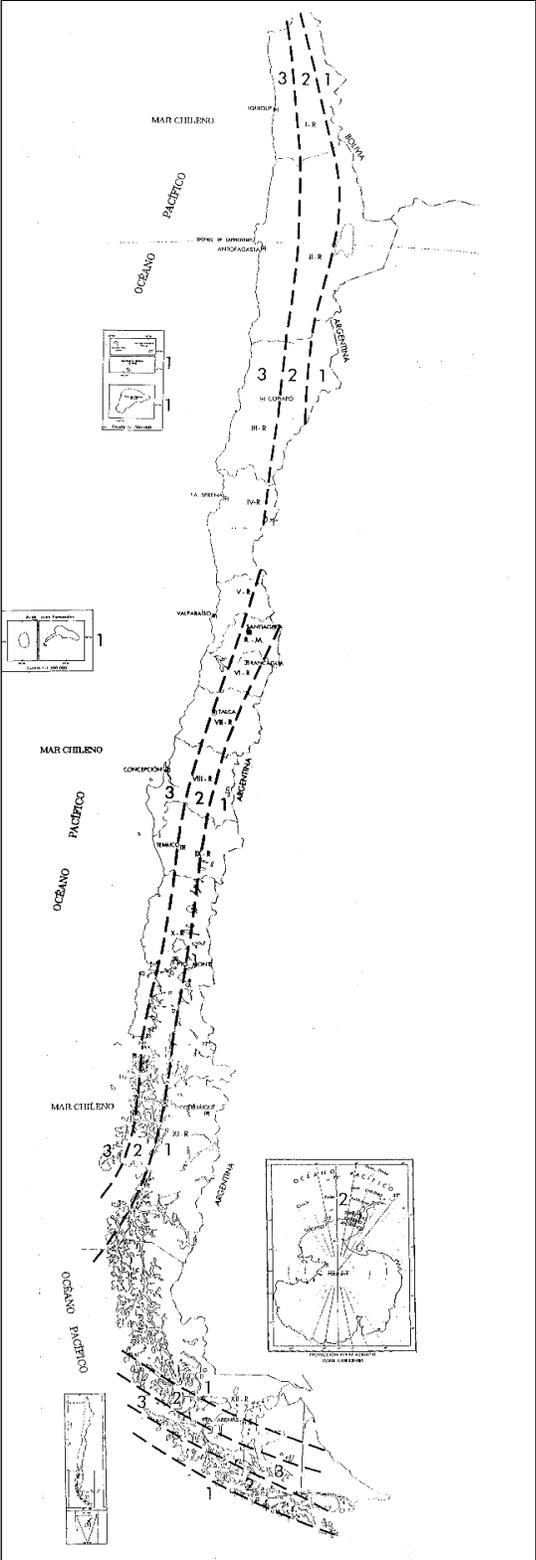


Imagen 35: Mapa Zonas sísmicas.
Fuente: Norma Chilena 433-96.

2.6.1.2.-Efectos del suelo de fundación y de la topografía en las características del movimiento sísmico.

Como se ha dado a entender en capítulos anteriores, el suelo es un factor muy relevante en el diseño de las estructuras sismorresistentes. Los tipos de suelos se definen en la siguiente tabla. Se excluyen los suelos potencialmente licuables, es decir, arenas, arenas limosas o limos saturados con un índice de penetración estándar N menor que 20 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa), además de los suelos susceptibles de densificación por vibrado. Para dichos suelos se requerirá realizar un estudio especializado. Se supone que los terrenos son de topografía y estratificado horizontal y que las estructuras afectadas se encuentran lejos de singularidades geomorfológicas y topográficas.

La normativa establece que *la caracterización del suelo se debe apoyar en un informe sustentado en una exploración del subsuelo acorde con las características del proyecto*⁴. Si la información del suelo de fundación no basta para clasificar el suelo de acuerdo a lo estandarizado, deberá suponerse el perfil del suelo que resulte en el mayor valor del esfuerzo de corte basal.

Tipo de suelo	Descripción
I	Roca: Material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s, o bien, resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas (sin fisuras) igual o mayor que 10 MPa y RQD igual o mayor que 50%.
II	<ul style="list-style-type: none"> a) Suelo con v_s igual o mayor que 400 m/s en los 10 m superiores, y creciente con la profundidad; o bien, b) Grava densa, con peso unitario seco γ_d igual o mayor que 20 kN/m³, o índice de densidad $ID(DR)$ (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor Proctor Modificado; o bien; c) Arena densa, con $ID(DR)$ mayor que 75%, o Índice de Penetración Estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Proctor Modificado; o bien, d) Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado S_u igual o mayor que 0,10 MPa (resistencia a la compresión simple q_u igual o mayor que 0,20 MPa) en probetas sin fisuras. <p>En todo los casos, las condiciones indicadas deberán cumplirse independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser 20 m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20 m, el suelo se clasificará como tipo I.</p>
III	<ul style="list-style-type: none"> a) Arena permanentemente no saturada, con $ID(DR)$ entre 55 y 75%, o N mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa); o bien, b) Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien, c) Suelo cohesivo con S_u comprendido entre 0,025 y 0,10 MPa (q_u entre 0,05 y 0,20 MPa) independientemente del nivel freático; o bien, d) Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 Mpa). <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre suelo correspondiente al tipo II es menor que 10 m, el suelo se clasificará como tipo II.</p>
IV	<p>Suelo cohesivo saturado con S_u igual o menor que 0,025 MPa (q_u igual o menor que 0,050 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondiente a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10 m, el suelo se clasificará como tipo III.</p>

Imagen 36: Tabla Clasificación de suelos.

Fuente: Norma Chilena 433-96.

⁴ Norma Chilena 433, 1996, Chile

2.6.1.3.- Clasificación de edificaciones y estructuras de acuerdo a su importancia, uso y riesgo de falla.

Para los efectos de esta Normativa las edificaciones se clasificarán de la siguiente forma:

Categoría A: edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública (como cuarteles de policías, centrales eléctricas y telefónicas, correos y telégrafos, radioemisoras, canales de televisión, plantas de agua potable y de bombeo, etc.) y aquellos cuyos uso es de especial importancia en caso de catástrofes (como hospitales, postas de primeros auxilios, cuarteles de bomberos, garajes para vehículos de emergencia, estaciones terminales, etc.)

Categoría B: edificios cuyo contenido es de gran valor (como bibliotecas, museos, etc.) y aquellos donde existe frecuentemente aglomeración de personas. Entre estos últimos se incluyen; salas destinadas a asambleas para 100 o más personas, estadios o graderías al aire libre para 2000 o más personas, escuelas, párvulos y recintos universitarios, cárceles y lugares de detención, locales comerciales con una superficie igual o mayor que 500 m² por piso o de altura máxima superior a 12 metros y centros comerciales con pasillos cubiertos, con un área total superior a 3000 m² sin considerar la superficie de estacionamientos.

Categoría C: edificios destinados a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a la categoría A o B y construcciones de cualquier tipo cuya falla puede poner en riesgo otras construcciones de las categorías A, B o C.

Categoría D: construcciones aisladas o provisionales no destinadas a la habitación, no clasificables en ninguna de las categorías anteriores.

2.6.1.4.- Sobre el diseño.

Esta Normativa tal y como se ha dicho en los objetivos de la creación y prediseño de la normativa existente, apunta a tres objetivos básicos que son las siguientes:

- resistir sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada.
- limitar los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.

- aunque se presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

El análisis para determinar los esfuerzos internos debidos a la acción sísmica debe basarse en el comportamiento lineal y estático de la estructura, sin embargo, el dimensionamiento de los elementos estructurales debe hacerse por el método especificado en la norma de diseño relativa a cada material, que puede ser por tensiones admisibles (ASD) o por el método de factores de carga y resistencia (LRFD). El análisis de los efectos de otras cargas que pueden combinarse con los efectos de la acción sísmica, basándose en la teoría lineal-elástica del comportamiento estructural.

2.6.2.-Otras Normativas sísmicas.

Cada país tiene su respectiva reglamentación de diseño sismorresistente, las cuales en su gran mayoría tienen un enfoque uno que es resguardar el no colapso de las estructuras, variando los niveles de exigencia entre unas y otras, dependiendo de la ubicación de cada país.

2.6.2.1.-Normativa Norteamericana ASCE 7-10.

La Normativa norteamericana es la Normativa en la que se basa la Normativa sismorresistente chilena. Esta Normativa busca tal y como se debe resguardar la integridad de las edificaciones, la funcionalidad y la operatividad de los edificios.

2.6.2.2.-Normativa Europea, Eurocódigo 8.

La normativa europea regida por el Eurocódigo 8 establece que las estructuras deben ser diseñadas de modo que el proyecto se conserve su integridad estructural, una vez que ocurre el evento sísmico. Para cada elemento estructural, el valor de deformación inelástica debe estar comprendido dentro de los límites del comportamiento dúctil, sin deterioro significativo de la resistencia última.

“La estructura debe diseñarse de tal forma que cuando ocurra un evento sísmico cuya intensidad tenga un periodo de retorno comparable a la vida útil de proyecto de la estructura, no se produzcan daños en los elementos estructurales y no estructurales y en los equipos instalados en dicha estructura”⁵.

⁵ Euro código 8, 2000, Europa.

2.6.2.3.-Otras normativas Sudamericanas.

2.6.2.3.1.-Norma E 030 “Diseño Sismorresistente” de Perú.

Esta norma apunta a tres principios básicos los cuales son: evitar pérdida de vidas, resguardar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad.

La normativa peruana postula que *“La estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir”, además que “La estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de los límites aceptables”*⁶.

2.6.2.3.2.-Reglamento 103 “Reglamento argentino para construcciones sismorresistente” de Argentina.

En este reglamento establece los requisitos mínimos de diseño de construcción, atribuyendo las responsabilidades a los diversos participantes responsables de una edificación (diseñadores, constructores y propietarios).

⁶ Norma E030, 2006, Perú.

CAPÍTULO III: EDIFICIO MODELO.

3.1.-Edificaciones Universidad de Talca.

3.1.1.-Campus Talca.

Se hizo una selección de edificios para estudio estadístico de edificaciones existentes dentro del campus de la Universidad de Talca. En la *imagen 37* se puede ver la ubicación de los edificios dentro del estudio estadístico.



Imagen 37: distribución Campus Talca.

Fuente: Google maps.

3.1.1.1.-Edificio Escuela de Medicina.

Ubicación: Facultad de Ciencias de la Salud.

Medidas: 8 por 25 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 38* vemos el frontis del edificio de medicina.



Imagen 38: Escuela de Medicina.

Fuente: propia.

3.1.1.2.-Edificio de la Escuela de Odontología.

Ubicación: Facultad de Ciencias de la Salud.

Medidas: 10 por 35 metros.

Altura: 3 pisos, 10 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 39* vemos el frontis del edificio de la Escuela de Odontología.



Imagen 39: Escuela de Odontología.

Fuente: propia.

3.1.1.3.-Edificio de la Escuela de Nutrición y Dietética.

Ubicación: Facultad de Ciencias de la Salud.

Medidas: 20 por 20 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 40* vemos el frontis del edificio de la Escuela de Nutrición y Dietética.



Imagen 40: Nutrición y dietética.

Fuente: propia.

3.1.1.4.-Edificio de Ingeniería Forestal.

Ubicación: Facultad de Ciencias Agrarias.

Medidas: 10 por 20 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 41* vemos el frontis del edificio de Ingeniería Forestal.



Imagen 41: Ingeniería Forestal.

Fuente: propia.

3.1.1.5.-Edificios de Agronomía.

Cantidad: 3 edificios aproximadamente iguales.

Ubicación: Facultad de Ciencias Agrarias.

Medidas: 20 por 20 metros.

Altura: 1 pisos, 3,5 metros.

Estructura: acero.

Tipología: pilares de acero y tabiquería con revestimientos metálicos.

En la *imagen 42* vemos el frontis del edificio de Agronomía.



Imagen 42: Agronomía.

Fuente: propia.

3.1.1.6.-Edificio de la Facultad de Economía y Negocios.

Ubicación: Facultad de Economía y Negocios.

Medidas: 12 por 50 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 43* vemos el frontis del edificio de economía y negocios.



Imagen 43: Economía y Negocios.

Fuente: propia.

3.1.1.7.-Edificio de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Ubicación: Facultad de Ciencias Agrarias.

Medidas: 10 por 40 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 44* vemos el frontis del edificio de la Facultad de Ciencias Agrarias.



Imagen 44: Facultad Ciencias Agrarias.

Fuente: propia.

3.1.1.8.-Edificio de la Facultad de Psicología.

Ubicación: Facultad de Psicología.

Medidas: 10 por 35 metros (curvo).

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 45* vemos el frontis del edificio de la facultad de psicología.



Imagen 45: Facultad de Psicología.

Fuente: propia.

3.1.1.9.-Edificio de la Facultad de Economía y negocios.

Ubicación: Facultad Economía y Negocios.

Medidas: 10 por 40 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 46* vemos el frontis del edificio de la Facultad de Economía y Negocios.



Imagen 46: Facultad de Economía y Negocios.

Fuente: propia.

3.1.1.10.-Edificio de la Facultad de Ciencias Forestales.

Ubicación: Facultad de Ciencias Forestales.

Medidas: 10 por 40 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Acero.

Tipología: pilares de acero y tabiquería.

En la *imagen 47* vemos el frontis del edificio de facultad de ciencias forestales.



Imagen 47: Facultad de Ciencias Forestales.

Fuente: propia.

3.1.1.11.-Edificio de la Facultad de Ciencias Jurídicas.

Ubicación: Facultad de Ciencias Jurídicas.

Medidas: 15 por 35 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Hormigón Armado.

Tipología: pilares y muros de hormigón no estructurales y tabiquería.

En la *imagen 48* vemos el frontis del edificio de Facultad de Ciencias Jurídicas.



Imagen 48: Facultad Ciencias Jurídicas.

Fuente: propia.

3.1.1.12.-Edificio de la Escuela de Diseño.

Ubicación: Facultad de Arquitectura, Música y Diseño.

Medidas: 20 por 25 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Acero.

Tipología: pilares de acero, tabiquería, albañilería y vidriado.

En la *imagen 49* vemos el frontis del edificio de la Escuela de Diseño.



Imagen 49: Escuela de Diseño.

Fuente: propia.

3.1.1.13.-Edificio de la Escuela de Música.

Ubicación: facultad de Arquitectura, Música y Diseño.

Medidas: 20 por 30 metros.

Altura: 1 y 2 pisos, 3 a 7 metros.

Estructura: Acero.

Tipología: pilares de acero, muros de albañilería, tabiquería y revestimientos metálicos.

En la *imagen 50* vemos el frontis del edificio de Escuela de Música.



Imagen 50: Escuela de Música.

Fuente: propia.

3.1.1.14.-Edificio de la Escuela de Arquitectura.

Ubicación: Facultad Arquitectura, Música y Diseño.

Medidas: 15 por 50 metros.

Altura: 2 pisos, 7 metros.

Estructura: Acero.

Tipología: Pilares de acero, muros de albañilería y tabiquería

En la *imagen 51* vemos el frontis del edificio de la Escuela de Arquitectura.



Imagen 51: Escuela de Arquitectura.

Fuente: propia.

3.2.-Selección y modelado del edificio representativo de estudio.

A continuación se presenta un cuadro de resumen de la información obtenida en el estudio de terreno.

Nombre	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (Pisos)	Estructura
Medicina	25	8	2	Hormigón armado
Odontología	35	10	3	Hormigón armado
Nutrición	20	20	2	Hormigón armado
Ing. Forestal	20	10	2	Hormigón armado
Agronomía	20	20	1	Acero
Economía y Neg.	50	15	2	Hormigón armado
Ciencia Agrarias	40	10	2	Hormigón armado
Psicología	35	10	2	Hormigón armado
Fac. Economía	40	10	2	Hormigón armado
Fac. Forestal	40	10	2	acero
Cien. Jurídicas	35	15	2	Hormigón armado
Diseño	25	20	2	Acero
Música	30	20	2	Acero
Arquitectura	50	15	2	Acero

Tabla 1: Cuadro resumen información de estudio de terreno (las medidas incluidas en esta tabla son aproximadas, ya que el estudio no requiere de una precisión exacta).

Fuente: propia.

3.2.1.-Características de la edificación.

En base al estudio realizado y considerando que los caracteres a implementar en nuestro edificio modelo serán los obtenidos calculando la media aritmética para los datos numéricos obtenidos en nuestro estudio y para datos cualitativos se optará por los datos de mayor recurrencia.

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

dimensión	Media (m)	aproximación (m)
Largo	33,2	35
Ancho	13,8	14
Altura	7	7

Tabla 2: Cuadro calculo media aritmética.

Fuente: propia.

El edificio modelo tendrá un largo de 35 metros, un ancho de 14 y una altura de 7 metros correspondiente a 2 pisos.

El edificio estará ubicado en la ciudad de Talca más específicamente en campus de la Universidad, perteneciente a una zona sísmica 3 de terreno, según NCh 433.of96. en su capítulo 4.1. Posee un tipo de suelo cohesivo con capas freáticas superficiales en algunos sectores, lo que nos permite clasificarlo en el tipo III, según NCh 433.of96. en su capítulo 4.2.

El edificio piloto se categoriza en el tipo de edificaciones de clase B, según NCh 433.of96. en su capítulo 4.3.1.

3.2.1.1.- De la estructura.

Su estructura será de hormigón armado, conformado por pórticos de pilares y vigas, los pilares se encontrarán a 7 metros de distancia entre sí, una dimensión de 40 por 40 centímetros, además contará con muros de hormigón armado en cierres perimetrales y núcleo de comunicaciones. Las fundaciones estarán conformadas por zapatas aisladas de 80 por 80 centímetros, unidas por vigas riostra. Todos los datos de dimensionamiento están basados en datos recolectados en la visita a terreno.

3.2.1.2.-Materiales de construcción.

El edificio tipo será de hormigón armado con pilares de 0,4 X 0,4 metros y vigas de 0,2 X 0,4 metros, con losa de entrepiso de 20 centímetros de espesor en hormigón armado. La envolvente del edificio y el núcleo de comunicaciones serán de muros de albañilería y hormigón armado, los muros divisorios interiores serán de tabiquería. En la *imagen 52* vemos un edificio de referencia a como se debería ver nuestro edificio modelo.



Imagen 52: Imagen referencial Edificio Modelo.

Fuente: propia.

CAPÍTULO IV: DISCRETIZACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA.

4.1.- Aisladores de base.

4.1.1.- Impacto Arquitectónico.

Los aisladores de base tienen una instalación muy definida, simple y similar entre ellos. Estos dispositivos comúnmente son instalados en las fundaciones de las edificaciones. Existen casos en los cuales se observan en pisos superiores, los cuales están destinados a aislar un piso de la edificación o incluso solo un sector de ésta, pero son excepcionales, para ello comúnmente se utilizan los disipadores.

Los aisladores sísmicos generan una interfaz donde, en caso de sismos, se produce un gran desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y la no aislada o el suelo. Este desplazamiento, que suele estar en el rango entre 40 y 60 cm (o más), debe ser considerado en el diseño de cañerías, ductos de servicios y redes distribuidas como agua, gas, electricidad, alcantarillado, red seca, etc., además de sistemas de ascensores, escaleras, accesos al edificio y, en general, cualquier instalación, servicio o componente arquitectónico que cruce de la estructura aislada a la no aislada. Un espacio de similares dimensiones debe disponerse alrededor de la estructura a fin de prevenir el impacto de la estructura aislada con sectores no aislados de la estructura o estructuras adyacentes.

La instalación de los aisladores de base debe instalarse en un lugar, en el cual, se puedan realizar inspecciones o posibles mantenimientos. Por normativa estos deben ser susceptibles de reemplazo, debiéndose tomar las precauciones en el diseño para que esto sea factible.

4.1.2.- Ventajas o beneficios.

Los dispositivos de aislación sísmica actúan como filtro del movimiento sísmico, evitando que gran parte de la energía sísmica se traspase a la estructura aislada, reduciendo los esfuerzos y por lo tanto, el daño producido a elementos estructurales, no estructurales y contenidos de los edificios.

4.1.3.- Desventajas o limitaciones de uso.

Algunos tipos de aisladores, como el caso de los aisladores deslizantes, requieren ser revisados después de sismos excepcionalmente severos. Debido al desplazamiento relativo entre la estructura aislada y el suelo u otras estructuras no aisladas. Todas las especialidades involucradas en un proyecto, y que se puedan ver afectadas por el desplazamiento de la estructura aislada, deben realizar diseños especiales a fin de acomodar los desplazamientos esperados para el sistema de aislación.

4.1.4.- Características relevantes.

Solo se analizarán las características relevantes de tres tipos de aisladores puntuales, ya que son los de más fácil acceso y los utilizados frecuentemente:

4.1.4.1.- Aisladores elastoméricos.

- La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 100%.
- Hay una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la deformación lateral.
- El amortiguamiento es alrededor del 2% al 3%.
- Simples de manufacturar.
- Fáciles de modelar.
- No son muy afectados por el tiempo, el ambiente, temperatura u otras condiciones ambientales.
- A menudo necesitan sistema de amortiguadores adicionales.

4.1.4.2.- Aisladores elastoméricos con núcleos de plomo.

- La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 200%.
- Hay una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la deformación lateral.
- El amortiguamiento es alrededor del 15% al 35%.
- Mayor amortiguamiento.
- Suprime la necesidad de amortiguadores.
- Simples de manufacturar.

4.1.4.3.- Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.

- La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 300%.
- Hay una relación entre el esfuerzo cortante y la deformación la cual es lineal.
- El amortiguamiento es alrededor del 10% al 20%.
- Presentan propiedades especiales ante grandes deformaciones.
- Amortiguamiento suficiente para no necesitar amortiguadores adicionales.
- Sufren deterioro con el paso del tiempo y algunos son sensibles de daño por efectos del medio ambiente.

4.2.-Disipadores sísmicos.

4.2.1.- Impacto Arquitectónico.

Las limitaciones arquitectónicas dependen mucho del tipo de disipador que se instale, Por lo general estos son instalados a la altura de todo el edificio entre pisos con el fin de tomar ventaja de las deformaciones y velocidades a las cual se ve sometida la estructura durante un sismo. Es común encontrar disipadores que abarquen 2 o más pisos, cuando las velocidades y deformaciones producidas en ellos son bajas. Generalmente estos dispositivos son instalados en las fachadas de las edificaciones, alejándose de los centros de masa, para así evitar los efectos de torsión de la estructura.

Los disipadores de energía se encuentran disponibles en gran variedad de tamaños. Los disipadores viscosos, viscoelásticos, o friccionales pueden estar ocultos dentro de muros o tabiques. Los amortiguadores de masa sintonizada por su parte, que típicamente se colocan a nivel de techo de las estructuras, requieren de recintos de mayor tamaño especialmente habilitados para ello. Estos dispositivos son dimensionados considerando los desplazamientos máximos de los dispositivos en caso de sismo severo.

Independiente de la tipología de estos disipadores, deben ser instalados en lugares donde se pueda realizar inspecciones y mantenimientos si es que fuese necesario, después de ocurrido un evento sísmico severo.

4.2.2.- Ventajas o beneficios.

Los dispositivos de disipación de energía aumentan el nivel de amortiguamiento de las estructuras, reduciendo los esfuerzos y deformaciones en ellas y sus contenidos. Los esfuerzos, aceleraciones y deformaciones inducidos por un sismo en una estructura con sistemas de disipación de energía, pueden ser entre un 15 a 40% menor que los correspondientes a una estructura sin disipadores, logrando reducir el daño producido a elementos estructurales y no estructurales.

4.2.3.- Desventajas o limitaciones de uso.

Algunos tipos de disipadores pueden requerir ser reemplazados parcial o totalmente, después de sismos excepcionalmente severos. Del mismo modo, algunos tipos de disipadores, reducen las demandas en la estructura, pudiendo incrementar la probabilidad de que se produzcan deformaciones residuales permanentes en las estructuras.

4.1.4.- Características relevantes.

En este apartado solo se consideran los dispositivos de mayor utilidad en el mercado:

4.2.4.1.- Disipadores metálicos.

- Incorporación de rigidez y amortiguamiento simultáneamente.
- Fácil manufacturación.
- No afectan mayoritariamente la arquitectura de la edificación.
- Pueden tener deformaciones residuales en la edificación transcurrido un sismo.
- Fácil implementación.
- Bajo costo.

4.2.4.2.-Disipadores Friccionales.

- Fácil implementación.
- Incertidumbre en la actuación en un evento sísmico.
- Mayor posibilidad de tener deformaciones residuales.
- Mayor funcionalidad en edificios de altura.

4.2.4.3.-Disipadores de extrusión de materiales.

- Durables en el tiempo, independiente de la cantidad de sismos.
- Posibilidad de obtener deformaciones residuales al momento de terminado un sismo.
- Facturación mecanizada y rápida.
- Alta resistencia a la rotura.

4.2.4.4.-Amortiguadores de masa sintonizada.

- Se instalan a nivel de techumbre por lo que se aminora el impacto arquitectónico.
- Respuesta depende del nivel de sincronización de la estructura y el amortiguador.
- Requiere de mecanismo de ajuste de propiedades dinámicas
- Utilizado para edificios de gran altura.
- Alto costo.

4.3.-Selección del sistema de protección sísmica.

Analizando la información obtenida de los diversos sistemas de protección sísmica y con el fin de resguardar la integridad y funcionalidad de nuestras edificaciones, seleccionaremos un sistema de aislación sísmica, ya que estos presentan un mayor grado de protección de elementos estructurales como no estructurales, además de los equipos que dichos edificios pudiesen tener. Tomando en cuenta que una de las grandes desventajas de los aisladores de base, es el desplazamiento producido por ellos al momento de un sismo de alrededor de 60 centímetros, este no sería considerable para nuestras edificaciones ya que el plan regulador urbanístico de la Universidad de Talca contempla edificaciones independientes y aisladas entre sí.

Considerando las ventajas y desventajas que presenta cada sistema de aislación sísmica, teniendo presente además, que su modo aplicación es igual para la gran mayoría de los casos, se determina que el tipo de aislador a utilizarse será un **“Aislador de Base Elastomérico con Núcleo de Plomo”** como el de la imagen 53. Esto, en virtud de que son de fácil adquisición, presentan una muy buena respuesta a los eventos telúricos y no tienen desventajas de gran relevancia.



Imagen 53: imagen referencial Aislador de base.

Fuente: Mageba.

CAPÍTULO V: CÁLCULOS PREVIOS DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.

5.2.- Cálculo del peso efectivo de la estructura.

Se considera peso efectivo, al peso producido por las cargas permanentes y las sobre-cargas de uso, según lo establecido en NCh1537- Of 86 “*Diseño estructural de edificios- cargas permanentes y sobrecarga de uso*”.

En la imagen 54 se observa la planta tipo de la edificación objeto de estudio. En la sección de anexos, se encuentran el anexo 1 “Losa piso 2”, el anexo 2 “Losa piso 1” y el anexo 3 “Losa piso 0”, que muestran el dimensionado de las vigas y pilares correspondientes a cada nivel. Con el fin de visualizar la altura de la edificación y su conformación se incluye el Anexo 4 con la “Elevación norte-sur” y “Elevación este-oeste”

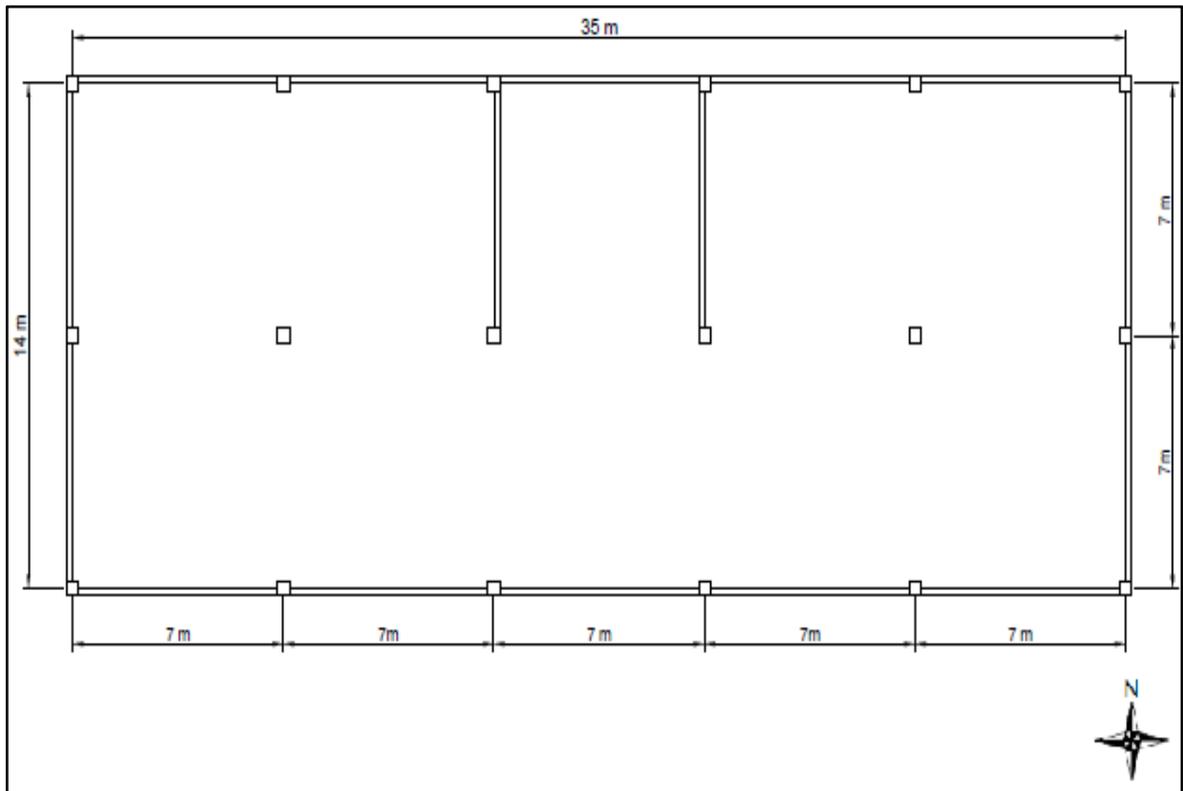


Imagen 54: Plano Planta tipo edificio modelo.

Fuente: Propia.

5.2.1.- Cálculo cargas permanentes.

Las cargas permanentes están influenciadas por los parámetros especificados en la tabla 5.2.1.1.

	Cantidad	Peso específico
peso estructura (hormigón)	Volumen=Area*Altura	2500 kg/m ³ .
Instalaciones	A= área losa	200 kg/m ² .
Mortero de pega	A= área losa	40 kg/m ² .
Porcelanato	A= área losa	100 kg/m ² .
Cielo falso	A= área losa	50 kg/m ² .

Tabla 5.2.1.1: Cuadro pesos específicos de los materiales

Fuente: Propia, en base a NCh 1537-Of 86.

5.2.1.1.- Cálculo del peso otorgado por las losas.

Como la estructura es simétrica y las dimensiones de cada losa encerrada por vigas, es de 7.0 m por 7.0 m, el cálculo de las áreas que afecta a cada viga será la que se realiza a continuación:

$$A = \frac{a * b}{4}$$

$$A = \frac{7 * 7}{4}$$

$$A = 12.25 \text{ m}^2$$

Dónde:

A=área.

a=largo.

b=ancho.

*Se divide en 4 ya que cada losa puede llegar a compartir su peso hasta en 4 pilares.

5.2.1.1.1.- Cálculo peso propio de la losa.

Para el cálculo del peso propio de la losa se considera un espesor 20 cm, tal como se especifica en el capítulo 3.2.1.2, de esta memoria.

$$W_L = Area * Peso_{especifico} * Altura$$

$$W_L = 12.25 * 2500 * 0.2$$

$$W_L = 6125 \text{ kg}$$

5.2.1.1.2.- Cálculo peso de las instalaciones.

$$W_{inst} = Area * Peso_{especifico}$$

$$W_{inst} = 12.25 * 200$$

$$W_{inst} = 2450 \text{ kg}$$

5.2.1.1.3.- Cálculo peso del mortero de pega.

$$W_{mp} = Area * Peso_{especifico}$$

$$W_{mp} = 12.25 * 40$$

$$W_{mp} = 490 \text{ kg}$$

5.2.1.1.4.- Cálculo peso del porcelanato.

$$W_{por} = Area * Peso_{especifico}$$

$$W_{por} = 12.25 * 100$$

$$W_{por} = 1225 \text{ kg}$$

5.2.1.1.5.- Cálculo peso del cielo falso.

$$W_{cf} = Area * Peso_{especifico}$$

$$W_{cf} = 12.25 * 50$$

$$W_{cf} = 612.5 \text{ kg}$$

5.2.1.2.- Cálculo del peso otorgado por las vigas.

El peso de las vigas está dado por sus dimensiones tal como se especifica en el capítulo 3.2.1. Está conformado por una sección de 20 cm por 40 cm y con un largo de 7 m. El peso específico del hormigón se encuentra en la tabla 5.2.1.1.

$$W_v = \text{Area}_{seccion} * \text{Peso}_{especifico} * \text{Largo}$$

$$W_v = \frac{0.2 * 0.4 * 2500 * 7}{2}$$

$$W_v = 700 \text{ kg}$$

*Se divide en 2 ya que cada viga comparte su peso en 2 pilares.

5.2.1.3.- Cálculo del peso otorgado por los muros.

El peso de los muros de hormigón está dado por sus dimensiones de 20 cm de espesor, 7 m de largo y una altura de 3.1 m para los ubicados en el sentido norte-sur y de 1.2 en los ubicado en el sentido este-oeste. El peso específico del hormigón se encuentra en la tabla 5.2.1.1.

$$W_m = \text{espesor} * \text{Largo} * \text{Altura} * \text{Peso}_{especifico}$$

$$W_{mN-S} = \frac{0.2 * 7 * 3.1 * 2500}{2}$$

$$W_{mN-S} = 5425 \text{ kg}$$

$$W_{mE-O} = \frac{0.2 * 7 * 1.2 * 2500}{2}$$

$$W_{mE-O} = 2100 \text{ kg}$$

*Se divide en 2 ya que cada muro comparte su peso en 2 pilares.

5.2.1.4.- Cálculo peso otorgado por los pilares.

El peso de los pilares está dado por sus dimensiones como se especifica en el capítulo 3.2.1.2. Estos son de una sección de 40 cm por 40 cm y con un largo total desde la división de donde se ubica el aislador hasta la techumbre de 7,6 m, tal y como se observa en el anexo 4 de los planos de elevaciones. El peso específico del hormigón se encuentra en la tabla 5.2.1.1.

$$W_p = Area_{seccion} * Peso_{especifico} * Largo$$

$$W_p = 0.4 * 0.4 * 2500 * 7,6$$

$$W_p = 3040 \text{ kg}$$

5.2.1.5.- Calculo Traspaso de peso al suelo.

Se comienza el análisis de traspaso de carga por la losa de cielo del segundo piso (para esta memoria losa 2). Sobre ésta sólo se encuentra la techumbre, tal y como se especifica en la NCh 433.Of.96., en su párrafo 6.2.3.3, “*puede considerarse nulo el valor de sobrecarga de cálculo de techos*”. Por ello el peso de este piso queda determinado por el peso propio de la losa (cielo falso e instalaciones). En el anexo 5 “Plano y distribución de elementos losa 2”, se muestran los elementos actuantes sobre cada pilar.

El peso de la losa de cielo del primer piso (para esta memoria losa 1) está determinada por: peso propio de la losa, peso de las instalaciones, peso del mortero de pega, peso del porcelanato y el peso del cielo falso. En el anexo 6 “Plano y distribución de elementos losa 1”, se muestran los elementos actuantes sobre cada pilar.

El peso de la losa de base del primer piso (para esta memoria losa 0) está determinada por: peso propio de la losa, peso de las instalaciones, peso del mortero de pega, peso del porcelanato y el peso del cielo falso. En el anexo 7 “Plano y distribución de elementos losa 0”, se muestran los elementos actuantes sobre cada pilar.

Se procede a calcular el peso otorgado por cada piso y el peso total de cada pilar sobre la línea de aislación, mediante las siguientes ecuaciones:

$$W_2 = n_{\text{losas}}(W_l + W_{\text{inst}} + w_{cf}) + n_{\text{vigas}} * W_v$$

$$W_1 = n_{\text{losas}}(W_l + W_{\text{inst}} + w_{cf} + W_{mp} + W_{por}) + n_{\text{vigas}} * W_v + n_{mN-S} * W_{mN-S} + n_{mE-O} * W_{mE-O}$$

$$W_0 = n_{\text{losas}}(W_l + W_{\text{inst}} + w_{cf} + W_{mp} + W_{por}) + n_{\text{vigas}} * W_v + n_{mN-S} * W_{mN-S} + n_{mE-O} * W_{mE-O}$$

$$W_T = W_2 + W_1 + W_0 + W_P$$

Donde:

W_i = peso efectivo de cada piso o el total.

n_{losas} = número de losas.

n_{vigas} = número de vigas.

n_{mN-S} = número muros norte-sur.

n_{mE-O} = número muros este-oeste.

W_l = peso efectivo de las losas.

W_{inst} = peso efectivo de las instalaciones.

W_{cf} = peso efectivo del cielo falso.

W_{por} = peso efectivo del porcelanato.

W_{mp} = peso efectivo del mortero de pega.

W_{mN-S} = peso muro norte-sur.

W_{mE-O} = peso muro este-oeste.

W_p = peso pilar.

5.2.2.- Cálculo sobre carga de uso.

Como se estipula en la Normativa chilena NCh433. Of96, en su capítulo 5.5.1, la sobrecarga de uso para edificios públicos donde no es usual la aglomeración de personas o cosas, se debe considerar de mínimo un 25 % de la carga permanente.

En la tabla 5.2.1, se muestran los resultados obtenidos para el peso de cada pilar y el peso total de la estructura. Siendo W el peso efectivo correspondiente al peso total más la sobre carga de uso.

pilar	W_2 (kg)	W_1 (kg)	W_0 (kg)	W_p (kg)	W (T)	W (kips)
1	10587.5	19827.5	19827.5	53.28	66.60	146.86
2	20475	28105	28105	79.73	99.66	219.74
3	20475	22627.5	33530	79.67	99.59	219.60
4	20475	22627.5	33530	79.67	99.59	219.60
5	20475	28105	28105	79.73	99.66	219.74
6	10587.5	19827.5	19827.5	53.28	66.60	146.86
7	20475	34755	34755	93.03	116.28	256.40
8	39550	46410	46410	135.41	169.26	373.22
9	39550	40932.5	51835	135.36	169.20	373.08
10	39550	40932.5	51835	135.36	169.20	373.08
11	39550	46410	46410	135.41	169.26	373.22
12	20475	34755	34755	93.03	116.28	256.40
13	10587.5	19827.5	19827.5	53.28	66.60	146.86
14	20475	28105	28105	79.73	99.66	219.74
15	20475	28105	28105	79.73	99.66	219.74
16	20475	28105	28105	79.73	99.66	219.74
17	20475	28105	28105	79.73	99.66	219.74
18	10587.5	19827.5	19827.5	53.28	66.60	146.86
Total					1973.01	4350.49

Tabla 5.2.1: Cuadro resumen peso efectivo.

Fuente: Propia.

5.3.- Aceleración espectral.

Un factor relevante para el análisis sísmico de nuestra estructura es determinar la aceleración espectral máxima posible de nuestro país para periodos cortos (0,2 segundos) (S_2) y 1 segundo (S_1), ya que las estructuras convencionales tienen un periodo dentro de este rango, con una probabilidad de excedencia de 2 % en 50 años, lo que significa que puede aumentar en un 2 % cada 50 años. La ASCE 7-10 en la sección 11.4.3, determina las siguientes ecuaciones, con el fin de calcular las aceleraciones espectrales para el terremoto máximo considerado.

$$S_{ms} = F_a S_s$$

$$S_{m1} = F_v S_1$$

Dónde:

S_{ms} =aceleración espectral para el terremoto máxima considerado para periodos cortos.

S_{m1} =aceleración espectral para el terremoto máxima considerado para periodos de 1 segundo.

F_a =coeficiente de sitio entregado por la tabla 5.3.1.

F_v =coeficiente de sitio entregado por la tabla 5.3.2.

S_s =parámetro de respuesta de aceleración espectral para periodos cortos según imagen 55a.

S_1 =parámetro de respuesta de aceleración espectral para periodos de 1 segundo según imagen 55b.

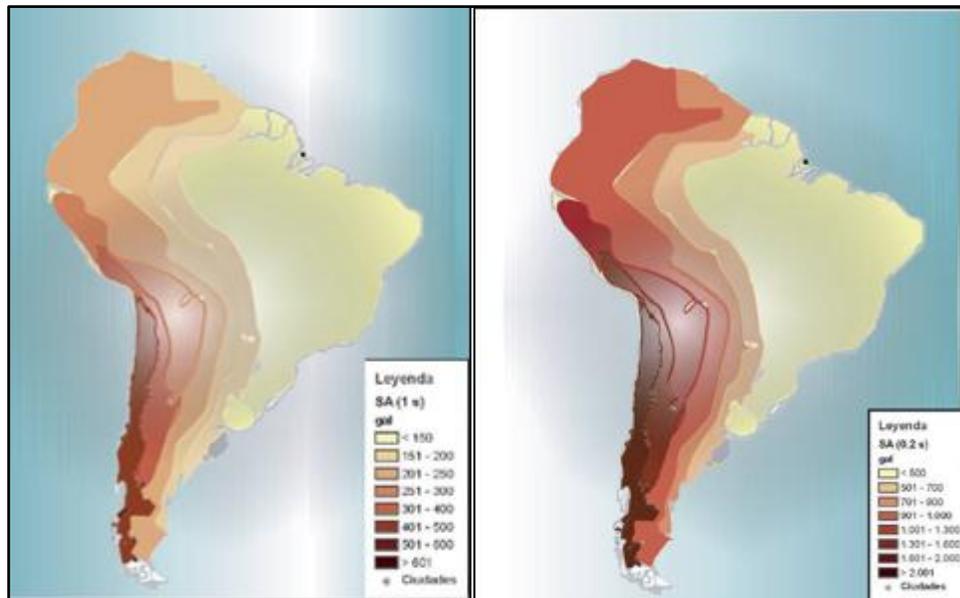


Imagen 55a: amenaza sísmica en Latinoamérica con periodo de 1 s.

Imagen 55b: amenaza sísmica en Latinoamérica con periodo de 0.2 s.

Fuente: evaluación sísmica en Latinoamérica, U. politécnica de Madrid.

Las aceleraciones espectrales máximas que aparecen en los mapas de la imagen 55, están en unidad de Gal por lo que se debe transformar a % de gravedad, mediante la siguiente transformación de unidades.

$$1 \text{ Gal} = 0.01m/s^2 = (0.01m/s^2)/(9.81m/s^2) = 0.001019.$$

Los valores de S_1 y S_s son 500 y 2000 Gal (relativo al valor de aceleración espectral en la imagen 54a y 54b respectivamente). Estos valores al multiplicarse por el valor de % de gravedad, determinan los valores de las aceleraciones espectrales en función de la gravedad.

$$S_1 = 500 * 0.001019$$

$$S_1 = \mathbf{0.509684}$$

$$S_s = 2000 * 0.001019$$

$$S_s = \mathbf{2.03873598}$$

En las siguientes tablas 5.3.1 y 5.3.2 se muestran los factores de amplificación del suelo tanto para los periodos de 1 segundo y 0.2 segundos, de acuerdo al tipo de suelo. En el caso que se estudia, el tipo de terreno es un suelo de tipo III, tal y como se estableció en el capítulo 3.2.1.

Tipos de suelos	Respuesta espectral para periodos cortos.				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1.25$
I.- Rocoso.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
II.- Suelo firme.	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
III.- Suelo moderadamente blando.	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
IV.- Suelo muy blando.	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Tabla 5.3.1: Factor de amplificación del suelo para periodos de 0.2 segundos (F_a)

Fuente: ASCE7-10 tabla 11.4-1 Site Coefficient, F_a

Tipos de suelos	Respuesta espectral para periodos de 1 segundo.				
	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.5$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1$	$S_1 \geq 1.25$
I.- Rocoso.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
II.- Suelo firme.	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
III.- Suelo moderadamente blando.	2.4	1.6	1.5	1.4	1.3
IV.- Suelo muy blando.	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Tabla 5.3.2: Factor de amplificación del suelo para periodos de 1 segundo (F_v)

Fuente: ASCE7-10 tabla 11.4-2 Site Coefficient, F_v .

Aplicando los valores obtenidos en las ecuaciones de aceleraciones espectrales máximas, se obtiene los valores de aceleración espectrales en la estructuras, siendo éstas las aceleraciones que presenta el movimiento en las estructuras a causa de un sismo, sin ningún tipo de protección sísmica.

$$S_{ms} = F_a S_s$$

$$S_{ms} = 1.0 * 2.04$$

$$S_{ms} = 2.04$$

$$S_{m1} = F_v S_1$$

$$S_{m1} = 1.6 * 0.51$$

$$S_{m1} = 0.816$$

Las ecuaciones siguientes, reflejan el cálculo de las aceleraciones espectrales de diseño para los aisladores sísmicos, en referencia a sus periodos, de acuerdo a la sección 11.4.4. del ASCE7-10.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} * S_{ms}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} * 2.04$$

$$S_{DS} = 1.36$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{m1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * 0.816$$

$$S_{D1} = 0.544$$

Donde:

S_{DS} = Aceleración espectral de diseño para periodos cortos.

S_{D1} = Aceleración espectral de diseño para periodos de 1 segundo.

5.4.- Cálculo espectro de respuesta.

Los periodos de respuesta para el cálculo del espectro de respuesta, están dados por las ecuaciones establecidas en el ASCE7-10 capítulo 11.4.5.

$$T_0 = 0.2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0.2 * \frac{0.544}{1.36}$$

$$T_0 = 0.08 \text{ s}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{0.544}{1.36}$$

$$T_s = 0.4 \text{ s}$$

Dónde:

S_{DS} = Aceleración espectral de diseño para periodos cortos.

S_{D1} = Aceleración espectral de diseño para periodos de 1 segundo.

T_0 = valor inicial del periodo de aceleración espectral corto.

T_s = valor final del periodo de aceleración espectral corto.

Las condiciones de diseño para la creación de la curva de espectro de respuesta, se encuentran definidas en la tabla 5.6.1. de acuerdo a lo establecido en la sección 11.4.5. del ASCE7-10.

Condición	Ecuación
$T \leq T_0$	$S_a = S_{DS}[0.4 + 0.6(T/T_0)]$
$T_0 \leq T \leq T_s$	$S_a = S_{DS}$
$T_s \leq T \leq T_l$	$S_a = S_{DS}/T$
$T > T_l$	$S_a = S_{DS}T_l/T^2$

Tabla 5.6.1: Ecuaciones para el cálculo del espectro de respuesta.

Fuente: ASCE7-10 sección 11.4.5.

T_l = periodo de transmisión de largo plazo, se considera como 3.0 s, ya que es un valor aproximado de acuerdo a ensayos según lo establecido en el ASCE7-10 .

T se considera como el valor del periodo de la estructura, iterando valores desde 0 a 3.5 segundos en intervalos de 0.02 segundos, con el fin de crear una curva de espectro de respuesta, lo más aproximadamente posible (se suelen tener valores de intervalos entre 0,1-0,005 s)

En la imagen 56 se puede observar el grafico de espectro de respuesta, que tiene en el eje “y” se tiene la aceleración espectral (S_a) y en el eje “x” el periodo (T) de tiempo de respuesta, calculados con las ecuaciones de las condiciones mencionadas anteriormente.

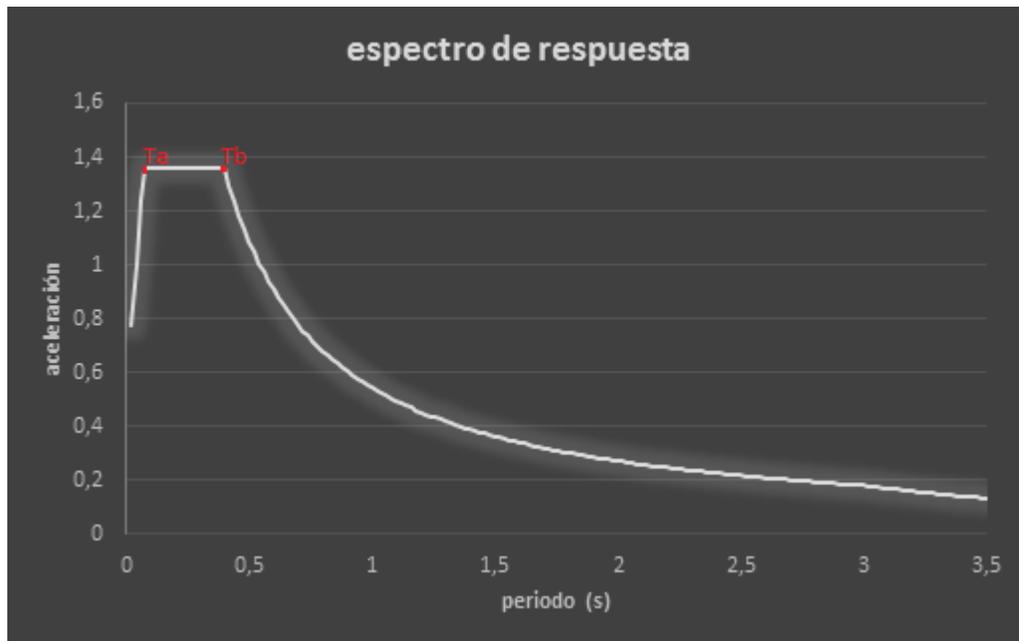


Imagen 56: Grafico de espectro de respuesta.

Fuente: propia.

5.5.- Cálculo del periodo aproximado de la estructura.

La definición de periodos para estructuras convencionales, se puede calcular mediante la ecuación establecida en la ASCE 7-10 sección 12.8.2.1. considerando que se trata de un edificio de menos de 12 pisos de altura y que cada piso mide más de 3 metros.

$$T_{\alpha} = 0.1N$$

$$T_{\alpha} = 0.1 * 2$$

$$T_{\alpha} = 0.2 \text{ s}$$

Dónde:

T_α = periodo aproximado de la estructura.

N = número de pisos del edificio

Haciendo una comparación del periodo definido en la fórmula de cálculo en el ASCE 7-10 con otras normativas, como por ejemplo el periodo aproximado de la estructura según la normativa española NCSE 02, capítulo 3.7.2.2, la fórmula para edificios con pórticos de hormigón armado sin la colaboración de pantallas rigidizadoras, será la siguiente.

$$T_\alpha = 0.09N$$

$$T_\alpha = 0.18 \text{ s}$$

Se Considera T_α según el ASCE7-10 como el valor del periodo aproximado de la estructura ya que es la normativa por la que se rige este estudio.

5.6.- Cálculo de la estructura sin aisladores.

La rigidez efectiva está dado por la ecuación del periodo, establecida en la sección 17.5.3.2 del ASCE7-10:

$$T_\alpha = 2\pi\sqrt{\left(\frac{W}{k_{eff}g}\right)}$$

$$k_{eff} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_\alpha}\right)^2$$

$$k_{eff} = \frac{4350.49}{386.4} \left(\frac{2\pi}{0.2}\right)^2$$

$$k_{eff} = 11112.97 \text{ kips/in (1946214.43 kN/m)}$$

Dónde:

T_α = periodo de la estructura.

W =peso de la estructura definido en el capítulo 5.2.2.

k_{eff} = rigidez efectiva.

g =coeficiente de gravedad.

El desplazamiento de la estructura sin aisladores, se calcula mediante la ecuación establecida en la sección 17.5.3.1. del ASCE7-10:

$$D = \frac{g * S_{D1} * T_{\alpha}}{4\pi^2 B}$$

$$D = \frac{386.4 * 0.544 * 0.2}{4\pi^2 * (1)}$$

$$D = 1.07 \text{ in} (2.71 \text{ cm})$$

Dónde:

D =desplazamiento de diseño.

S_{D1} =aceleración espectral de diseño para periodos de 1 segundo.

g =coeficiente de gravedad.

T_{α} = periodo de la estructura.

B_M = Factor dependiente del amortiguamiento efectivo que fue obtenido de la tabla 6.5.1. El cual se considera de un 5%, amortiguamiento que presentan las estructuras convencionales de forma general.

De la ecuación del amortiguamiento efectivo del capítulo 17.8.5.2 del ASCE7-10 , se despeja para calcular la energía disipada

$$\beta_{eff} = \frac{E}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$$E = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

$$E = 2\pi * (11112.23) * (1.07^2) * (0.05)$$

$$E = 79175.99 \text{ kips in} (8946.88 \text{ kNm})$$

Dónde:

β_{eff} = % de amortiguamiento.

E = energía total disipada.

D =desplazamiento de diseño.

k_{eff} = rigidez efectiva.

La carga característica se obtiene según la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. El desplazamiento de fluencia D_y se considerara despreciable por su valor bajo en esta parte, el cual se obtendrá más adelante en el proceso de iteración.

$$E = 4Q(D - D_y)$$

$$Q = \frac{E}{4D}$$

$$Q = \frac{79175.99}{4 * 1.07}$$

$$Q = 18587.77 \text{ kips} (82685.80 \text{ kN})$$

Dónde:

Q =fuerza característica.

E = energía total disipada.

D =desplazamiento.

D_y =desplazamiento de fluencia.

La rigidez postfluencia despejada de la ecuación de la rigidez efectiva, establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$K_{eff} = k_p + \frac{Q}{D}$$

$$k_p = K_{eff} - \frac{Q}{D}$$

$$k_p = 11112.97 - \frac{18587.77}{1.07}$$

$$k_p = 6258.77 \text{ kip/in}$$

Dónde:

K_{eff} =rigidez efectiva.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D =desplazamiento de diseño

El valor calculado de rigidez postfluencia, se utiliza para corregir la energía disipada, en la cual se supuso un D_y despreciable. El cálculo de la rigidez elástica es muy difícil de calcular pero para los aisladores elastoméricos se considera aceptable un valor entre los 6.5 a 10 veces la rigidez de fluencia. Para este cálculo se considera un valor de 10 veces, con el fin de obtener el

desplazamiento de fluencia menor y así diseñar el sistema con el menor desplazamiento posible. De acuerdo a la ecuación establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p}$$

$$D_y = \frac{Q}{(10 - 1)k_p}$$

$$D_y = \frac{18587,77}{(10 - 1) * 6258,77}$$

$$D_y = 0.33 \text{ in}(0.83 \text{ cm}).$$

Dónde:

K_e =rigidez elástica.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D_y =desplazamiento de fluencia.

Se recalcula la fuerza característica Q con la integración del desplazamiento de fluencia, según la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$Q = \frac{E}{4(D - D_y)}$$

$$Q = \frac{79175.99}{4 * (1.07 - 0.33)}$$

$$Q = 26748,64 \text{ kips}(118988,61 \text{ kN}).$$

Dónde:

Q =fuerza característica.

E = energía total disipada de diseño.

D =desplazamiento de diseño

D_y =desplazamiento de fluencia.

Se recalcula la rigidez postfluencia, Según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$k_p = K_{eff} - \frac{Q}{D}$$

$$k_p = 11112.97 - \frac{26748.64}{1.07}$$

$$k_p = 13885,76 \text{ kip/in} (2431813.14 \text{ kN/m})$$

Dónde:

K_{eff} =rigidez efectiva.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D =desplazamiento.

Se calcula la rigidez elástica de la estructura, de acuerdo a la ecuación establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$k_e = k_p + \frac{Q}{D_y}$$

$$k_e = 13885.76 + \frac{26748.64}{0.33}$$

$$k_e = 94942.24 \text{ kip/in} (16627234.49 \text{ kN/m})$$

Dónde:

K_e =rigidez elástica.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D_y =desplazamiento de fluencia.

CAPÍTULO VI: DISEÑO DE AISLADOR SÍSMICO DE BASE ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO.

6.1.- Cálculo de los factores de diseño.

Para el diseño de este aislador se considera un amortiguamiento del 15 %, ya que la edificación cuenta con dos pisos y no se justifica un amortiguamiento mayor, y un periodo efectivo del sistema de aislamiento asignado de $T_D=2.5$ segundos, con el fin de cumplir con criterios de diseño establecidos en el ASCE 7-10 sección 17.4.1 para el procedimiento de fuerza lateral equivalente, los cuales serán revisados más adelante.

Se consideran unidades de medidas inglesas, ya que las tablas de la ASCE 7-10 están en dichas medidas.

El cálculo de parámetros de diseño y análisis sísmico será el establecido en la sección 17.5 “procedimiento de fuerza lateral equivalente” del ASCE 7-10.

El cálculo de la rigidez efectiva preliminar de diseño está dado por la ecuación del periodo de diseño ya adoptado como $T_D=2.5$ s, establecida en la sección 17.5.3.2 del ASCE7-10:

$$T_D = 2\pi\sqrt{\left(\frac{W}{k_{Dmin}g}\right)}$$

Se despeja

$$k_{Dmin} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2$$

$$k_{Dmin} = \frac{4350.49}{386,4} \left(\frac{2\pi}{2,5}\right)^2$$

$$k_{Dmin} = 71.12 \text{ Kip/in}(12455.24 \text{ kN/m})$$

Dónde:

T_D = periodo de diseño

W =peso de la estructura definido en el capítulo 5.2.2.

k_{Dmin} = rigidez efectiva mínima de diseño.

g =coeficiente de gravedad.

El desplazamiento de diseño preliminar se calcula en base a la siguiente ecuación, establecida en la sección 17.5.3.1. del ASCE7-10:

$$D_D = \frac{g * S_{D1} * T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$$D_D = \frac{386.4 * 0.544 * 2.5}{4\pi^2 * (1.35)}$$

$$D_D = 9.86 \text{ in}(25.04\text{cm})$$

Dónde:

D_D =desplazamiento de diseño.

S_{D1} =aceleración espectral de diseño para periodos de 1 segundo.

g =coeficiente de gravedad.

T_D = periodo de diseño.

B_D = Factor dependiente del amortiguamiento efectivo obtenido de la tabla 6.1.1. Interpolando linealmente los valores de 10% y 20% para obtener el factor para un amortiguamiento del 15%.

Amortiguamiento efectivo B_D o B_M como porcentaje del amortiguamiento critico	Factor B_D o B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥50	2.0

Tabla 6.5.1: Factores dependientes del amortiguamiento efectivo

Fuente: ASCE7-10, Table 17.5-1 Damping Coefficient.

Para el cálculo preliminar de la energía disipada de diseño se considerara $K_{Dmax}=K_{Dmin}=K_{eff}$,ya que estos valores serán re-calculados más adelante, por lo tanto, la ecuación de la energía disipada está en función de la ecuación de amortiguamiento de diseño establecido en la sección 17.8.5.2 del ASCE7-10 :

$$\beta_D = \frac{E_D}{2\pi K_{Dmin} D_D^2}$$

$$E_D = 2\pi K_{Dmin} D_D^2 \beta_D$$

$$E_D = 2\pi * (71.12) * (9,86^2) * (0.15)$$

$$E_D = 6516.54 \text{ kips in}$$

Dónde:

β_D = % de amortiguamiento de diseño.

E_D = energía total disipada de diseño.

D_D = desplazamiento de diseño.

k_{Dmin} = rigidez efectiva mínima de diseño.

Para el cálculo preliminar de la fuerza característica Q según la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6-----del marco teórico de esta memoria. El desplazamiento de fluencia D_y se considerara despreciable por su valor bajo en esta parte, el cual se obtendrá más adelante en el proceso de iteración.

$$E_D = 4Q(D_D - D_y)$$

$$Q = \frac{E_D}{4D_D}$$

$$Q = \frac{6516.54}{4 * 9.86}$$

$$Q = 165.22 \text{ kips.}$$

Dónde:

Q=fuerza característica.

E_D = energía total disipada de diseño.

D_D = desplazamiento de diseño

D_y = desplazamiento de fluencia.

Con la obtención de estos valores preliminares calculados, se obtiene la rigidez postfluencia despejada de la ecuación de la rigidez efectiva, establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$K_{eff} = k_p + \frac{Q}{D_D}$$

$$k_p = K_{eff} - \frac{Q}{D_D}$$

$$k_p = 71.12 - \frac{165.22}{9.86}$$

$$k_p = 54.36 \text{ kip/in}$$

Dónde:

K_{eff} =rigidez efectiva.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D_D =desplazamiento de diseño

El valor calculado de rigidez postfluencia, se utiliza para corregir la energía disipada, en la cual se supuso un D_y despreciable. El cálculo de la rigidez elástica es muy difícil de calcular pero para los aisladores elastoméricos se considera aceptable un valor entre los 6.5 a 10 veces la rigidez de fluencia. Para este cálculo se considera un valor de 10 veces, con el fin de obtener el desplazamiento de fluencia menor y así diseñar el sistema con el menor desplazamiento posible. De acuerdo a la ecuación establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p}$$

$$D_y = \frac{Q}{(10 - 1)k_p}$$

$$D_y = \frac{165.22}{(10 - 1) * 54.36}$$

$$D_y = 0.34 \text{ in}(0.86\text{cm}).$$

Dónde:

K_e =rigidez elástica.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D_y =desplazamiento de fluencia.

Se recalcula la fuerza característica Q con la integración del desplazamiento de fluencia, según la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$Q = \frac{E_D}{4(D_D - D_y)}$$

$$Q = \frac{6516.54}{4 * (9.86 - 0.34)}$$

$$Q = 171.08 \text{ kips}(761,03 \text{ kN}).$$

Dónde:

Q =fuerza característica.

E_D =energía total disipada de diseño.

D_D =desplazamiento de diseño

D_y =desplazamiento de fluencia.

Se recalcula la rigidez postfluencia, Según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$k_p = K_{eff} - \frac{Q}{D_D}$$

$$k_p = 71.12 - \frac{171.08}{9.86}$$

$$k_p = 53.77 \text{ kip/in}(9416.74 \text{ kN/m})$$

Dónde:

K_{eff} =rigidez efectiva.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D_D =desplazamiento de diseño.

Se calcula la rigidez elástica de la estructura, de acuerdo a la ecuación establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$k_e = k_p + \frac{Q}{D_y}$$

$$k_e = 53.77 + \frac{171.08}{0.34}$$

$$k_e = 560.37 \text{ kip/in}(98137.59 \text{ kN/m})$$

Dónde:

K_e =rigidez elástica.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D_y =desplazamiento de fluencia.

6.2.- Cálculo del área requerida de plomo.

El valor preliminar de la carga característica Q permitirá realizar el cálculo del área de plomo requerida. Para ello se considera el valor de fluencia del plomo $f_{ypb} = 1450 \text{ psi}$, obtenido del libro de “**Mecánica De Materiales**” de R.C. Hibbeler. La fuerza característica es igual al producto del área del plomo por la fluencia del plomo, la cual se extrae de la ecuación establecida en el capítulo 4.4, de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

$$Q = A_{pb} f_{ypb}$$

$$A_{pb} = Q / f_{ypb}$$

$$A_{pb} = 171.08 / 1.450$$

$$A_{pb} = 117.99 \text{ in}^2 (761.22 \text{ cm}^2)$$

Dónde:

Q =fuerza característica.

A_{pb} =área del plomo.

f_{ypb} =fluencia del plomo

6.3.- Cálculo del área de caucho requerido.

Para el cálculo del área de caucho, se debe definir el grosor de la capa de caucho. Esta debe ser igual al desplazamiento de diseño calculado en el apartado anterior, es decir $D_D = 9.86 \text{ in}$ dividido por la relación de deformación del material, en este caso dicho valor es $\gamma = 1$, por lo que el grosor de la capa de caucho $t_r = 9.86 \text{ in}$. El caucho seleccionado será un caucho de bajo amortiguamiento. Estos tienen un módulo de corte entre los 58-101 psi al (100 %) de la deformación. Para este estudio se considerara un módulo de esfuerzo cortante $G = 58 \text{ psi}$. Conocidos estos datos se obtiene el área del caucho mediante la siguiente formula, establecida en el capítulo

4.3, de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

$$A_{caucho} = K_p t_r / G$$

$$A_{caucho} = 53.77 * 9.86 / 0.058$$

$$A_{caucho} = 9140.53 \text{ in}^2 (58971.04 \text{ cm}^2)$$

Dónde:

A_{caucho} = área del caucho.

K_p = rigidez de postfluencia.

t_r = grosor de la capa total de caucho.

G = módulo de esfuerzo cortante.

6.4.- Dimensionamiento de aisladores.

Considerando que existen 6 tipos de pesos efectivos diferentes (anexo 8), se realiza el cálculo para cada uno de ellos. Los resultados obtenidos para cada paso se muestran en la tabla 6.4.1.

tipo	W (kips)	k_{eff} (kips/ in)	D (in)	E_D (kips in)	D_y (in)	Q(kips)	k_p (kips/in)
1	146.86	2.40	9.86	219.98	0.34	5.78	1.82
2	219.74	3.59	9.86	329.15	0.34	8.64	2.72
3	219.60	3.59	9.86	328.93	0.34	8.64	2.71
4	256.40	4.19	9.86	384.06	0.34	10.08	3.17
5	373.22	6.10	9.86	559.05	0.34	14.68	4.61
6	373.08	6.10	9.86	558.83	0.34	14.67	4.61

Tabla 6.4.1.

Fuente: propia.

Con los resultados obtenidos anteriormente, se calcula el dimensionamiento de cada aislador, debiéndose cumplir con la relación recomendada por los fabricantes de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, de entre un 15 % a un 20 % de sus diámetros. En la tabla 6.4.2, se muestra el dimensionamiento de cada tipo de aislador.

tipo	$A_{caucho}(in^2)$	$d_{caucho}(in)$	$A_{pb}(in^2)$	$d_{pb}(in)$	% relación($d_{pb} * 100/d_{caucho}$)
1	308.56	19.82	3.98	2.25	11.36
2	461.69	24.25	5.96	2.75	11.36
3	461.38	24.24	5.96	2.75	11.36
4	538.71	26.19	6.95	2.98	11.36
5	784.16	31.60	10.12	3.59	11.36
6	783.85	31.59	10.12	3.59	11.36

Tabla 6.4.2.

Fuente: propia.

Se observa en la tabla 6.4.2, que la relación entre caucho y plomo no se cumple ya que es inferior al 15% que recomiendan los fabricantes, para los aisladores de caucho con núcleo de plomo, por lo que se reducirá la cantidad de aisladores que tengan núcleo de plomo. Con el fin de mantener la simetría en la estructura solo se utilizarán los pilares de la fila central (6 pilares, de 3 tipos diferentes) con núcleo de plomo, como se muestra en la imagen 57, tomando en cuenta que estos son los que soportan mayor carga. Se recalcula la relación entre el área de plomo y caucho con esta nueva condición. Las nuevas áreas de los plomos de los aisladores serán proporcionales entre los tres tipos de aisladores que se utilizarán. Los nuevos valores obtenidos se muestran en la tabla 6.4.3.

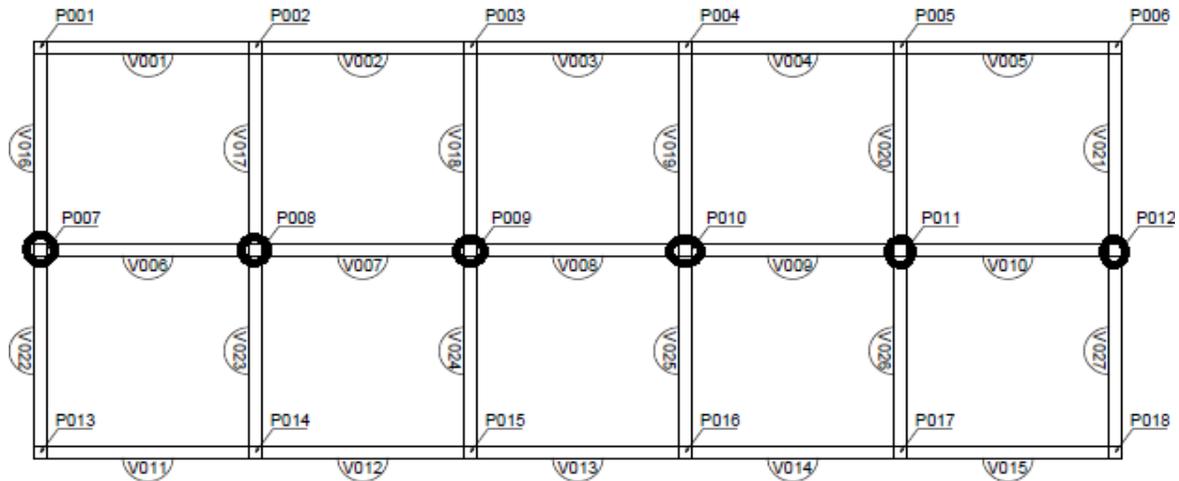


Imagen 57: distribución de pilares con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

Fuente: propia.

tipo	$A_{caucho}(in^2)$	$d_{caucho}(in)$	$A_{pb}(in^2)$	$d_{pb}(in)$	% relación($d_{pb} * 100/d_{caucho}$)
4	538.71	26.19	15.09	4.38	16.73
5	784.16	31.60	21.96	5.29	16.73
6	783.85	31.59	21.95	5.29	16.73

Tabla 6.4.3.

Fuente: propia.

Para el cálculo de factor de forma se considera una frecuencia vertical $f_v = 10$ hertz y una frecuencia de diseño $f_D = 1/T_D$ hertz, dicho valor está dado por la siguiente ecuación. Procedente del capítulo 4.3 de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

$$S = \frac{1 f_v}{\sqrt{6} f_d}$$

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{10}{1/2.5}$$

$$S = 10.21$$

Dónde:

 S = factor de forma. f_v =frecuencia vertical f_d =frecuencia de diseño

Se procede a calcular el grosor de cada capa de caucho. Con la ecuación Procedente del capítulo 4.3 de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

$$t = \frac{d_{caucho}}{4S}$$

Dónde:

 S = factor de forma. d_{caucho} =diámetro de caucho. t =grosor de cada capa de caucho.

El número de capas de caucho está dado por

$$n = \frac{t_r}{t}$$

Dónde:

n = numero de capas de caucho.

t_r =grosor de la capa total de caucho.

t =grosor de cada capa de caucho.

tipo	$d_{caucho}(in)$	S	$t'(in)$	N'	N	T(in)
1	20	10.21	0.49	20.13	21	0.47
2	25	10.21	0.61	16.11	17	0.58
3	25	10.21	0.61	16.11	17	0.58
4	27	10.21	0.66	14.91	15	0.66
5	32	10.21	0.78	12.58	13	0.76
6	32	10.21	0.78	12.58	13	0.76

Tabla 6.4.4.

Fuente: propia.

Con las medidas adoptadas tanto del diámetro del núcleo de plomo como del caucho, se comprueba que cumplen con las áreas mínimas requeridas, la relación entre ellas, tal y como se muestra en la tabla 6.4.5.

tipo	$d_{caucho}(in^2)$	$A_{caucho}(in)$	$d_{pb}(in^2)$	$A_{pb}(in)$	% relación($d_{pb} * 100/d_{caucho}$)
1	20	314.16	0	0	-
2	25	490.87	0	0	-
3	25	490.87	0	0	-
4	27	572.56	5.00	19.63	18.52
5	32	804.25	6.00	28.27	18.75
6	32	804.25	6.00	28.27	18.75
total		9545.73		152.37	
requerido		9140.53		117.97	15-20%

Tabla 6.4.5: Dimensionamiento del aislador.

Fuente: propia.

Se consideran láminas de acero de 0,0897 in (0.23 cm) de espesor, con el fin de dar mayor rigidez a los aisladores, además una lámina de 1 in (2.54 cm) en los extremos y un recubrimiento de 0,5 in (1.27 cm).

Con el fin de relacionar de mejor manera las dimensiones de los aisladores sísmicos de base, tanto con núcleo de plomo como sin ellos, en la tabla 5.4.6, se muestran las medidas en centímetros. Los aisladores sin núcleo de plomo serán aisladores de base elastoméricos de bajo amortiguamiento.

tipo	cantidad	d caucho(cm)	d acero (cm)	n capas	grosor(cm)	H total (cm)
1	4	50.80		21	1.2	34.88
2	6	63.50		17	1.5	34.26
3	2	63.50		17	1.5	34.26
4	2	68.58	12.70	15	1.7	33.80
5	2	81.28	15.24	13	1.9	32.54
6	2	81.28	15.24	13	1.9	32.54

Tabla 6.4.6: Dimensionamiento de los aisladores en sistema métrico.

Fuente: propia.

En el anexo 8, se encuentra la ubicación y el tipo de aislador en cada pilar. Los anexos 9, 10, 11 y 12 contienen los planos de corte y dimensiones de los aisladores tipo 1, 2, 4 y 5 respectivamente. Se omiten el tipo 3 y 6, ya que son iguales a los tipos 2 y 5 respectivamente.

6.5.- Cálculo de parámetros para estructura aislada sísmicamente de acuerdo a lo diseñado.

Fuerza característica Q del sistema con núcleos de plomo, según ecuación establecida en el capítulo 4.4, de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

$$Q = A_{pb} * f_y$$

$$Q = 152.37 * 1.45$$

$$Q = 220.93 \text{ kips}(982.78 \text{ kN})$$

Dónde:

Q =fuerza característica.

A_{pb} =área del plomo.

f_{ypb} =fluencia del plomo

Rigidez efectiva se calcula en función a la ecuación de la rigidez postfluencia, Según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$k_p = K_{eff} - \frac{Q}{D}$$

$$K_{eff} = k_p + \frac{Q}{D}$$

$$k_{eff} = 53.77 + \frac{220.93}{9.86}$$

$$k_{eff} = 76.17 \text{ kip/in} (13339.65 \text{ kN/m})$$

Dónde:

K_{eff} =rigidez efectiva.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D =desplazamiento.

Calculo de energía disipada, Según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$E = 4Q(D - D_y)$$

$$E = 4 * 220.93 * (9.86 - 0.34)$$

$$E = 8415.25 \text{ kip in} (950.92 \text{ kN m})$$

Dónde:

Q =fuerza característica.

E = energía total disipada.

D =desplazamiento.

D_y =desplazamiento de fluencia.

% de amortiguamiento según la ecuación de amortiguamiento de diseño establecido en la sección 17.8.5.2 del ASCE7-10:

$$\beta = \frac{E}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$$\beta = \frac{8415.25}{2\pi * 76.17 * 9.86^2}$$

$$\beta = 0.1808 = 18.08\%$$

Dónde:

β = % de amortiguamiento.

E = energía total disipada.

D = desplazamiento.

k_{eff} = rigidez efectiva.

A continuación se procederá a calcular el desplazamiento máximo de la estructura de acuerdo a la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. Como el estudio se presenta en una zona sísmica 3, según se establece en el capítulo 4 y utilizando las siguientes tablas se determina el factor de mayoración del desplazamiento de diseño.

Zona	1	2 ^a	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.2	0.3	0.4

Tabla 7.1.1: Factor Z de mayoración dependiente de la zona sísmica.

Fuente: Anexo 5-1 de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

De la tabla 7.1.1, se obtiene un factor $Z=0,30$

Fuente sísmica	Descripción de fuente sísmica	Definición de la fuente	
		Máxima magnitud de momento, M	Índice de deriva ID(mm/año)
A	Fallas capaces de producir eventos de gran magnitud y tienen alto índice de actividad sísmica		ID>5
B	Cualquier falla que no sea A o C	M>7.0 M<7.0 M>6.5	ID<5 ID>2 ID<2
C	Fallas que no son capaces de producir eventos sísmicos de gran magnitud y de baja actividad sísmica.	M<6.5	

Tabla 7.1.2: Tipo de fuente sísmica.

Fuente: Anexo 5-1 de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

Considerando que la falla sísmica presente en Chile produce grandes eventos sísmicos y presenta un alto índice de sismicidad, se clasifica como una fuente sísmica del tipo A según la tabla 7.1.2.

Tipo de fuente sísmica	Distancia más cercana a la fuente sísmica			
	≤ 2 km	5km	10km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabla 7.1.3: Factor N_v de mayoración por cercanía de la falla.

Fuente: Anexo 5-1 de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

Como la falla se encuentra mar adentro en las costas de Chile, se sabe que se encuentra a más de 15 km de distancia de Talca, por lo que el factor $N_v=1.0$, (según la tabla 7.1.3).

Multiplicando el factor de mayoramiento de la zona sísmica Z por el factor de mayoramiento dependiente de la cercanía a la falla N_v , se encuentra el valor del coeficiente M para la mayoración del desplazamiento de diseño

$Z*N_v$	M
0.075	2.67
0.15	2.0
0.20	1.75
0.30	1.50
0.40	1.25
≥0.50	1.20

Tabla 7.1.4: Coeficiente de mayoración M .

Fuente: Anexo 5-1 de la guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

Con el coeficiente de mayoración se determina el desplazamiento máximo de la estructura

$$D_M = M * D_D$$

$$D_M = 1.50 * 9.86$$

$$D_M = 14.79 \text{ in}(37.57 \text{ cm})$$

Dónde:

D_M = desplazamiento máximo.

D_D = desplazamiento de diseño.

M =coeficiente de mayoración.

Se calcula la rigidez efectiva para el desplazamiento máximo, según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$K_M = k_p + \frac{Q}{D}$$

$$k_M = 53.77 + \frac{220.93}{14.79}$$

$$k_M = 68.70 \text{ kip/in}(12031.43 \text{ kN/m})$$

Dónde:

K_M =rigidez efectiva.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D =desplazamiento máximo.

Se calcula D_y para el desplazamiento máximo, según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria.

$$D_y = \frac{Q}{9k_p}$$

$$D_y = \frac{220.93}{9 * 53.77}$$

$$D_y = 0.46 \text{ in}(1.17 \text{ cm})$$

Dónde:

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D_y =desplazamiento de fluencia.

Se calcula la energía disipada para el desplazamiento máximo, según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria.

$$E = 4Q(D - D_y)$$

$$E = 4 * 220.93 * (14.79 - 0.46)$$

$$E = 12667.06 \text{ kip in}(1431.38 \text{ kN m})$$

Dónde:

Q =fuerza característica.

E = energía total disipada.

D =desplazamiento maximo.

D_y =desplazamiento de fluencia.

Se calcula el amortiguamiento máximo, según la ecuación de amortiguamiento de diseño establecido en la sección 17.8.5.2 del ASCE7-10.

$$\beta = \frac{E_D}{2\pi K_M D^2}$$

$$\beta = \frac{12667.06}{2\pi * 68.70 * 14.79^2}$$

$$\beta = 0.1341 = 13.41\%$$

Dónde:

β = % de amortiguamiento.

E = energía total disipada.

D =desplazamiento.

k_M = rigidez efectiva.

Considerando un amortiguamiento del 13.41%, se obtiene el valor de $B_M = 1.302$, interpolando los valores de la tabla 5.5.1.

Se calcula el periodo máximo, según la ecuación del periodo para el desplazamiento máximo establecido en la sección 17.5.3.4 del ASCE7-10.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_M * g}}$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{4350.49}{68.70 * 386.4}}$$

$$T_M = 2.54 \text{ seg}$$

Dónde:

T_M = periodo para el desplazamiento máximo.

W = peso de la estructura.

g =coeficiente de gravedad.

k_M = rigidez efectiva para el desplazamiento máximo.

Se recalcula el desplazamiento máximo, según la ecuación de desplazamiento máximo establecido en la sección 17.5.3.3 del ASCE7-10.

$$D_M = \frac{g * S_{M1} * T_M}{4\pi^2 B_M}$$

$$D_M = \frac{386.4 * 0.816 * 2.54}{4\pi^2 * 1.302}$$

$$D_M = 15.60 \text{ in}(39.62 \text{ cm})$$

Dónde:

D_M = desplazamiento máximo.

T_M = periodo para el desplazamiento máximo.

B_M =coeficiente de amortiguamiento máximo.

g =coeficiente de gravedad.

S_{M1} = aceleración espectral para el terremoto máxima considerado para periodos de 1 segundo.

Se calcula la rigidez efectiva para el desplazamiento máximo, según lo establecida en la teoría del modelo bilineal en el capítulo 2.6. del marco teórico de esta memoria

$$K_{eff} = k_p + \frac{Q}{D}$$

$$k_{eff} = 53.77 + \frac{220.93}{15.60}$$

$$k_{eff} = 67.93 \text{ kip/in} (11896.58 \text{ kN/m})$$

Dónde:

K_{eff} =rigidez efectiva.

K_p =rigidez de postfluencia.

Q =fuerza característica.

D =desplazamiento máximo.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN.

7.1.- Análisis de resultados.

7.1.1.- Cumplimiento Norma ASCE 7-05.

La Norma ASCE 7-05, en su capítulo 14.4.1 establece los requisitos de diseño sísmico para estructuras de construcción, según el procedimiento de fuerza lateral equivalente, los cuales se encuentran resumidos a continuación:

- 1) $S_1 < 0.60g$: considerando que la aceleración sísmica $S_1 = 0.509684g$, se da por cumplido este requisito
- 2) Suelos Tipo I, II o III: Como se define en el capítulo 3, el tipo de terreno es un **suelo tipo III**, por lo tanto se cumple con este requisito
- 3) Altura ≤ 19.8 m ó 65 pies y menor o igual 4 pisos: El edificio modelo es un edificio de **2 pisos** con una altura total de **7.6 metros**. Por lo tanto se cumple con este requisito.
- 4) $T_M \leq 3.0$ s: el periodo máximo del edificio es $T_M = 2.54$ *seg*, por lo que cumple con el requisito establecido.
- 5) $T_D > 3.0 T_\alpha$: el periodo de diseño $T_D = 2.5$ segundo, es mayor que 3 veces el periodo de la estructura $3 * T_\alpha = 0.6$ *seg*

$$T_\alpha = 0.2$$

$$3T_\alpha = 3.0 * 0.2$$

$$3T_\alpha = 0.6 \text{ seg}$$

$$T_D = 2,5 \text{ seg}$$

- 6) Se cumplen con criterios de una configuración regular de planta y alzado: Por tratarse de una edificación rectangular y sin contar con una arquitectura especial como se muestra en las imágenes 58,59 y 60; se cumple con este requisito.

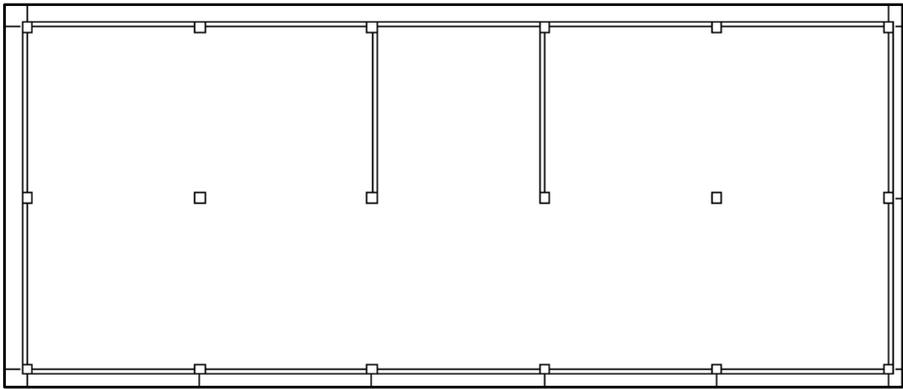


Imagen 58: planta tipo edificio modelo.

Fuente: propia.

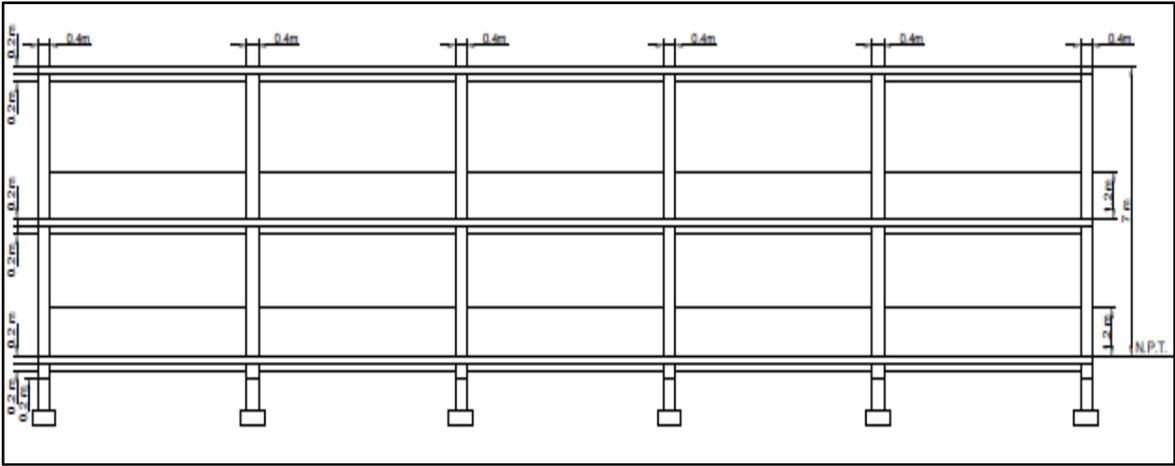


Imagen 59: elevación este-oeste edificio modelo.

Fuente: propia.

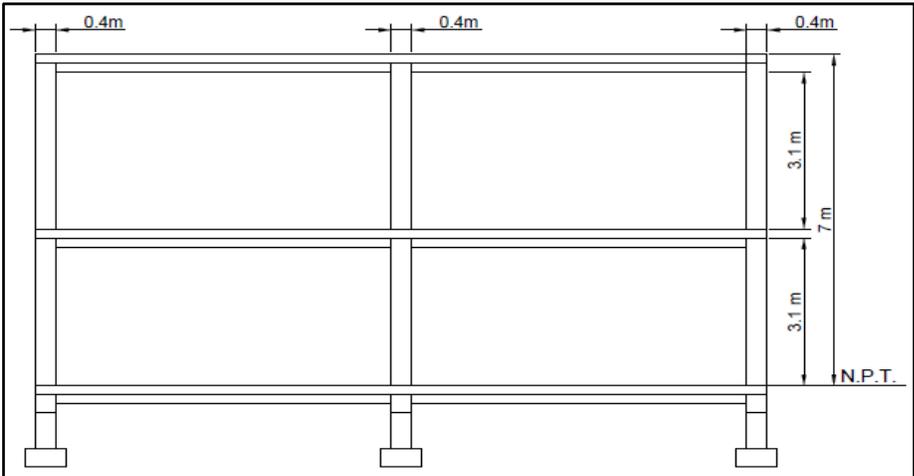


Imagen 60: elevación norte-sur edificio modelo.

Fuente: propia.

7) además se deben cumplir los siguientes criterios:

a) $k_{effmax} > 1/3 k_{eff}$ al 20% del desplazamiento de diseño: la rigidez efectiva de diseño es mayor a un tercio de la rigidez efectiva de diseño con el desplazamiento de diseño reducido al 20%.

$$k_{eff} = \frac{1}{3} * \left(k_p + \frac{Q}{0.2D_D} \right)$$

$$k_{eff} = \frac{1}{3} * \left(53.77 + \frac{220.93}{0.2 * 9.86} \right)$$

$$k_{eff} = 55.27 \text{ kips/in}$$

$$k_{eff} = 67.93 \text{ kips/in}$$

b) Se provee una fuerza restauradora, tal que la fuerza lateral (V_s) al 50% del desplazamiento de diseño sea mayor que $0.025W$, siendo W el peso efectivo de la estructura: la fuerza lateral (V_s) se calcula de la ecuación descrita posteriormente en la cual se disminuye a un 50% el desplazamiento de diseño.

$$V_s = \frac{k_{eff} 0.5 D_D}{Q}$$

$$V_s = \frac{76.17 * 0.5 * 9.86}{2}$$

$$V_s = 182.76 \text{ kips}$$

$$> 0.025 * 4350.49$$

$$> 108.76 \text{ kips}$$

7.1.2.- Comparación de datos obtenidos.

Con la creación de la tabla de datos 7.1.2.1, se realizará un análisis de los datos obtenidos para la edificación en las diversas etapas: sin aislamiento de base, con aislamiento de base para diseño: que corresponden a los datos con los cuales se calculan los aisladores de base y con aislamiento de base para el máximo desplazamiento posible: son los datos que se obtienen para el máximo desplazamiento que puede presentar la estructura contando con aisladores de base.

Se analizarán los datos de rigidez efectiva (k_{eff}), carga característica (Q), energía disipada (E_D), amortiguamiento (β), desplazamiento (D) y desplazamiento de postfluencia (D_y). Los periodos (T) serán analizados por separados en el gráfico de espectro de respuesta.

	k_{eff} (kips/in)	Q (kips)	E_D (kips in)	B %	T (s)	D (in)	D _y (in)
sin aisladores	11112.23	18587.77	79175.99	5%	0.2	1.07	
Con aisladores (valores de diseño)	76.17	220.93	8415.25	18.08%	2.5	9.86	0.34
Con aisladores (máximo desplazamiento)	67.93	220.93	12667.06	13.41%	2.54	15.60	0.46
% de mejoramiento	68.55	99.0	91.3				

Tabla 7.1.2.1: Comparativa estructura aislada y sin aislar.

Fuente: Propia.

Al utilizar aisladores de base se logra disminuir notablemente la rigidez efectiva del edificio, lo que se debe a que el edificio tiene un mayor desplazamiento de 1.07 in a 9.86 in, por la incorporación de los aisladores en su base. Además se obtiene una disminución de la energía disipada por la estructura en un 91.3 %, haciendo que ésta reciba menores daños tanto estructurales como no estructurales, ya que los aisladores reciben una energía de 8415.25 kips in. La reducción de la rigidez en los edificios hace que este se comporte de forma más dúctil.

Inicialmente como dicen las normas y las diferentes bibliografías, las edificaciones convencionales presentan un amortiguamiento de 5 % lo que se aumenta en más de tres veces al incorporar aisladores, llegando a un 15.6 % de amortiguamiento.

La ductilidad del edificio se calcula de la siguiente forma:

$$\mu_p = D/D_y$$

$$\mu_p = 9.86/0.33$$

$$\mu_p = 29.87$$

Según el comportamiento la fuerza característica y el desplazamiento, la ductilidad del edificio es de 29,87, lo que, haciendo referencia a los valores de ductilidad en edificaciones de pórticos en las

distintas normativas, se ha aumentado en 7 veces, ya que esta se considera en valores de entre 2 a 4. Lo que implica una edificación más flexible y ,por ende, más preparada para recibir movimientos sísmicos.

7.1.3.- Análisis de espectro de respuesta.

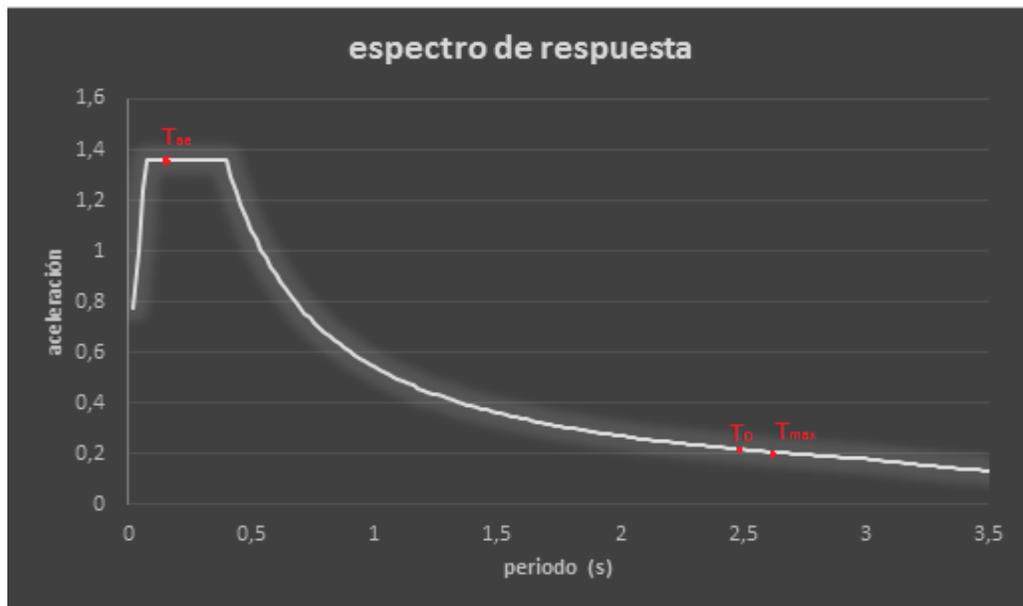


Imagen 63: espectro de respuesta.

Fuente: propia.

Los periodos de aceleración espectral en un edificio sin protección sísmica (aisladores, disipadores, rigidizadores) están en función de la altura de los edificios. Cuanto más alto sea el edificio, mayor será el periodo, para un mejor comportamiento de la estructura, con el fin de hacer que la aceleración sea menor. En cambio cuanto más bajo sea el edificio, menor será el periodo y por lo tanto la aceleración será mayor.

Como el edificio de estudio contará con aisladores sísmicos, se puede aumentar el periodo de oscilación de la estructura, debido a que los aisladores permitirán más movilidad a la estructura. Aumentando este periodo se disminuye la aceleración de la estructura y por ende se tiene menor riesgo de destrucción en la edificación, ya que, la energía disipada por la estructura, será menor.

7.2.- Conclusión.

La Universidad de Talca cuenta con un plan regulador, por lo que las edificaciones en su gran mayoría son muy similares. Los edificios no cuentan con una arquitectura especial, en su mayoría presentan una arquitectura rectangular, simétricos en planta y elevación. Su altura mayormente es de dos pisos, con excepciones de edificios de 3 pisos y algunos de 1 piso.

Después de haber hecho un estudio y análisis de todos los sistemas de protección sísmica; ya sea activos, semiactivos y pasivos, se descartan los sistemas de protección sísmica activos y semiactivos por su alto costo frente a las necesidades de la estructura. Es por ello que los edificios serán calculados con aisladores de base. Considerando los tipos de edificaciones existentes dentro de la universidad, el sistema de aislación de base más adecuado, será un aislador de base con núcleo de plomo ya que entregan un amortiguamiento acorde a las necesidades y una disipación de energía adecuado.

En esta memoria se da conformidad a lo establecido en los requisitos de diseño estructural de la Normativa Chilena NCh 433 of 96. “*Diseño Sísmico de Edificios*”, considerándose sus apartados de fuerzas actuantes y cálculos de pesos efectivos. También en el cálculo de prediseño se han utilizado normas de diseño de estructuras tales como la Normativa de cálculo de “*Cargas permanente y sobreuso*”.

Todo el cálculo relativo a los aisladores de base se encuentra conforme a lo establecido en el ASCE 7-10, ya que las Normativas Chilena no presenta una metodología de cálculo en el diseño de aisladores para edificios que cuenten con aisladores de base, sino que sólo establece algunos parámetros en el diseño estructural y en el cálculo de fuerzas estáticas equivalentes para los edificios.

Para la mejora del comportamiento del edificio considerado, se presenta un sistema de protección sísmica basado en la implementación de 18 aisladores de base, 6 de los cuales cuentan con núcleo de plomo lo que les entrega un amortiguamiento vertical. Esta protección hace que la edificación reciba un 90 % menos de daño cumpliéndose con lo especificado para la seguridad de las personas en los edificios, establecido en todas las normativas de diseño de edificaciones sismorresistentes.

BIBLIOGRAFÍA.

American Society Civil Engineers. (2005). *Minimum Design Loads for Building and Other Structures*. Reston, Virginia.

BOZZO, L. (1996). *Análisis de edificios con sistemas de aislamiento de base*. Quito: eds. Ingeniería de estructuras. Escuela superior politécnica del ejército.

BURDEN R.; J. D. FAIRES. (1998). *Análisis Numérico. 6ª Edición*. California: International Thomson Editors.

CHOPRA, A. (2001). *Dynamic of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall. Englewood Cliffs.

DE LA LLERA, J.C.; J. INAUDI. (1998). *Análisis y Diseño de Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.

GUTIÉRREZ, A. (1998). *Prediseño Sísmico de Edificios con Métodos de Aproximación Global*. Santiago: Tesis Universidad de Chile.

MINVU. (1996). *Norma Chilena 433 "Diseño sísmico de edificios"*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización.

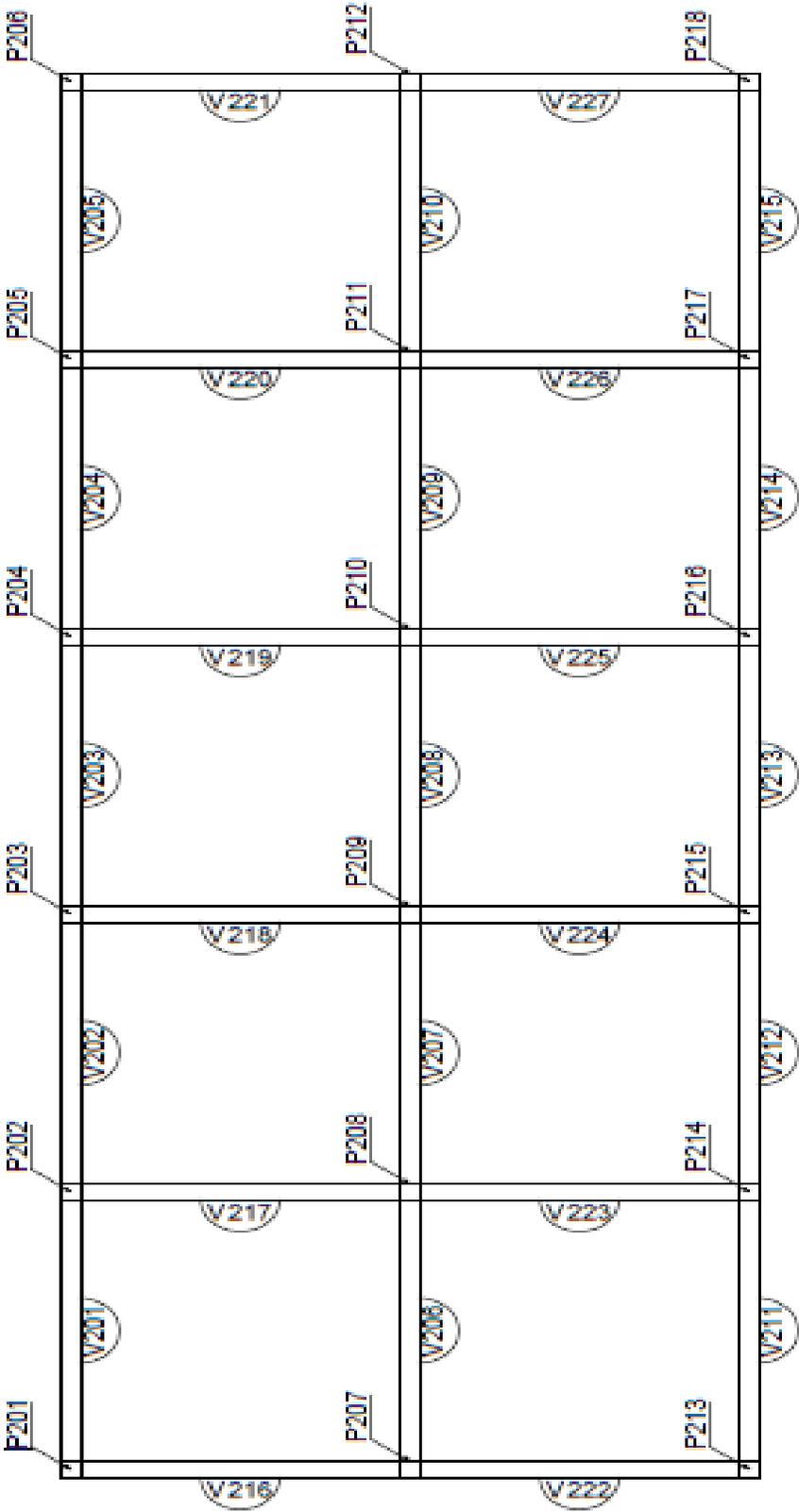
ORDOÑEZ, D. (1996). *Estudio comparativo de la respuesta estructural inelástica de edificios sismorresistentes con aislamiento de base*. Tesis Mag. Ing. Sísmico y Dinámica Estructural. España: Universidad Politécnica de Cataluña.

PAULAY, T; PRIESTLEY, M. (1996). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley & Sons, inc.

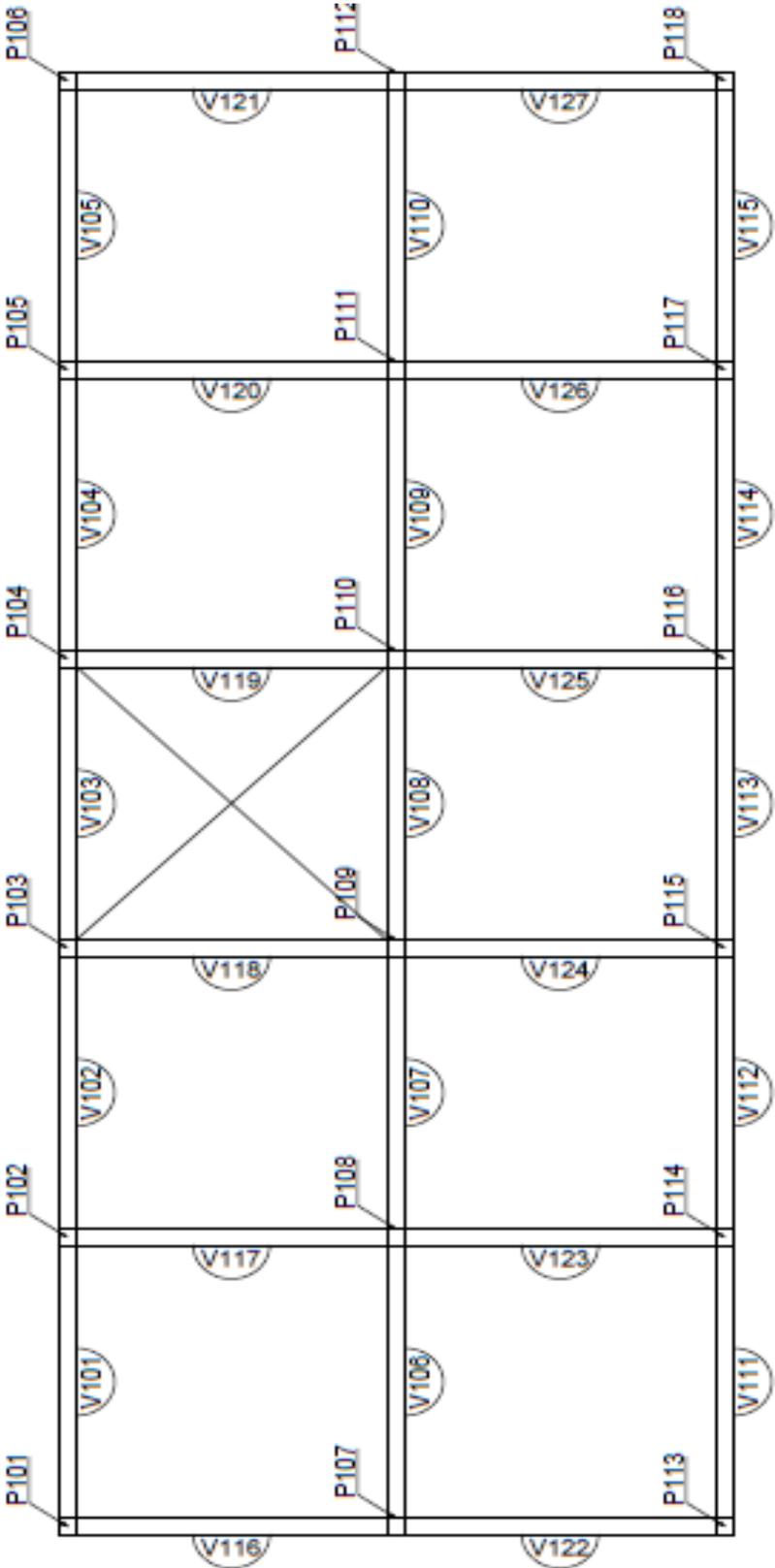
PELDOZA, E. (2002). *Análisis computacional no lineal de estructuras de acero, incorporando aisladores sísmicos de comportamiento lineal y no lineal en su base*. Tesis Ing. Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile.

RUIZ, P. (1974). *Dinámica de Estructuras*. Santiago: Escuela de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Chile.

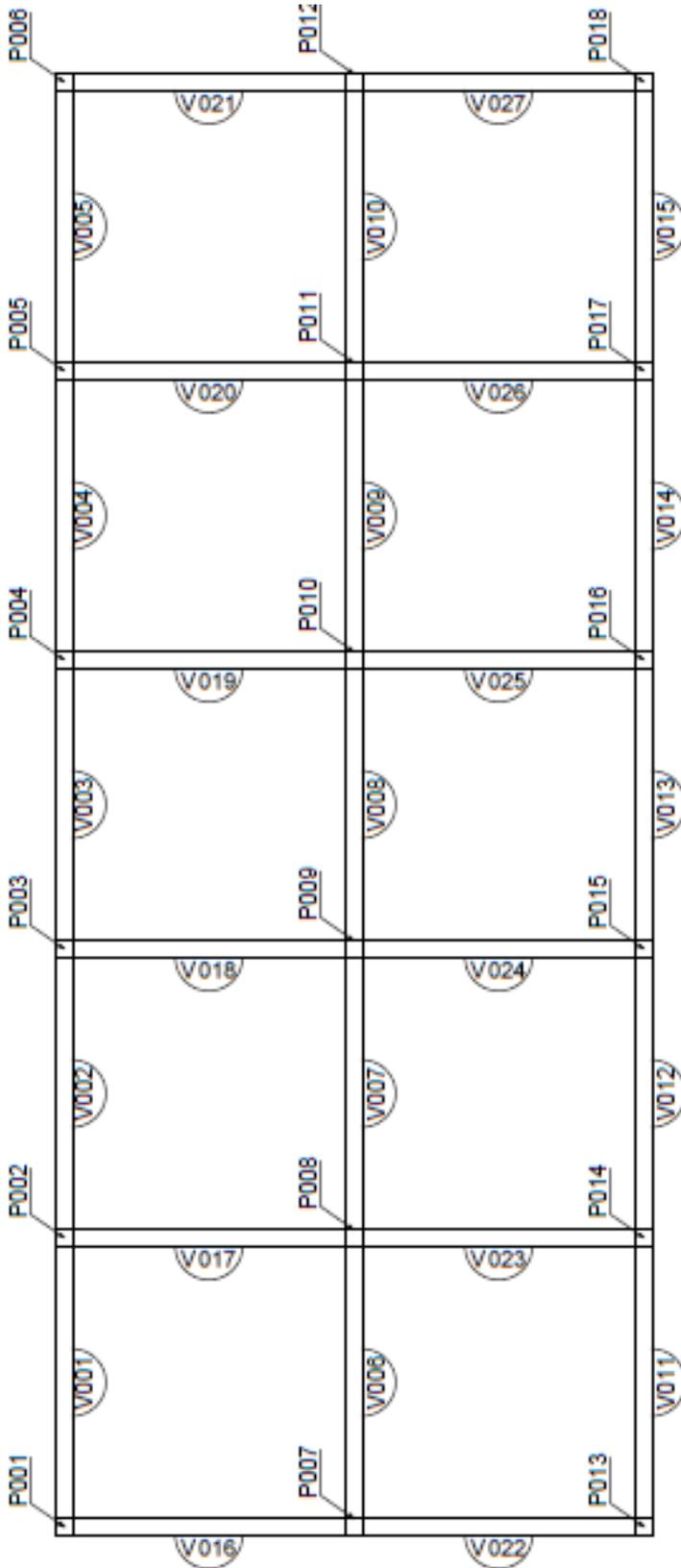
ANEXO 1: LOSA PISO 2.



ANEXO 2: LOSA PISO 1.

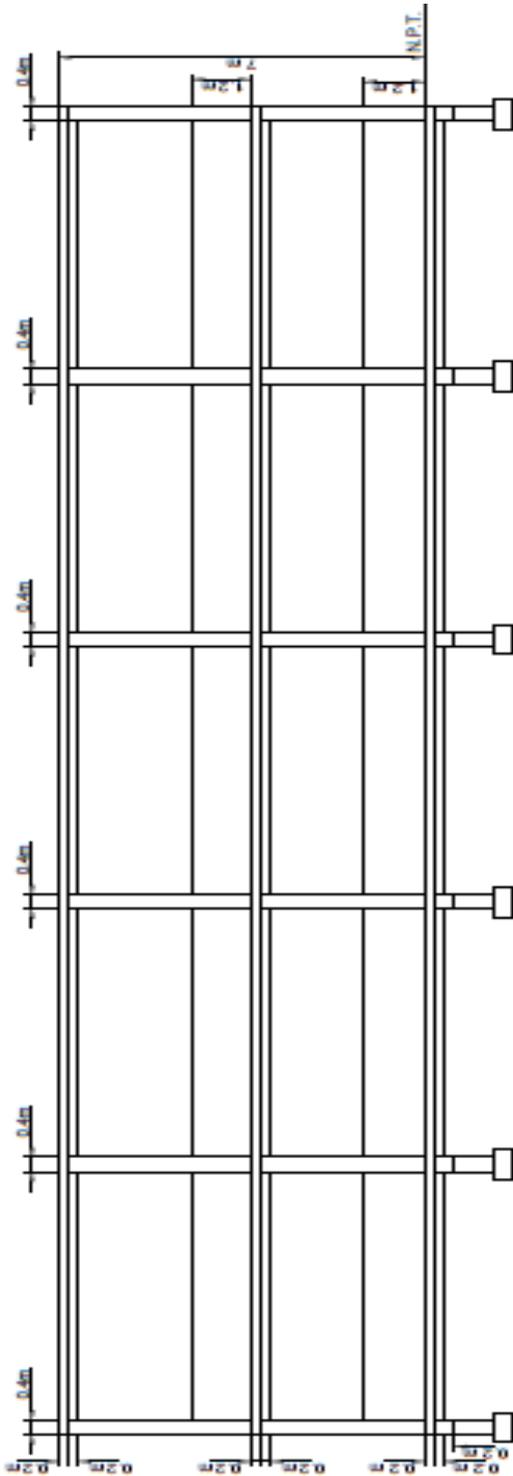


ANEXO 3: LOSA PISO 0.

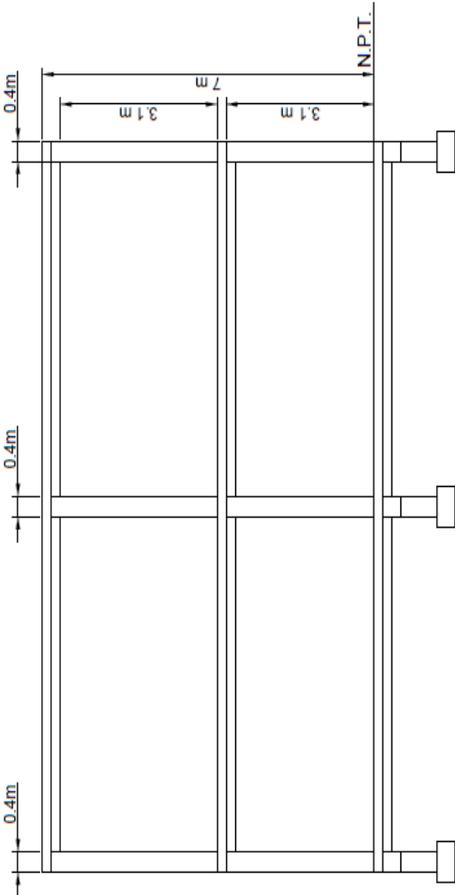


ANEXO 4: ELEVACIONES.

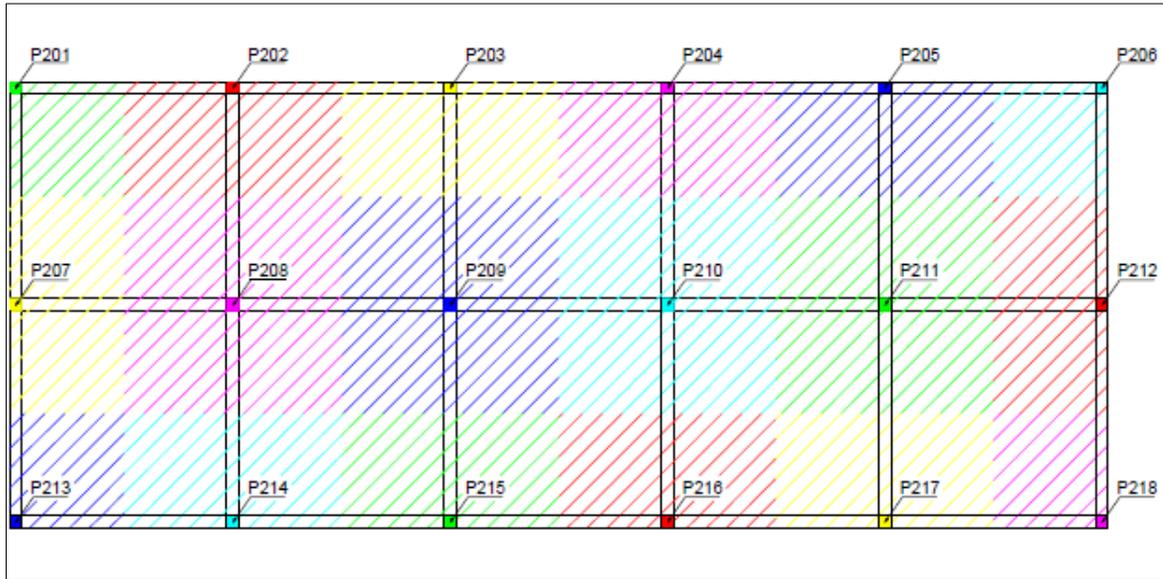
Elevación este-oeste.



Elevación Norte-Sur.

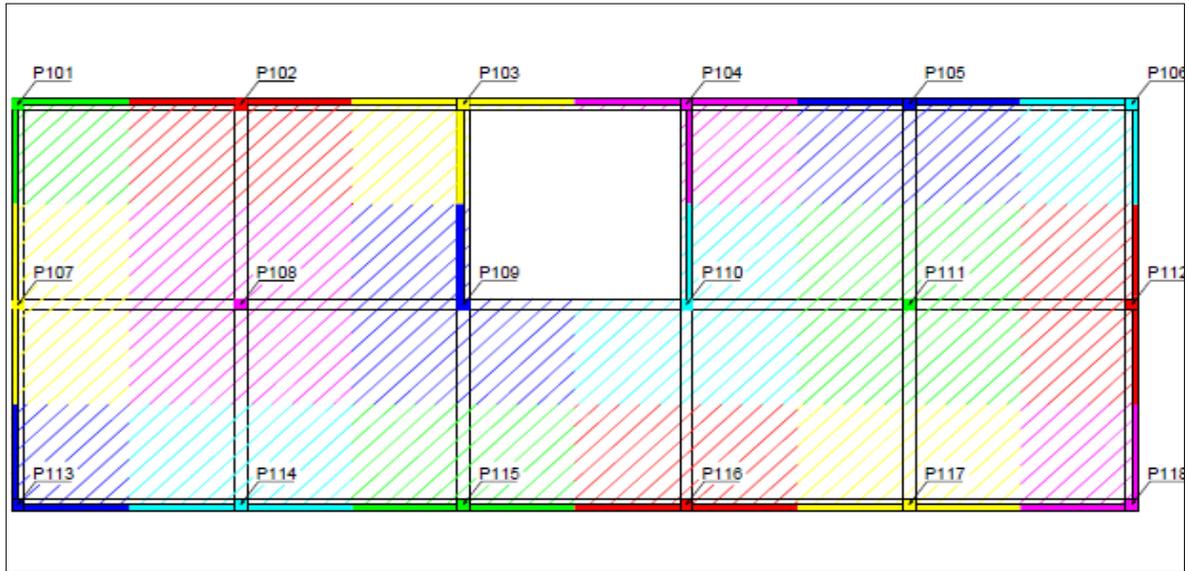


ANEXO 5: PLANO Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS LOSA 2.



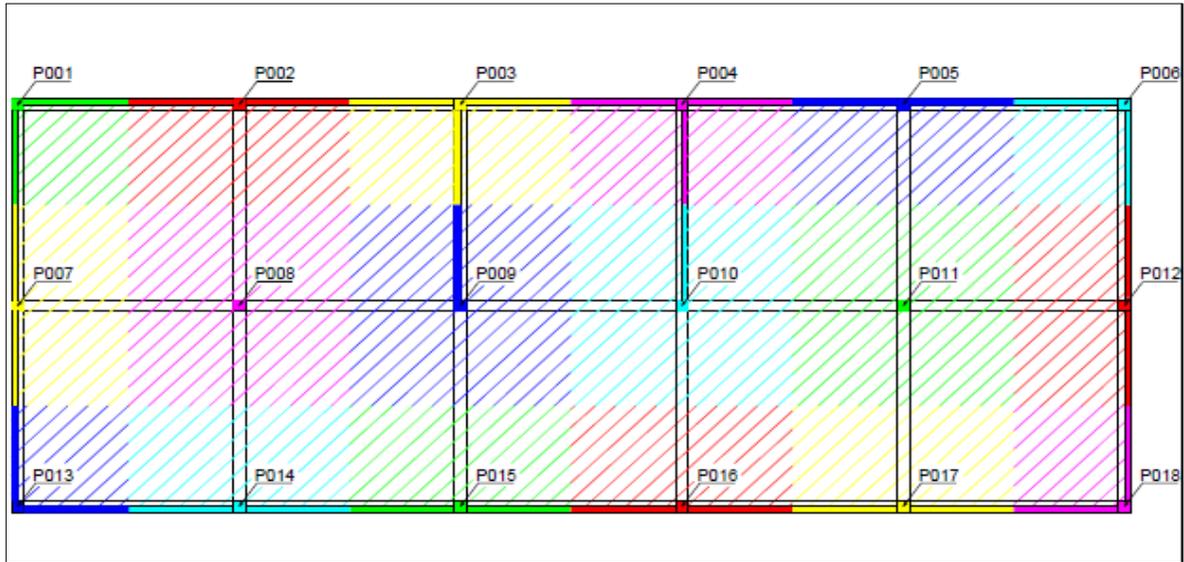
Pilar	N losas	N vigas	N muros N-S	N muros E-O
P201	1	2	0	0
P202	2	3	0	0
P203	2	3	0	0
P204	2	3	0	0
P205	2	3	0	0
P206	1	2	0	0
P207	2	3	0	0
P208	4	4	0	0
P209	4	4	0	0
P210	4	4	0	0
P211	4	4	0	0
P212	2	3	0	0
P213	1	2	0	0
P214	2	3	0	0
P215	2	3	0	0
P216	2	3	0	0
P217	2	3	0	0
P218	1	2	0	0

ANEXO 6: PLANO Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS LOSA 1.



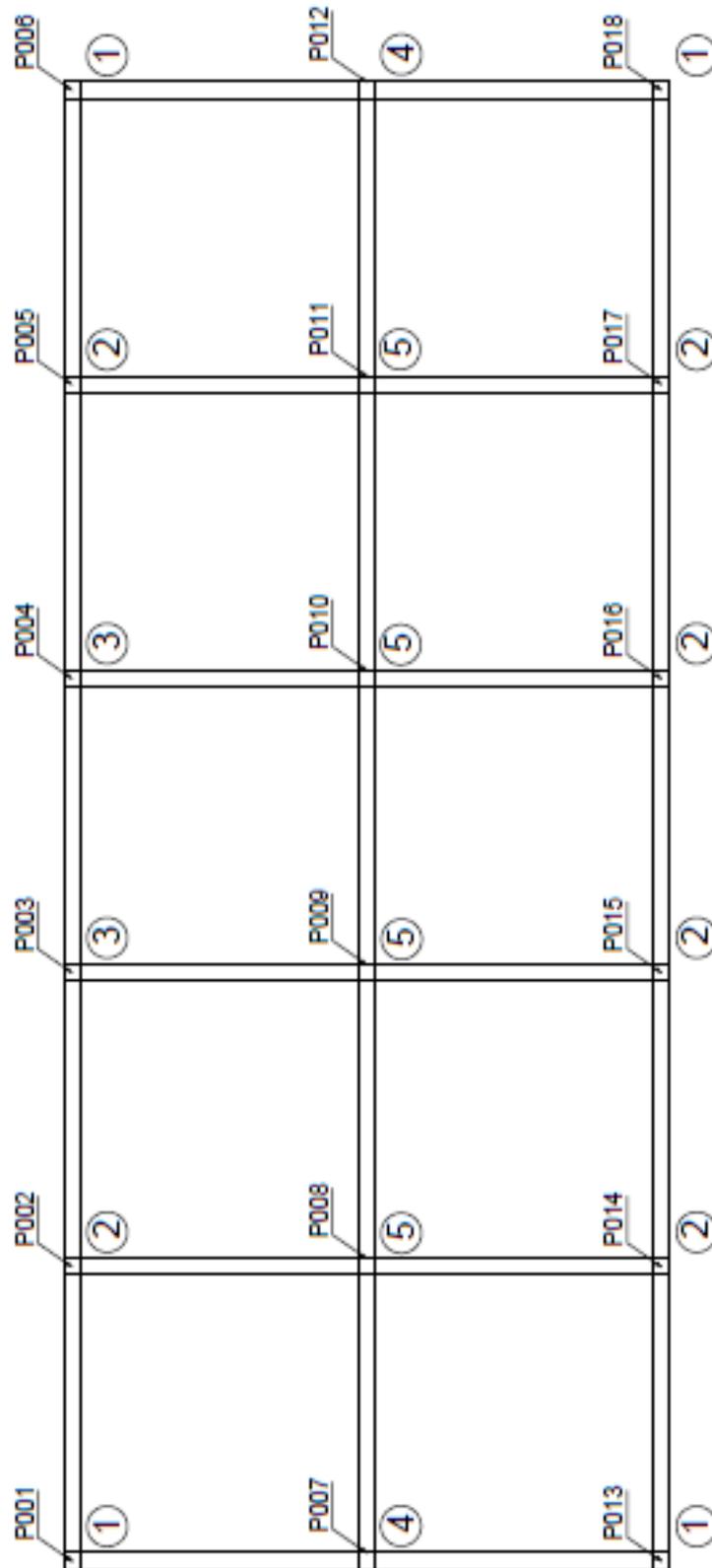
Pilar	N losas	N vigas	N muros N-S	N muros E-O
P101	1	2	1	1
P102	2	3	0	2
P103	1	3	1	2
P104	1	3	1	2
P105	2	3	0	2
P106	1	2	1	1
P107	2	3	2	0
P108	4	4	0	0
P109	3	4	1	0
P110	3	4	1	0
P111	4	4	0	0
P112	2	3	2	0
P113	1	2	1	1
P114	2	3	0	2
P115	2	3	0	2
P116	2	3	0	2
P117	2	3	0	2
P118	1	2	1	1

ANEXO 7: PLANO Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS LOSA 0.

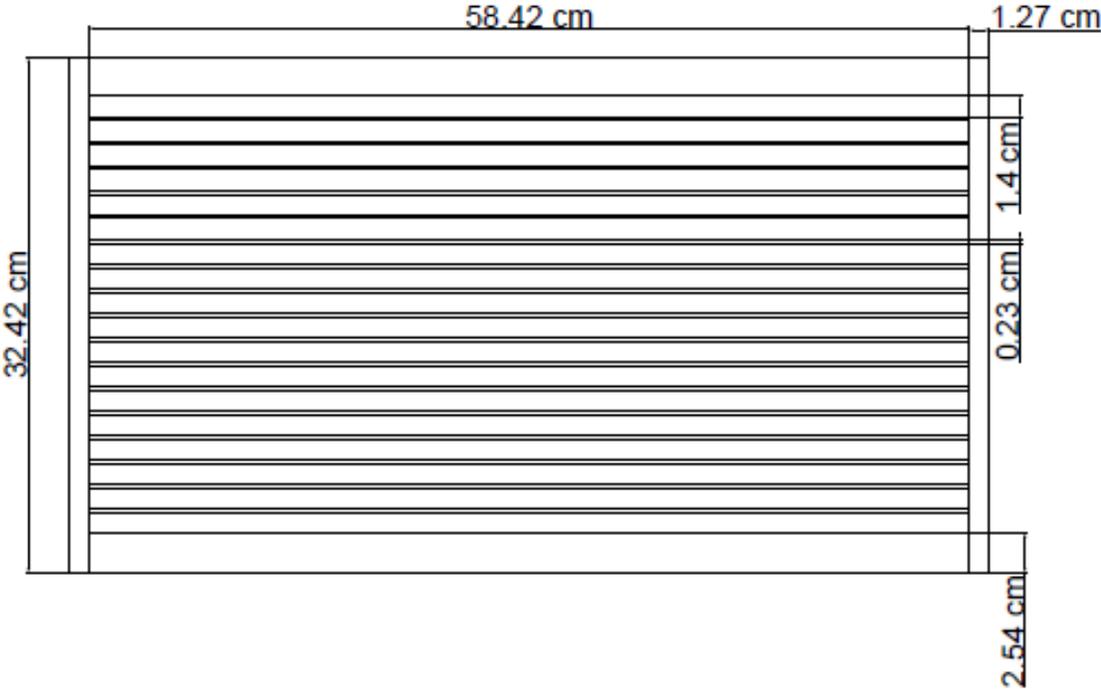


Pilar	N losas	N vigas	N muros	
			N-S	S-O
P001	1	2	1	1
P002	2	3	0	2
P003	2	3	1	2
P004	2	3	1	2
P005	2	3	0	2
P006	1	2	1	1
P007	2	3	2	0
P008	4	4	0	0
P009	4	4	1	0
P010	4	4	1	0
P011	4	4	0	0
P012	2	3	2	0
P013	1	2	1	1
P014	2	3	0	2
P015	2	3	0	2
P016	2	3	0	2
P017	2	3	0	2
P018	1	2	1	1

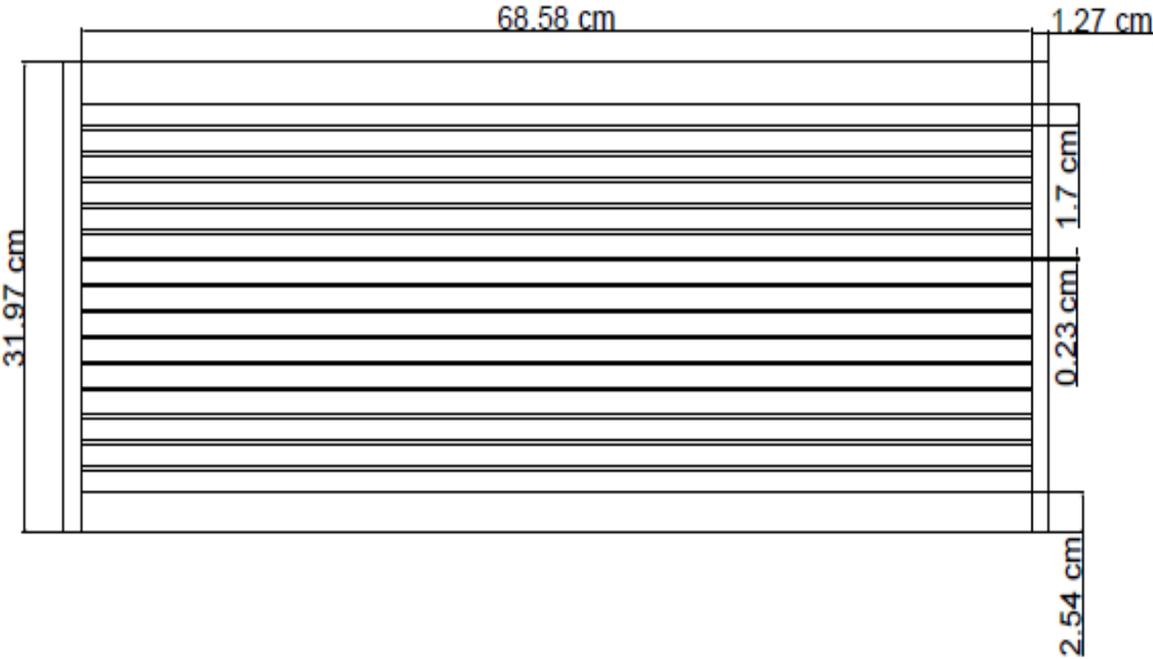
ANEXO 8: ASIGNACIÓN DE TIPOS DE AISLADOR POR PILARES.



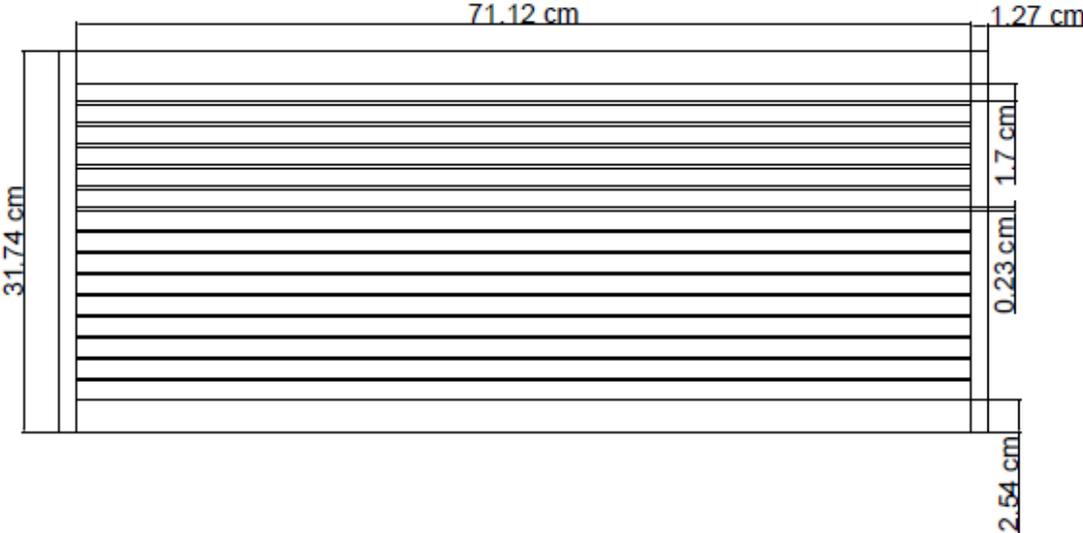
ANEXO 9: AISLADOR TIPO 1.



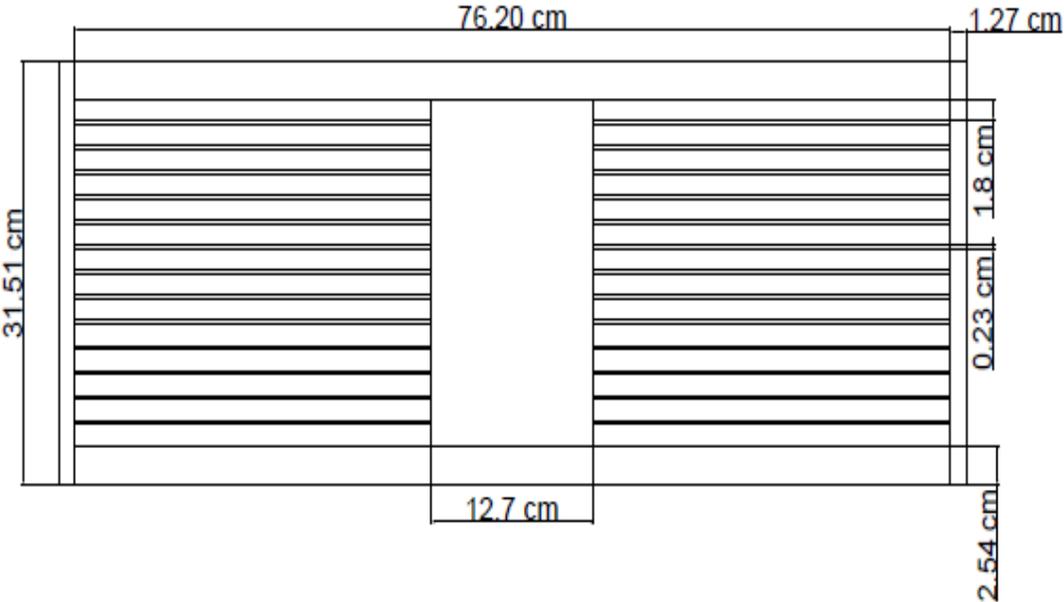
ANEXO 10: AISLADOR TIPO 2.



ANEXO 11: AISLADOR TIPO 3.



ANEXO 12: AISLADOR TIPO 4.



ANEXO 13: AISLADOR TIPO 5.

