



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN**

**DISEÑO DE AISLADORES SISMICOS PARA
MARCOS DE ACERO**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JESÚS CRISTHIAN MARTÍNEZ LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS :

Ing. ARTURO MACÍAS FERREIRA



Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS.

Principalmente quiero dedicarle y al mismo tiempo agradecer a *Dios* por darme la hermosa familia que tengo, y nunca haberme dado por vencido en toda etapa de mi vida, la humildad que me ha dado ha sido de mucho valor para llegar a obtener este triunfo.

Mi hermosa familia, que sin duda me enseñaron un sin fin de valores, nosotros sabemos lo que hemos pasado, y con este trabajo quiero agradecerles todo lo que han hecho por mí, *Sr. Julio Martínez Paez* gracias por enseñarme el valor de la vida y darte las gracias por tu inmenso apoyo, *Sra. Virginia López Mena* por el amor que me das, el cariño que se que nunca nos faltara.

La familia *López Mena* por su apoyo incondicional en especial a *Margarita López Mena*, que se convirtió en una hermana para mí desde el primer momento que te vi, gracias por tu apoyo, la familia *Martínez Paez* en especial a *Trinidad Martínez Castillo* que en paz descanse, gracias por aquellos momentos agradables que recuerdo que pase con usted.

Una persona que formo parte de mi vida y que le agradezco de todo corazón sus consejos, el apoyo increíble que me está brindando el *M. Martín Mercado*.

A mi *Alma Máter*, la *UNAM* por ser parte de mi vida, en especial la *FES Aragón* que con los ingenieros que me impartieron clases me forjaron para adentrarme al ámbito laboral y de manera de reconocimiento por sus consejos y apoyo los he elegido a ustedes como parte de mi jurado, plasmando el trabajo realizado, sin duda mi mayor agradecimiento al *Ing. Arturo Macías Ferreira* por el apoyo brindado durante este trabajo, gracias por dedicarme tiempo en su vida los consejos, opiniones y las clases que tuve con usted, fueron especiales para dar por terminar la tesis.

La empresa *CGS Geotecnia y Cimentaciones* por prestarme el tiempo para realizar este trabajo, en especial a la *M.I. Raquel Gutiérrez Valdez*, por darme la confianza de poder trabajar con usted, y su apoyo hasta el momento sin duda no olvidare mi primer trabajo a lado de usted.

Por último, pero no menos importante es a mis compañeros@, amigos@, conocidos@ y profesores@ que formaron parte de mi vida, creando, innovando dando apoyo y consejos para disfrutar la vida, y enseñándome que todo hay que hacerlo con gusto.

**"Algún día en cualquier parte, en cualquier lugar
indefectiblemente te encontrarás a ti mismo, y ésa, sólo
ésa, puede ser la más feliz o la más amarga de tus horas"**

— Pablo Neruda

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años los sismos han sido protagonistas de muchos eventos catastróficos, no solo en México sino en gran parte de todo el mundo, y observar que la estructura es dañada o incluso colapsada da a entender que necesitamos crear, innovar y hacer estructuras que soporten dicho evento, en algunos países tales como Japón, Chile, Estados Unidos entre otros han adoptado por sistemas de protección sísmica y han conseguido buenos resultados, es por eso que en México debemos dar un empuje con el fin de realizar estudios, y prototipos que ayuden a que las construcciones se comporten eficientes cuando actué el movimiento, con el fin de encontrar seguridad, economía y bienestar.

Construcciones de infraestructura son las que necesitan este tipo de sistemas de protección sísmica, en el mundo existe una infinidad de elementos para proteger las estructuras, en este caso se hablara acerca de los aisladores de base con núcleo de plomo en el centro, dado que se ha comportado muy eficiente con respecto los desplazamientos, el periodo y el soporte a cargas por gravedad y laterales; para ello realizaremos un marco de acero de 9 niveles, en una zona IIIa, donde sabemos que el movimiento allí es crucial para las estructuras, mediante cargas aplicadas con el objetivo de encontrar la diferencia de una estructura convencional a una estructura con sistemas de protección sísmica.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	iii
CONTENIDO.....	v
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES DE LOS AISLADORES SISMICOS.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.1. Origen de los sismos y la ingeniería.....	1
1.1.2. Componentes y características generales de los sismos.....	2
1.2. SISMICIDAD EN MÉXICO	26
1.2.1. Riesgo Sísmico	26
1.2.2. Regiones sísmicas en la República Mexicana	27
1.2.3. Regiones sísmicas en el Valle de México.....	28
1.2.4. Daños estructurales.....	14
1.2.5. Proyectos con daños estructurales	15
1.3. DISPOSITIVOS AVANZADOS PARA UNA PROTECCION SISMORESISTENTE	17
1.3.1. Antecedentes	17
1.3.2. Sistemas de control para estructuras.....	17
1.3.3. Sistemas de control estructural pasivo	18
1.3.4. Sistemas de control estructural activo	20
1.3.5. Sistemas de control estructural hibrido	37
1.4. AISLADOR SISMICO.....	38
1.4.1. Principios del aislamiento sísmico.....	38
1.4.2. ¿Qué es y cómo se comporta el aislador sísmico?.....	39
1.4.3. Características generales.....	24
CAPÍTULO 2 AISLADORES SISMICOS PARA MARCOS DE ACERO.....	26
2.1. INTRODUCCION.....	26
2.1.1. Acero.....	26
2.2. TIPOS DE AISLAMIENTO SÍSMICO EN MARCOS DE ACERO	26
2.2.1. Apoyo de hule-laminado (elastomérico)	27
2.2.2. Pilas o columnas flexibles	28
2.2.3. Resortes	28
2.2.4. Rodillo o esferas entre superficies curvas (parabólicas)	46
2.2.5. Amortiguadores histeréticos de acero	46

2.2.6.	Amortiguadores de extrusión de plomo.....	47
2.2.7.	Apoyo de hule-plomo	48
2.2.8.	Sistemas de fricción goma-teflón	49
2.2.9.	Sistemas de piso	34
2.3.	PROYECTOS.....	35
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE UN AISLADOR DE BASE EN MARCOS DE ACERO		56
3.1.	INTRODUCCION.....	56
3.1.1.	Preliminar	56
3.2.	RESPUESTA ANTE UN SISTEMA.....	57
3.2.1.	Sistema de aislamiento lineal.	58
3.2.2.	Sistema de aislamiento no- lineal.....	45
3.2.3.	Sistema de aislamiento bilineal	46
3.3.	REQUERIMIENTOS PARA UN AISLADOR DE BASE.....	47
3.3.1.	Comportamiento estático en compresión.....	47
3.3.2.	Deformación Vertical.....	49
3.3.3.	Deformación Total	49
3.3.4.	Rigidez a compresión.....	66
3.3.5.	Pandeo del boque elastomérico circular y rectangular.....	68
3.3.6.	Esfuerzo Cortante	68
3.3.7.	Desplazamiento horizontal.....	69
3.3.8.	Rigidez por cortante	69
3.3.9.	Ángulos grandes a cortante.....	69
3.3.10.	Deformación vertical	69
CAPÍTULO 4 APLICACION DE UN AISLADOR SISMICO CON MARCOS DE ACERO CON EL PROGRAMA SAP 2000		54
4.1.	INTRODUCCION.....	54
4.1.1.	Proyecto.....	54
4.1.2.	Especificaciones de la estructura.....	54
4.1.3.	Estructura convencional	55
4.1.4.	Estructura con aislador de base y corazón de plomo.....	66

CAPÍTULO 5 RESULTADOS DE LA APLICACION	69
5.1. INTRODUCCION.....	69
5.1.1. Análisis del proyecto.....	69
CAPÍTULO 6 CONCLUSIÓN	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
FIGURAS.....	75
TABLAS.....	78
DIAGRAMAS.....	78
GRÁFICOS Y PROGRAMA.....	78

CAPÍTULO 1.

GENERALIDADES DE LOS AISLADORES SISMICOS

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. Origen de los sismos y la ingeniería.

A través del tiempo se ha observado en cualquier tipo de construcción ya sean casas, edificios, centros comerciales, puentes inclusive presas y entre otras más las modificaciones causadas por vibraciones dinámicas, sin duda factores que alteran las construcciones llegan a ser originadas de distintas maneras, analizando el contexto llegan hacer artificiales o naturales, por un lado los artificiales producidos a través del humano realizan actividades que sin darse cuenta actúan vibraciones en el suelo, como ejemplo claro es utilizar maquinaria de construcción o transporte donde el suelo experimenta movimientos ligeros, también realizar explosiones en el suelo con el fin de obtener alguna riqueza mineral, o explosiones que hacen estallar una parte de la ciudad y explosiones nucleares. Sin duda estos pequeños ejemplos hacen que la vibración del suelo exista en un cierto lapso de tiempo, otro factor son aquellos eventos naturales donde no se sabe en que momento van actuar, la actividad volcánica por el fracturamiento de rocas debido al movimiento que se genera en el magma, el colapso de techos de cavernas o bien el movimiento de las placas tectónicas que llegan a ser muy súbitas donde el suelo estará expuesto aquellas vibraciones.

Desde la perspectiva de la ingeniería sísmica y estructural las vibraciones más severas o importantes donde la afectación de cualquier estructura llega a ser evidente es de origen tectónico dado por los movimientos bruscos afectando la estabilidad de la estructura, dichos sismos ocurren cuando se desplazan grandes placas en que están subdivididas en dicha corteza, las presiones que se generan en la corteza por los flujos del magma desde el interior de la tierra llegan a vencer la fricción que mantiene en contacto los bordes de las placas y producen caídas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en la roca. (Bazán y Meli, 2002)

Si bien este comportamiento donde las construcciones se enfrentan a cargas sísmicas nos muestra un estado dinámico, las cuales estimulan deformaciones en cualquier dirección, es por ello que el hombre ha aprendido el comportamiento y el diseño de construcciones que se puedan ver sometidas a violentos sacudimientos producidos por la acción de sismos intensos.

Ahora podemos decir que la ingeniería sísmica y en compañía a la ingeniería estructural, a través de un diseño adecuado y correcta ejecución buscara los siguientes objetivos:

- a) Proporcionar, seguridad contra el colapso ante sismos de gran severidad.
- b) Protección contra daños materiales de consideración bajo sismos de intensidad moderada.
- c) Evitar daños a construcciones colindantes.
- d) Facilitar la reparación o refuerzo en caso de daños.
- e) Protección contra la acumulación de daño estructural bajo efectos de una serie de temblores.
- f) Proporcionar seguridad y comodidad evitando pánico por los movimientos durante temblores de intensidad moderada o alta.
- g) Protección a transeúntes. (Gómez Tremari Raúl,1988)

Es esta vibración de la corteza terrestre la que ponen en peligro las edificaciones que sobre ellas se desplantan, al ser estas solicitadas por el movimiento de su base. Por los movimientos vibratorios de las masas de los edificios, se generan fuerzas de inercia que inducen esfuerzos importantes en los elementos de la estructura y que pueden conducirla a la falla. (Bazán y Meli, 2002)

1.1.2. Componentes y características generales de los sismos.

Existe una amplia variedad de los componentes que forman parte del movimiento sísmico, dando lugar aquellos componentes principales que debemos tener en cuenta una vez que se presenta el sismo, las características generales de los sismos hacen que el estudio se profundice a manera de proporcionar seguridad a la población. Las fallas (bordes de placas) son las fuentes más probables de liberación de energía sísmica, de aquí que resulte de gran importancia la ubicación de las mismas. La República Mexicana se ve afectada por la circumpacífica, existen otros tipos de fracturamientos o fallas secundarias que también presentan movimientos relativos generando temblores de cierta severidad. En todo el mundo encontramos placas para poder entender su comportamiento, siendo 6 las más importantes: Pacífico, América, Euroasia, India, África y Antártica (Figura 1.1). Pero en la República Mexicana encontramos cinco placas tectónicas; La norteamericana, la del Pacífico, la del Caribe, la Rivera y la de Cocos (Figura 1.2), esta última es más activa, genera un estado de subducción penetrando abajo del continente americano y ha sido la causante del mayor número de temblores en México.

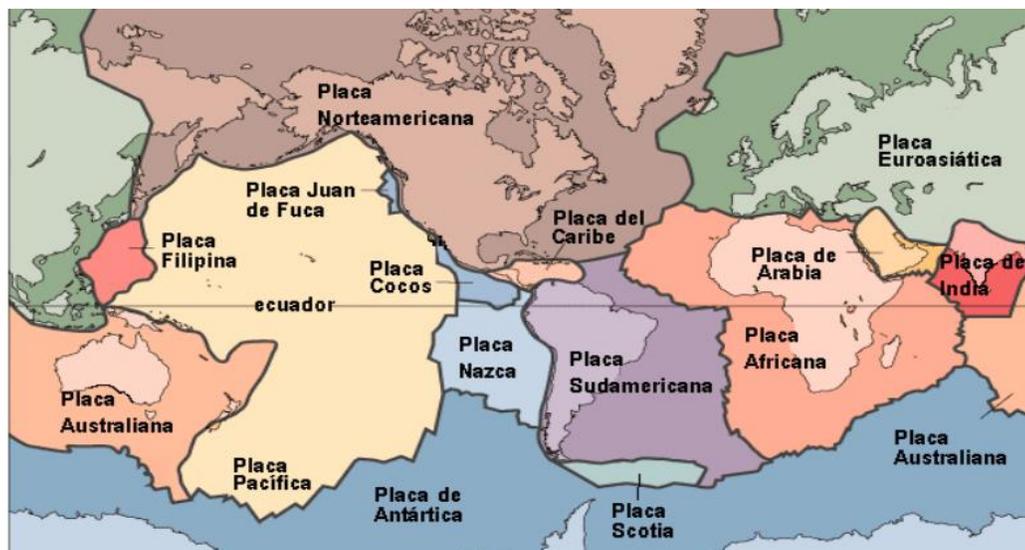


Figura 1.1. Mapa que detalla la relación entre las principales placas tectónicas (Xyoli Pérez Campos, cenapred)



Figura 1.2. Mapa que detalla las placas tectónicas en el territorio mexicano (Servicio sismológico nacional, 19 de septiembre 2017)

La fuerza del sismo comienza a ejercer y durante su ejecución se presentan dos elementos activos de manera inmediata que a su vez se concentra en un punto de estudio y a base de su alrededor en sitio donde se siente físicamente los movimientos, conocidos como *foco* y *epicentro*.

Centro, hipofoco, hipocentro o más conocido como foco es aquel punto de la corteza terrestre donde se presentan los esfuerzos y a su vez comienzan a liberar la energía si bien es un punto fuente donde lo podemos encontrar en una zona hipocentral, en ella parten las ondas sísmicas que se propagan en todas direcciones.

El epicentro o epicentro, es la proyección vertical del foco en la superficie de la tierra, en ocasiones el foco se localiza en el océano provocando maremotos o tsunamis.

En ausencia de datos instrumentales, el epicentro ha de fijarse a veces, basándose en los daños observados, como el punto de sacudidas más intensas. Por último, los términos tales como distancia epicentral y distancia focal se refiere a distancias a un punto de interés llamado *estación*.

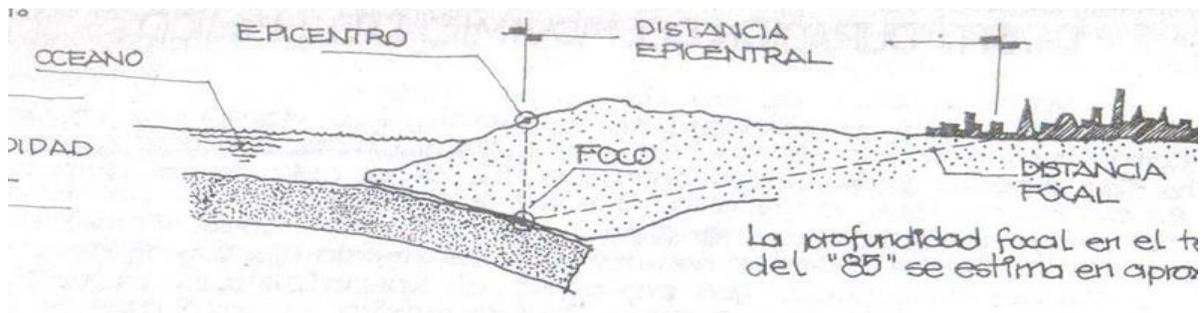


Figura 1.3. Elementos principales de un sismo (Gómez Tremari, 1988)

Si bien la energía se libera principalmente en forma de ondas vibratorias que se propagan a grandes distancias a través de la roca de la corteza (E. Rosenblueth y N. M. Newmark, 1976). Por ejemplo, la energía que se halla liberado cuando ocurre el sismo comienza a dispersar su onda en el terreno, estas ondas van amortiguándose a modo de que se alejan del foco o punto de origen, tomaremos en cuenta que el suelo de la ciudad de México cambia es por ello que las ondas cambiaran las características que se presenten en el camino como las propiedades topográficas y geotécnicas de las zonas por donde van atravesando. Como se muestra en la siguiente Figura 1.3, podemos observar más a detalle los elementos formados por el sismo para saber a qué nos referimos.

Mientras tanto las ondas sísmicas transmiten un estado de esfuerzos mediante complicadas trayectorias de las partículas del medio transmisor y tienen una importancia fundamental en la ingeniería sísmica, porque en la inmensa mayoría de los sismos, su acción sobre las construcciones no se debe a que la ruptura las afecta directamente, sino a los sacudimientos producidos por ondas que se propagan por el subsuelo donde esta cimentada la construcción.

Existen dos tipos de ondas sísmicas, las ondas internas que se propagan por el interior de los sólidos y las ondas superficiales que se pueden transmitir por su superficie, o por los contactos entre cambios bruscos de la rigidez del medio; estos contactos pueden quedar en el interior del sólido.

En referencia a la transmisión de ondas de esfuerzo, se debe tener en cuenta que existen dos velocidades perfectamente diferenciadas, una mucho mayor que la otra. Una cosa es la velocidad con que se transmite el estado de esfuerzo mediante las ondas y otra totalmente diferente, es la velocidad con la que se mueve las partículas del medio transmisor del estado de esfuerzo. En términos generales, la velocidad del estado es muy superior a la velocidad de las partículas del medio. (Sarría Molina, Ediciones Uniandes)

Aquellas ondas de cuerpo o internas se dan porque viajan a través del interior de la Tierra siguiendo caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de sus capas, las ondas de cuerpo son compresiones y transversales por ello son divididas en dos grupos: Onda primarias P y ondas secundarias S.

Las ondas P primarias se presentan comprimiendo y dilatando el medio para propagarse en dirección longitudinal, se pueden propagar en cualquier medio a través de cualquier tipo de material, son las más rápidas ya que son las primeras que se registran en los sismógrafos. Aquí se presenta la forma de la onda durante su recorrido(Figura1.4).

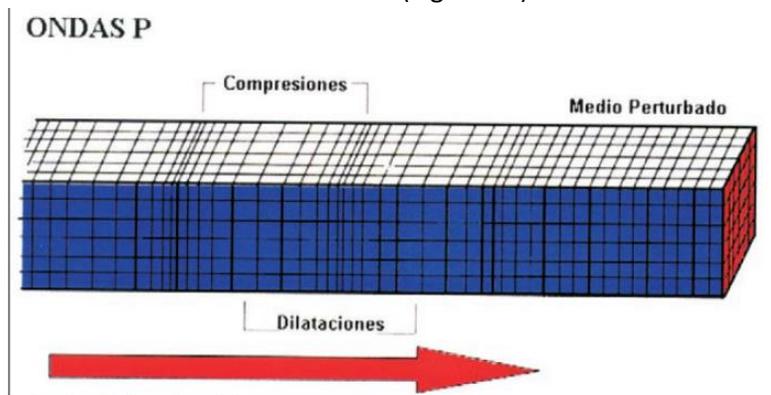


Figura 1.4. Comportamiento de la onda P compresión y dilatación del medio (Lagos Ortiz, 2014)

Mientras tanto las ondas S dichas ondas se presentan de manera transversales, de corte o como cizalla, el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro, pueden viajar a través de medios sólidos. La diferencia a las ondas primarias u ondas P la velocidad de propagación es mucho menor, pero a su vez se pueden propagar en cualquier medio a través de cualquier tipo de material. (Figura1.5)

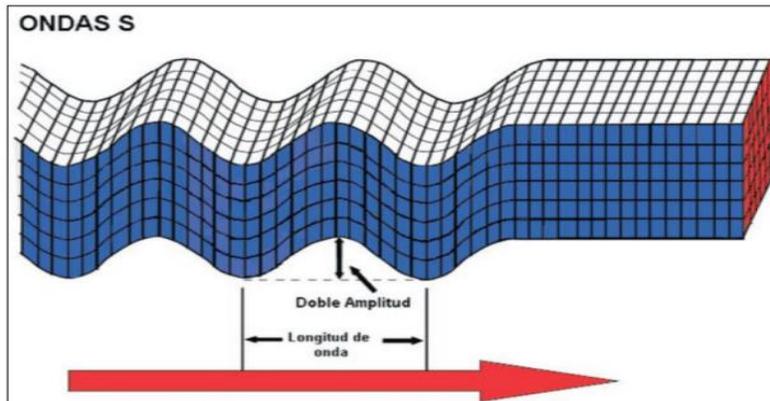


Figura 1.5. Comportamiento de la onda S transversales o de corte con respecto al medio (Lagos Ortiz, 2014)

Por un lado, las ondas superficiales son más lentas que las de cuerpo y se desplazan solamente en la capa externa de la Tierra, cuando un sólido posee una superficie libre pueden generarse ondas que viajan a lo largo de ella. Estas ondas tienen su máxima amplitud en el medio y va decreciendo exponencialmente con la profundidad, estas ondas se dividen en ondas Rayleigh y Love.

El tipo de ondas Rayleigh se propagan mediante un movimiento elíptico y retrógrado del medio, ejemplo son las ondas del mar que dan un parecido al movimiento que se presenta en la superficie, su velocidad de propagación es aproximadamente un 70% de las ondas S. (Figura1.6)

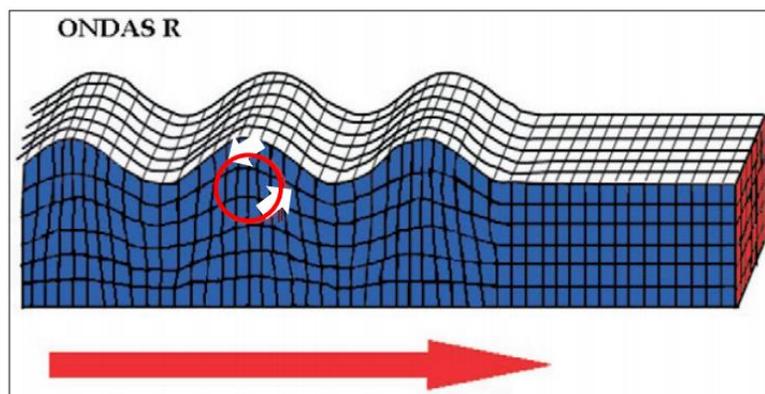


Figura 1.6. Comportamiento de la onda R propagación elíptica en dirección al plano (Lagos Ortiz, 2014)

Por último las ondas Love, producen un movimiento de corte en la superficie del medio, el cual es perpendicular a la dirección de propagación, son ondas de cizalla, que oscilan solo en el plano horizontal tal como se muestra (Figura 1.7).

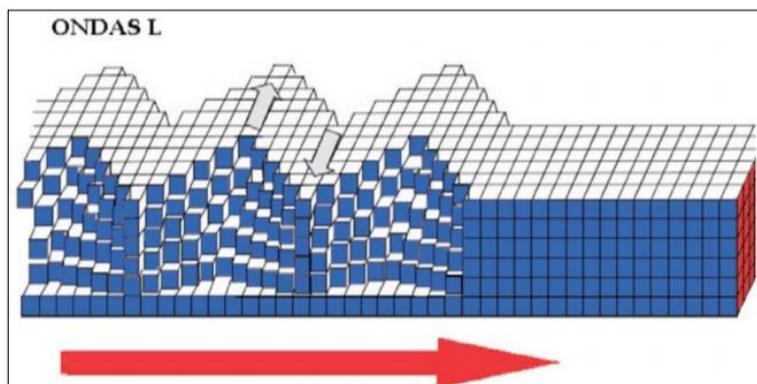


Figura 1.7. Comportamiento de la onda L propagación perpendicular en dirección al plano (Lagos Ortiz, 2014)

Es importante mencionar que cuando se presenta un movimiento telúrico, las personas pretenden calificar el tipo de movimiento dando a mencionar los movimientos oscilatorios o trepidatorios, pero esto dependerá de cómo sintió el movimiento en el sitio, porque en todos los sismos se producen simultáneamente ambos movimientos horizontal y vertical pero como se ha descrito en el trabajo influye de las condiciones locales.

Por lo general, al describir un sismo, además de los componentes que ya fueron mencionados se presentan dos conceptos que frecuentemente han sido confundidos tales como intensidad y magnitud dos componentes que sin duda determinan la peligrosidad y el tamaño del sismo, gracias a estos conceptos la ingeniería estructural permite realizar un diseño óptimo para la estructura y evitar los menores daños posibles que se lleguen a presentar.

La magnitud de un sismo se encuentra asociado al desprendimiento de energía a lo largo de la superficie de la falla, el tamaño del sismo y el área que rompe cuando se desliza. Es más conocida por una medida cuantitativa para conocer el tamaño de un sismo, porque una vez medir la energía liberada podemos saber cuál es la capacidad de destrucción de manera global de cualquier objeto, siendo este independiente del lugar en que se esté analizando.

Para conocer la magnitud del sismo, es común recurrir a la escala de Richter o bien la magnitud local M_L en él se basa la amplitud de un registro en condiciones estándar.

A continuación, se muestra la tabla 1,1 donde muestra que a medida que la magnitud aumenta la destrucción llega a ser más letal.

Tabla 1.1. Escala de Magnitud de sismos
(Bazán y Meli, 2002)

Magnitud	Detención
M<3	Difícilmente lo perciben las personas.
M<5	Rara vez llegan a producir daño, excepto cuando son muy superficiales y solo muy cerca del epicentro.
M entre 5 y 7	Afectan zonas relativamente pequeñas y caen en la definición de sismo de magnitud intermedia.
M>7	Mayor violencia en el movimiento del terreno.

Es importante conocer que una diferencia de un grado de magnitud entre dos sismos cualesquiera implica, en términos de energía liberada, una diferencia de 32 veces. Ejemplo claro es el sismo del 19 de Septiembre de 1985 donde se obtuvo una magnitud registrada de 8.1 donde su epicentro fueron en la costa de Michoacán mientras que el sismo de 19 de Septiembre de 2017 se obtuvo una magnitud de 7.2 con epicentro entre los límites de los estado de Puebla y Morelos, esto quiere decir que el sismo de 1985 fue 32 veces más fuerte en términos de energía liberada que del año 2017, en el mundo se han presentado temblores mayores a esta magnitud tales como los ocurridos en Chile, en 1960 (M = 9.5), y Alaska, en 1964 (M = 9.2), que sin duda han sido devastadores. (Gutiérrez Martínez, Quas Weppen y Schroeder, 2005)

Cuando hablamos de intensidad nos referimos a una medida subjetiva bajo los efectos producidos por el sismo, dado que no se tienen registros instrumentales del movimiento del terreno como la aceleración, velocidad o desplazamiento para mantener un registro adecuado, por lo tanto la intensidad la podemos describir por los efectos de las construcciones que existen en una zona, este varia con la distancia al foco, las características geológicas que represente la zona, como también las propiedades mecánicas del suelo y el nivel de aguas freáticas. (Bazán y Meli, 2002)

A su vez se refiere al grado en que comienza a sacudir un sitio determinado. Varias escalas han sido propuestas en el pasado destacando la de Mercalli y también una de Rossi y Forel. Entre ellas, la adoptada más ampliamente es la escala de Mercalli Modificada (MM) (Bazán y Meli, 2002) en ella posee doce grados y que podemos identificarlos por sus números romanos, como se muestra en la tabla 1.2. Escala de intensidad Mercalli Modificada (MM):

Tabla 1.2. Escala de intensidad Mercalli Modificada (MM)
(Bazán y Meli, 2002)

Grado	Descripción
I	No es sentido por las personas, registrado por los instrumentos sismográficos.
II	Sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores, objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido en el interior de las modificaciones, especialmente en pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlos como temblores, vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo liviano, objetos suspendidos oscilan.
IV	Objetos suspendidos oscilan visiblemente, vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado, vehículos estacionados se bambolean, cristalería y vidrios suenan, puertas y paredes de madera crujen.
V	Sentido aun en el exterior de los edificios, permite estimar la dirección de las ondas, personas dormidas se despiertan, el contenido liquido de recipientes y taques es perturbado y se puede derramar, objetos inestables son desplazados, las puertas giran y se abren o cierran, relojes de péndulo se paran.
VI	Sentido por todas las personas, muchos sufren pánico y corren hacia el exterior, se tiene dificultad en caminar establemente, vidrios y vajilla se quiebran, libros y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes, los muebles son desplazados o volcados, el revoque y enlucido de mortero de baja calidad y mampostería tipo D se fisuran, campanas pequeñas tañen.
VII	Se tiene dificultad en mantenerse parado, percibido por los conductores de vehículos en marcha, muebles se rompen, daños y colapso de mampostería tipo D, algunas grietas en mampostería tipo C, las chimeneas se fracturan a nivel de hecho,

	<p>caídas del revoque de mortero, tejas, cornisas y parapetos sin anclaje, algunas grietas en mampostería de calidad media, campanas grandes tañen, ondas en embalse y depósitos de agua.</p> <p>La conducción de vehículos se dificulta, daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C, algún daño en mampostería tipo A; caída del revoque de mortero y de algunas redes de mampostería, caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio en el flujo o temperatura en pozos de agua, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.</p>
VIII	
	<p>Pánico general, construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas, daño severo y aun colapso de mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería tipo B, daño a fundaciones, daños en ensambles y depósitos de agua, ruptura de tubería cerrada, grietas significativas visibles en el terreno.</p> <p>La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidas, algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebalsa en los bordes de ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.</p>
IX	
	<p>Los rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio.</p>
X	
	<p>Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, las líneas de visión óptica distorsionadas, objetos lanzados al aire.</p>
XI	
XII	

Como bien podemos observar la intensidad nos sirve de comparación, una vez que las construcciones estuvieron sujetas bajo los efectos del sismo ya sea en un lugar determinado o diferentes lugares, aunque debemos mencionar que también influye el tipo y calidad de la construcción, las características con las que fueron diseñadas.

Tabla 1.3. Definición de los tipos de mampostería
(Bazán y Meli, 2002)

Tipo	Características
Tipo A	Buena calidad de ejecución, mortero y diseño, reforzada y confinada empleando varillas de acero diseñada para resistir cargas laterales de sismo.
Tipo B	Buena calidad de ejecución, reforzada, pero no diseñada específicamente para resistir cargas laterales de sismo.
Tipo C	Calidad de ejecución media, sin refuerzo y no diseñada para resistir cargas laterales.
Tipo D	Materiales de baja resistencia, tal como adobe, baja calidad de ejecución débil para resistir cargas laterales.

El tipo de mampostería muestra sus características en la tabla 1.3 Definición de los tipos de mampostería podemos observar si los elementos son diseñados para resistir las cargas laterales de los sismos, se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno del sitio. Esta medición resulta un tanto subjetiva, debido a que la manera de cuantificación depende de la sensibilidad de cada persona y de la apreciación que se haga de los efectos. En resumen la intensidad de un sismo se refiere a un lugar determinado, como lo percibimos con que violencia se mueve el terreno y la aceleración con la que se mueve, tres factores dependerán la intensidad, la principal la magnitud, la distancia donde se detectó el sismo y sus condiciones locales (geológicas, sedimentos) o bien el tipo de suelo que se presente conocido como efecto de sitio, dado que las ondas sísmicas se pueden amplificar, es por ello que la intensidad puede variar en cualquier sitio.

1.2. SISMICIDAD EN MÉXICO

1.2.1. Riesgo Sísmico

Se determina una medida de la probabilidad que pueda suceder en un cierto lapso de tiempo, esto quiere decir que el sismo más benévolo que ocurra en un lugar supere una magnitud determinada, los estudios geológicos y la historia de actividad sísmica permiten identificar las zonas sismogénicas, es decir aquellas donde existan fallas tectónicas activas cuya ruptura genera los sismos. Los movimientos sísmicos del terreno se presentan no solo en las zonas sismogénicas sino todas aquellas que está suficientemente cercanas a las mismas para que lleguen a ellas ondas sísmicas de amplitud significativa. (SSM, 2017)

México se localiza dentro del cinturón de fuego del Pacífico que se forma con la costa oeste de América y Este de Asia. Ahí, las placas del lecho oceánico del Pacífico se subducen bajo el continente americano y asiático. Concretamente, en México la sismicidad del noroeste está determinada por fallas transformantes que forman parte del llamado sistema de San Andrés. Desde Colima hasta Oaxaca existe una zona de subducción entre las placas Rivera y de Cocos bajo la de Norteamérica. Hacia el sur de Oaxaca, la placa de Cocos se subduce bajo la del Caribe. (SSM, 2017)

1.2.2. Regiones sísmicas en la República Mexicana

Para cualquier tipo de edificación es necesario tener un proyecto para poder ejecutarlo satisfactoriamente, de acuerdo a normas que garanticen seguridad y bienestar bajo efectos sísmicos es importante conocer el sitio donde se desplantara el trabajo con fines de diseño antisísmico, con el objetivo fundamental de minorizar el riesgo a la estructura.

La República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo

- La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
- Mientras que las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.
- Por último, la zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. (CFE, 2000)

En la Figura 1.8 podemos observar a detalle las zonas que se describieron anteriormente y es claro ver que la zona A como la B ocupa la mayor parte de la República Mexicana y con esto podemos clasificar la regionalización sísmica de la República Mexicana:

- La zona A= Considerada como riesgos mínimos
- La zona B= Riesgo considerable
- La zona C= Zona crítica
- La zona D= Zona de alto riesgo.



Figura 1.8. Regionalización sísmica de la República Mexicana.
Figura tomada de: Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad.

1.2.3. Regiones sísmicas en el Valle de México

Como se mencionó anteriormente las áreas formadas por zonas fueron clasificadas, dadas la ocurrencia del sismo, proporcionando seguridad para poder ejecutar el proyecto, si bien el Valle de México está ubicado en la zona B, no quiere decir que estamos expuestos de un sismo severo tal es ejemplo del sismo de 1985, produciendo daños severos a construcciones y vidas. Esto se debe a las condiciones geológicas en donde la presencia de estratos produce una amplificación generalizada.

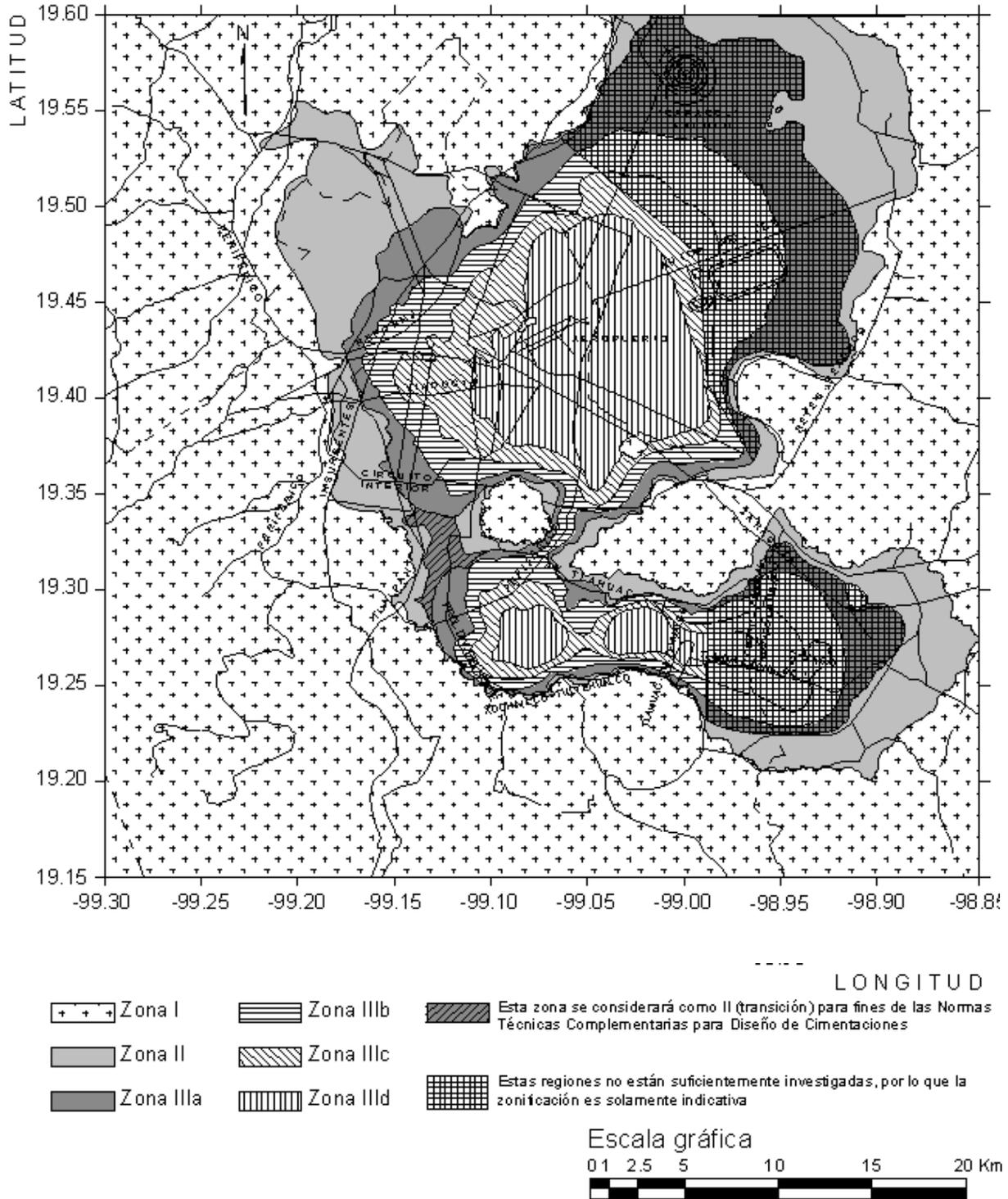
Los gruesos estratos de arcilla blanda, de algunas zonas del valle de México, filtran y hacen prácticamente desaparecer, las ondas que tienen frecuencias de vibración diferentes a la frecuencia fundamental del estrato. De esta manera, llega a la superficie un movimiento casi armónico, con un periodo de vibración que es el del estrato de arcilla subyacente y que varía de acuerdo con el espesor de los estratos. (Bazán y Meli, 2002)

De acuerdo con esto, el actual Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, (RCDF,2004) describe la microzonificación del Valle de México según el tipo de suelo subdividido en tres zonas como se muestra en la figura 1.9

- *Zona I, o zona de lomas o pétreas, son las zonas de terreno firme y de peligro sísmico menor.*
- *Zona II, o zona de transición, en donde se presentan características intermedias se producen amplificaciones importantes con estratos de arcilla superficiales.*
- *Zona III, o zona de lago, se presentan depósitos de arcilla de por lo menos 20 m de espesor y corresponde al mayor peligro sísmico.*

(RCDF,2004)

Figura 1.9. Zonificación del Valle de México



1.2.4. Daños estructurales

Cuando los daños se deben a defectos o errores de diseño o ejecución, se les puede denominar como fallas, las cuales son puestas en evidencia al ocurrir un movimiento sísmico, algunos son el tipo de suelo donde se desplanta la estructura sin antes haber realizado un estudio, la falta de conocimiento al tratar de realizar lo que pide el proyecto arquitectónico puesto que existen elementos que pueden sufrir un daño excesivo, el desarrollo del análisis estructural, un clave importante para dar la mejor solución si persiste algún problema, entre otro más.

El factor que más ha influido en el establecimiento de la práctica actual del diseño sismorresistente de edificios, ha sido la experiencia que se ha derivado del comportamiento observado de los diferentes tipos de estructuras que han sufrido sismos severos. La identificación de las características que han dado lugar a fallas (o por el contrario a buen comportamiento) y el análisis de los tipos de daños y de sus causas han contribuido en forma decisiva al entendimiento del comportamiento sísmico de las estructuras. (Bazán y Meli, 2002)

Los sismos de gran magnitud que nos han azotado en los últimos años la mayor parte del mundo lo ha sufrido y es importante mencionar que toda estructura está sujeta a cualquier sacudimiento brusco el diseño sismorresistente no excede que la estructura nunca podrá tener ningún problema hasta que no se presente un sismo de gran magnitud pero lo único que se hace es contrarrestar este movimiento brusco, hacer conciencia que la naturaleza no es posible ganar ni desafiar, lo único mejor que podemos hacer es realizar estructuras con una excelente supervisión, diseños que confíen seguridad, e implantar nuevos sistemas aquí en México, las tragedias sucedidas fueron vitales para ver que estamos haciendo mal, y ahora es tiempo de corregir y dar un cambio al país.

Una buena manera para aprender a proteger la estructura, es mediante resultados históricos que se han presentado en los años, realizar estudios diversos que propician la importancia para realizar un buen diseño, las pruebas de error se realizaron y funcionaron, pero en la actualidad estas pruebas han pasado a la historia pues registros realizados hacen confiar un excelente análisis, y completar la seguridad a la población.

A continuación, se presentan algunas imágenes acerca de edificios y puentes colapsados ocurridos por un sismo en México en los años 1985 y 2017, como también en otros países con fuerte actividad sísmica, en el sismo del 2017 tuve la oportunidad de observar físicamente los edificios colapsados y los que están por derrumbarse, las colindancias que están sujetas a perder el patrimonio y los servicios públicos que fueron perjudicados por este evento.

1.2.5. Proyectos con daños estructurales



Figura 1.10. CDMX
Edificio de departamentos ubicado en la colonia portales norte,
ciudad de México (sismo de 7.1) 2017



Figura 1.11. CDMX
Puente peatonal conecta periférico y Xochimilco ubicado en
Cuernavaca ciudad de México (sismo de 7.1) 2017



Figura 1.12. CDMX
Edificio y colindancias dañadas en la Av. Sonora Ciudad de México (sismo de 7.1) 2017

Figura 1.13. CDMX
Edificio Nuevo León conjunto habitacional en Tlatelolco, Ciudad de México (sismo de 8.1) 1985



Figura 1.14. Chile
Puente vehicular colapsado en Santiago de Chile (sismo de 8.8) 2010

1.3. DISPOSITIVOS AVANZADOS PARA UNA PROTECCION SISMORESISTENTE

1.3.1. Antecedentes

Como se mencionó en el capítulo anterior, los efectos sísmicos que se llegan a producir a una estructura llegan a ser destructivos si no se mantiene una adecuada revisión en el diseño, pero no se puede negar que en los últimos años, se han tenido registros con gran actividad sísmica en México, tales ocurridos en los años 79, 85, 89, 96 y el más reciente 2017 solo por mencionar algunos, sin duda la actividad sísmica se origina en la zona sur de la costa del pacífico dando razón al fenómeno de subducción entre la placa de cocos y la norteamericana como se mostró en la Figura 1.2 que muestra el mapa que detalla las placas tectónicas en el territorio mexicano.

En la actualidad se han propuesto varios métodos de diseño sísmico, con el fin de reducir los efectos sísmicos en las estructuras buscando tener mejor resistencia para contener fuerzas laterales, mantener una mejor ductilidad, estabilidad a la estructura y a su vez disipar la energía. Para ello encontramos algunos sistemas de protección sísmica con el fin de dar una solución efectiva al diseño estructural.

1.3.2. Sistemas de control para estructuras

Crear un sistema de control con el fin de disminuir las acciones sísmicas, es lo que se pretende para realizar un diseño sismorresistente basado con dispositivos que nos brindarán una mejor respuesta a la estructura después de haber estado sometida a un sacudimiento brusco, con ello los daños deberán ir disminuyendo y obteniendo mejor respuesta conforme el tiempo avance.

Si empleamos estos sistemas la posibilidad de reducir o controlar los desplazamientos de la estructura haciendo uso de algunos o varios de los siguientes recursos:

- La modificación de las propiedades dinámicas del edificio, de forma que éste reduzca su energía de entrada o evite actitudes resonantes.
- La disipación de energía introducida al sistema estructural a partir de dispositivos mecánicos.
- El control con dispositivos que ejerzan fuerzas que contrarresten la acción sísmica. (Bonilla Sosa, 2012)

Existen en general distintos dispositivos para mantener la protección sísmica de las cuales las podemos clasificar en tres diferentes maneras:

1. Sistemas de control estructural pasivo
2. Sistemas de control estructural activo
3. Sistemas de control estructural híbrido

1.3.3. Sistemas de control estructural pasivo

Este sistema reduce las respuestas sísmicas en las estructuras, puesto que se basa en elementos que responden de forma inercial cuando se enfrenta a una acción sísmica, una característica que lo define de los otros dos dispositivos es que no necesita un aporte energético para que funcione, dado que estos dispositivos producen fuerzas como respuesta al movimiento de dicha estructura y la intensidad con la que se propague. (Bonilla Sosa, 2012)

A continuación, se muestra una representación utilizando un modelo con sistema de control pasivo en la Figura 1.15 Representación de un sistema de control pasivo.

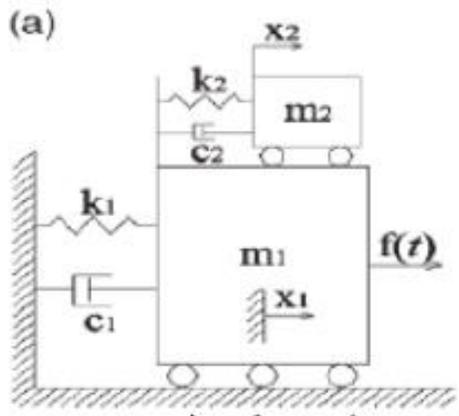


Figura 1.15. Representación de un sistema de control pasivo (Gómez, Marulanda, y Thomson, 2007)

Este tipo de sistemas, incluyen a los aisladores sísmicos de base, los amortiguadores viscoelásticos y amortiguadores de masas, los cuales han sido empleados en la construcción sismorresistente de más de 720 estructuras en países que han sufrido sismos violentos como Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, Italia, Canadá, China y Colombia.



Diagrama 1.1. sistema de control estructural pasivo (Bonilla Sosa, 2007)

El diagrama 1.1 se pretende mostrar, la forma en que se presenta la excitación, al momento que está actuando al suelo, una vez entrado la input de energía por medio de la estructura se conseguirá una respuesta ya sea de manera positiva o negativa, todo dependerá si se coloca el SCEP a la estructura o es convencional como las demás, allí se encontraran algunas anomalías dadas después del evento.

De manera breve se mencionan algunos de los sistemas de control estructural pasivo que se utiliza en la construcción para brindar mayor seguridad al habitante y a su vez evitar los daños a la estructura.

Disipadores de energía

Este sistema reduce las respuestas sísmicas en las estructuras, puesto que se basa en elementos que responden de forma inercial cuando se enfrenta a una acción sísmica, una característica que lo define de los otros dos dispositivos es que no necesita un aporte energético para que funcione, dado que estos dispositivos producen fuerzas como respuesta al movimiento de dicha estructura.

Osciladores resonantes

Un oscilador resonante es un sistema de un grado de libertad, un elemento mecanismo de disipación de energía, colocado en la parte superior de la estructura. Para que el oscilador pueda reducir la respuesta dinámica de la estructura debe existir una coincidencia entre las frecuencias naturales de vibración de la estructura y del oscilador resonante.

Aisladores de base

Estos dispositivos son elementos que se encuentran ubicados entre la cimentación y la estructura con el fin de aislar el movimiento del suelo y que afecte a la estructura, algunos de estos sistemas son los apoyos elastoméricos laminados simples o con corazón de plomo figuras 1.16 y 1.17. En el siguiente capítulo se mostrará información más detallada acerca de este dispositivo.



Figura 1.16. Torre Titanium Chile (Senarco SA, 2007)



Figura 1.17. Banco de la Nación Perú (Cosapi)

1.3.4. Sistemas de control estructural activo

Cuando hablamos de un sistema de control activo nos referimos que al momento que exista una acción sísmica inmediatamente existe una modificación como respuesta dinámica a la estructura mediante la aplicación de fuerzas externas. Para que estas fuerzas externas reaccionen deberán conectarse a sensores en varias partes de la estructura para que midan su respuesta y las excitaciones de dicha fuerza, una vez detectado el movimiento se activaran unos dispositivos llamados actuadores que aplican fuerzas a la estructura con el único fin de contrarrestar el movimiento (Bonilla Sosa, 2012). A continuación, se muestra una representación utilizando un modelo con sistema de control activo en la Figura 1.18

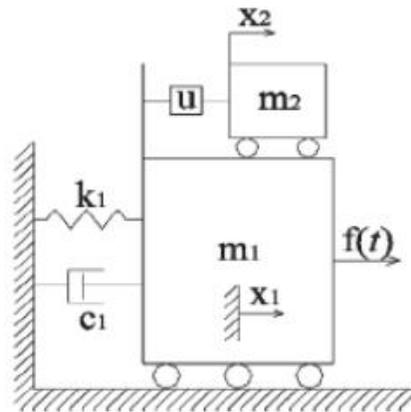


Figura 1.18. Representación de un sistema de control activo (Gómez, Marulanda, y Thomson, 2007)

Si analizamos la diferencia entre ambos sistemas presentados, en este el costo se incrementará dado por los dispositivos que se colocaran en la estructura con el fin de proveer la fuerza necesaria para contener los desplazamientos, pero sin duda encontraríamos mayor efectividad y seguridad a la respuesta estructural.

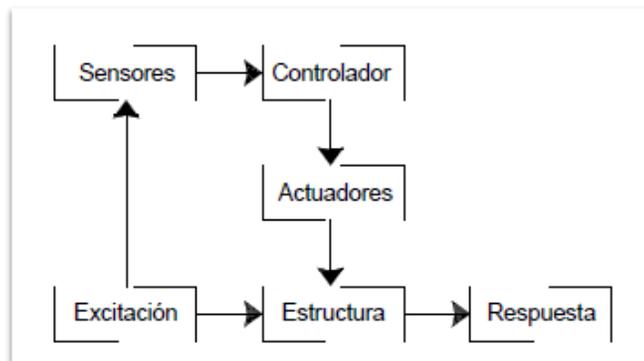


Diagrama 1.2. sistema de control estructural activo (Bonilla Sosa, 2007)

En el diagrama 1.2 se pretende mostrar, la manera en que se desarrolla el SCEA en una estructura, una vez que la excitación está presente y mediante sensores que se encuentran conectados se envían una señal a los actuadores para que la estructura responda adecuadamente al contrarrestar el movimiento.

1.3.5. Sistemas de control estructural híbrido

La combinación de los sistemas pasivo y activo da como resultado el sistema de control estructural híbrido. Dentro de la estructura podemos encontrar ambos dispositivos, por lógica deberán trabajar simultáneamente. A continuación, se muestra una representación utilizando un modelo con sistema de control híbrido en la Figura 1.19

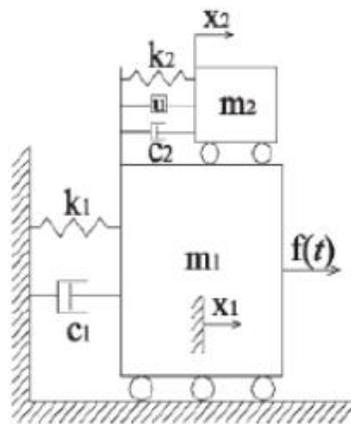


Figura 1.19. Representación de un sistema de control híbrido (Gómez, Marulanda, y Thomson, 2007)

Una vez que la excitación este presente los sensores darán señales al controlador para poder activar los actuadores y en ellos con la ayuda de cualquier dispositivo del SCEP, la estructura se encontrara más restringida a los desplazamientos, dando una mejor respuesta estructural.

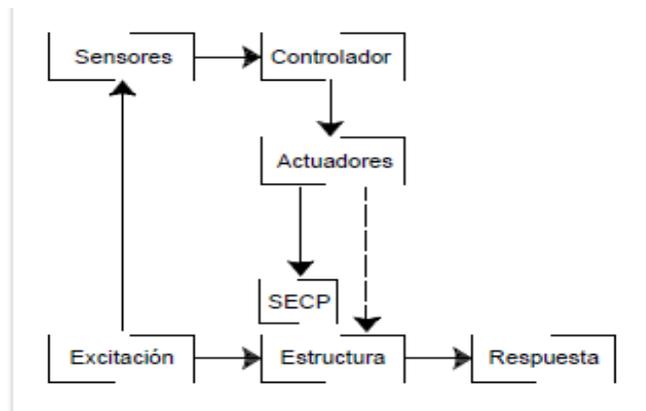


Diagrama 1.3. Sistema de control estructural híbrido (Bonilla Sosa, 2007)

Por ahora podemos encontrar dos sistemas de control estructural híbrido, tales como: Aislamiento de base con control activo y amortiguador de masa híbrida por sus siglas (HMD).

El primer sistema híbrido el aislador debe desacoplar la estructura del terreno parcialmente para que el desplazamiento sea mayor una vez realizado el sistema activo deberá controlar el movimiento. Mientras que el HMD está compuesta por una masa oscilante pasiva que se encargara de reducir la respuesta mediante un actuador, provocando mayor rigidez a la estructura como se muestra en el diagrama 1.3

1.4. AISLADOR SISMICO

1.4.1. Principios del aislamiento sísmico

Las acciones sísmicas a su vez ha hecho que el humano debe estar más atento con lo que construye, sin duda la supervisión ha tenido un papel importante para cumplir con los requerimientos que se piden al realizar cualquier construcción, pero a su vez colocar un elemento que sea satisfactorio para que se comporte de buena manera al obtener este tipo de fuerzas sísmicas, ha sido posible cuyo principal objetivo es reducir los daños dentro de la construcción y proporcionando a la población la seguridad y comodidad una vez que ocurra este evento, Antes de haber conocido los aisladores sísmicos tales como se conocen en la actualidad se ha realizado varios estudios, diseños y prototipos para haber llegado a dar buena respuesta a las estructuras sismorresistentes.

En 1992 Kirikov describe varios procedimientos que llegaron a emplear los Sumerios, Griegos, Romanos y Bizantinos, para que pudiesen proteger sus construcciones, templos sagrados o casas bajo sismos de gran magnitud. El primer sistema que llegaron a usar consistía en colocar una capa de arena lo más fina posible por debajo de la cimentación superficial donde se encontraban sus construcciones, al ver que mostraban buenos resultados decidieron adoptar este sistema por un tiempo, si retomamos, al realizar un roce la arena con la cimentación y el suelo se encontraba un aislamiento friccional, muy usual en ese tiempo, posteriormente en el año 1906 realizaron esferas metálicas las cuales se colocarían debajo de la cimentación con el fin de desacoplar el movimiento del terreno y la cimentación al mismo tiempo, en 1909 Scarborough presentó un sistema de aislamiento con apoyos mediante capas de talco, en 1929 llega Robert Wladislas de Montalk de Wellington, Nueva Zelanda, presentado un sistema con resortes para minimizar los impactos que podría absorber la estructura con el sismo. Fue hasta que aquí en México en 1974 se construyó una escuela de 4 niveles, en cada columna que habría en la estructura se colocaban placas de acero y en ellas esferas metálicas para limitar el desplazamiento de la estructura, (Bozzo y Barbat,2000).

Hubo varios proyectos en pie para buscar el mejor elemento que le ayudara a la estructura a desacoplarse del terreno y que pudiese comportar la mejor manera, durante y después del sismo, fue hasta el gran terremoto de Kanto, Japón entre el año 1923 donde estructuras, grandes cayeron después de este fenómeno, decidieron adoptar un método para darle solución, pensando en

incrementar los números de diseño sería la mejor decisión, hacer los elementos más robustos les formarían mayor rigidez a la estructura pero salía más costoso, los años pasaron y la población crecía, los rascacielos se formaban y muchas centrales nucleares se formaban en ese tiempo, investigadores dedicados comenzaron a formar la idea de hacer cualquier tipo de estructura sismorresistente hasta que llegó el momento del aislamiento en base después de haber realizado las pruebas necesarias, en 1995 Japón volvió a estar expuesta a este fenómeno en especial la ciudad de Kobe un terremoto de gran intensidad fue sacudida dejando estructuras abajo y miles de muertes en aquel lugar, haciendo conciencia estas estructuras cayeron por la basta negligencia que abordo al momento de la construcción, la falta de supervisión, el tipo de material fueron puntos claves para ver los sucesos ocurridos, las estructuras que fueron aisladas soportaron este movimiento dando el comienzo de este nuevo sistema de protección sismorresistente.

1.4.2. ¿Qué es y cómo se comporta el aislador sísmico?

Si bien el nombre lo dice aislamiento es desacoplar, separar o aislar la estructura de la cimentación o parte de ella, como los movimientos del terreno (base) inducidos por sismos que podrían causar daños a la estructura.

Esto se consigue mediante el uso de una serie de dispositivos antisísmicos llamados aisladores, que se colocan de manera estratégica entre la estructura y la cimentación permitiendo que actúen adecuadamente durante un sismo. Los aisladores sísmicos deben proporcionar suficiente flexibilidad a la estructura con el fin de garantizar que el periodo natural de ésta, difiera del periodo natural del sismo en la mayor medida posible, buscando evitar la aparición de la resonancia, que podría conducir a daños severos o incluso al colapso de la estructura, ejemplo claro es el sismo del 19 de septiembre del 2017, edificios que a pesar de que no tuvieron ninguna protección sismorresistente fueron colapsados al coincidir los periodos de la aceleración provocando daños a la estructura e incluso la muerte de cientos de personas.

Un sistema efectivo de aislamiento sísmico debe presentar las siguientes funciones principales:

- Rendimiento óptimo bajo cargas de servicio, verticales y horizontales, siendo tan eficaz como un apoyo estructural convencional.
- Proporcionar la suficiente flexibilidad horizontal para alcanzar el periodo natural deseado para la estructura aislada.
- Capacidad de recentrado después de la ocurrencia de un gran terremoto para que ningún desplazamiento residual pueda alterar la capacidad de servicio de la estructura.
- Proporcionar un nivel de disipación de energía adecuado con el fin de controlar los desplazamientos que podrían dañar otros elementos estructurales. (Megaba, 2013)

Un estructura asilada sísmicamente se comporta manteniendo el movimiento en el aislador, siendo capaz que en los niveles del edificio se muevan uniformemente, puesto que las aceleraciones de los pisos son bajas, manteniendo el edificio, sus ocupantes y demás detalles seguros dentro de la unidad, mientras tanto una estructura convencional como las conocemos, las aceleraciones del suelo se amplifican en los pisos más elevados mostrando mayor deformación a la estructura y provocando daños evidentes tal como se muestra en la figura 1.20

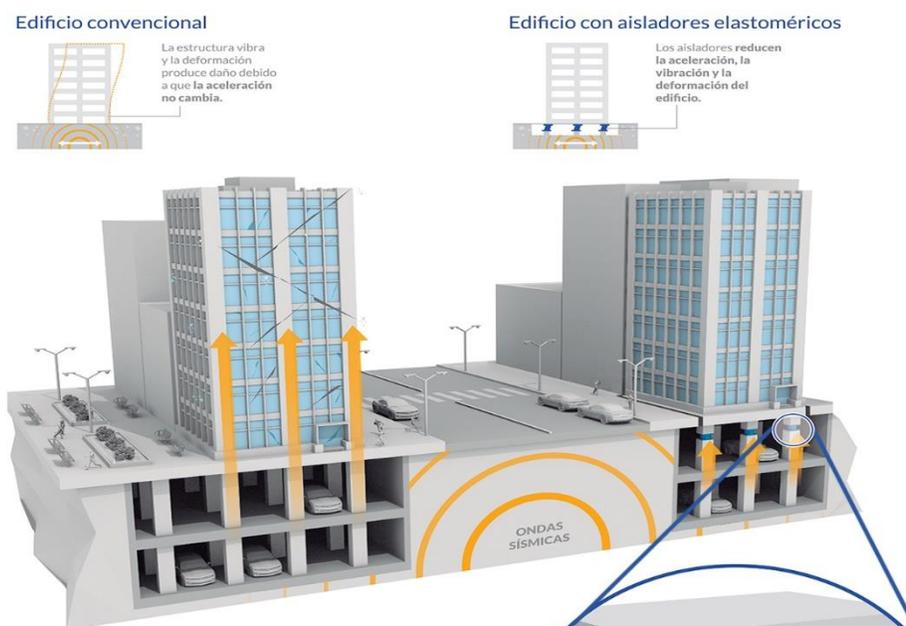


Figura 1.20. Representación de un edificio convencional y con aislador sísmico (Ingeniería antisísmica)

Por lo tanto, podemos observar que tan factible es el uso del aislador sísmico y que en la actualidad es un sistema que se ha estado ocupando para mantener segura la estructura y a su vez a la población.

1.4.3. Características generales

Recomendación para aislar una estructura

Recordar que realizar un diseño para cualquier estructura con respecto al sismo se define como “coeficiente sísmico”, C_s , donde la relación entre el cortante en la base, por su abreviación, V , y el +peso total de la estructura, W_s obtenemos la siguiente formula $C_s = V/W_s$, dicho coeficiente se representa gráficamente en función del periodo fundamental del edificio. Por lo tanto, la estructura debe resistir la diferencia entre el coeficiente sísmico requerido por un sismo y el correspondiente por el nivel de las fuerzas de diseño, mientras tanto, las fuerzas requeridas en una estructura con aislamiento de base son menores que las fuerzas de diseño considerando que el edificio se encuentra aislado y tendrá un comportamiento prácticamente lineal-elástico, sin plastificación de elementos no estructurales (Bozzo y Barbat,2000). Por lo tanto, el aislador de base es conveniente para estructuras rígidas sobre terrenos firmes, el principal inconveniente que se presenta en una estructura con una elevada relación altura-anchura son los elevados momentos de vuelco que pueden suponer la pérdida de equilibrio (Izaguirre Corona, 2007), que por otro lado otro sistema antisísmico como los disipadores de energía responden mejor en el caso de estructuras con periodos intermedio y largos.

Tipo de edificación que se pueden aislar

Todo tipo de estructura es factible de aislar, pero si lo vemos de un punto de interés general y el costo que proviene, es mejor utilizarla en aquellas construcciones donde existe un movimiento frecuente de la gente, es decir que entra en el grupo A, una casa también se puede aislar, pero llegaría a invertir más en el sistema que en el desarrollo de la construcción, algunos ejemplos son:

- ◆ Los hospitales, puentes y centros de emergencia que necesitan funcionar durante e inmediatamente después de un sismo.
- ◆ Estructuras con contenidos valiosos o funcionales, tales como data centers, instalaciones de comunicaciones, locales de fabricación de alta tecnología y museos.
- ◆ Los edificios con alta densidad ocupacional, tales como residenciales/multifamiliares de baja y mediana altura, y edificios de oficinas.
- ◆ Estructuras declaradas como históricas.

Costo y vida útil del aislador sísmico

En los puentes, el diseño de la cimentación se basa en fuerzas elásticas. El aislamiento reduce las fuerzas elásticas hasta en un 75%. Esto se traduce en un ahorro de costos directos en la cimentación. En los edificios, el aislamiento proporciona ahorro de costos durante la vida útil de la estructura. Un edificio aislado permanecerá esencialmente en buen estado durante un sismo, en comparación, la estructura y el contenido de un edificio convencional resultarán dañados.

La vida útil normal es mayor de 50 años, los apoyos elastoméricos en puentes de carreteras han estado en uso durante más de cuatro décadas exhibiendo una buena durabilidad. Se espera que los aisladores con modernas formulaciones de caucho rodeadas por una cubierta protectora de caucho, sean más duraderos y estable en su rendimiento a largo plazo. (García, Ayala y Mena, 1996).

CAPÍTULO 2.

AISLADORES SISMICOS PARA MARCOS DE ACERO

2.1. INTRODUCCION

2.1.1. Acero

El acero, posee una gran cantidad de propiedades favorables para realizar construcciones sin importar las dimensiones de este, es fácil observar que el acero se manifiesta como un esqueleto que va formando la construcción, puede representarse en forma de barra, tubular o secciones y el ingeniero encargado del diseño propondrá la mejor solución para utilizar cualquier de estas piezas, recordaremos que el acero debe mantener suficiente ductilidad, y el material debe ser tal que la elongación total hasta la falla sea lo suficientemente grande, ahora bien las propiedades principales que manifiesta el acero son: alta resistencia, uniformidad, durabilidad, tenacidad, y elasticidad solo por mencionar algunos ahora bien la comodidad para trabajar con este material es más fácil puesto que tiene gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como la soldadura, tornillos y remaches, rapidez en el montaje etc, pero también se encuentra inconvenientes que producen anomalías a la estructura como la corrosión que es un problema muy especial para el acero al estar en intemperie y que no presenta mantenimiento, o a su vez no supervisar los conectores y que pueden producir fallas importantes.

Durante un evento sísmico el comportamiento de la estructura de acero debe ser eficiente pero no le quita a que puede estar expuesta a cualquier problema, por ello se presenta a continuación los tipos de aisladores sísmicos que son recomendables para utilizarlos en marcos de acero, así evitaremos sacudimientos bruscos a la estructura y fallas posibles que se presenten.

2.2. Tipos de aislamientos sísmicos en marcos de acero

Como se mencionó en el capítulo anterior los aisladores sísmicos han tenido un auge importante en los últimos años, dado que se obtenga una conexión flexible entre el suelo y la estructura por medio del aislador, así encontramos que reduce las aceleraciones de la estructura y a su vez transportarla a un nivel por debajo de la aceleración del suelo evitando la resonancia y aumentando el periodo de la estructura provocara que el periodo del suelo sea menor, con el fin de reducir los esfuerzos internos de la estructura.

Para ser efectivo, el aislamiento debe cumplir con tres condiciones básicas:

- Flexibilidad, para alargar el periodo de oscilación y disminuir las fuerzas de inercia, mediante apoyos móviles de acero inoxidable y teflón, entre otros.
- Amortiguación o disipación de la energía para controlar los desplazamientos, utilizando en ese caso la fricción de la goma, el caucho, acero en fluencia o los elastómeros.

- Suficiente rigidez para resistir las cargas laterales, para lo cual resulta muy eficaz el plomo. (Perles, 2003)

Los sistemas de aislamiento basal se clasifican en dos grupos: apoyos elastoméricos y apoyos deslizantes. Existen otras formas de aislamiento basal, que son los que combinan sistemas elastoméricos y deslizantes, apoyos elastoméricos acoplados con dispositivos que proveen disipación de energía adicional. (Gatica Lagos, 2012)

A continuación, se presentan los sistemas de aislamiento sísmico para marcos de acero:

- I. Apoyos de hule-laminado (elastoméricos)
- II. Pilas o columnas flexibles
- III. Resortes tipo GERB
- IV. Rodillos, péndulo o esferas entre superficies curvas (parabólicas)
- V. Amortiguadores histeréticos de acero
- VI. Amortiguadores de extrusión de plomo
- VII. Apoyos de hule-plomo
- VIII. Sistemas de fricción goma-teflón
- IX. Sistema de piso

2.2.1. Apoyo de hule-laminado (elastomérico)

Para el sistema de hule-laminado más conocido como apoyo elastomérico figura 1.21. lo utilizan para aislar la superestructura, diseñados para poder soportar cargas verticales y proveer una resistencia a los desplazamientos de manera horizontal ocurridos por un sismo, podremos decir que actúan de manera flexible, la rigidez vertical se logra con capas delgadas de caucho reforzado con placas de acero.

Las placas para los aisladores se cortan con exigentes tolerancias por láser. Las placas de montaje de acero son fabricadas por fresadoras controladas por ordenador que dan un alto rendimiento de producción y precisión. El moldeo por cada soporte toma de 8 a 48 horas, dependiendo de su tamaño. La fase de curado se controla continuamente para asegurarse de que el caucho endurezca de manera uniforme en todo el soporte. (Dynamic Isolation System)

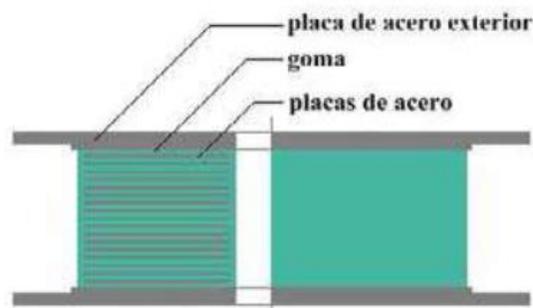


Figura 1.21. Aislador sísmico elastomérico (Gatica Lagos,2012)

2.2.2. Pilas o columnas flexibles

Este sistema figura 1.22 provee de una fuerza restauradora lineal simple activa, pero necesitan de un amortiguador para controlar los desplazamientos durante el sismo. Si el dispositivo de amortiguación es lineal, se puede obtener un sistema lineal. Los amortiguadores viscosos son excelentes dispositivos para sistemas aisladores lineales, pero puede ser difícil obtener el tamaño requerido. Son altamente dependientes de la temperatura y pueden requerir de un costo de mantenimiento elevado. (García, Ayala y Mena, 1996)



Figura 1.22. Amortiguador Viscoso (Tornello y Sarrazin,2004)

2.2.3. Resortes

Son sistemas que son más utilizados en plantas industriales para aislar silos grandes, es importante mencionar que este sistema al igual de pilas o columnas flexibles se necesita adaptar un amortiguador para poder disminuir los desplazamientos durante un evento sísmico, en cierta forma lo consideramos mixto.

Los resortes tipo GERB son resortes helicoidales de acero, agrupados con chapas de acero para componer elementos de distintos tamaños y capacidad de carga en el edificio, mientras tanto los amortiguadores mantienen un efecto proporcional a la velocidad y son activos tanto verticales como horizontales, a su vez estabilizan este sistema con los propios resortes.

Colocados en la parte inferior del proyecto, en el sótano siempre y cuando se la parte superior del nivel de aguas freáticas. En la imagen 1.23 encontramos el sistema de resortes

Para estructuras en zonas sísmicas utilizan este tipo de sistema de control pasivo, donde no es más necesario que utilizar el propio dispositivo instalado en la estructura para que realice su función. Estos ofrecen las siguientes ventajas:

- Protección pasiva contra terremotos, efectiva en todo momento sin suministro de energía ni accionamiento

- Adecuados para estructuras nuevas y existentes
- Instalación posterior sin perjudicar al uso del edificio
- Incremento de la amortiguación estructural
- Sistema muy duradero y casi sin mantenimiento (GERB, Protección sísmica)



Figura 1.23. Resorte tipo GERB (e-struc,2016)

En la imagen 1.24 se muestran los dos sistemas de protección sísmica el resorte tipo GERB, y la aplicación de columnas flexibles, con la ayuda del amortiguador viscoso es un ejemplo claro que se puede realizar la combinación de ambos sistemas con el mismo propósito de brindar seguridad a la estructura bajo sacudimientos bruscos, el comportamiento de ambos miembros han sido satisfactorios dado que en la actualidad se han realizado la combinación de estos sistemas e incluso pueden darse combinaciones con otros tipos de sistemas de protección de base o friccional.



Figura 1.24. Resorte tipo GERB y amortiguador viscoso (Tornello y Sarrazin,2004)

2.2.4. Rodillo o esferas entre superficies curvas (parabólicas)

El apoyo debe contener un cursor articulado sobre una superficie de acero inoxidable esférica, que es principalmente la identificación de este sistema, el cursor articulado deberá estar revestido con un material compuesto, con alta capacidad de soporte, los apoyos están sellados e instalados en la superficie deslizante boca abajo para evitar la contaminación de la interface de deslizamiento, dado que al estar en contacto y no cubrir esta superficie el sistema no funcionara correctamente.

El sistema es activado solo cuando la fuerza de corte sobre la interfase de aislamiento supera la fuerza de fricción estática principalmente. Una vez cuando se encuentre en movimiento, el cursor articulado se mueve a lo largo de la superficie esférica cóncava, causando una elevación de la masa soportada, en este caso cualquier estructura, con movimientos equivalentes a la de un péndulo simple, durante su elevación a lo largo de la superficie esférica, el péndulo invertido desarrolla una fuerza resistente lateral igual a la combinación de la fuerza friccional que es movilizada y una fuerza de restauración inducida por la propia gravedad. Imagen 1.25.

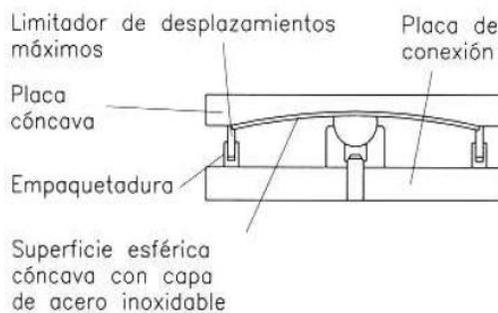


Figura 1.25. Péndulo de fricción (López Almansa)

2.2.5. Amortiguadores histeréticos de acero

Este tipo de amortiguadores histeréticos de alta capacidad se basan en la capacidad de deformaciones plásticas de sólidos, generalmente plomo o acero. Los amortiguadores deben asegurar una deformación plástica adecuada del metal cuando actúa un gran sismo, estos sistemas deben ser construidos cuidadosamente para evitar concentraciones de deformaciones excesivas, ya que pueden causar una fatiga prematura de los amortiguadores de acero en la soldadura. Los ciclos plásticos producidos por alguna otra sollicitación, por ejemplo, ráfagas de viento, deben ser controlados para evitar una fatiga prematura.

El acero se utilizó como material amortiguador desde un principio, ya que no presentaba problemas en cuanto al diseño, construcción y mantenimiento, aunque pudiera existir fallas por fatiga en la soldadura y concentraciones de esfuerzo. Sin embargo, el uso de estos amortiguadores producir una reducción en las fuerzas y por tanto una mejora en el comportamiento de estructuras de acero. (García, Ayala y Mena, 1996) Figura 1.26, 1.27 y 1.28

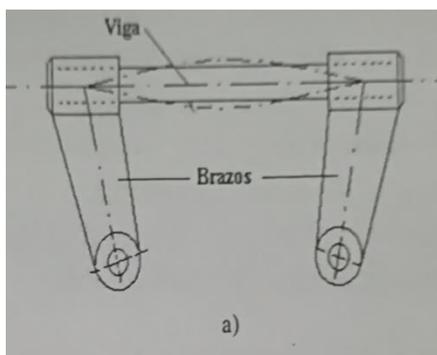


Figura 1.26. Amortiguador tipo U (IMT)

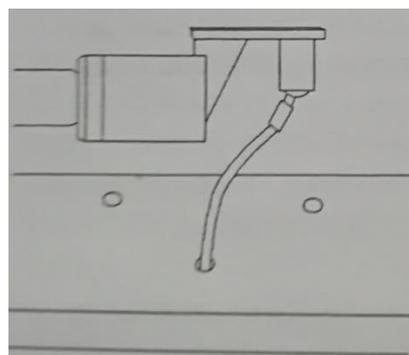


Figura 1.27. Amortiguador tipo T (IMT)

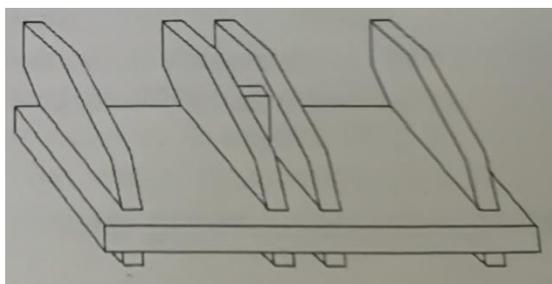


Figura 1.28. Amortiguador tipo E (IMT)

2.2.6. Amortiguadores de extrusión de plomo

El sistema de amortiguación conformado por un tubo de pared delgada coaxial con una flecha por donde entran dos pistones en donde su interior aloja un corazón de plomo, formado por medio de un sello hidráulico para asegurar que el lubricante no salga del dispositivo es el que se encarga de deformarse y disipar la energía, sin importar este una vez al presentarse la deformación vuelve a su estado inicial, es decir recupera su sección original antes de la deformación. El amortiguador se restringe entre un punto de la estructura y un punto de la tierra, en donde se presenta un movimiento relativo entre ellos durante un sismo, como los puntos adheridos se mueven hacia adelante y hacia atrás, los pistones se mueven a lo largo del tubo central, provocando que el plomo se extruya hacia atrás y hacia adelante a través del orificio debido a la concentración en el tubo. (García, Ayala y Mena, 1996)

Inventado por W H Robinson en 1971, creyó en forzar o extraer un material a través de un orificio, alterando la forma original de este, se le atribuye la patente a Joseph Bramah dado que en 1774 fue quien podía formar pilas de plomo u otro metal suave con ayuda de su prensa, dado que en ese tiempo no había quien lo realizara.

Después de algún tiempo el metal puede, si la temperatura es suficientemente alta, regresar a un estado, libre de los efectos de la deformación plástica por los tres procesos mediante la recuperación, recristalización y crecimiento de las partículas.

La recuperación mediante la energía almacenada en las partículas ya deformadas, recristalización al obtener partículas pequeñas que no se deformaron excesivamente en ellas se concentran las partículas deformadas para crecer aprovechándose de ellas y finalmente obtener el crecimiento de las partículas Figura 1.29

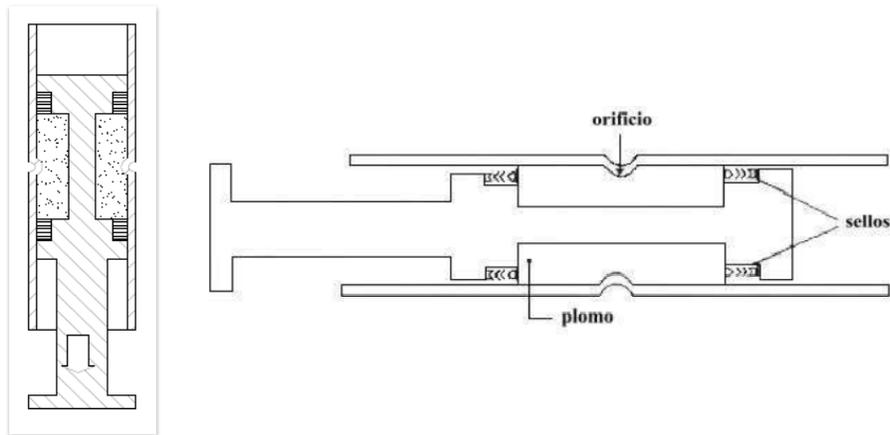


Figura 1.29. Amortiguador de extrusión de plomo (García, Ayala y Mena, 1996)

2.2.7. Apoyo de hule-plomo

La combinación de apoyos elastoméricos y corazón de plomo resume en los apoyos de hule-plomo para disipar la mayor cantidad de energía, este tipo de apoyos fueron inventados por W H Robinson, en el año de 1975. Al inicio se construyó un amortiguador de cortante de plomo cilíndrico para operar a grandes deformaciones. Después se observó que las placas de acero de los apoyos elastoméricos controlaban la forma del plomo durante deformaciones plásticas grandes. Y finalmente se perforo un apoyo elastomérico construido colocándole un corazón de plomo. Figura 1.30

Como se describió anteriormente un apoyo elastomérico, puede convertirse en un apoyo de hule-plomo colocándole un corazón de plomo en su centro. El orificio para el corazón de plomo puede ser maquinado atravesando el apoyo después de su construcción o maquinar las placas de acero y las capas de hule antes de unir las. Para ambos casos de colocación es imperativo que el corazón de plomo quede justo dentro del agujero y que sea cerrado con placas de acero y sea empujado un poco dentro de las capas de hule. Para asegurar que esto ocurra, se recomienda que el volumen del plomo sea 1% más grande que el volumen del agujero, permitiendo con esto que el corazón de plomo quede firmemente presionado dentro del agujero. Además, cuando el apoyo elastomérico se deforma horizontalmente, el plomo dentro del corazón se obliga por las placas de acero a deformarse por cortante a través de su volumen completo. (García, Ayala y Mena, 1996)

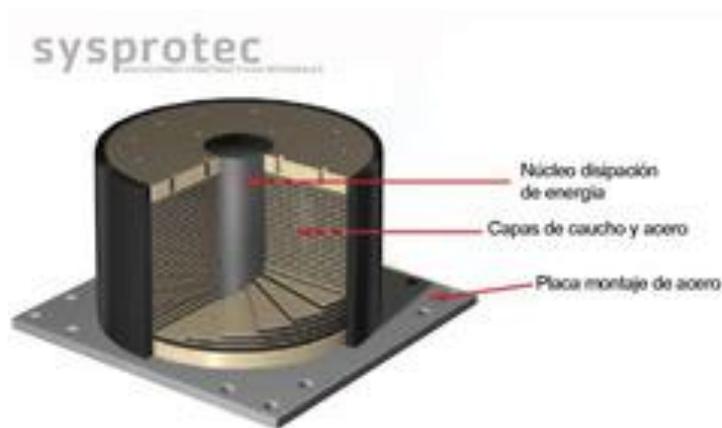


Figura 1.30. Aislador sísmico con núcleo de plomo (sysprotec, 2017)

2.2.8. Sistemas de fricción goma-teflón

Consiste en dos placas en contacto, la superior (acero inoxidable) anclada a la estructura y la inferior (teflón) vulcanizada a un apoyo de goma (neopreno zunchado). Cuando el sistema se ve sometido a movimientos del terreno de baja intensidad, el aparato de apoyo se comporta como un apoyo de goma laminado. Si el sismo es de gran magnitud, las placas deslizan entre sí actuando como mecanismo de seguridad.

Los deslizadores soportan cargas verticales y tienen una baja resistencia lateral. Se utilizan típicamente junto con los aisladores y permiten que el diseñador optimice el rendimiento del sistema de aislamiento. En algunas aplicaciones se colocan en las partes menos pesadas de la estructura, tales como escaleras y columnas de poca carga. El soporte elastomérico se utiliza para acomodar las rotaciones en la estructura. Un beneficio adicional de los deslizadores es que proporciona amortiguamiento por fricción por deslizamiento. (Dynamic Isolation System), como se muestra en la figura 1.31

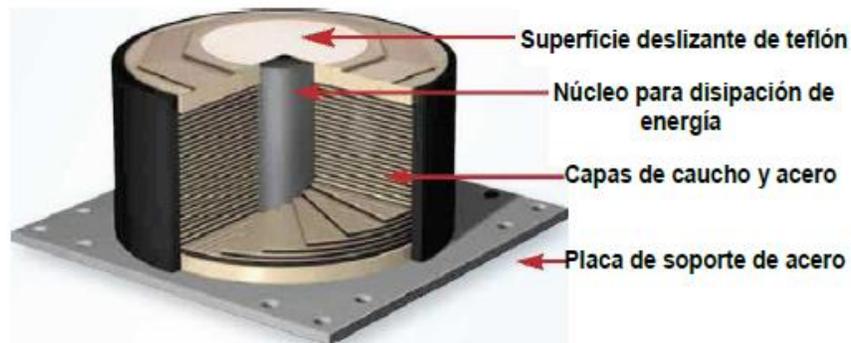


Figura 1.31. Aislador sísmico goma-teflón (sysprotec, 2017)

2.2.9. Sistemas de piso

Este tipo de sistema de piso se busca mantener una protección antisísmica porque lo utilizan como plataforma aislada del suelo mantiene una rigidez considerable lo que difiere del tipo de aislamiento basal es que el sistema de piso es instalado en la parte interior del edificio es por ello que no forma parte de la estructura. En cambio, al aislamiento basal que se encuentra debajo de elementos estructurales y forma parte de la superestructura.

El aislamiento de piso es una buena alternativa cuando el aislamiento de todo el edificio no es práctico ni económico. Si usted es un inquilino, el rendimiento superior del aislamiento se puede lograr con el aislamiento de piso dentro del edificio. Los centros de datos, equipos médicos, procesos de fabricación de alta tecnología, obras de arte y productos valiosos tales como vacunas requieren mayor protección sísmica que el proporcionado por una estructura convencional. **(Dynamic Isolation System)**. A continuación, se muestra la combinación de un resorte de aire y un apoyo de goma que utilizan como sistema de piso figura 1.32

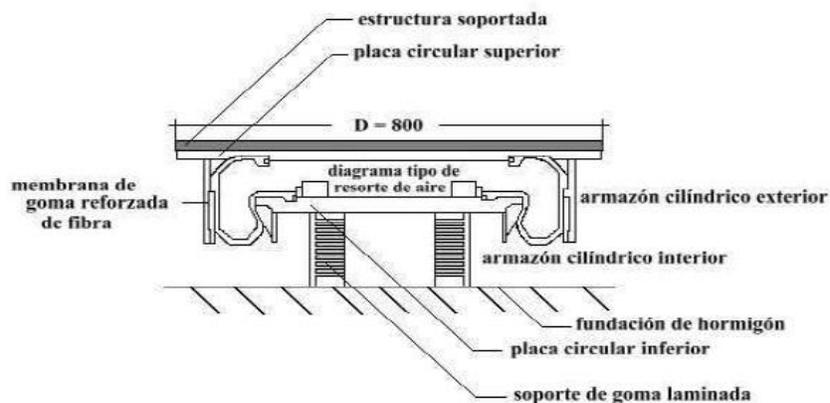


Figura 1.32. Aislador de piso (Gatica Lagos, 2012)

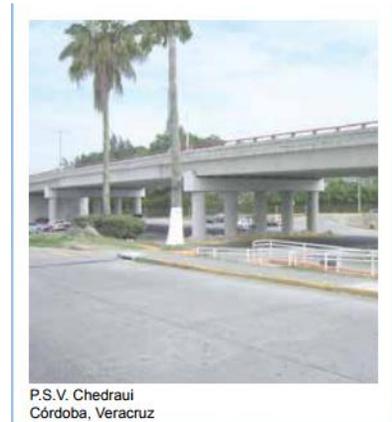
2.3. Proyectos

Una vez haber conocido brevemente el tipo de aislación sísmica que son utilizados para marcos de acero es importante mencionar que estos sistemas son factibles utilizándolos en cualquier otro material como concreto, y que no son los únicos sistemas de aislación sísmica, sino que podemos encontrar otro tipo de sistemas para controlar los sismos como disipadores de energía entre otros más.

A continuación, se presentan algunos proyectos que se han realizado con este tipo de sistemas para la protección sísmica, se presentan proyectos en la República Mexicana, así como partes del mundo que sin duda han sido utilizadas exitosamente.

Figura 1.33. P.S.V. Chedraui (Mexpresa)

Puente P.S.V. Chedraui, localizado en Córdoba, Veracruz, para su elaboración se colocó apoyos elastómericos.



Puente Vehicular Tarango
Eje 5 Poniente, D.F.

Figura 1.34. Puente Vehicular Tarango (Mexpresa)

Puente vehicular Tarango, localizado en el eje 5 poniente, Ciudad de México, para su elaboración se colocó apoyos elastómericos.

Figura 1.35. Centro Médico Taiwán (DIS)

Centro Médico Tan Tzu en Taiwán se encuentra en construcción y con sus 1.7 millones de pies cuadrados es la mayor estructura aislada del mundo, para su elaboración se colocó apoyos elastómericos.



Figura 1.36. Puente San Francisco (DIS)

El Puente Golden Gate ubicado en San Francisco utilizó un sistema de protección sísmica con ayuda de aisladores de base para dar mayor flexibilidad a la estructura.

Figura 1.37. Puente Guadalajara, México (DIS)

El puente Matute Remus ubicado en Guadalajara, tiene como base apoyos elastómericos para brindar seguridad a la estructura.





Figura 1.38. Xindian Taiwán (DIS)

Hospital general Xindian en Taiwán se colocaron aisladores sísmicos con ayuda de apoyos elastoméricos, también en hospitales Hualin, y Tan Tzu .

Figura 1.39. Centro de Emergencias Washington (DIS)

El centro de emergencias del condado de King en Seattle, Washington, utilizó el sistema de piso con una combinación de aisladores de corazón de plomo.



Figura 1.40. Puente San Rafael (DIS)

EL puente San Rafael en Richmond, desarrollaron soportes para puentes con apoyos elastoméricos de corazón de plomo buscando una baja permeabilidad y acero inoxidable.

Figura 1.41. Torre Mayor CDMX

El edificio conocido como la Torre Mayor ubicado en la ciudad de México, tiene sobre el enormes amortiguadores sísmicos.



Figura 1.42. Tren de Alemania

El aislamiento de vías férreas en el país de Alemania constituye un sistema de resortes helicoidales de acero tipo GERB y amortiguadores viscosos.

Figura 1.43. Taipéi Taiwán

Este edificio ubicado en Taiwán es uno de los edificios más visitado por los turistas y su estructura de aislamiento está compuesto por sistemas friccionales.





Figura 1.44. SSAWS Japón

Pista de esquí ubicada en Japón compuesta por amortiguadores metálicos de fluencia.

Figura 1.45. Edificio Residencial Argentina

El edificio residencial aislado ubicado en Argentina se caracteriza por tener 3 niveles de los cuales están colocados una combinación de resortes tipo GERB y amortiguadores viscosos.



Figura 1.46. Edificio de cardiología CDMX

El edificio de cardiología ubicado en CDMX está conformado por disipadores de energía otro sistema que utilizan para la protección sísmica.

CAPÍTULO 3.

DISEÑO DE UN AISLADOR DE BASE EN MARCOS DE ACERO

3.1. INTRODUCCION

3.1.1. Preliminar

Para realizar un diseño con relación a marcos de acero sin colocar cualquier tipo de sistema de protección sísmica, se ocupa varios elementos que incluye, que la estructura podrá resistir los movimientos provocados por este fenómeno. Siempre se establecen límites en relación ancho espesor, relación de esbeltez, carga axial e incluso la separación de los arriostramientos con el fin de impedir una inestabilidad a la estructura, antes, durante y después del sismo. En el caso de las estructuras que no fueron arriostradas, son dúctiles y llegan a obtener gran capacidad de disipación de energía, pero tiende a su vez a deformarse demasiado, es por ello que deberá realizar un análisis detallado de cualquier estructura, la ventaja de los marcos arriostrados hace que su comportamiento histéretico de las riostras normalmente es de tipo degradante y, por consiguiente, implica poca disipación de energía debido al pandeo alternante y la elongación plástica bajo inversiones de carga. (Wakabayashi y Martínez, 1990).

De acuerdo con las investigaciones y ensayos realizados mencionan que utilizar un marco dúctil sin el arriostramiento se incrementa en un 20% la fuerza ejercida por el sismo, en el caso que se encuentre arriostrado reduce al 25% la fuerza ejercida por el sismo.

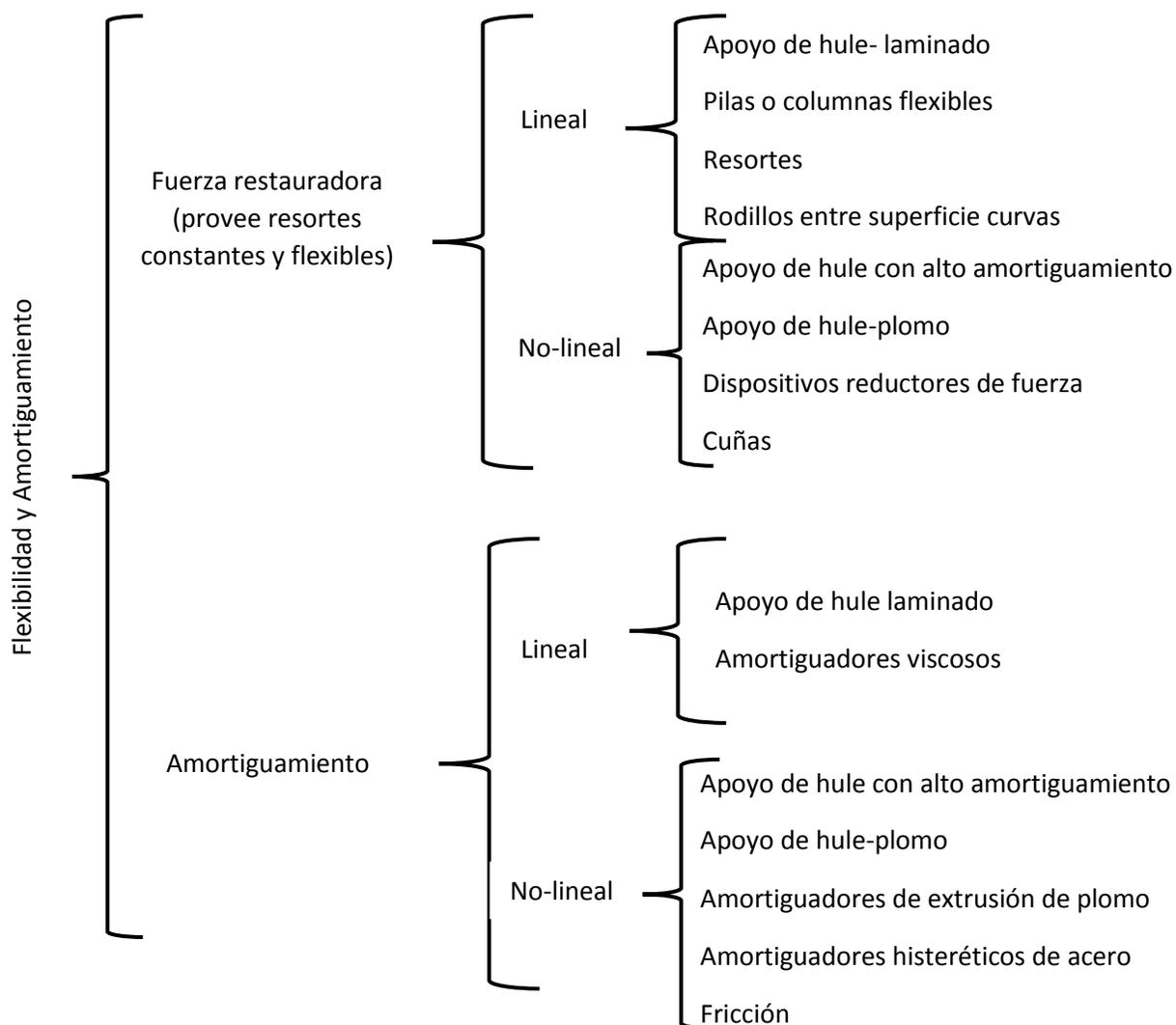
Por lo tanto, el comportamiento de las estructuras de acero de edificios que han soportado sismos intensos, ha sido generalmente satisfactorio desde el punto de vista de la resistencia. Aun estructuras de edificios de 10 y 12 pisos, diseñadas solo por carga vertical permanente y conexiones flexibles, han mostrado la suficiente resistencia, por otra parte, su rigidez lateral frecuente ha sido inadecuada y ha sufrido daños incluso no estructurales. (Rosenblueth, 1991).

Ahora bien, realizar estas dos comparativas aplicados en marcos de acero, hace reflexionar que cualquier estructura puede estar sujeta a tener un cierto riesgo en los elementos estructurales, por lo tanto, en este capítulo se mencionaran los conceptos fundamentales para realizar un diseño adecuado con la ayuda de aisladores sísmicos en marcos de acero, sin antes conocer ciertos tecnicismos que ayudaran a entender este tema.

3.2. Respuesta ante un sistema

La respuesta sísmica ante modelos clasifica el tipo de sistema que se utilizó para realizar el proyecto, podemos encontrar como sistemas de aislamiento lineal, no lineal y bilineal, en el diagrama 1.4 se describen las propiedades de la flexibilidad y amortiguamiento de los sistemas de aislamiento común solo analizando el sistema lineal y no lineal.

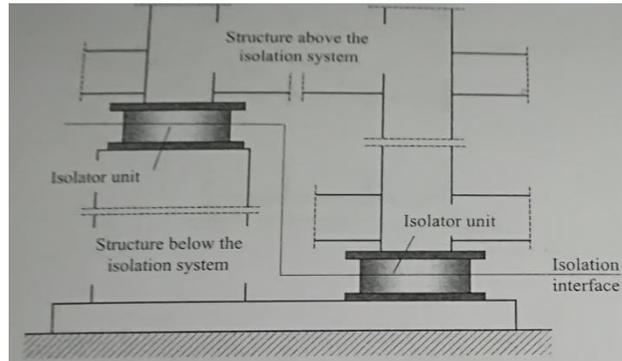
Diagrama 1.4. Flexibilidad y amortiguamiento de sistema lineal y no lineal (García, Ayala y Mena, 1996)



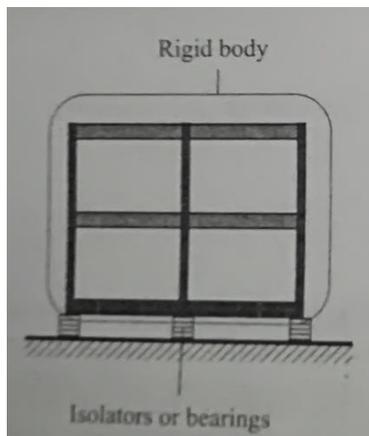
Es importante mencionar que las propiedades del material pueden realizar cambios lo que modifica el comportamiento y las propiedades de este sistema.

3.2.1. Sistema de aislamiento lineal.

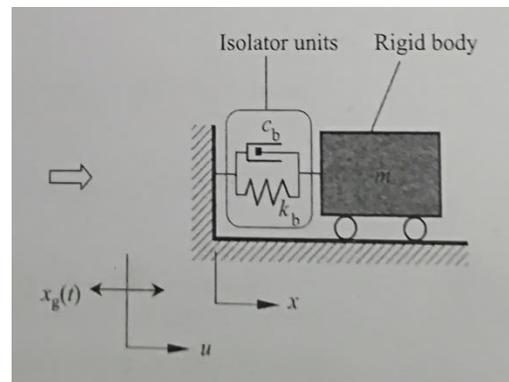
La teoría lineal del aislamiento de base permite establecer que, en general, los edificios con aislamiento de base se comportan como estructuras rígidas, y concentran los desplazamientos máximos en los aisladores, (Bozzo y Barbat,2000), Figura 1.47



a) Estructura con aislador sísmico



b) Cuerpo rígido con aisladores



c) Modelo dinámico

Figura 1.47. a) Estructura con aislador sísmico, b) Cuerpo rígido con aisladores, c) Modelo dinámico (Cheng, Jiang y Lou 2008)

Sin embargo, para realizar el sistema de aislamiento lineal debe estar conformado por elementos tales como la flexibilidad y el amortiguamiento, ambos casos deben ser lineales como se presenta en la figura 1.48

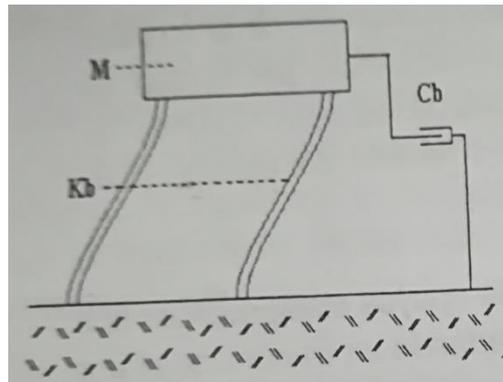


Figura 1.48. Sistema de amortiguamiento lineal (García, Ayala y Mena, 1996)

Donde:

M = Masa de la estructura
 K_b = Rigidez de la estructura
 C_b = Amortiguamiento

Se hace mención acerca del criterio de diseño de estructuras nuevas, este tipo de estructuras pueden ser protegidas con aislamiento de base, si lo requieren, y les ayuda a mantener el edificio en el rango lineal elástico, evitando así daños a la estructura tales como en los elementos principales y secundarios, lo contrario para aquellos edificios viejos tienden a estar sometidos bajo un terremoto intenso y llegan a generarse el rango inelástico, causa de este problema la estructura llega a colapsar en el momento.

A continuación, se presenta el modelo matemático donde se utiliza el sistema de aislamiento lineal a base de dos grados de libertad de acuerdo con (Naeim y Kelly) figura 1.49

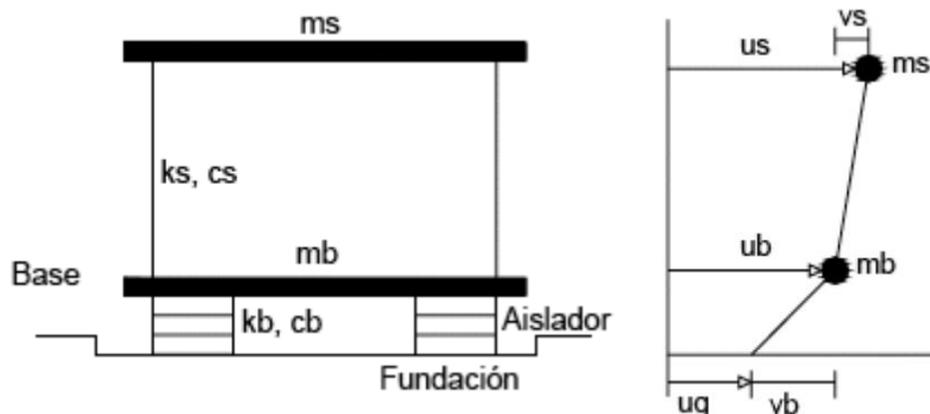


Figura 1.49 a) Modelo con dos grados de libertad, b) Sistema con dos grados de libertad (Naeim y Kelly,1999)

De acuerdo en la imagen 1.49 a) Modelo con dos grados de libertad se expresan estos componentes

Donde:

- $m_s =$ Masa de la superestructura del edificio
- $K_s =$ Rigidez de la superestructura del edificio
- $C_s =$ Amortiguamiento de la superestructura del edificio
- $m_b =$ Masa de la base del edificio
- $K_b =$ Rigidez de la base del edificio
- $C_b =$ Amortiguamiento de la base del edificio

Cuando hablamos de la rigidez y amortiguamiento, K_b y C_b nos referimos a la base del edificio es decir al aislador sísmico como se muestra en la figura 1.49 a) Modelo con dos grados de libertad.

Ahora bien, de acuerdo en la imagen 1.49 b) Sistema con dos grados de libertad se expresan estos componentes

Donde:

- $U_s =$ Desplazamiento absoluto de la masa de la superestructura
- $U_b =$ Desplazamiento absoluto de la masa de la base
- $U_g =$ Movimiento del suelo

Es importante conocer aquellos desplazamientos o distancias entre una masa y otra conocido como desplazamientos relativos a comparación de los desplazamientos absolutos que es la distancia total a cada una de las masas. Los desplazamientos relativos los podemos interpretar con las siguientes ecuaciones que pertenecen a la base y a la superestructura.

$$V_b = U_b - U_g \dots \dots \dots \text{Desplazamiento relativo de la base}$$

$$V_s = U_s - U_b \dots \dots \dots \text{Desplazamiento relativo de la superestructura}$$

Las ecuaciones de equilibrio dinámico que se presentan con respecto la masa en la superestructura y la masa en la base:

Masa en la superestructura:

$$m_s \ddot{u}_s + C_s(\dot{u}_s - \dot{u}_b) + K_s(u_s - u_b) = 0 \dots \dots \dots \text{ec. 1}$$

$$m_s \ddot{v}_s + m_s \ddot{v}_b + C_s \dot{v}_s + K_s v_s = -m_s \ddot{u}_g \dots \dots \dots \text{ec. 2}$$

Masa en la base:

$$m_s \ddot{u}_s + m_b \ddot{u}_b + C_b \dot{v}_b + K_b v_b = 0 \dots \dots \dots \text{ec. 3}$$

$$(m_s + m_b) \ddot{v}_b + m_s \ddot{v}_s + C_b v_b + K_b v_b = -(m_s + m_b) \ddot{u}_g \dots \dots \dots \text{ec. 4}$$

Realizando un cambio de variable en la suma de la masa de la estructura y la masa de la base del edificio entonces podemos decir:

$$M = m_s + m_b$$

Ecuación de equilibrio en la superestructura y base de manera matricial se obtiene:

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_b & 0 \\ 0 & K_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g$$

Por lo tanto la ecuación para el sistema de aislamiento lineal es:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}\mathbf{v} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{u}_g$$

Donde:

M = Masa de la estructura

C = Amortiguamiento

K = Rigidez

v = Desplazamiento

r = vector

\ddot{u}_g = Movimiento del suelo

De acuerdo a la ecuación mostrada anterior se asume que la masa de la base debe ser menor que la masa de la superestructura, para que tenga funcionalidad en el trabajo realizado sobre la base.

3.2.2. Sistema de aislamiento no-lineal

Al igual que la figura 1.48 (sistema de amortiguamiento lineal), este sistema se puede comportar como un sistema de aislamiento no lineal, cambiando el tipo de materiales que presenten, el origen común de no linealidad en un sistema es la dependencia de la amplitud de la excitación, por ejemplo el amortiguamiento puede ser no lineal ya que si para una rigidez equivalente lineal se considera la contribución de la energía histerética disipada, esto hace que este dependerá del área de ciclo de histéresis y por lo tanto también la amplitud máxima de deformación (García, Ayala y Mena, 1996).

Quiere decir que la energía histerética disipada es considerada como que tan alta deformación y amplitud tienen el edificio al momento que se produce el movimiento si existe demasiada disipación histerética de energía quiere decir que la deformación es alta, más sin embargo no se considera la disipación histerética de energía al encontrar una amplitud baja del edificio, por ello el amortiguamiento puede comportarse como un sistema lineal o no lineal.

Si se incrementa periodo fundamental de un edificio, a comparación del periodo predominante de un sismo en sitio no existe una protección garantizada para la estructura, debido a que exista una probabilidad del efecto de la resonancia con otras frecuencias naturales más altas, es muy difícil mostrar un periodo exacto ante los sismos donde podamos tomar como referencia para realizar un diseño sismorresistente. Por estos motivos se necesitan elastómeros con alto amortiguamiento los cuales disipen energía. Un sistema que considerablemente incrementa el amortiguamiento de las

conexiones es el elastómero reforzado con núcleo de plomo. A continuación, se presenta el modelo dinámico del comportamiento no-lineal figura 1.50

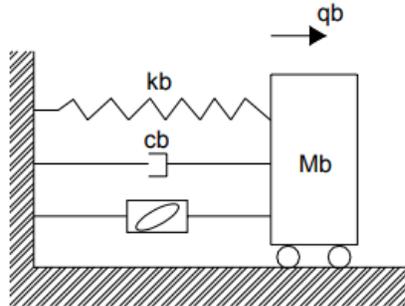


Figura 1.50. Modelo dinámico no-lineal (Saavedra Quezada, 2005)

Donde:

M_b = Masa de la estructura

K_b = Rigidez de la estructura

C_b = Amortiguamiento

q_b = Desplazamiento relativo entre la cimentación y la base del edificio

3.2.3. Sistema de aislamiento bilineal

Antes de pasar al concepto del sistema de aislamiento bilineal es importante conocer que los modelos histeréticos es una relación que se encuentra en un sistema de masas entre la fuerza y el desplazamiento en una secuencia de carga y descarga del evento sísmico donde este a su vez es de manera aleatoria, sin estos modelos no podemos clasificar también el tipo “*degradante y no degradante*” como se mencionó anteriormente puesto que el modelo degradante es la manera de utilizar elementos estructurales de concreto reforzado a elementos convencionales típicos en nuestro alrededor, mientras que los modelos de tipo no degradantes se encuentran los sistemas bilineales, utilizados para la estructura de acero y concreto armado, de allí que se clasifican estos modelos y la diferencia del sistema bilineal.

El sistema de aislamiento bilineal debe mostrarse con rigidez variante, amortiguación, masa y coeficiente de fricción en su caso como se muestra en la figura 1.51

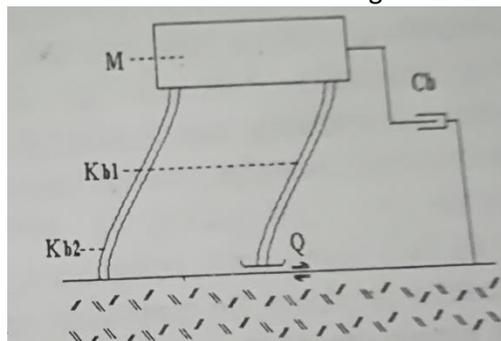


Figura 1.51. Sistema de amortiguamiento bilineal (García, Ayala y Mena, 1996)

Donde:

M = Masa de la estructura
 K_{b1}, K_{b2} = Rigidez de la estructura
 C_b = Amortiguamiento
 Q = Coeficiente de fricción

Para un sistema de aislamiento bilineal, la rigidez depende de la amplitud dado que la rigidez puede iniciar de distinta manera y cambiar al momento después del desplazamiento de fluencia. El modelo bilineal que representa el dispositivo de elastómero con núcleo de plomo, debido a que posee una relación constitutiva fuerza-deformación, producto de que la goma, que es lineal, trabaja en paralelo con el plomo que tiene un comportamiento elastoplástico es decir que disipa su energía, y a su vez tiende a ceder plásticamente, en el se presenta una porción del comportamiento elástico lineal, pero después de cualquier otro movimiento se produce una deformación plástica este se repetirá constantemente de manera cíclica, pero a su vez estos sucede cuando los ciclos de fuerza cortante y desplazamiento presentan la forma de un paralelogramo, tal y como se muestra en la figura 1.52 para ello se obtiene un modelo bilineal

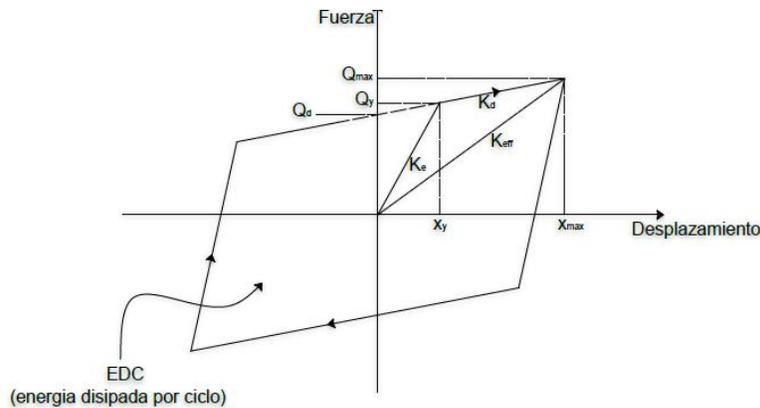


Figura. 1.52. Modelo bilineal con aislamiento de base (Bonilla Sosa, 2007)

3.3. Requerimientos para un aislador de base

3.3.1. Comportamiento estático en compresión

Se conoce que un elemento es sometido a carga de compresión, si se restringe el deslizamiento de las caras cargadas dado por efecto de la fricción y la simple adherencia física, puesto que la rigidez en este caso vertical dependerá de la libertad del pandeo en las caras laterales hablando de un bloque elastomérico, es más conocido como *el Factor de forma (S)*, la relación entre el área plana cargada a la superficie libre cargada. Para ello en el caso de los bloques elastoméricos se conocen varias formas de bloques y pueden encontrarse en forma rectangular, cuadrada y circular como las más conocidas entre otras más como se muestra en la tabla 1.4 Factores de forma para bloques elastoméricos por carga a compresión.

Tabla 1.4. Factores de forma para bloques elastoméricos por carga a compresión (García, Ayala y Mena, 1996)

Forma del bloque	Factor de forma (S)
Rectangular ($L*B*t$)	$\frac{LB}{2t(L+B)}$
Cuadrado ($L*L*t$)	$\frac{L}{4t}$
Circular ($D*t$)	$\frac{D}{4t}$
Barra ($B*t$) para $L>5B$	$\frac{B}{2t}$

Donde:

L = Longitud

B = Ancho

D = Diámetro

t = Espesor

A continuación, se muestra la imagen 1.53. de un bloque elastomérico para entender más acerca del factor de forma.

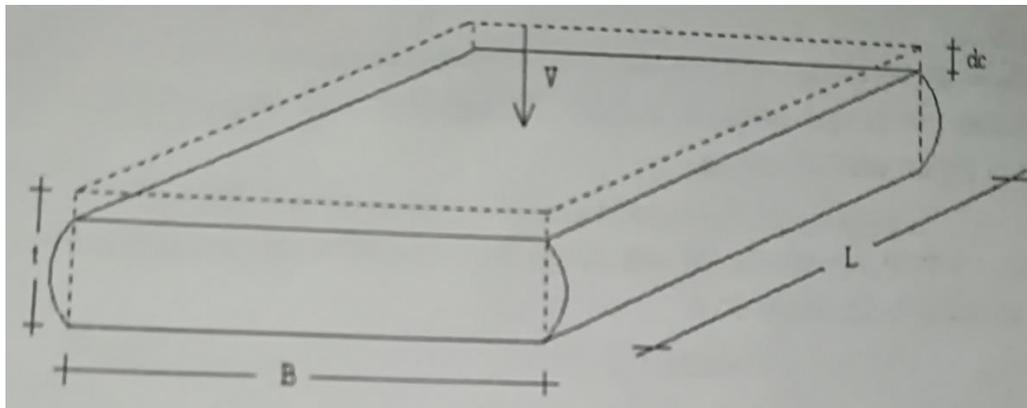


Figura 1.53. Bloque elastomérico con carga vertical (García, Ayala y Mena, 1996)

3.3.2. Deformación Vertical

Para el caso de la rigidez vertical aplicado a un bloque elastomérico tiende a incrementar bajo el factor de forma, y la deformación vertical por el efecto de la carga a compresión se calcula bajo la ecuación siguiente:

$$e_c = \frac{f_c}{E(1 + 2KS^2)}$$

El módulo aparente conocido como E_a lo podemos interpretar de esta manera:

$$E_a = E(1 + 2KS^2)$$

Por lo tanto, la deformación vertical lo interpretamos como:

$$e_c = \frac{f_c}{E_a}$$

Donde:

e_c = Deformación vertical a compresión

f_c = Esfuerzo a compresión

K = Constante de 1 para materiales incompresibles

S = Factor de forma

E_a = Módulo aparente

En ocasiones se considera un módulo de confinamiento donde es la relación entre la deformación vertical producida por la carga a compresión entre el esfuerzo a compresión

$$E_\infty = \frac{e_c}{f_c}$$

3.3.3. Deformación Total

Con la ayuda de este par de ecuaciones bajo la deformación vertical y el módulo de confinamiento se puede producir la suma de ambas ecuaciones dando como resultado la deformación total:

$$e_v = \frac{f_c}{E_a} + \frac{f_c}{E_\infty}$$

Realizando la operación de fracciones obtenemos como resultado:

$$e_v = \frac{f_c}{E_m}$$

La deformación total a compresión del bloque del elastómero se obtiene también con el módulo modificado:

$$d_c = e_v t = t * \left(\frac{f_c}{E_m} \right)$$

Por lo tanto:

$$d_c = \frac{f_c t}{E_m}$$

Multiplicando ambos lados de la ecuación por el A(área), se obtiene la siguiente ecuación:

$$A(d_c) = A \left(\frac{f_c t}{E_m} \right)$$

Realizando la operación se obtiene:

$$A d_c = \frac{A f_c t}{E_m}$$

Donde $V = A f_c$

$$A d_c = \frac{V t}{E_m}$$

3.3.4. Rigidez a compresión

Para obtener la rigidez a compresión del elastómero se considera la siguiente relación:

$$K_c = \frac{V}{d_c} = \frac{E_m A}{t}$$

Realizando las operaciones

$$K_c = \frac{A f_c}{\frac{f_c t}{E_m}} = \frac{E_m (A f_c)}{f_c t}$$

Se obtiene:

$$K_c = \frac{A E_m}{t}$$

Y para obtener bloques elastoméricos en forma de barras largas con $L > 5B$, el módulo aparente se obtiene:

$$E_a = \frac{4E(1 + 2KS^2)}{3}$$

La deformación total se obtiene tras la relación del esfuerzo a compresión entre el módulo modificado.

$$e_v = \frac{f_c}{E_m}$$

Donde:

$$E_m = \frac{E_a}{1 + \frac{E_a}{E_\infty}}$$

La deformación total del bloque elastomérico pero para el caso de barra será:

$$d_c = e_v t = \frac{f_c t}{E_m}$$

En este caso se multiplicará ambos lados de la ecuación por la barra B:

$$Bd_c = \frac{Bf_c t}{E_m} = \frac{Vt}{LE_m}$$

Para el caso de la rigidez a compresión de un bloque elastomérico en forma de barra por unidad de longitud se obtiene:

$$K_c = \frac{V}{Ld_c} = \frac{BE_m}{t} = 2SE_m$$

3.3.5. Pandeo del bloque elastomérico circular y rectangular

Mientras tanto para el bloque de forma circular de Diámetro D y espesor t se interpreta:

$$b = \frac{3Dd_c}{8t} = \frac{3Sd_c}{2}$$

Para el bloque de forma rectangular de ancho B y espesor t se obtiene:

$$b = \frac{3Bd_c}{4t} = \frac{3Sd_c}{2}$$

3.3.6. Esfuerzo Cortante

Si bien el modo de análisis al esfuerzo por compresión fue dado, también es análisis por esfuerzo cortante es importante para el diseño del elastomero, este se calcula bajo la ecuación siguiente:

$$e_s = \frac{Af_c}{AG} = \frac{H}{AG} = \tan \phi$$

Donde:

e_s = Deformación a cortante

H = Fuerza horizontal

f_s = Esfuerzo cortante

A = Area de la seccion transversal del aislador

f = Angulo de inclinación

En la imagen 1.54 se podrá apreciar el deslizamiento del aislador por cortante bajo la ecuación que se presentó anteriormente.

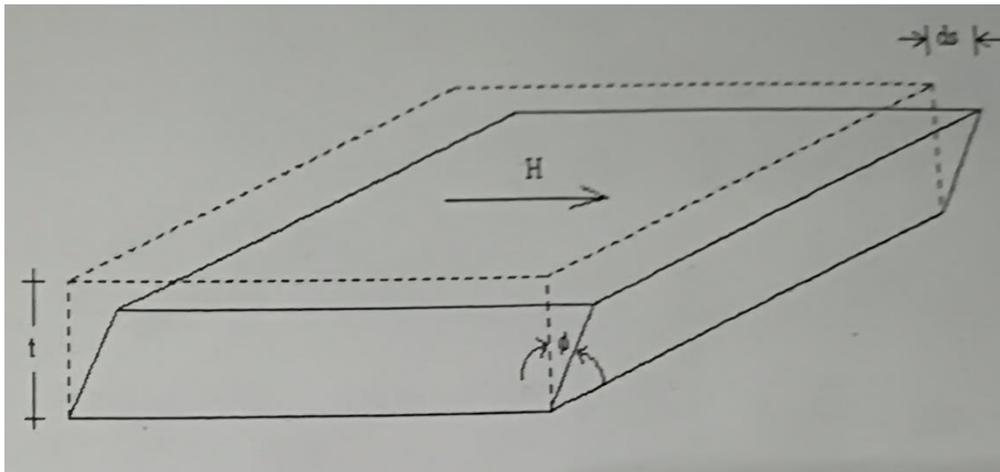


Figura 1.54. Bloque elastomérico bajo esfuerzo cortante (García, Ayala y Mena, 1996)

3.3.7. Desplazamiento horizontal

Para obtener el desplazamiento horizontal se considera el desplazamiento relativo del aislador provocado bajo la fuerza horizontal obteniendo la siguiente ecuación:

$$d_s = t \tan \phi = t \left(\frac{H}{AG} \right)$$

Por lo tanto:

$$d_s = \frac{Ht}{AG}$$

3.3.8. Rigidez por cortante

Para obtener la rigidez por cortante del elastómero se considera la siguiente relación:

$$K_s = \frac{H}{d_s} = \frac{H}{\frac{Ht}{AG}}$$

Entonces:

$$K_s = \frac{AG}{t}$$

Para el caso de la rigidez a cortante de un elastómero en forma de barra por unidad de longitud se obtiene:

$$K_s = \frac{H}{Ld_s} = \frac{AG}{Lt} = 2SG$$

3.3.9. Ángulos grandes a cortante

Para aquellos ángulos grandes a cortante el desplazamiento horizontal relativo de las caras se expresa en la siguiente relación:

$$d_s = t * \frac{\tan \phi}{(1 + \tan^2 \phi)}$$

3.3.10. Deformación vertical

Los movimientos horizontales causados por cortante crean la deformación vertical, para ello se conoce con la siguiente ecuación:

$$d_c = d_s * \tan \phi$$

CAPÍTULO 4.

APLICACION DE UN AISLADOR SISMICO CON MARCOS DE ACERO CON EL PROGRAMA SAP 2000

4.1. INTRODUCCION

4.1.1. Proyecto

Un edificio de 9 pisos para uso de oficinas se diseña con estructura metálica en la totalidad del edificio, por marcos rígidos de acero tal y como se muestra en la figura 1.55, tomando en cuenta el Reglamento de construcciones del Distrito Federal RCDF, el edificio se encontrará ubicado en la zona IIIa. El diseño de este proyecto se realizará con la ayuda del programa SAP 2000, y se tomará en cuenta, el periodo y aceleraciones con respecto a la zona indicada bajo el espectro.

Se realizará dos diseños con el fin de apreciar la diferencia entre un edificio convencional y otro con ayuda de los aisladores de base sísmicos, ambos con las mismas especificaciones y realizando el análisis estructural, con el fin de obtener la diferencia de la deformación, el periodo y su frecuencia que se registra una vez realizando el análisis sísmico, estático, análisis dinámico, y análisis con aislador de base (no-lineal)

4.1.2. Especificaciones de la estructura

Número de pisos: 9
Altura de planta baja: 4m
Altura de todos los pisos: 3m
Secciones para vigas: W16X36

Acotaciones: metros

Sin escala

Columna: (Ver detalle del dibujo)

Nota:

Oficinas, despachos y laboratorios (kg/m ²)	W (100)	Wa (180)	Wm (250)
---	---------	----------	----------

Se presenta el resumen de análisis de cargas.

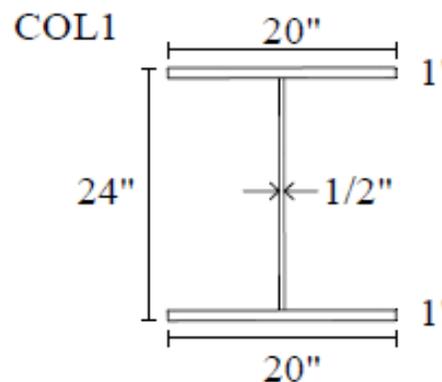
Carga muerta 1 nivel	3 Ton/m ²
Carga muerta entrepisos	2.5 Ton/m ²
Carga muerta azotea	3.5 Ton/m ²

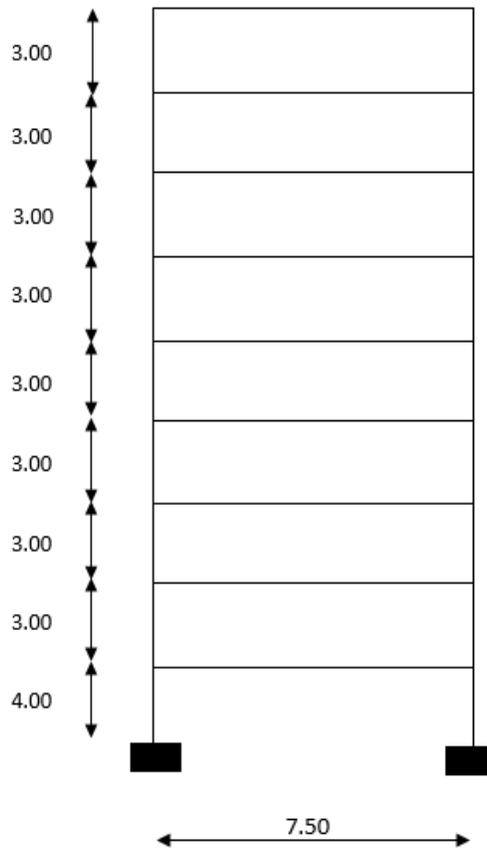
Zona de estudio: IIIa

C= 0.4

Aislador de neopreno y zunchos de acero
H=30cms y diámetro de 58 cms, diámetro núcleo de plomo: 10 cms, rigidez vertical 50968 ton/cm, fuerza de fluencia 9.2ton y rigidez lineal efectiva 95 ton/m.

Dynamic Isolation System DYS

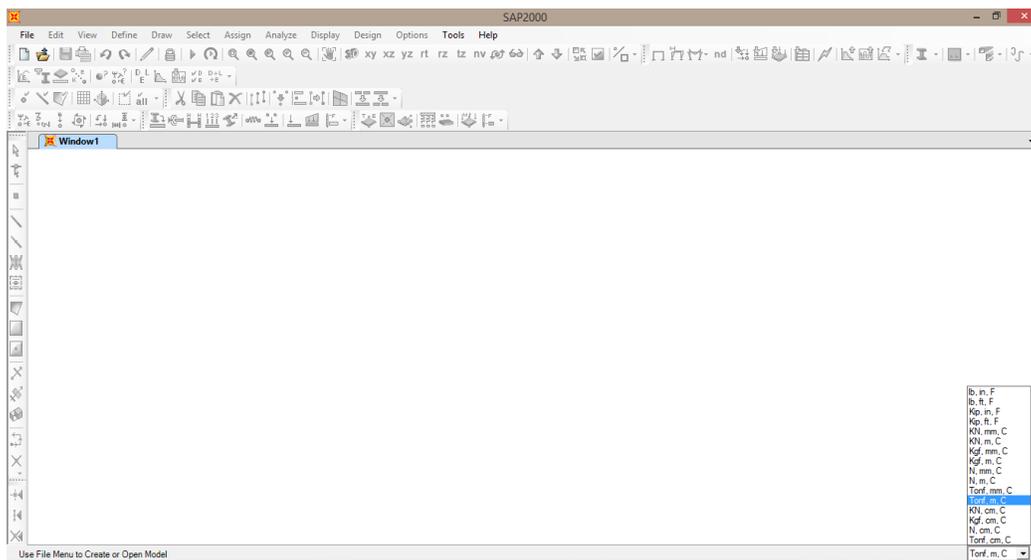




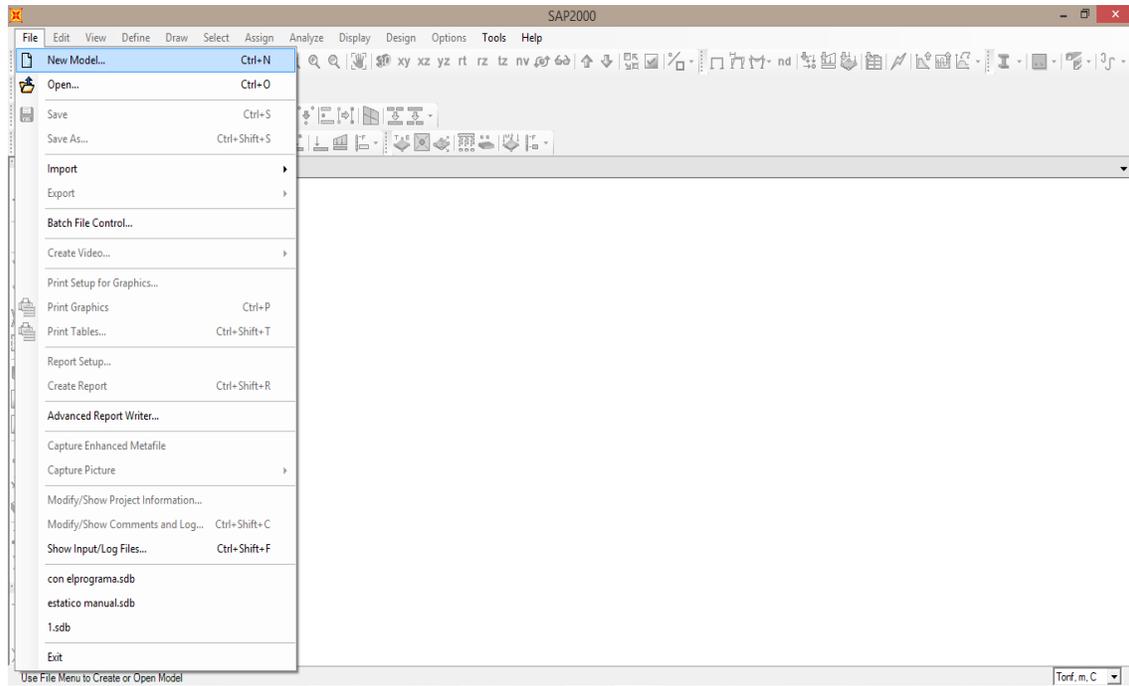
4.1.3. Estructura convencional

A continuación, se presentan los pasos a seguir para realizar el diseño y análisis del edificio en el programa SAP 2000, se realizará el primer análisis con una estructura convencional.

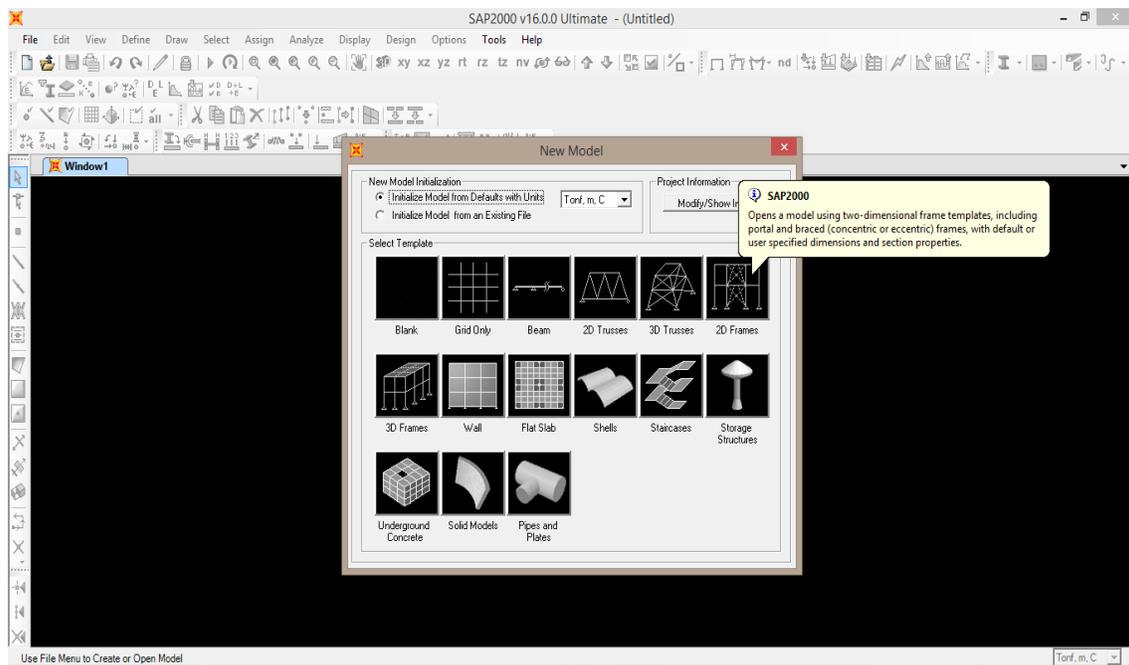
Paso 1. Unidades (Tonf,m,C)



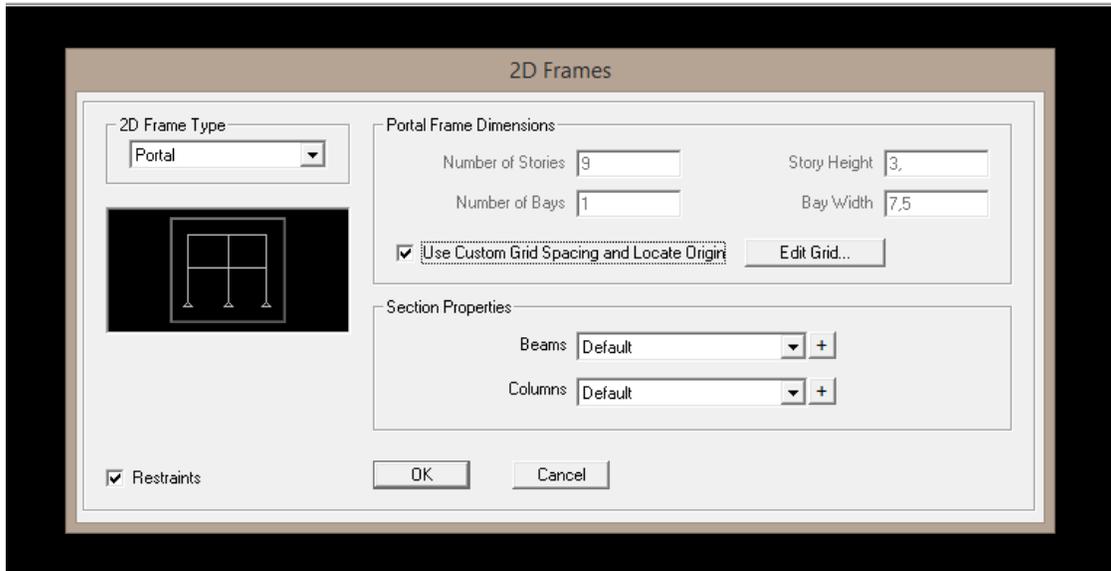
Paso 2. File —> New model...



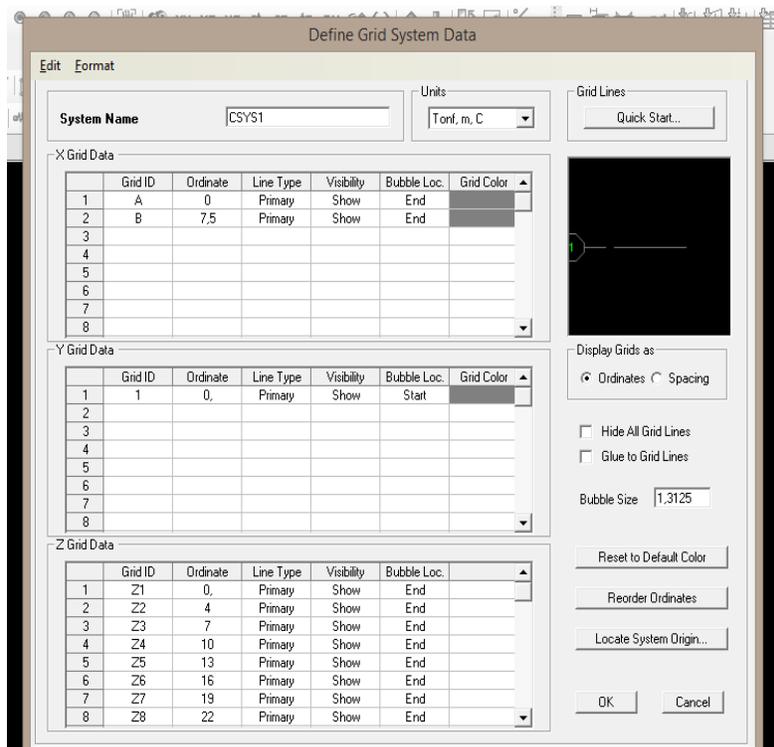
Paso 3. Revisar las unidades y dar click en 2D Frame



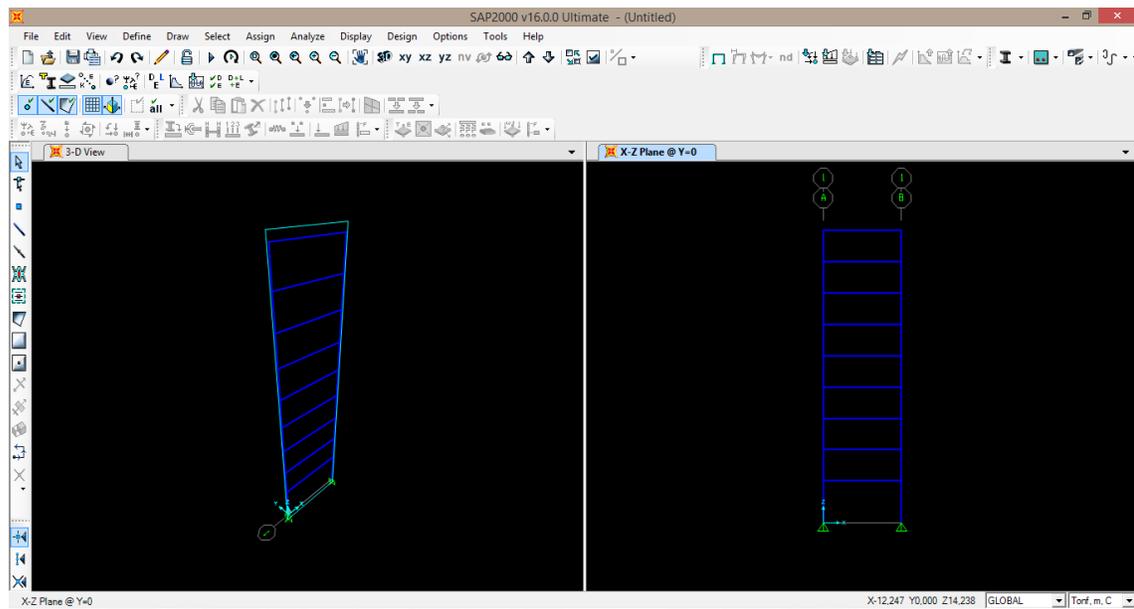
Paso 4. Especificaciones del marco, 9 niveles, 1 crujía 7.5 mts de ancho y edición de alturas



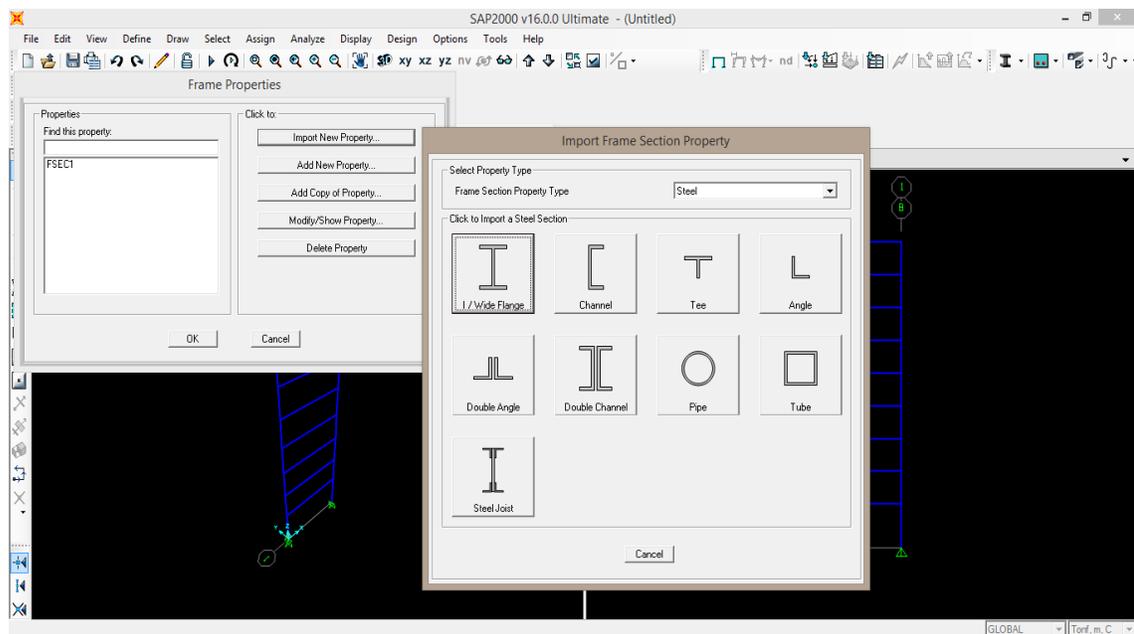
Paso 5. Edición de alturas del marco, como se muestra en proyecto

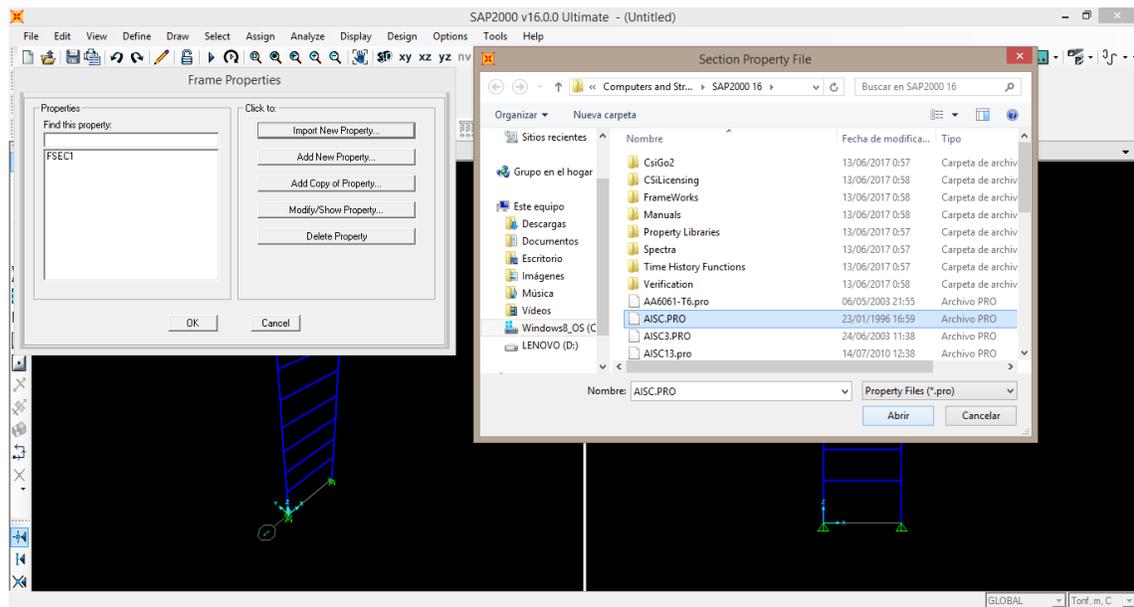


Paso 6. Presentación de la estructura en programa SAP 2000

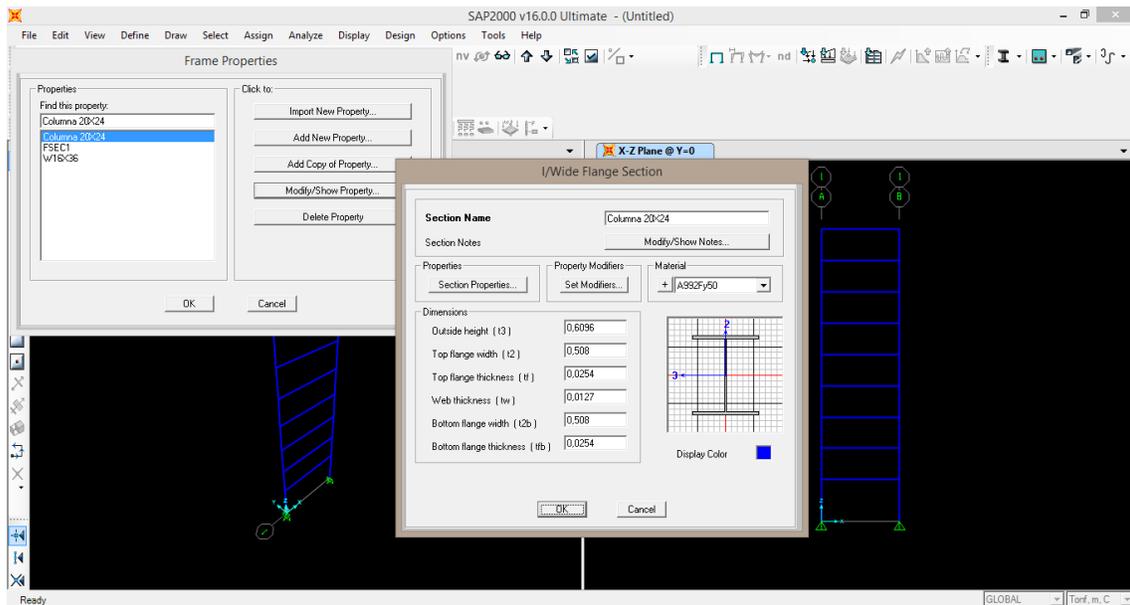


Paso 7. Importando la sección del material que se pide en proyecto W16X36

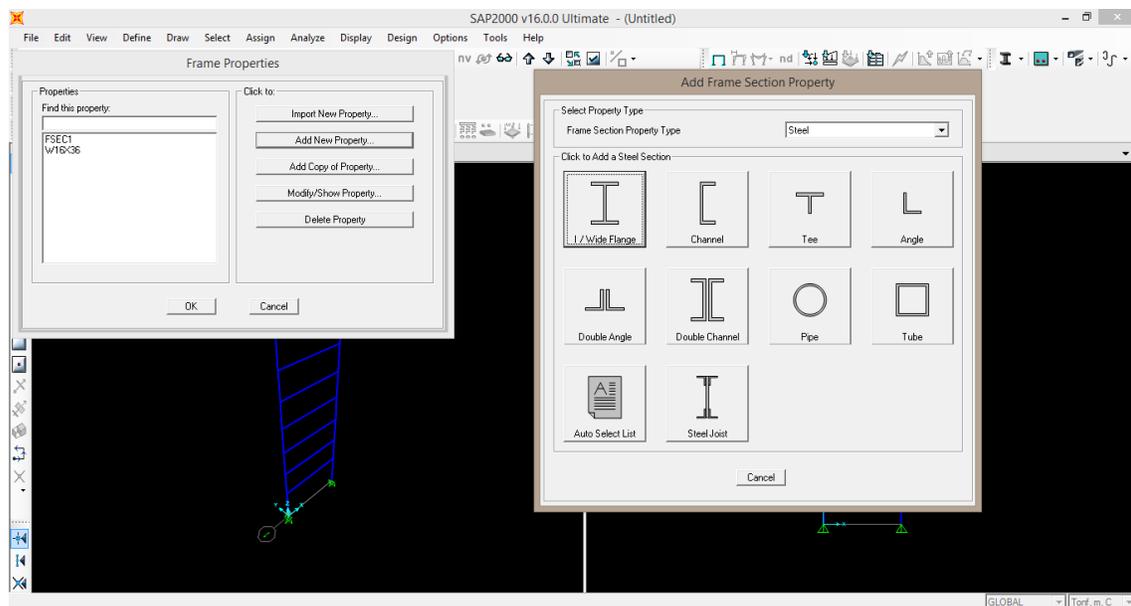




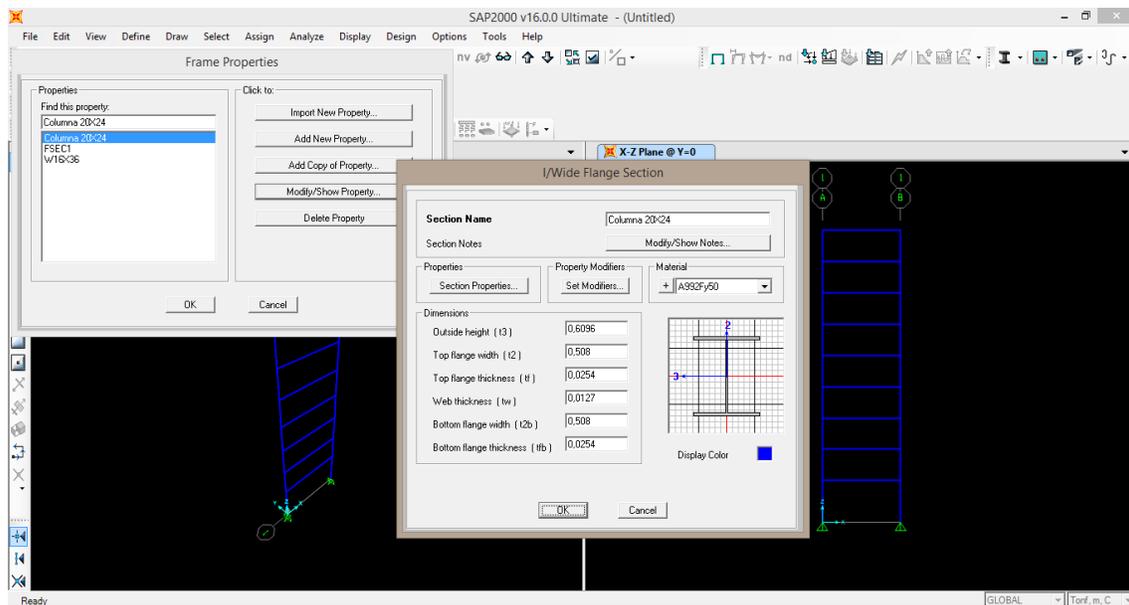
Sección W16X36



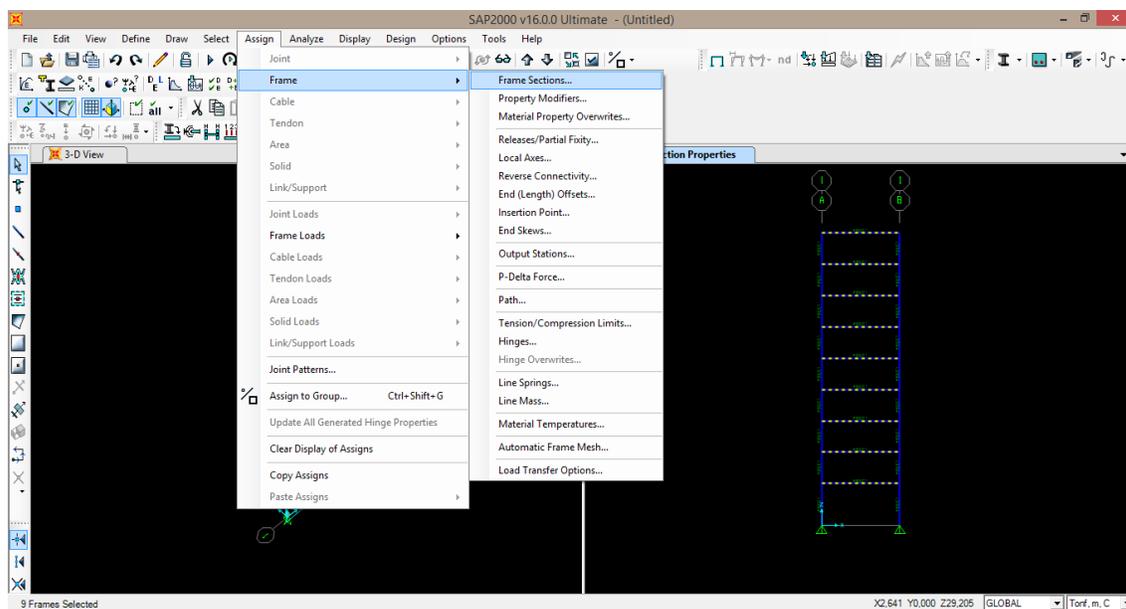
Paso 8. Agregar una nueva propiedad, para realizar la sección de la columna que pide proyecto



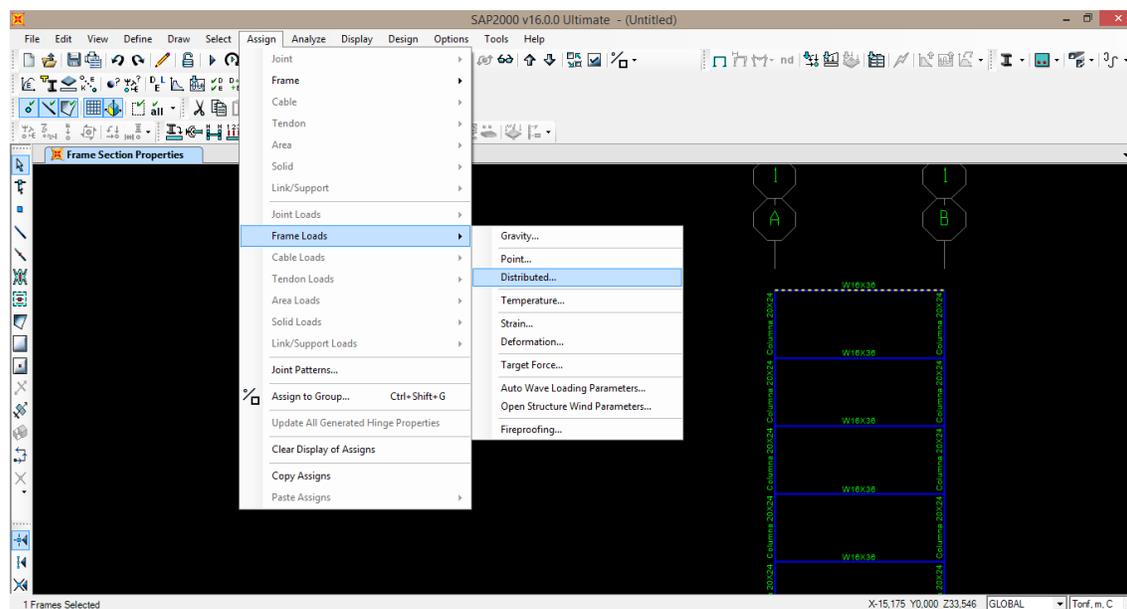
Colocación de dimensiones de la sección

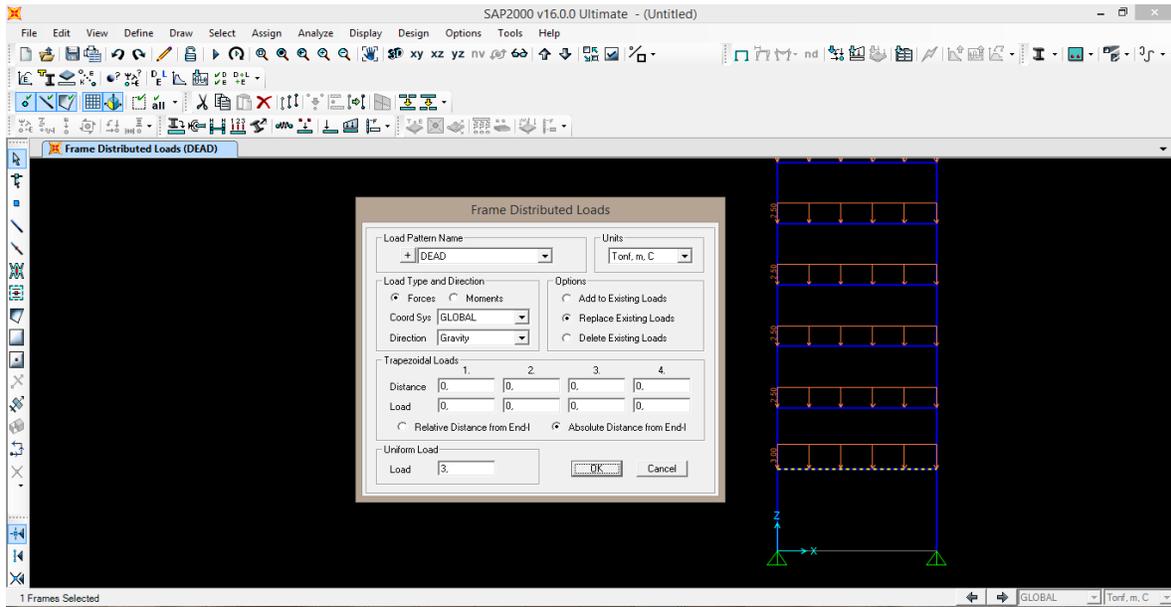


Paso 9. Selección de Vigas y columnas

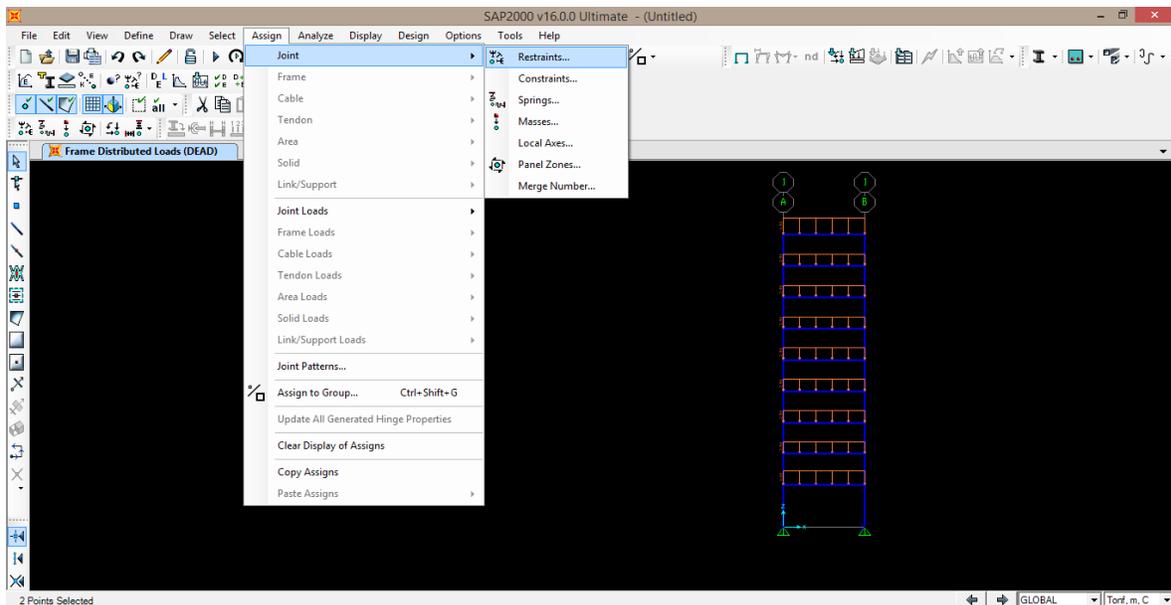


Paso 10. Una vez asignado las vigas y columnas de la estructura con la sección se proceden a colocar las cargas uniformemente-distribuidas como pide proyecto





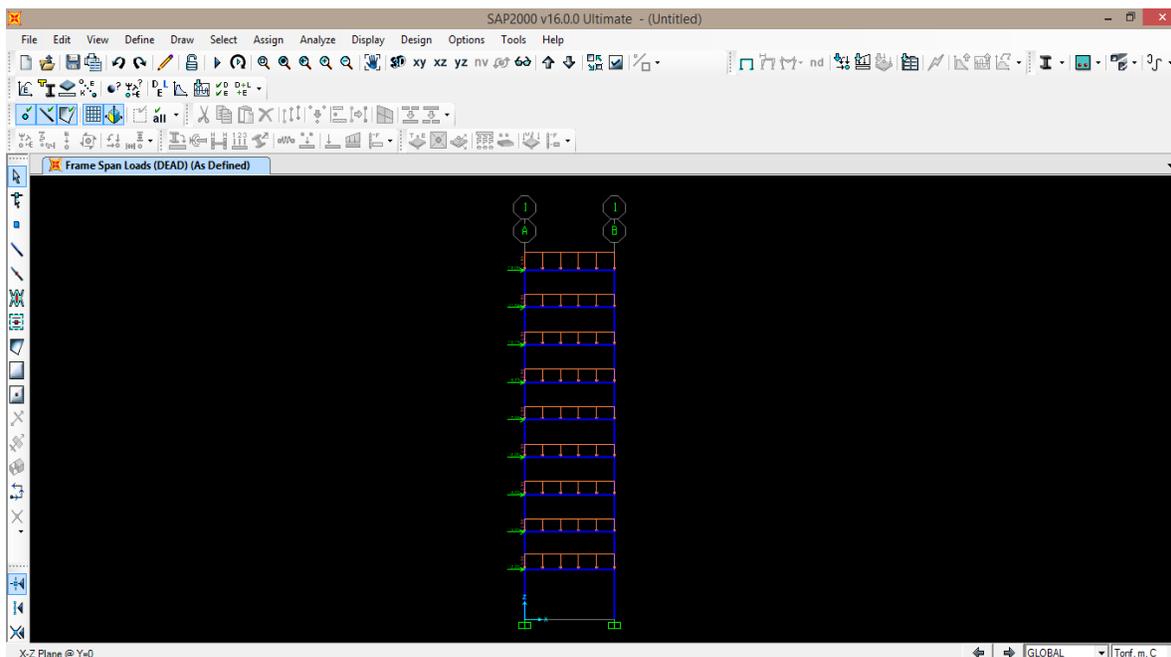
Paso 11. Se asignan los apoyos de empotramiento



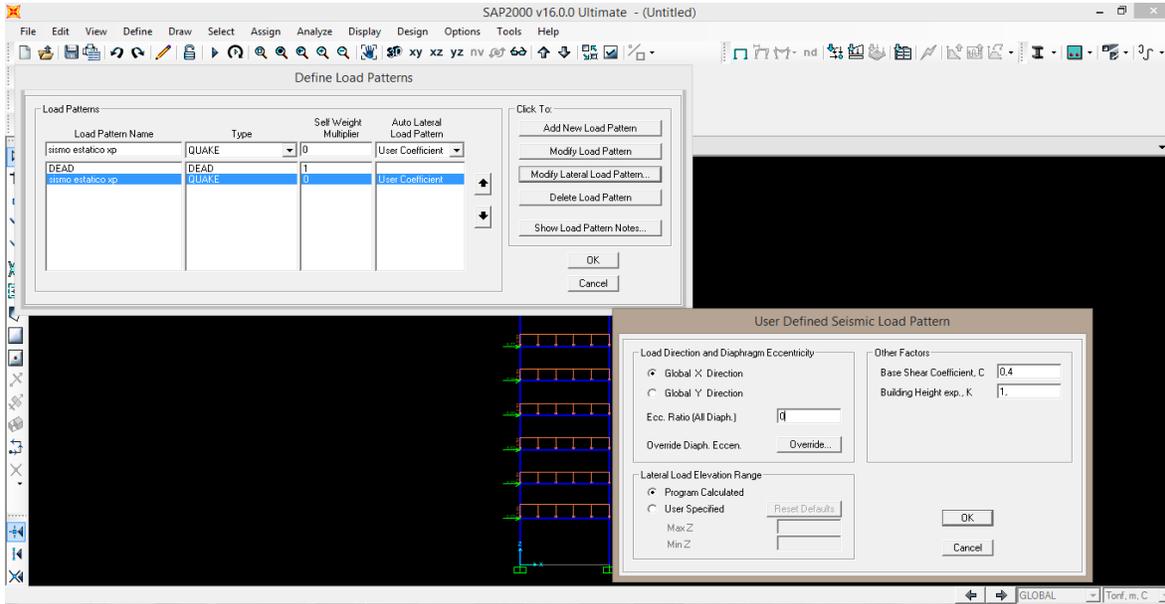
Paso 12. Colocación de fuerzas lateras una vez calculado en con ayuda del programa excel

						base	
	Piso	W_i	h_i	$W_i h_i$	F_i	$F_i h_i$	V_i
		ton	m		ton	ton-m	ton
7	9	26,25	28	735,00	18,09	506,58	18,09
8	8	18,75	25	468,75	11,54	288,46	29,63
9	7	18,75	22	412,50	10,15	223,38	39,78
10	6	18,75	19	356,25	8,77	166,62	48,55
11	5	18,75	16	300,00	7,38	118,15	55,94
12	4	18,75	13	243,75	6,00	78,00	61,94
13	3	18,75	10	187,50	4,62	46,15	66,55
14	2	18,75	7	131,25	3,23	22,62	69,78
15	1	22,5	4	90,00	2,22	8,86	72,00
16		180		2925	72	1458,831	
18	Coeficiente sismico:		c =	0,4			
19	Factor de comport. Sismico:		Q' =	1			
20	Cortante en la base:		$V_b = (W_T c)/Q'$	72,00	ton		
21			g =	980	cm/s ²		
22							

Paso 13. Colocación de fuerzas laterales



Paso 14. Definición de patrones de carga

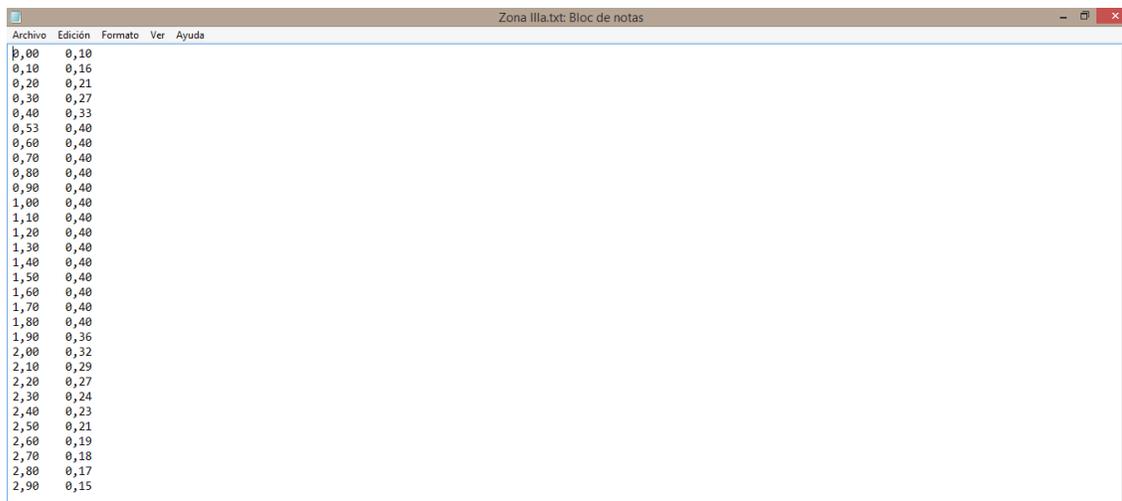


Paso 15. Se realizará el análisis en la zona IIIa, para ello se realizará una tabla con respecto el periodo y la aceleración en esta zona con el fin de obtener un espectro y basarnos en ese.

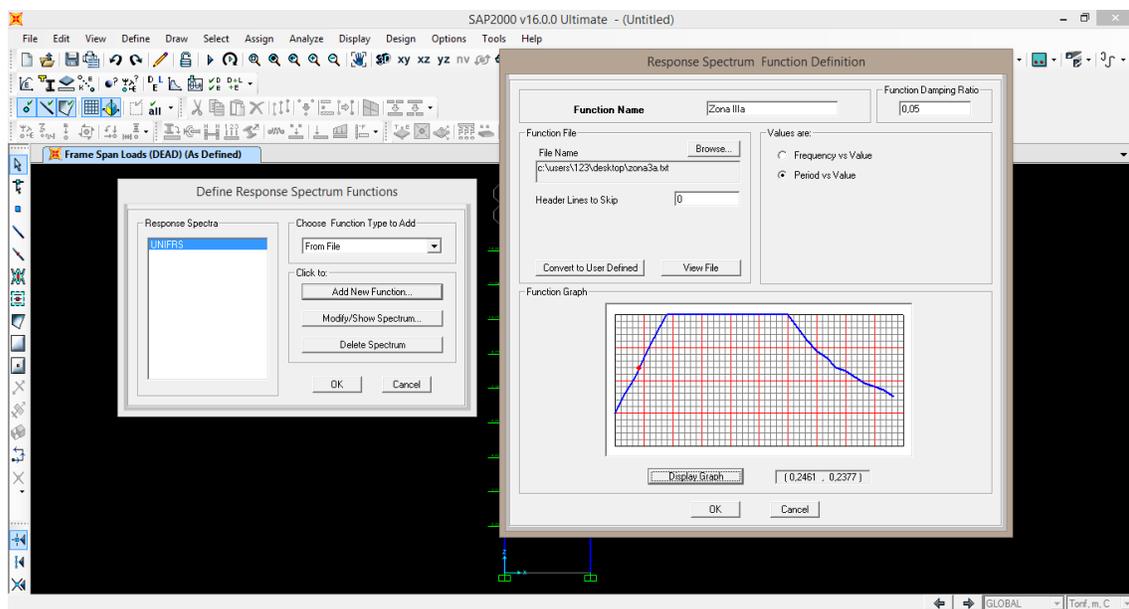
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															

CAPÍTULO 4

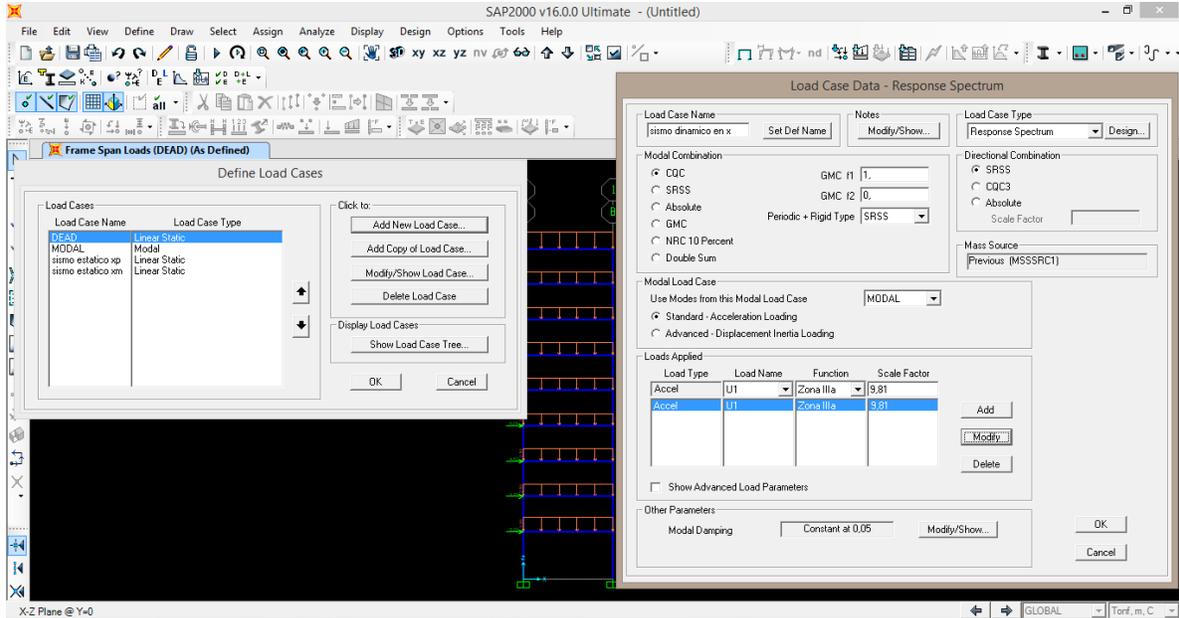
Paso 16. Se crea un formato TXT en block de notas para después ingresarlo en el programa



Paso 17. Se ingresa en el programa SAP 2000 con los valores obtenidos

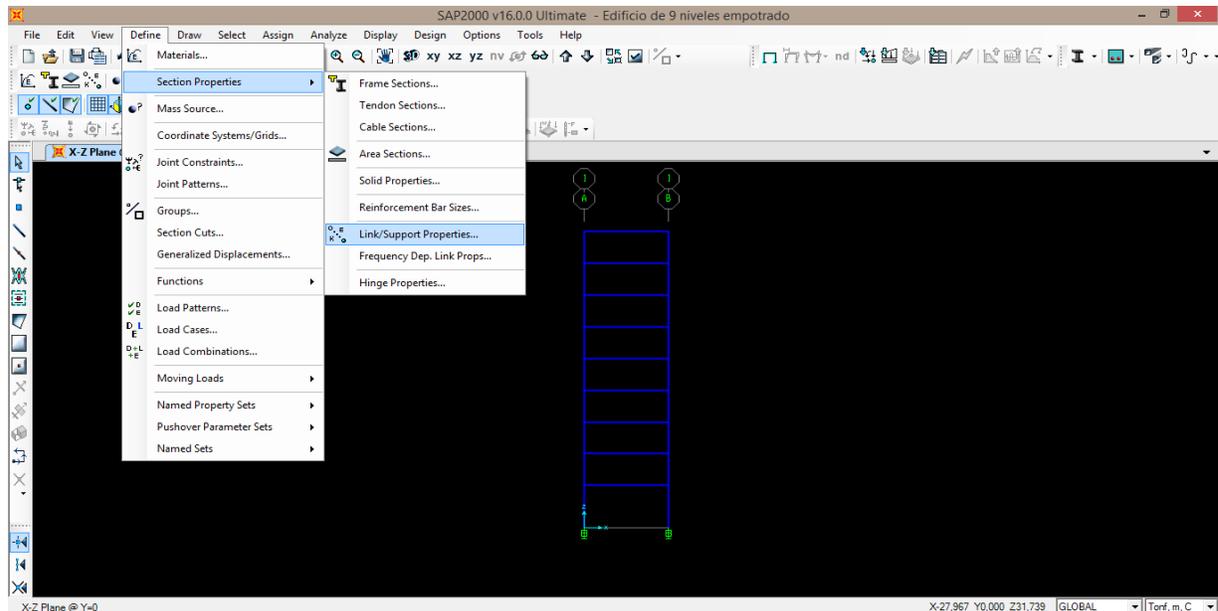


Paso 18. Se definen los casos de carga con los valores pedidos en proyecto y se corre para realizar el análisis

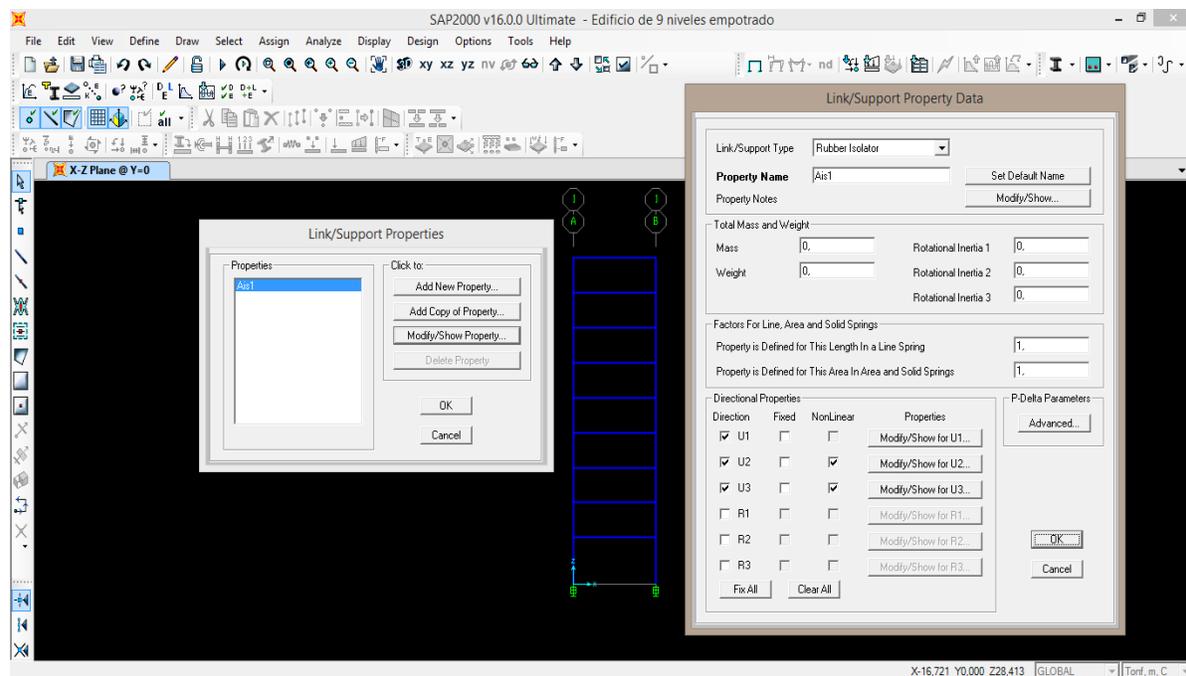


Con esto termina el análisis sísmico estático y dinámico con los pasos a seguir y revisando que pasara por RCDF, en condiciones estáticas y dinámicas. Para colocar los aisladores definimos las propiedades, del elemento.

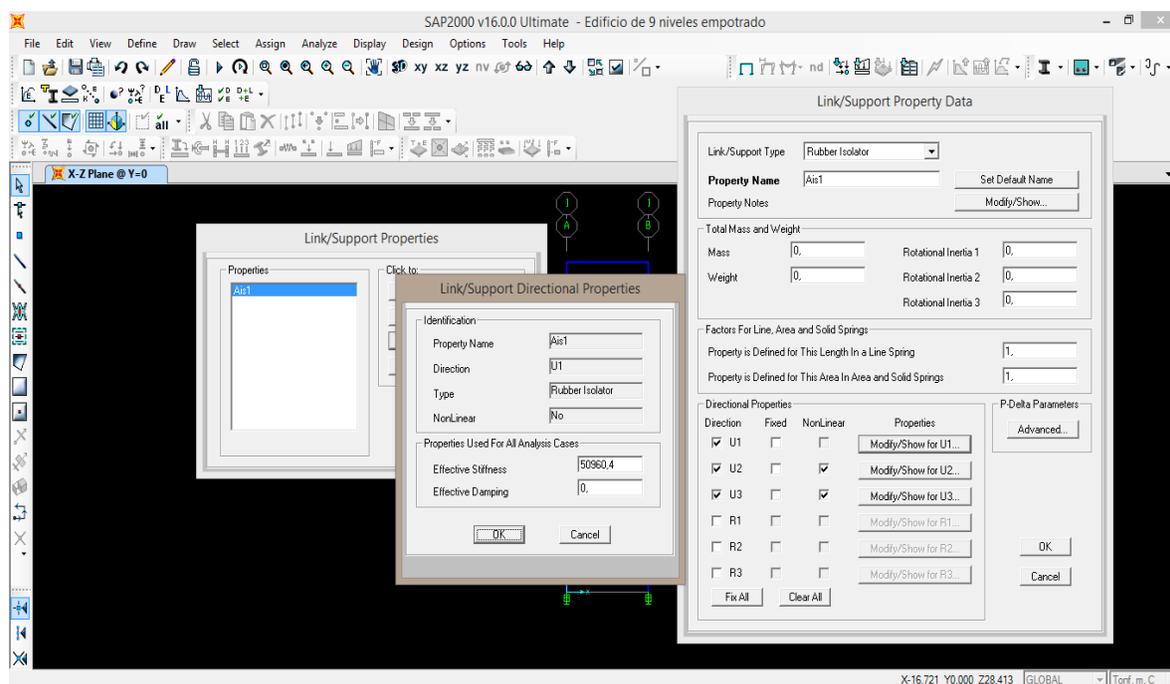
4.1.4. Estructura con aislador de base y corazón de plomo



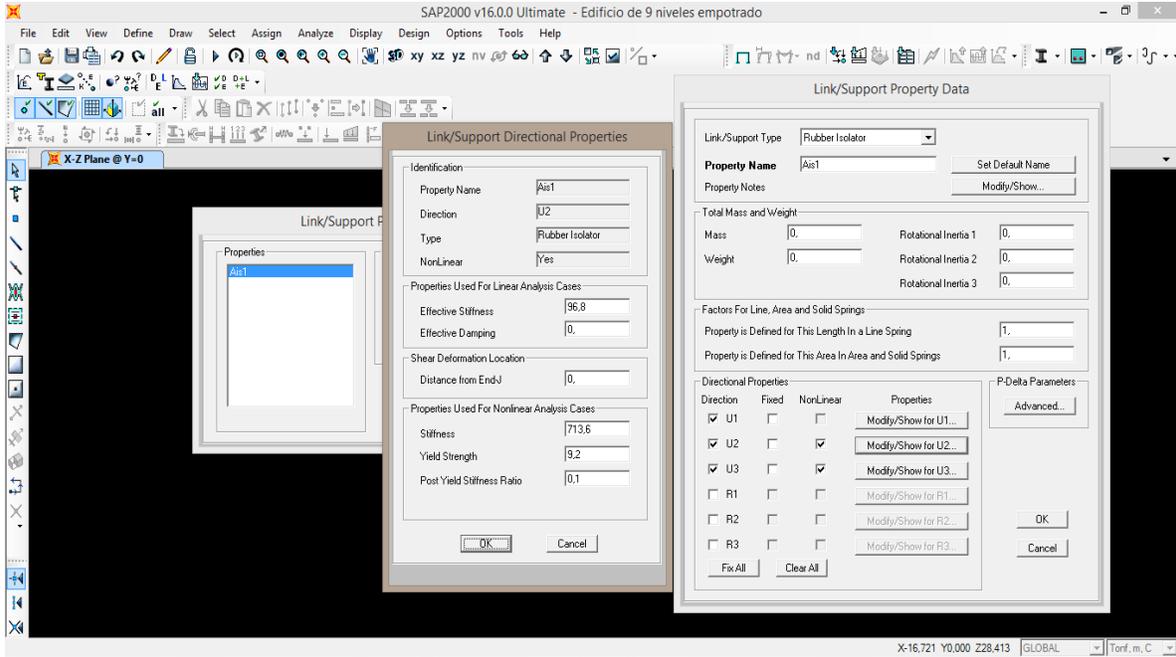
Colocamos el nombre del aislador y definimos u1,u2 y u3, el los últimos dos casos los dejamos como no lineales



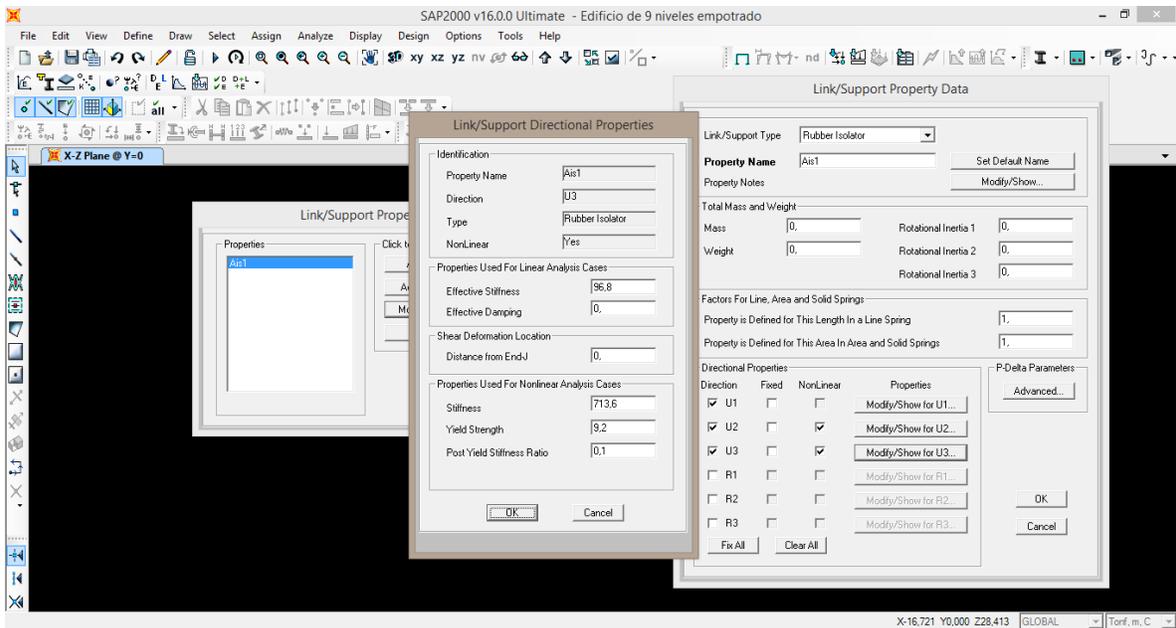
Modificamos las propiedades del aislador de base como proyecto pide para caso -u1



Caso U2.



Caso U3.



CAPÍTULO 5.

RESULTADOS DE LA APLICACION

5.1. INTRODUCCION

5.1.1. Análisis del proyecto

Una vez realizado el análisis en el programa SAP 2000, con una estructura de acero se obtienen resultados significativos por una parte obtenemos los desplazamientos mediante el análisis estático, el análisis dinámico y por otro lado con la ayuda del aislador núcleo de plomo tal y como se muestran en la tabla 1.5 podemos observar que ambos desplazamientos mediante el análisis sísmico y estático se comporta con un desplazamiento alto, el cual no es permisible para el caso, con uso de aisladores baja significativamente el desplazamiento y se puede decir que, al emplear este sistema de protección sísmica, ayuda a comportarse satisfactoriamente, y proporciona mayor seguridad al sistema estructural, las personas que habitan y su alrededor.

Tabla 1.5. Desplazamientos obtenidos con el programa SAP 2000

(Excel, 2016)

Piso	Desplazamiento (A.estático)	Desplazamiento (A.Dinámico)	Aislador con núcleo de plomo
	<i>metros</i>	<i>metros</i>	<i>metros</i>
9	0.4347	0.5701	0.0557
8	0.3957	0.5195	0.0526
7	0.3515	0.4619	0.0489
6	0.3013	0.3964	0.0448
5	0.2459	0.3240	0.0401
4	0.1872	0.2471	0.0348
3	0.1282	0.1696	0.0288
2	0.0733	0.0972	0.0221
1	0.0286	0.0380	0.0146
Apoyo	0.0000	0.0000	0.0100

Podemos observar que en el apoyo los desplazamientos son nulos por parte del análisis estático y dinámico, mientras que con el aislador el apoyo ya mantiene un desplazamiento actuante tal y como debe trabajar, mientras vaya subiendo el nivel los desplazamientos irán incrementando, observemos que los desplazamientos por ambos análisis son significativos para la estructura, colocando el aislador de base con núcleo de plomo los desplazamientos disminuyen y aquí el movimiento se comporta igual que los analisis anteriores cada vez aumentado el nivel se incrementara el desplazamiento, esto sucede por que el aislador mantiene una fluencia al momento

del movimiento, es importante mencionar que el edificio se encuentra con una altura de 28 mts y es una estructura de acero, si se mantiene una rigidez mayor colocando contraventeos, los desplazamientos serian aún más nulos.

A continuación se presenta un gráfico para poder interpretar mayormente los desplazamientos absolutos del edificio, aquí se observa los 3 análisis sísmico estático, dinámico y aislador. Gráfica 1.1

Gráfica 1.1. Desplazamientos obtenidos con el programa SAP 2000
(Excel, 2016)



Por otro lado al obtener un desplazamiento corto en comparación con los otros dos análisis, el periodo con respecto a un sistema convencional es muy reflejante, podemos verlo en la tabla 1.6 con respecto el espectro de diseño, el sistema convencioanl y el aislador.

Tabla 1.6. Periodos y aceleraciones obtenidos con el programa SAP 2000

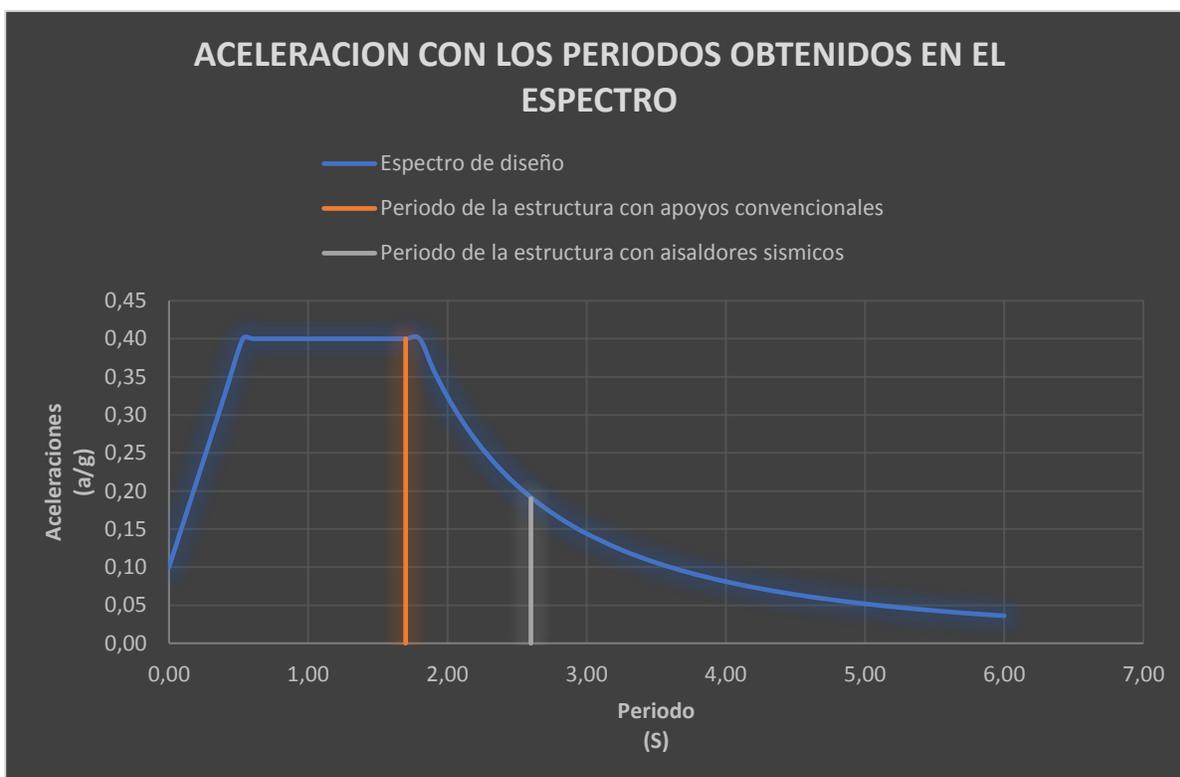
(Excel, 2016)

III-a		CONVENCIONAL		AISLADOR	
T	a	T	a	T	a
0,00	0,10	1,70	0,00	2,60	0,00
0,10	0,16	1,70	0,01	2,60	0,01
0,20	0,21	1,70	0,02	2,60	0,02
0,30	0,27	1,70	0,03	2,60	0,03
0,40	0,33	1,70	0,04	2,60	0,04
0,53	0,40	1,70	0,05	2,60	0,05
0,60	0,40	1,70	0,06	2,60	0,06
0,70	0,40	1,70	0,07	2,60	0,07
0,80	0,40	1,70	0,08	2,60	0,08
0,90	0,40	1,70	0,09	2,60	0,09
1,00	0,40	1,70	0,10	2,60	0,10
1,10	0,40	1,70	0,11	2,60	0,11
1,20	0,40	1,70	0,12	2,60	0,12
1,30	0,40	1,70	0,13	2,60	0,13
1,40	0,40	1,70	0,14	2,60	0,14
1,50	0,40	1,70	0,15	2,60	0,15
1,60	0,40	1,70	0,16	2,60	0,16
1,70	0,40	1,70	0,17	2,60	0,17
1,80	0,40	1,70	0,18	2,60	0,18
1,90	0,36	1,70	0,19	2,60	0,19
2,00	0,32	1,70	0,20		
2,10	0,29	1,70	0,21		
2,20	0,27	1,70	0,22		
2,30	0,24	1,70	0,23		
2,40	0,23	1,70	0,24		
2,50	0,21	1,70	0,25		
2,60	0,19	1,70	0,26		
2,70	0,18	1,70	0,27		
2,80	0,17	1,70	0,28		
2,90	0,15	1,70	0,29		
3,00	0,14	1,70	0,30		
3,25	0,12	1,70	0,31		
3,50	0,11	1,70	0,32		
3,75	0,09	1,70	0,33		
4,00	0,08	1,70	0,34		
4,25	0,07	1,70	0,35		
4,50	0,06	1,70	0,36		
4,75	0,06	1,70	0,37		
5,00	0,05	1,70	0,38		
5,25	0,05	1,70	0,39		
5,50	0,04	1,70	0,40		

A continuación, se presenta el gráfico 1.2. Y podemos observar la muestra del espectro de diseño de la zona IIIa, donde se realizó el estudio, sin en cambio al obtener un apoyo convencional, sin tener ninguna protección sísmica se obtiene un periodo aproximadamente de 1,8 seg donde la aceleración se obtiene de 0,4 cae en la meseta, pero si se obtiene el aislador sísmico el periodo aumenta, pero la aceleración disminuye aquí se observa que el periodo es de 2,7 seg con una aceleración de 0,18.

Gráfica 1.2. Aceleración vs periodos obtenidos con el programa SAP 2000

(Excel, 2016)



Podemos concluir que al utilizar este sistema de protección sísmica es de gran ayuda los periodos aumentan, pero la aceleración disminuye lo cual significa que al momento de un sismo se busca que la aceleración de la estructura no sea rápida dado que altera sus propiedades en el sistema dando origen a problemas estructurales, o en su defecto el colapso total de la estructura.

Ahora bien, el periodo aumenta al obtener un sistema de protección sísmica dando resultado donde la aceleración es menor comparada con los análisis, finalmente cuando el sismo realice el movimiento tendrá mayor tiempo de desplazarse la estructura, pero obteniendo una aceleración mínima donde no alteran la estructura y dan protección a los que habitan.

CAPÍTULO 6.

CONCLUSIÓN

Una vez realizado el análisis en el programa SAP 2000, con una estructura de acero se obtienen resultados significativos por una parte la estructura convencional obtenemos los desplazamientos demasiados altos, donde por NTC-2004 no son permisibles realizando el análisis estático, y dinámico, sin mencionar que el periodo de la estructura se encontraba bajo pero el nivel de aceleración muy alto, justificando que la estructura estaría sometida a un movimiento fuerte, por otro lado realizar una estructura con el sistema de protección sísmica, en especial aislador de base con núcleo de plomo tal y como se muestran en la tablas presentadas podemos observar que ambos desplazamientos mediante el análisis dinámico y estático se comporta muy eficientes, proporcionando una mejor seguridad, con uso de estos dispositivos, el periodo de la estructura se alarga, pero a su vez la aceleración disminuye, con el fin de que la estructura no sufra el movimiento brusco causado por los sismos

Este trabajo se pudo demostrar que el comportamiento de un sistema de protección sísmica es muy recomendable, sin importar el tipo de estructura, material, uso, tipo de suelo entre otros porque es vulnerable para poder trabajar con cualquier de estos factores, en este tiempo se han visto cambios en materia de infraestructura, donde construir una edificación de cualquier índole perteneciente el grupo A, deberá estar sometida a cualquier sistema de protección sísmica, para evitar daños a la estructura e incluso el colapso total.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Bazán, E y Meli, R (2002), "Diseño sísmico de edificios", Limusa, México DF.
- 2.- Gómez Tremari Raúl (1988) "Fundamentos de diseño y construcción sismoresistente" universidad de Guadalajara
- 3.- E. Rosenblueth y N. M. Newmark, (1976) "Fundamentos de ingeniería sísmica" Ed Diana
- 4.- Sarria Molina Alberto "Ingeniería sísmica" Ediciones Uniandes
- 5.- M. en C. Carlos Gutiérrez Martínez, M. en I. Roberto Quaas Weppen, Dr. Mario Ordaz Schroeder, Ing. Enrique Guevara Ortiz, Dr. David Muriá Vilá y Dr. Shri Krishna Singh, (2005)"Sismos series fascículos",Cenapred
- 6.- SSM, (2017) Sismología de México, Servicio Sismológico Mexicano <http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>
- 7.- CFE, (2000) "Manual de diseño de obras civiles: diseño por sismo"
- 8.- Bonilla Sosa Lily Marlene (2012) Tesis "Teoría del aislamiento sísmico para edificaciones"
- 9.- Revista "Protección antisísmica mageba-preservación fiables de estructuras" (2013) engineering connections
- 10.- Luis M. Bozzo y Alex H. Barbat (2000) "Diseño sismorresistente de edificios" técnicas convencionales y avanzadas Ed Reverté
- 11.- Izaguirre Corona Ariel Máximo (2007) Tesis "Sistemas de aisladores de base para edificios"
- 12.- M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) "Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos" IMT y SCT
- 13.-Perles Pedro (2003), "Temas de estructuras especiales", nobuKo
- 14.- Gatica Lagos Víctor A. (2012) Trabajo fin de máster "Respuesta sísmica de un edificio de estructura metálica con aisladores, alternativa de diseño"
- 15.- Revista "Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes" (2007) Dynamic Isolation System
- 16.- Pagina de web GERB, protección sísmica efectiva de GERB
- 17.- Wakabayashi M. y Martínez Romero E. (1990) "Diseño de estructuras sismorresistentes" Mc Graw hill
- 18.- Rosenblueth Emilio (1991) "Diseño de estructuras resistentes a sismos" IMCYC Noriega limusa
- 19.- Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción del Distrito Federal del año 2004
- 20.- Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones CDMX-2017

FIGURAS.

Figura 1.1 Xyoli Pérez Campos, Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, La historia de los sismos, cenaped

Figura 1.2 Reporte especial, servicio sismológico nacional, Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)

Figura 1.3 Gómez Tremari Raúl(1988) "Fundamentos de diseño y construcción sismoresistente" universidad de Guadalajara

Figura 1.4 Salvador Israel Lagos Ortiz (2014) Tesis "La instrumentación sísmica en México"

Figura 1.5 Salvador Israel Lagos Ortiz (2014) Tesis "La instrumentación sísmica en México"

Figura 1.6 Salvador Israel Lagos Ortiz (2014) Tesis "La instrumentación sísmica en México"

Figura 1.7 Salvador Israel Lagos Ortiz (2014) Tesis "La instrumentación sísmica en México"

Figura 1.8 CFE, (2000) "Manual de diseño de obras civiles: diseño por sismo"

Figura 1.9 RCDF, (2004) "Reglamento de construcciones del distrito Federal"

Figura 1.10 Excelsior, Página de internet "sismos"

Figura 1.11 Expansion con alianza CNN, Página de Internet "Sismo en México solidaridad ante la tragedia"

Figura 1.12 Fotografía tomada Jesús Martínez

Figura 1.13 Miranda Jacome Gustavo, Página de internet "10 datos sorprendetes del terremoto de 1985"

Figura 1.14 La vanguardia, Página de internet "Un terremoto de 8,8 grados de magnitud sacude a Chile"

Figura 1.15 Gómez, Marulanda, y Thomson, (2007) "Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas"

Figura 1.16 Senarco SA, (2007)"Torre Titanium la portada" Arquitectura+acero, libertad & diseño lin

Figura 1.17 Banco de la Nación Perú San Borja (Cosapi) "Desarrollo Peruano" link

Figura 1.18 Gómez, Marulanda, y Thomson, (2007) "Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas"

Figura 1.19 Gómez, Marulanda, y Thomson, (2007) "Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas"

Figura 1.20 CDV Perú "Representación de un edificio convencional y con aislador sísmico" (Ingeniería antisísmica)

Figura 1.21 Gatica Lagos Víctor A. (2012) Trabajo fin de máster "Respuesta sísmica de un edificio de estructura metálica con aisladores, alternativa de diseño"

Figura 1.22 Tornello M. Sarrazin M. (2004) Revista Protección sísmica en Mendoza “Edificio sobre resortes”

Figura 1.23 E-struct. (2016) Página de internet “estructuras sismorresistentes y estructura antisísmica”

Figura 1.24 Tornello M. Sarrazin M. (2004) Revista Protección sísmica en Mendoza “Edificio sobre resortes”

Figura 1.25 López Almansa F Página de internet “Aislamiento de base” Universidad politécnica de Cataluña

Figura 1.26 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT

Figura 1.27 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT

Figura 1.28 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT

Figura 1.29 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT

Figura 1.30 Sysprotec (2017) “soluciones constructivas integrales” aislador sísmico con núcleo de plomo

Figura 1.31 Revista “Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes” (2007) Dynamic Isolation System

Figura 1.32 Gatica Lagos Víctor A. (2012) Trabajo fin de máster “Respuesta sísmica de un edificio de estructura metálica con aisladores, alternativa de diseño”

Figura 1.33 MEXPRESA Revista “Apoyos elastoméricos para puentes”

Figura 1.34 MEXPRESA Revista “Apoyos elastoméricos para puentes”

Figura 1.35 Revista “Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes” (2007) Dynamic Isolation System

Figura 1.36 Revista “Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes” (2007) Dynamic Isolation System

Figura 1.37 Revista “Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes” (2007) Dynamic Isolation System

Figura 1.38 Revista “Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes” (2007) Dynamic Isolation System

Figura 1.39 Revista “Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes” (2007) Dynamic Isolation System

Figura 1.40 Revista “Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes” (2007) Dynamic Isolation System

Figura 1.41 Página Web “Edificios de México”

Figura 1.42 Página Web boletín Industrial “aislamiento de vías férreas Alemania”

Figura 1.43 Página Web Formosa Guide “Taipéi 101”

Figura 1.44 Página Web SSAWS Japón “SSAWS”

Figura 1.45 Tornello M. Sarrazin M. (2004) Revista Protección sísmica en Mendoza “Edificio sobre resortes”

Figura 1.46 Pagina Web “Rehabilitación de estructuras en México utilizando disipadores pasivos de energía”

Figura 1.47 Cheng Y. Franklin, Jiang Hongping y Lou Kangyu, (2008) “Smart structures inovative systems for seismic response control” CRC Press

Figura 1.48 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT.

Figura 1.49 James M. Kelly y Farzad Naeim (1999), “Design of seismic isolated structures: from theory to practice” John Wiley & Sons INC,

Figura 1.50 Saavedra Quezada Marcelo Andrés (2015), Tesis “Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados” modelo dinamico no-lineal

Figura 1.51 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT

Figura 1.52 Bonilla Sosa Lily Marlene (2012) Tesis “Teoría del aislamiento sísmico para edificaciones”

Figura 1.53 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT

Figura 1.54 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) “Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos” IMT y SCT

TABLAS.

Tabla 1.1 Bazán, E y Meli, R (2002), "Diseño sísmico de edificios", Limusa, México DF.

Tabla 1.2 Bazán, E y Meli, R (2002), "Diseño sísmico de edificios", Limusa, México DF.

Tabla 1.3 Bazán, E y Meli, R (2002), "Diseño sísmico de edificios", Limusa, México DF.

Tabla 1.4 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) "Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos" IMT y SCT

Tabla 1.5 Desplazamientos obtenidos con el programa SAP 2000, Excel 2016

Tabla 1.6 Periodos y aceleraciones obtenidos con el programa SAP 2000, Excel 2016

DIAGRAMAS.

Diagrama 1.1 Bonilla Sosa Lily Marlene (2012) Tesis "Teoría del aislamiento sísmico para edificaciones"

Diagrama 1.2 Bonilla Sosa Lily Marlene (2012) Tesis "Teoría del aislamiento sísmico para edificaciones"

Diagrama 1.3 Bonilla Sosa Lily Marlene (2012) Tesis "Teoría del aislamiento sísmico para edificaciones"

Diagrama 1.4 M.I. Octavio García, M.I. Gustavo Ayala y M.I. Ulises Mena (1996) "Comportamiento sísmico de puentes sobre apoyos elastoméricos" IMT y SCT

GRÁFICOS Y PROGRAMA.

Gráfica 1.1 Desplazamientos obtenidos con el programa SAP 2000, Excel 2016

Gráfica 1.2 Periodos y aceleraciones obtenidos con el programa SAP 2000, Excel 2016

"C:\Program Files (x86)\Computers and Structures\SAP2000 16\SAP2000.exe"