



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Civil**

**AUTORA**

Alisson Kimberly Reyna Flores

**ASESOR**

Dr. Gerardo Enrique Cancho Zúñiga

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño Sísmico y Estructural

**LIMA - PERÚ**

**2017 - I**

## PÁGINA DEL JURADO

.....  
Presidente

.....  
Vocal

.....  
Secretario

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

YO, Alisson Kimberly Reyna Flores con DNI N°77208488, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se muestra en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo

**Lima, 20 de Julio de 2017**

---

**Alisson Kimberly Reyna Flores**

## **DEDICATORIA**

A mi familia por el apoyo incondicional, ya que no solo fue mi principal motivación para el desarrollo de mi vida profesional, sino por haberme dado el amor y calidez de lo que es una familia.

A mis padres por el apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

## **AGRADECIMIENTO**

Primero agradecer a mi familia que fue la principal fuente de mis logros.

Al Ing. Edison A. Moscoso Alcántara y Gerardo Enrique Cancho Zúñiga por el apoyo, la confianza depositada hacia mi persona.

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, para optar el grado de Ingeniero Civil, pongo a vuestra consideración la Tesis titulada “Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura”.

Los capítulos y contenidos que se desarrollan son los siguientes:

- I. Introducción
  - II. Método
  - III. Resultados
  - IV. Discusión
  - V. Conclusiones
  - VI. Recomendaciones
  - VII. Referencias Bibliográficas
- Anexos

Espero Señores Miembros del Jurado que la presente investigación cumpla con las exigencias establecidas por la Universidad Cesar Vallejo y merezca su aprobación.

**La Autora**

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura, dicho análisis se realizará empleando el método No Lineal tiempo-historia, para así poder de determinar el porcentaje de efectividad del uso de Aisladores Sísmicos en edificaciones de gran altura. De tal modo que, para el desarrollo del análisis, se ha tomado como muestra edificaciones de distintos niveles.

Según los resultados adquiridos la investigación se concluye en lo siguiente; existen respuestas que aumentan, al aumentar los niveles, estos casos particulares son debidos que al usar un registro sísmico para el análisis tiempo-historia, el espectro producido por este genera no necesariamente una disminución de la demanda al aumentar los periodos, esto no es suavizado como el espectro de diseño de la Norma E030. Cabe resaltar que para las fuerzas axiales reducen aproximadamente hasta un 50% de momento en columnas y aproximadamente 30% de momento en viga; sin embargo, presentan discontinuidad de reducción conforme las estructuras aumentan la cantidad de niveles debido a que el registro sísmico contiene puntos altos y bajos que afectan los resultados.

**Palabras clave:** Registro Sísmico, espectro, periodo, demandad sísmica, desplazamiento

## ABSTRACT

The present research aims at the comparative analysis of the seismic response of reinforced concrete structures with and without seismic isolation in the base according to their variation in height, the analysis is performed using the non-linear time-history method, in order to be able to determine the percentage of effectiveness of use of Seismic Isolators and high-rise buildings. Thus, for the development of the analysis, has been taken as shows buildings of different levels.

According to the results, the research is concluded in the following; there are increasing responses, as levels rise, these are the only ones that use a seismic record for time-history analysis, the spectrum produced by this genre does not necessarily decrease demand to increase the periods, it is not smoothed as the spectrum design of the E030 Standard. It should be noted that for axial forces reduce up to 50% moment in columns and approximately 30% moment in beam; however presents discontinuity of the reduced structures increase the amount of levels by which the seismic record contains high and low points that affect the results.

**Key words:** Seismic Record, spectrum, period, seismic demand, displacement

# ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Trabajos previos.....	14
1.2.1. Antecedentes nacionales .....	14
1.2.2. Antecedentes internacionales .....	16
1.3. Teorías relacionadas al tema .....	18
1.3.1. Ingeniería sismorresistente .....	18
1.3.2. Aisladores sísmicos.....	19
1.3.3. Sistema de un grado de libertad (1GDL).....	25
1.3.4. Sistema de varios grados de libertad .....	28
1.3.4.1. Movimiento en la base debido a la excitación sísmica.....	28
1.3.5. Superposición modal espectral .....	30
1.4. Formulación del problema .....	32
1.4.1. Problema general.....	32
1.4.2. Problemas específicos .....	33
1.5. Justificación del estudio.....	33
1.6. Objetivos .....	33
1.6.1. Objetivo general .....	33
1.6.2. Objetivos específicos .....	33
II. METODOLOGÍA.....	34
2.1. Registros sísmicos .....	34
2.1.1. Registros sísmicos de redacis.....	34
2.1.2. Selección de registro a utilizar .....	35
2.2. Tratamiento de registros sísmicos.....	35
2.2.1. Corrección del registro por línea base.....	35
2.2.2. Corrección del registro por filtrado de señales .....	36
2.3. Normalización de registro sísmico.....	37
2.3.1. Factor de escala de registro sísmico.....	37
2.4. Sistema de aislamiento a usar.....	40
2.4.1. Elección y determinación de las propiedades de los aisladores sísmicos.....	42
2.5. Método .....	51
2.5.1. Tipo de investigación.....	51

2.5.2. Nivel de investigación.....	51
2.5.3. Diseño de investigación .....	52
2.6. Variables .....	52
2.6.1. Variable 01:.....	52
2.6.2. Variable 02:.....	52
2.7. Operacionalización de variables.....	53
2.8 Población y muestra .....	54
2.9 Técnicas e instrumento y recolección de datos validez y confiabilidad .....	54
2.9.1. Validez .....	54
2.9.2. Confiabilidad .....	55
2.9.3. Aspecto ético.....	55
III. Resultados.....	55
3.1. Análisis sísmico tiempo-historia.....	55
3.1.1. Estructuras a analizar sin aisladores.....	55
3.1.2. Proceso del análisis tiempo-historia sin aisladores sísmicos .....	67
3.1.3. Factores de escala para las diferentes estructuras .....	69
3.1.4. Respuesta de estructura sin aislamiento.....	70
3.1.4.1. Periodos fundamentales .....	70
3.1.4.2. Modos de vibracion .....	70
3.1.4.3. Resultado del análisis tiempo-historia sin aisladores.....	76
3.2. Estructuras a analizar con aisladores.....	78
3.2.1. Resultado del analisis tiempo historia con aisladores.....	82
3.3. Comparación de resultados de estructuras sin aislamiento vs aisladas.....	83
3.3.1. Periodos fundamentales.....	83
3.3.2. Momentos flectores .....	85
3.3.3. Cortante basal.....	87
3.3.4. Desplazamiento .....	89
3.3.5. Distorsiones .....	91
3.4. Comparación de las estructuras en base a periodos vs pseudoaceleraciones .....	94
IV. DISCUSIÓN.....	100
V. CONCLUSIONES.....	102
VI. RECOMENDACIONES .....	104

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	105
ANEXO	
Anexo n°01: Predimensionamiento de columnas 18 niveles .....	107
Anexo n°02: Predimensionamiento de columnas 20 niveles .....	108
Anexo n°03: Predimensionamiento de columnas 25 niveles .....	109
Anexo n°04: Predimensionamiento de columnas 30 niveles .....	110
Anexo n°05: Predimensionamiento de columnas 40 niveles .....	111
Anexo n°06: Predimensionamiento de columnas 50 niveles .....	112
Anexo n°07: Dimensión de la viga -18 niveles .....	113
Anexo n°08: Dimensión de la columna -18 niveles .....	113
Anexo n°09: Dimensión de la viga -20 niveles .....	114
Anexo n°10: Dimensión de la columna -20 niveles .....	114
Anexo n°11: Dimensión de la viga -25 niveles .....	115
Anexo n°12: Dimensión de la columna -25 niveles .....	115
Anexo n°13: Dimensión de la viga -30 niveles .....	116
Anexo n°14: Dimensión de la columna -30 niveles .....	116
Anexo n°15: Dimensión de la viga -40 niveles .....	117
Anexo n°16: Dimensión de la columna -40 niveles .....	117
Anexo n°17: Dimensión de la viga -50 niveles .....	118
Anexo n°18: Dimensión de la columna – 50 niveles.....	118
Anexo n°19: Registro del sismo 03.octubre.74 - ew.....	119
Anexo n°20: Registro del sismo 03.octubre.74 - ns.....	120
Anexo n°21: Matriz de consistencia .....	121

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

El Perú es un país altamente sísmico como se hace mención en el (Instituto Geofísico del Perú, 2011) que “nuestro país forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, la mayor fuente generadora de sismos” y además presenta la falla por Subducción que son producidas por la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

Cabe resaltar que el sismo producido en el año 1970 en el Departamento de Ancash, fue el más devastador en toda la historia, tuvo una magnitud de 7.8 en la escala de Richter según el Instituto Geofísico del Perú y hubo más de 80,000 fallecidos y aproximadamente 20,000 desaparecidos. Por otro lado, las infraestructuras de las viviendas quedaron completamente dañadas debido a que en su mayoría fueron autoconstrucciones de adobe.

Por otro lado, hacemos mención a los sismos producidos en estos últimos años; como el sismo en Atico- Arequipa el 23 de junio del 2001; el Sismo en Pisco- Ica el 15 de agosto del 2007, fueron los más destructivos; sin embargo, la presencia de este tipo de fenómeno natural sirve de gran ayuda para los investigadores ya que gracias a ello podemos construir edificaciones sin que sufran daños estructurales y no estructurales.

Estos tipos de desastres como consecuencia de los sismos a lo largo de la historia, son motivo para la implementación del uso de aisladores sísmicos es decir este nuevo sistema de aislamiento basal; como lo indicamos líneas arriba no podemos evitar este tipo de fenómenos naturales, sin embargo, si podemos preparar a las estructuras para que actúen de manera eficiente durante y después de un sismo.

En la actualidad, se observa que la ingeniería sismorresistente ha ido tomando mayor importancia ya que su objetivo principal siempre fue el de evitar pérdidas de vidas humanas, y disminuir los daños en la estructura tal y como se afirma en la Norma E-030 de Diseño Sismorresistente. Sin embargo, muchas de las edificaciones esenciales e importantes como hospitales, colegios y edificaciones que tienen que servir de un lugar de refugio después de un lamentable desastre, no están preparadas para resistir un evento sísmico de gran magnitud.

Sin embargo, el desarrollo de la tecnología nos permite hoy en día adoptar nuevos procedimientos para el mejor comportamiento de la estructura; como la implementación del uso de aisladores sísmicos en las edificaciones, este sistema se ha desarrollado exitosamente ya que tiene como finalidad disipar energía originada por un sismo y reducir los efectos de la fuerza sísmica sobre la estructura.

En esta investigación se realizará el análisis para luego diseñar edificaciones sin aisladores sísmicos luego se rediseñará implementando aisladores sísmicos de tipo elastoméricos en edificaciones de diferentes niveles, teniendo ello se analizará el comportamiento que genera un aislador sísmico en los modelos de edificaciones de diferentes niveles, dichos análisis se desarrollará en el programa de modelamiento ETABS, una vez obtenido los resultados se procede a realizar la comparación de pseudo aceleraciones que se producen en las diferentes edificaciones y así determinar cuándo deja de ser viable el empleo de aisladores sísmicos, cabe resaltar que al decir viable nos referimos al uso eficiente de los aisladores sísmicos en diferentes edificaciones de distinta cantidad de niveles.

Cabe resaltar que para el análisis sísmico de edificaciones de mayor altura con este tipo de protección antisísmica pues se trabajará con las normas americanas ASCE, ya que el Perú no cuenta con su normativa propia para este tipo de análisis.

El análisis sísmico que se desarrollará en esta investigación será el de tiempo-historia ya que se considerará registros sísmicos peruanos por lo que estos se involucrarán en el procedimiento de diseño de las estructuras aisladas.

Según (Gálvez Chunas, 2011, pag.29) afirma que; este tipo de procedimiento se basa en usar una demanda en la estructura por medio de un registro sísmico. Este análisis puede ser modal si recurrimos a los espectros de aceleración o de integración directa, si usamos un registro de aceleraciones. También puede ser lineal si la excitación no genera disipación de energía o no lineal si la energía se disipa. Al usar un registro sísmico la estructura va a seguir una historia de disipación de energía dependiendo de los contenidos de frecuencias y amplitudes de aceleración del sismo. Al usar varios registros sísmicos podemos ver como la estructura se comporta distinta ante cada sismo, es por ello que el

análisis tiempo-historia es tan importante, nos da una respuesta estructural que depende del desarrollo del sismo, esto es conocido como variabilidad de registro a registro.

Cabe resaltar que el método de TIEMPO- HISTORIA es el más usado para analizar estructuras con aislamiento en la base ya que este nos dará como resultado el pseudo-desplazamientos, pseudo-velocidades y sobre todo pseudo-aceleraciones de la estructura en base a periodos y así poder obtener el espectro de respuestas de la estructura ante un evento sísmico.

## **1.2. TRABAJOS PREVIOS**

### **1.2.1. ANTECEDENTES NACIONALES**

(Muñoz Guerra, 2010) En la tesis titulada “Análisis y Diseño de una Estructura Hospitalaria con Aisladores Sísmicos en la Ciudad de Arequipa” fijó como objetivo principal el de ilustrar el uso de un nuevo sistema de protección sísmica que sirva para complementar la filosofía del a Norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones; en este caso se tratará del uso de aislamiento sísmico de base para la protección de las construcciones, de forma más específica, por otro lado este trabajo busca exponer los beneficios del uso de aislamiento sísmico en estructuras esenciales de gran importancia. Además, exponer de forma clara y concisa un procedimiento de diseño de estructuras aisladas sísmicamente. La investigación concluye que el método de análisis estático de una estructura aislada asemeja y simplifica el comportamiento del sistema al de una gran masa concentrada sobre un resorte, similar a un péndulo invertido. Y para el caso del estudio el método de análisis modal espectral es el más apropiado frente al método del tiempo historia, por no contar con la data sísmica apropiada para el terreno, y por último el uso de aisladores sísmicos de base brinda resultados muy satisfactorios para el diseño y protección de estructuras de carácter esencial ya que también protege sus contenidos.

(Korswagen Eguren, y otros, 2012) En la tesis Titulada “Análisis y Diseño de Estructuras con Aisladores Sísmicos en el Perú” fijó como objetivo en usar aisladores elastoméricos, ya que estos tienen una elevada rigidez a cargas laterales como la del Sismo; aprovechando la característica de un material similar al caucho con el fin de obtener una baja rigidez lateral, pero al mismo tiempo

utilizando planchas de acero para que pueda elevar la rigidez vertical, luego comparar el comportamiento de diferentes modelos para determinar la influencia de los aisladores, y por último rediseñar las estructuras usando aisladores sísmicos y evaluar las diferencias en el diseño final. La investigación concluye que al haber realizado el procedimiento de diseño de los aisladores y de la estructura es realmente tedioso al ser iterativo. Sin embargo cabe resaltar que un diseño con aislación es que la edificación no resulte dañada luego de la presencia de un sismo.

(Gálvez Chunas, 2011) En la tesis titulada "Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis No Lineal en el Tiempo" Tesis para obtener el Título en Ingeniería Civil fijó como objetivo determinar el estudio de un procedimiento para evaluar el desempeño de edificaciones usando técnicas No Lineales Tiempo Historia con solicitaciones sísmicas incrementales y también se evaluará el desempeño de un edificio escolar peruano, típico, ubicado en la zona costera. Lo cual tuvieron como conclusiones que El análisis no lineal es un procedimiento mucho más tedioso, pero que brinda información más certera para predecir la respuesta estructural y verificar el diseño. Sin embargo el análisis tiempo historia no lineal y la verificación basada en desempeño aún debe recorrer un camino largo antes de volverse una práctica común.

(Carmona y Rosas, 2015) En la tesis titulada "Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del Diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del Edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la Provincia de Lima", Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, fijó como objetivo el de realizar el análisis comparativo y diseño estructural empleando aislamiento en base utilizando aisladores sísmicos en la base (elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) para estudiar el comportamiento estructural de un edificio de oficinas contra un sistema dual bajo un criterio normativo sismo-resistente, utilizando un modelo sísmico mediante el programa de modelación estructural SAP2000, el cual nos proporcionará resultados necesarios para elegir el mejor modelo ante un evento sísmico. Lo cual tuvieron como conclusiones que las fuerzas axiales disminuyen en promedio un 49% aproximadamente en el sistema aislado y los momentos flectores

máximos disminuyen en un promedio un 29% aproximadamente en el sistema aislado mientras que las fuerzas cortantes máximas, disminuyen en promedio de un 37% aproximadamente, en el Sistema Aislado.

### **1.2.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

(Guaygua Quillupangui, 2015) En la tesis titulada “Análisis Experimental y Analítico de Aisladores Elastoméricos” tiene como objetivo principal determinar el comportamiento de tipo de aisladores Elastoméricos mediante un estudio analítico y experimental, ya que su fin es considerarlos como elementos estructurales para dos edificaciones que estarán ubicadas a nivel de planta baja, sin embargo también analiza el comportamiento de un prototipo de aislador elastoméricos con núcleo de plomo fabricado en un ensayo experimental. Y se concluye con lo siguiente; que según la investigación realizada se determinó que los máximos desplazamientos elásticos producidos a causa de los efectos sísmicos, se producen en el sistema de aislamiento, quiere decir que el sistema solo se deforma en la interface ya mencionada; este estudio confirma su hipótesis donde se indica que el aislamiento no trata de incrementar de resistencia o ductilidad, sino más bien de reducir las aceleraciones y velocidades producidas a causa de un evento sísmico.

(Donobhan Presichi, 2007) En la tesis titulada titulada “Aplicación de los métodos estático y dinámico modal para el diseño sísmico de edificios con disipadores de energía” para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Civil; fijó como objetivo principal aprovechar al máximo la capacidad de las estructuras sismorresistentes, según el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004) permite que estas incursionen en su intervalo de comportamiento inelástico; lo cual, esto implica que se acepte cierto nivel de daño estructural que, en el caso de sismos intensos, puede llevar a reparaciones costosas por lo que en esta tesis de utilizan disipadores de energía que se basan en la deformación plástica del acero, por lo que enseguida se hace una breve revisión de los más conocidos y utilizados en México. Y se concluye con lo siguiente, la ventaja de los métodos aquí aplicados es que toman como base los espectros. Esto hace que los ingenieros que están acostumbrados a usar otro método no tengan que seguir un procedimiento complejo cuando diseñen edificios con disipadores de

energía, sino que solamente apliquen factores de reducción a las ordenadas espectrales por la presencia de los disipadores.

(Vidal Guaquil, 2008) En la tesis titulada “Análisis y Diseño de Estructuras con Disipadores de Energía metálicos en base a Criterios de Desempeño” tesis para optar el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles; fijo como objetivo principal el de analizar y diseñar estructuras con disipadores de energía metálicos en base a criterios que aseguren un desempeño deseado en el sistema estructural primario y proponer y evaluar nuevos criterios de distribución de disipadores en altura, que garanticen un diseño cercano a lo óptimo de éstos en el edificio. Lo cual se concluyó de la siguiente manera que los niveles de eficiencia logrados por estos nuevos criterios alcanzan ahorros en promedio de entre un 15% a un 25% en la gran mayoría de los casos diseñados en relación a los criterios tradicionales.

(Reidar Marrs, 2013) In the thesis titled “Seismic Performance Comparison of a fixed – Base versus a Base – Isolated office building”; The purpose of this thesis is to offer a relative understanding of the seismic performance enhancements that a typical 12-story steel office building can achieve through the implementation of base isolation technology. To reach this understanding, the structures of a fixed-base office building and a base-isolated office building of similar size and layout are designed, their seismic performance is compared, and a cost-benefit analysis is completed. To a greater extent, this study demonstrates the feasibility and cost effectiveness of implementing base isolation on tall, flexible, and non-critical structures. As a result of this thesis, building owners and construction industry professionals can recognize the benefits of implementing base isolation on a wider range of projects, thereby creating the potential for a significant increase in the technology’s use; Benefits of Base Isolation: the benefits of implementing base isolation in the 12-story steel office building were clearly shown by the results of this study, including; reduction of floor accelerations and interstory drifts by more than half and improvement of structural seismic performance levels for a significant increase in the use of technology.

### **1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA**

#### **1.3.1. INGENIERÍA SISMORRESISTENTE**

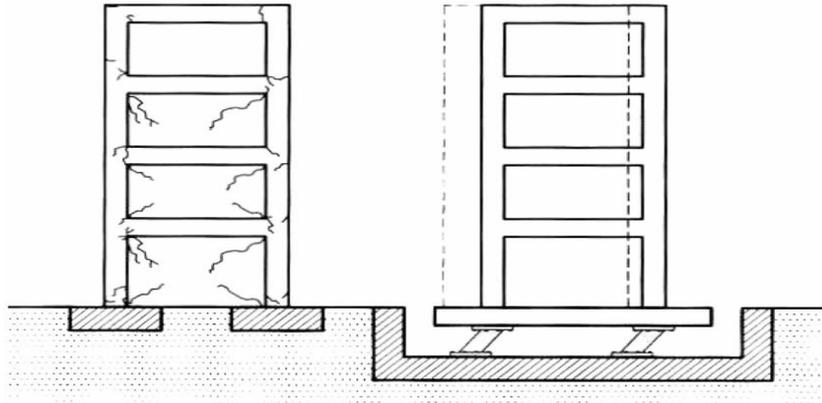
Es una especialidad de la carrera profesional de Ingeniería civil, que se ha ido desarrollando debido a la necesidad de los Ingenieros estructurales que tenían y tienen como prioridad la de minimizar los efectos y consecuencias originadas por la presencia de los sismos.

Sin embargo también podemos decir que es la especialidad que cuyo fin es el de investigar el comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos, consiste en preparar a la estructura cuando se presente este fenómeno natural y así garantizar la necesaria confiabilidad de las estructuras ante la amenaza del sismo.

La Ingeniería Sismorresistente tiene como objetivo el de evitar pérdidas de vidas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños en la estructuras tales como los sostiene el artículo N°3 de la Norma Técnica de Edificación E- 030.

#### Aislamiento sísmico

Según (Korswagen Eguren, y otros, 2012) sostienen que la aislación de edificaciones consiste en colocar una interfase flexible entre el suelo y la estructura de forma que se reduzcan considerablemente las sollicitaciones sísmicas a las que ésta estaría sometida. Así, se puede optar por un diseño con un factor de reducción de fuerza sísmica menor y se puede obtener como resultado una edificación que no sufrirá daños y permanecerá totalmente operativa durante y después de un evento sísmico. Las reducidas aceleraciones también protegen a los elementos no estructurales y a los contenidos de la edificación tal y como lo observamos en la figura N°1.1 que muestra la comparación de la edificación sin aislamiento en la base y la otra con aislamiento.



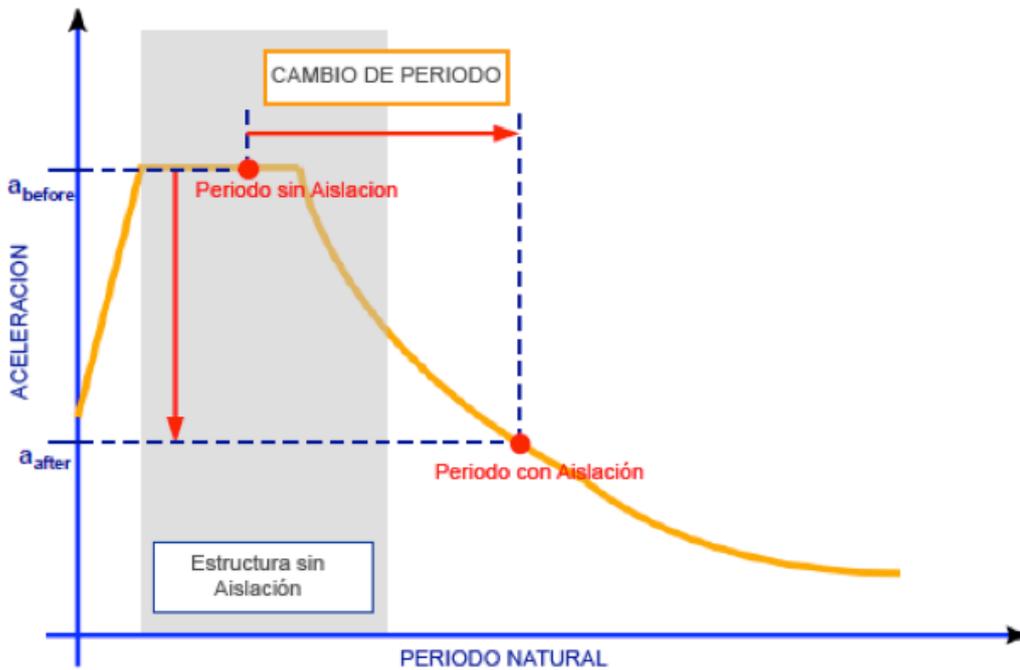
**FIGURA N°1.1:** Aislamiento basal (fuente: CDV)

“El concepto de aislación sísmica ha sido desarrollado desde hace más de 100 años; sin embargo, recién en los últimos 44 años su uso se ha ido incrementando para ser aplicado de forma práctica y sólo en los últimos 20 años su aplicación se ha ido incrementando de forma exponencial por su buen comportamiento en las pocas edificaciones aisladas” (Carmona y Rosas, 2015).

### **1.3.2. AISLADORES SÍSMICOS**

Abarca (2011) comenta lo siguiente; los aisladores cuentan con una elevada rigidez a cargas verticales, pero son flexibles frente a sollicitaciones laterales. Por consiguiente, las fuerzas transmitidas a la estructura por un sismo severo generan desplazamientos del orden de 25 centímetros en la interfase de aislación, pero derivas significativamente menores en la superestructura.

La finalidad del empleo de aisladores sísmicos es disminuir las demandas de aceleraciones y velocidades producidas por un evento sísmico.



**FIGURA N°1.2:** Espectro de respuesta (Fuente: Estructurando.net)

### Tipos de aisladores sísmicos

Tienen como función principal la de disipar energía, ya que estos minimizaran el efectos de los sismos sobre la estructura. Sin embargo podemos decir que son elementos estructurales y son dispositivos que pueden ser de distintas tipos:

- Elastoméricos
- Deslizantes

Los aisladores más usados en Japón, Chile y Perú son los de tipo ELASTOMERICOS.

Y los más conocidos son:

- Goma de alto amortiguamiento (HDR)
- Goma con Núcleo de Plomo (LRB)
- Goma natural (bajo amortiguamiento)

### Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento

Según la (Corporación de desarrollo tecnológico, 2011) se les denomina como LDRB, son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores tipo LDRB presentan bajo amortiguamiento (2-5% como máximo), por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que

proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos dispositivos presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar.

(Corporación de desarrollo tecnológico, 2011) afirma lo siguiente; Los HDRB son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%. Los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDRB y LRB. A su vez, los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga. Estos dispositivos, al igual que los dispositivos tipo LRB, combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser, relativamente, de fácil fabricación.

(Corporación de desarrollo tecnológico, 2011) afirma lo siguiente; los aisladores con núcleo de plomo también denominados LRB son aisladores elastoméricos similares a los LDRB pero poseen un núcleo de plomo, ubicado en el centro del aislador, que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%. Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo se re cristaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico.

### Registros sísmicos

Chávez (2011, p.3) sostiene que; los sismos podemos representarlos con las lecturas de los registros de aceleración del suelo. Estos registros son función de la ubicación (tipo de suelo) del equipo, de la distancia a la fuente, de la atenuación de las ondas y también de los contenidos de frecuencia originados por la fuente sismo génica. Es por ello que los registros sísmicos no pueden mezclarse para analizar una estructura, dicho de otro modo, los registros deben de ser representativos en sus contenidos de frecuencia, tipo de suelo y distancia a la falla, del peligro sísmico que nuestra estructura va a tener. Las aceleraciones en un registro cambian drásticamente por la ubicación y el tipo de suelo. Es por

ello que la estructura analizada debe contar con registros que representen las aceleraciones para la ubicación y el tipo de suelo dado.

#### Historia de los Aisladores Sísmicos

En el último siglo se han buscado diversos mecanismos que sirvan para desacoplar a la estructura del suelo con el objetivo de reducir las fuerzas y como consecuencia los daños.

“Es por ello que el profesor inglés John Milne de la Universidad de Tokyo entre los 1876 y 1895, realizó varios experimentos de aislación sísmica, estos consistían en someter un movimiento sísmico a una estructura aislada sísmica. Los resultados de su primer experimento, fue presentado a la Asociación Británica de Avance de la Ciencia en 1885. Este experimento consistía en un primer momento en colocar a la estructura sobre esferas de deslizamiento de 10 pulgadas de diámetro, pero este no tenía un buen desempeño frente a las cargas de viento, lo cual se llegó a la conclusión después de muchos ensayos que las esferas deberán tener  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Recién para 1996 James M. Kelly dio a conocer tres edificios aislados; lo cuales dos de ellos fueron construidas sobre esferas: un edificio en Sevastopol – Ucrania y un edificio en México; y en tercero fue construida sobre un capa de arena: Observatorio Sismológico de Beijing” (Korswagen Euguren y otros, 2012, p.3).

Países que implementaron el uso de aisladores sísmicos en sus edificaciones:

Según Carmona y Rosas (2015) afirma que:

En 1996 James M. Kelly da a conocer tres ejemplos de los primeros edificios con aislamiento en la base.

En 1992, Eisenberg, hace mención al edificio construido en 1959 en Ashkhabad, Turkmenistán, el cual, estaba suspendido por cables.

En 1969 se construyó el primer edificio aislado con bloques de caucho

Entre 1985 y 1994, durante el boom de la economía japonesa, el número de edificios aislados empezó a incrementarse a razón de 10 edificios por año.

El primer edificio aislado en los Estados Unidos ubicado en el Rancho Cucamonga, Los Ángeles. Este edificio construido a inicios de 1984 y terminado a mediados de 1985 fue hecho sobre aisladores elaborados con caucho de alto amortiguamiento natural.

Por otro lado también nos comenta (Korswagen Eguren, y otros, 2012) que en Estados Unidos el proceso de la elaboración de códigos que incluyeran pautas para el diseño con aisladores sísmicos empezó con una simple publicación de la Asociación de Ingenieros estructurales del Norte de California llamada “Tentative Seismic Isolation Design Requirements” (SEAOC 1986), la cual, se basaba principalmente en el diseño con métodos estáticos. En el año 1990 los miembros del comité sismológico del SEAOC deciden incluir en su “Blue Book”, un apéndice con los requerimientos de “General Requirements for the Design and Construction of Seismic Isolated Structures”. Esta publicación fue considerablemente modificada y se incluyó como un apéndice no obligatorio del capítulo 23 en la versión del año 1991 del UBC (Uniform Building Code) con el nombre de “Earthquake Regulations for Seismic-Isolated Structures”. Tanto el comité sismológico del SEAOC como el del UBC han ido revisando periódicamente sus códigos y han ido actualizándolos (SEAOC 1996, UBC 1994 y 1997). En las últimas versiones el diseño se basa fundamentalmente en el análisis dinámico de las estructuras. Por otro lado, por encargo del Consejo de Seguridad Sísmica para Edificios, se incorporaron los requerimientos para el diseño de estructuras con aislación sísmica y disipación de energía en los requerimientos de NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) en el año 1995.

En el caso de Sudamérica, Chile ha sido uno de los primeros países en incorporar aisladores sísmicos a sus estructuras. Cuenta además con la norma Chilena NCh2745 – 2003 que es el resultado de la adaptación a la realidad chilena del código UBC (Uniform Building Code) del año 1997 y su compatibilización con la norma chilena NCh433.Of1996. Entre los edificios actualmente aislados en Chile se tiene: un bloque del conjunto habitacional Comunidad Andalucía construido entre los años 1991 y 1992 para un estudio hecho por la Universidad Católica de Chile, el centro médico San Carlos de Apoquindo de la Universidad Católica de Chile construido en el año 2000 y el Hospital Militar inaugurado en el año 2008. (Carmona y Rosas, 2015)

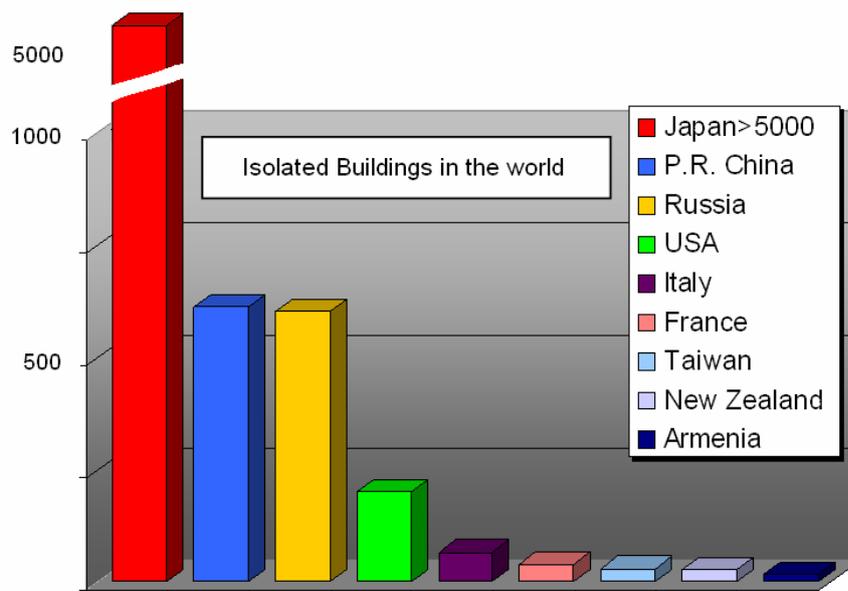
Hasta el año 2011, Japón contaba con más de 2500 construcciones con sistemas de aislación sísmica mientras que Estados Unidos con alrededor de 200. (Abarca et al, .2011).

Actualmente en el Perú este tipo de protección antisísmica ha sido bastante limitado ya que ha sido estudiado en el aspecto económico y esta implementación elevaría el costo del proyecto en un 10% y 18% según la inmobiliaria SISSAC.

### La evolución del uso de aisladores sísmicos a nivel mundial

Presentaremos como se ha incrementado el uso de aisladores sísmicos.

Japón es el país que mayor se ha desarrollado en la implementación de aisladores sísmicos en sus edificaciones y según un estudio realizado se obtuvo que cuenta con 2800 edificios, seguido de Rusia que cuenta con 600 edificaciones y tercero China con 650 edificios” (Martelli, 2009). Cabe resaltar que sus edificaciones aisladas con del tipo de aisladores elastoméricos; la mayoría de alto amortiguamiento.



**FIGURA 1.3** Número **total** de edificios aislados sísmicamente completado en octubre de 2008 en los países en que la mayor parte utilizando los sistemas y dispositivos sísmicos. (Martelli, 2009)

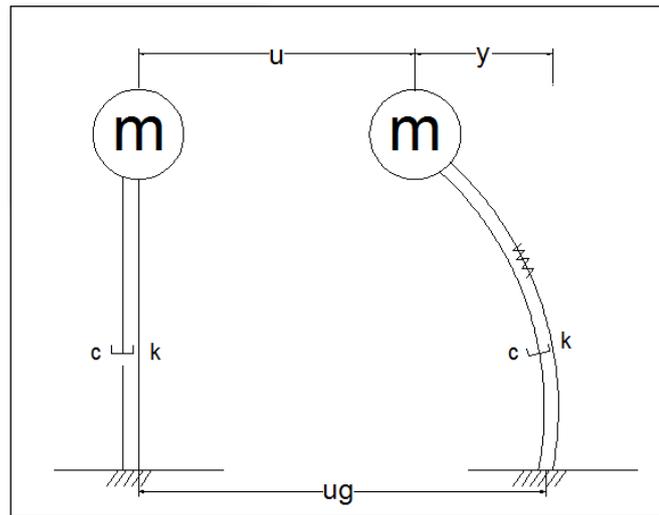
### Uso de aisladores sísmicos en el Perú

- Edificio del centro de Información e Investigación FIC- UNI
- Nueva Sede de Graña y Montero (G&M)
- Campus Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC)

- Hospital II – Santa GEMA DE YURIMAGUAS
- Edificio multifamiliar Madre

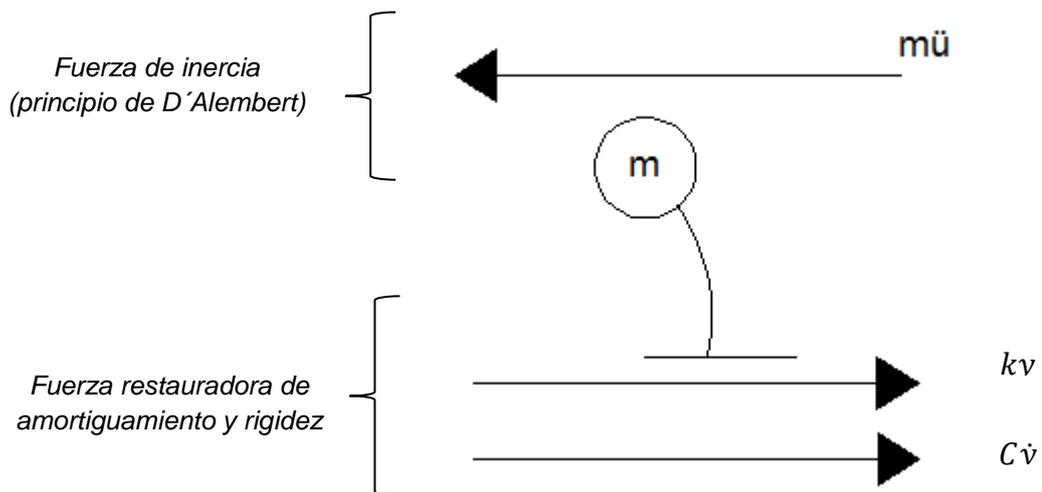
### 1.3.3. SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD (1GDL)

Se considera el siguiente sistema de un grado de libertad con un desplazamiento en la base “ $\mu_g$ ” (Moscoso, 2015):



**FIGURA N° 1.4:** Diagrama de cuerpo libre (fuente: propia)

El sistema tiene masa “ $m$ ”, constante de amortiguamiento “ $C$ ” y rigidez lateral “ $k$ ”. Realizando un diagrama de cuerpo libre, se tiene:



**FIGURA N°1.5:** Diagrama de cuerpo libre  
fuente: propia, 2017

Aplicando el Equilibrio Dinámico:  $ky + C\dot{y} = m\ddot{u}$

Pero de la gráfica:  $\ddot{u} = \ddot{u}_g - \ddot{y}$  ; reemplazando:

$$ky + C\dot{y} = m(\ddot{u}_g + \ddot{y})$$

Ordenando:

$$m\ddot{y} + ky + C\dot{y} = m\ddot{u}_g$$

Donde:

$y$  : Desplazamiento relativo con respecto a la base

Podemos observar que la ecuación de movimiento tiene función la aceleración en la base, pero la necesitamos en función de una propiedad dinámica.

Dividiendo entre la masa:

$$\ddot{y} + \frac{c}{m}\dot{y} + \frac{k}{m}y = \ddot{u}_g$$

Dónde:  $C = 2\beta m\omega$ ;  $\beta$ : relación de amortiguamiento y  $\frac{k}{m} = \omega^2$  ;  $\omega$ : frecuencia angular.

Pero:  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$\ddot{y} + 4\frac{\beta m}{T}\dot{y} + \frac{2m}{T}y = \ddot{u}_g$$

Entonces se tiene la ecuación de movimiento en la cual al variar el periodo se podrá resolver.

Solución a la Ecuación de Movimiento:

La solución de la ecuación de movimiento tiene la siguiente forma:

$$y_p = y_p(t) + y_h(t)$$

Donde:

$y_h$ : Solución homogénea (vibración libre)

$y_p$ : Solución particular

$y(t)$ : Solución de la ecuación de Movimiento

Una de las formas de obtener la solución particular está dada por la integral Duhamel.

$$Y_p(t) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{u}_G(\tau) e^{-\beta\omega(t-\tau)} \text{sen } \omega_D(t-\tau) d\tau$$

Donde:

$\omega$ : Frecuencia angular considerando un sistema amortiguado

$\tau$  : Instante de tiempo donde se produce una serie de pequeños impulsos

La solución homogénea será:

$$Y_h = e^{-\beta\omega(t-\tau)}(A \cos \omega_D t + B \text{sen } \omega_D t)$$

Donde A y B son constantes que dependen de las condiciones iniciales, la solución completa será:

$$y = \underbrace{\left( e^{-\beta\omega t} (A \cos \omega_D t + B \text{sen } \omega_D t) \right)}_{\substack{\text{Solución General de la} \\ \text{vibración libre amortiguada o} \\ \text{solución } \textit{transitoria}}} + \underbrace{\left( -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{u}_G(\tau) e^{-\beta\omega(t-\tau)} \text{sen } \omega_D(t-\tau) d\tau \right)}_{\substack{\text{Solución Particular o} \\ \text{estacionaria o } \textit{permanente}}}$$

La integral de Duhamel debe ser evaluada por métodos numéricos por tener solución analítica para un grupo muy limitado de funciones  $\ddot{u}_G$ ; los métodos numéricos también pueden ser aplicados a la ecuación de movimiento directamente, casos como Newmark, Wilson, diferencias centrales, etc.

A la solución de este procedimiento en el cual se resolverá la ecuación de movimiento paso a paso, comenzando en el tiempo cero, se le conoce como análisis dinámico tiempo-historia.

### Espectro de Respuesta:

Cada sismo tiene características particulares, como lo son los de Perú con respecto a otros países, sobre todo en su contenido de frecuencias, pues es útil saber cómo se amplifica un sismo en determinadas frecuencias.

Las estructuras tienen frecuencias de vibración intrínsecas que pueden ser excitadas mayor por el sismo si este trae más energía en dicho rango.

Una forma de apreciar el contenido de frecuencias de un sismo, pero en función de los periodos, a través de su registro de aceleraciones, es calculando su espectro de respuesta.

El espectro de respuesta es el lugar geométrico de las máximas respuestas de un sistema de 1GDL sometido a la excitación de un sismo en la base.

Al derivar una y dos veces el  $y_t$ , que era la solución de la ecuación de movimiento, obtenemos la velocidad y aceleración en toda su historia del tiempo, respectivamente.

Así tendremos:

$$S_d(T, \beta) = |y(t)|_{m\acute{a}x}; \text{ (espectro de desplazamiento relativo)}$$

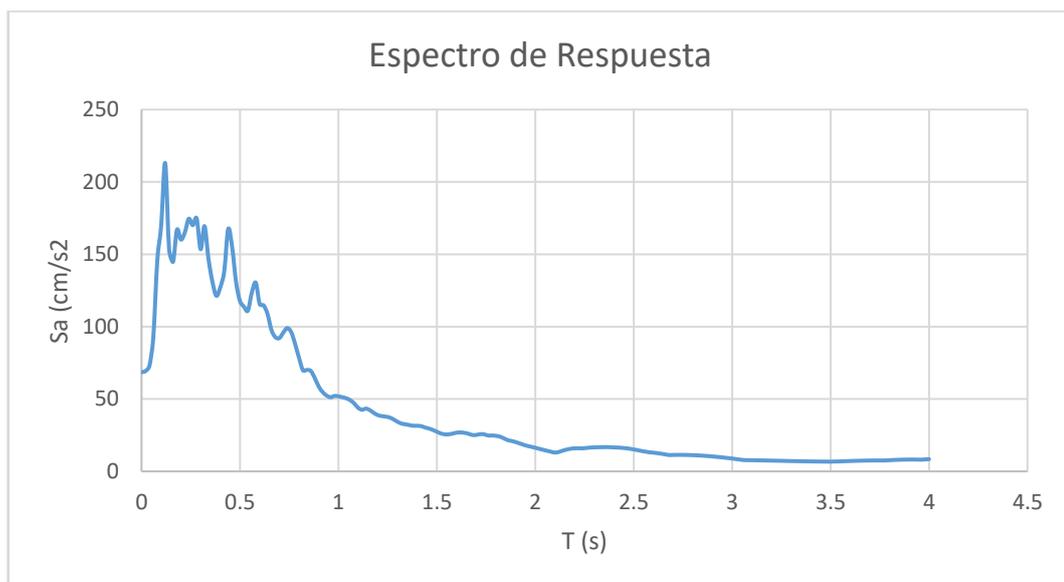
$$S_v(T, \beta) = |\dot{y}(t)|_{m\acute{a}x}; \text{ (espectro de velocidad relativa)}$$

$$S_a(T, \beta) = |\ddot{y}(t) + \ddot{u}_g(t)|_{m\acute{a}x}; \text{ (espectro de aceleración absoluta)}$$

Además:

$$S_v : \omega S_d$$

$$S_a : \omega^2 S_d$$



**FIGURA N°1.6:** Espectro de Respuesta del Sismo\_03 de octubre de 1974 (fuente: propia)

### 1.3.4. SISTEMA DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD

#### 1.3.4.1. MOVIMIENTO EN LA BASE DEBIDO A LA EXCITACIÓN SÍSMICA

Consideramos dos grados de Libertad (2GDL):

Realizando diagrama de cuerpo libre en cada masa

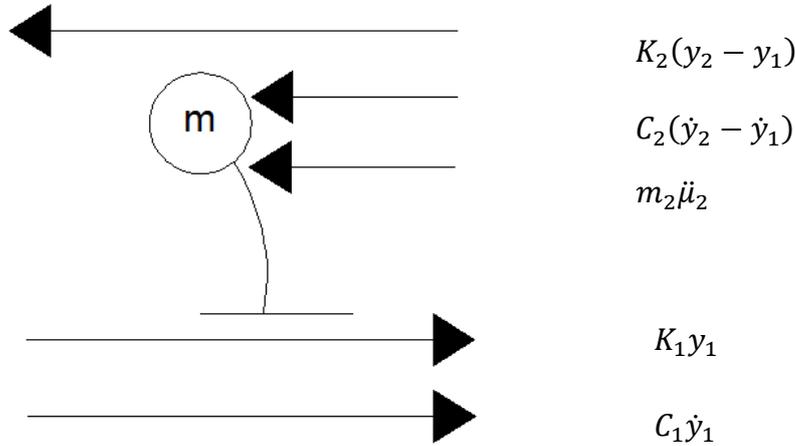
Equilibrio:

$$C_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + K_2(y_2 - y_1) = m_2\ddot{u}_2$$

Ordenando:

$$C_2\dot{y}_2 - C_2\dot{y}_1 + K_2y_2 - K_2y_1 = m_2\ddot{\mu}_2 \quad (i)$$

También:



**FIGURA N°1.9:** Diagrama de Cuerpo libre para 2 GDL (Fuente: propia)

Equilibrio:

$$K_1y_1 + C_1\dot{y}_1 = K_2(y_2 - y_1) + C_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + m_1\ddot{\mu}_1$$

Ordenando:

$$(K_1 + K_2)y_1 - K_2y_2 + (C_1 + C_2)\dot{y}_1 - C_2\dot{y}_2 = m_1\ddot{\mu}_1 \quad (ii)$$

De la gráfica:

$$\mu_2 = \mu_g - y_2 \quad ; \quad \mu_1 = \mu_g - y_1$$

$$\ddot{\mu}_2 = \ddot{\mu}_g - \ddot{y}_2 \quad ; \quad \ddot{\mu}_1 = \ddot{\mu}_g - \ddot{y}_1$$

Reordenando (i) y (ii)

$$m_1\ddot{y}_1 + (K_1 + K_2)y_1 - K_2y_2 + (C_1 + C_2)\dot{y}_1 - C_2\dot{y}_2 = m_1\ddot{\mu}_g$$

$$m_2\ddot{y}_2 - K_2y_1 + K_2y_2 - C_2\dot{y}_1 + C_2\dot{y}_2 = m_2\ddot{\mu}_g$$

Matricialmente:

$$\begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 \\ -K_2 & K_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} C_1 + C_2 & -C_2 \\ -C_2 & C_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \ddot{\mu}_g$$

Generalizando:

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = M\ddot{\mu}_g$$

“Ecuación de movimiento para una excitación sísmica en la base para un sistema de varios grados de libertad”.

Si consideramos vibración libre y no amortiguamiento:

$$M\ddot{y} + Ky = 0$$

Si consideramos una solución de la forma:

$$Y = \begin{Bmatrix} X_1 \text{Sen}(\omega t + \phi) \\ X_2 \text{Sen}(\omega t + \phi) \end{Bmatrix} = X \text{Sen}(\omega t + \phi)$$

$$\dot{Y} = \omega X \text{Cos}(\omega t + \phi)$$

$$\ddot{Y} = -\omega^2 X \text{Sen}(\omega t + \phi)$$

Reemplazando:

$$-MX(\omega^2 \text{Sen}(\omega t + \phi)) + KX(\text{Sen}(\omega t + \phi)) = 0$$

$$\rightarrow (K - \omega^2 M)X = 0 \quad ; \quad X \neq 0$$

$$\therefore |K - \omega^2 M| = 0 \quad \text{“Ecuación característica”}$$

De la ecuación característica podemos obtener  $\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$ ; para los “n” grados de libertad del sistema, y al retornar a  $(K - \omega^2 M)X = 0$  obtendremos los  $X_i$ , que serán la forma de nodo o nodos de vibración para los “n” grados de libertad del sistema.

### 1.3.5. SUPERPOSICIÓN MODAL ESPECTRAL

De la ecuación de movimiento para una excitación sísmica en la base, consideraremos la siguiente solución.

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i(t)X_i$$

$$\dot{Y} = \sum_{i=1}^n \dot{a}_i(t)X_i$$

$$\ddot{Y} = \sum_{i=1}^n \ddot{a}_i(t)X_i$$

Reemplazando en la ecuación de movimiento:

$$M(\sum \ddot{a}_i X_i) + C(\sum \dot{a}_i X_i) + K(\sum a_i X_i) = MI \ddot{\mu}_g$$

Multiplicando  $X_i^T$  y aplicando:

$$X_i^T M X_j = 0 \quad ; \quad \text{Si } i \neq j$$

$$X_i^T M X_i = 0 \quad ; \quad \text{Si } i = j$$

Entonces quedará:

$$X_i^T M X_i \ddot{a}_i + X_i^T C X_i \dot{a}_i + X_i^T K X_i a_i = X_i^T M I \ddot{\mu}_g$$

En el cual se ha desacoplado a “n” ecuaciones diferenciales, dando forma:

$$\ddot{a}_i + \frac{X_i^T C X_i}{X_i^T M X_i} \dot{a}_i + \frac{X_i^T K X_i}{X_i^T M X_i} a_i = \frac{X_i^T M I}{X_i^T M X_i} \ddot{\mu}_g$$

Pero:

$$\omega_i^2 = \frac{X_i^T K X_i}{X_i^T M X_i} = \left( \frac{2\pi}{T_i} \right)^2$$

$$2\omega_i \beta = \frac{X_i^T C X_i}{X_i^T M X_i}$$

Y definimos:

$$\Gamma_i = \frac{X_i^T M I}{X_i^T M X_i} \left. \vphantom{\frac{X_i^T M I}{X_i^T M X_i}} \right\} \text{Factor de participación estática o de masa}$$

Nos quedaría:

$$\ddot{a}_i + 2\omega_i \beta \dot{a}_i + \omega_i^2 a_i = \Gamma_i \ddot{\mu}_g$$

“Ecuación de movimiento desacoplada para “n” grados de libertad”

De igual manera podemos observar que esta depende del  $\beta$  y  $\omega_i$ , este último es la inversa del período  $t_i$  por una constante, además  $\beta$  es constante para las estructuras de la presente investigación, entonces la solución de esta depende

del  $t_i$ , el cual le corresponderá un  $\Gamma_i$ , estos serán los que podemos tenerlos en un espectro de respuesta como en un sistema de 1GDL.

Podemos observar que en cuanto la edificación sea más flexible, la demanda será menor y justamente los aisladores sísmicos son altamente flexibles, convenientemente haciendo que la demanda sea menor.

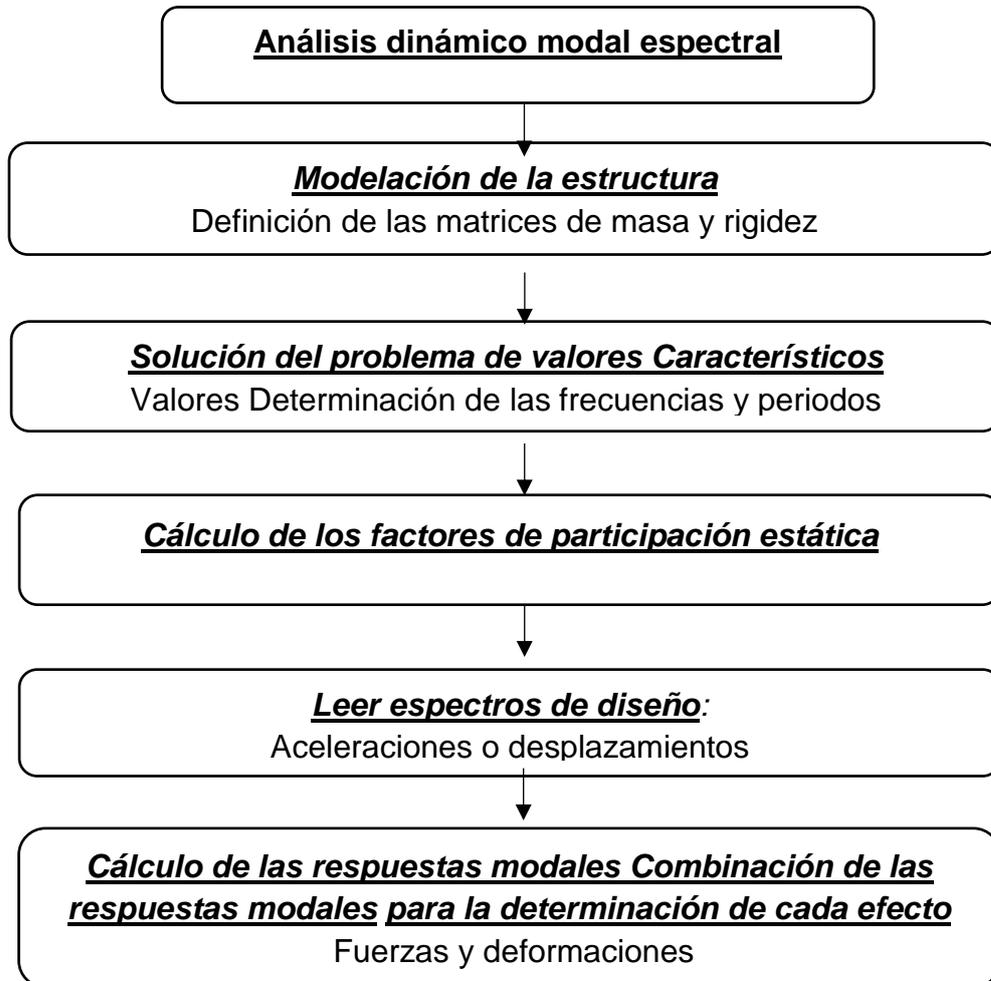


FIGURA N°1.10: Mapa conceptual del AME (Pique, 1991)

## 1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.4.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo determinar el análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura?

#### **1.4.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo determinar la respuesta sísmica de las edificaciones mediante el análisis dinámico tiempo-historia con y sin el empleo de aisladores sísmicos?
- ¿Cómo realizar la comparación de respuestas y periodos, obtenidos en la modelación sísmica de las edificaciones con y sin el uso de aisladores sísmicos?
- ¿Cómo verificar si el uso de un registro sísmico modifica el patrón de la disminución de la demanda sísmica con y sin aisladores?

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

La presente investigación se fundamentó en el deseo de conocer con criterio científico: Cómo el análisis sísmico comparativo en edificaciones de altura con y sin aisladores sísmicos determinará el empleo de este tipo de protección antisísmica.

Los resultados de este proyecto de investigación tienen la finalidad de dar a conocer cuándo deja de ser viable el empleo de aisladores sísmicos en edificaciones de altura ya que no contamos con una normativa en la Norma Técnica de Edificaciones donde especifique hasta que cantidad de niveles es recomendable el empleo de aisladores sísmicos.

#### **1.6. OBJETIVOS**

##### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la respuesta sísmica de las edificaciones mediante el análisis dinámico tiempo-historia con y sin el empleo de aisladores sísmicos.

##### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la respuesta sísmica de las edificaciones mediante el análisis dinámico tiempo-historia con y sin el empleo de aisladores sísmicos.
- Realizar la comparación de respuestas y periodos, obtenidos en la modelación sísmica de las edificaciones con y sin el uso de aisladores sísmicos.
- Verificar si el uso de un registro sísmico modifica el patrón de la disminución de la demanda sísmica con y sin aisladores.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. REGISTROS SÍSMICOS

#### 2.1.1. REGISTROS SÍSMICOS DE REDACIS

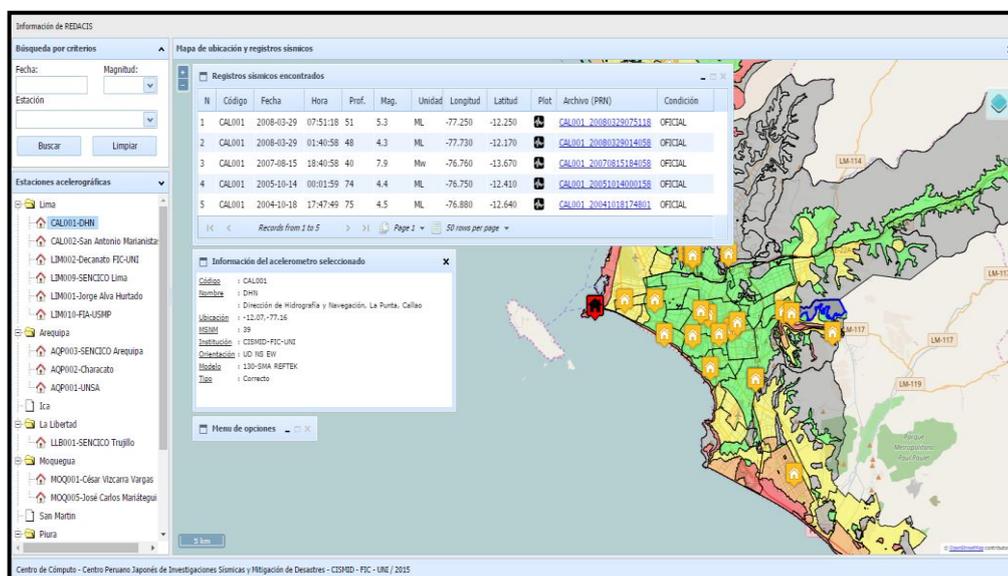


FIGURA N°1.11: Registros Sísmicos (fuente: REDACIS)

Para obtener los registros sísmicos ocurridos en el Perú; es necesario tener redes acelerográficas. Pese a ello el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) que se encuentra ubicado en la Universidad Nacional de Ingeniería cuenta con ello; ya es una herramienta principal para las investigaciones.

*“La Red Nacional de acelerógrafos; como ya líneas arriba se mencionó CISMID FIC-UNI, REDACIS, se encuentra actualmente activa proporcionando a nivel nacional registros sísmicos presentados en sus diferentes Estaciones Acelerográficas ordenadas por las principales ciudades y con mayor actividad sísmica. La REDACIS contiene por cada registro, 3 componentes, 2 horizontales y 1 vertical” (Moscoso, 2017).*

Los acelerógrafos están ubicados a nivel de terreno natural, por lo que este será considerado para el análisis de los registros sísmicos y el análisis Tiempo-Historia que se realizará más adelante.

### 2.1.2. SELECCIÓN DE REGISTRO A UTILIZAR

Se realizará para un tipo de suelo 1 (S1) que tienen como definición en la Norma E030 de SUELOS MUY RIGIDOS.

Se seleccionará 1 registro sísmico que es del año 1974.

SISMO				PGA	
REGISTRO	FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD	PQ RESERVA (S1)	
				EO	NS
1	3-Oct-74	6.6 mb	13.00 km	194.21	180.09

**Tabla N°2.1:** PGA de sismo en suelo (fuente propia según REDACIS)

## 2.2. TRATAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS

Los registros sísmicos presentan errores en su lectura; los más importantes que pueden afectar en el análisis son dos: Según su línea base y filtrado de señales es por ello que debemos corregirlo y la solución es la de realizarlo mediante un tratamiento de los registros.

### 2.2.1. CORRECCIÓN DEL REGISTRO POR LÍNEA BASE

Esto ocurre cuando el acelerómetro no está nivelado y este se encuentra fuera de la línea cero de aceleración y que por ese motivo, el registro contiene errores, aunque este error sea inapreciable en aceleración, puede ser muy importante cuando se obtienen las velocidades y las aceleraciones tal y como se muestra en la figura 2.1. y esto conllevaría a una mala toma de datos generados por este error.

La corrección por línea base se realizará en la herramienta computacional SeismoSignal versión 2016 educacional, que, según su información de ayuda, se determina a través de un análisis de regresión (método de ajuste de mínimos cuadrados), ajustando pares de aceleración a una curva polinómica. Los registros sísmicos seleccionados, se corregirán por línea base según una curva polinómica cúbica.

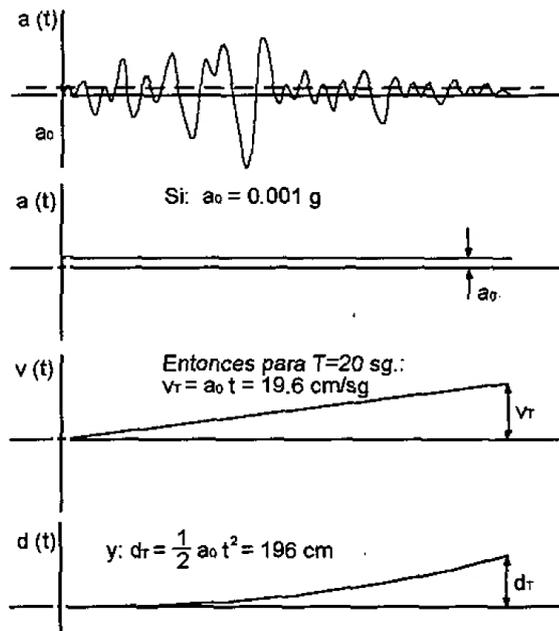


FIGURA N°2.1: Error en acelerograma según su línea base de ceros (Hudson, 1979)

## 2.2.2. CORRECCIÓN DEL REGISTRO POR FILTRADO DE SEÑALES

Al registrar las aceleraciones de un evento sísmico, existen ruidos, o sea, señales que no corresponden a las del sismo, esto puede darse por fenómenos naturales, como por el tratamiento de los datos.

Así, puede considerarse la siguiente expresión:

$$a(t) = X_{0(t)} + X_{R(t)}$$

$a'(t)$ : Aceleración sin corrección

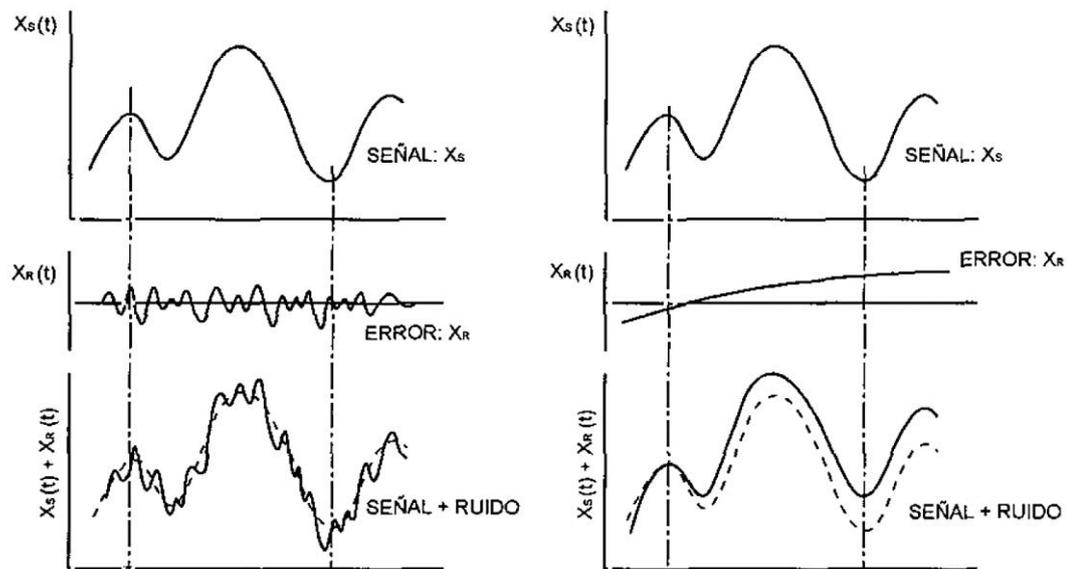
$X_{0(t)}$ : Aceleración sin ruidos (señal sísmica)

$X_{R(t)}$ : Aceleración del ruido (señal no sísmica)

El ruido que afecta al acelerograma puede ser de 2 tipos de acuerdo a su ubicación según la banda de frecuencias que se considere en el registro sísmico (Carreño E., Bravo B):

- ✓ **Ruido de alta frecuencia:** Este tipo de ruido afecta a las aceleraciones máximas principalmente pero poco el proceso de integración. Estas se encuentran por debajo de la banda de frecuencias. Para el presente estudio se considerará frecuencias menores de 0.10 Hz.
- ✓ **Ruido de baja frecuencia:** Este tipo de ruido afecta el proceso de integración principalmente. Estas se encuentran por encima de la banda

de frecuencias. Para el presente estudio se considerará frecuencias mayores a 25 Hz.



**Figura N°2.2:** Frecuencia (Hudson 1979)

La corrección por filtrado de señales (frecuencias) se realizará en la herramienta computacional SeismoSignal versión 2016 educacional, que, según su información de ayuda, se determina eliminando frecuencias que sean mayores o menores que las definidas por el usuario. Este tratamiento lo realiza mediante los filtros de Butterworth, Chebyshev y Bessel. Se usará el filtro Butterworth, que presenta una respuesta máxima plana en la banda de paso (es decir, prácticamente ninguna desviación de la unidad), aunque a costa de una menor pendiente (en comparación de un filtro Chebyshev del mismo orden).

## 2.3. NORMALIZACIÓN DE REGISTRO SÍSMICO

### 2.3.1. FACTOR DE ESCALA DE REGISTRO SÍSMICO

Los registros sísmicos se escalarán mediante un Factor de Escala (FE) de tal manera que se ajuste sus espectros de respuesta de pseudoaceleración con un espectro de respuesta objetivo.

Al tener espectros de respuesta de pseudoaceleración en la dirección E-O y N-S, entonces obtendremos un “espectro de respuesta promedio” el cual se ajustará al objetivo. Este espectro de respuesta promedio ( $Sa_{prom}$ ) será la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de las ordenadas de los espectros de

respuesta en ambas direcciones de nuestro registro sísmico, según la norma ASCE 7-10:

$$Sa_{prom} = \sqrt{S_{EW}^2 + S_{NS}^2}$$

El espectro de respuesta objetivo, será el espectro de diseño que se obtiene para una estructura de acuerdo a la Norma E.030 “Diseño Sismorresistente” (SENCICO, 2016).

Consideraremos un parámetro “ $\delta$ ”, el cual nos representará el ajuste entre espectros. De acuerdo a lo aplicado por (Lervolino, 2011), usaremos la siguiente expresión:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Sa_j(T_i) - Sa_{target}(T_i)}{Sa_{target}(T_i)} \right)^2}$$

Donde:

$Sa_j(T_i)$ : Pseudoaceleración del espectro promedio.

$Sa_{target}(T_i)$ : Pseudoaceleración del espectro objetivo (diseño).

N: Número de puntos de los espectros.

De acuerdo a lo anterior, el Factor de Escala (FE), deberá ser el mismo para ambas direcciones del registro sísmico, así como el parámetro de ajuste ( $\delta$ ):

$$FE_{E-W} = FE_{N-S} = FE$$

$$\delta_{E-W} = \delta_{N-S} = \delta$$

Como los espectros están en función del periodo de la estructura, ajustaremos los espectros de respuesta reales al objetivo dentro de un rango de ajuste de periodos que dependerán de la estructura según la norma ASCE 7-10 (SEI):

Sean  $T_1^X$ ,  $T_1^Y$  los periodos fundamentales en las principales direcciones, entonces, el rango de ajuste de periodos será:  $[T_{min} \sim T_{max}]$ .

Donde:

$T_{min}$ : El menor valor entre  $0.2 T_1^X$  y  $0.2 T_1^Y$ .

$T_{max}$ : El mayor valor entre  $1.5 T_1^X$  y  $1.5 T_1^Y$ .

Para estructuras simétricas en ambas direcciones, tenemos que  $T_1^X = T_1^Y = T_1$ , entonces,  $T_{min} = 0.2 T_1$  y  $T_{max} = 1.5 T_1$ .

Así, por ejemplo, obtendremos el parámetro de ajuste para el registro seleccionado para una estructura regular de 18 niveles con periodo fundamental  $T_1=1.755$  s

De la Norma E.030, existen los parámetros para el espectro de diseño (espectro objetivo):

- Z** = 0.45 (Zona 4)
- U** = 1 (Uso común)
- S** = 1 (Suelo muy rígido)
- R** = 8 (Pórticos de Concreto Armado)

$$S_{a_{objetivo}} = \frac{ZUSC}{R} \times g$$

Donde:

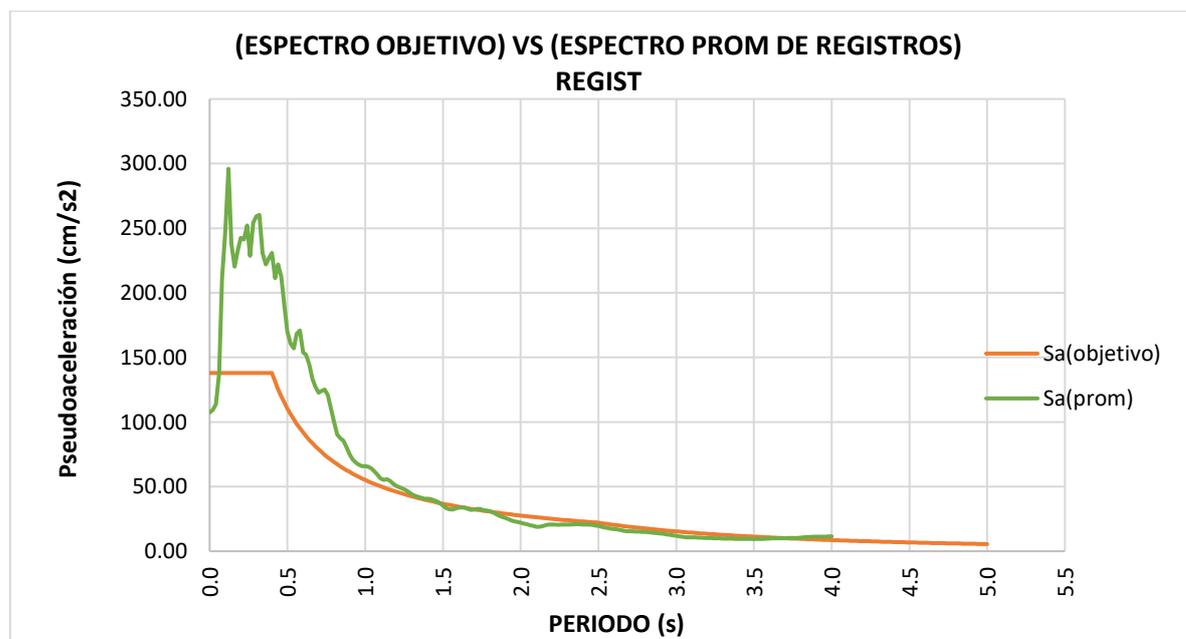
$$C = 2.5; T < T_p$$

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right); Si T_p < T < T_L$$

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right); Si T > T_L$$

Además:

$$T_{min} = 0.2 (1.755) = 0.351s \text{ y } T_{max} = 1.5(1.755) = 2.6325$$



**FIGURA N°2.3:** Espectro promedio del registro ajustado al espectro objetivo (fuente: propia)

Se obtiene el parámetro de ajuste ( $\delta$ ) y el factor de escala (FE):

$$\delta = 0.226$$

$$FE = 0.41$$

El registro que se seleccionó se escalará 0.41 veces, para poder obtener una respuesta de la estructura representativa en un análisis.

Finalmente esto se realizará para las estructuras de distinta cantidad de niveles.

NIVELES	PERIODO		FACTOR DE ESCALA
	$t_{min}$	$t_{max}$	FE
15	0.301	2.2575	0.4
18	0.351	2.6325	0.41
20	0.3852	2.889	0.43
25	0.511	3.8325	0.45
30	0.571	4.2825	0.43
40	0.775	5.8125	0.41
50	0.965	7.2375	0.38

Tabla N° 2.3: Factores de Escala (fuente propia)

#### 2.4. SISTEMA DE AISLAMIENTO A USAR

Para el diseño de aisladores es preciso saber las propiedades de estos; este es de acuerdo al peso de la estructura; es por ello que se empleará distintos aisladores para cada estructura.

Se obtendrá características no lineales de los aisladores para realizar un análisis tiempo-historia no lineal.

Se ha propuesto que la relación de altura ( $h_t$ ) y base de la edificación (B) sea aproximadamente 2.5m, este siendo un valor máximo y recomendado por proveedores.

El tipo de aislador se seleccionó con respecto a la carga de la estructura en guía del catálogo DIS; empresa encargada del diseño de aisladores sísmicos según lo; como lo detallaremos a continuación:

Isolator Diameter, $D_i$ (mm)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, $D_{max}$ (mm)	Axial Load Capacity $P_{max}$ (kN)
	Yielded Stiffness, $K_d$ (kN/mm)	Characteristic Strength $Q_d$ (kN)	Compression Stiffness, $K_v$ (kN/mm)		
305	0.2-0.4	0-65	>50	150	450
355	0.2-0.4	0-65	>100	150	700
405	0.3-0.5	0-110	>100	200	900
455	0.3-0.7	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-0.7	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-0.9	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-1.1	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-1.4	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-1.6	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-1.6	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-1.8	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-1.9	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-2.0	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-2.0	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-2.1	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-2.1	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-2.3	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-2.5	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-2.5	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-2.5	0-1,025	>6,500	910	40,000

FIGURA N°2.4: Propiedades de Aisladores Sísmicos (Fuente: Catálogo DIS)

Es por ello que debemos hacer mención a algunos conceptos que son necesarios para el pre- diseño de aisladores sísmicos.

Desplazamiento de diseño ( $D_d$ ): es del desplazamiento calculado para el sismo de diseño excluyendo los desplazamientos adicionales por torsión.

Desplazamiento total de diseño ( $D_{td}$ ): es la que incluye a los desplazamientos anteriores más los de por torsión.

Desplazamientos totales máximos ( $D_{tm}$ ) : es el desplazamiento máximo causado por un sismo máximo esperado posible de incluir torsión.

Desplazamientos máximos ( $D_m$ ):se define como el desplazamiento de un sismo creíble máximo esperado, donde no incluye torsión.

Amortiguamiento efectivo ( $\beta_{efec}$ ): es el valor del amortiguamiento viscoso equivalente a la energía disipada.

Rigidez efectiva ( $k_{efec}$ ) se refiere al valor de la fuerza lateral en el sistema de aislamiento dividido entre el desplazamiento lateral correspondiente.

## 2.4.1. ELECCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AISLADORES SÍSMICOS

### ✓ ESTRUCTURA DE 18 NIVELES ( $h_T = 54 m$ )

Carga de la estructura= 231.13 ton

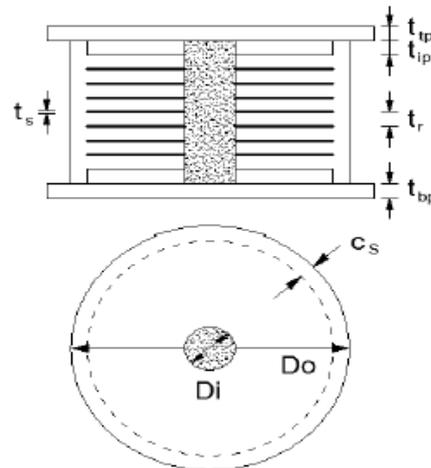
Carga del aislador = 270 ton

Peso de la estructura es 8320.50 ton

Cantidad de aisladores será de 36 (Según la cantidad de columnas en la base)

**CUADRO N°2.4:** Propiedades de aisladores

DESCRIPCIÓN		DATO	UNIDAD
Diámetro Exterior	$D_o =$	65	cm
Diámetro Interior	$D_i =$	10.25	cm
N° de capas de Goma	c. de goma	28	und
espesor capa goma	$t_r =$	0.5	cm
espesor de la capa acero	$t_s =$	0.2	cm
long placa cuadrada	$L =$	70	cm
espesor placa	$t =$	3.2	cm
numero pernos	N pernos	8	und
diametro de perno	$\emptyset$ perno	2.7	cm
<b>Altura total H</b>		29.25	cm
$T_r = \sum t_r =$		14	cm
$H =$		25.8	cm



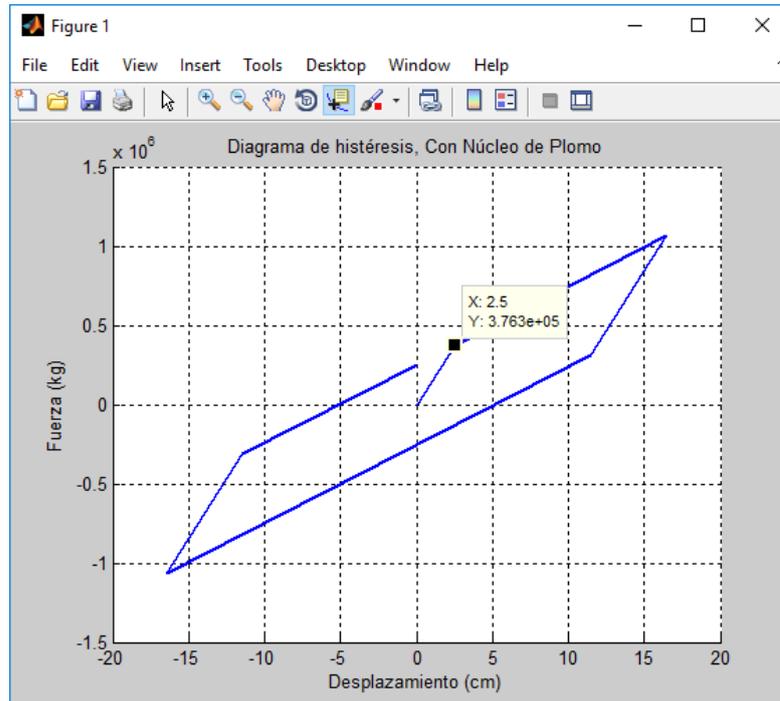
**FIGURA N°2.5:** Ubicación gráfica de las propiedades del aislador (fuente: CDV)

**Propiedades dinámicas:**

**CUADRO N°2.5:** Valores obtenidos del MATLAB

PROPIEDADES DINAMICAS	UNIDADES	SEGÚN ESPECTRO
		NORMA E-030 SISMO DISEÑO
q=	cm	16.479
A plomo=	cm <sup>2</sup>	82.516
A=	cm <sup>2</sup>	3318.315
Qd=	Tn	252.500
Kd=	Tn/m	137.522
ke=	Tn/m	418.083
Fy=	Tn	10.452
Kef=	Tn/m	180.083
Beta efec=	%	12.760
B=		5.273
T efec=	seg	2.274
RATIO		0.329

**Diagrama de histéresis:**



**FIGURA N°2.6:** Ubicación gráfica de las propiedades del aislador (fuente: CDV)

✓ **ESTRUCTURA DE 20 NIVELES** ( $h_T = 60 m$ )

Carga de la estructura= 255.10 ton

Carga del aislador = 270 ton

Peso de la estructura es 12500 Ton

Cantidad de aisladores será de 49 (Según la cantidad de columnas en la base)

**CUADRO N°2.6:** Propiedades de aisladores

DESCRIPCIÓN		DATO	UNIDAD
Diámetro Exterior	Do=	65	cm
Diámetro Interior	Di=	10.25	cm
N° de capas de Goma	c. de goma	28	und
espesor capa goma	tr=	0.5	cm
espesor de la capa acero	ts=	0.2	cm
long placa cuadrada	L=	70	cm
espesor placa	t=	3.2	cm
numero pernos	N pernos	8	und
diámetro de perno	Ø perno	2.7	cm
	<b>Altura total H</b>	29.25	cm
	Tr=Σtr=	14	cm
	H=	25.8	cm

**Propiedades dinámicas:**

**CUADRO N°2.7:** Valores obtenidos del MATLAB

PROPIEDADES DINAMICAS	UNIDADES	SEGÚN ESPECTRO
		NORMA E-030
		SISMO DISEÑO
		LB
q=	cm	17.346
A plomo=	cm <sup>2</sup>	82.516
A=	cm <sup>2</sup>	3318.315
Qd=	Tn	343.680
Kd=	Tn/m	137.520
ke=	Tn/m	418.082
Fy=	Tn	10.452
Kef=	Tn/m	177.955
Beta efec=	%	12.380
B=		5.225
T efec=	seg	2.403
RATIO		0.329

## Diagrama de histéresis:

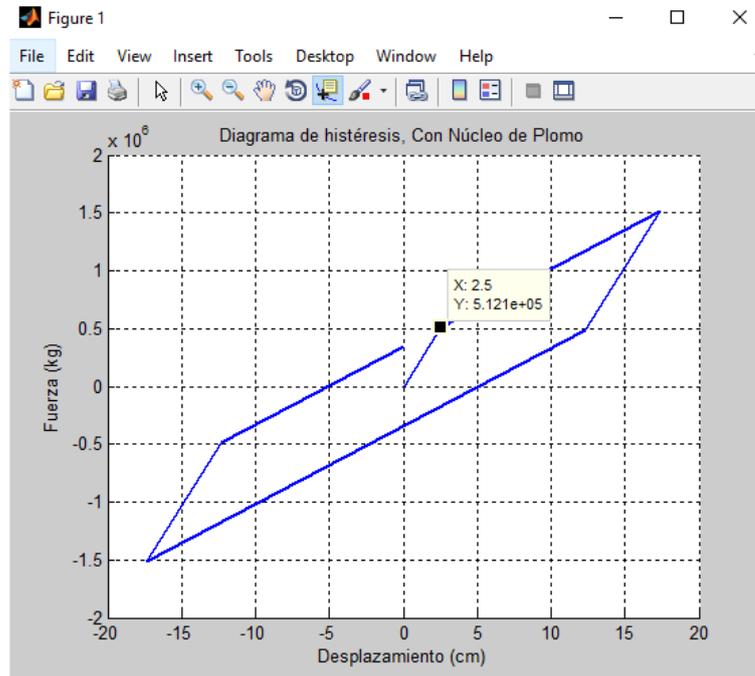


FIGURA N°2.7: Ubicación gráfica de las propiedades del aislador (fuente: CDV)

### ✓ ESTRUCTURA DE 25 NIVELES ( $h_T = 75 \text{ m}$ )

Carga de la estructura= 351.56 ton

Carga del aislador = 400 ton

Peso de la estructura es 22500 ton

Cantidad de aisladores será de 64 (Según la cantidad de columnas en la base)

CUADRO N°2.8: Propiedades de los aisladores

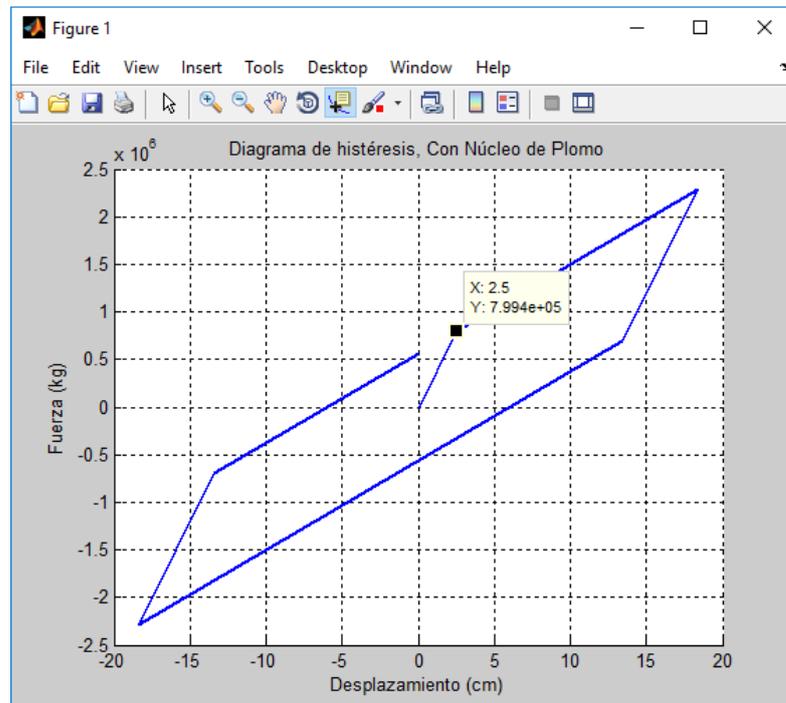
DESCRIPCIÓN		DATO	UNIDAD
Diámetro Exterior	Do=	80	cm
Diámetro Interior	Di=	11.5	cm
N° de capas de Goma	c. de goma	40	und
espesor capa goma	tr=	0.5	cm
espesor de la capa acero	ts=	0.2	cm
long placa cuadrada	L=	85	cm
espesor placa	t=	3.2	cm
numero pernos	N pernos	8	und
diametro de perno	Ø perno	3.3	cm
	<b>Altura total</b>		
	H	37	cm
	Tr=Σtr=	20	cm
	H=	34.2	cm

**Propiedades dinámicas:**

**CUADRO N°2.9:** Valores obtenidos del MATLAB

PROPIEDADES DINAMICAS	UNIDADES	SEGÚN ESPECTRO
		NORMA E-030
		SISMO DISEÑO
		<b>LB</b>
q=	cm	18.404
A plomo=	cm <sup>2</sup>	103.869
A=	cm <sup>2</sup>	5026.560
Qd=	Tn	565.050
Kd=	Tn/m	146.450
ke=	Tn/m	499.609
Fy=	Tn	12.490
Kef=	Tn/m	194.422
Beta efec=	%	13.570
B=		5.371
T efec=	seg	2.699
RATIO		0.293

**Diagrama de histéresis:**



**FIGURA N°2.8:** Ubicación gráfica de las propiedades del aislador (fuente: CDV)

✓ **ESTRUCTURA DE 30 NIVELES** ( $h_T = 90 m$ )

Carga de la estructura= 388.80ton

Carga del aislador = 400 ton

Peso de la estructura es 38880 ton

Cantidad de aisladores será de 100 (Según la cantidad de columnas en la base)

**CUADRO N°2.10:** Propiedades de los aisladores

DESCRIPCIÓN		DATO	UNIDAD
Diámetro Exterior	Do=	80	cm
Diámetro Interior	Di=	11.5	cm
N° de capas de Goma	c. de goma	40	und
espesor capa goma	tr=	0.5	cm
espesor de la capa acero	ts=	0.2	cm
long placa cuadrada	L=	85	cm
espesor placa	t=	3.2	cm
numero pernos	N pernos	8	und
diametro de perno	Ø perno	3.3	cm
<b>Altura total H</b>		37	cm
Tr=Σtr=		20	cm
H=		34.2	cm

**Propiedades dinámicas:**

**CUADRO N°2.11:** Valores obtenidos del MATLAB

PROPIEDADES DINAMICAS	UNIDADES	SEGÚN ESPECTRO NORMA E-030
		SISMO DISEÑO
		LB
q=	cm	19.387
A plomo=	cm <sup>2</sup>	103.869
A=	cm <sup>2</sup>	5026.560
Qd=	Tn	882.890
Kd=	Tn/m	146.450
ke=	Tn/m	499.600
Fy=	Tn	12.490
Kef=	Tn/m	191.990
Beta efec=	%	13.150
B=		5.321
T efec=	seg	2.856
RATIO		0.293

## Diagrama de histéresis:

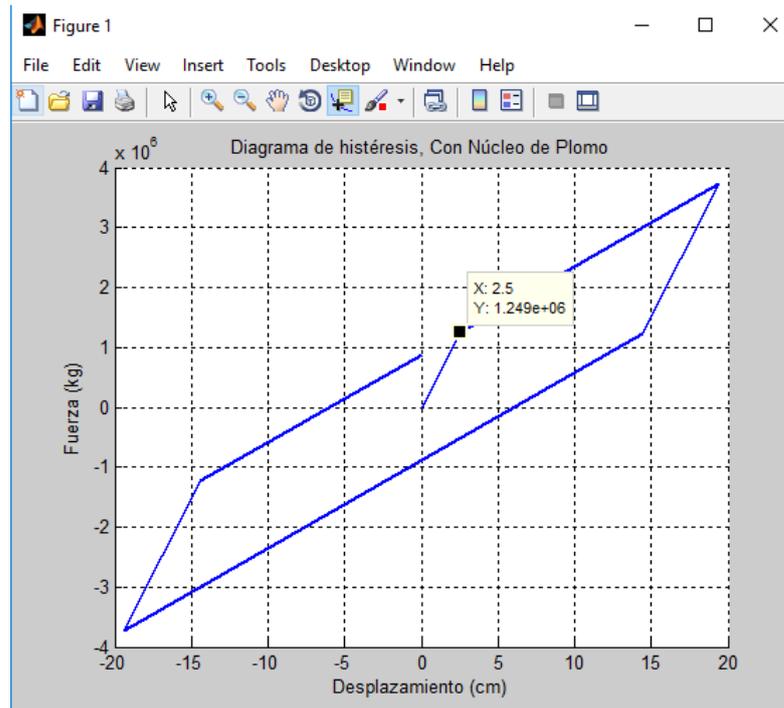


FIGURA N°2.9: Ubicación gráfica de las propiedades del aislador (fuente: CDV)

### ✓ ESTRUCTURA DE 40 NIVELES ( $h_T = 120 m$ )

Carga de la estructura= 545.33ton

Carga del aislador = 580 ton

Peso de la estructura es 92160 ton

Cantidad de aisladores será de 169 (Según la cantidad de columnas en la base)

CUADRO N°2.12: Propiedades de los aisladores

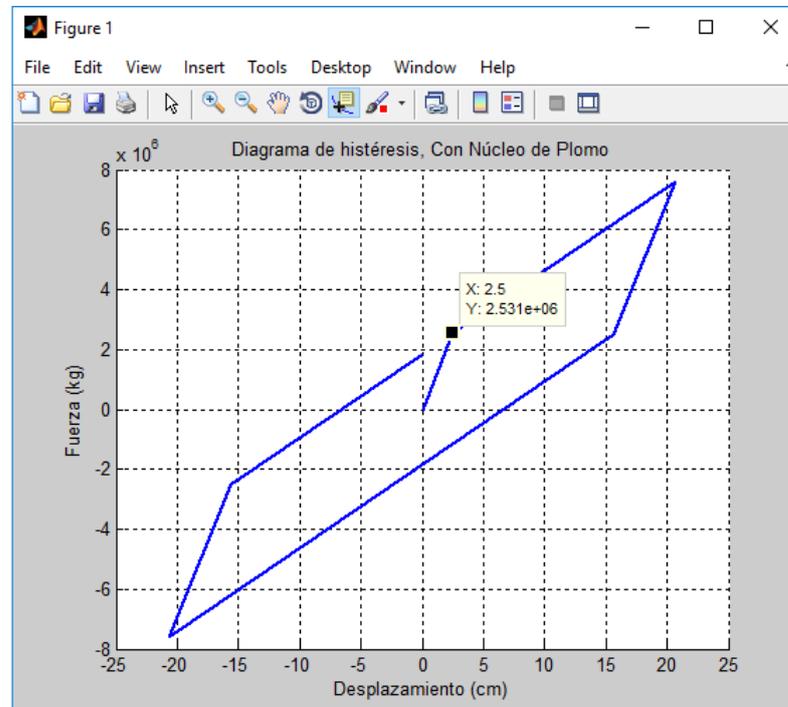
DESCRIPCIÓN		DATO	UNIDAD
Diámetro Exterior	Do=	90	cm
Diámetro Interior	Di=	12.75	cm
N° de capas de Goma	c. de goma	45	und
Espesor capa goma	tr=	0.5	cm
Espesor de la capa acero	ts=	0.2	cm
Long. placa cuadrada	L=	95.5	cm
Espesor placa	t=	3.8	cm
Número de pernos	N pernos	12	und
Diámetro de perno	Ø perno	3.3	cm
	<b>Altura total H</b>	40.75	cm
	Tr=Σtr=	22.5	cm
	H=	38.9	cm

**Propiedades dinámicas:**

**CUADRO N°2.13:** Valores obtenidos del MATLAB

PROPIEDADES DINAMICAS	UNIDADES	SEGÚN ESPECTRO
		NORMA E-030
		SISMO DISEÑO
		LB
q=	cm	20.643
A plomo=	cm <sup>2</sup>	127.677
A=	cm <sup>2</sup>	6361.740
Qd=	Tn	1834.100
Kd=	Tn/m	164.858
ke=	Tn/m	598.935
Fy=	Tn	14.974
Kef=	Tn/m	217.432
Beta efec=	%	13.530
B=		5.367
T efec=	seg	3.179
RATIO		0.275

**Diagrama de histéresis:**



**FIGURA N°2.10:** Ubicación gráfica de las propiedades del aislador (fuente: CDV)

✓ **ESTRUCTURA DE 50 NIVELES** ( $h_T = 150\text{ m}$ )

Carga de la estructura= 703.13 ton

Carga del aislador = 760 ton

Peso de la estructura es 180000 ton

Cantidad de aisladores será de 100 (Según la cantidad de columnas en la base)

**CUADRO N°2.12: Propiedades de los aisladores**

DESCRIPCIÓN		DATO	UNIDAD
Diámetro Exterior	Do=	100	cm
Diámetro Interior	Di=	14	cm
N° de capas de Goma	c. de goma	50	und
espesor capa goma	tr=	0.5	cm
espesor de la capa acero	ts=	0.2	cm
Long placa cuadrada	L=	105.5	cm
espesor placa	t=	3.8	cm
número pernos	N pernos	12	und
diámetro de perno	Ø perno	4	cm
	<b>Altura total H</b>	45.75	cm
	Tr=Σtr=	25	cm
	H=	42.4	cm

**Propiedades dinámicas:**

**CUADRO N°2.14: Valores obtenidos del MATLAB**

PROPIEDADES DINAMICAS	UNIDADES	SEGÚN ESPECTRO NORMA E-030
		SISMO DISEÑO
		LB
q=	cm	21.532
A plomo=	cm <sup>2</sup>	153.938
A=	cm <sup>2</sup>	7854.000
Qd=	Tn	3349.700
Kd=	Tn/m	183.262
ke=	Tn/m	706.641
Fy=	Tn	17.666
Kef=	Tn/m	244.031
Beta efec=	%	14.010
B=		5.423
T efec=	seg	3.407
RATIO		0.259

## Diagrama de histéresis:

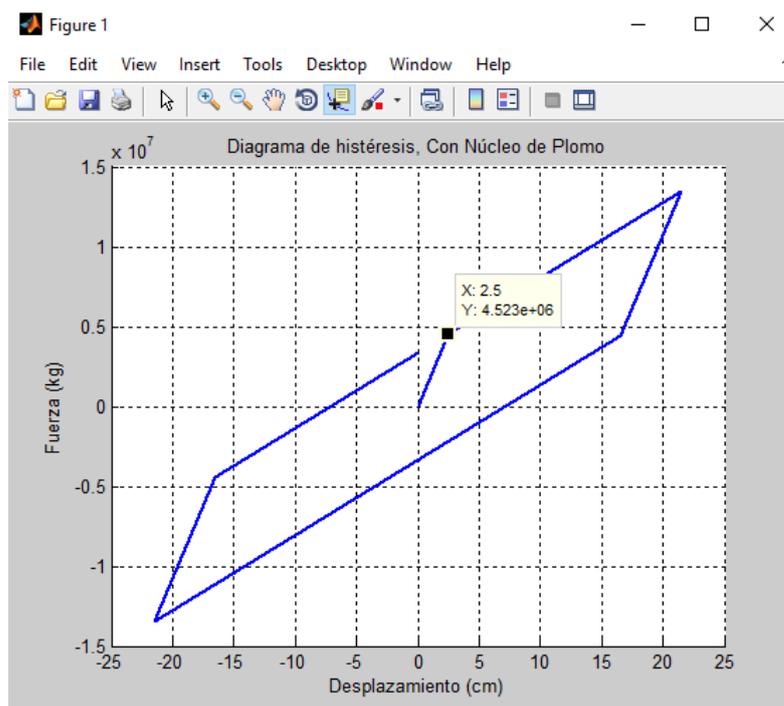


FIGURA N°2.11: Ubicación gráfica de las propiedades del aislador (fuente: CDV)

## 2.5. MÉTODO

### 2.5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para (Ezequiel, 2011 pág. 42), la investigación aplicada guarda relación con la investigación básica, pues depende de los descubrimientos y avances de la investigación mencionada y se enriquece con ellos; pues se trata de investigaciones encaminadas a la resolución de problemas, que se caracterizan por su interés en la aplicación y utilización de los conocimientos. Y coincide con (Rodríguez Vera, 2012) que menciona que para este tipo de investigación el propósito de realizar aportaciones al conocimiento teórico es secundario.

### 2.5.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Según el nivel de la investigación, el presente trabajo corresponde al nivel explicativo ya que (Hernández Sampieri, y otros, 2010 págs. 83-84) menciona que el nivel explicativo va más allá de la descripción de conceptos; es decir, que están conducidos a responder por eventos y eventos físicos o sociales.

### **2.5.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

No experimental – Transversal, ya que, tenemos una sola recopilación de datos para buscar una solución en el futuro.

En este caso, recopilamos información (registros sísmicos) a lo obtenido gracias a la revisión de la literatura e investigaciones relacionadas, con el fin de determinar el análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura.

### **2.5.4. VARIABLES**

#### **2.5.4.1. VARIABLE 01:**

#### **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO.**

Según lo estipulado en la Norma E-030, hace referencia que para realizar el análisis sísmico mediante el método Tiempo- Historia se tendrá que utilizar no menos de cinco registros sísmicos de aceleraciones horizontales correspondientes a sismos reales o artificiales.

En la presente investigación se aplicará el método no lineal tiempo-historia considerando sismo reales; con la única finalidad de obtener resultados exactos o mejor aún ajustados a la realidad.

#### **2.5.4.2. VARIABLE 02:**

#### **AISLADORES SÍSMICOS**

Los aisladores sísmicos son disipadores de energía, como también cabe resaltar que son un sistema de protección sísmica para las edificaciones; el rol que cumple este es el que la estructura no sufra daños para así evitar pérdida de vidas ante un evento sísmico.

Para este estudio haremos el modelamiento de las estructuras con el aisladores elastoméricos ya que son los más comerciales en nuestro en el mercado.

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado.	La (Norma E-030, art. 4.3.3, 2014) hace mención que el análisis tiempo historia se podrá realizar suponiendo comportamiento lineal y elástico y deberán utilizarse no menos de cinco registros de aceleraciones horizontales, correspondientes a sismos reales o artificiales. Estos registros deberán normalizarse de manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio".	La (Norma E-030, art. 4.3.3, 2014) hace mención que el análisis tiempo historia se podrá realizar suponiendo comportamiento lineal y elástico y deberán utilizarse no menos de cinco registros de aceleraciones horizontales, correspondientes a sismos reales o artificiales. Estos registros deberán normalizarse de manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio".	Análisis Tiempo-Historia	Registros Sísmicos
			Modelamiento de las estructuras	Programa Computacional ETABS 2015
			Comportamiento Estructural	Efectivo / Desfavorable
			Edificaciones de mayor altura	Deformaciones, aceleraciones.
Aisladores Sísmicos en edificaciones	Según la Escuela de Formación Especializada ESTRUCTURALIA afirma que Los aisladores sísmicos consigue reducir las aceleraciones y deformaciones de la superestructura eliminando el daño estructural (2013)	Según la Escuela de Formación Especializada ESTRUCTURALIA afirma que Los aisladores sísmicos consigue reducir las aceleraciones y deformaciones de la superestructura eliminando el daño estructural (2013)	Elastoméricos	Relleno de plomo
				Láminas de goma
				Láminas de acero
				Perno de anclaje superior
				Placa de anclaje superior
				Placa de anclaje inferior

## **2.7. POBLACIÓN Y MUESTRA**

En la presente investigación la población lo conformarán las edificaciones de distintas cantidades de niveles en la ciudad de Lima. Cuando se hace mención a población se refiere al conjunto de todos los elementos, también llamados universo que van a ser estudiados (Del Cid, y otros, 2011, págs., 88). El tipo de muestreo en la investigación es no probabilístico ya que el tipo de muestreo es preferencial. La muestra no probabilística no es posible calcular el error estándar, así como el nivel de confianza con el que hacemos la estimación; sin embargo, en este caso la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino del criterio del investigador (Borja Suárez, 2012).

## **2.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS VALIDEZ Y CONFIABILIDAD**

Según (Arias, 2006, págs. 67) define técnica de investigación como el procedimiento para recolectar datos. Por ello se aplicará el análisis de información existente y aplicación directa de los hechos.

Según (Borja Suárez, 2012) sostiene que, para los proyectos de investigación en ingeniería, todos los datos observados se deben plasmar en formatos adecuados de recolección de información.

El instrumento de medición será el software ETABS.

### **2.8.1. VALIDEZ**

La validez del estudio se determinará de manera técnica y especializada, el procesamiento de los datos a través del software ETABS que será de apoyo para el modelamiento de las diferentes edificaciones pues nos proporcionarán resultados que de ser digitados correctamente se asemejarían al comportamiento real de las estructuras. No obstante, se determinarán los datos insertados con la finalidad de que estos nos puedan otorgar resultados con veracidad.

### **2.8.2. CONFIABILIDAD**

En la presente investigación el grado de confiabilidad se define como los aspectos necesarios en cuanto a la buena digitalización de los parámetros correspondientes para el modelamiento de las edificaciones. Puesto que para el análisis que se desarrollará se considerará registros sísmicos peruanos según REDACIS (Red Acelerográfica del Cismid), lo cual se obtuvo una total confiabilidad en la selección de datos.

### **2.8.3. ASPECTO ÉTICO**

Todas recolecciones de datos se determinaron de forma veraz y siguiendo las especificaciones detalladas según lo estipulado en la Normas Sismorresistente E-030 y la Norma americana ASCE7-10, con el objetivo de realizar la presente investigación de manera eficaz.

## **III. RESULTADOS**

### **3.1. ANÁLISIS SÍSMICO TIEMPO-HISTORIA**

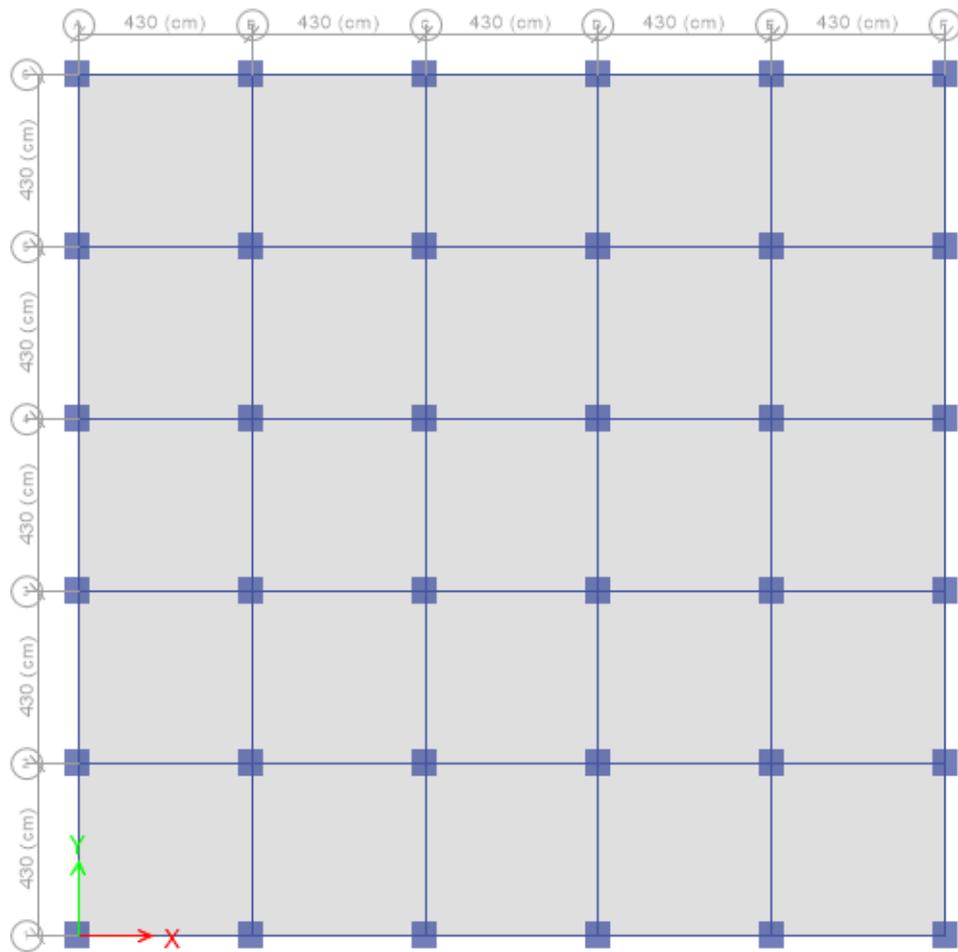
#### **3.1.1. ESTRUCTURAS A ANALIZAR SIN AISLADORES**

Las estructuras que se analizarán serán regulares con un Sistema Estructural Aporticada, con el fin de que su centro de masa y rigidez coincidan.

#### **✓ ESTRUCTURA DE 18 NIVELES ( $h_T = 54 m$ )**

La estructura tiene las siguientes características:

- Estructura Regular
- Sistema de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- 18 niveles de 3m de altura en todos sus niveles.
- Columnas de 65x65cm<sup>2</sup> y vigas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles.
- 5 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 4.3m, comprendiendo un área de 462 m<sup>2</sup>.
- Masa por nivel concentrado en su centro de masa de 1ton/m<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad:  $E = 217\,371 \text{ kg/cm}^2$  ( $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ )



**FIGURA N°3.1:** Modelo de Estructura Regular en planta

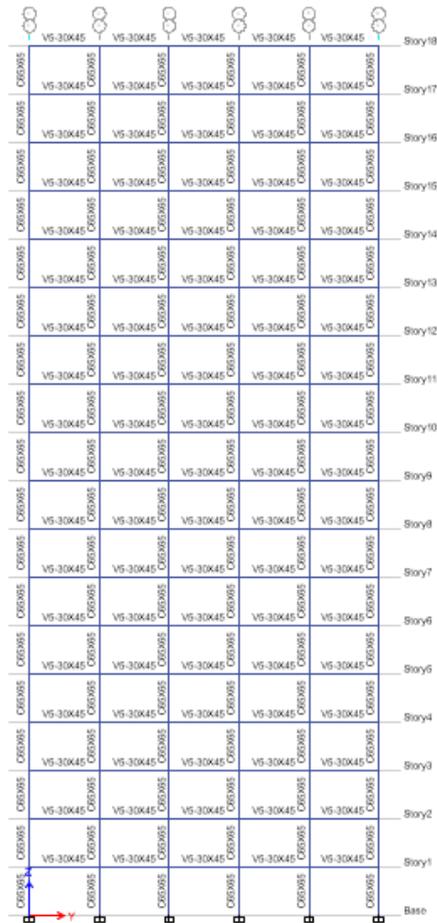


FIGURA N°3.2: Modelo de Estructura Regular en elevación

✓ **ESTRUCTURA DE 20 NIVELES ( $h_T = 60 m$ )**

La estructura tiene las siguientes características:

- Estructura Regular
- Sistema de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- 20 niveles de 3m de altura en todos sus niveles.
- Columnas de 70x70cm<sup>2</sup> y vigas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles.
- 6 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 4.17m, comprendiendo un área de 626.0004 m<sup>2</sup>.
- Masa por nivel concentrado en su centro de masa de 1ton/m<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad:  $E = 217\,371 \text{ kg/cm}^2$  ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ )

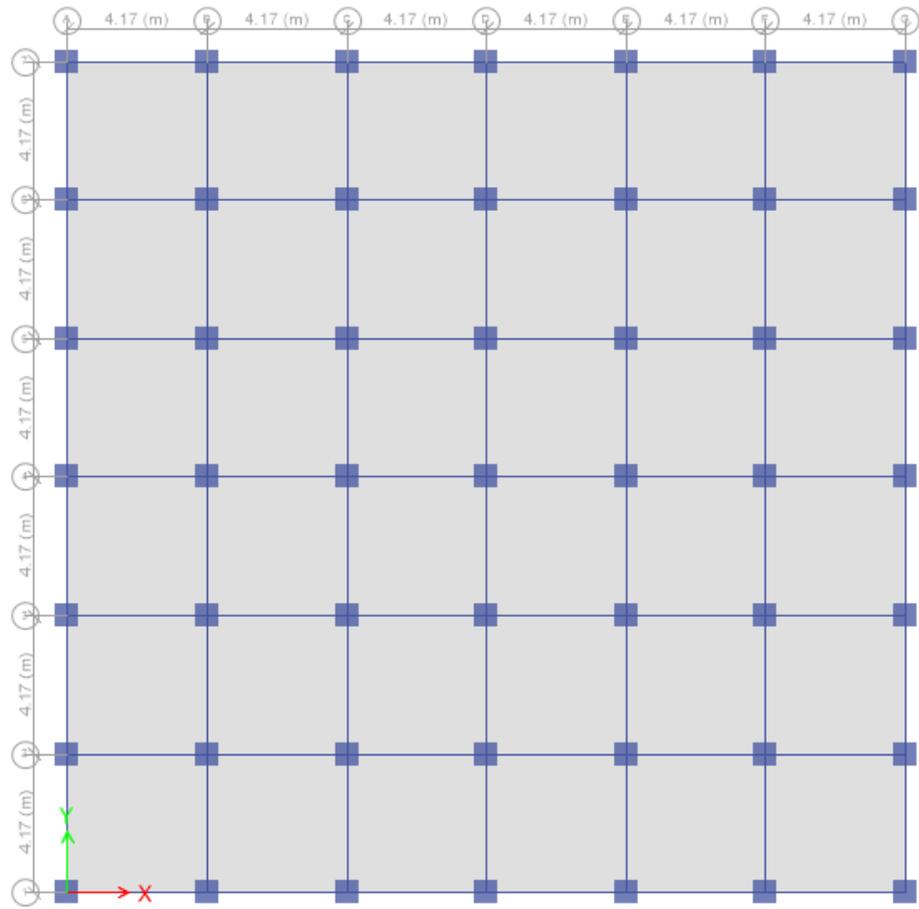
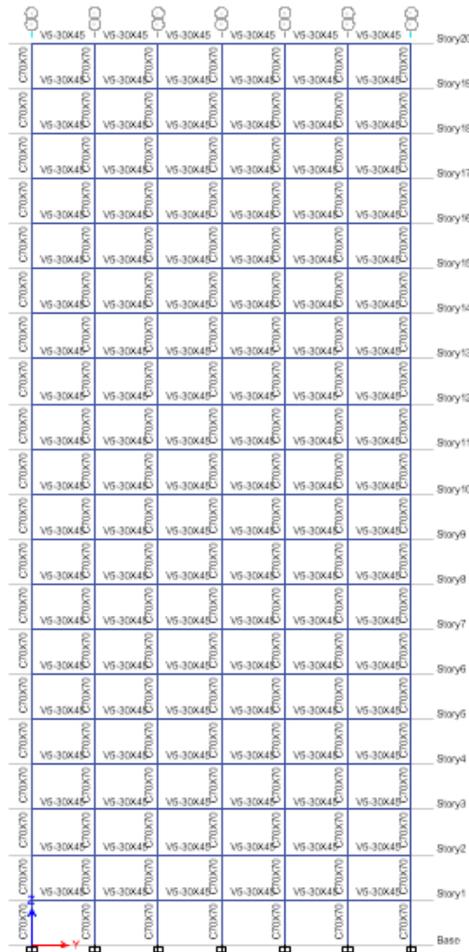


Figura N°3.3: Modelo de Estructura Regular en planta

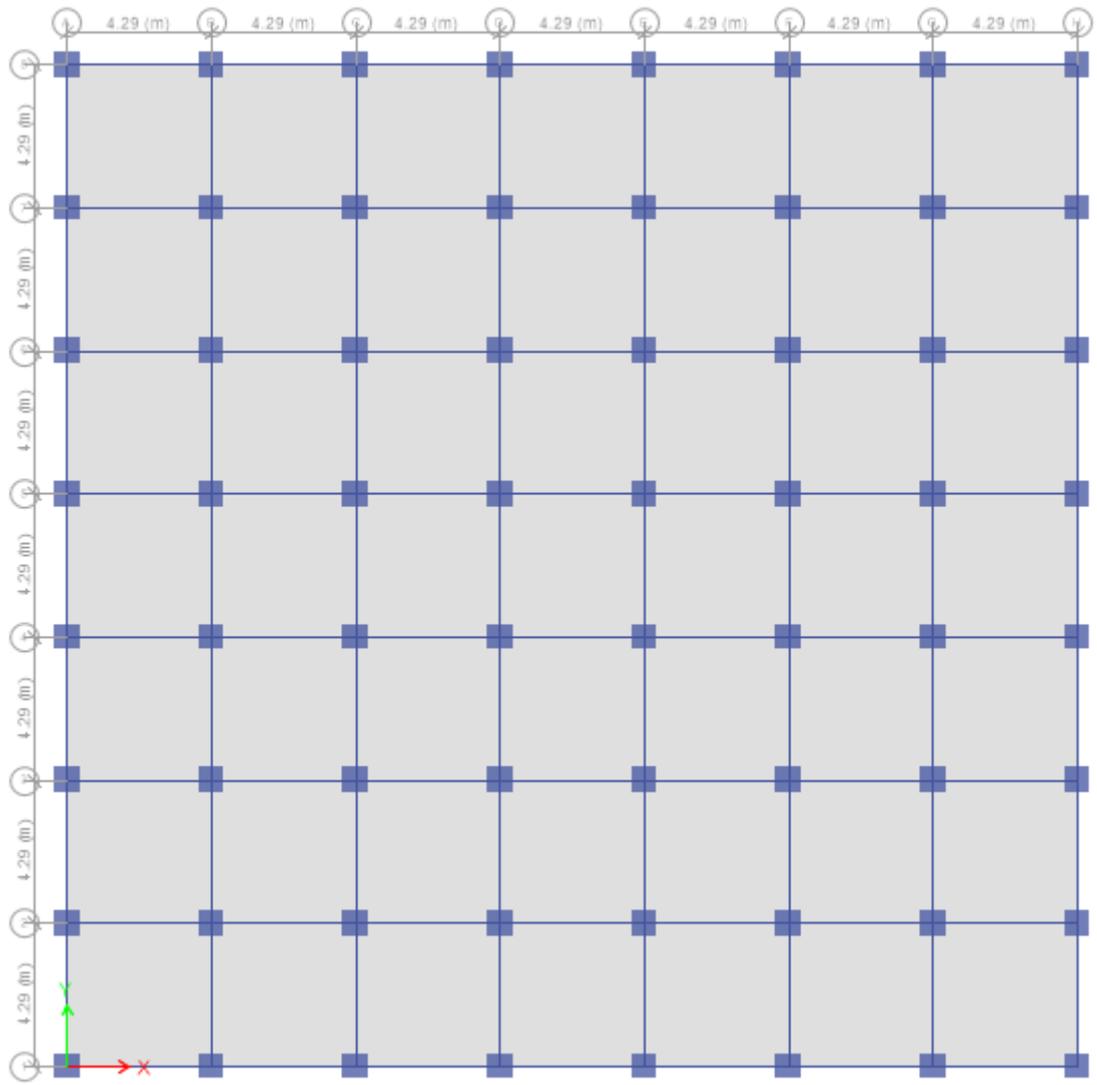


**FIGURA N°3.4:** Modelo de Estructura Regular en elevación

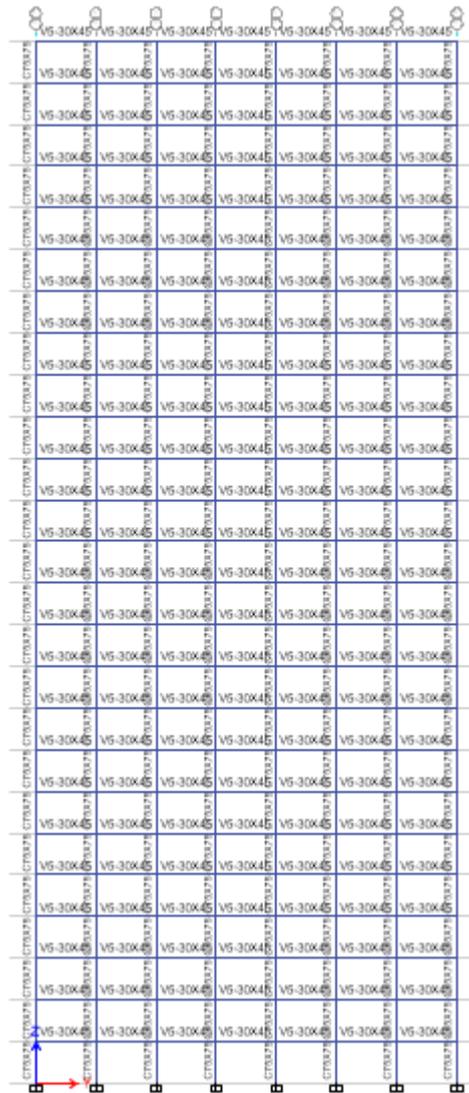
✓ **ESTRUCTURA DE 25 Niveles**

La estructura tiene las siguientes características:

- Estructura Regular
- Sistema de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- 25 niveles de 3m de altura en todos sus niveles.
- Columnas de 75x75cm<sup>2</sup> y vigas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles.
- 7 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 4.29m, comprendiendo un área de 901.8009m<sup>2</sup>.
- Masa por nivel concentrado en su centro de masa de 1ton/m<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad:  $E= 217\,371\text{ kg/cm}^2$  ( $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ )



**FIGURA N3.5°:** Modelo de Estructura Regular en planta



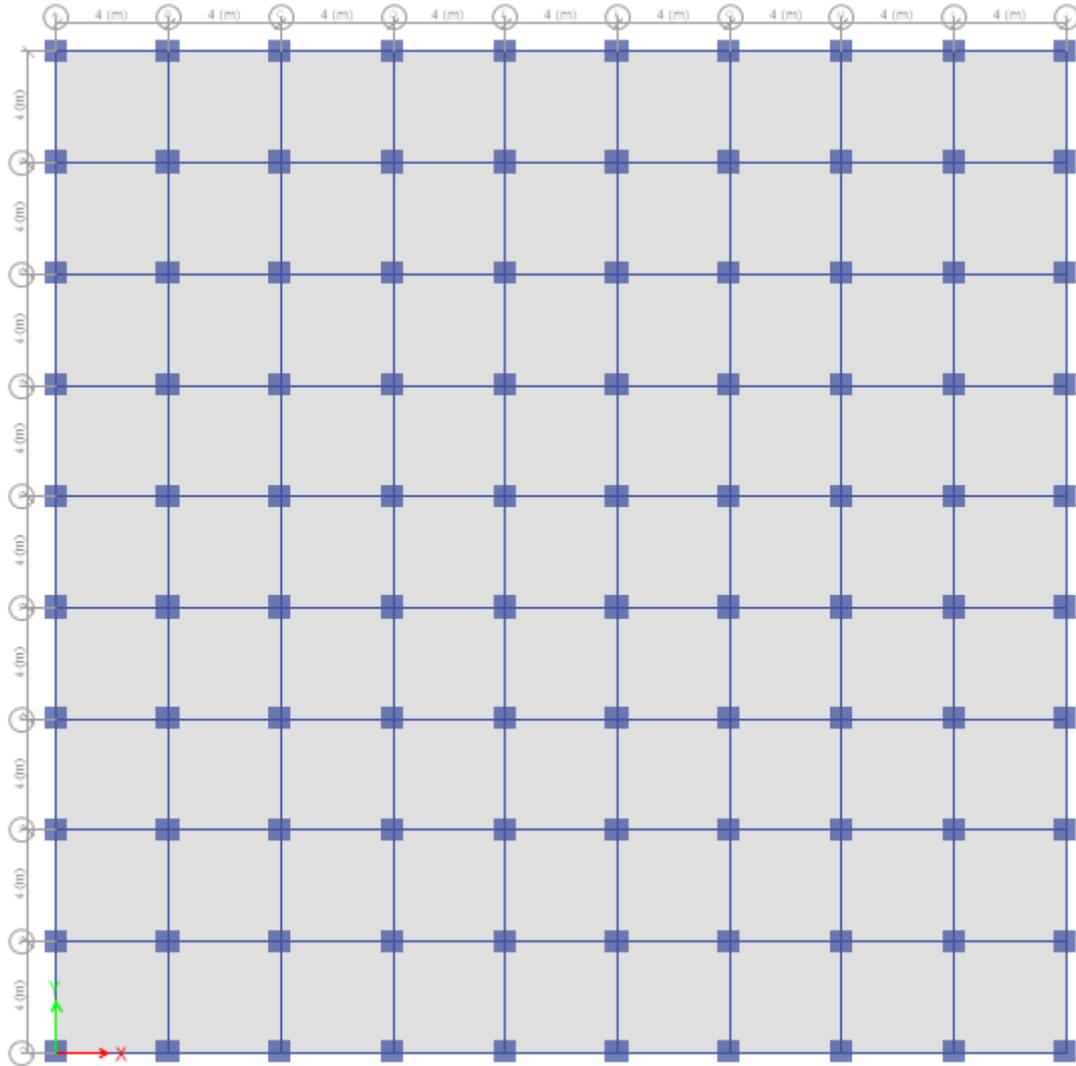
**FIGURA N°3.6:** Modelo de Estructura Regular en elevación

✓ **ESTRUCTURA DE 30 niveles**

La estructura tiene las siguientes características:

- Estructura Regular
- Sistema de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- 30 niveles de 3m de altura en todos sus niveles.
- Columnas de 80x80cm<sup>2</sup> y vigas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles.
- 9 pódicos en cada dirección espaciados uniformemente cada 4m, comprendiendo un área de 1296m<sup>2</sup>.

- Masa por nivel concentrado en su centro de masa de 1ton/m<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad:  $E = 217\,371 \text{ kg/cm}^2$  ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ )



**FIGURA N°3.7:** Modelo de Estructura Regular en planta

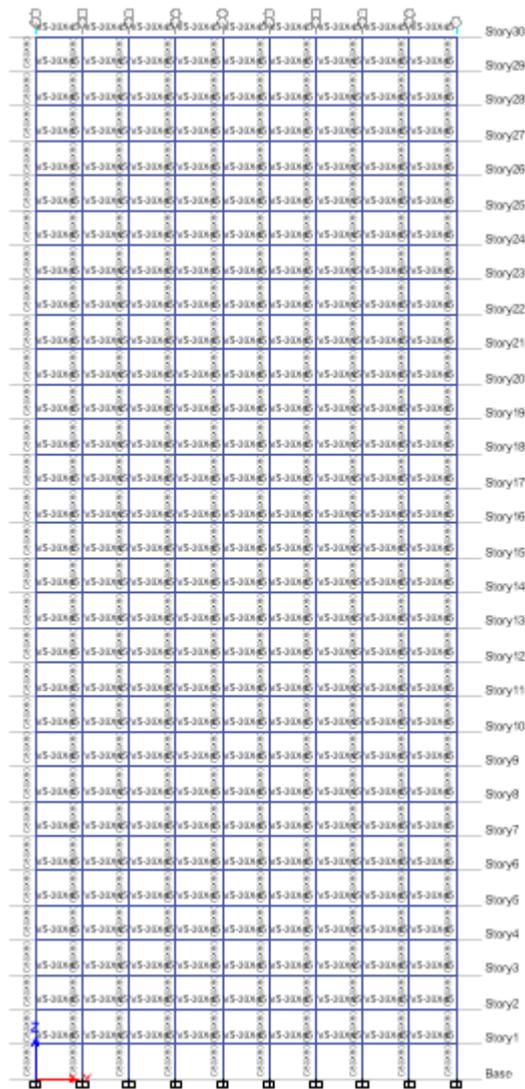


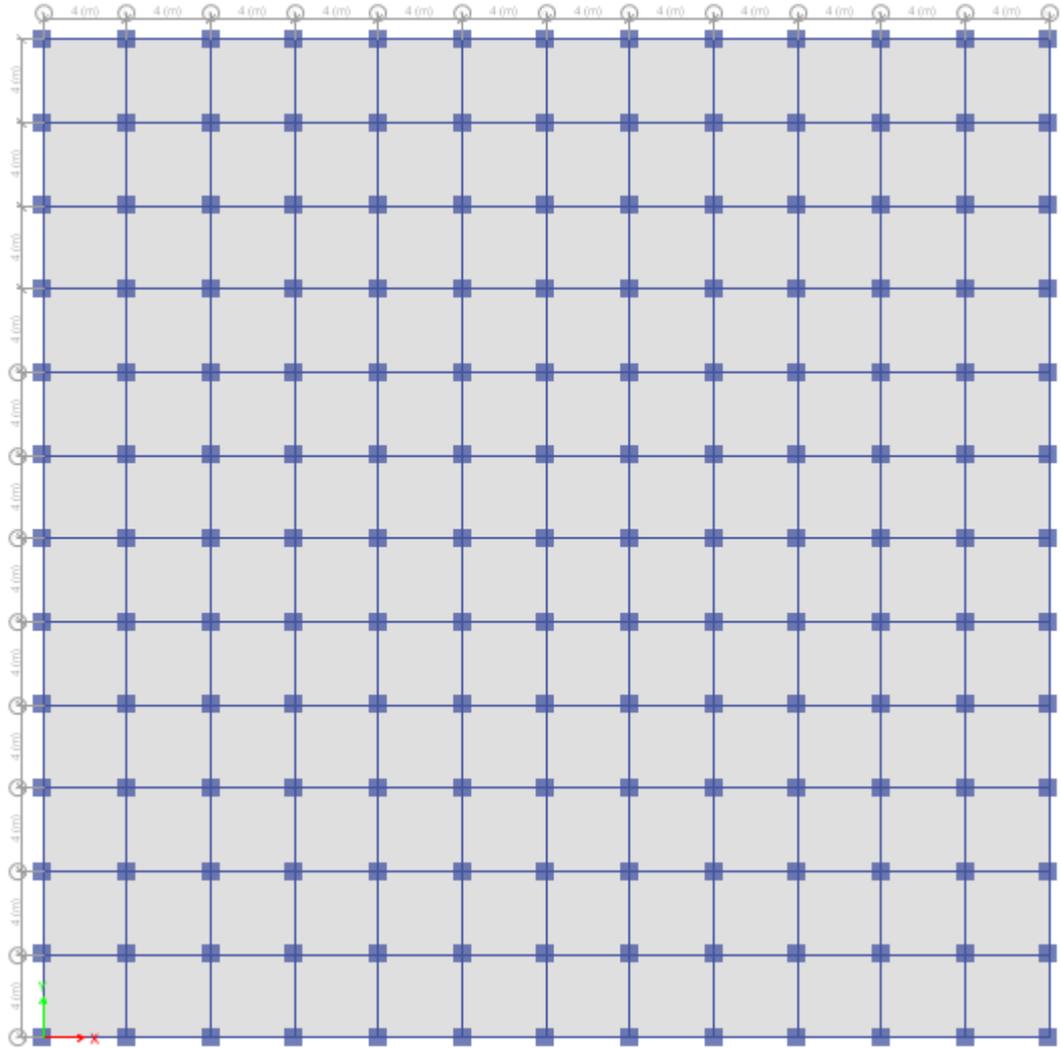
FIGURA N°3.8: Modelo de Estructura Regular en planta

✓ **ESTRUCTURA DE 40 niveles**

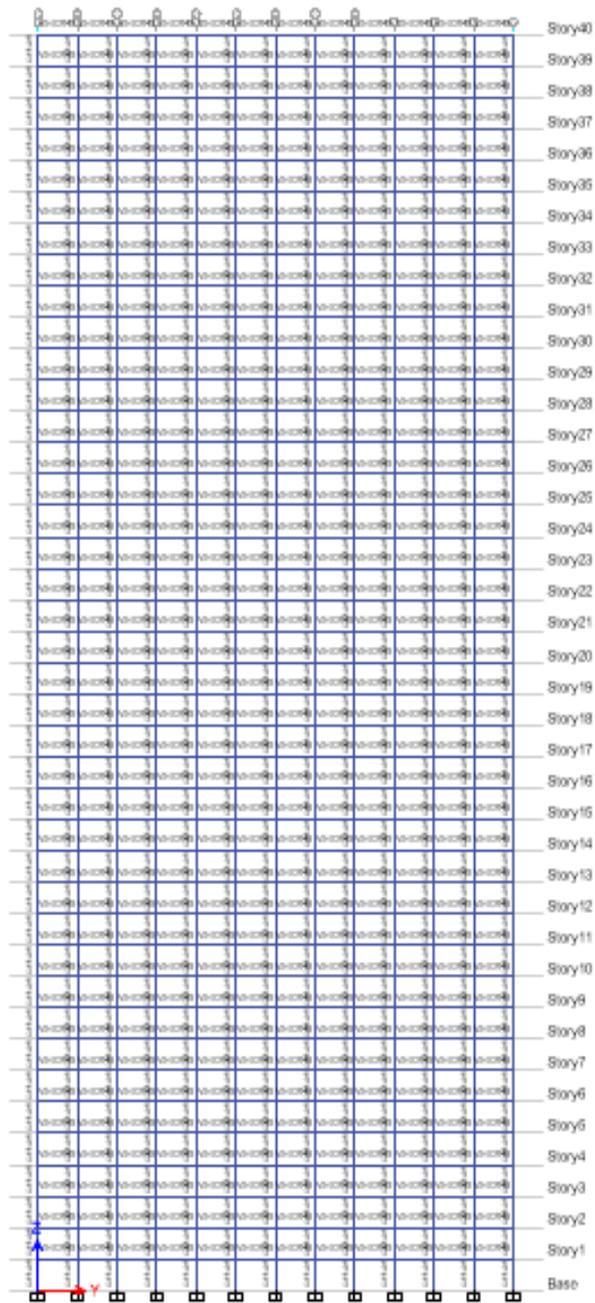
La estructura tiene las siguientes características:

- Estructura Regular
- Sistema de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- 40 niveles de 3m de altura en todos sus niveles.
- Columnas de 85x85cm<sup>2</sup> y vigas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles.
- 12 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 4m, comprendiendo un área de 2304m<sup>2</sup>.

- Masa por nivel concentrado en su centro de masa de 1ton/m<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad:  $E= 217\,371\text{ kg/cm}^2$  ( $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ )



**FIGURA N°3.9:** Modelo de Estructura Regular en planta



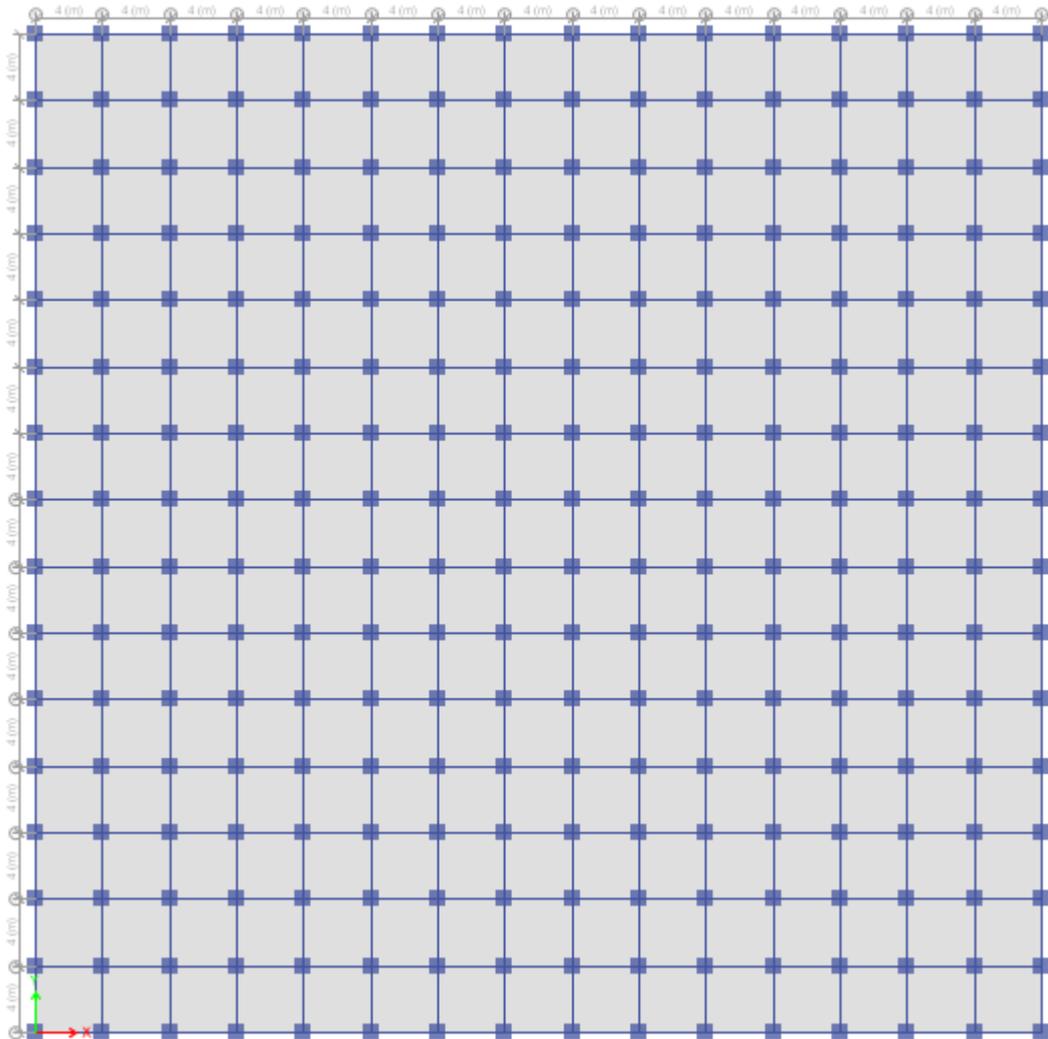
**FIGURA N°3.10:** Modelo de Estructura Regular en planta

✓ **ESTRUCTURA DE 50 niveles**

La estructura tiene las siguientes características:

- Estructura Regular
- Sistema de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- 50 niveles de 3m de altura en todos sus niveles.

- Columnas de 95x95cm<sup>2</sup> y vigas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles.
- 15 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 4m, comprendiendo un área de 3600m<sup>2</sup>.
- Masa por nivel concentrado en su centro de masa de 1ton/m<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad:  $E= 217\,371\text{ kg/cm}^2$  ( $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ )



**FIGURA N°3.11:** Modelo de Estructura Regular en planta

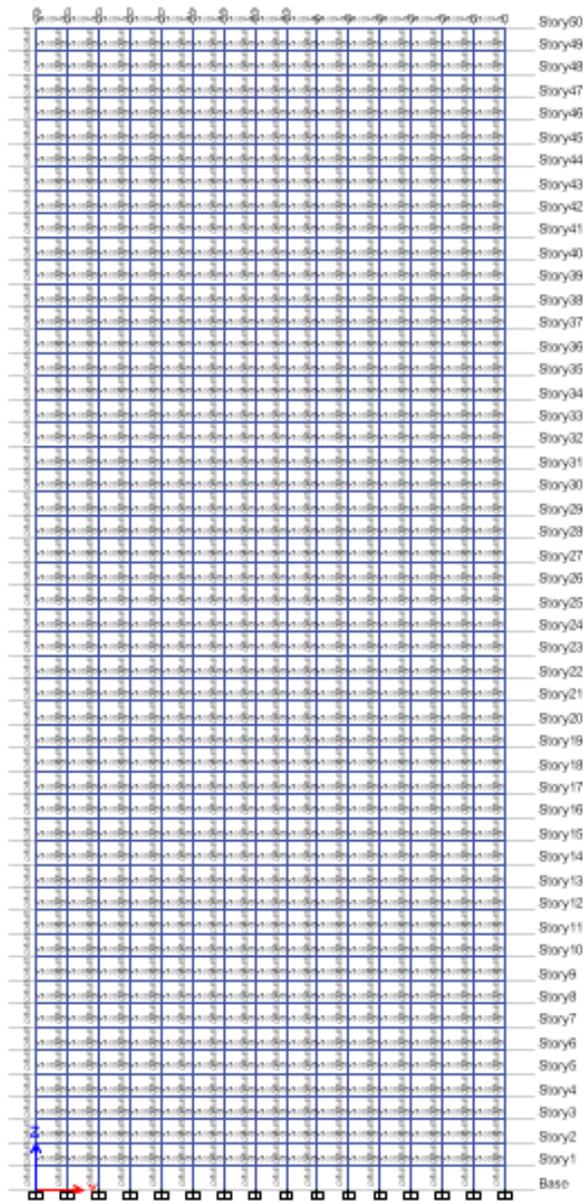


FIGURA N°3.12: Modelo de Estructura Regular en planta

### 3.1.2. PROCESO DEL ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA SIN AISLADORES SÍSMICOS

Para realizar el análisis Tiempo-Historia No Lineal, se seguirán los siguientes pasos:

- El registro que seleccionamos según REDACIS es en ambas direcciones de EO y NS; como ya lo habíamos mencionado en el capítulo anterior estos registros son directos sin embargo contienen errores.

- Procedemos a corregir el registro seleccionado, la primera corrección es por línea base, esta consistirá en considerar una curva polinómica cúbica; y la segunda tiene como nombre por filtrado de señales en frecuencias menores 0.10 Hz y mayores a 25 Hz.
- Para obtener el espectro de diseño es necesario considerar los parámetros sísmicos de acuerdo a la estructura; por lo tanto, a este espectro de diseño lo llamaremos espectro objetivo, al cual se ajustará el espectro de respuesta obtenido del registro sísmico.

$$Sa_{target} = ZUSCg$$

- Se obtendrá un espectro de respuesta llamado “espectro promedio”, a partir de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados (SRSS) de los espectros de respuesta obtenidos del registro sísmico. Este espectro promedio se ajustará al espectro objetivo obtenido anteriormente.

$$Sa_{prom} = \sqrt{S_{EW}^2 + S_{NS}^2}$$

- Para ajustar el espectro promedio deberá hacerse que “ $\delta$ ” sea mínimo, escalándolo por un factor FE.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Sa_j(T_i) - Sa_{target}(T_i)}{Sa_{target}(T_i)} \right)^2}$$

- El rango de ajuste dependerá del periodo fundamental de cada estructura “ $T_1$ ”, siendo este  $[0.2T_1; 1.5T_1]$ , esto significa, que para obtener el  $\delta$ , se usará solo los valores que tenga periodos dentro del rango de ajuste.
- Para poder tener  $T_1$ , debió previamente haberse modelado cada estructura, a estas se le incluirá las cargas convencionales de gravedad y se incluirá el registro sísmico corregido con el Factor de Escala (FE) obtenidos en el parámetro anterior.
- El registro sísmico, tiene 2 direcciones las cuales se realizará en un mismo análisis ambas (bidireccionalidad)
- El registro que consideraremos lo reduciremos de un 0%-100% a 5% - 95% ya que así reduciríamos puntos que no son relevantes para el estudio.

- Nos ayudaremos del Software Seismosignal para realizar la reducción, verificando a la vez que el registro nos sufra cambios que puedan afectar el análisis
- Esta reducción se realiza con el fin de ingresar el registro a la herramienta computacional ETABS, y este no se sature por la información.
- Los resultados con respecto a los desplazamientos, serán obtenidos directamente. Estos resultados será el desplazamiento del centro de masa y distorsiones.
- Los resultados con respecto a las fuerzas internas, serán las obtenidas directamente. Estos resultados será la fuerza interna en una columna, una viga y cortante basal.

### 3.1.3. FACTORES DE ESCALA PARA LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS

Los factores de escala se realizará para cada estructura como ya lo habíamos mencionado en el capítulo anterior; cabe recalcar que trabajaremos con los periodos fundamentales de cada estructura.

- 18 niveles
- 20 niveles
- 25 niveles
- 30 niveles
- 40 niveles
- 50 niveles

Para las estas estructuras regulares  $T_1^X = T_1^Y = T_1$ , por lo tanto:

**CUADRO N°3.1:** Periodos máximos y mínimos

NIVELES	PERIODO	
	$t_{mín}$	$t_{máx}$
18	0.351	2.6325
20	0.3852	2.889
25	0.511	3.8325
30	0.571	4.2825
40	0.775	5.8125
50	0.965	7.2375

Procedemos a obtener los factores de escala en base a los periodos máximos y mínimos. Obtenemos lo siguiente:

**CUADRO N°3.2:** Factores de escala

<b>NIVELES</b>	<b>PARÁMETRO DE AJUSTE <math>\Delta</math></b>	<b>FACTOR DE ESCALA FE</b>
18	0.226	0.41
20	0.216	0.43
25	0.191	0.45
30	0.21	0.43
40	0.308	0.41
50	0.381	0.38

### **3.1.4. RESPUESTA DE ESTRUCTURA SIN AISLAMIENTO**

#### **3.1.4.1. PERIODOS FUNDAMENTALES**

Se hizo la estimación de 0.1 s por cada nivel, sin embargo, conforme se aumentaba de cantidad de niveles el periodo ya no sería el que se estimaba, sino mucho menor por nivel.

**CUADRO N°3.2:** Periodos fundamentales

<b>NIVELES</b>	<b>PERIODO t (s)</b>
18	1.755
20	1.926
25	2.555
30	2.855
40	3.875
50	4.737

#### **3.1.4.2. MODOS DE VIBRACION**

El software ETABS que se empleará como herramienta determina las rigideces y calcula las frecuencias naturales y los modos de vibración de las estructuras. Según la Norma E030 hace mención que se deberá considerar aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa de la estructura. Es por ello que trabajaremos con 7 modos de vibración para ser más conservador con los resultados.

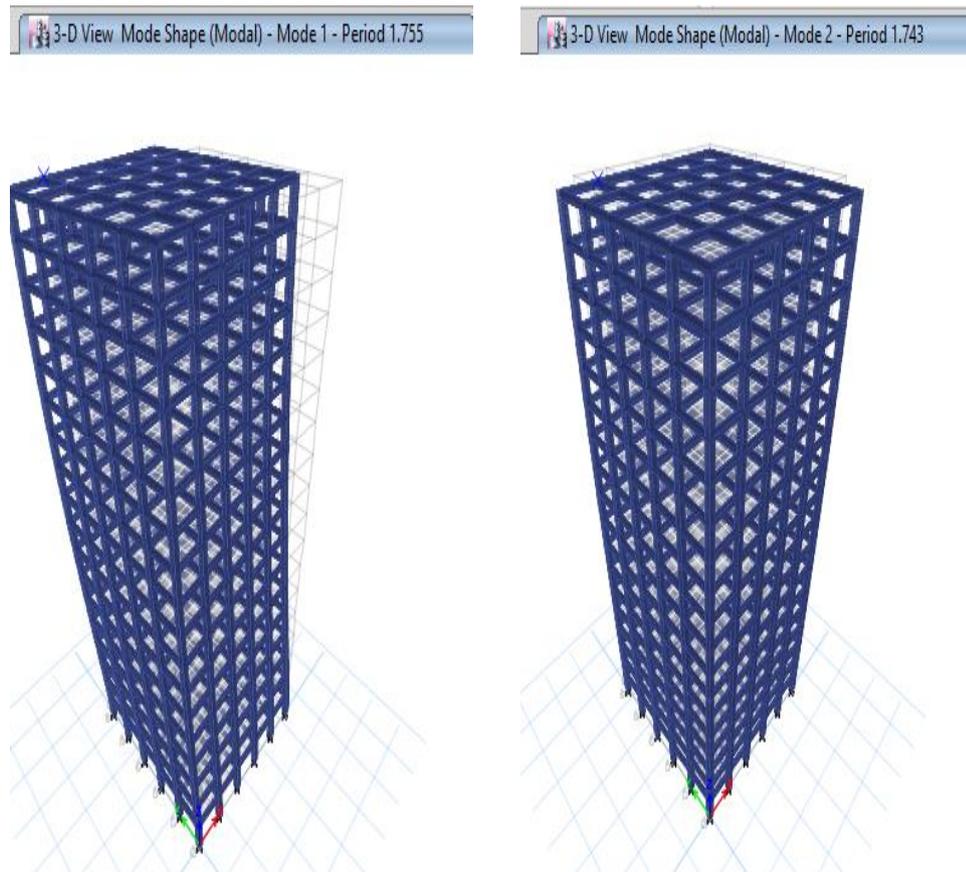
A continuación, mostraremos de forma detallada para cada estructura los periodos de vibración en conjunto del porcentaje la masa participativa.

### 18 niveles

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS							
Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
	sec						
1	1.755	0.3871	0.3871	0.0228	0.3871	0.3871	0.0228
2	1.743	0.3988	0.3988	0	0.7859	0.7859	0.0228
3	1.474	0.0116	0.0116	0.7837	0.7975	0.7975	0.8065
4	0.57	0.0487	0.0562	0.0007	0.8463	0.8537	0.8072
5	0.567	0.0568	0.0491	0.00	0.903	0.9028	0.8072
6	0.278	0.014	0.0499	0.0028	0.917	0.9527	0.81
7	0.274	0.0498	0.0136	0.0003	0.9668	0.9663	0.8103

**TABLA N°3.1:** Masa participativa por modo

De los 7 modos con los que trabajamos, a continuación, mostraremos los modos de vibración los dos primeros modos de vibración

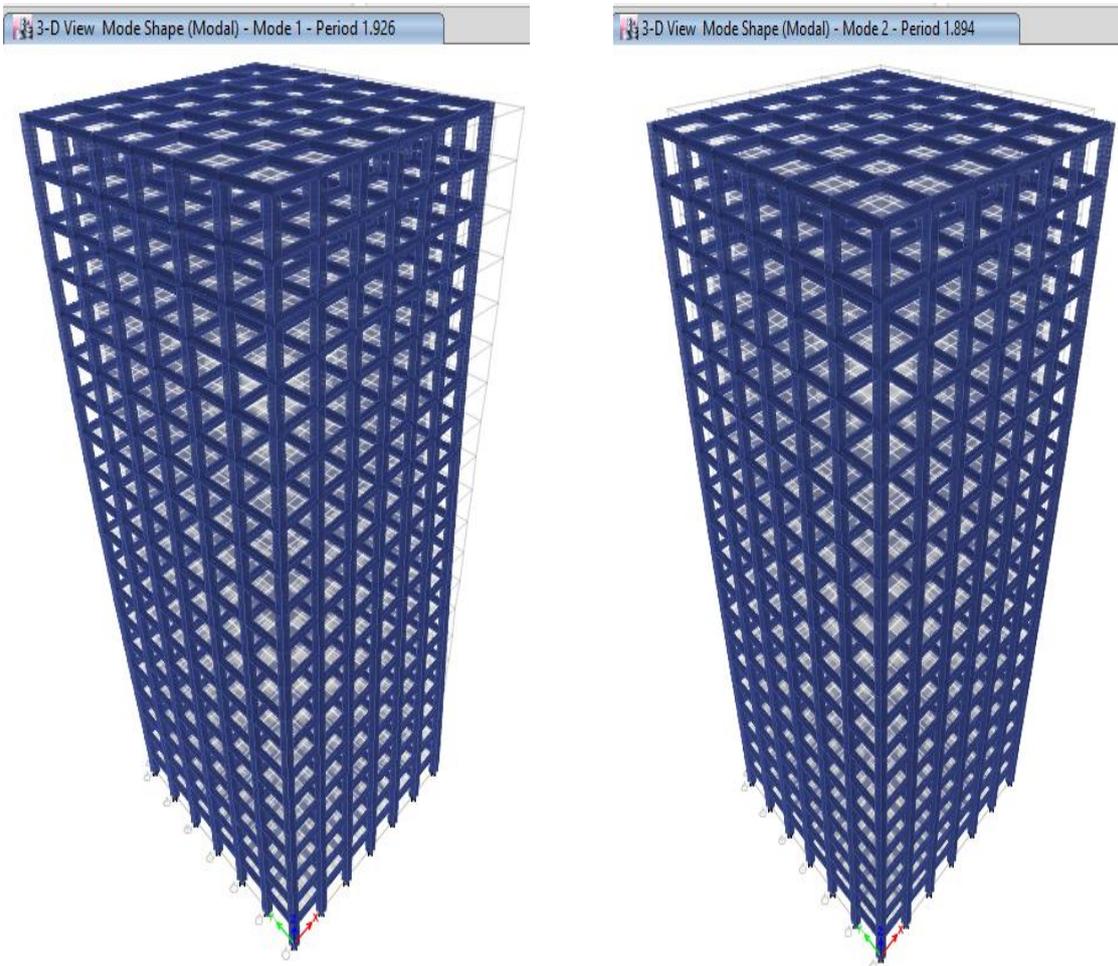


**FIGURA N°3.13:** Modos de Vibración

**20 niveles**

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS							
Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
	sec						
1	1.926	0.3645	0.3645	0.0627	0.3645	0.3645	0.0627
2	1.894	0.3963	0.3963	0	0.7608	0.7608	0.0627
3	1.628	0.0317	0.0317	0.7379	0.7924	0.7924	0.8006
4	0.623	0.0497	0.0526	0.0019	0.8421	0.845	0.8025
5	0.615	0.0541	0.0509	0	0.8961	0.8959	0.8025
6	0.309	0.0276	0.0387	0.0076	0.9237	0.9346	0.8101
7	0.297	0.0382	0.0268	0.0001	0.9619	0.9614	0.8102

**TABLA N°3.2:** Masa participativa por modo

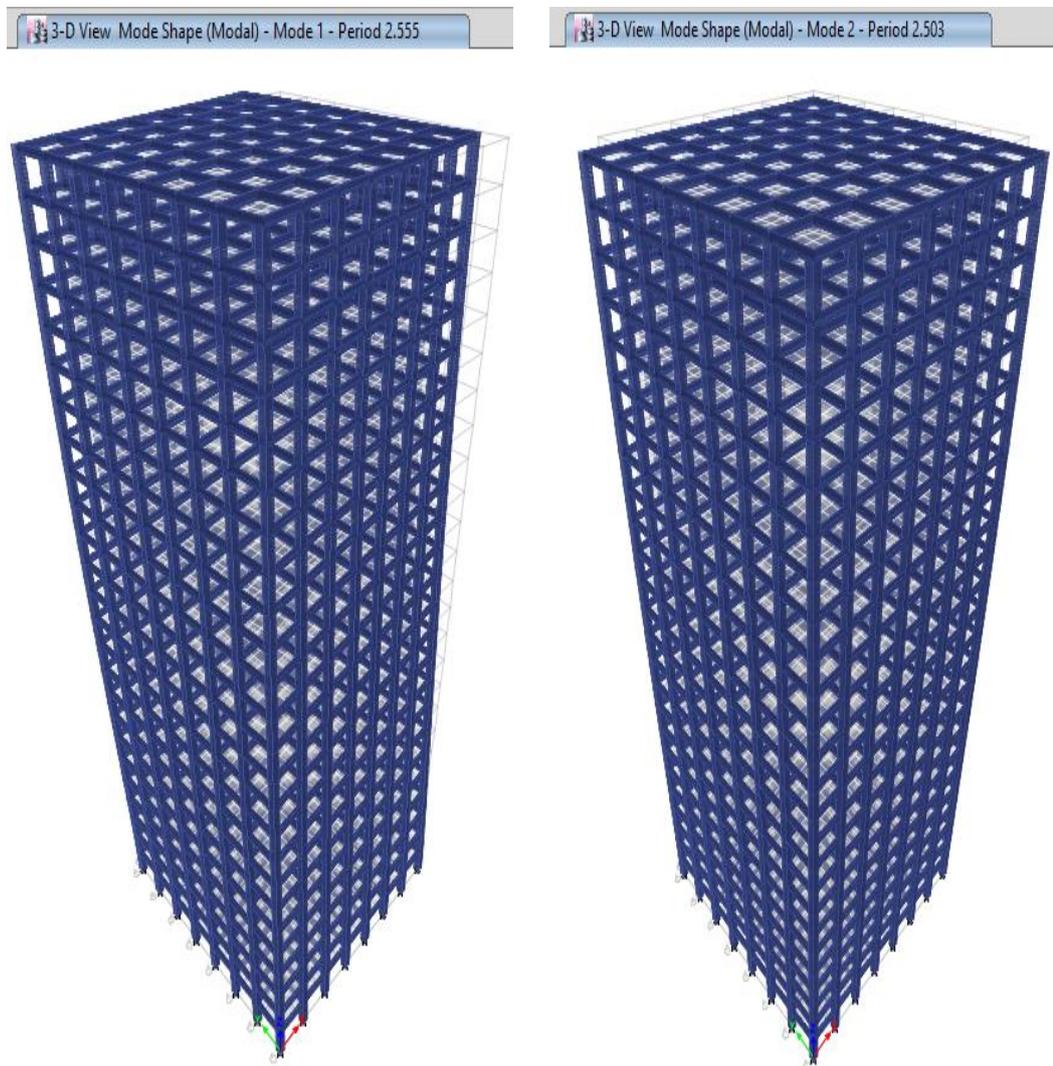


**FIGURA N°3.14:** Modos de Vibración

**25 niveles**

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS							
Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
	sec						
1	2.555	0.3537	0.3537	0.0803	0.3537	0.3537	0.0803
2	2.503	0.3939	0.3939	0	0.7477	0.7477	0.0803
3	2.162	0.0401	0.0401	0.7165	0.7878	0.7878	0.7968
4	0.826	0.0495	0.0517	0.0023	0.8373	0.8395	0.7991
5	0.814	0.0537	0.0512	0	0.891	0.8907	0.7991
6	0.414	0.0295	0.0377	0.0099	0.9204	0.9284	0.809
7	0.393	0.037	0.0286	4.63E-05	0.9575	0.957	0.8091

**TABLA N°3.3:** Masa participativa por modo

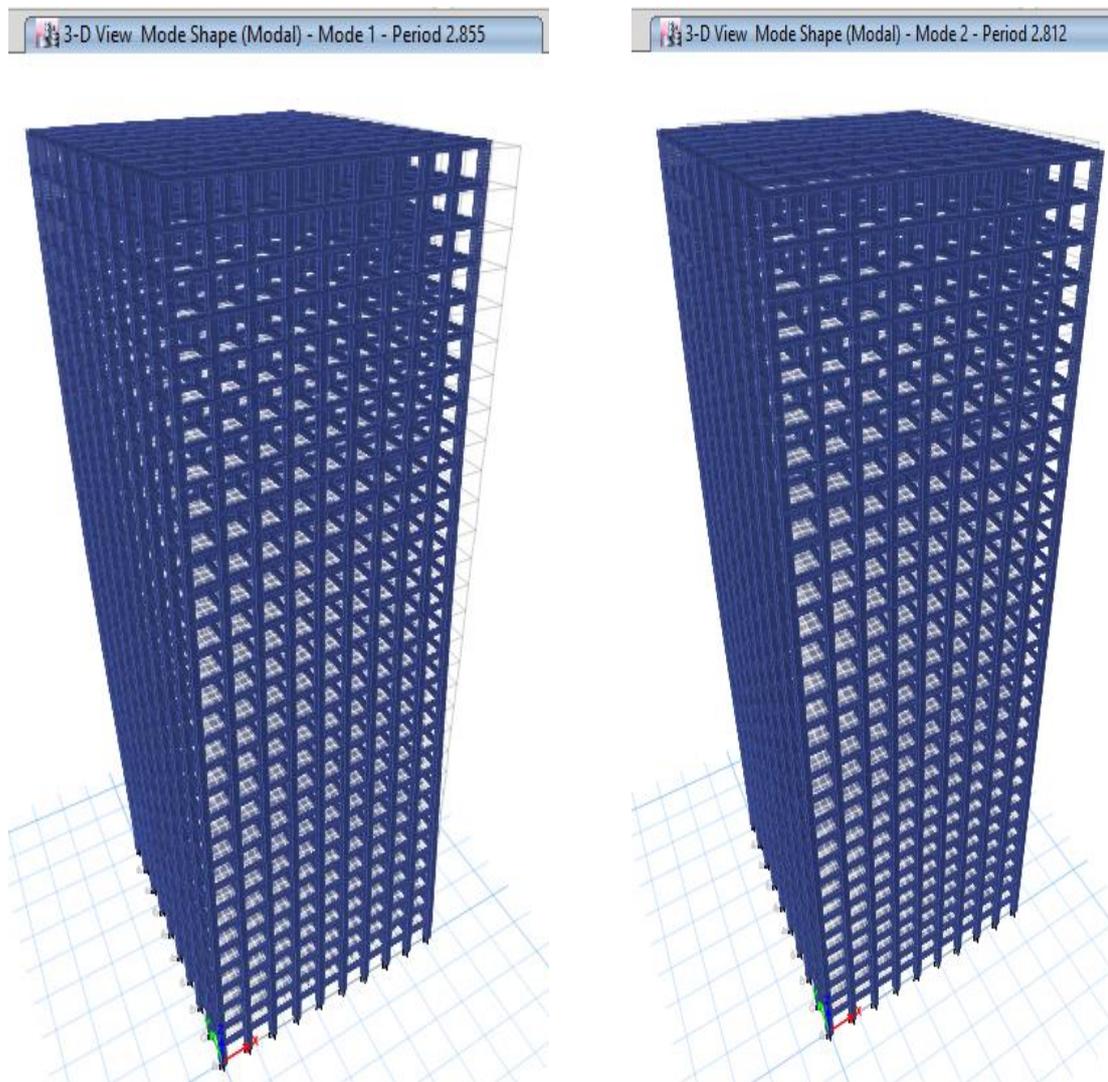


**FIGURA N°3.15:** Modos de Vibración

**30 niveles**

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS							
Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
	sec						
1	2.855	0.3596	0.3596	0.0663	0.3596	0.3596	0.0663
2	2.812	0.3924	0.3924	0	0.752	0.752	0.0663
3	2.451	0.0328	0.0328	0.7281	0.7848	0.7848	0.7943
4	0.925	0.0496	0.0528	0.0016	0.8344	0.8376	0.796
5	0.915	0.0543	0.0509	0	0.8887	0.8885	0.796
6	0.46	0.028	0.039	0.0082	0.9167	0.9275	0.8042
7	0.442	0.0385	0.0273	0.0001	0.9552	0.9547	0.8043

**TABLA N°3.4:** Masa participativa por modo

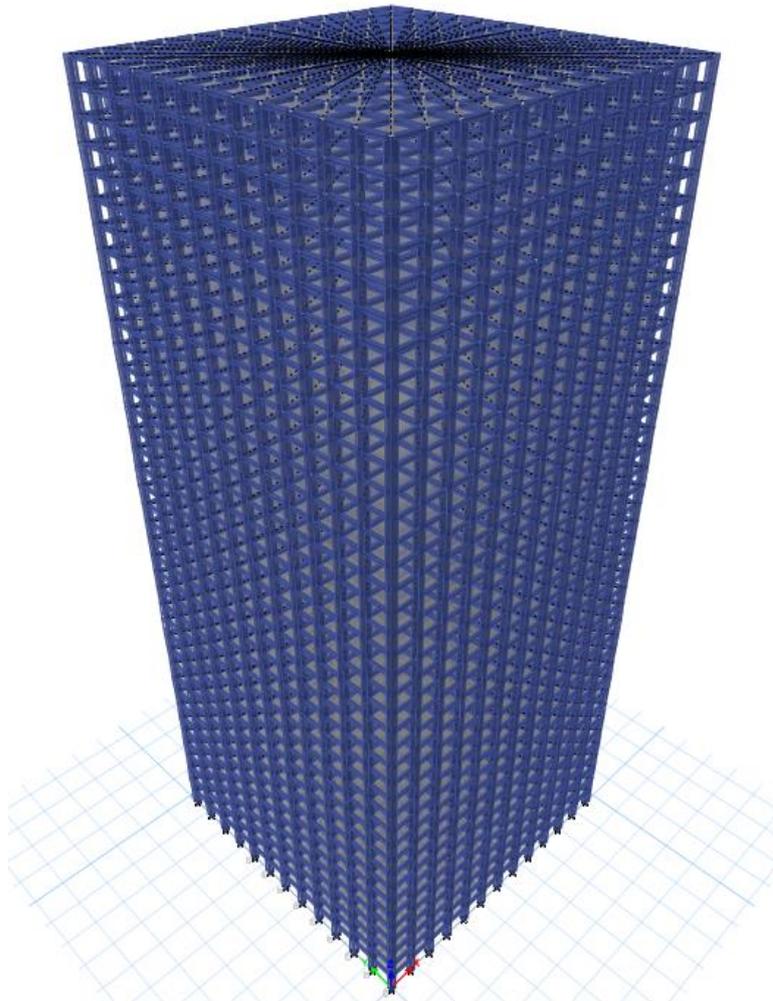


**FIGURA N°3.16:** Modos de Vibración

## 40 niveles

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS							
Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
	sec						
1	3.875	0.3685	0.3685	0.0481	0.3685	0.3685	0.0481
2	3.841	0.3921	0.3921	0	0.7607	0.7607	0.0481
3	3.416	0.0236	0.0236	0.7449	0.7842	0.7842	0.793
4	1.261	0.0485	0.0545	0.0009	0.8328	0.8388	0.7938
5	1.254	0.0554	0.0492	7.49E-07	0.8882	0.888	0.7938
6	0.622	0.023	0.0429	0.0053	0.9113	0.9309	0.7991
7	0.608	0.0428	0.0226	0.0001	0.954	0.9535	0.7992

**TABLA N°3.5:** Masa participativa por modo



**FIGURA N°3.17:** estructura de 40 niveles

## 50 niveles

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS							
Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
	sec						
1	4.737	0.4658	0.2921	0.0261	0.4658	0.2921	0.0261
2	4.718	0.3018	0.4817	0.0000	0.7676	0.7738	0.0261
3	4.269	0.0159	0.0097	0.7646	0.7835	0.7835	0.7907
4	1.545	0.0563	0.0465	0.0003	0.8398	0.8299	0.7911
5	1.542	0.0468	0.0566	0.0000	0.8866	0.8865	0.7911
6	0.755	0.0157	0.0497	0.0021	0.9022	0.9363	0.7932
7	0.748	0.0498	0.0154	0.0004	0.9521	0.9517	0.7936

**TABLA N°3.6:** Masa participativa por modo

## FIGURA N°3.18: Modos de Vibración

### 3.1.4.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA SIN AISLADORES

#### MOMENTOS MÁXIMOS Y CORTANTE

Para este caso tomaremos como muestra los momentos máximos en la columna y viga; quiere decir la más esforzada ya que son las más representativas en las diversas estructuras con las que contamos. Este tipo de columna y viga se estudiara para todas las estructuras a analizar.

Los resultados para las estructuras de 18, 20, 25, 30, 40 y 50 niveles los presentaremos en el siguiente cuadro:

**CUADRO N°3.3:** Fuerzas axiales y Cortante

REGISTRO_03 DE OCTUBRE 1974				
NIVELES	COLUMNA	VIGA	CORTANTE BASAL	
	M3-3 (ton-m)	M3-3 (ton-m)	FX (ton)	FY (ton)
18	21.245	6.741	287.540	224.070
20	27.626	7.439	480.217	336.348
25	38.952	8.230	830.202	659.866
30	29.971	5.756	1078.174	720.556
40	33.898	4.569	1620.485	993.619
50	40.598	4.271	2809.440	1726.451

Este cuadro representa los valores máximos; ya que son los más representativos de las estructuras que analizamos para poder realizar la comparación.

### **MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS**

En la cuadro N°3.4 indica los máximos desplazamientos y distorsiones de cada estructura. Para el caso de distorsiones los resultados producto del análisis que mencionamos líneas arriba, fueron multiplicados por 0.75R tal y como lo especifica la Norma E030.

Según la Norma E030: “Los sistemas estructurales se clasificaran según los materiales usados y en el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis”

**CUADRO N°3.4:** Desplazamientos en ambas direcciones

NIVELES	DESPLAZAMIENTOS	
	X-X (cm)	Y-Y (cm)
18	2.892	1.176
20	2.741	1.664
25	4.101	1.748
30	2.847	1.352
40	4.477	2.735
50	3.947	4.492

En esta investigación tal y como lo mencionamos en el capítulo anterior, utilizaremos un sistema estructural de Concreto Armado, Estructura de pórticos por lo tanto según la tabla especificada en la norma el coeficiente básico de reducción sería 8.

**CUADRO N°3.5:** Distorsiones en ambas direcciones

NIVELES	DISTORSIONES	
	DX	DX*0.75*R
18	0.001022	0.006132
20	0.001078	0.006468
25	0.001167	0.007002
30	0.000727	0.004362
40	0.000506	0.003036
50	0.000558	0.003348

De la figura observamos que la distorsión en la dirección x-x CUMPLE con la máxima deriva 0.007 que es exigida por la Norma E030.

**CUADRO N°3.6:** Distorsiones en ambas direcciones

NIVELES	DISTORSIONES	
	DY	DY*0.75*R
18	0.00064	0.00384
20	0.00062	0.00372
25	0.000629	0.003774
30	0.000418	0.002508
40	0.000572	0.003432
50	0.000587	0.003522

### 3.2. ESTRUCTURAS A ANALIZAR CON AISLADORES

Para el análisis de las estructuras con aisladores sísmicos es preciso saber que tenemos que realizar el pre-diseño de los aisladores de núcleo de plomo; para ello nos guiaremos de la norma americana ASCE 7-10 seguido de la mano con la información brindada de DISEPRO (Oficina Profesional de Ingeniería Estructural) dedicada al diseño y cálculo de estructuras para edificaciones.

Una vez obtenido los datos de diseño del aislador; usaremos el software ETABS 2016 para poder incorporar los aisladores a la estructura, tenemos el siguiente procedimiento:

Se aumentara un piso sobre la base; al cual lo llamaremos piso técnico; lugar donde estarán ubicados los aisladores

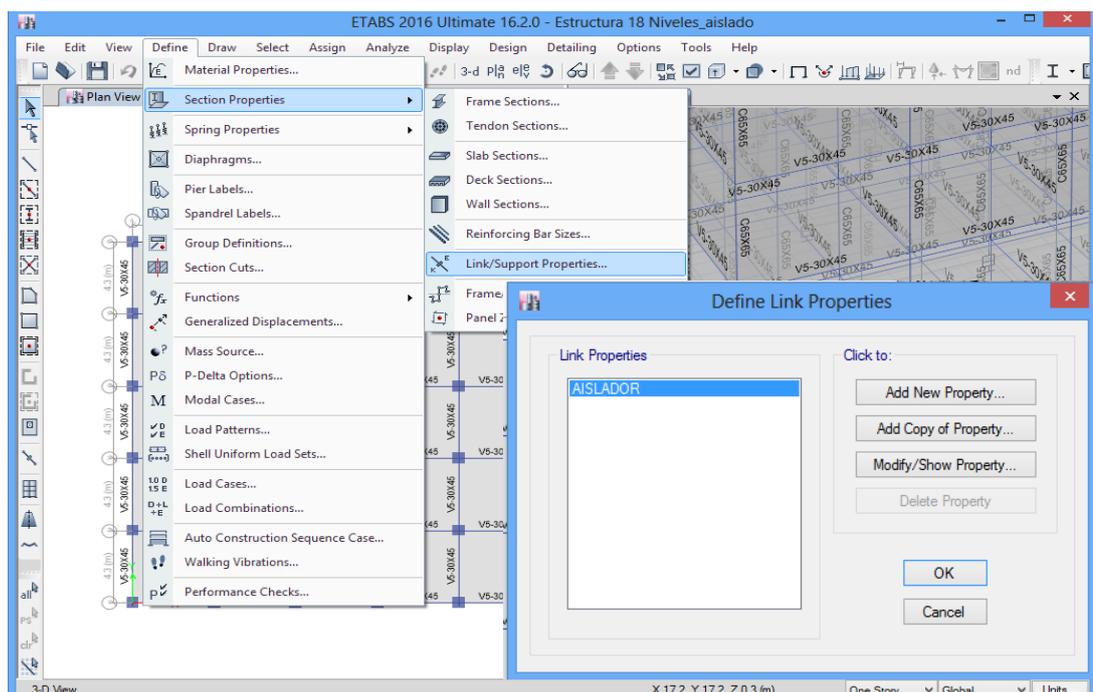
Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
Story11	3	33.3	No	None	No	0	Yellow
Story10	3	30.3	No	None	No	0	Yellow
Story9	3	27.3	No	None	No	0	Yellow
Story8	3	24.3	No	None	No	0	Yellow
Story7	3	21.3	No	None	No	0	Yellow
Story6	3	18.3	No	None	No	0	Yellow
Story5	3	15.3	No	None	No	0	Yellow
Story4	3	12.3	No	None	No	0	Yellow
Story3	3	9.3	No	None	No	0	Yellow
Story2	3	6.3	No	None	No	0	Yellow
Story1	3	3.3	No	None	No	0	Yellow
PT	0.3	0.3	No	None	No	0	Grey
Base		0					Grey

Note: Right Click on Grid for Options

Buttons: Refresh View, OK, Cancel

**FIGURA N°3.17: Piso Técnico**

Añadimos las propiedades del aislador; Define – Section Properties- Link; creamos una nuevo elemento al cual llamaremos AISLADOR



**FIGURA N°3.18: Elemento\_Aislador**

Definiremos las propiedades obtenidas de los cálculos que se realizó en el capítulo anterior. Ingresamos los valores del cuadro de resultados de la figura 3.18 para 18 Niveles.

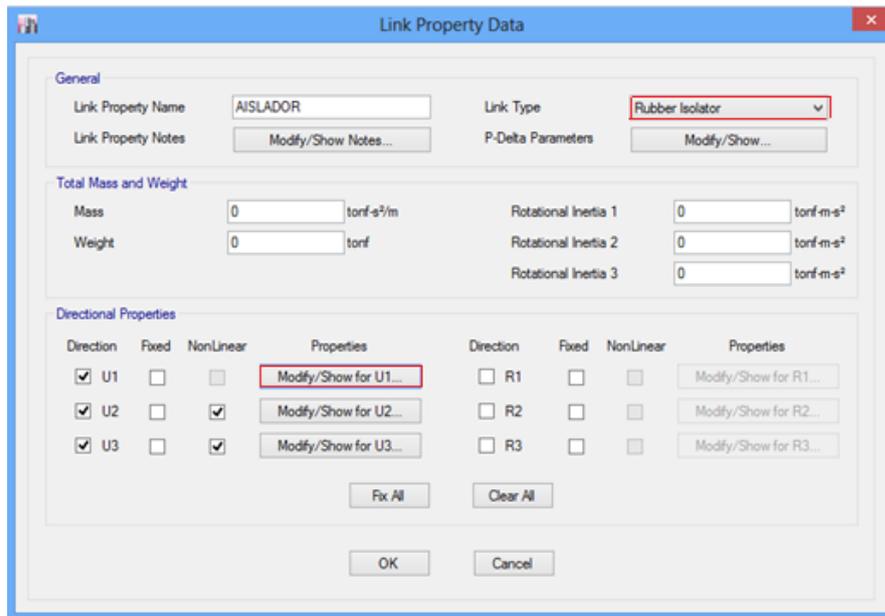


FIGURA N°3.19: Propiedades del aislador

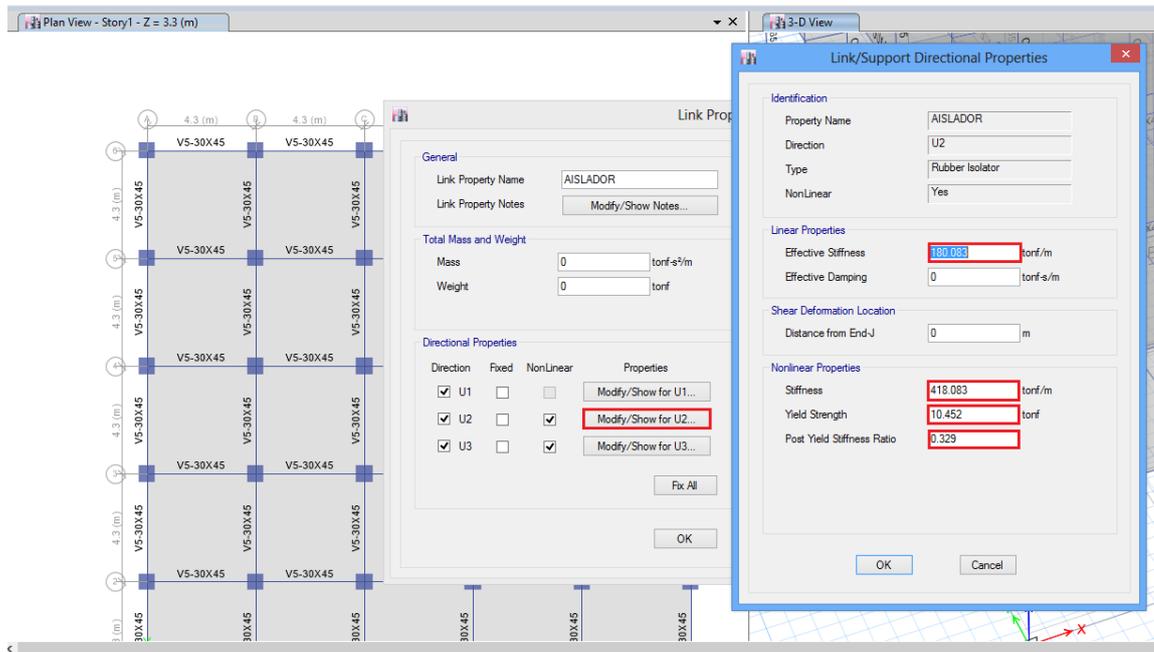
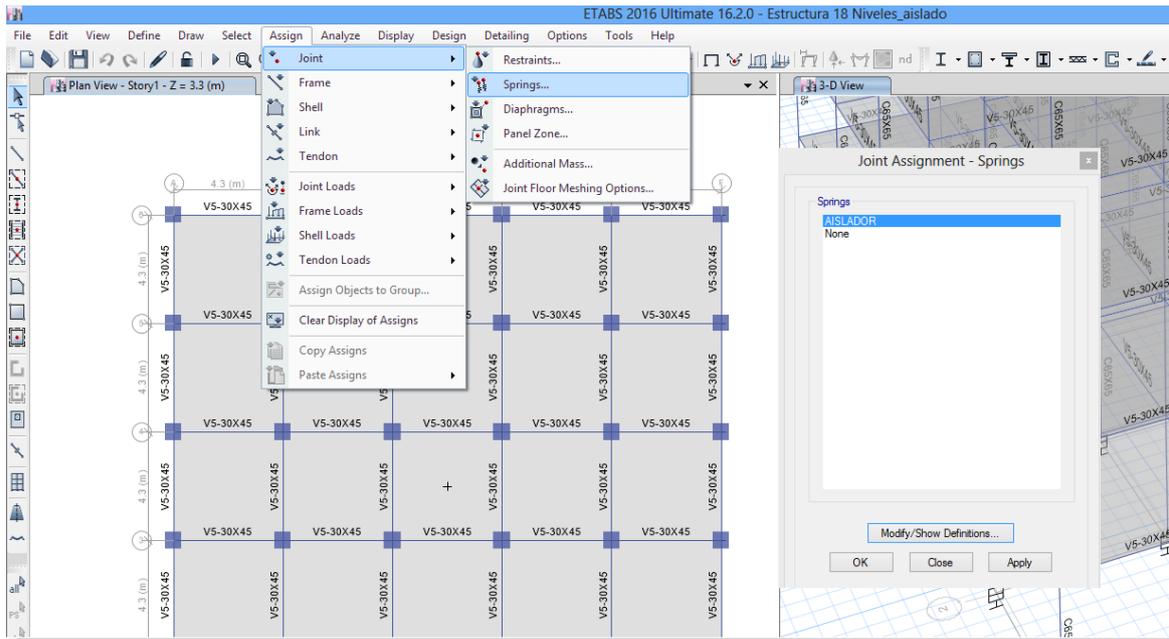


FIGURA N°3.20: Propiedades del aislador

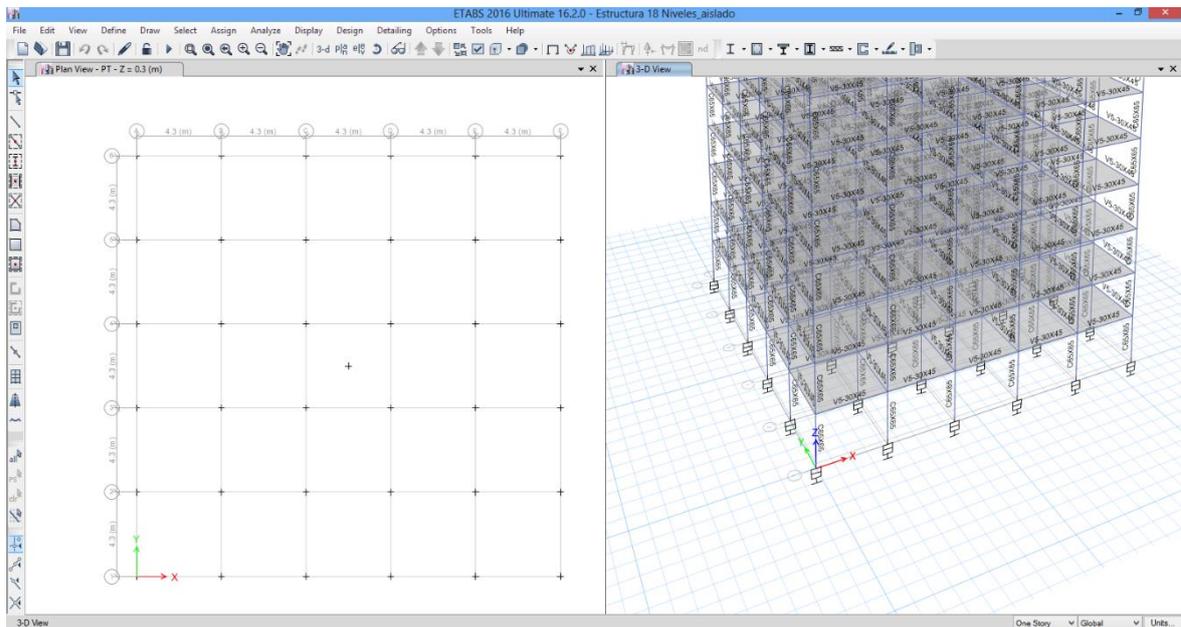
Se realizará para ambas direcciones; se tomará los mismos valores que se muestra en la figura N°3.20

Seleccionar vista en planta; PISO TECNICO, donde buscamos los nudos para poder insertar los aisladores seguido de estos pasos Asign- Joint - Springs – AISLADOR – apply – ok



**FIGURA N°3.21:** Estructura con aisladores

Tenemos la estructura aislada



**FIGURA N°3.22:** Vista de aisladores en la base

## RESPUESTA DE ES ESTRUCTURA AISLADA

### PERIODOS FUNDAMENTALES

Los periodos de una estructura aislada serán mucho mayor a la de la estructura sin aislar porque el aislador se encarga de aumentar periodo para disminuir la demanda sísmica.

**CUADRO N°3.7:** Periodo-Estructura aislada

NIVELES	PERIODO t (s)
18	2.975
20	3.167
25	3.793
30	4.103
40	5.068
50	5.890

### 3.2.1.1. RESULTADO DEL ANALISIS TIEMPO HISTORIA CON AISLADORES

#### MOMENTOS MÁXIMOS Y CORTANTE

Para las estructuras con aisladores sísmicos calcularemos con las mismas Columnas y Vigas que se realizó para las estructuras sin aislamiento ya que son las más esforzadas; sin embargo obtenemos los siguientes resultados.

**CUADRO N°3.8:** Fuerzas axiales y Cortante

REGISTRO_03 DE OCTUBRE 1974				
NIVELES	COLUMNA	VIGA	CORTANTE BASAL	
	M3-3 (ton-m)	M3-3 (ton-m)	FX (ton)	FY (ton)
18	7.571	3.993	87.147	48.168
20	7.985	3.853	131.22	73.823
25	10.918	5.166	232.431	159.907
30	10.477	4.914	414.337	300.100
40	9.597	4.310	581.637	556.367
50	12.939	5.521	1173.700	918.459

## MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS

**CUADRO N°3.9:** Resultados de desplazamientos

NIVELES	BASE	AISLADO + BASE	AISLADO
	cm	Cm	cm
18	1.3139	2.3779	1.0640
20	1.5052	2.8795	1.3743
25	1.8245	4.4835	2.6590
30	2.1581	5.1827	3.0246
40	1.5033	4.4105	2.9072
50	1.8091	6.6258	4.8167

## DISTORSIONES

**CUADRO N°3.10:** Resultados de distorsiones

NIVELES	DISTORSIONES	
	DX	0.75* R*DX
18	0.000783	0.004698
20	0.000703	0.004218
25	0.000922	0.005532
30	0.000853	0.005118
40	0.000703	0.004218
50	0.000806	0.004836

Del cuadro de resultados N°3.10 observamos que las distorsiones cumplen con lo especificado en la norma, es decir el uso de aisladores sísmicos en las edificaciones reduce distorsiones en casi un 20%, pero no reduce este porcentaje en edificaciones de mayor altura.

### **3.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ESTRUCTURAS SIN AISLAMIENTO VS AISLADAS**

#### **3.3.1. Periodos Fundamentales**

La principal función del aislador sísmico es la de disipar energía; por lo que esta conllevaría a disminuir la demanda sísmica. Sin embargo el uso de aisladores en

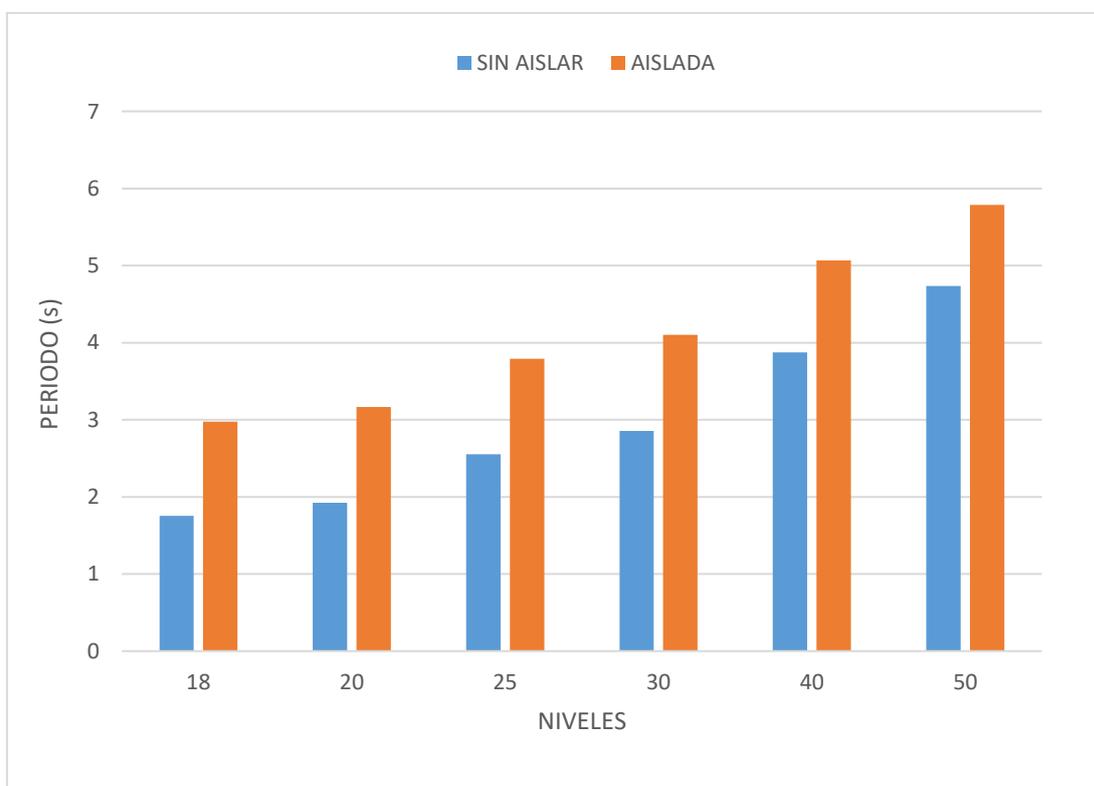
las estructuras se encargara de aumentar el periodo de la estructura con el fin de que esta no sufra daños estructurales

A continuación presentaremos el cuadro de comparación

**CUADRO N°3.11: comparación de resultados**

NIVELES	PERIODO (s)		% DE REDUCCION
	SIN AISLAR	AISLADA	
18	1.755	2.975	70%
20	1.926	3.167	64%
25	2.555	3.793	48%
30	2.855	4.103	44%
40	3.875	5.068	31%
50	4.737	5.785	22%

En el caso de periodos observamos que no contamos con ninguna dificultad para todas las edificaciones; pero lo que se puede apreciar en la figura N° 3.23 es que el porcentaje de reducción disminuye conforme aumentan la cantidad de niveles



**FIGURA N°3.23: Presentación gráfica de periodos**

### 3.3.2. Momentos Flectores

#### COLUMNA

Para realizar la comparación de las estructuras con respecto a las fuerzas axiales—Columnas se seleccionaron las que presentan mayor momento es decir las más esforzadas con el fin de poder obtener los porcentajes de reducción para cada estructura y seguir con los parámetros que consideramos para el análisis.

CUADRO N°3.12: comparación de resultados

NIVELES	M3-3 (Ton-m)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	21.2459	11.5365	46%
20	27.6256	9.9211	64%
25	38.9516	13.3362	66%
30	29.9709	12.3926	59%
40	33.8982	13.0049	62%
50	40.5978	15.939	61%

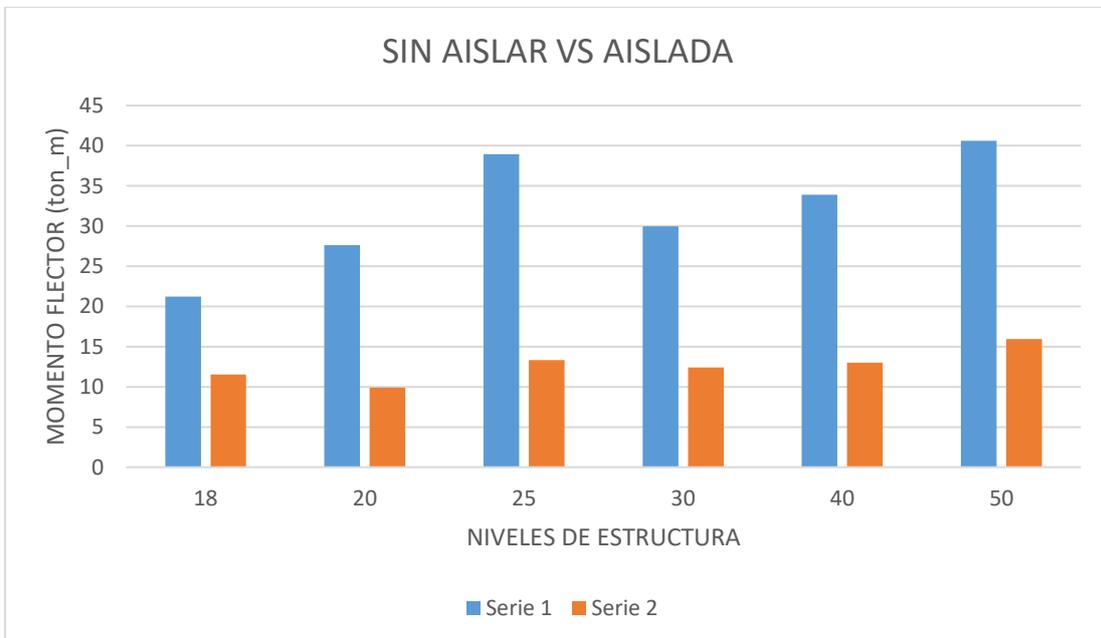


FIGURA N°3.24: Presentación gráfica de periodos

En la figura N° 3.24 se observa que las estructuras diseñadas con aisladores núcleo de plomo son totalmente eficientes en estructuras de 50 niveles.

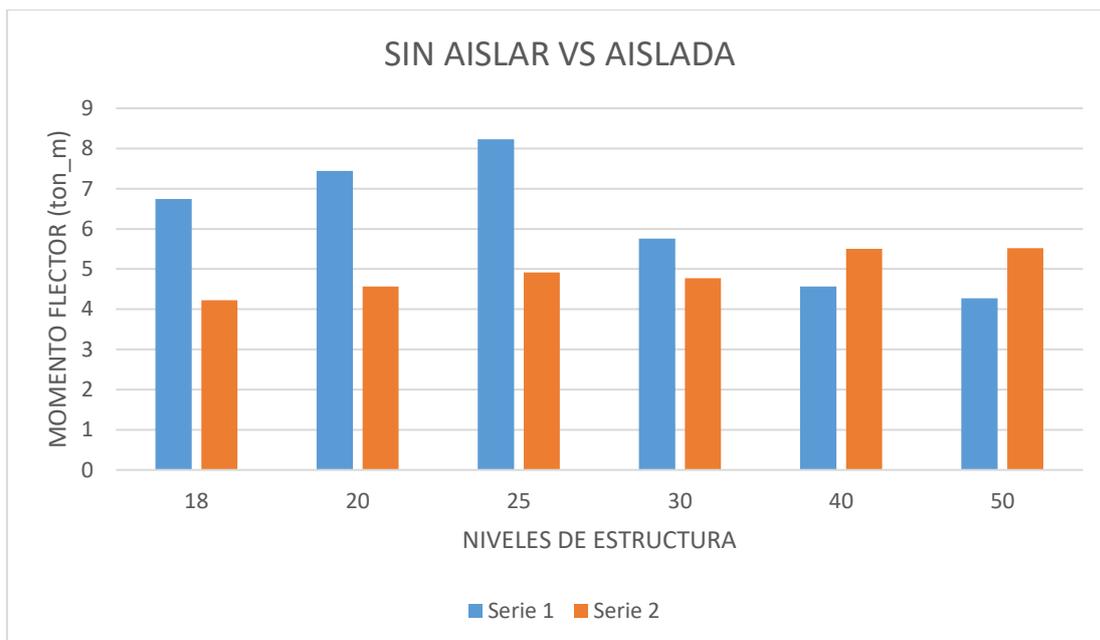
Sin embargo observamos que el porcentaje de reducción no tiene un patrón conforme las estructuras aumentan de niveles; esto se debe a que el espectro de respuesta del registro que se seleccionó interviene en los resultados mostrados en la figura 3.24.

### **VIGA**

Para determinar la comparación de resultados en los que corresponde a los momentos en vigas; de igual manera que en el caso de las columnas; se seleccionó las que presentan mayores momentos; mayor esfuerzo en la viga correspondiente para cada estructura. Procedemos a realizar y describir los resultados de esta tal y como se observa en el cuadro N° 3.13

**CUADRO N°3.13: comparación de resultados**

NIVELES	M3-3 (Ton-m)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	6.7411	4.2251	37%
20	7.4385	4.569	39%
25	8.2297	4.9177	40%
30	5.7557	4.7723	17%
40	4.5693	5.4996	-20%
50	4.2709	5.5207	-29%



**FIGURA N°3.24:** Presentación gráfica de periodos

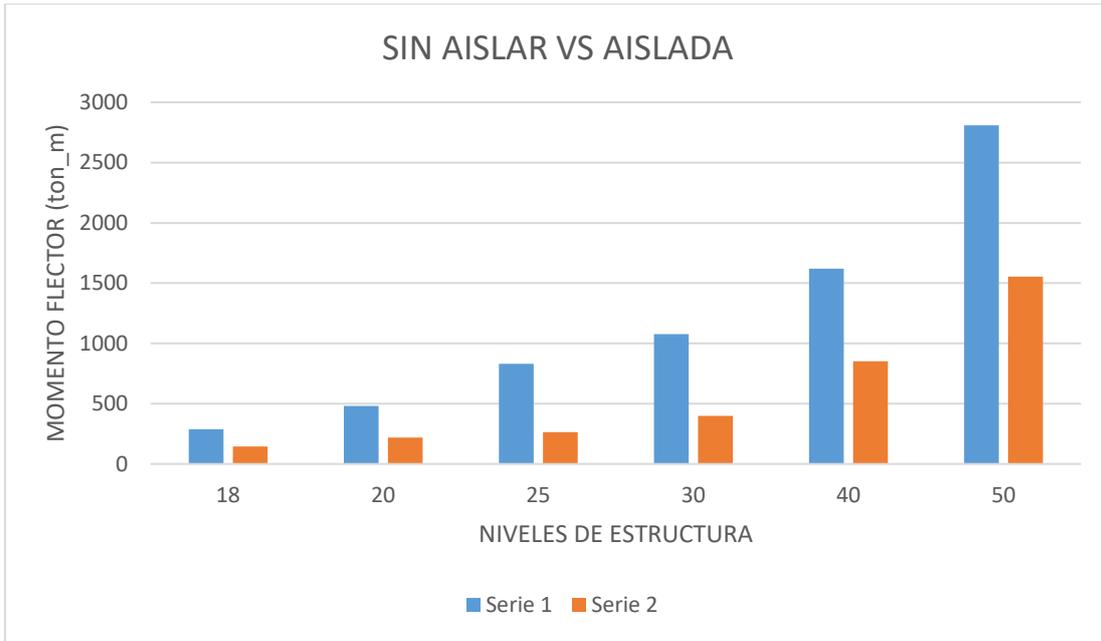
En la figura N° 3.24; se puede apreciar que el uso de aisladores sísmicos en una estructuras de concreto armado de pórticos en edificaciones de 18, 20, 25, 30 el comportamientos de estos dispositivos tienen un buen comportamiento; es decir reduce esfuerzo de hasta un 40 % mientras que para las estructuras de 40 y 50 niveles este presenta un comportamiento desfavorable; es decir incrementa el esfuerzo de las vigas.

### 3.3.3. Cortante Basal

#### CORTANTE X-X

**CUADRO N°3.14:** comparación de resultados

NIVELES	FX (Ton)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	287.5379	144.7098	50%
20	480.2174	218.4941	55%
25	830.202	263.3503	68%
30	1078.1737	397.9176	63%
40	1620.4846	853.2045	47%
50	2809.4402	1553.7002	45%

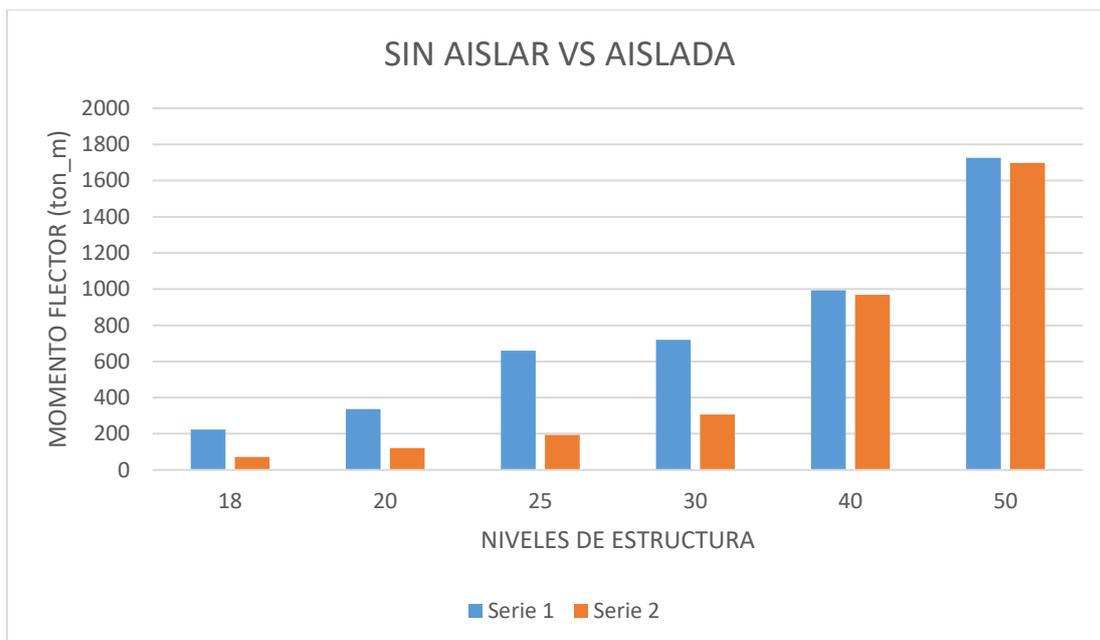


**FIGURA N°3.25:** Presentación gráfica de los momentos máximos en columnas

## CORTANTE Y-Y

**CUADRO N°3.15:** comparación de resultados

NIVELES	FY (Ton)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	224.0653	71.5259	68%
20	336.3479	121.567	64%
25	659.8655	193.1369	71%
30	720.5561	306.4275	57%
40	993.619	969.0854	2%
50	1726.4513	1698.02	2%



**FIGURA N°3.26:** Presentación gráfica de los momentos máximos en Vigas

### 3.3.4. Desplazamiento

Los desplazamientos en las estructuras para ambas direcciones no serán las mismas pese a que usamos el registro EW en la dirección x-x y NS en la dirección y-y.

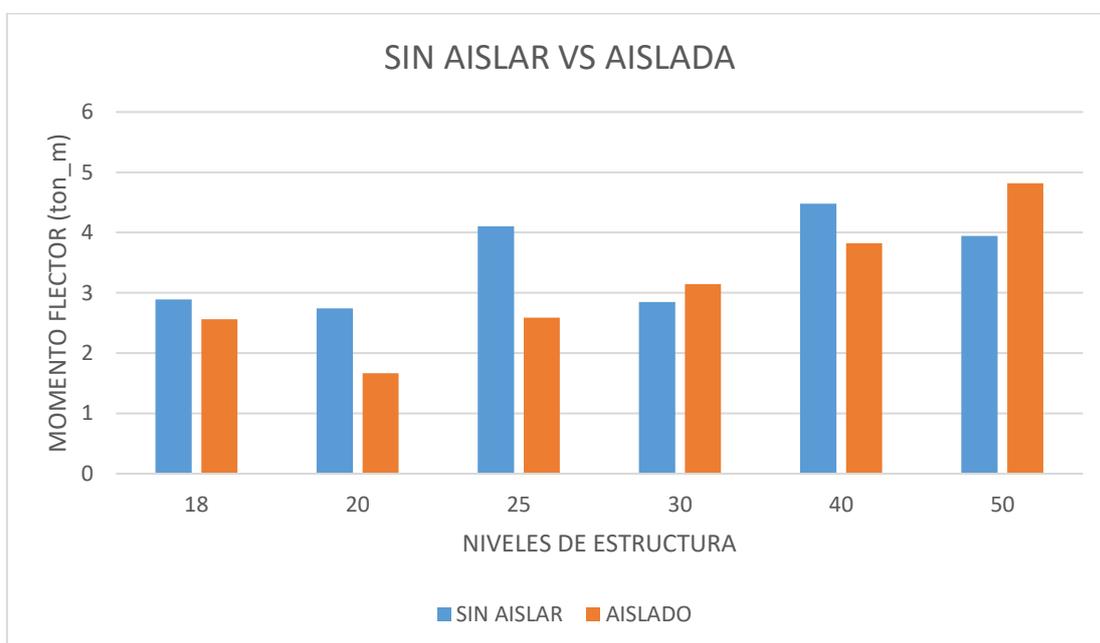
#### DESPLAZAMIENTO X-X

La función de los aisladores sísmicos en el caso de desplazamientos es la de buscar uniformidad en estos.

Como se observa en el cuadro N° 3.15 solo redujo un 11 % en las estructuras de 18 niveles mientras que para las estructuras de 30, 40, 50 este ya no es favorable; al contrario presenta incremento en los desplazamientos por lo que ello perjudicaría a la estructura.

**CUADRO N°3.15:** comparación de resultados

NIVELES	DESP X-X (cm)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	2.8924	2.564	11%
20	2.740587	1.668881	39%
25	4.100763	2.587304	37%
30	2.84663	3.142	-10%
40	4.4771	3.821394	15%
50	3.946807	4.816652	-22%



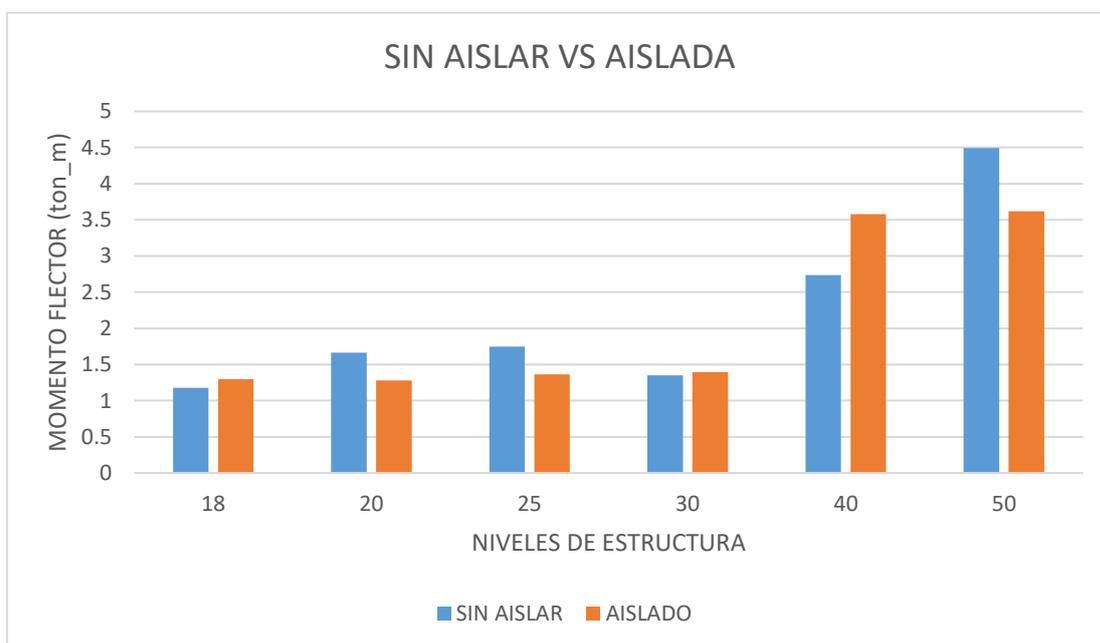
**FIGURA N°3.27:** Presentación gráfica de desplazamientos x-x

### DESPLAZAMIENTO Y-Y

El cuadro de resultados para esta dirección en desplazamientos es totalmente distorsionado debido al registro en esta dirección. Los desplazamientos que se muestran en el siguiente cuadro; son los producidos en el último nivel cada estructura analizada, siendo estos los más perjudicados por el sismo

**CUADRO N°3.16:** comparación de resultados

NIVELES	DESP Y-Y (cm)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	1.176221	1.297316	-10%
20	1.6643	1.280317	23%
25	1.747574	1.362611	22%
30	1.351521	1.3963	-3%
40	2.7353	3.579194	-31%
50	4.491853	3.619368	19%



**FIGURA N°3.28:** Presentación gráfica de desplazamientos y-y

En la figura se observa que los desplazamientos en la estructura de 18 niveles si reduce desplazamientos mientras que para las demás estructuras este tipo de dispositivo es desfavorable para estas estructuras analizadas.

### 3.3.5. Distorsiones

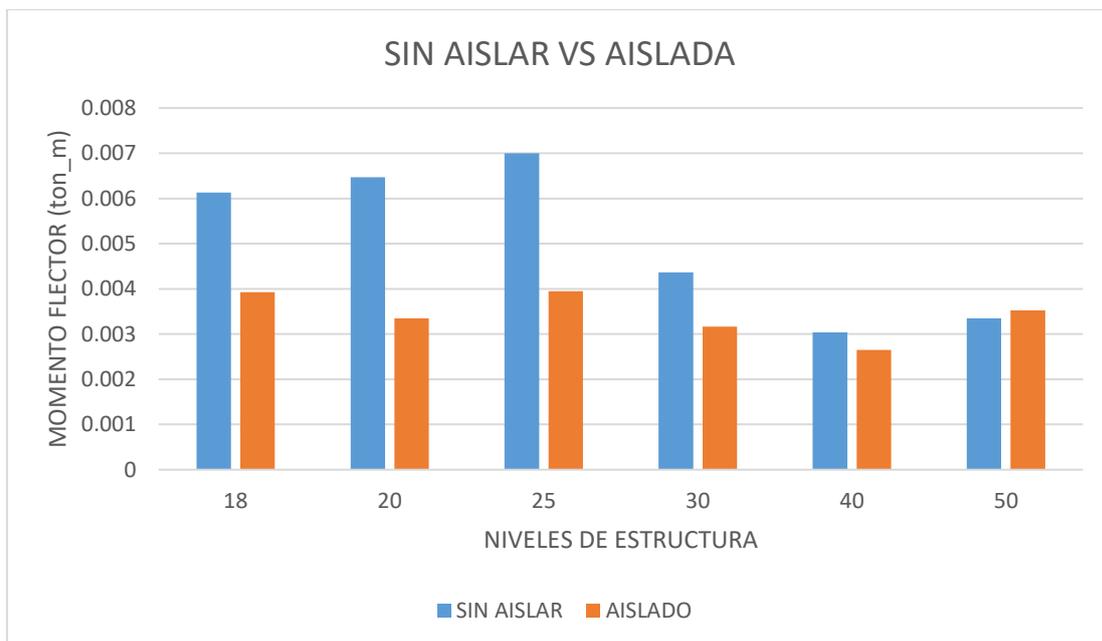
Es la diferencia de los desplazamientos de un nivel superior y el inferior, todo ello entre la altura por cada piso; esto resulta ser las distorsiones.

## DISTORSIÓN X-X

Las distorsiones para toda estructura no deben ser mayor a 0.007 según lo especificado en la Norma E030; las estructuras que se analizaron en esta investigación cumplen con lo especificado tanto para la estructura y la superestructura.

**CUADRO N°3.17:** comparación de resultados

NIVELES	DIST X-X (cm)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	0.006132	0.003924	36%
20	0.006468	0.003348	48%
25	0.007002	0.003948	44%
30	0.004362	0.003162	28%
40	0.003036	0.002646	13%
50	0.003348	0.003522	-5%



**FIGURA N°3.29:** Presentación gráfica de distorsiones x-x

## DISTORSIÓN Y-Y

**CUADRO N°3.18:** comparación de resultados

NIVELES	DIST Y-Y (cm)		
	SIN AISLAR	AISLADO	%
18	0.00384	0.002472	36%
20	0.00372	0.002892	22%
25	0.003774	0.002994	21%
30	0.002508	0.00294	-17%
40	0.003432	0.003372	2%
50	0.003522	0.004032	-14%

La norma de diseño sismorresistente E030 establece que para sistemas estructurales en donde la fuerza sísmico es resistida básicamente por sistemas estructurales de concreto armado la distorsión máxima permitida es el orden 7/1000.



**FIGURA N°3.30:** Presentación gráfica de distorsiones y-y

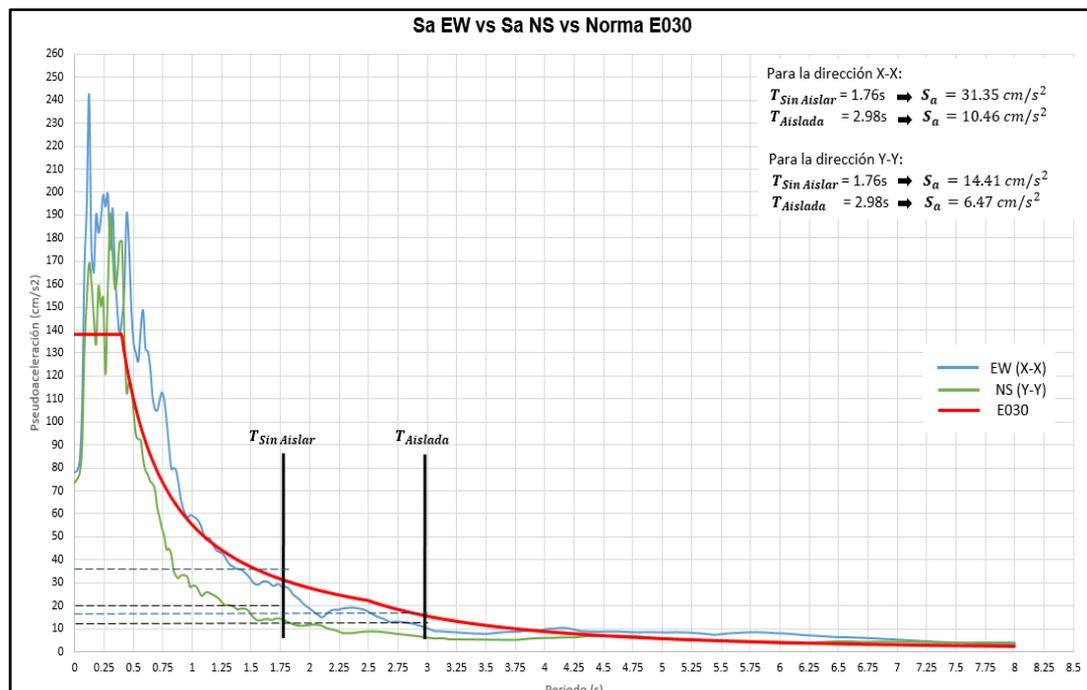
### 3.4. COMPARACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN BASE A PERIODOS VS PSEUDOACELERACIONES

La respuesta de la estructura será realizada en base a periodos de las estructuras vs pseudoaceleraciones; donde detallaremos cómo el registro sísmico influye en los resultados que se obtuvieron en el análisis.

Es por ello que mostraremos las siguientes gráficas a continuación:

#### - Para la estructura de 18 niveles

Se mostrará la gráfica de acuerdo a la comparación que se realizó en relación a los periodos fundamentales con respecto a esta estructura.



**FIGURA N°3.32:** Pseudoaceleraciones en base a los periodos de las estructuras sin y con aisladores – 18 niveles

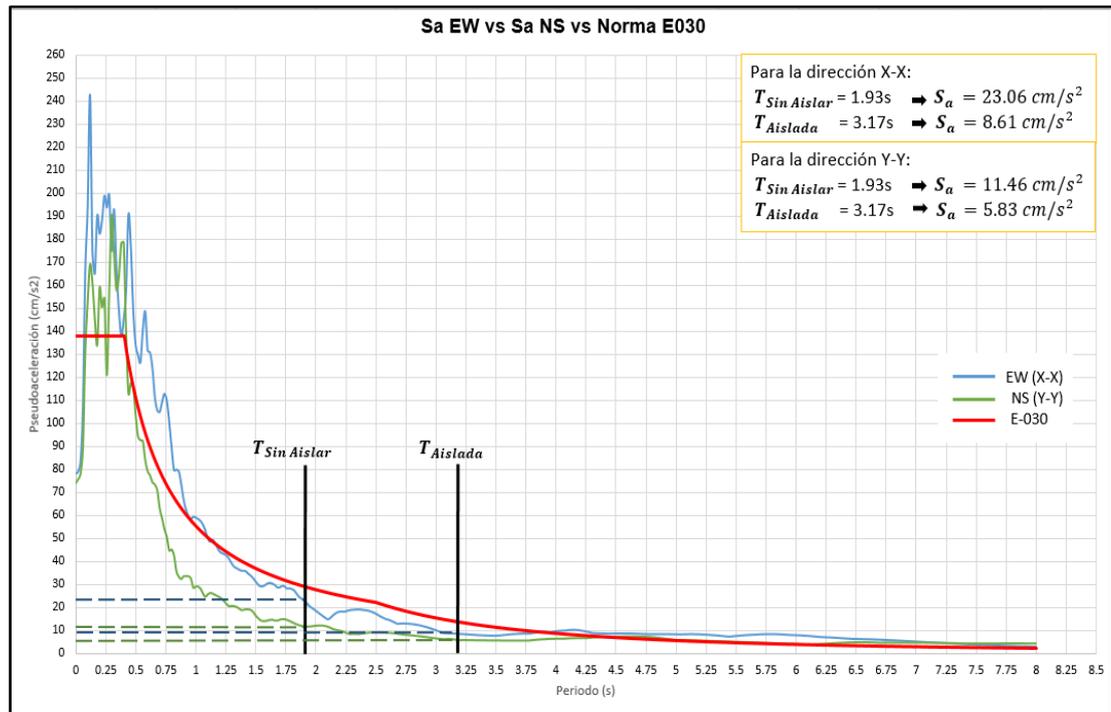
En la figura N°3.32; se observa que los registros que fueron seleccionados por ambas direcciones, luego se ubicó los periodos correspondientes obtenidos del ETABS; para luego determinar las pseudoaceleraciones.

Para la dirección del registro EW tenemos que  $T_{sin aislamiento} = 1.76s$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 31.35$  cm/s<sup>2</sup>) mientras que para  $T_{aislado} = 2.98s$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 10.46$  cm/s<sup>2</sup>). Para la dirección del registro NS tenemos los mismos valores de los periodos puesto que la pseudoaceleraciones no son las mismas  $T_{sin aislamiento} = 1.76s$  por lo que la

pseudoaceleración será ( $S_a = 14.41 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 2.98s$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 6.47 \text{ cm/s}^2$ ). Sin embargo de acuerdo a la comparación que se elaboró el uso de aisladores sísmicos para esta cantidad de niveles reduce la demanda sísmica en la dirección x-x un 67% mientras que para dirección y-y reduce el 55%.

**- Para la estructura de 20 niveles**

La figura N°3.33; representa los espectros de los registros en ambas direcciones y el espectro de la norma E030, para poder determinar la comparación de las demandas sísmicas en base a los periodos fundamentales de los cuales se obtuvo los siguientes resultados:



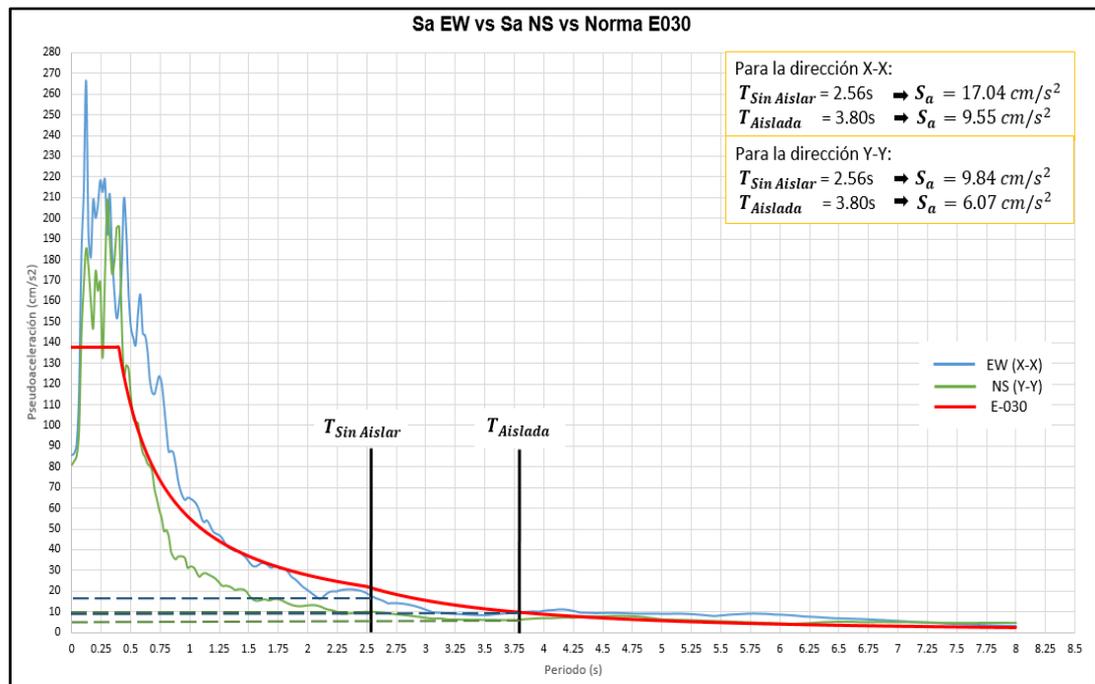
**FIGURA N°3.33:** Pseudoaceleraciones en base a los periodos de las estructuras sin y con aisladores – 20 niveles

Para la dirección del registro EW tenemos que  $T_{sin aislado} = 1.93s$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 23.06 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 3.17s$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 8.61 \text{ cm/s}^2$ ). Para la dirección del registro NS tenemos los mismos valores de los periodos puesto que la pseudoaceleraciones no son las mismas  $T_{sin aislado} = 1.93s$  por lo que la

pseudoaceleración será ( $S_a = 11.46 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 3.17s$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 5.83 \text{ cm/s}^2$ ). Sin embargo se observa que la demanda sísmica sigue disminuyendo para la edificación de 20 niveles en la dirección x-x en un 63% mientras que para la dirección y-y reduce un 59%.

**- Para la estructura de 25 niveles**

La figura N°3.34; representa los espectros de los registros en ambas direcciones y el espectro de la norma E030, para poder determinar la comparación de las demandas sísmicas en base a los periodos fundamentales de los cuales se obtuvo los siguientes resultados:



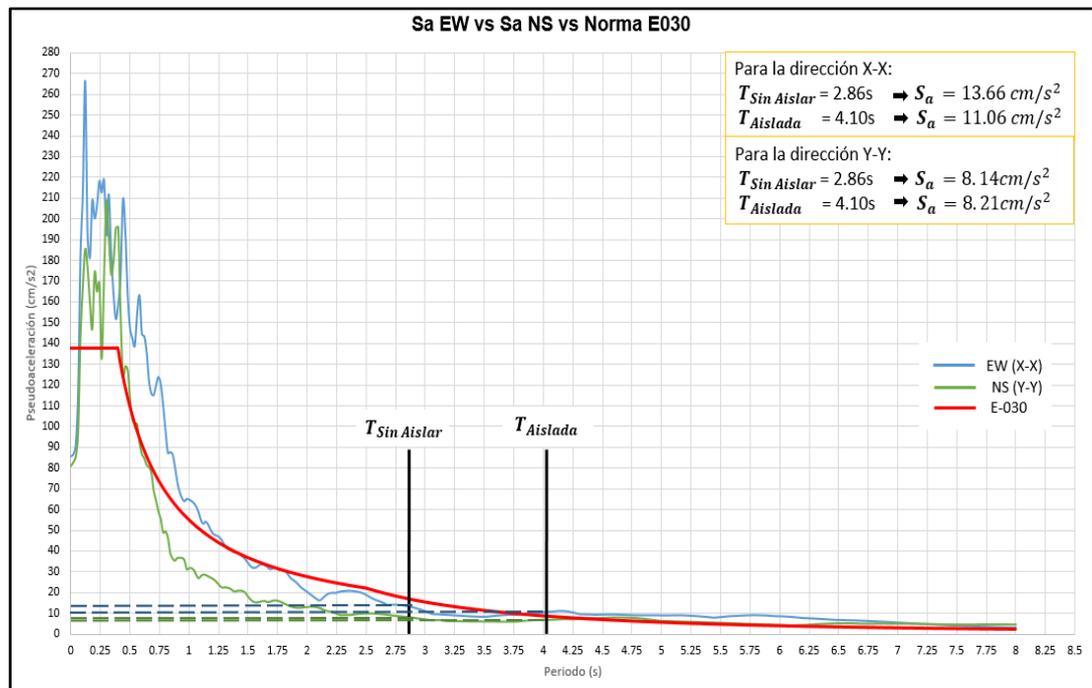
**FIGURA N°3.34:** Pseudoaceleraciones en base a los periodos de las estructuras sin y con aisladores – 25 niveles

Para la dirección del registro EW tenemos que  $T_{sin aislado} = 2.56 \text{ s}$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 17.04 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 3.80 \text{ s}$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 9.55 \text{ cm/s}^2$ ). Para la dirección del registro NS tenemos los mismos valores de los periodos puesto que la pseudoaceleraciones no son las mismas  $T_{sin aislado} = 2.56s$  por lo que la

pseudoaceleración será ( $S_a = 9.84 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 3.80\text{s}$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 6.07 \text{ cm/s}^2$ ). Sin embargo se observa que la demanda sísmica sigue disminuyendo para la edificación de 25 niveles analizada para la dirección x-x en un 44%, mientras que para la dirección y-y reduce en un 38%.

**- Para la estructura de 30 niveles**

La figura representa los espectros de los registros en ambas direcciones y el espectro de la norma E030, para poder determinar la comparación de las demandas sísmicas en base a los periodos fundamentales de los cuales se obtuvo los siguientes resultados:

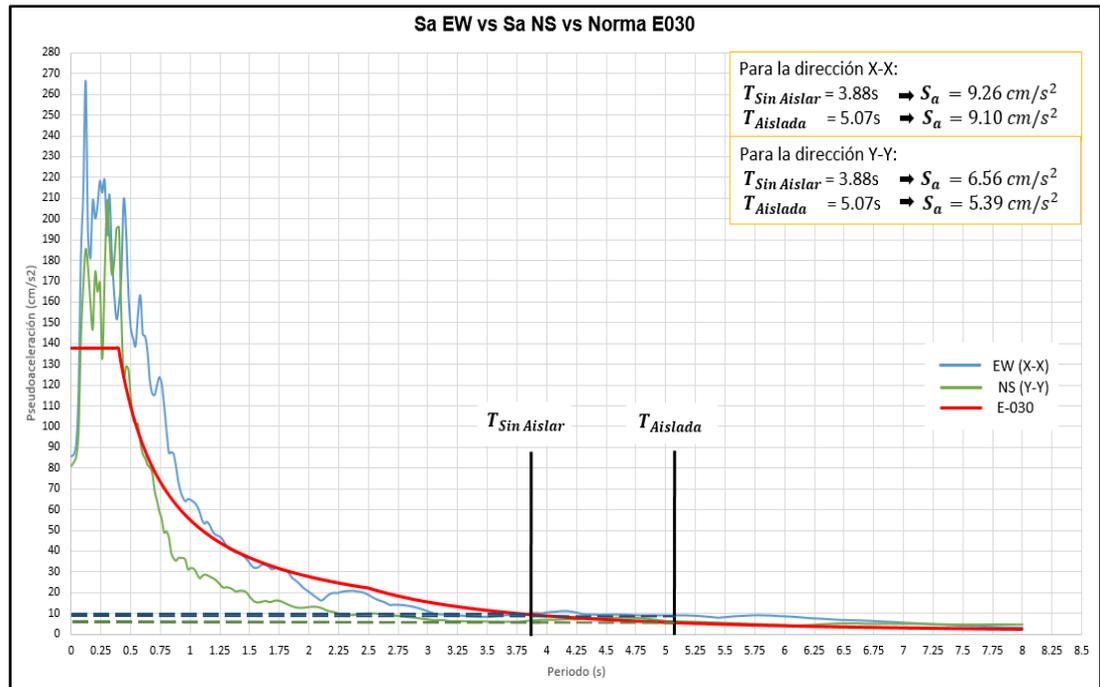


**FIGURA N°3.35:** Pseudoaceleraciones en base a los periodos de las estructuras sin y con aisladores – 30 niveles

En la figura N°3.35 se observa que para la dirección del registro EW tenemos que  $T_{sin aislar} = 2.86 \text{ s}$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 13.66 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 4.10 \text{ s}$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 11.06 \text{ cm/s}^2$ ). Para la dirección del registro NS tenemos los mismos valores de los periodos puesto que la pseudoaceleraciones no son las mismas  $T_{sin aislar} = 2.86\text{s}$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 8.14 \text{ cm/s}^2$ )

mientras que para  $T_{aislado} = 4.10s$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 8.21$  cm/s<sup>2</sup>). Sin embargo se observa que la demanda sísmica para la dirección x-x reduce en un 19%, mientras que en la dirección y-y se observa que la demanda sísmica se incrementa a un 1% debido al registro seleccionado.

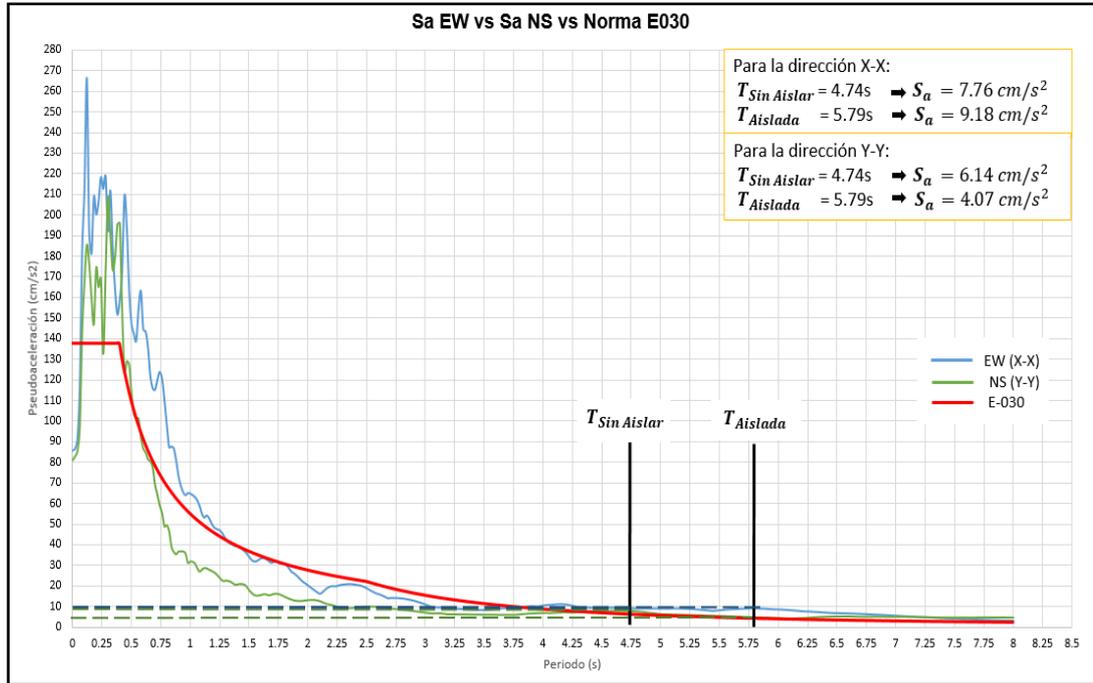
**- Para la estructura de 40 niveles**



**FIGURA N°3.36:** Pseudoaceleraciones en base a los periodos de las estructuras sin y con aisladores – 40 niveles

En la figura N°3.36 se observa que para la dirección del registro EW tenemos que  $T_{sin aislar} = 3.88$  s por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 9.26$  cm/s<sup>2</sup>) mientras que para  $T_{aislado} = 5.07$  s la pseudoaceleración será ( $S_a = 9.10$  cm/s<sup>2</sup>). Para la dirección del registro NS tenemos los mismos valores de los periodos puesto que la pseudoaceleraciones no son las mismas  $T_{sin aislar} = 3.88s$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 6.56$  cm/s<sup>2</sup>) mientras que para  $T_{aislado} = 5.07s$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 5.39$  cm/s<sup>2</sup>). Sin embargo se observa que la demanda sísmica para la estructuras de 40 niveles ya se reduce en un porcentaje menor en la dirección x-x que es el de 2% y para la dirección y-y es un 18%.

- Para la estructura de 50 niveles



**FIGURA N°3.37:** Pseudoaceleraciones en base a los periodos de las estructuras sin y con aisladores – 50 niveles

En la figura N°3.37 se observa que para la dirección del registro EW tenemos que  $T_{sin\ aislado} = 4.74 \text{ s}$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 7.76 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 5.79 \text{ s}$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 9.18 \text{ cm/s}^2$ ). Para la dirección del registro NS tenemos los mismos valores de los periodos puesto que la pseudoaceleraciones no son las mismas  $T_{sin\ aislado} = 4.74s$  por lo que la pseudoaceleración será ( $S_a = 6.14 \text{ cm/s}^2$ ) mientras que para  $T_{aislado} = 5.79s$  la pseudoaceleración será ( $S_a = 4.07 \text{ cm/s}^2$ ). Sin embargo se observa que en lugar de reducir la demanda sísmica de la estructura sin aislar pues este se incrementa en un 18% para la dirección x-x; lo cual no favorece el empleo de estos dispositivos para esta cantidad de niveles.

#### **IV. DISCUSIÓN**

Como fue mencionado en el capítulo I que corresponde a la introducción hoy en día se observa que la ingeniería sismorresistente ha ido tomando mayor importancia ya que su objetivo principal siempre fue el de evitar pérdidas de vidas humanas, y disminuir los daños en la estructura tal y como se afirma en la Norma E-030 de Diseño Sismorresistente. Sin embargo muchas de las edificaciones esenciales e importantes como hospitales, colegios y edificaciones que tienen que servir de un lugar de refugio después de un lamentable desastre, no están preparadas para resistir un evento sísmico de gran magnitud.

Sin embargo el desarrollo de la tecnología nos permite hoy en día adoptar nuevos procedimientos para el mejor comportamiento de la estructura; como la implementación del uso de aisladores sísmicos en las edificaciones, este sistema se ha desarrollado exitosamente ya que tiene como finalidad disipar energía originada por un sismo y reducir los efectos de la fuerza sísmica sobre la estructura.

Esta investigación tuvo como objetivo principal el de determinar en análisis comparativo de la respuesta sísmica en estructuras de concreto armada con y sin el empleo de aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura; es por ello que en el proceso de esta investigación se fue demostrando el comportamiento de las estructuras de diferentes cantidades de niveles; pues esta resulto ser afectada debido a que es un registro real; por lo que este tendría diferentes lecturas de aceleraciones lo que conlleva a que el aislador no cumpla con todas las funciones que este brinda.

Según Korswagen Eguren, y otros, (2012) En la tesis Titulada “Análisis y Diseño de Estructuras con Aisladores Sísmicos en el Perú” fijo como objetivo en usar aisladores elastoméricos, ya que estos tienen una elevada rigidez a cargas laterales como la del Sismo, coincidimos que es recomendable usar este tipo de aisladores ya que disminuyen los esfuerzos axiales en las estructuras aproximadamente en un 50% dependiendo este porcentaje del sistema estructural de las edificaciones y su variación en altura.

Según (Guaygua Quillupangui, 2015) En la tesis titulada “Análisis Experimental y Analítico de Aisladores Elastoméricos” el objetivo es determinar el comportamiento de tipo de aisladores Elastoméricos mediante un estudio analítico y experimental, ya que su fin es considerarlos como elementos estructurales para dos edificaciones que estarán ubicadas a nivel de planta baja, sin embargo también analiza el comportamiento de un prototipo de aislador elastoméricos con núcleo de plomo fabricado en un ensayo experimental; coincido con esta investigación, ya que los aisladores tienen diferentes tipos de propiedades por lo que esto influye en el análisis de las estructuras aisladas.

Según (Gálvez Chunas, 2011) En la tesis titulada “Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis No Lineal en el Tiempo-historia” fijo como objetivo determinar el estudio de un procedimiento para evaluar el desempeño de edificaciones usando técnicas No Lineales Tiempo Historia con solicitaciones sísmicas incrementales y también se evaluará el desempeño de un edificio escolar peruano, típico, ubicado en la zona costera; tal y como lo afirma es importante analizar la estructura según el tipo de zona y los registros a usar dependerán de este factor ya que de lo contrario podrían afectar los resultados del análisis de las estructuras analizadas en esta investigación.

## V. CONCLUSIONES

- Se determinó la respuesta sísmica de las edificaciones mediante el análisis no lineal tiempo-historia con y sin el empleo de aisladores sísmicos.
- Se realizó la comparación de respuestas, periodos, obtenidos en el modelamiento sísmico de las edificaciones con y sin el empleo de aisladores sísmicos
- De los resultados, la tendencia en las respuestas de la estructura es reducirse conforme esta es más alta, pues el periodo aumenta y la demanda se reduce
- Existen respuestas que aumentan, al aumentar los niveles, estos casos particulares son debidos que al usar un registro sísmico para el análisis tiempo-historia, el espectro producido por este genera no necesariamente una disminución de la demanda al aumentar los periodos, esto no es suavizado como el espectro de diseño de la Norma E030.
- Las fuerzas axiales reducen aproximadamente hasta un 50% en columnas y 30% en viga; sin embargo presentan discontinuidad de reducción conforme las estructuras aumentan la cantidad de niveles debido a que el registro sísmico contiene puntos altos y bajos que afectan los resultados.
- Debido a que la reducción de las respuestas son diferentes de acuerdo a su tipo, la propuesta de este puede ser considerado el tipo de respuesta más desfavorable en una estructura real.
- Al emplear los aisladores sísmicos de tipo elastoméricos, se obtuvo mayores periodos de la estructura, lo cual redujo la demanda sísmica.
- La reducción de desplazamientos no fue el óptimo para una edificación con aisladores sísmicos de 40 y 50 niveles ya que iba aumentando en un 22% de acuerdo a las estructuras analizadas.
- El tipo de suelo seleccionado que se estudió en esta investigación facilitó la colocación de aisladores sísmicos en las estructuras.

- Se verificó que el uso de un registro sísmico afectó el patrón de la disminución de la demanda sísmica con y sin aisladores.
- El empleo de aisladores de aisladores sísmicos para la estructura de 50 niveles hizo que se incrementara la demanda sísmica en un 18% para la dirección x-x; lo cual perjudicaría a la estructura en lugar de protegerla.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se debe aumentar la cantidad de Registros sísmicos y en diferentes tipos de suelo
- Se debe considerar estructuras de diferentes sistemas estructurales e irregularidades para comprobar si los aisladores tienen un comportamiento efectivo en la estructura
- Se debe verificar para estructuras de diferentes niveles
- Para el pre-diseño de aisladores se recomienda asignar las propiedades según la carga de la estructura.
- Investigar para diferente tipo de aisladores ya que no todos los dispositivos de protección para las estructuras contienen las mismas propiedades.
- No se recomienda usar aisladores sísmicos para suelos blandos ya que el comportamiento de este tipo de suelos aumenta el periodo de la estructura; al igual que el aislador sísmico, sin embargo esto podría ser perjudicial para las estructuras ya que aumentaría la demanda sísmica en lugar de disminuirla.
- Se debe implementar este sistema de protección sísmica en el diseño de las estructuras a futuro ya que nuestro país se encuentra en una zona altamente sísmica.
- Se recomienda seguir líneas de investigación relacionadas a los sistemas de protección para las edificaciones; con el fin de brindar mayor aporte a la ingeniería estructural.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERS, Erik. Seismic Base Isolation: a five – story building example. Thesis (Master of Engineering in Civil and Enviromental Engineering). Washington, United States: Massachusetts Institute of Technology, 1999.

BORDA, Manuel. Metodología de la Investigación Científica para ingenieros.Lima: s.n., 2012.

BAZÁN, Enrique, y MELI, Roberto. Diseño Sísmico de Edificios [en línea]. México: Limusa, 2003 [fecha de consulta: 22 de Octubre 2016]

Disponible en:

<http://www.worldcat.org/title/disenio-sismico-de-edificios/oclc/40122538>

CARMONA, Pedro y ROSAS Fetta, JESUS. Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente. Lima : s.n., 2015.

DONOBHAN, Gerardo. Aplicación de los métodos estático y dinámico modal para el diseño sísmico de edificios con disipadores de energía. 2007.

FALCONÍ, Roberto [et al]. Aisladores de Base Elastoméricos y FPS [en línea]. Quito, Ecuador: Centro de Investigadores Científicas, 2008. [fecha de consulta: 30 de Octubre 2016]

Disponible en:

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3005/1/L-ESPE-CEINCI-000007.pdf>

GÁLVEZ, Adolfo. Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis. Lima : s.n., 2013.

GUAYGUA, Byron. Análisis Experimental y Analítico de Aisladores Elastoméricos. Quito : s.n., 2015.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA. Metodología de la Investigación. Iztapalapa : McGraw-Hill/Inteamericana Editores S.A. de C.V., 2006. ISBN: 9701057538.

KORSWAGEN, Paul [ et al.]. Análisis y Diseño de Estructuras. Lima : s.n., 2012.

MOSCOSO, Edison. Efecto de la Bidireccionalidad y ángulo de incidencia del sismo en la respuesta de estructuras de concreto armado. Lima: s.n., 2017

MOSCOSO, Edison. “Sistema de un grado de Libertad”. Ingeniería Sísmica. Universidad Cesar Vallejo (10 de noviembre 2015).

MOSCOSO, Edison. “Sistema de un grado de Libertad”. Ingeniería Sísmica. Universidad Cesar Vallejo (17 de noviembre 2015).

MUÑO, Joseph. Análisis y diseño de una estructura hospitalaria con aisladores sísmicos en la ciudad de Arequipa. Arequipa: s.n., 2013.

PIQUÉ Javier y SCALETTI Hugo. Análisis Sísmico de Edificaciones. Lima: s.n., 1991.

RODRÍGUEZ, Félix. Tipos y Niveles de Investigación Científica. Lima : s.n., 2012.

REIDAR, Nicholas. Seismic Performance Comparison of a fixed – Base versus a Base – Isolated office building. Thesis (Master of Science in Architecture with as Specialization in Architectural Engineering). California, United States: The Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2013.

VIDAL, Manuel. Análisis y diseño de estructuras con disipadores de Energía Metálicos en base a criterios de Desempeño. Valdivia: s.n., 2008.

## ANEXO N°01: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS 18 NIVELES

P (P <sub>D</sub> +P <sub>L</sub> )	= 1000.00 kg/m <sup>2</sup>	Peso por nivel maximizada
N	= 18.00	Numero de niveles
A <sub>t</sub>	= 18.50 m <sup>2</sup>	Area tributaria
f <sub>c</sub>	= 210.00 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión
Ubicac.	= Columnas Centradas	
A	= 3523.81 cm <sup>2</sup>	Area de columna
L	= 59.36 cm	Dimension Columna Cuadrada

## ANEXO N°02: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS 20 NIVELES

$P (P_D+P_L)$	=	1000.00 kg/m <sup>2</sup>	Peso por nivel maximizada
$N$	=	20.00	Numero de niveles
$A_t$	=	17.39 m <sup>2</sup>	Area tributaria
$f_c$	=	210.00 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión
Ubicac.	=	Columnas Centradas	
$A$	=	3680.19 cm <sup>2</sup>	Area de columna
$L$	=	60.66 cm	Dimension Columna Cuadrada

### ANEXO N°03: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS 25 NIVELES

Tipo 4: Columnas Esquinadas		
$P (P_D+P_L)$	= 1000.00 kg/m <sup>2</sup>	Peso por nivel maximizada
$N$	= 25.00	Numero de niveles
$A_t$	= 18.40 m <sup>2</sup>	Area tributaria
$f_c$	= 210.00 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión
Ubicac.	= Columnas Centradas	
$A$	= 4867.72 cm <sup>2</sup>	Area de columna
$L$	= 69.77 cm	Dimension Columna Cuadrada

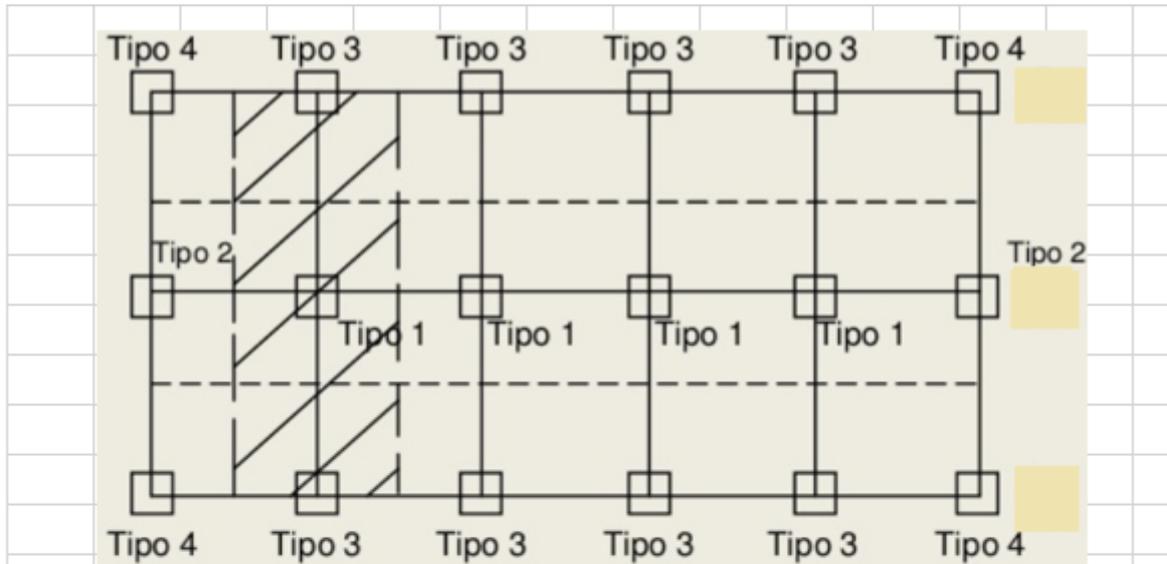
## ANEXO N°04: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS 30 NIVELES

$P (P_D+P_L)$	= 1000.00 kg/m <sup>2</sup>	Peso por nivel maximizada
$N$	= 30.00	Numero de niveles
$A_t$	= 16.00 m <sup>2</sup>	Area tributaria
$f_c$	= 210.00 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión
Ubicac.	= Columnas Centradas	
$A$	= 5079.37 cm <sup>2</sup>	Area de columna
$L$	= 71.27 cm	Dimension Columna Cuadrada

## ANEXO N°05: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS 40 NIVELES

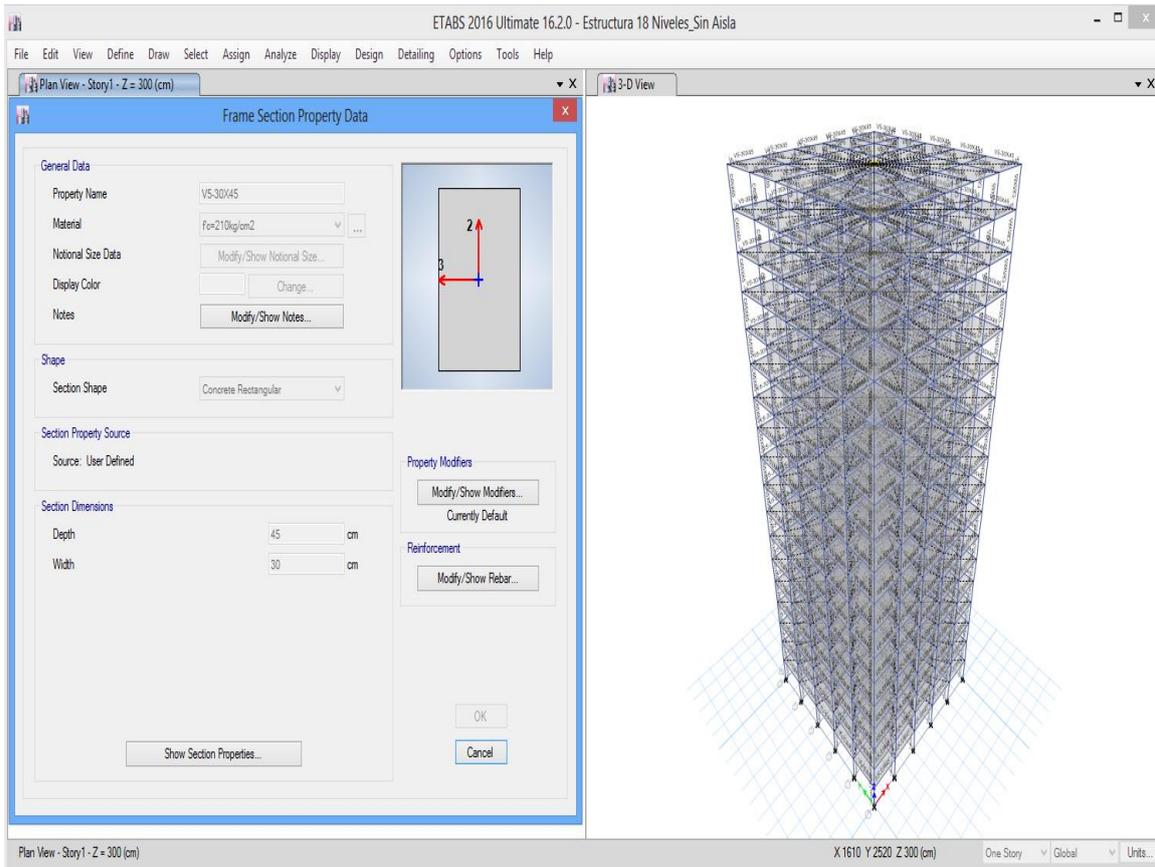
$P (P_D+P_L)$	=	1000.00 kg/m <sup>2</sup>	Peso por nivel maximizada
N	=	40.00	Numero de niveles
$A_t$	=	16.00 m <sup>2</sup>	Area tributaria
$f_c$	=	210.00 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión
Ubicac.	=	Columnas Centradas	
A	=	6772.49 cm <sup>2</sup>	Area de columna
L	=	82.30 cm	Dimension Columna Cuadrada

ANEXO N°06: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS 50 NIVELES

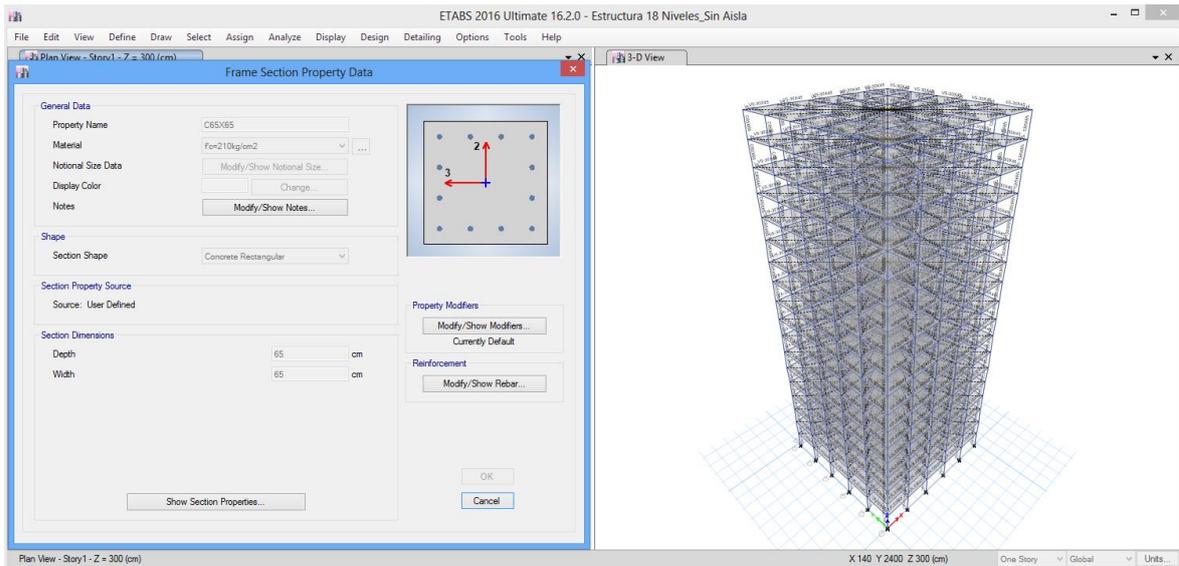


P (Pd+PL)	=	1000.00 kg/m <sup>2</sup>	Peso por nivel maximizada
N	=	50.00	Numero de niveles
At	=	16.00 m <sup>2</sup>	Area tributaria
f <sub>c</sub>	=	210.00 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión
Ubicac.	=	Columnas Centradas	
A	=	8465.61 cm <sup>2</sup>	Area de columna
L	=	92.01 cm	Dimension Columna Cuadrada

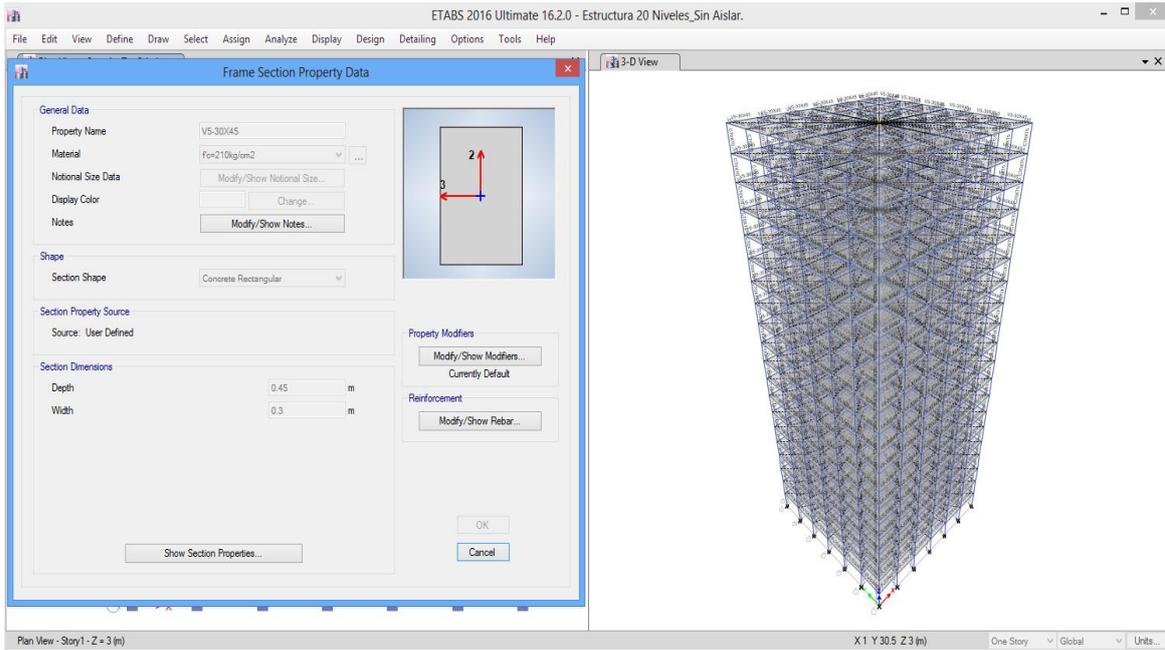
## ANEXO N°07: DIMENSIÓN DE LA VIGA -18 NIVELES



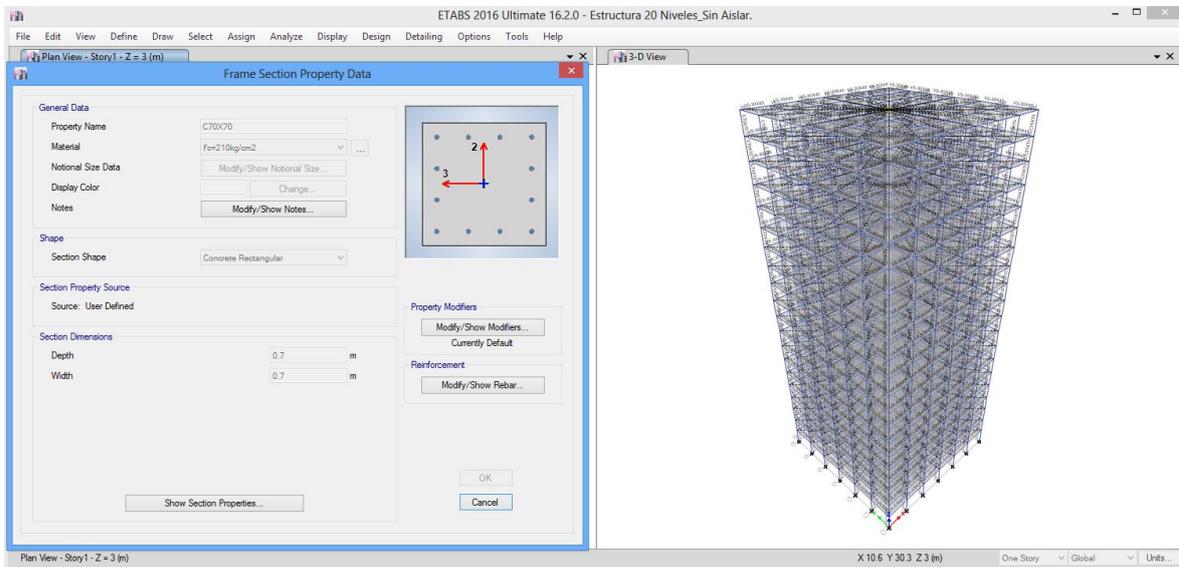
## ANEXO N°08: DIMENSIÓN DE LA COLUMNA -18 NIVELES



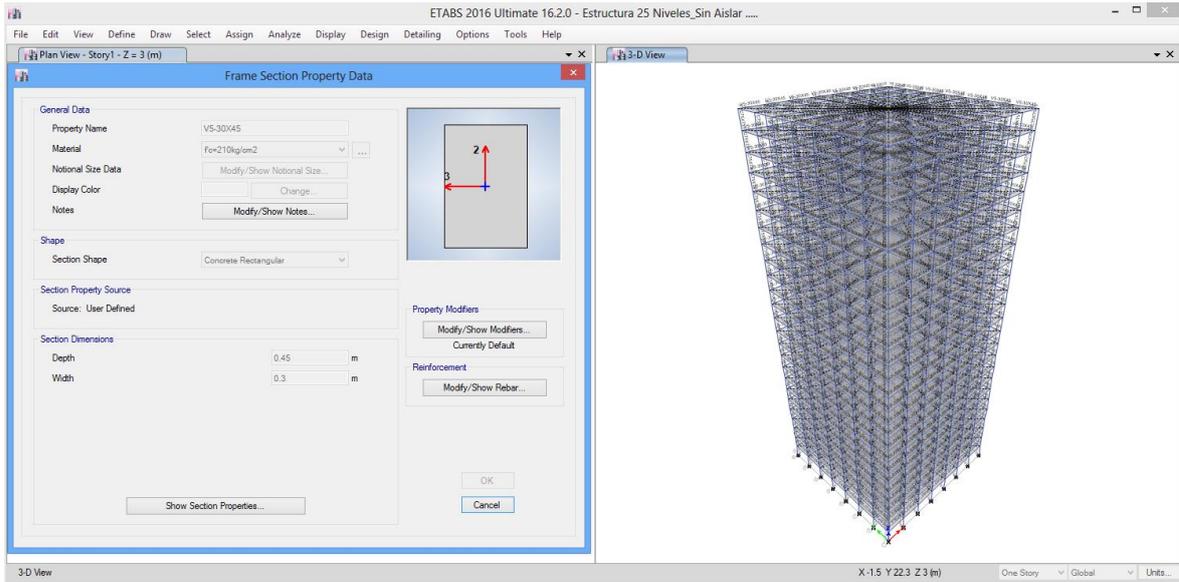
## ANEXO N°09: DIMENSIÓN DE LA VIGA -20 NIVELES



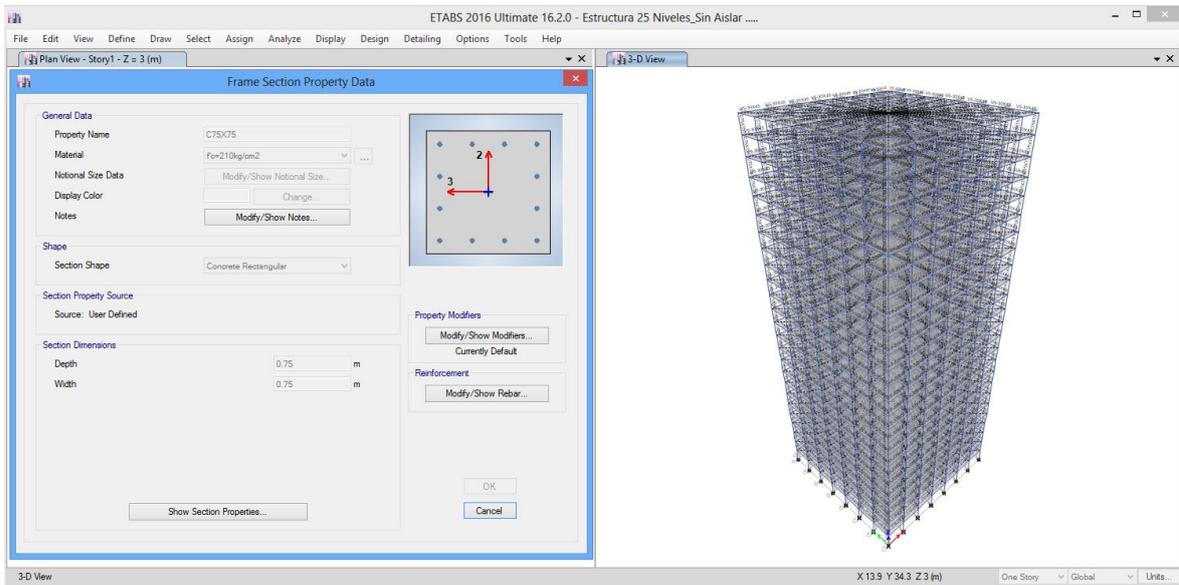
## ANEXO N°10: DIMENSIÓN DE LA COLUMNA -20 NIVELES



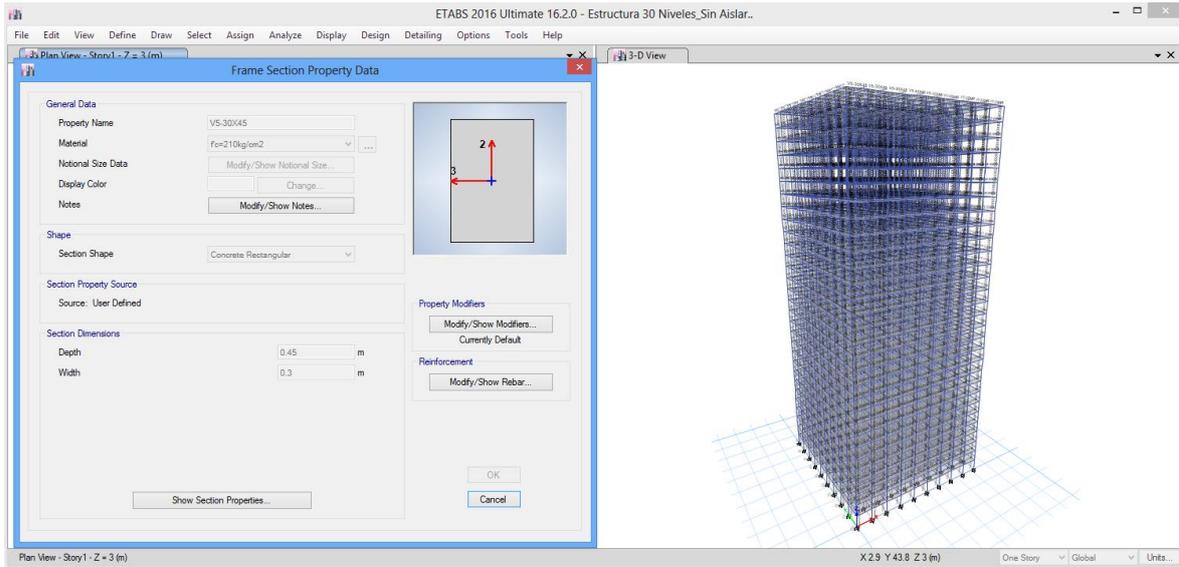
## ANEXO N°11: DIMENSIÓN DE LA VIGA -25 NIVELES



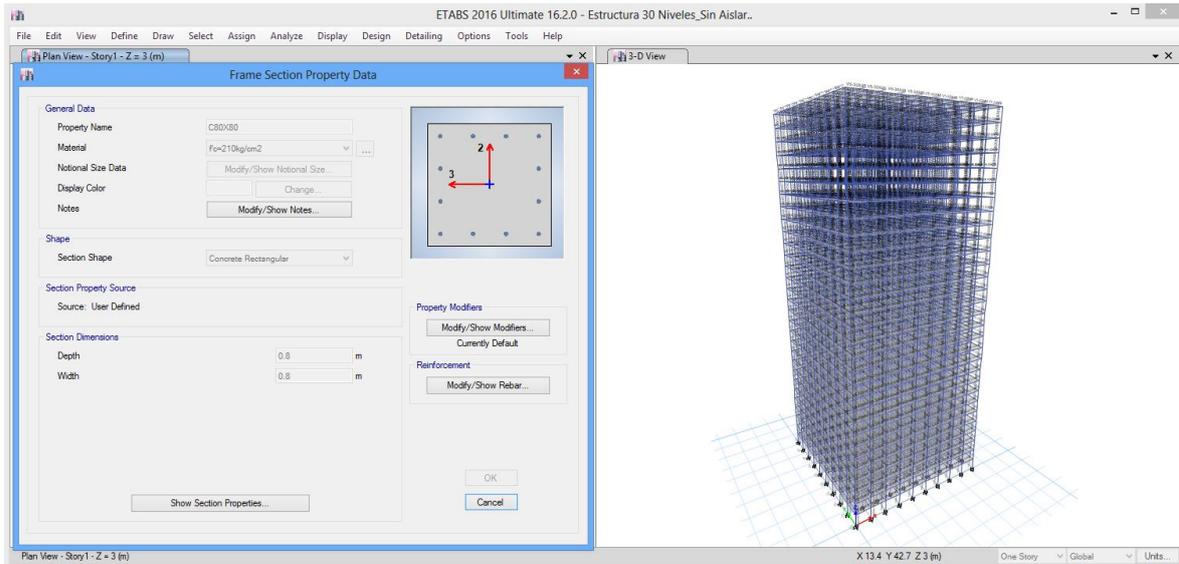
## ANEXO N°12: DIMENSIÓN DE LA COLUMNA -25 NIVELES



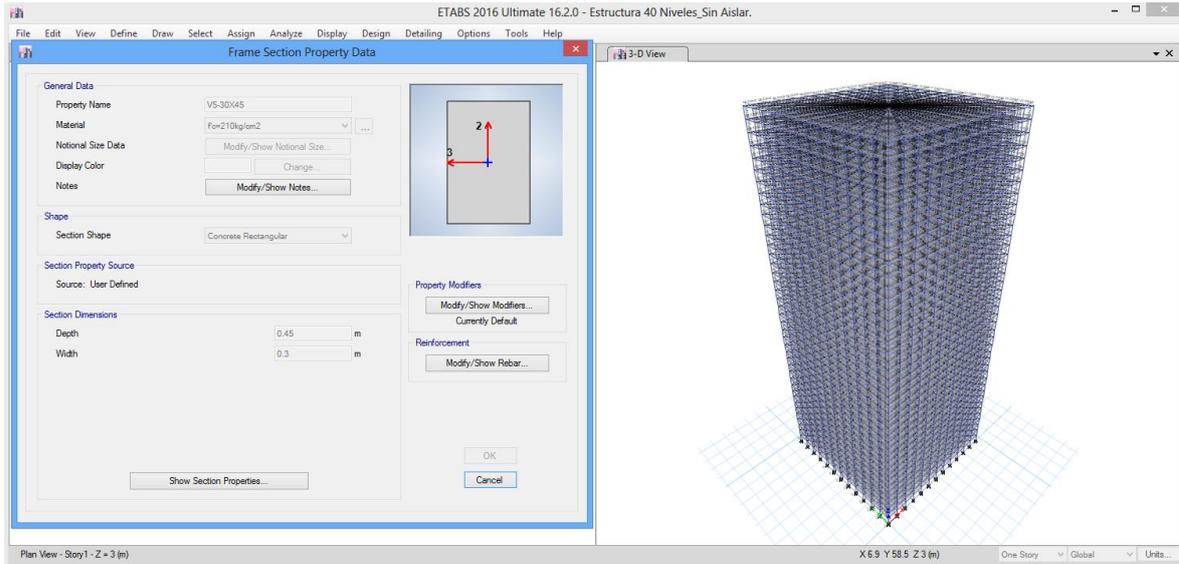
## ANEXO N°13: DIMENSIÓN DE LA VIGA -30 NIVELES



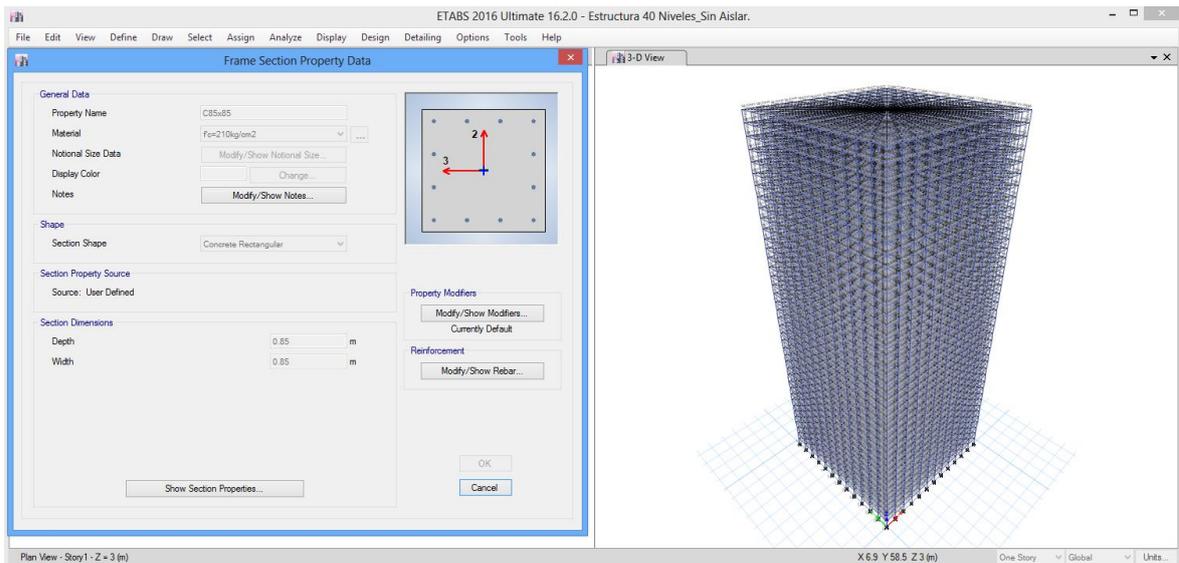
## ANEXO N°14: DIMENSIÓN DE LA COLUMNA -30 NIVELES



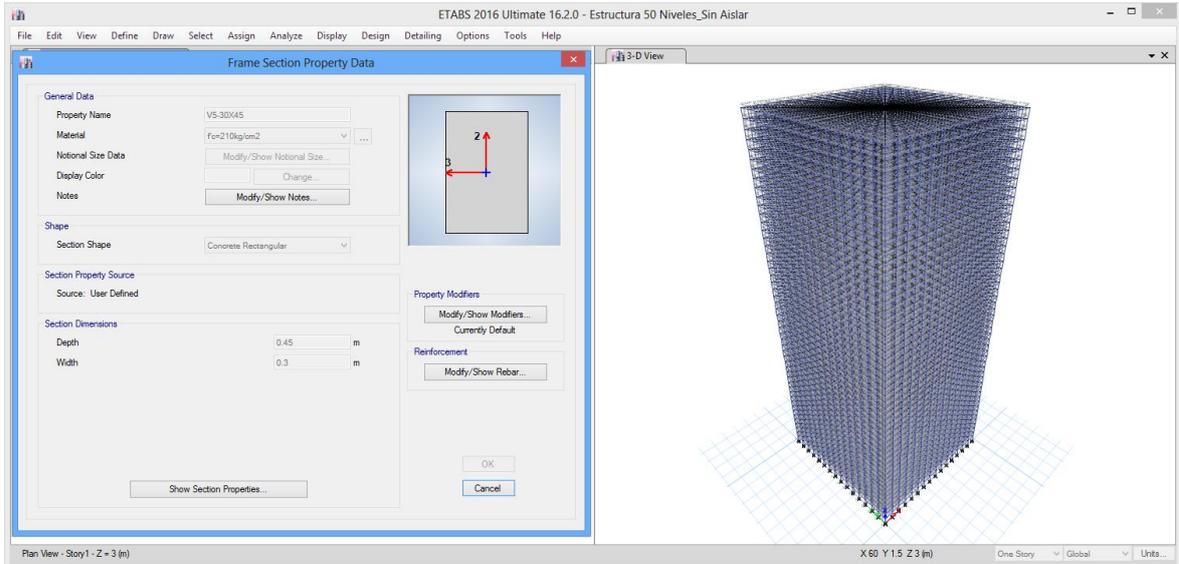
## ANEXO N°15: DIMENSIÓN DE LA VIGA -40 NIVELES



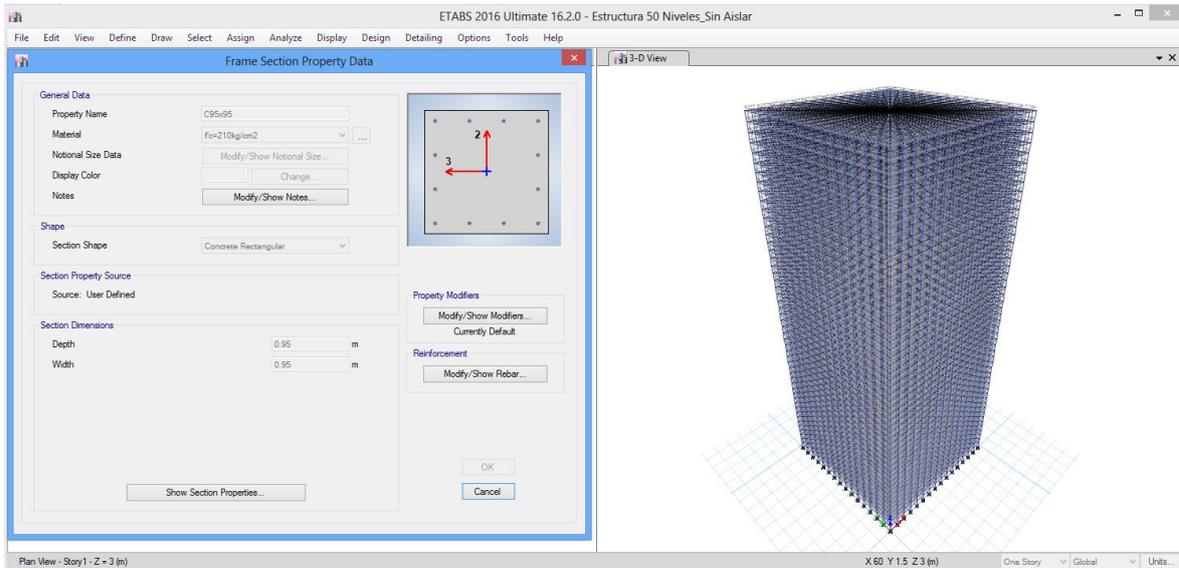
## ANEXO N°16: DIMENSIÓN DE LA COLUMNA -40 NIVELES



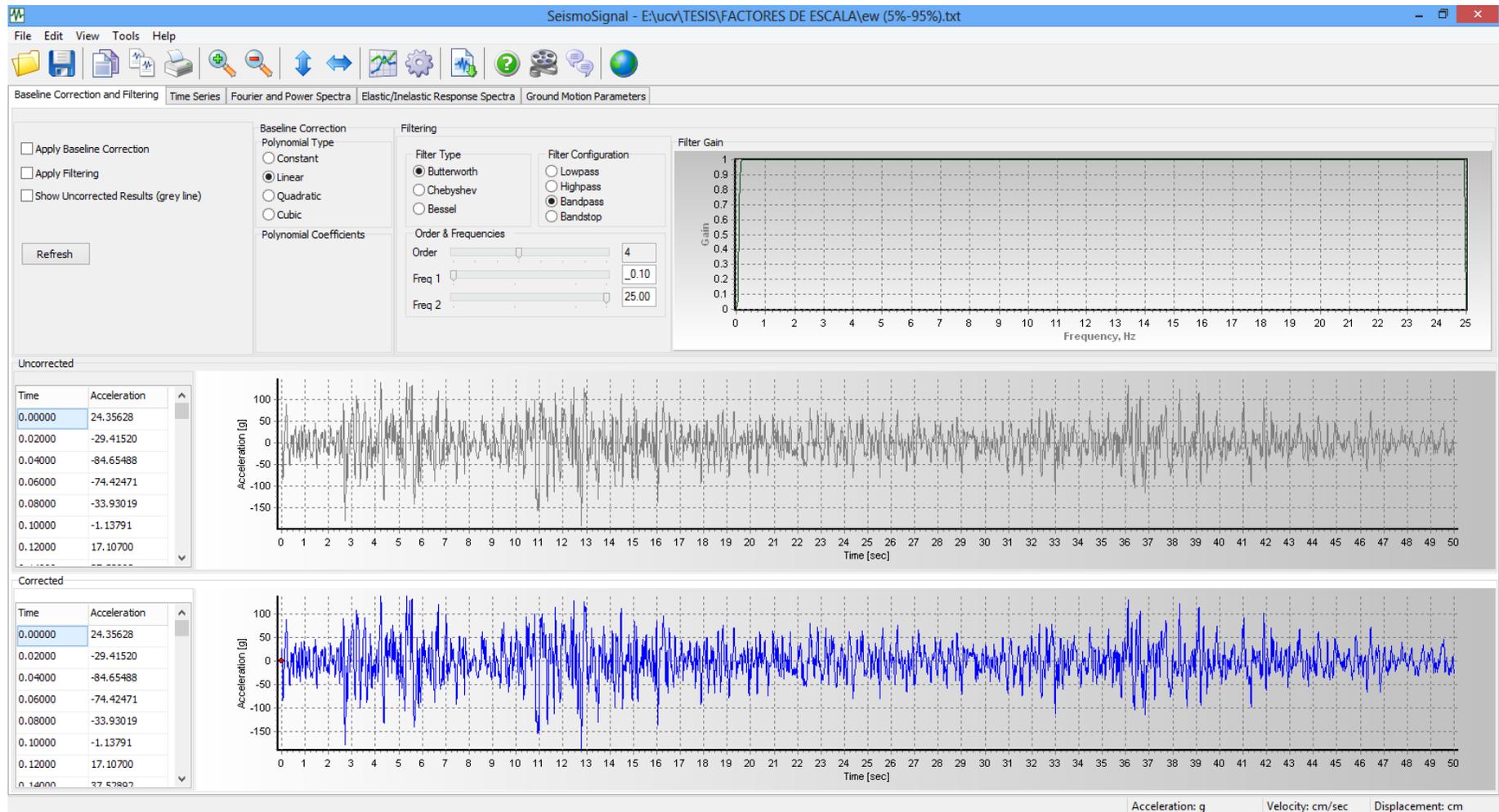
## ANEXO N°17: DIMENSIÓN DE LA VIGA -50 NIVELES



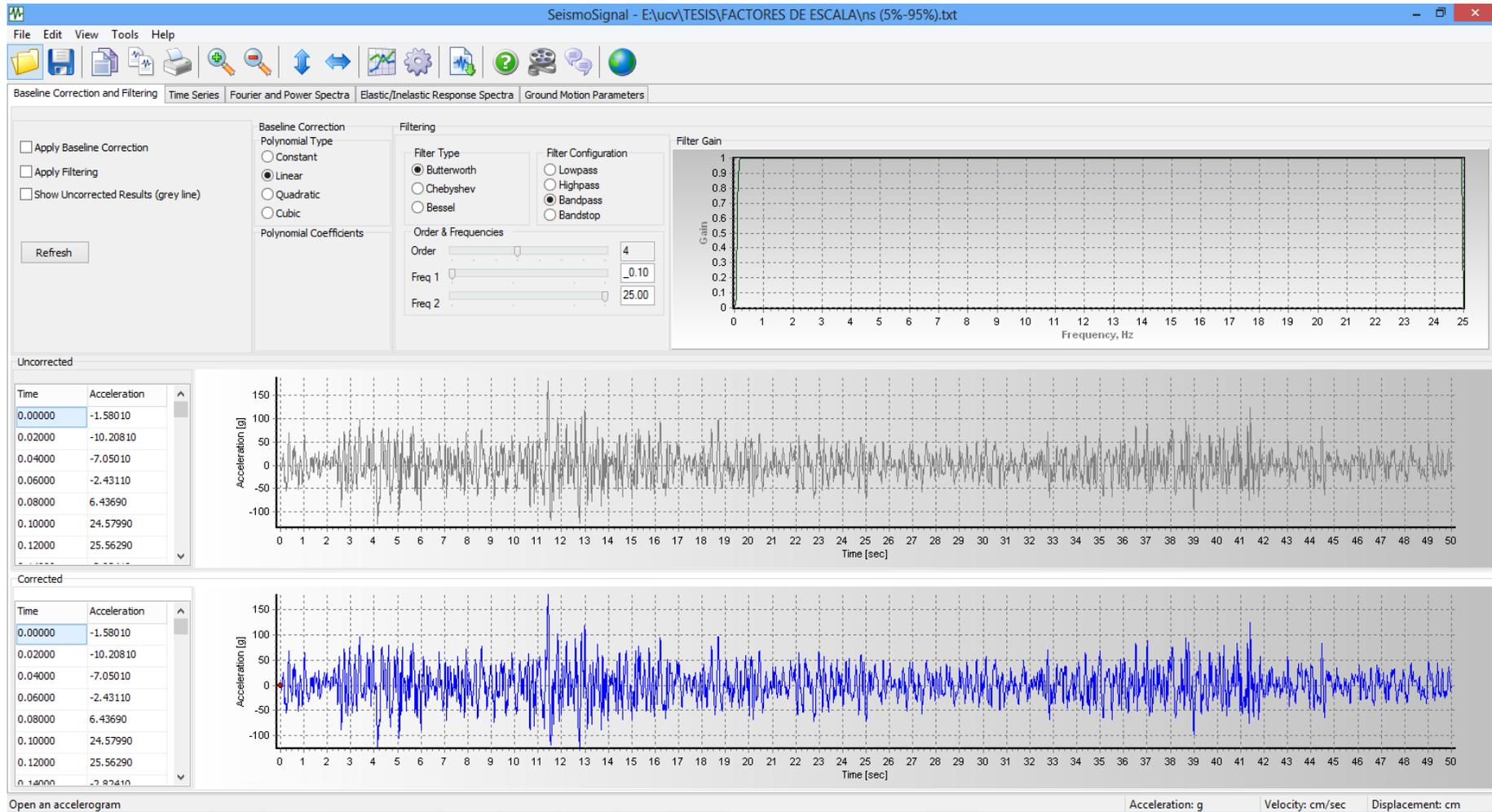
## ANEXO N°18: DIMENSIÓN DE LA COLUMNA – 50 NIVELES



# ANEXO N°19: REGISTRO DEL SISMO 03.OCTUBRE.74 - EW



# ANEXO N°20: REGISTRO DEL SISMO 03.OCTUBRE.74 - NS



## ANEXO N°21: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES				METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE 1: Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado		VARIABLE 2: Aisladores Sísmicos		<b>METODO:</b> EXPLICATIVA <b>TIPO:</b> APLICADA <b>DISEÑO:</b> NO EXPERIMENTAL
		DIMENSIONES	INDICADORES	DIMENSIONES	INDICADORES	
¿Cómo determinar el análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura?	Determinar Hasta qué altura es recomendable el empleo de aisladores sísmicos basado en el análisis Tiempo- Historia en las edificaciones de la Ciudad de Lima	Análisis Tiempo- Historia	Registros Sísmicos	Elastómericos	Relleno de plomo	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Modelamiento de las estructuras	Programa Computacional ETABS		Láminas de goma y acero	
¿Cómo determinar la respuesta sísmica de las edificaciones mediante el análisis dinámico tiempo-historia con y sin el empleo de aisladores sísmicos?	Determinar la respuesta sísmica de las edificaciones mediante el análisis dinámico tiempo-historia con y sin el empleo de aisladores sísmicos	Comportamiento Estructural	Efectivo / Desfavorable		Perno de anclaje superior	
¿Cómo realizar la comparación de respuestas y periodos, obtenidos en la modelación sísmica de las edificaciones con y sin el uso de aisladores sísmicos?	Realizar la comparación de respuestas y periodos, obtenidos en la modelación sísmica de las edificaciones con y sin el uso de aisladores sísmicos	Edificaciones de mayor altura	Deformaciones, aceleraciones.		Placa de anclaje superior e inferior	
¿Cómo verificar si el uso de un registro sísmico modifica el patrón de la disminución de la demanda sísmica con y sin aisladores?	Verificar si el uso de un registro sísmico modifica el patrón de la disminución de la demanda sísmica con y sin aisladores	Respuesta de la Estructura	Periodo			

