

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS FACULTAD DE
INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA ESCUELA
PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**" DISEÑO ESTRUCTURAL CON AISLADOR SISMICO LRD PARA
EDIFICIO DE LA EMPRESA HOB INGENIEROS E.I.R.L EN LA
CIUDAD DE CAJAMARCA "**

PRESENTADO POR EL BACHILLER

**HENRRY JOSUÉ VILLANUEVA BAZÁN
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

CAJAMARCA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Siempre que se empieza un proyecto en la vida existen personas detrás de ello y en mi caso han sido ustedes queridos padres, de una u otra manera, han sabido guiarme, son lo más importante en mi vida, es difícil pensar que en algún paso que haya dado no estuvieran detrás, guiándome, escuchándome y sobre todo apoyándome, son a quienes debo todo. Es por eso que dedico este trabajo a mis padres Luci y Felipe.

AGREDECIMIENTO

Agradecer a Dios por darme la oportunidad de devolver la alegría a mis padres a quienes les debo todo, es imposible no recordar a mis hermanos Jhoselyn y Alexander que siempre se preocupan por mí, me expresan su cariño, son parte importante de mi vida, me han acompañado y aconsejado para seguir la carrera de Ing. Civil, oportunidad que se me presentó de una forma muy inesperada. Agradezco a la vida por poder realizar una de mis metas en este largo camino profesional.

RESUMEN

El diseño sísmico resistente en el mundo toma en cuenta nuevas tecnologías como es el caso del uso de aisladores LRD en la base de las edificaciones que disipa las fuerzas sísmicas.

Este trabajo presenta el diseño de aisladores LRD, como alternativa ante el riesgo sísmico en Cajamarca, ciudad que según la norma técnica peruana E.030 es considerada como zona 3, La presente tesis muestra el diseño de aisladores sísmicos utilizando los programas ETABS y MATLAB para el edificio de 8 niveles de la empresa HOB INGENIEROS E.I.R.L.

Los aisladores en la base de la edificación cumplen la función de ayudar a la estructura a resistir la onda sísmica al proporcionarle una separación de su cimentación y al reaccionar con periodo inversamente proporcional al coeficiente de aceleración espectral reduciendo proporcionalmente la onda sísmica de diseño como lo indica la normal E.030 y ASCE/SEI 7-10, como lo establece en el ítem 3.9, además de eso un estudio de suelos, su importancia y el peligro de los suelos fundamentado en la presente tesis en el Ítem. 2.7 y sus sub índices con el uso fundamenta el uso de la geotecnia y estudios adicionales si es necesario realizar para el correcto diseño del aislador.

En el presente trabajo se desarrollan los procedimientos para el diseño con aisladores asistidos por computadora, donde los procedimientos y los cálculos hechos nos presentan que ante un sismo severo de 8.8 en la escala de Richter, los aisladores presentan un desplazamiento de 25.36 cm y el cálculo nos muestra que el máximo desplazamiento es de 26.52 cm cumpliendo la finalidad de la edificación, con los aisladores de núcleo de plomo LRD.

Palabras Claves: Aislador LRD, ASCE 7-10, Sismo.

SUMMARY

The resistant seismic design in the world takes into account new technologies such as the use of LRD insulators in the base of buildings that dissipate seismic forces.

This paper presents the design of LRD insulators, as an alternative to seismic risk in Cajamarca, a city that according to the Peruvian technical standard E.030 is considered as zone 3, This thesis shows the design of seismic isolators using the ETABS and MATLAB programs for the 8-level building of the company HOB INGENIEROS EIRL

The insulators at the base of the building have the function of helping the structure to resist the seismic wave by providing a separation of its foundation and by reacting with a period inversely proportional to the coefficient of spectral acceleration, proportionally reducing the seismic wave design as indicated the normal E.030 and ASCE / SEI 7-10, as established in item 3.9, plus a study of soils, their importance and the danger of soils based on the present thesis in the Item. 2.7 and its sub-indexes with the use base the use of the geotechnical report and additional studies if necessary for the correct design of the insulator.

In the present work the procedures for the design with computer-assisted insulators are developed, where the procedures and calculations made show us that before a severe earthquake of 8.8 on the Richter scale, the insulators have a displacement of 25.36 cm and the calculation shows us that the maximum displacement is 26.52 cm fulfilling the purpose of the building, with the lead core insulators LRD.

SINTESIS

La presente tesis abarca un trabajo de modelamiento de una estructura convencional en ETABS y la misma estructura con aisladores basal elastomérico LRD, con una fundamentación basada en el estudio de suelos sustentada en el ítem 2.7 y sus sub índices en la presente tesis; como también los principales atributos y beneficios que proporciona el uso de un aislador de ese tipo. Como la misma estructura sometido a dos sismos uno de mediana intensidad y otro de gran magnitud observando que la edificación convencional no soporta el sismo severos causando grandes daños irreparables volviendo a la edificación inservible y colocando en riesgo la vida de las personas, en comparación a la estructura con aisladores LRD, tiene un desplazamiento máximo acumulado de 26.53 cm, siendo el máximo desplazamiento de 25.36cm en el sismo severo, con esto queda demostrado que los aisladores basales y en este caso particular LRD, soportan con mayor eficiencia y garantizan la continuidad de servicio de la estructura, como la vida de las personas que se encuentren.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	II
AGREDECIMIENTO	III
RESUMEN.....	IV
SUMMARY	V
SINTESIS	VI
INDICE DE CONTENIDOS.....	VII
INDICE DE GRAFICAS.....	XI
INDICE DE ECUACIONES	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO METODOLOGICO.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. PLANO DE UBICACIÓN.....	1
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.4. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.5.1 Objetivo General.....	1
1.5.2 Objetivos Específicos.....	1
1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.7. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.7.1 Variable independiente.....	2
1.7.2 Variables dependientes.....	2
1.8. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.8.1 Tipo de Investigación.....	2
1.8.2 Nivel de Investigación.....	2
1.8.3 Diseño de investigación.....	2
1.9. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.9.1 Justificación.....	2
1.9.2 Importancia.....	4

CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	6
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	7
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1. AISLAMIENTOS SISMICOS.....	8
2.2.2. AMORTIGUAMIENTO EN LOS SISTEMAS AISLADOS.....	14
2.2.3. AISLACIÓN BASAL.....	16
2.2.4. TIPOS DE AISLACIÓN BASAL.....	18
2.2.5. AISLADOR ELASTOMÉRICO.....	20
2.2.6. AISLADORES DESLIZANTES.....	24
2.2.7. AISLADORES FRICCIONALES.....	25
2.2.8. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA INSTALACIÓN DE AISLADORES DE BASE	27
2.3. PARAMETROS DE EVALUACION ECONOMICA DE LA INSTALACIÓN DE	
AISLADORES SÍSMICOS.....	28
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	29
2.4.1. DESPLAZAMIENTO.....	29
2.4.2. AMORTIGUACIÓN EFECTIVA.....	30
2.4.3. RIGIDEZ EFECTIVA.....	30
2.4.4. AISLAMIENTO DE INTERFAZ.....	30
2.4.5. SISTEMA DE AISLAMIENTO.....	30
2.4.6. UNIDAD AISLACION.....	31
2.4.7. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO.....	31
2.4.8. SCRAGGING.....	31
2.4.9. SISTEMA DE VIENTO-SISTEMA DE SEGURIDAD.....	31
2.5. MODELAMIENTO DE EDIFICIO.....	36
2.5.1. LA GEOMETRÍA EN PLANTA Y ELEVACIÓN DEL EDIFICIO.....	37
2.5.2. DEFINIR MATERIALES.....	38
2.5.3. DEFINICIÓN DE SECCIONES.....	40
2.6. ANALISIS.....	61
2.6.1. OPCIONES DE ANÁLISIS. - Seleccionar la opción Analyze.....	61
2.6.2. COMBINACION DE CARGAS.....	66
2.6.3. REQUISITOS GENERALES PARA EL DISEÑO.....	95
2.6.4. CATEGORÍA DE DISEÑO SÍSMICO.....	101
2.6.5. REQUISITOS DE DISEÑO PARA SÍSMICA DE LA CATEGORÍA A.....	103
2.7. IMPORTANCOIA Y PELIGROS GEOTÉCNICOS.....	103
2.7.1. Sitio Limitación de las Categorías de Diseños Sísmicos E y F.....	103

2.7.2.	Informe de Investigación Geotécnica	103
2.7.3.	Investigación Adicional Geotécnica	104
2.8.	<i>CONFIGURACIÓN</i>	106
2.8.1.	Sistema de Aislamiento	106
2.8.2.	MOVIMIENTO DE TIERRA PARA SISTEMAS AISLADOS.....	110
2.8.3.	DESPLAZAMIENTOS LATERALES MÍNIMO	113
2.9.	<i>FUERZAS LATERALES MÍNIMAS</i>	118
2.10.	<i>LÍMITES DEL CORTANTE VS</i>	120
CAPÍTULO III.....		123
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		123
3.1.	<i>RESULTADOS DE LA INVESTIGACION</i>	123
3.1.1.	<i>PROPIEDADES DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO</i>	123
3.1.2.	<i>ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA</i>	123
3.1.3.	<i>MÉTODO DE NEWMARK</i>	124
3.1.4.	<i>MÉTODO DE LA RIGIDEZ TANGENTE</i>	125
3.1.5.	<i>DISEÑO DE AISLADOR ELASTÓMÉRICO (AGUILAR, 2013)</i>	135
CAPÍTULO IV		146
PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....		146
4.1.	<i>PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL</i>	146
4.2.	<i>PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</i>	146
CAPÍTULO V		147
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		147
5.1.	<i>CONTRASTE CON ANTECEDENTES</i>	147
5.1.1	<i>ANTECEDENTES INTERNACIONALES</i>	147
5.1.2	<i>ANTECEDENTES NACIONALES</i>	147
5.1.3	<i>ANTECEDENTES LOCALES</i>	148
5.2.	<i>CONCLUSIONES</i>	148
5.2.1	<i>Conclusión General</i>	148
5.2.2	<i>Conclusión Especifica</i>	148
5.3.	<i>RECOMENDACIONES</i>	150

5.4. FUENTES DE INFORMACIÓN 151

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica N° 1. Espectro de respuesta para la edificación	56
Gráfica N° 2. Excedencia de 2% y retorno de 50 años.	97
Gráfica N° 3. Espectro de diseño para el aislador.	100
Gráfica N° 4. Espectro de respuesta.	111
Gráfica N° 5. Representación del método de desplazamiento crítico.	126
Gráfica N° 6. Modelo Bilineal	127
Gráfica N° 7. Punto de control 1.	127
Gráfica N° 8. Aceleración del suelo en Δt .	128
Gráfica N° 9. En Rama 2.	129
Gráfica N° 10. Punto de control, $v=0$.	129
Gráfica N° 11. Rama 1.	130
Gráfica N° 12. Fuerza en el Sistema de reforzamiento a partir de $k_{q(i+1)}$.	132

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1. $PGAM = FPGA \text{ PGA}$	104
Ecuación N° 2. $F_s = C_s \times W$ Fuerza lateral para diseño.	112
Ecuación N° 3. $DD = g \times SD1 \times TP4 \pi 2BD$	113
Ecuación N° 4. $DD = g \times SD1 \times TP4 \pi 2BD = 0.157 \text{ m}$ ecu.17.5-1	114
Ecuación N° 5. $TD = 2\pi WKD \min x g$	115
Ecuación N° 6. $TD = 2\pi WKD \min x g$	115
Ecuación N° 7. $TD = 2\pi WKD \min x g = 2\pi 2815.014 \times 9.8133.142 \text{ knmm} =$ 1.83 segundos	116
Ecuación N° 8. $DD = g \times SD1 \times TD4 \pi 2BD = 15.168 \text{ cm}$	116
Ecuación N° 9. $TM = 2\pi WKD \min x g = 2.102$	116
Ecuación N° 10. $DTD = DD(1 + y12eb2 + d2)$	117
Ecuación N° 11. $DTM = DM(1 + y12eb2 + d2)$	117
Ecuación N° 12. $DTD = DD1 + y12eb2 + d2 = 15.409$ (17.5-5)	118
Ecuación N° 13. $DTM = DM1 + y12eb2 + d2 = 26.530$ (17.5-6).....	118
Ecuación N° 14. $Vb = KDMAX(DD)$	118
Ecuación N° 15. $Vb = KDMAXDD = 39.240 \times 151.677 = 5951.789 \text{ kN}$ $9.81 = 606.706 \text{ toneladas}$	119
Ecuación N° 16. $Vb = 606.706 \text{ tn}$, fuerza lateral mínima sub estructura y sistema de aislación.	119
Ecuación N° 17. $Vs = KDMAX \times DDrl = 39.240 \times 151.6772 = 2975.8959.81 =$ 303.353 tn	120
Ecuación N° 18. $FLTD = KDMAX \times DTD = 154.086 \text{ mm} \times 39.240 \text{ kmmm} =$ $6046.3179.81 = 616.342 \text{ tn}$	122
Ecuación N° 19. Ecuación de Newman.....	125
Ecuación N° 20: Rigidez	125
Ecuación N° 21: Desplazamiento en Q.....	125
Ecuación N° 22: Rigidez tangente.....	126
Ecuación N° 23. Para tiempo de q.	130
Ecuación N° 24. Rigidiz en q	131
Ecuación N° 25. Desplazamiento de Q.....	131
Ecuación N° 26. Desplazamiento de Δq	131
Ecuación N° 27. Desplazamiento en q+1	131

Ecuación N° 28. Velocidad en $q+1$	131
Ecuación N° 29. Diferencial del movimiento.	132
Ecuación N° 30. Fuerza en el Sistema de reforzamiento.....	132
Ecuación N° 31. Diferencia de aceleración espectral.....	133
Ecuación N° 32. Aceleración en u	133

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Tabla de factor de zona	50
Tabla N° 2. Tabla Factor U.	51
Tabla N° 3. Sistemas de Estructurales.	52
Tabla N° 4. Irregularidades estructurales en altura	53
Tabla N° 5. Factor de suelo "S".	53
Tabla N° 6. Irregularidad en la plata de la estructura. Ip.	54
Tabla N° 7. Tabla de Espectro de diseño.	55
Tabla N° 8. Participación de masas.	62
Tabla N° 9. Base Reactions.	63
Tabla N° 10. Evaluación del periodo para el cortante.	63
Tabla N° 11. Evaluación de la cortante.	63
Tabla N° 12. cortante de diseño.	67
Tabla N° 13. Cortantes en "X – Y".	68
Tabla N° 14. Tabla de factor para cortante esperada.	68
Tabla N° 15. Reacción en la base.	68
Tabla N° 16. Tabla de max Drift en dirección X.	69
Tabla N° 17. Tabla de Max Drifts en dirección Y	70
Tabla N° 18. Tabla. Combinación de cargas diseño E.020 – Art. 19	73
Tabla N° 19. Falla en E-2	85
Tabla N° 20. Control de aumento de acero para cuantías en porcentajes para fierro de 1"	87
Tabla N° 21. Risk Catrgory of Buildings	95
Tabla N° 22. Site Coefficient, F_a .	96
Tabla N° 23. Site Coefficient, F_y	97
Tabla N° 24. Periodos T_p y T_L .	99
Tabla N° 25. Factor de importancia y categoría de riesgo	100
Tabla N° 26. Seismic Design Category Based and Response.	102
Tabla N° 27. Coeficiente de sitio F_{PGA} .	106
Tabla N° 28. Coeficiente de porcentaje basal.	114
Tabla N° 29. Continuidad.	121

Tabla N° 30. Propiedades, desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador.	136
Tabla N° 31. Valor seleccionado D_0 .	136
Tabla N° 32. Dimensiones del aislador y las placas de montaje.	136
Tabla N° 33. Dimensiones de las placas de montaje.	137

INTRODUCCIÓN

Perú es un país que no ha registrado un sismo de gran magnitud (Luis Bozzo, Diseños sismo resistente técnica convencional y avanzada) en los últimos 50 años, los especialistas en sismología advierten que, al encontrarse en el “Cinturón de fuego” tiene un alto riesgo sísmico (MEDINA, 2012) y es necesario plantear alternativas de diseño con alta respuesta de disipación ante sismos.

Cajamarca, es considerado zona 3, establecido en la norma E.030, donde se debe tomar un correcto diseño y un proceso constructivo con profesionales adecuados, para poder también estar preparada para sismos de gran magnitud, y el uso de nuevas tecnologías disminuye el riesgo de colapso, hasta puede mantenerla en el tiempo, como es el caso del uso de aisladores sísmicos en la base de las estructuras, para reducir pérdidas económicas y principalmente proteger la vida humana.

En Cajamarca el sismo con mayor intensidad fue registrado el 25 de septiembre del 2005, con epicentro a 90Km NE de la localidad de Moyobamba, departamento de Amazonas, de magnitud 5 en la escala de Richter causando daño a 78 familias con pérdida de vidas humanas, heridos, y destrucción de edificaciones (INDECI, Compendio de Desastres, 2006); los dos últimos sismos ocurridos se registraron el 25 y 27 de enero del 2018, de 3.5 y 3.8 grados en la escalada de Richter, a 54 Km y 27 Km de la ciudad de Cajamarca (recuperado de <http://ultimosismo.igp.gob.pe/>, 4 de febrero de 2018) causando daños estructurales en viviendas. En el Perú siendo el terremoto más fuerte fue en el año de Lima de 1974, siendo una potencia de 8.0 en magnitud de momento MW, con 252 muertos y 3600 heridos aproximadamente, sin registrar un retorno de la misma potencia, colocando en un alto riesgo a la edificación en el Perú.

Esta tesis plantea la utilización de aislador sísmico en la base de una estructura, para mejorar la respuesta ante sismos disipando su energía,

debido a que es necesario estar preparados para un sismo de gran magnitud y por ello usar otros métodos de diseño para poder estar preparados para sismos de alta potencia, considerando que no existido un sismo de retorno en el Perú que aumenta riesgo y sin un adecuado estudios de suelos, como existe el ASCE/SEI 7-10, un estudio de suelos completo que nos ayuda a en el diseño del aislador LRD, siendo una pieza fundamental del mismo.

Para resolver esta problemática del posible sismo de retorno que en algún momento se dará, se plantea el uso de aisladores sísmicos en la base de la estructura del edificio de 8 niveles para empresa HOB INGENIEROS E.I.R.L.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO.

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

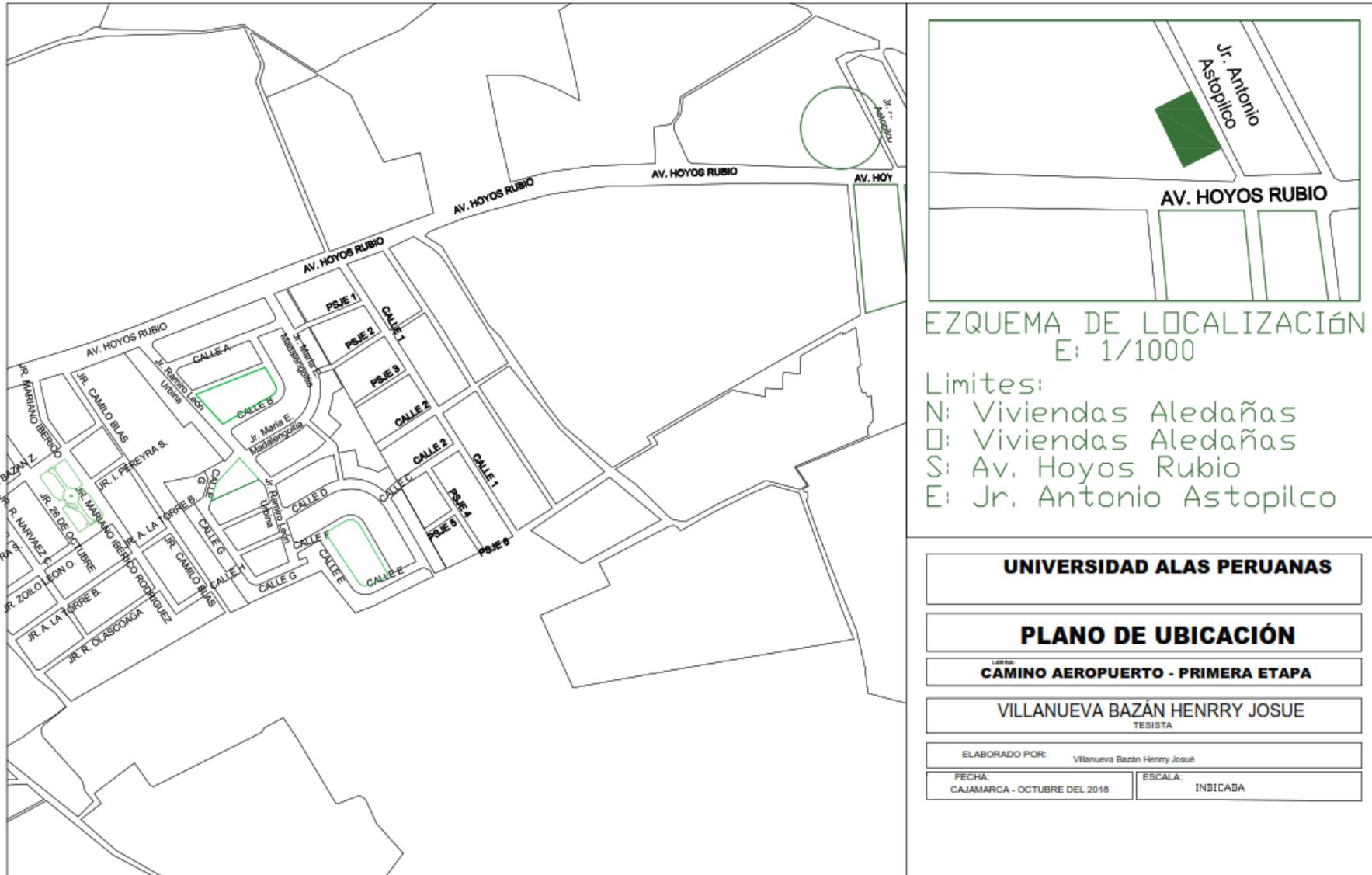
Cajamarca mantiene un avance físico de obras de construcción, a pesar de que ha bajado por la recesión económica, pero según BCRP al finalizar el año 2017 se han reducido las edificaciones en Cajamarca, pero tampoco se ha dejado de construir en la ciudad manteniendo una compra de cemento al 19% interanual (Síntesis de Actividad Económica de Cajamarca – diciembre 2017). Dichas construcciones, pero especialmente las construcciones privadas se vienen ejecutando sin tener en cuenta las medidas preventivas o los procesos constructivos adecuados y aún más sin un estudio correcto de suelos, siendo un factor fundamental para el correcto diseño de la Estructura, dado que los propietarios e incluso en algunas obras públicas no se tiene el adecuado estudio eso afectando directamente la estructura ante grandes sismos, porque el cálculo no sería el correcto y también prescindiendo de profesionales no calificados en sus diferentes etapas (planificación, ejecución y control).

Las construcciones no planificadas, ejecutadas con personal no calificado, prescindiendo de controles y agregados los fenómenos constructivos de voladizos en gran cantidad de conjuntos habitacionales, coloca a Cajamarca en estado de vulnerabilidad ante un sismo de gran magnitud el cual podría hacer que la ciudad colapse. Los aisladores en la base de una edificación cumplen la finalidad de ayudar a la estructura a resistir la onda sísmica al proporcionarle una separación de su cimentación y al reaccionar con periodo inversamente proporcional al coeficiente de aceleración espectral reduciendo proporcionalmente la onda sísmica de diseño como lo indica la normal ASCE/SEI 7-10, la cual establece la E.030, y donde el cálculo de S_0 y S_1 , para el correcto diseño del aislador.

Un sistema estructural con aislamiento basal presenta un espectro de respuesta mucho mayor respecto al espectro de respuesta de un sistema convencional, razón por la cual estos sistemas han empezado a utilizarse después de grandes sismos en muchos países (Japón, Chile, Colombia, Ecuador) teniendo una gran aceptación a pesar de su costo.

Por tanto, el objetivo de esta tesis fue diseñar los aisladores para la base de una edificación de 8 niveles que se construirá en la ciudad de Cajamarca, donde tiene un estudio de suelos muy fundamentado, donde presenta una respuesta aceptable a un sismo de gran magnitud, donde lo que constituirá un aporte al diseño de sistemas con aislamiento basal.

1.2. PLANO DE UBICACIÓN.



1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Diseño y modelamiento de una estructura 8 niveles convencional y con Aislador Basal, en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, utilizando los programas ETABS y MATLAB para determinar su comportamiento ante un sismo de gran magnitud.

1.4. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.

Los sistemas estructurales con aisladores basales LRD presentan un espectro de respuesta mucho mayor respecto al espectro de respuesta de un sistema convencional o sismo resistente.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.5.1 Objetivo General.

Determinar el comportamiento de respuesta de la edificación HOB Ingenieros E.I.R.L, con aisladores basales LRD y sin aislador, bajo la norma ASCE/SEI 7-10 y E.030.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Modelar sistema estructural sin aisladores basales LRD (Sistema estructural convencional).
- Modelar sistema estructural con aisladores basales LRD.
- Comparar sistema estructural convencional y un sistema estructural con aisladores Basales LRD.

1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

- ¿La edificación HOB INGENIEROS E.I.R.L tiene un comportamiento de respuesta aceptable con un diseño sismo convencional, comparado con un diseño con aislador LRD, ante un sismo de gran magnitud?

1.7. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.

1.7.1 Variable independiente.

- Plano de edificación de 8 niveles.
- Norma ASCE 7 – 10.
- ACI 318 – 14.
- $F'c= 280 \text{ kg/cm}^2$.
- $F'y=4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Albañilería de 45 kg/cm^2 .
- ETABS.
- MATLAB.

1.7.2 Variables dependientes.

- Derivas.
- Respuesta del espectro.

1.8. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Tipo de Investigación.

- Explicativa.

1.8.2 Nivel de Investigación.

- Descriptiva.

1.8.3 Diseño de investigación.

- Cuantitativa.

1.9. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1 Justificación.

Los sismos, son temas de estudio siempre en costo y resguardo de vidas humanas en estructuras bajo ese mismo principio estudios hechos por el comité de normatividad estructural española ha podido determinar como otras instituciones; que los sismos siempre presentan un retorno que es el 2%, 10%, 15, etc; a 50 años, diciendo que la

peligrosidad Sísmica, se establece por la multiplicación de Peligrosidad por Vulnerabilidad y el costo, en donde si no ha ocurrido un sismo en 50 años, entonces se espera un sismo de igual intensidad o mayor conforme pasen los años; en el Perú, siendo los últimos sismos de consideración como Pisco, no han superado el retorno del 2%, colocando a Perú en espera en un sismo de igual o mayor magnitud buscando nuevas tecnologías para poder estar preparados.

Dada la normativa E.030, estable que para el diseño de edificaciones con Aisladores tiene que ser categoría A1, en el ítem 2.4 (Parámetro de sitio) y el diseño del mismo en el ítem 3.9, donde se establece que se debe hacer bajo la normativa ASCE/SEI 7-10, pese a ser una edificación de carácter privado donde es necesario mencionar el tipo de suelo y el estudio del mismo, establecido en el ítem 2.3.1, en la tabla N°2 (Clasificación de suelos) donde el suelo tiene que ser S₀ o S₁, y normativa E.030 no establece el estudio de los suelos para el aislador, llevándonos a la normativa internacional ASCE/SEI 7-10, donde se empieza por la clasificación de la categoría de la edificación en su ítem. 17.2 tabla N°1.5-1, el uso del aislador es presente en las categorías I y II, y la clasificación de suelos es la S_{UCK}, agregado a esto la normal internacional ASCE/SEI 7-10, capítulo 11 y 12 (Criterios de diseño sísmico y Requerimiento de diseño sísmico) en el ítem. 11.8 y sub índices estudios geotécnicos, toma un gran carácter de importancia en el diseño, en tabla 11.8-1 estudio de coeficiente de suelos para la aceleración máxima del terreno, siendo un factor geotécnico muy importante dentro de esta investigación, como sus recomendaciones en el capítulo 11 y 12.

El fundamento de toda edificación se basa en las cimentaciones como el estudio de las mismas para un diseño correcto en este caso se ha tomado la normatividad ASCE/SEI 7 -10, capítulo de cimentaciones y geotecnia tomando la mayoría de sus recomendaciones y

procedimientos para poder tener un estudio de geotecnia para el aislador.

El Aislador Basal LRD disipa la energía que genera el sismo, la presente tesis plantea el uso de este tipo de aislador para construir edificaciones más seguras, salvaguardando la vida de las personas, han quedado demostrado los beneficios del uso de aisladores basales en otros países ante los sismos de gran magnitud, como en Chile en 2010, donde se encuentran suelos rocosos, donde las edificaciones con aisladores soportaron un sismo de 8.8 grados.

El uso de aisladores basales en estructuras brinda beneficios económicos en el tiempo, ya que ante un sismo aseguran la estructura para que la edificación no tenga graves fallas lo cual garantiza que no se demuela y se vuelva a construir.

1.9.2 Importancia.

La importancia de implementar aisladores basales LRD en edificaciones radica en salvaguardar la vida de las personas y la continuidad de la edificación para evitar el colapso durante o inmediatamente después de ocurrido un sismo, si bien es cierto en Perú está apenas en sus inicios, en países como Chile, Japón y Estados Unidos ya han sido ampliamente usados; aumentando el nivel de seguridad y la operatividad de las estructuras después de un sismo.

El análisis de pandeo para un aislador basal se basa en la teoría análoga al análisis del pandeo de una columna, en estos casos se presenta la carga o los esfuerzos de pandeo en la posición original, sin desplazamientos, pero normalmente no hay información acerca de la estabilidad del aislador en su posición desplazada; en estos casos la inestabilidad se presentará en la pérdida de un incremento positivo en la rigidez horizontal KH. Conocer este tipo de inestabilidad es de crucial

importancia en el diseño de los aisladores (Meza Blandón & Sanchez García, 2010).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

Marcías y Suárez (2015) En su tesis han analizado la respuesta estructural de un edificio de 6 pisos ante la acción de un sismo empleando aisladores de base elastoméricos. En el cual se han respetado los parámetros locales de la norma NEC 14. Adicionalmente se hace la comparación de la respuesta estructural de dicha estructura en la cual se empleó aisladores de base elastoméricos con respecto a la estructura convencional. También se ha procedido a pre diseñar elementos estructurales a partir de las dimensiones del diseño arquitectónico existente, además las cargas de servicio y las configuraciones estructurales como los espesores y secciones mínimas empleadas en el análisis estuvieron conforme a los parámetros del código ACI-318-08 y la norma NEC-14, obteniendo resultados muy aceptables y esperados.

Toapanta (2013) En esta tesis, se aborda las directrices del diseño sismorresistente, específicamente en la técnica de aislamiento basal, debido a su creciente aplicación en varios países como China, Japón, Estados Unidos, Chile, Perú, el análisis de las ventajas que puede tener una edificación que aplica esta técnica, desde el punto de vista estructural y económico, obteniendo como resultados que los aisladores en el tiempo resultan ser muy económicos, ya que las estructuras persisten en el tiempo con un correcto mantenimiento.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.

(Vergara y Zeballos, 2014) En dicha investigación se partió de un diseño estructural para finalmente obtener el punto de performance de la estructura considerando las incursiones no-lineales en el comportamiento del concreto armado, demostrando numéricamente la aparición de rótulas plásticas y la consecuente degradación de rigidez global de la estructura; así mismo aportar algunas experiencias para el desarrollo de la ingeniería, concluyendo la importancia de las rotulas en los análisis dinámicos.

(PALACIOS, 2015) En la tesis los aisladores sísmicos buscan proteger la estructura y sus contenidos, por ello la importancia de implementarlos en edificaciones esenciales como hospitales, ya que deberían permanecer operativos inmediatamente después de ocurrido un sismo. La aplicación de esta técnica está apenas en sus inicios en el Perú, sin embargo, en países como Chile, Japón y Estados Unidos ha sido ampliamente usados; y se demostrado que en grandes terremotos estos dispositivos aumentan el nivel de seguridad y la operatividad de la estructura después de un sismo, concluyendo que la operatividad de las estructuras se ve muy poco afectada después de un sismo.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.

(PAJARES, 2016) Los resultados obtenidos en la presente investigación, son válidos para puentes viga losa de grandes luces, de dos tramos (apoyo intermedio), que tienen dos carriles de 3,60 m de ancho cada uno, el primer puente con una luz de 20,00 m de longitud entre ejes (Puente 1) y el segundo puente con una luz de 25,00 m entre ejes (Puente 2). La superestructura se compone de cuatro vigas de concreto armado simplemente apoyado sobre estribos y pilares. El pilar tiene una configuración de pórtico de

concreto armado de 9,00 m de altura, conformado por dos columnas circulares unidas en la parte superior por una viga cabezal y en la parte inferior por una zapata. Los estribos se asumieron rígidos y no se considera en el modelo estructural, concluyendo que los aisladores absorben grandes cantidades de energía no solo en edificaciones si no también en puentes.

(URRUNAGA, 2014) En su tesis se realizada la evaluación de irregularidad por piso blando, se ha modelado nuevamente dicha edificación, pero con la solución propuesta; aisladores elastoméricos ubicados en un primer modelo en la base de la edificación y, en un segundo modelo ubicados encima de las columnas del primer piso, donde ocurre la falla; para así poder realizar la comparación de los resultados obtenidos y verificar la hipótesis planteada. En cuanto al análisis y el diseño de los aisladores elastoméricos, nos hemos basado en la norma ASCE7-10, capítulo 17. Pero, como un aporte a la investigación, también se ha realizado el diseño de dichos aisladores utilizando la norma chilena, ya que en este país en los últimos años se ha desarrollado esta tecnología obteniendo buenos resultados, concluyendo que es una solución muy viable para este tipo de suelos.

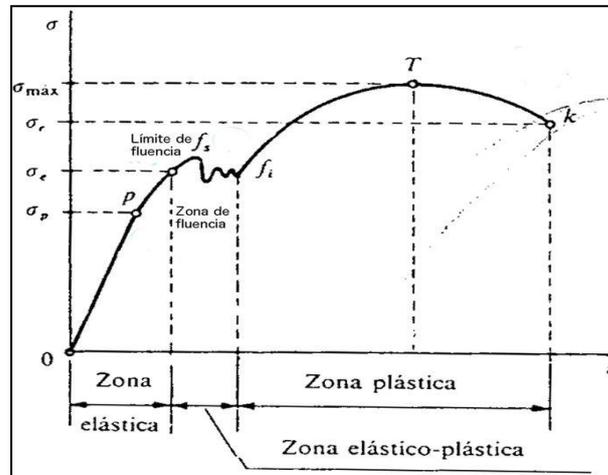
2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. AISLAMIENTOS SISMICOS.

Sabemos que ductilidad es la capacidad de un sistema estructural de sufrir deformaciones considerables (por encima del límite elástico) bajo una carga variable, sin padecer daños excesivos. Esta propiedad, en una estructura que debe resistir efectos sísmicos, elimina la posibilidad de una falla frágil y además suministra una fuente adicional de amortiguamiento. Es por ello que una parte importante del diseño sísmico consiste en proporcionar a la estructura además de la

resistencia necesaria, la capacidad de deformación que permita la mayor ductilidad posible para salvar así un edificio del colapso. (PALACIOS, 2015)

Imagen N° 1. Diagrama de Tensión vs Deformación del Hormigón.

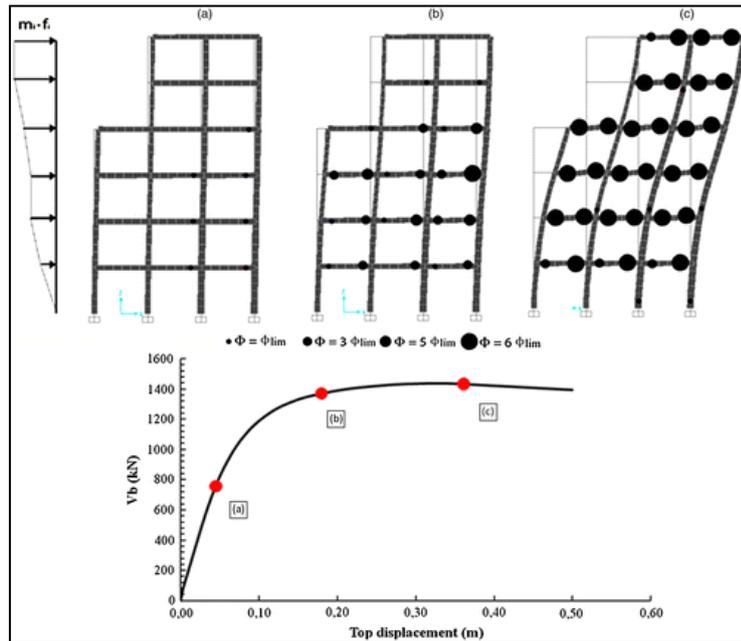


Fuente: www.wikimedi.org/Fluencia.jpg

Para minimizar los desplazamientos entre pisos se rigidiza la estructura, sin embargo, esta solución amplifica los movimientos en los niveles más altos, lo cual se traduce en altas aceleraciones en los pisos generando daños al equipamiento interno, a la vez para disminuir estas aceleraciones se podría utilizar un sistema más flexible, pero esto nos lleva al problema inicial de tener considerables desplazamientos entre pisos y las derivas que se tienen que verificar siendo el máximo establecido por la norma E.030, en el ítem 5.2 desplazamientos laterales relativos admisibles Δ/h_s , donde el concreto armado 0.007 es su máximo desplazamiento. (BOZZO, 1999).

Tradicionalmente, el factor de ductilidad asociado al desplazamiento se ha utilizado como criterio para establecer el espectro de respuesta inelástica para el diseño sismorresistente de edificios. De ahí la resistencia mínima requerida (capacidad de resistir fuerzas laterales) en un edificio se estima con base en ese espectro (Medina, 2012).

Imagen N° 2. Curva de Capacidad (Análisis no lineal de la estructura).



Fuente: Rev. ing. construcción. vol.25 no.1 Santiago Apr. 2010

Al estudiar la respuesta inelástica de los edificios, es especialmente ilustrativa la denominada curva de capacidad que se muestra en la Figura. 2. Dicha curva se obtiene a partir del análisis no lineal de estructuras sometidas a fuerzas estáticas horizontales, denominado en inglés pushover analysis, que relaciona el desplazamiento del nivel superior del edificio Δ , con el cortante en la base V . Estudios recientes realizados sobre estructuras sometidas a cargas cíclicas horizontales, han puesto de manifiesto que para alcanzar valores de ductilidad estructural próximos a los valores de proyecto, es necesario que los valores de la ductilidad seccional sean mucho más altos. Esto se debe a que los distintos elementos que conforman la estructura, no plastificarán al mismo tiempo cuando están sometidos a cargas cíclicas. En otras palabras, en un instante dado, la estructura tendrá algunos elementos que habrán alcanzado la plastificación, generándose en ellos rótulas plásticas, mientras que otros se mantendrán dentro del rango elástico. (AGUILAR, 2008).

Este comportamiento requiere que los elementos plastificados tengan secciones con giros muy altos, es decir, altos valores de ductilidad seccional. Por ejemplo, para alcanzar valores de ductilidad estructural de 6, son necesarios valores de ductilidad seccional que sobrepasen el valor de 10 (Diseño por ductilidad ACI 318-2014). Es por eso que en base del concepto de ductilidad se fundamenta el diseño sismorresistente, en este sentido puede distinguirse entre un proyecto con base en la resistencia y uno con base en los desplazamientos. (MEDINA, 2012).

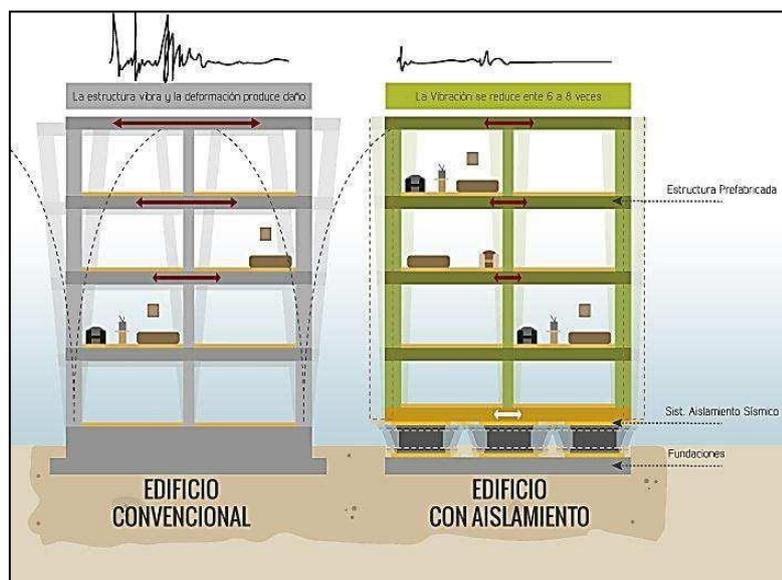
El diseño sismorresistente con base en la resistencia, consiste en dimensionar las secciones de hormigón armado procurando evitar fallos frágiles de los elementos. El comportamiento global de la estructura debe ser tal, que se garantice al menos que su resistencia lateral sea igual a la resistencia elástica afectada por factores de reducción de respuesta. Para tener un satisfactorio comportamiento sísmico, la estructura debe disponer de una alta resistencia lateral, si es que no ofrece un comportamiento dúctil, o de una ductilidad suficiente para la resistencia lateral con que ha sido diseñada. En la medida que la estructura se diseña con mayor resistencia lateral, menor es la necesidad de ductilidad, y viceversa. Ambas características que intervienen en el diseño están relacionadas, y los colapsos que se producen están generalmente asociados a una deficiente provisión de ductilidad para la resistencia lateral que se ha considerado en el diseño. El diseño sismorresistente con base en el desplazamiento, fija límites a los desplazamientos para poder garantizar que la estructura no sobrepase ciertos umbrales de deterioro, esto significa que la estructura se proyecta de acuerdo con criterios de comportamiento global. Además, es importante también introducir el concepto de redundancia estructural como lo dice el Mgs. Arturo Terán en los estudios experimentales hechos por él, pues éste tiene un rol nulo en la respuesta de estructuras mientras éstas se mantienen intactas, sin embargo, dicho rol puede convertir en esencial una vez que alguno o

varios de los elementos de esa estructura, ha sufrido daño tal que lo haga incapaz de seguir recibiendo incrementos de carga, o de mantener las cargas que le correspondía transmitir, lo cual provoca una redistribución de esas carga hacia el resto de los elementos de la estructura que permanecen intactos. La redundancia en un sistema puede ser de dos tipos; redundancia activa y redundancia pasiva. La redundancia activa, implica que todos los elementos de un mismo tipo son capaces de recibir y distribuir cargas, mientras que la reserva de resistencia pasiva implica que ciertos componentes comienzan a funcionar una vez que ha ocurrido el fallo de otros elementos. (AGUILAR, 2008).

El diseño convencional de estructuras sismorresistentes se fundamenta en los conceptos de ductilidad y redundancia estructural, que permiten reducir de forma significativa las fuerzas inducidas por sismos severos, teniendo también en cuenta la capacidad de disipación de energía de los elementos de las estructuras y en sus nudos, la ductilidad global de una estructura se alcanza por la plastificación local de estos elementos, en particular en los extremos de barras, donde es más fácil y eficiente proporcionar los detalles que aseguran la ductilidad. Un diseño sismorresistente racional, garantiza que, para una determinada demanda de ductilidad estructural global, no se sobrepase la capacidad de ductilidad del material seccional y de elementos. El diseño convencional de edificios difícilmente garantiza que los elementos no estructurales no sufran daños frente a un sismo severo, e incluso la reparación de los elementos principales puede ser difícil. Por lo mencionado, en los últimos 20 años se han propuesto diversos sistemas de disipación de energía y de aislamiento de base que localizan los fenómenos no lineales en ciertas zonas predefinidas de una estructura Actualmente, se están implementando aisladores sísmicos en la base para favorecer el comportamiento de la estructura, y evitar los efectos más dañinos que se producen en la estructura a causa de los esfuerzos resultantes de los desplazamientos relativos

entre pisos. El aislamiento sísmico es una técnica de diseño sismo resistente que consiste en introducir un elemento de apoyo de alta flexibilidad o baja resistencia, que independiza a la estructura del movimiento horizontal del suelo. Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura con base fija. A continuación, se expone una representación gráfica en la que podemos apreciar las diferencias entre los sistemas de resistencia sísmica, Imagen 3. (MEDINA, 2012).

Imagen N° 3. Aislamiento Sísmico



Fuente: <http://globalingenieros.com/aisladores-y-disipadores-de-energia>.

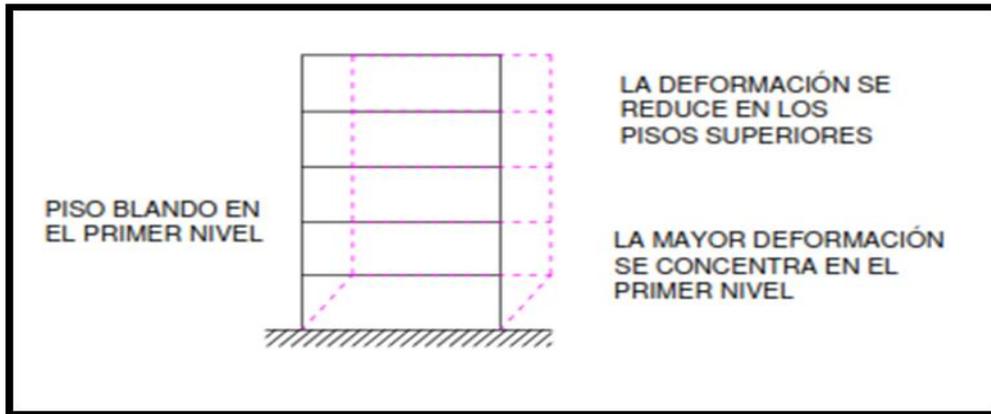
Tradicionalmente, para el diseño sismo resistente se define el coeficiente basal según las especificaciones de la norma vigente ASCE/SEI 7-10, que recomienda la N.T.P – E.030 y este coeficiente se representa gráficamente en función del período fundamental del edificio. Una estructura debe resistir la diferencia entre el coeficiente sísmico requerido por un terremoto severo, y el correspondiente al nivel de las fuerzas de diseño proporcionadas por las normativas, a través de su ductilidad y redundancia. Por el contrario, las fuerzas requeridas

en una estructura con aislamiento de base son menores que las fuerzas de diseño estipuladas en la normativa. Esta observación es particularmente importante considerando que un edificio aislado tendrá un comportamiento prácticamente lineal elástico, sin plastificación de los elementos no estructurales. En general, el aislamiento de base es conveniente para estructuras relativamente rígidas, mientras que los disipadores de energía son más eficientes en el caso de estructuras con períodos intermedios y largos. El aislamiento de base fue propuesto inicialmente para la construcción de edificios nuevos, sin embargo, su empleo ha tenido mucho éxito en la rehabilitación sísmica de edificios históricos. El refuerzo sísmico de los edificios antiguos empleando técnicas convencionales puede necesitar modificaciones importantes del edificio, además de su coste elevado. (BOZZO, 1999).

2.2.2. AMORTIGUAMIENTO EN LOS SISTEMAS AISLADOS

Los principios en los cuales se basa el funcionamiento de la aislación sísmica son dos: en primer lugar, la flexibilización del sistema estructural o alargamiento del período, en segundo lugar, el aumento del amortiguamiento. La flexibilización o alargamiento del período fundamental de la estructura, se logra a través de la introducción de un piso blando entre el suelo de fundación y la superestructura. Intuitivamente se reconoce que la rigidez lateral de este piso blando es mucho menor que la rigidez lateral de la superestructura, el sistema tenderá a deformarse sólo en la interfaz de aislación, transmitiendo bajos esfuerzos cortantes a la superestructura, la que sufre un movimiento de bloque rígido, por ende, sin deformación ni daño durante la respuesta sísmica. Por este motivo, el aislamiento de base es más recomendable en estructuras rígidas sobre terrenos firmes. (AGUILAR, 2008).

Imagen N° 4. Sistema de piso blando (Planta baja flexible) con deformaciones controladas.

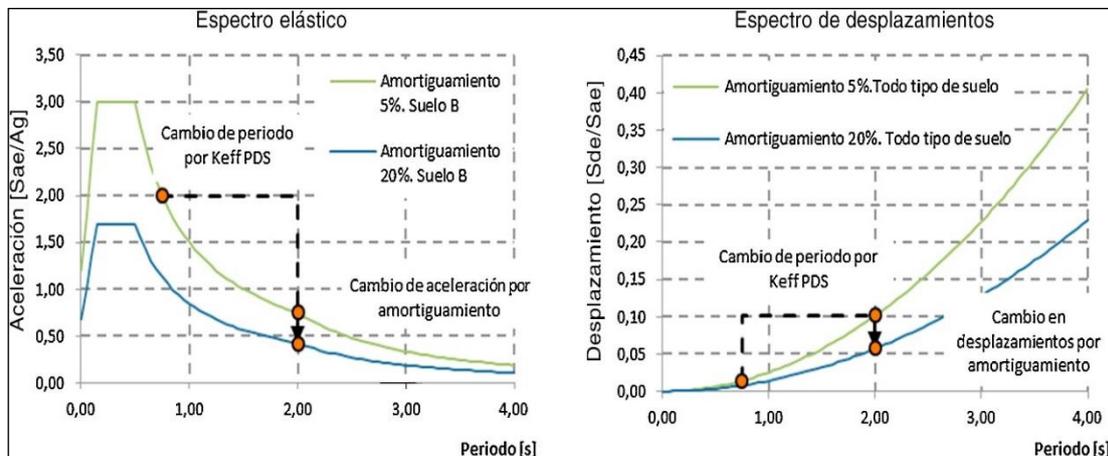


Fuente: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732011000100004>

El aumento del amortiguamiento viene dado principalmente por el sistema de aislación utilizado, éste busca reducir la demanda de deformaciones sobre el sistema de aislación y la superestructura, sin producir un aumento sobre las aceleraciones de esta última.

El amortiguamiento en los sistemas aislados puede proveerse de diversas maneras. La Imagen 4. representa que al aumentar las fuerzas laterales disminuye el cortante. (MEDINA, 2012).

Imagen N° 5. Reducción del cortante debido al incremento del período.



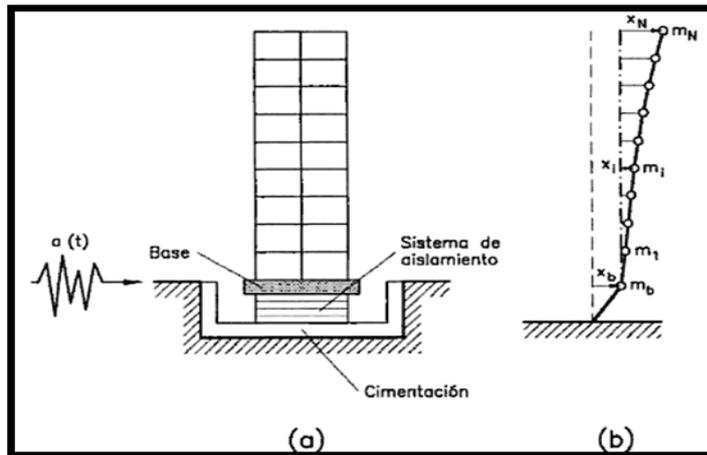
Fuente: Revista hormigón y acero art. 394 – Proyecto ferrocarril.

Esta disminución en las fuerzas laterales, también se ve beneficiada con una reducción de los desplazamientos necesarios para llegar a dichas fuerzas, sin incurrir en un incremento del periodo, Véase Imagen 5.

2.2.3. AISLACIÓN BASAL

El diseño sísmo resistente convencional, se fundamenta en la capacidad de una estructura para disipar la energía que le entrega el sismo, por medio de deformaciones inelásticas, lo que implica un daño controlado de la estructura. El incremento del amortiguamiento efectivo de una estructura, lleva a una disminución de la respuesta estructural, como el amortiguamiento estructural está limitado al amortiguamiento que es inherente, o propio de los materiales, acero, hormigón o una mezcla de ambos. Cuando éste no es suficiente se hace necesario incorporar dispositivos auxiliares que impongan un amortiguamiento adicional al sistema, y que pueda ser evaluado de manera bastante precisa. Una de las maneras de lograr una mejora en la respuesta estructural y evitar el efecto destructivo de los terremotos, es por medio de los sistemas de aislación de base. El diseño de estructuras con aislación sísmica, se fundamenta en el principio de separar la superestructura (componentes del edificio ubicados por sobre la interfaz de aislación) de los movimientos del suelo o de la subestructura, a través de elementos flexibles en dirección horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su fundación, o a nivel del cielo del subterráneo (subestructura), sin embargo, existen casos donde se han colocado aisladores en pisos superiores. La incorporación de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el período de vibración de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructura sin sistema de aislación. (MEDINA, 2012).

Imagen N° 6. Edificio con aislamiento de base. (a) Esquema. (b) Modelo dinámico.



Fuente: Diseño sismorresistente de edificios: técnicas convencionales y avanzadas, Luis M. Bozzo Rotondo, Alex H. Barbat pag. 260.

El diseño de edificios con aisladores de base, busca mantener la estructura en el rango lineal elástico, concentrando las no linealidades en la base. Para un edificio dado, y considerando la notación de la Imagen N° 7. la ecuación del movimiento del sistema sometido a una excitación sísmica de aceleración $a(t)$, es:

Imagen N° 7. Ecuación del movimiento.

$$m_b(\ddot{x}_b + a) + \mathbf{J}^T \mathbf{M} \left[\sum_{i=1}^q \boldsymbol{\varphi}_i \ddot{x}_i(t) + \mathbf{J}(\ddot{x}_b + a) \right] + \mathbf{f} = 0$$

Fuente: Diseño sismorresistente de edificios: técnicas convencionales y avanzadas, Escrito por Luis M. Bozzo Rotondo, Alex H. Barbat pag. 261.

Adicionalmente, los aisladores dinámicos requieren, en general, dispositivos que mantenga los desplazamientos máximos horizontales dentro de límites aceptable de diseño. Los sistemas de aislamiento en la base para una edificación deben dotar a ésta de:

FLEXIBILIDAD para aumentar el período de vibración, y por tanto reducir la fuerza de respuesta sísmica.

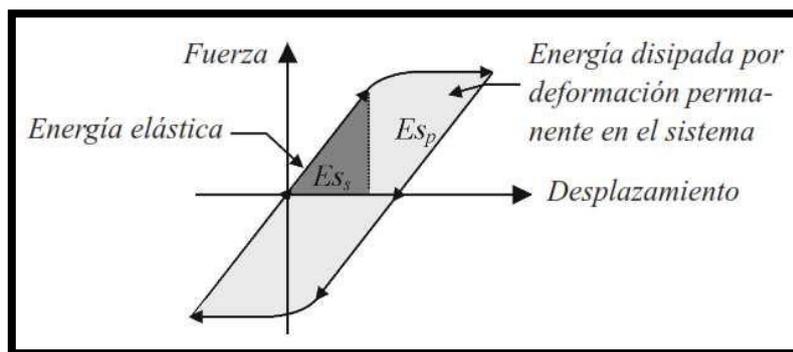
CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGIA para reducir los desplazamientos producidos por sismo, los cuales están directamente relacionados con el daño en un edificio.

RIGIDEZ PARA NIVELES BAJOS DE CARGA, como lo son las fuerzas de viento y sismos de menor importancia.

2.2.4. TIPOS DE AISLACIÓN BASAL

Las técnicas de control de respuesta sísmica, se pueden clasificar según la forma como el sistema maneja la energía impuesta por el sismo, su absorción y disipación. Se conocen como sistemas de disipación de energía, aquellos que aportan al término (energía disipada por deformación permanente del sistema) en el balance de energía y se conocen como sistemas aisladores, los que se enfocan a disminuir la energía de entrada al sistema estructural, término (energía elástica). (AGUILAR, 2008).

Imagen N° 8. Ciclo de histéresis de un sistema estructural, energía elástica e inelástica

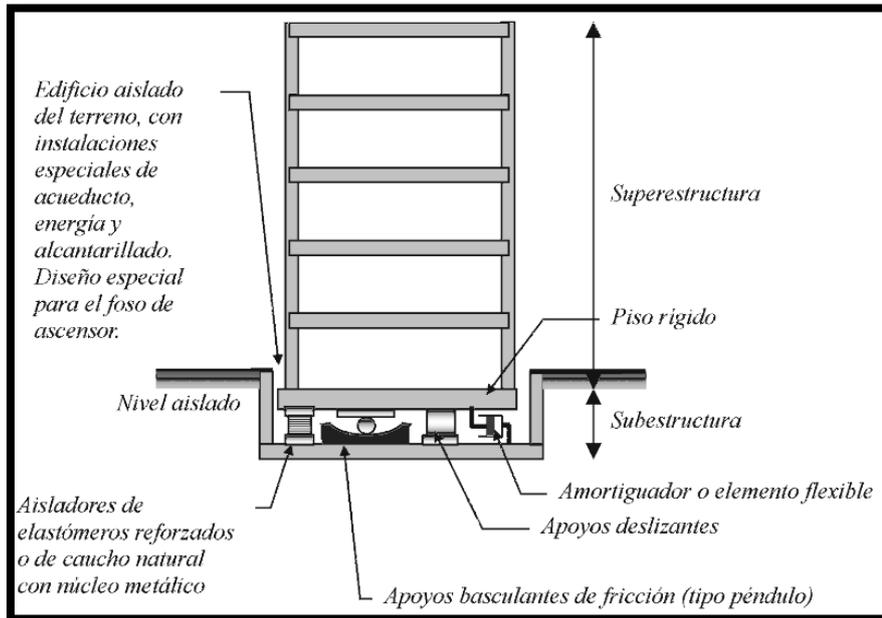


Fuente: Universidad nacional de Colombia de un disipador pasivo.

En términos generales, los sistemas de aislación sísmica limitan la energía que el sismo transfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones de la estructura aislada. Por su parte, los sistemas de disipación de energía, si bien no

evitan el ingreso de energía a la estructura, permiten que la disipación de energía se concentre en dispositivos especialmente diseñados para este fin, reduciendo sustancialmente la porción de la energía que debe ser disipada por la estructura. (AGUILAR, 2008).

Imagen N° 9. Técnica de Aislamiento Sísmico.



Fuente: Sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones Duque y Oviedo, 2006

Existen numerosos dispositivos para la aislación sísmica, de los cuales los aisladores friccionales, y elastoméricos con o sin núcleo de plomo son los más conocidos y utilizados, ambos se instalan individualmente o junto a otros dispositivos como amortiguadores. Los aisladores elastoméricos con baja rigidez horizontal, cambian el periodo fundamental de la estructura evitando la resonancia de la excitación sísmica, mientras que el sistema de aislamiento deslizante, está basado en el concepto de deslizamiento friccionante. Un sistema de aislamiento, debe ser capaz de soportar la estructura mientras provee una flexibilidad adicional y disipación de energía. Las tres funciones pueden ser concentradas en un solo mecanismo o pueden ser provistas por diferentes componentes. En general los aisladores sísmicos tienen

cuatro funciones importantes Aislar la estructura, logrando que la demanda de desplazamiento se concentre en los aisladores y no en la estructura evitando, de esta manera el daño de la misma. Suministrar rigidez suficiente para un nivel de cargas, tales como viento, viva y sismos. Introducir amortiguamiento adicional en el sistema, ya que los desplazamientos relativos a través de los aisladores pueden controlarse. En algunos casos el amortiguamiento se suministra directamente por los aisladores; en otros casos se instalan dispositivos adicionales (disipadores viscosos) que proveen dicho amortiguamiento. Capacidad de auto centrado después de la deformación. Antes de 1995 en Japón, había 80 edificios con aisladores de base, luego, al observar el gran comportamiento que tuvieron esos edificios durante el sismo de Kobe (1995), el número de estructuras con aisladores de base creció notablemente habiendo actualmente más de 600 edificios con aisladores. Algo similar ocurrió en Estados Unidos de Norte América luego del sismo de Northridge (1994). (AGUILAR, 2008)

2.2.5. AISLADOR ELASTOMÉRICO

Los aisladores elastoméricos, están formados por un conjunto de láminas planas de goma intercaladas por placas planas de acero, adheridas a la goma durante un proceso de vulcanización (bajo presión y temperatura), por lo general, presentan una sección circular o cuadrada y cubierta en su extremo superior e inferior por dos placas de acero, donde se conecta con la superestructura, en su parte superior, y con la subestructura en su parte inferior. Las láminas de acero, confinan lateralmente a la goma haciendo que el aislador tenga una gran rigidez vertical, y a su vez una rigidez horizontal muy baja, permitiendo el desplazamiento horizontal de la estructura en relación al suelo. La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. (AGUILAR, 2008)

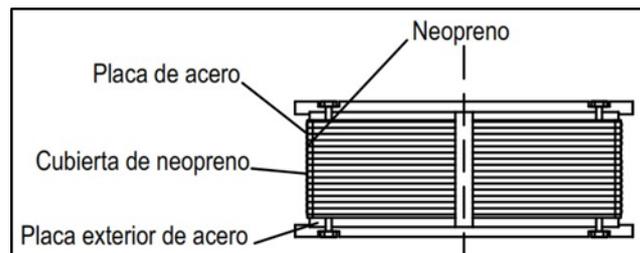
El comportamiento de los aisladores elastoméricos depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos, y en menor grado de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento. Con el objetivo de aumentar la capacidad de disipación del aislador elastomérico descrito anteriormente, se puede elegir entre varias alternativas tales como:

- Agregar aditivos a la goma para aumentar sus propiedades de amortiguamiento.
- Incorporar un corazón de plomo en el centro del disipador, para aprovechar las propiedades disipativas del plomo y así aumentar la disipación del aislador.
- Acoplar a los aisladores otros dispositivos, tales como los amortiguadores viscosos, de fricción o por extrusión de plomo.

Existen varios tipos de apoyos elastoméricos, entre ellos se encuentran los apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing), los apoyos de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing) y alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), y los apoyos de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing). (AGUILAR, 2008).

- Aislador Elastomérico de bajo amortiguamiento (LDRB).

Imagen N° 10. Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento.



Fuente: briannunezconstruccion.wordpress.com

Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores elastoméricos de caucho natural de bajo amortiguamiento, han sido usados vinculados con dispositivos de amortiguamiento adicionales. La rigidez horizontal del aislador es controlada por el bajo módulo de corte del caucho. El comportamiento del material en cortante es casi lineal hasta deformaciones por corte del orden de 100%, con amortiguamiento hasta 7%. Las ventajas de los aisladores de caucho de bajo amortiguamiento son: la fácil manufactura, moldeado simple, y sus propiedades mecánicas no son afectadas por la temperatura y el envejecimiento. La única desventaja es que por lo general van acompañados por sistemas de amortiguamiento adicional. (AGUILAR, 2008).

- Aislador Elastomérico de alto amortiguamiento (HDRB)

Imagen N° 11. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento.



Fuente: www.sismica.cl/?portfolio=aisladores-elastomericos-si

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%. Este incremento en rigidez y amortiguamiento ha sido dirigido para producir un sistema que será, rígido para pequeñas sollicitaciones, casi lineal y flexible para un nivel de diseño y que puede limitar los desplazamientos para niveles de

solicitud mayor, para precisar lo citado anteriormente se exponen los siguientes casos: Para deformaciones por corte menores que el 20%, el material tiene un comportamiento no lineal y se caracteriza por su alta rigidez y amortiguamiento, el cual tiende a minimizar la respuesta bajo cargas sísmicas pequeñas. Para deformaciones por corte de entre el 20% y el 120% el módulo de corte es bajo y constante. Para deformaciones por corte mayores, el módulo de corte se incrementa debido al proceso de cristalización por deformación del caucho, lo cual va acompañado con un incremento en la energía disipada. (AGUILAR, 2008).

La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 300%, los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDRB, 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. (AGUILAR, 2008).

- Aislador Elastomérico de núcleo de plomo (LRB)

Imagen N° 12. Aislador elastomérico de núcleo de plomo



Fuente: sismica.cl/portfolio=aisladores-elastomericos.

Este tipo de aisladores son similares a los anteriores, (compuestos por láminas de caucho y acero de forma intercalada) pero contiene un

núcleo de plomo que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%, estos núcleos de plomo generalmente van ubicados en el centro, de modo que, 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 recristaliza, de esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 200%. La rigidez inicial y el amortiguamiento efectivo del aislador dependen del desplazamiento. (AGUILAR, 2008).

2.2.6. AISLADORES DESLIZANTES

Los aisladores deslizantes o también llamados deslizadores friccionales, utilizan una superficie de deslizamiento típicamente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Este sistema de aislación sísmica, permite disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante un sismo. El coeficiente de fricción del aislador depende de variables tales como: la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.) y el envejecimiento. Adicionalmente, estos sistemas requieren de mayor mantenimiento y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al de diseño. (AGUILAR, 2008).

2.2.7. AISLADORES FRICCIONALES.

Imagen N° 13. Aislador friccional.



Fuente: sismica.cl/sis/wp-content/uploads/2013/05/Pe%CC%81ndulo-Friccional-doble.jpg

Los apoyos deslizantes planos, son los aisladores deslizantes más simples, que consisten básicamente en dos superficies, una adherida a la superestructura y la otra a la subestructura, poseen un bajo coeficiente de fricción, permitiendo los movimientos horizontales y resistir las cargas verticales. Generalmente, llevan una capa de material elastomérico que facilita el movimiento del deslizador en caso de sismos. Por lo general, las superficies deslizantes son de acero inoxidable pulido espejo, y de un material polimérico de baja fricción. Este tipo de aislación puede requerir de disipadores de energía adicionales. A fin de prevenir deformaciones residuales luego de un evento sísmico, los aisladores deslizantes planos, generalmente deben ser acompañados por mecanismos o sistemas restitutivos (típicamente aisladores elastoméricos con o sin núcleo de plomo), que regresen la estructura a su posición original luego de un sismo. La imagen N° 14 muestra un esquema de un apoyo deslizante plano. La combinación de estos sistemas con aisladores elastoméricos o con núcleo de plomo permite, en general, ahorros de costos del sistema de aislación. (AGUILAR, 2008).

- Aislador Péndulo Friccional

Imagen N° 14. Aislador péndulo friccional.



Fuente: http://www.sismica.cl/sis/wp-content/uploads/2013/05/VU_render.jpg

Dentro de los aisladores deslizantes uno de los representantes más conocidos de esta clase es el sistema de péndulo friccional FPS (Frictional Pendulum System). El aislador FPS consiste de un deslizador articulado sobre una superficie de acero inoxidable de forma esférica como se muestra en la imagen N° 14. Las características de estos apoyos son: la superficie deslizante esférica de acero inoxidable pulido y el deslizador articulado, que está revestido con un material compuesto, de alta capacidad de soporte basado en politetrafluoroetileno (teflón) que tiene un bajo coeficiente de fricción (aproximadamente 5 a 7%). Los apoyos están sellados e instalados con la superficie deslizante boca abajo, para evitar la contaminación de la interfaz de deslizamiento. Este dispositivo, trabaja limitando la transferencia de corte a lo largo de la superficie de aislación, y cuanto menor sea el coeficiente de fricción menor será el corte transmitido. Para proveer una adecuada resistencia a las cargas del viento, y evitar movimientos innecesarios bajo pequeños sismos u otras perturbaciones, se necesita un valor adecuadamente alto del

coeficiente de fricción. Uno de los problemas que presentan este tipo de dispositivos es que no tienen ninguna fuerza efectiva de recuperación. Estas fuerzas pueden introducirse combinando este tipo de dispositivo con los elastoméricos. El aislador FPS, proporciona una rigidez relativa al desplazamiento lateral directamente proporcional al peso de la estructura e inversamente proporcional al radio de curvatura. Una de las propiedades de interés de este dispositivo, es su capacidad en proporcionar períodos y desplazamientos largos, manteniendo su capacidad portante de utilidad ante la presencia de terremotos caracterizados por la presencia de pulsos largos. El aislador FPS es activado sólo, cuando la fuerza de corte sobre la interfaz de aislación debida a las fuerzas sísmicas, supera la fuerza de fricción estática. Una vez en movimiento, el cursor articulado (deslizador) se mueve a lo largo de la superficie esférica cóncava, causando la elevación de la masa soportada, con movimientos equivalentes a los de un péndulo simple. Los resultados de aislación basal deseados, se alcanzan por la geometría del apoyo y la gravedad. Durante la elevación a lo largo de la superficie esférica, el aislador desarrolla una fuerza resistente lateral, igual a la combinación de la fuerza friccional movilizada y una fuerza de restauración inducida por la gravedad. Verdaderamente, esta última fuerza es la fuerza de restauración del sistema. En base a lo indicado, en el párrafo anterior se tienen dos fases en un sistema FPS, la primera denominada de agrupamiento en que el deslizador no se mueve y la segunda que corresponde al deslizador en movimiento. (AGUILAR, 2008).

2.2.8. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA INSTALACIÓN DE AISLADORES DE BASE

En general, los dispositivos de aislación sísmica se instalan en las plantas bajas de los edificios, sobre las fundaciones, o entre el cielo del primer subterráneo y el primer piso de la estructura. Los aisladores

sísmicos, generan una interfaz donde en caso de un sismo, se produce un gran desplazamiento horizontal relativo entre la superestructura y la subestructura. Este desplazamiento, que suele estar en el rango entre 40 y 60 cm (o más), debe ser considerado en el diseño de cañerías y ductos de servicios y redes distribuidas como agua, gas, electricidad, alcantarillado, red seca, etc., además de sistemas de ascensores, escaleras, accesos al edificio y en general, cualquier instalación, servicio o componente arquitectónico que cruce de la estructura aislada a la no aislada. Un espacio de similares dimensiones debe disponerse alrededor de la estructura, a fin de prevenir el impacto de la estructura aislada con sectores no aislados de la estructura o estructuras adyacentes. (ASCE 7-10, 2015).

Los aisladores sísmicos, deben ser instalados en puntos de la estructura donde puedan ser inspeccionados, y donde se les pueda dar mantenimiento en caso necesario. Por requerimiento normativo, los aisladores sísmicos deben ser susceptibles de reemplazo. Se debe tomar las precauciones en el diseño arquitectónico para que esto sea factible. Se recomienda considerar el uso de dispositivos de aislación sísmica desde las etapas iniciales del proyecto, a fin de mitigar el impacto de su incorporación en la arquitectura del proyecto. (ASCE 7-10, 2015).

2.3. PARAMETROS DE EVALUACION ECONOMICA DE LA INSTALACIÓN DE AISLADORES SÍSMICOS.

Estos aspectos varían dependiendo del tipo de aislación que se instale y las características de cada proyecto en costos:

- Costo de los dispositivos.
- Costos del proyecto de aislación.
- Costos de fabricación y ensayo de prototipos y aisladores de obra.

- Costos de instalación. Costos directos (insertos, anclajes, etc.) y gastos generales por aumento de plazos.
- Costo de protección al fuego de los dispositivos (en caso que se requiera).
- Costo del sistema de conectores flexibles en las instalaciones y juntas de dilatación.
- Costo del diafragma adicional requerido por sobre el nivel de aislación y columnas de gran dimensión o envigados por debajo del sistema de aislación.
- Costos de la súper y subestructuras requeridas para alcanzar objetivos de desempeño compatibles con los provistos por el sistema de aislación.
- Costos de mantención e inspección.
- Costo de proveer un espacio físico adicional para la instalación de los aisladores.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.4.1. DESPLAZAMIENTO

- Desplazamiento para Diseño

Desplazamiento lateral para un sismo de diseño, con exclusión adicional al desplazamiento actual y accidental debida a la torsión, requerida para el diseño del aislamiento del sistema.

- Desplazamiento total para Diseño

Desplazamiento lateral total para un sismo de diseño incluyendo el desplazamiento adicional actual y debido a la torsión accidental, requerida para el diseño del sistema de aislamiento o un elemento del mismo.

- Desplazamiento total para MCE

El desplazamiento lateral para el sismo Máximo Considerado Earthquake (MCE) incluyendo el desplazamiento adicional debido al desplazamiento inicial y debido a la torsión accidental, será también necesario para la verificación de: La estabilidad del sistema de aislamiento o la verificación de los elementos del sistema, El diseño de las separaciones de la estructura (junta de aislación), y pruebas de carga vertical de la unidad de aislador prototipos.

- Desplazamiento del sistema restringido

Una colección de elementos estructurales que limita el desplazamiento lateral de las estructuras aisladas sísmicamente debido al terremoto máxima considerado MCE.

2.4.2. AMORTIGUACIÓN EFECTIVA

Es el valor equivalente del amortiguamiento viscoso que corresponde a la energía disipada durante la respuesta cíclica del sistema de aislamiento. (ASCE 7-10, 2015).

2.4.3. RIGIDEZ EFECTIVA

Es el valor de la fuerza lateral en el sistema de aislamiento, o un elemento del mismo sistema, dividida por el correspondiente desplazamiento lateral. (ASCE 7-10, 2015).

2.4.4. AISLAMIENTO DE INTERFAZ

Es el límite entre la parte superior de la estructura, que se encuentra aislado, y la porción inferior de la estructura (sub estructura), que mueve rígidamente con el suelo. (ASCE 7-10, 2015).

2.4.5. SISTEMA DE AISLAMIENTO

Es la colección de elementos estructurales que incluye todas las unidades de aislador de manera individual, todos los elementos

estructurales que transfieren la fuerza entre los elementos del sistema de aislamiento, y todas las conexiones con otros elementos estructurales. El sistema de aislamiento también incluye el sistema de restricción a viento, los dispositivos de disipación de energía, y / o al sistema de restricción de desplazamiento si y solo si tales sistemas mencionados y dispositivos se utilizan para satisfacer los requisitos de diseño de este capítulo. (ASCE 7-10, 2015).

2.4.6. UNIDAD AISLACION

Es un elemento que es horizontalmente flexible y verticalmente rígida y conforma el sistema de aislamiento donde permite grandes deformaciones laterales, por ende, menores cargas sísmicas en el diseño. Un aislador se permite usar como parte de o en conjunto para soportar el peso de la estructura. (ASCE 7-10, 2015).

2.4.7. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO

Es el Máximo Considerado Earthquake desplazamiento lateral, excluyendo desplazamiento adicional debido a la deformación actual y accidental por torsión. (ASCE 7-10, 2015).

2.4.8. SCRAGGING

Es la carga cíclica de trabajo en los productos de caucho, incluyendo aisladores elastoméricos, a efectuar una reducción en las propiedades de rigidez y que se recuperarán con el tiempo. (ASCE 7-10, 2015).

2.4.9. SISTEMA DE VIENTO-SISTEMA DE SEGURIDAD

La colección de elementos estructurales que proporciona sujeción de la estructura con aislamiento sísmico para cargas de viento. Se permite que el sistema de retención de viento para ser una parte integral de las unidades de aislador o un dispositivo separado. (ASCE 7-10, 2015).

- BD = coeficiente numérico como se expone en la Tabla 17.5-1 (ASCE 7 – 10) para amortiguamiento efectivo igual a βD

- BM = coeficiente numérico como se expone en la Tabla 17.5-1 (ASCE 7 – 10) para amortiguamiento efectivo igual a βM
- b = dimensión más corta en planta de la estructura, en ft (mm) medida perpendicularmente a d.
- d = dimensión de la planta más larga de la estructura, en ft (mm)
- DD = desplazamiento de diseño, en in (mm.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.5-1(ASCE 7 – 10)
- D'D = desplazamiento de diseño, en in (mm.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.6-1(ASCE 7 – 10)
- DM = desplazamiento máximo, en in (mm.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.5-3(ASCE 7 – 10)
- D'M = desplazamiento máximo, en in (mm.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección en cuestión, según lo prescrito por la ecuación. 17.6-2 (ASCE 7 – 10)
- DTD = desplazamiento de diseño total, en in (mm.), de un elemento del sistema de aislamiento que incluye tanto el desplazamiento de traslación en el centro de la rigidez y el componente de desplazamiento torsional en la dirección en cuestión, según lo prescrito por la ecuación. 17.5-5 (ASCE 7 – 10)
- DTM = desplazamiento total máximo, en in (mm.), de un elemento del sistema de aislamiento que incluye tanto el desplazamiento de traslación en el centro de la rigidez y el componente de desplazamiento torsional en la dirección en cuestión, según lo prescrito por la Ec. 17.5-6 (ASCE 7 – 10)

- ELOOP = energía disipada en kips-in. (kN-mm), en una unidad de aislamiento durante un ciclo completo de carga reversible en un intervalo de desplazamiento de prueba desde $\Delta+$ a $\Delta-$, medido por el área encerrada por el bucle de la curva de fuerza-desplazamiento.
- e = excentricidad actual, en ft (mm), medida en el plan entre el centro de masa de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento y el centro de la rigidez del sistema de aislamiento, además de excentricidad accidental, en ft. (mm), tomada como 5 por ciento de la dimensión máxima de edificación perpendicular a la dirección de la fuerza que se examina.
- F- = fuerza negativa mínima en kips (kN) en una unidad de aislamiento durante un único ciclo de pruebas de prototipos en una amplitud de desplazamiento de $\Delta-$.
- F+ = fuerza positiva máxima en kips (kN) en una unidad de aislamiento durante un único ciclo de ensayos de prototipo a una amplitud de desplazamiento de $\Delta+$.
- Fx = fuerza total distribuido sobre la altura de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento según lo prescrito por la ecuación. 17.5-9 (ASCE 7 – 10)
- kDmax = rigidez máxima efectiva, en kips/in. (kN/ mm), del sistema de aislamiento en el diseño de desplazamiento en la dirección horizontal en cuestión, según lo prescrito por la Ec. 17.8-3 (ASCE 7 – 10)
- kDmin = rigidez mínima efectiva, en kips/in. (kN/ mm), del sistema de aislamiento en el diseño de desplazamiento en la dirección horizontal en cuestión, según lo prescrito por la Ec. 17.8-4 (ASCE 7 – 10)

- kM_{max} = máxima rigidez efectiva, en kips/in. (kN/mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo en la dirección horizontal en cuestión, según lo prescrito por la Ec. 17.8-5 (ASCE 7 – 10)
- kM_{min} = rigidez efectiva mínima, en kips / in. (kN/mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo en la dirección horizontal en cuestión, según lo prescrito por la Ec. 17.8-6 (ASCE 7 – 10)
- k_{eff} = rigidez efectiva de una unidad de aislamiento, según lo prescrito por la Ec. 17.8-1 (ASCE 7 – 10)
- L = efecto de la carga viva en el capítulo 17 (ASCE 7 – 10)
- T_D = período efectivo, en seg, de la estructura sísmicamente aislado en el desplazamiento de diseño en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.5-2 (ASCE 7 – 10)
- T_M = periodo efectivo, en seg, de la estructura sísmicamente aislado en el desplazamiento máximo en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.5-4 (ASCE 7 – 10)
- V_b = fuerza lateral total sísmica de diseño o cortante en elementos del sistema de aislamiento o por debajo de los elementos del sistema de aislamiento, según lo prescrito por la Ec. 17.5-7 (ASCE 7 – 10)
- V_s = fuerza lateral total sísmica de diseño o cortante en elementos anteriores del sistema de aislamiento, según lo prescrito por la Ec. 17.5-8 (ASCE 7 – 10)
- y = distancia, en ft (mm), entre el centro de rigidez de la rigidez del sistema de aislamiento y el elemento de interés medido perpendicular a la dirección de cargas sísmicas en estudio.

- β_D = amortiguación eficaz del sistema de aislamiento por el desplazamiento de diseño, según lo prescrito por la Ec. 17.8-7 (ASCE 7 – 10).
- β_M = amortiguación eficaz del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo, según lo prescrito por la Ec. 17.8-8 (ASCE 7 – 10).
- β_{eff} = amortiguación eficaz del sistema de aislamiento, según lo prescrito por la Ec. 17.8-2 (ASCE 7 – 10).
- Δ_+ = desplazamiento positivo máximo en la una unidad de aislamiento durante cada ciclo de pruebas de prototipos.
- Δ_- = desplazamiento negativo mínimo de una unidad de aislamiento durante cada ciclo de pruebas de prototipos.
- ΣED = energía total disipada, en kips-in. (KN-mm), en el sistema de aislamiento durante un ciclo completo de la respuesta en el desplazamiento de diseño, DD.
- ΣEM = energía total disipada, en kips-in. (KN-mm), en el sistema de aislamiento durante un ciclo completo de la respuesta en el desplazamiento máximo, DM.
- $\Sigma |FD_+|_{max}$ = suma, para todas las unidades de aisladores, del valor absoluto máximo de la fuerza, en kips (kN), a un desplazamiento positivo igual a DD.
- $\Sigma |FD_+|_{min}$ = suma, para todas las unidades del aislador, del valor absoluto mínimo de la fuerza, en kips (kN), a un desplazamiento positivo igual a DD.
- $\Sigma |FD_-|_{max}$ = suma, para todas las unidades aislantes, del valor máximo absoluto de la fuerza, en kips (kN), en un desplazamiento negativo igual a DD.

- $\Sigma|FD-|_{\min}$ = suma, para todas las unidades aislantes, del valor absoluto mínimo de la fuerza, en kips (kN), en un desplazamiento negativo igual a DD.
- $\Sigma|FM+|_{\max}$ = suma, para todas las unidades aislantes, del valor máximo absoluto de la fuerza, en kips (kN), a un desplazamiento positivo igual a DM.
- $\Sigma|FM+|_{\min}$ = suma, para todas las unidades aislantes, del valor absoluto mínimo de la fuerza, en kips (kN), a un desplazamiento positivo igual a DM.
- $\Sigma|FM-|_{\max}$ = suma, para todas las unidades aislantes, del valor máximo absoluto de la fuerza, en kips (kN), en un desplazamiento negativo igual a DM.
- $\Sigma|F-|$ = suma, para todas las unidades aislantes, del valor absoluto mínimo de la fuerza, en kips (kN), en un desplazamiento negativo igual a DM.
- Sistema convencional: Estructuras con aislamiento tipo empotramiento.

2.5. MODELAMIENTO DE EDIFICIO.

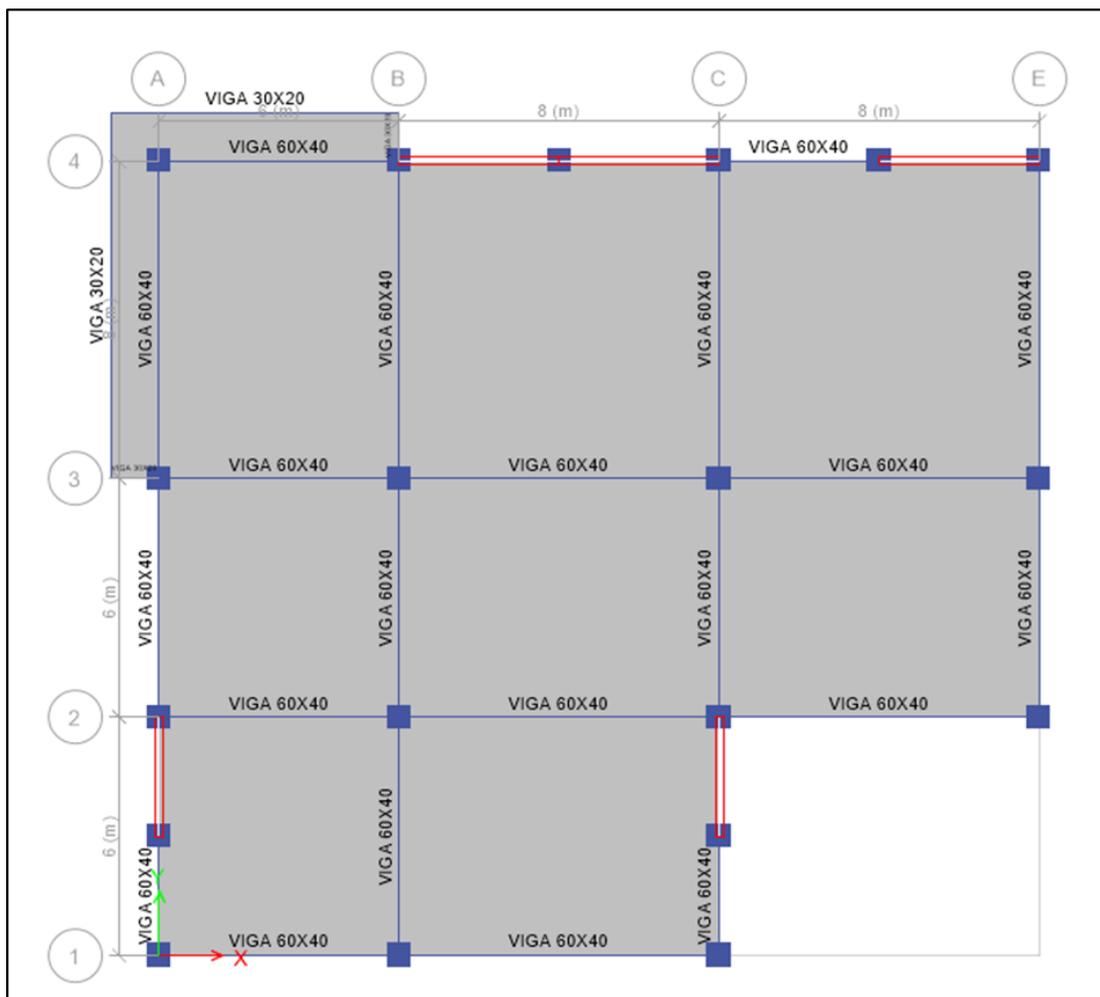
En este capítulo vamos a modelar primero el edificio alcanzado por la empresa para luego hacer el proceso de dimensionamiento del aislador, sin dejar de lado que la estructura debe pasar la norma técnica peruana e.030, cuyo material predominante es concreto armado de 280 kg/cm^2 usaremos para el análisis de estructuras como el respectivo modelamiento Etabs V16.2.1 donde comprobaremos las derivas y el acero de los elementos estructurales, las cargas impuesta para el modelo con la filosofía de diseño de la ACI318-14; como sus

respectivos combos de diseño para luego proceder al dimensionamiento del aislador en dicha estructura.

2.5.1. LA GEOMETRÍA EN PLANTA Y ELEVACIÓN DEL EDIFICIO.

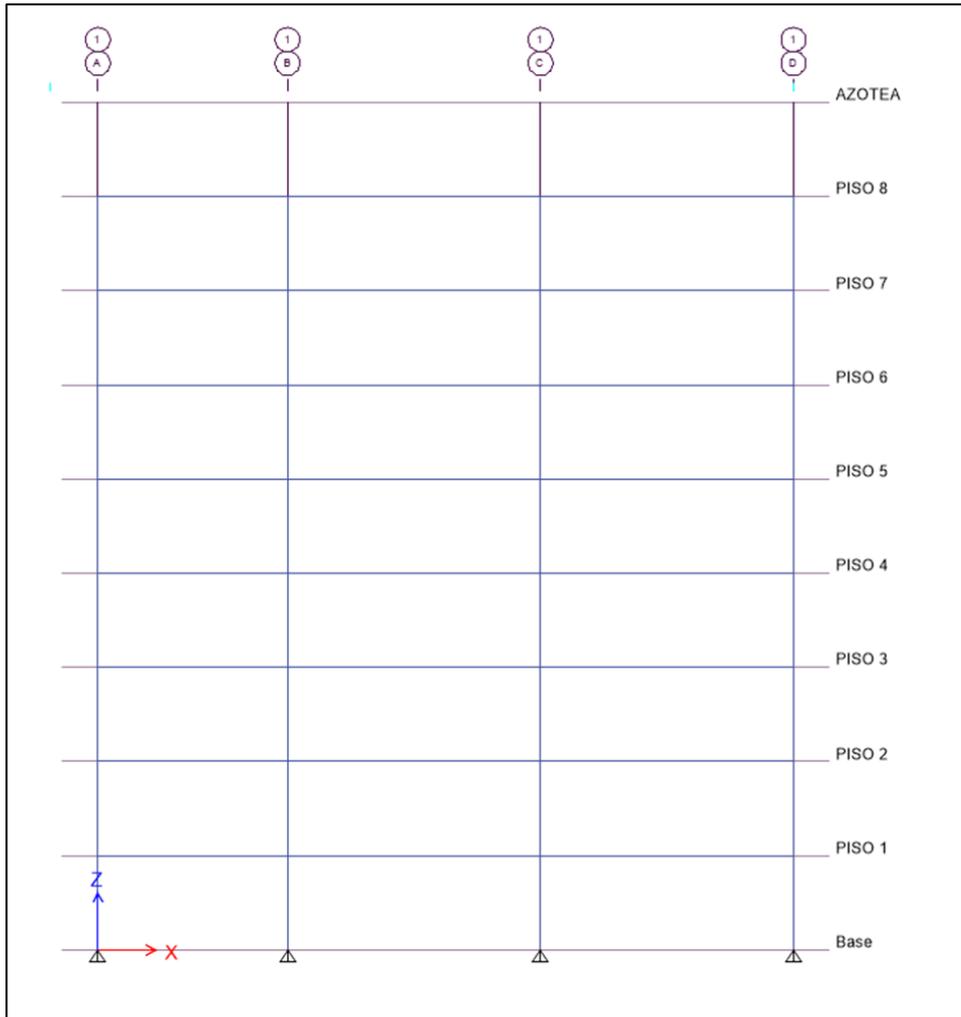
El primer piso es 4 metros, los siguientes de 3 metros hasta llegar al piso 8 con una azotea, como se muestra a continuación en las figuras.

Imagen N° 15. Vista en planta.



Fuente: Propia.

Imagen N° 16. Vista en planta.



Fuente: Propia.

2.5.2. DEFINIR MATERIALES.

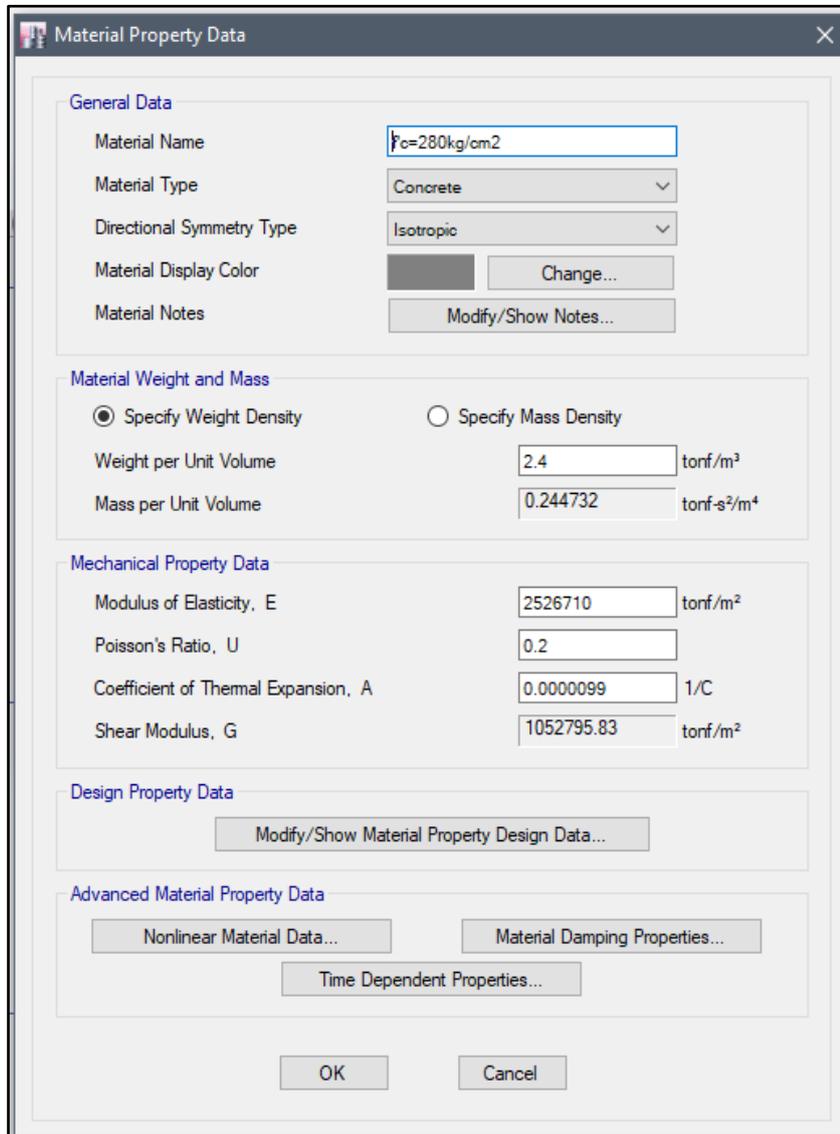
Después de guardar el archivo con un nombre vamos a la definición de materiales a usar; en el menú desplegable con la opción Define/Materials ingresaremos los siguientes datos:

- Concreto
- $f'c = 280 \frac{kg}{cm^2}$
- $E = 15100x\sqrt{280} \frac{kg}{cm^2}$

- $Y = 2,400 \text{ Kg}/\text{m}^2$

$u = 0.20$ Coeficiente de deformación transversal (coeficiente de Poisson)

Imagen N° 17. Definición de material.



Fuente: Propia.

- Albañilería

$$f'c = 35 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$E = 500 \times 45 = 22,500 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$Y = 1800 \text{ Kg}/\text{m}^2$$

$$u = 0.25$$

Imagen N° 18. Definición de albañilería.

Material Property Data

General Data

Material Name: ALBA

Material Type: Masonry

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Orange] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 1.8 tonf/m³

Mass per Unit Volume: 0.183549 tonf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 225000 tonf/m²

Poisson's Ratio, U: 0.28

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000081 1/C

Shear Modulus, G: 87890.63 tonf/m²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Fuente: Propia.

2.5.3. DEFINICIÓN DE SECCIONES.

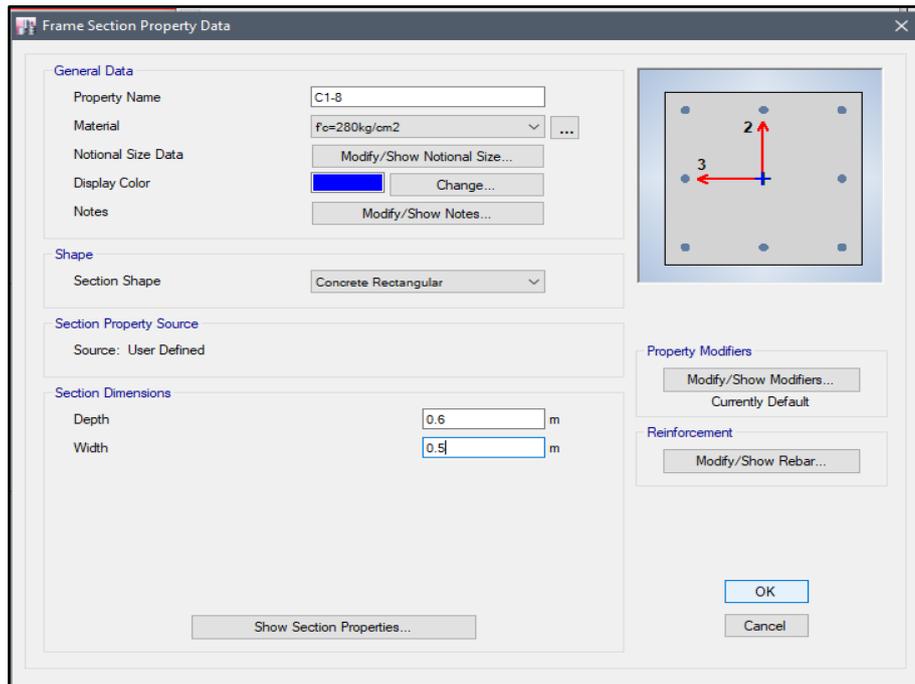
- Elementos tipo frame.

Se definen las secciones que usaremos en este proyecto, para las columnas una sección de 60x50 cm (8 varillas de 1") y para la viga 30x60 cm.

- C1: 60x50 cm.

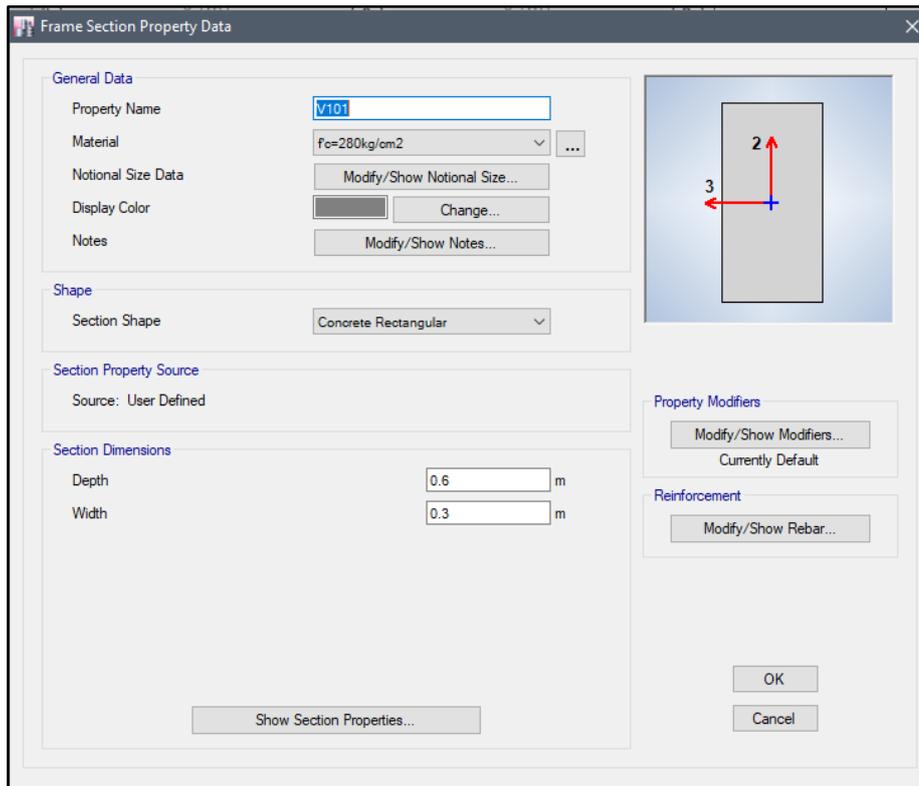
- V1: 30x60 cm.

Imagen N° 19. Columna C1 – Frame.



Fuente: Propia.

Imagen N° 20. Viga 101.



Fuente: Propia.

- Elementos tipo área.

Se definió para las losas aligeradas y escaleras un espesor de $h=25$ cm en todos los pisos con $f'c = 210 \frac{kg}{cm^2}$.

Imagen N° 21. Losa aligerada.

Slab Property Data

General Data

Property Name: ALIGERADO

Slab Material: Concreteo $f_c=210\text{kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Use Special One-Way Load Distribution

Property Data

Type: Ribbed

Overall Depth: 0.2 m

Slab Thickness: 0.05 m

Stem Width at Top: 0.125 m

Stem Width at Bottom: 0.125 m

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 0.5 m

Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

OK Cancel

Fuente: Propia.

Imagen N° 22. Losa Escalera.

The screenshot shows the 'Slab Property Data' dialog box. The 'General Data' section includes: Property Name (ESCALERA), Slab Material (Concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$), Notional Size Data (Modify/Show Notional Size...), Modeling Type (Shell-Thin), Modifiers (Currently Default) (Modify/Show...), Display Color (cyan square, Change...), and Property Notes (Modify/Show...). The 'Property Data' section includes: Type (Slab) and Thickness (0.15 m). OK and Cancel buttons are at the bottom.

Fuente: Propia.

Imagen N° 23. Losa de Vuelos.

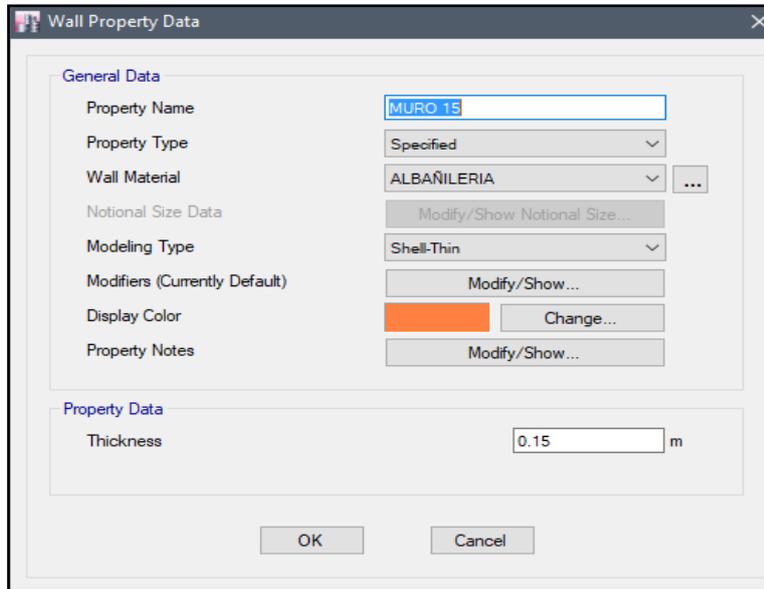
The screenshot shows the 'Slab Property Data' dialog box. The 'General Data' section includes: Property Name (VUELOS), Slab Material (Concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$), Notional Size Data (Modify/Show Notional Size...), Modeling Type (Shell-Thin), Modifiers (Currently Default) (Modify/Show...), Display Color (magenta square, Change...), and Property Notes (Modify/Show...). The 'Property Data' section includes: Type (Slab) and Thickness (0.2 m). OK and Cancel buttons are at the bottom.

Fuente: Propia.

- Definición de muros de concreto y albañilería.

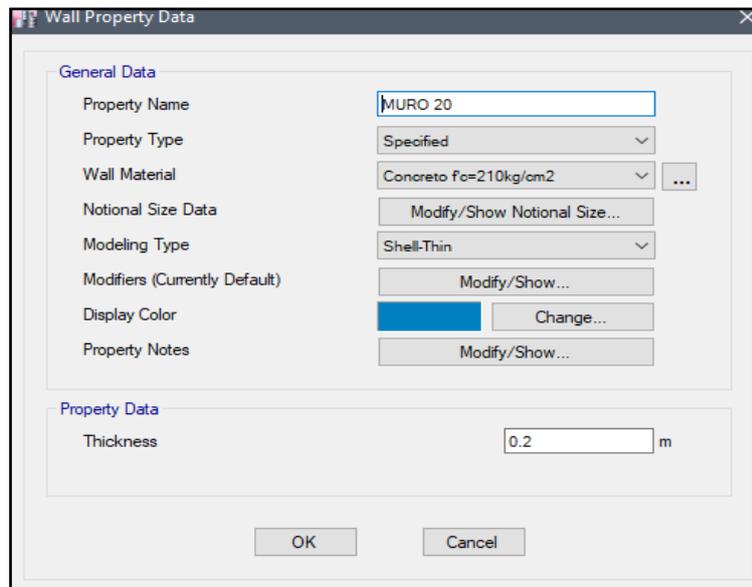
El muro de albañilería se definió de un espesor $h=15\text{cm}$ y el muro en concreto armado tipo Shell se definió con un espesor $e=20\text{cm}$.

Imagen N° 24. Muro de $e = 15\text{cm}$.



Fuente: Propia.

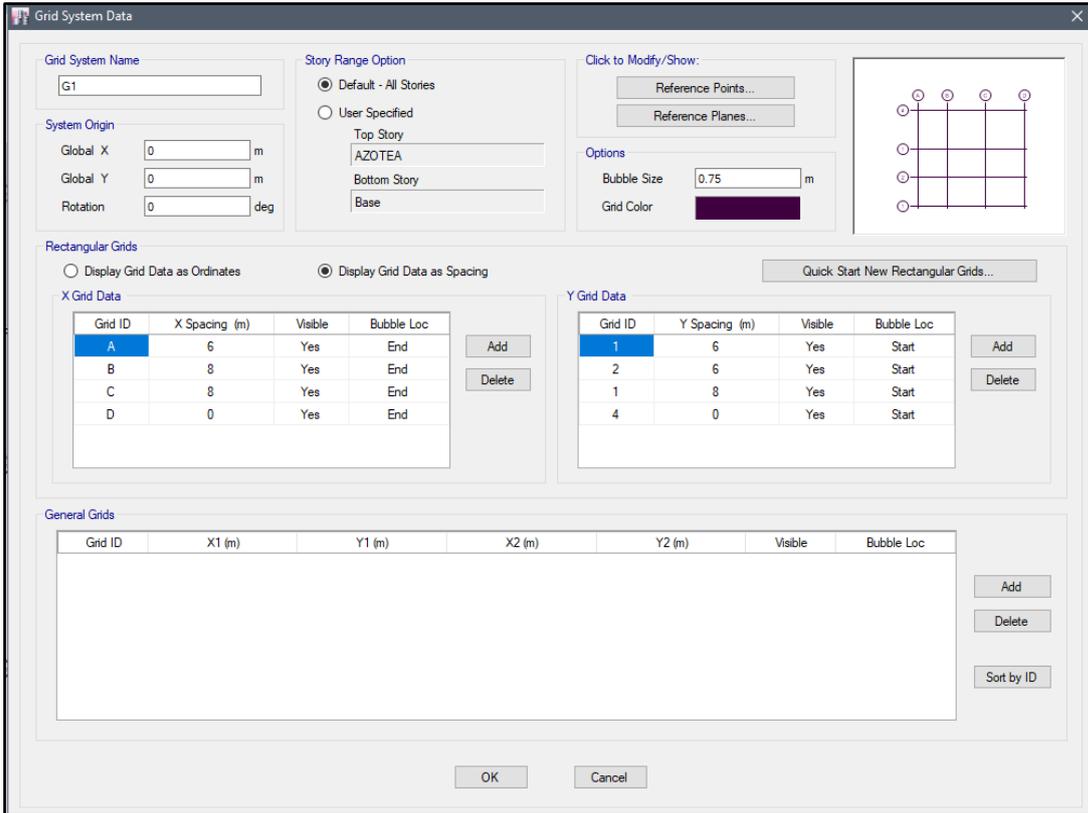
Imagen N° 25. Muro de $e = 20\text{cm}$.



Fuente: Propia.

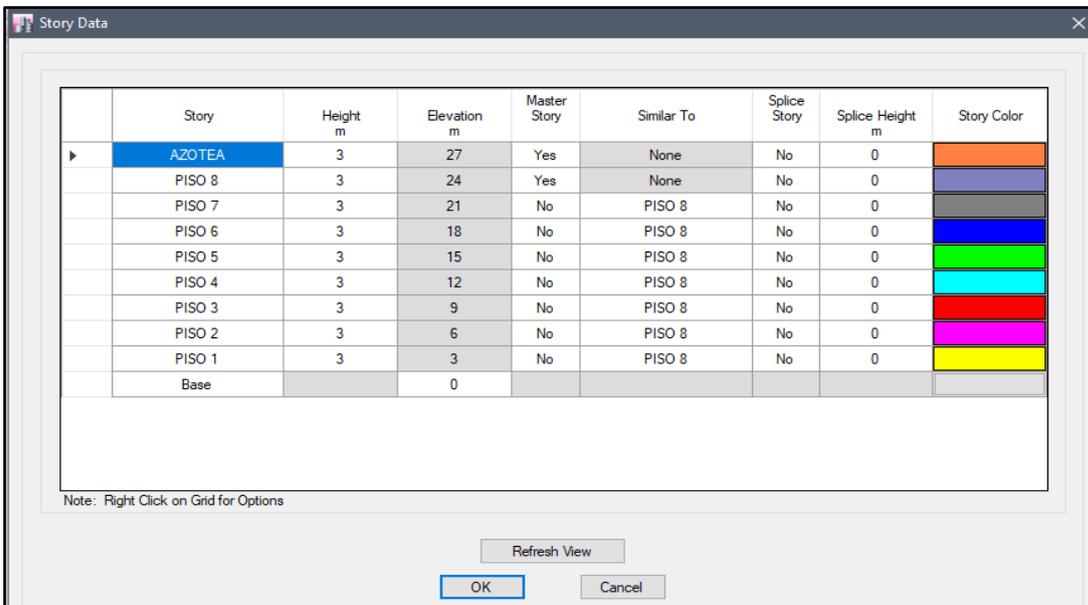
- Generación del modelo Edit/Set Grid system/Show Grid System

Imagen N° 26. Generación de grid.



Fuente: Propia.

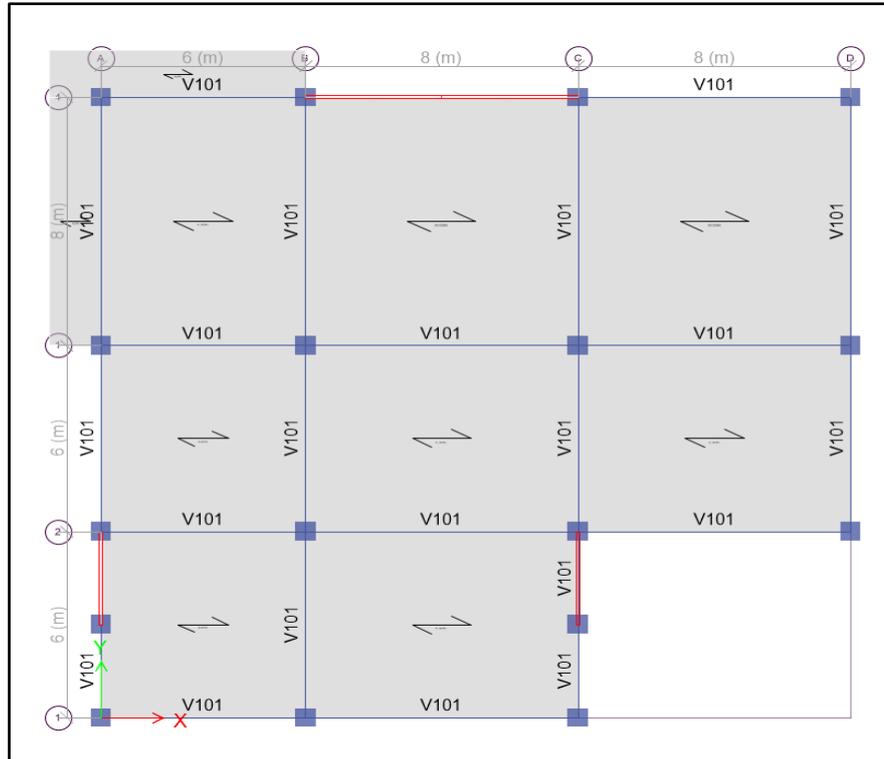
Imagen N° 27. Story Data.



Fuente: Propia.

Draw Beams/Column/Brace, colocación de vigas, losa y columnas en la planta.

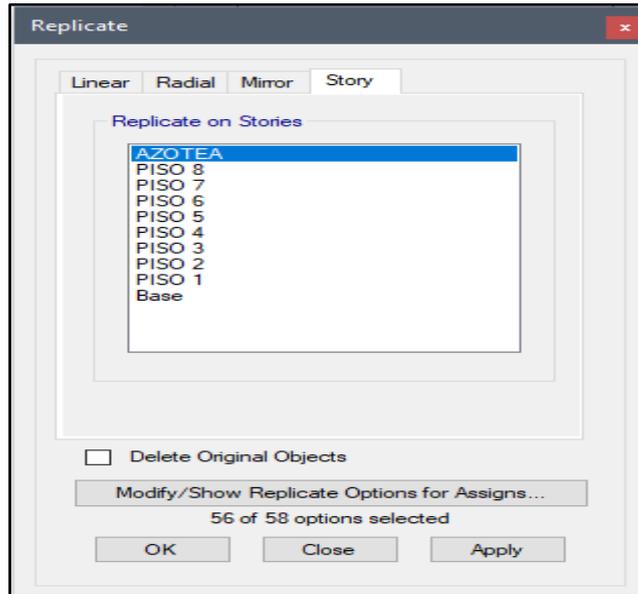
Imagen N° 28. Generación de columnas y vigas.



Fuente: Propia.

Selección de elementos y replica de elementos hasta los 8 niveles, edit/replicate/store.

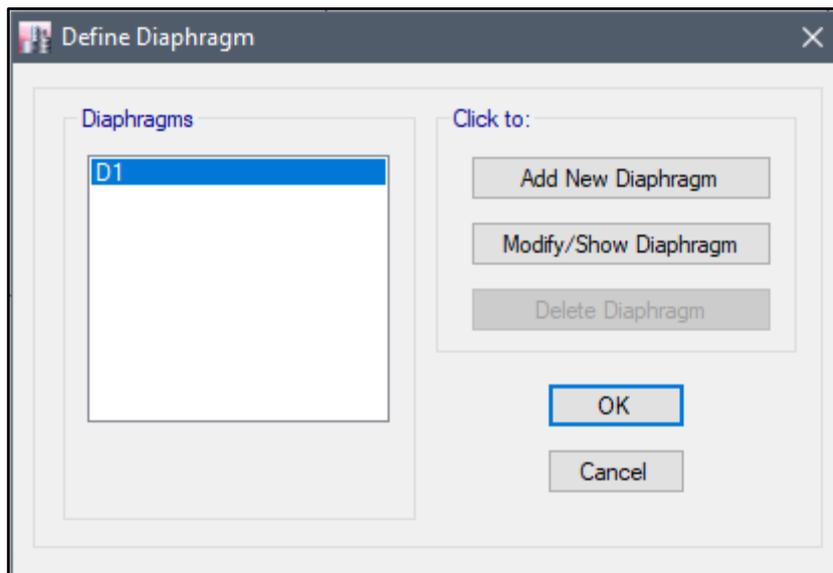
Imagen N° 29. Replicate.



Fuente: Propia.

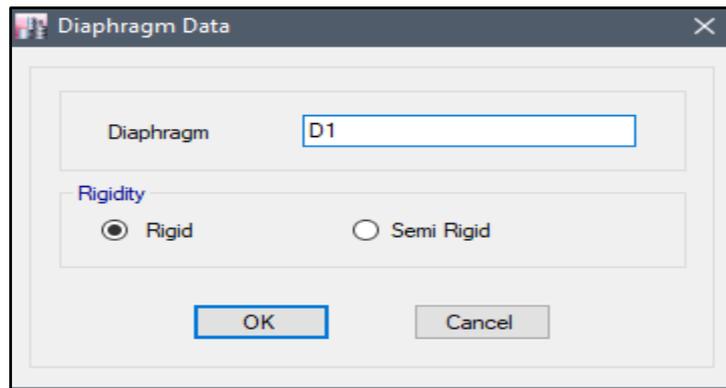
Definimos como elemento diafragma rígido todas las losas en un mismo nivel para el análisis y centro de masa, Define/Diaphragm.

Imagen N° 30. Define Diaphragm.



Fuente: Propia.

Imagen N° 31. Fig Diaphragm data.



Fuente: Propia.

- Definición de espectro de diseño.

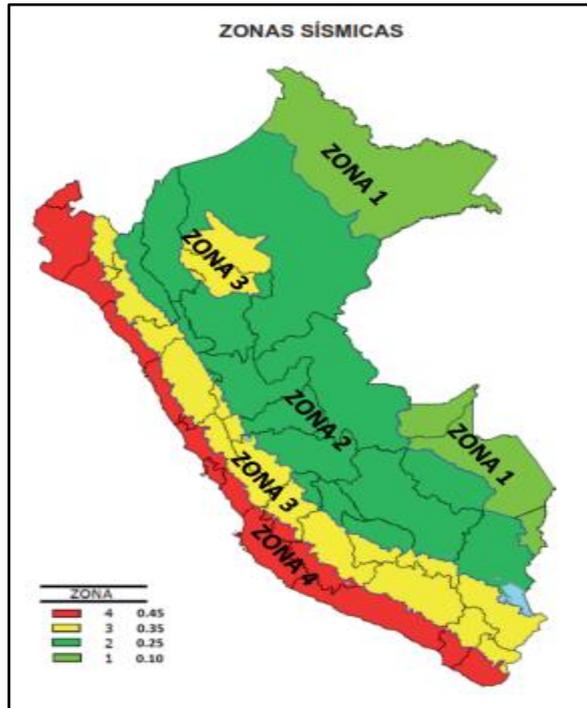
Con la norma técnica peruana E.030 de año 2016, que es la que actualmente se encuentra en vigencia, lo cual para ellos definiremos algunos parámetros que nos establece la misma norma.

- Datos para Análisis Sísmico Estático.

$$\text{Coeficiente Basal } C_b = \frac{ZUSC}{R}$$

- Factor de zona (z).

Imagen N° 32. Zonas sísmicas del Perú.



Fuente: Norma E.030, pag.5

- Cajamarca se encuentra en la zona número 3.

Tabla N° 1. Tabla de factor de zona

Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: Norma E.030, pag 5.

- $Z=0.35$.
- Categoría de las edificación y factor "U".

Tabla N° 2. Tabla Factor U.

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: E.30, pag 8.

Considerando el tipo de edificación donde se reúne personas como donde se establecerá el trabajo de oficinas, donde se guardará información como documentación valiosa por eso se la coloca en la categoría B con un factor de $U = 1.3$.

Perfil del suelo (E.030, pag 6).

- Perfil Tipo So: Roca dura.
- Perfil Tipo S1: Roca o Suelos muy rígidos.
- Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios.
- Perfil Tipo S3: Suelos Blandos.

Tipo de suelo según información proporcionada es un suelo intermedio, S2.

Factor de suelo.

- Tabla 3. Factor de suelo, E.030, pag 7.

Dado el tipo de suelo y la zona se puede saber el factor de suelo como la norma lo indica, donde es la intersección de Z3 y S2 es $S=1.15$.

- El factor de reducción R

Está dado por la norma por los factores: R_o , L_a y L_p .

Tabla N° 3. Sistemas de Estructurales.

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Norma E.030

Tabla N° 4. Irregularidades estructurales en altura

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_r
<p>Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.</p>	0,75
<p>Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p>Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Se considera que existe irregularidad extrema en la rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,6 veces el correspondiente valor del entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,4 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.</p>	0,50
<p>Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	

Fuente: E.030, pag 9.

Tabla N° 5. Factor de suelo "S".

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA \ SUELO	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z_3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z_2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z_1	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: E.030, pag 9.

La estructura no presenta irregularidad según la norma el factor lo presenta como 1, $I_p=1$.

Tabla N° 6. Irregularidad en la plata de la estructura. I_p .

Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Factor de Irregularidad I_p
<p>Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{max}), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{cm}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,75
<p>Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{cm}), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{cm}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,60
<p>Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	0,90
<p>Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	0,85
<p>Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.</p>	0,90

Fuente: E.030, página 10.

Dada la estructura posee irregularidad en las esquinas entrantes donde
- $L_p = 0.9$.

Dados los 3 factores de irregularidad R_o , I_a y I_p dan como resultado a R :

- $R = R_o \times I_a \times I_p$
- $R_o = 7$
- $I_a = 0.90$
- $I_p = 0.9$
- $R = 6.30$

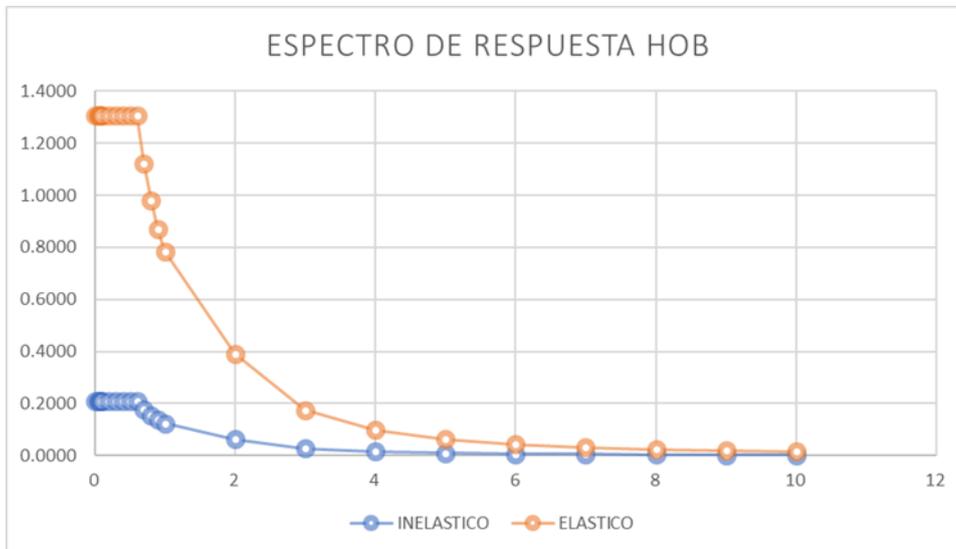
Para encontrar el espectro de respuestas se obtuvieron los valores de Z , U , C , S y R , los cuales analizados en un periodo T dieron como resultado el valor de C según de la norma E.030.

Tabla N° 7. Tabla de Espectro de diseño.

	INELASTICO	ELASTICO
T	ZUCS/R	ZUCS
0	0.2076	1.3081
0.05	0.2076	1.3081
0.06	0.2076	1.3081
0.07	0.2076	1.3081
0.08	0.2076	1.3081
0.09	0.2076	1.3081
0.1	0.2076	1.3081
0.2	0.2076	1.3081
0.3	0.2076	1.3081
0.4	0.2076	1.3081
0.5	0.2076	1.3081
0.6	0.2076	1.3081
0.7	0.1780	1.1213
0.8	0.1557	0.9811
0.9	0.1384	0.8721
1	0.1246	0.7849
2	0.0623	0.3924
3	0.0277	0.1744
4	0.0156	0.0981
5	0.0100	0.0628

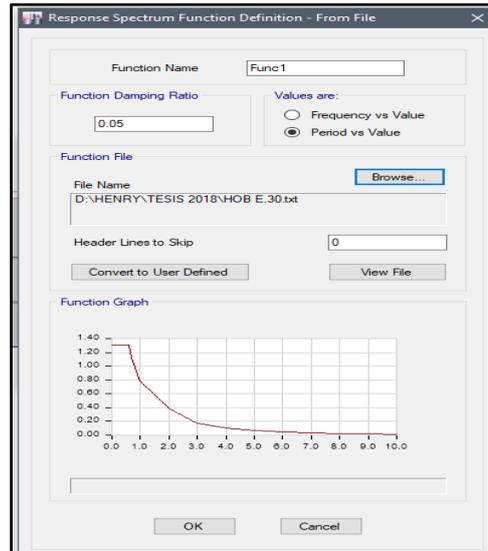
6	0.0069	0.0436
7	0.0051	0.0320
8	0.0039	0.0245
9	0.0031	0.0194
10	0.0025	0.0157

Gráfica N° 1. Espectro de respuesta para la edificación



Una vez teniendo los datos respectivos, existen 2 posibilidades dentro del mismo ETABS la primera es que él nos genere el espectro de respuesta y al segundo es cargarla en un archivo "txt", dándole los parámetros a usar, dado que el programa no cuenta con la norma E.030 – 2016, es necesario cargarlo como archivo, para que el diseño sea el correcto.

Imagen N° 33. Definiendo el espectro.

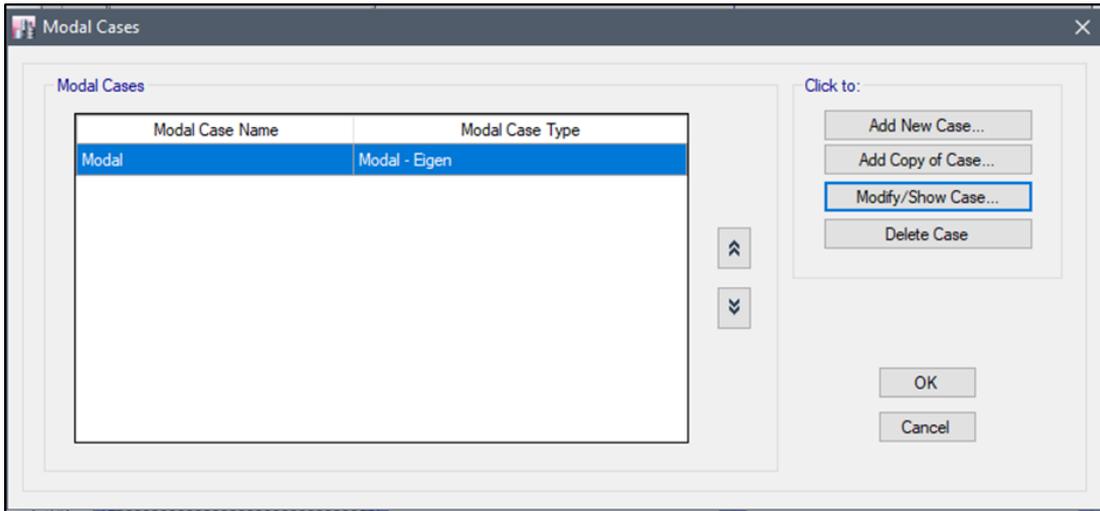


Fuente: Propia.

- Definición de modal case.

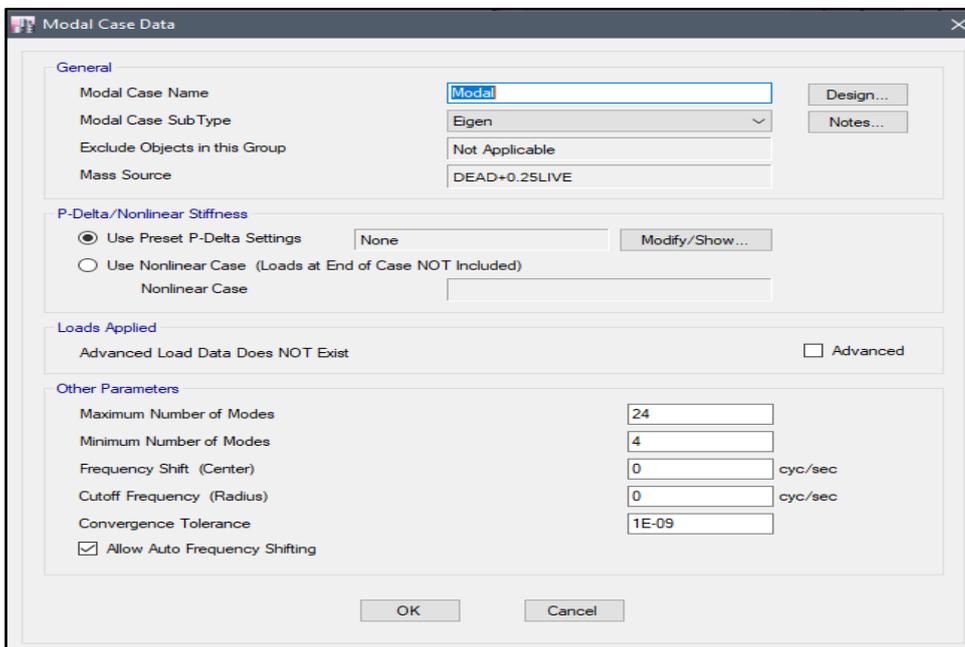
En el proyecto necesitamos definir el cómo tomará los elementos estructurales el ETABS, ya que el mismo autor del software recomienda 3 modos por piso, siendo x, y, z; donde es necesaria definirlo entre el modo "Eigen o Ritz", donde se tomará "Ritz", es una sumatoria de probabilidades y "Eigen" es la generación de auto vectores por modo, siendo el más fiable para concreto armado, el cual se tomará para el diseño.

Imagen N° 34. Modal Cases.



Fuente: Propia.

Imagen N° 35. Configuración de Modo.



Fuente: Propia.

En la configuración de modo debemos notar que para que los datos obtenidos a partir del modelado asistido por ETABS y sea considerado tiene que ser más del 90% por modo para considerarlo y se tiene que colocar el mínimo por modo para considerarlo para

capturar las formas de modo de la estructura usaremos la resolución matricial a partir de los eigen vectores o auto vectores. Tres grados de libertad por cada piso = 24 modos.

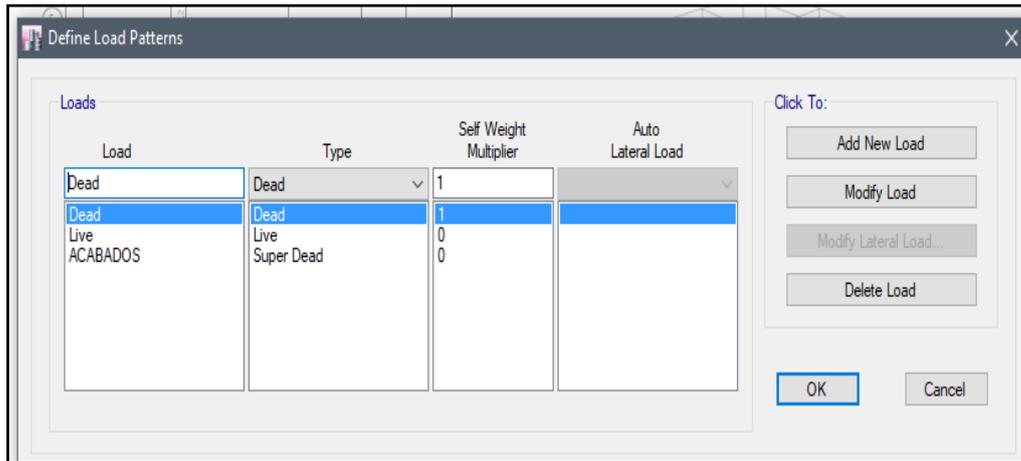
Usamos la recomendación del Dr. Edward Wilson: Los efectos ortogonales en el análisis espectral, en modelos tridimensionales, para el diseño de edificios y puentes requiere que los elementos sean diseñados para el 100% de las fuerzas sísmicas prescrito en una dirección, más el 30% de las fuerzas prescritas en la dirección perpendicular. (Análisis Estático y Dinámico; Autor Ed. Wilson, pag. 212)

- Cargas

Se tiene que pensar, ante todo, que la determinación de las Cargas que actúan no puede ser exactas en magnitud y en ubicación, aun cuando se conozca la exacta posición de las mismas y su magnitud, la interrogante es como se transmiten las cargas a los apoyos de los elementos; muchas veces son necesarias las suposiciones que ponen en duda el sentido de la exactitud buscada, de esta manera vamos a definir solo algunas de las cargas más conocidas.

- Carga Muerta o peso propio, es una carga de gravedad cuya magnitud y ubicación podemos considerarlas fijas; se usará en este proyecto las cargas permanentes tomadas desde los pesos de los elementos que conforman la estructura definida como DEAD y para las cargas de acabado que se encuentran adheridas sobre los pisos de la estructura será definida como SUPERDEAD.

Imagen N° 36. Muestra de cargas.



Fuente: Propia.

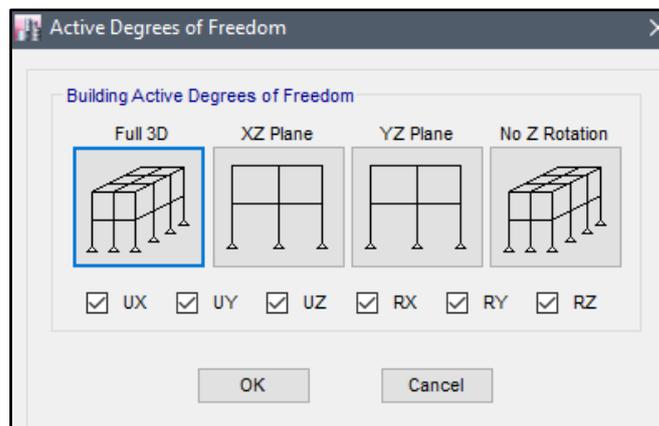
- Carga Viva, es aquella carga de gravedad que actúa sobre la estructura cuando esta se encuentra en servicio; puede variar en ubicación como en magnitud a lo largo de la vida útil. Carga de Sismo, los terremotos producen movimientos horizontales y verticales; los movimientos horizontales son los que generan en las estructuras los efectos más significativos; cuando la interacción suelo estructura se activa, la inercia de la masa de la estructura tiende a resistir este movimiento; la filosofía de este análisis sísmico tiende a estimar la fuerza a partir de un porcentaje del peso de la estructura; este porcentaje es llamado coeficiente basal y la fuerza dependerá de la ductilidad o liberación de energía que se estime o se asigne a este tipo de estructura (según norma Peruana $R_o=7$); realizaremos el diseño sísmico basado en dos metodologías, análisis sísmico estático y análisis sísmico dinámico a partir de un análisis espectral-modal. Criterio de Combinación Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la combinación cuadrática completa CQC de los valores calculados para cada modo. (Norma E-030).

Usamos la recomendación del Dr. Edward Wilson: Los efectos ortogonales en el análisis espectral, en modelos tridimensionales, para el diseño de edificios y puentes requiere que los elementos sean diseñados para el 100% de las fuerzas sísmicas prescrito en una dirección, más el 30% de las fuerzas prescritas en la dirección perpendicular. (Análisis Estático y Dinámico; Autor Ed. Wilson, pag. 212).

2.6. ANALISIS

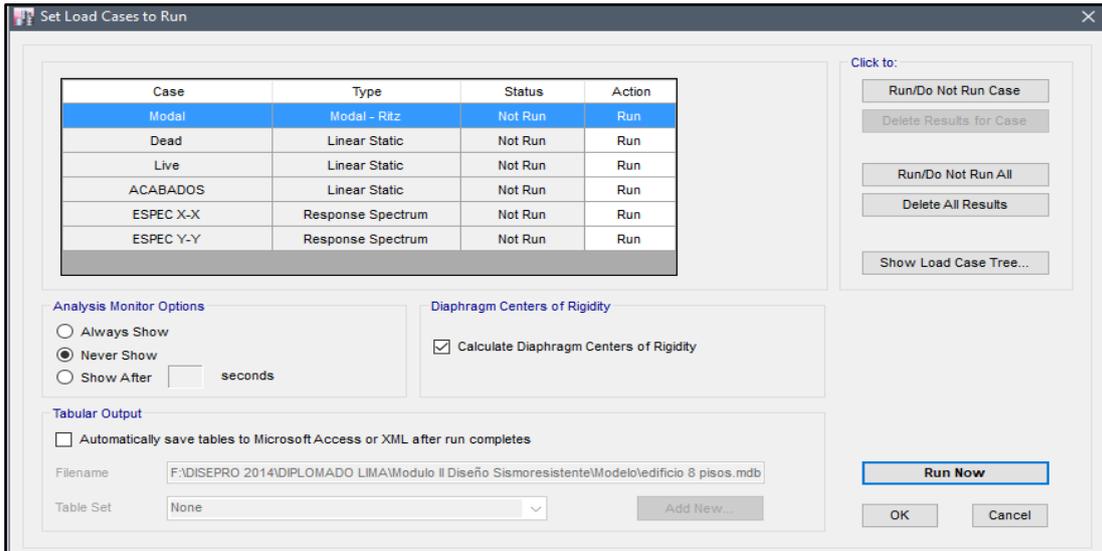
2.6.1. OPCIONES DE ANÁLISIS. - Seleccionar la opción Analyze.

Imagen N° 37. Analysis Options – Freedom.



Fuente: Propia.

Imagen N° 38. Set Load Cases Run.



Fuente: Propia.

Vamos a hacer correr casos el caso de Death y Modal para obtener cuánto pesa la estructura como el de modal para obtener la participación de masas en la estructura.

Tabla N° 8. Participación de masas.

TABLE: Modal Load Participation Ratios			
Case	Item Type	Item	%
Modal	Acceleration	UX	100.00
Modal	Acceleration	UY	100.00
Modal	Acceleration	UZ	0

Se observa que tenemos una participación en y del 100.00%, dada la recomendación observamos que debe de ser mayor de 90% como se muestra es mayor, siendo el método de modelación es aceptable y se puede confiar en el mismo.

Tabla N° 9. Base Reactions.

TABLE: Base Reactions			
Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	tonf	tonf	tonf
PESO PROPIO	0	0	2769.4515
ESPECTX Max	283.9139	177.3582	0
ESPEC Y Max	148.0818	397.2072	0

Se observa que la reacción en la base en Z nos da el peso de la estructura para poder determinar el cortante con el que se trabajara, siendo la formula el periodo donde se trabaja, multiplicado por el peso y reducido al 90% como indica la norma actual E.030, que en este caso el primer periodo en X es de 0.799 s, para lo cual se tomara el promedio de la evaluación hecha en ese tiempo.

Tabla N° 10. Evaluación del periodo para el cortante.

Peridod(T)	Evaluado	Resultado.	
0.7	0.178	PROMEDIO	0.16685
0.8	0.1557		

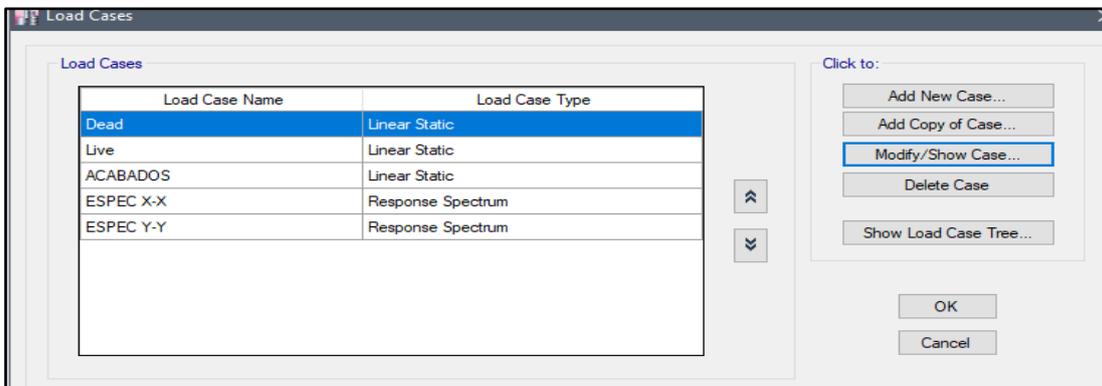
Dado el promedio de evaluación es necesario calcular la cortante para poder realizar un correcto diseño de la estructura.

Tabla N° 11. Evaluación de la cortante.

Sa=(norma E.030)	EVALUADO	PESO (FZ)	90%	CORTANTE
	0.16685	2769.4515	0.9	415.8746

COMBINACIONES DE CARGA, se define casos de carga para carga muerta, carga viva y los acabados como el espectro de respuesta en “X y Y”

Imagen N° 39. Cargas de caso.



Fuente: Propia.

Una vez defino la carga de casos, los pesos y la combinación de cargas, como el espectro de respuesta en “X y Y” hay que tener en cuenta que el análisis en dirección la dirección desea será el 100% y en la otra dirección será el 30% para el caso del espectro de respuesta de X y Y, en load case para que el análisis pueda ser correcto, luego se procede a analizar la estructura para poder ver cortante que está tomando el ETABS y saber si es el correcto.

Imagen N° 40. Locad case para el espectro de respuesta.

General

Load Case Name: ESPECT X
Load Case Type: Response Spectrum
Exclude Objects in this Group: Not Applicable
Mass Source: Previous (DEATH+.25VIVA)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	E.030 HOB	9.8067
Acceleration	U2	E.030 HOB	2.942

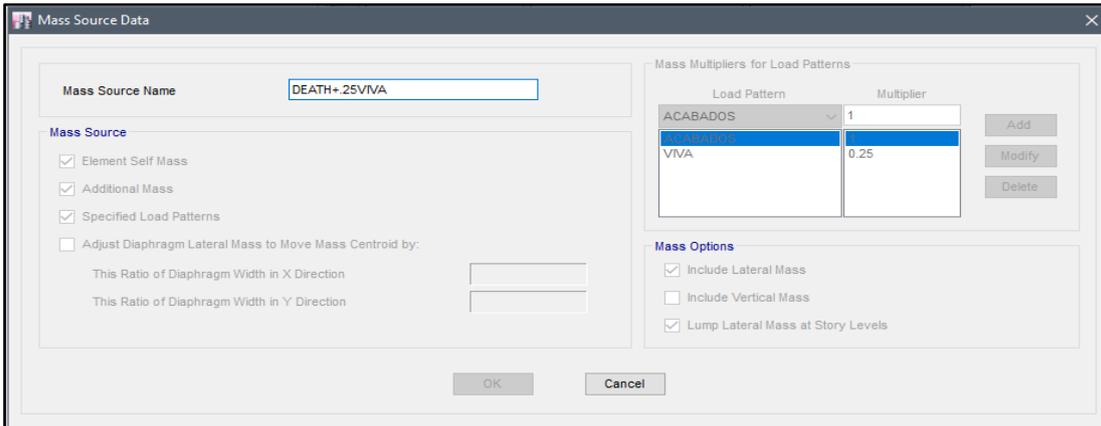
Other Parameters

Modal Load Case: Modal
Modal Combination Method: CQC
 Include Rigid Response
Rigid Frequency, f1:
Rigid Frequency, f2:
Periodic + Rigid Type:
Earthquake Duration, td:
Directional Combination Type: SRSS
Absolute Directional Combination Scale Factor:
Modal Damping: Constant at 0.05
Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

Fuente: Propia.

- FUENTE DE MASA, para hallar el cortante es necesario que el programa defina la fuente de masa para poder el cortante que será 100% del peso propio más el 25% de la carga viva.

Imagen N° 41. Para la fuente de masa.

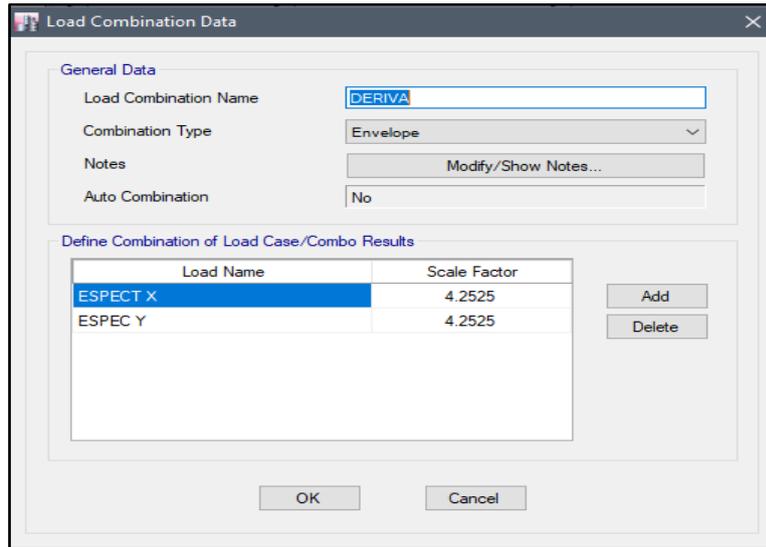


Fuente: Propia.

2.6.2. COMBINACION DE CARGAS

En este caso para poder obtener la deriva es necesario multiplicar el Factor R por el tipo de diseño tomado en este caso dual que es equivalente al 0.75 y como la norma indica el 90% del mismo, siendo el caso para nuestro diseño $R=6.30 \times 0.75 \times 0.90$, obteniendo como resultado 4.2525; siendo este nuestro factor de aceleración en la dirección "X – Y" que debe cargarse en la opción de Load combinate, creando un nuevo diseño envolvente para la obtención de la deriva cumpliendo con la norma E.030.

Imagen N° 42. Factor del espectro en “X-Y”.



Fuente: Propia.

Análisis de cortante, una vez insertado los datos cumpliendo la E.020 y E.030, de cargas y sismo resistente respectivamente procedemos a correr el programa, con f5 para poder verificar el cortante de diseño que está tomando el ETABS, este cortante ya ha sido calculado anteriormente, siendo la fórmula:

Tabla N° 12. cortante de diseño.

CORTANTEx0.9 (norma E.030)	EVALUADO	PESO (FZ)	90%	CORTANTE
	0.16685	2769.4515	0.9	415.874684

Obtenemos a través ETABS, las tablas de story forcé/structure results, dando los cortantes actuantes en la base.

Tabla N° 13. Cortantes en “X – Y”.

TABLE: Story Forces						
Story	Load Case/Combo	Location	P	VX	VY	T
			tonf	tonf	tonf	tonf-m
PISO 1	ESPECT X Max	Bottom	0	264.1496	165.2393	4516.189
PISO 1	ESPEC Y Max	Bottom	0	142.9212	382.3551	4781.7917

Estos cortantes como tales no alcanzan a cortante de diseño siendo 415.8746, tn es necesario llevarlos a través de un factor para poder realizar un análisis correcto de la estructura y buen diseño.

Tabla N° 14. Tabla de factor para cortante esperada.

		FACTOR
CORTANTE EN X	264.1496	1.57439074
CORTANTE EN Y	382.3551	1.08766611
ESPERADO	415.874684	

Una vez obtenidos estos factores a la cortante esperada donde se tiene que cargar en Load case respectivamente en “X” con 1.5743 y en “Y” con 1.0876, desbloqueamos el análisis en ETABS volvemos a analizar para comprobar el cortante deseado.

Tabla N° 15. Reacción en la base.

TABLE: Story Forces						
Story	Load Case/Combo	Location	P	VX	VY	T
			tonf	tonf	tonf	tonf-m
PISO 1	ESPECTX Max	Bottom	0	413.873	225.346	6954.2353
PISO 1	ESPECY Max	Bottom	0	179.3094	417.8689	5401.8069

Observamos que la cortante en X es de 413.87 y de Y es 417.86, que son valores cercanos a 415.87, la norma dice que tiene que ser mínimo el 90%, siendo los valores mayores al 95% se cumple la norma; otra opción para ser más exactos sería calibrar los factores anteriormente encontrados y proceder al análisis, pero ya se ha cumplido la norma y se procederá a la verificación de derivas.

La revisión de derivas en elementos estructurales se puede observar de dos maneras, la primera es a través de una tabla que nos genera en “Displacements/Diaphragm max/Avg Drifts”, y la segunda a través de la opción “display”, recordando que la norma permite un desplazamiento de 0.007 como máximo.

Tabla N° 16. Tabla de max Drift en dirección X.

TABLE: Diaphragm Max/Avg Drifts				
Story	Load Case/Combo	Item	Max Drift	Avg Drift
PISO 8	ESPECT X Max	Diaph D8 X	0.001574	0.001039
PISO 8	ESPECT X Max	Diaph D8 Y	0.001257	0.000919
PISO 7	ESPECT X Max	Diaph D7 X	0.00208	0.001313
PISO 7	ESPECT X Max	Diaph D7 Y	0.001636	0.001149
PSIO 6	ESPECT X Max	Diaph D6 X	0.002536	0.001552
PSIO 6	ESPECT X Max	Diaph D6 Y	0.001981	0.001353
PISO 5	ESPECT X Max	Diaph D5 X	0.002905	0.001737
PISO 5	ESPECT X Max	Diaph D5 Y	0.00226	0.001511
PISO 4	ESPECT X Max	Diaph D5 X	0.003122	0.001833
PISO 4	ESPECT X Max	Diaph D5 Y	0.002421	0.00159

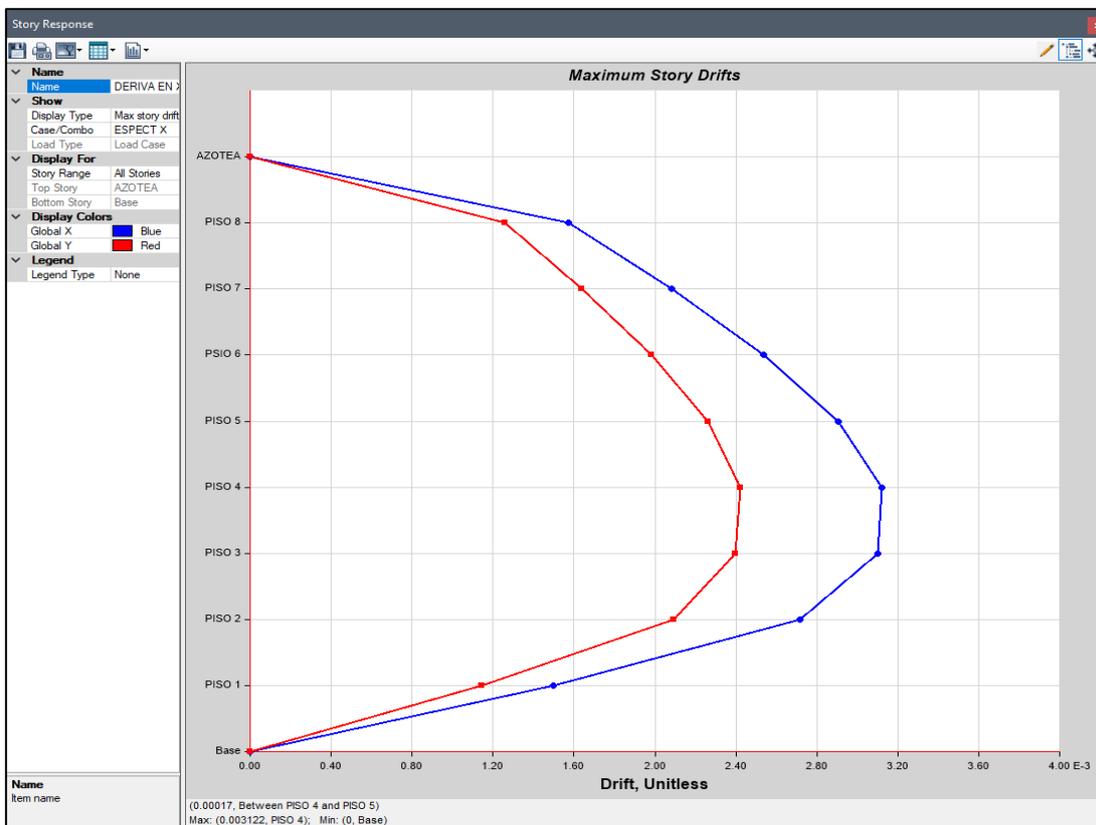
PISO 3	ESPECT X Max	Diaph D3 X	0.003103	0.001793
PISO 3	ESPECT X Max	Diaph D3 Y	0.002399	0.001547
PISO 2	ESPECT X Max	Diaph D1 X	0.002718	0.001551
PISO 2	ESPECT X Max	Diaph D1 Y	0.002092	0.001324
PISO 1	ESPECT X Max	Diaph D1 X	0.001496	0.00086
PISO 1	ESPECT X Max	Diaph D1 Y	0.001145	0.000719

Tabla N° 17. Tabla de Max Drifts en dirección Y

TABLE: Diaphragm Max/Avg Drifts				
Story	Load Case/Combo	Item	Max Drift	Avg Drift
PISO 8	ESPEC Y Max	Diaph D8 X	0.000865	0.000536
PISO 8	ESPEC Y Max	Diaph D8 Y	0.001315	0.001185
PISO 7	ESPEC Y Max	Diaph D7 X	0.001107	0.000666
PISO 7	ESPEC Y Max	Diaph D7 Y	0.001514	0.001365
PSIO 6	ESPEC Y Max	Diaph D6 X	0.001326	0.00078
PSIO 6	ESPEC Y Max	Diaph D6 Y	0.001675	0.001507
PISO 5	ESPEC Y Max	Diaph D5 X	0.0015	0.000868
PISO 5	ESPEC Y Max	Diaph D5 Y	0.00178	0.001599
PISO 4	ESPEC Y Max	Diaph D5 X	0.001595	0.000911
PISO 4	ESPEC Y Max	Diaph D5 Y	0.001787	0.001603
PISO 3	ESPEC Y Max	Diaph D3 X	0.00157	0.000886
PISO 3	ESPEC Y Max	Diaph D3 Y	0.001655	0.001482
PISO 2	ESPEC Y Max	Diaph D1 X	0.00136	0.00076
PISO 2	ESPEC Y Max	Diaph D1 Y	0.001337	0.001195
PISO 1	ESPEC Y Max	Diaph D1 X	0.000744	0.00042
PISO 1	ESPEC Y Max	Diaph D1 Y	0.000719	0.000638

El otro método de verificación es por el menú en la opción Displace es ahí donde se puede observar gráficamente tanto cortantes, desplazamientos, momentos de volteo, etc.

Imagen N° 43. Gráfica de drifts en X.

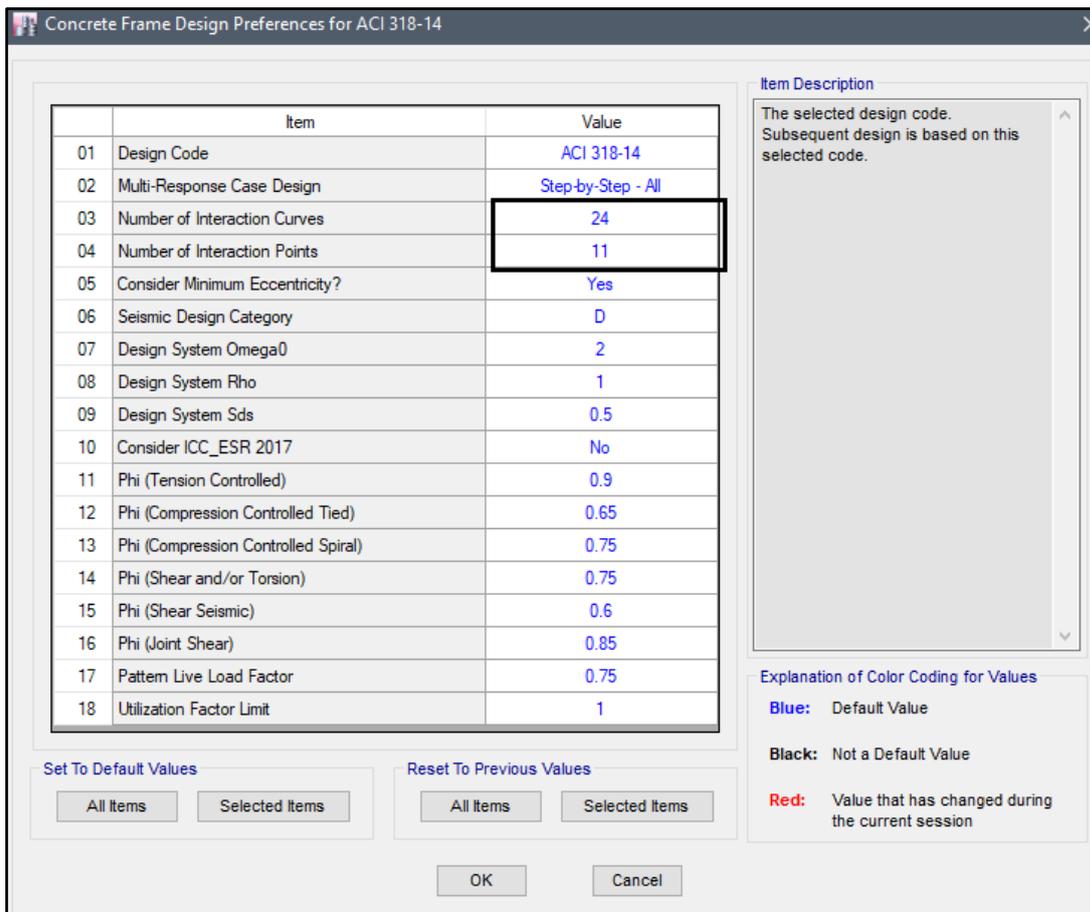


Fuente: Propia.

Como se puede observar que en "X" el desplazamiento máximo no llega a 3.20 y en "Y" llega a 2.40 siendo valores por debajo de 7, recordar que en la parte inferior de la tabla muestra los valores de E-3, cumpliendo con la norma E.030.

Cálculo de elementos concreto bajo la normal ACI 318-14, para ellos ETABS, tiene una opción para diseñar los aceros como aceros, pero antes de eso tenemos que revisar la norma ACI 318-14 y verificar los combos de diseño que usara para poder determinar el adecuado acero, vamos a opción de Design/Concrete frame/view Preferens.

Imagen N° 44. Preferens ACI 318 – 14.



Fuente: Propia.

Es preciso mencionar que el modelo que usa ETABS en los nodos debe ser colocado el número de modos en nuestro caso 24 y 11 interacciones por punto que actuara en cada interacción, por punto, es necesario tomar en cuenta los combos que usa la norma ACI 318-14, para poder tomar garantizar el acero de la estructura.

Tabla N° 18. Tabla. Combinación de cargas diseño E.020 – Art. 19

COMBINACIONES – E.020
D
D+L
D+(W o 0.7E)
D+T
a [D + L + (W o 0,70 E)]
a [D + L +T]
a [D + (W o 0,70 E) + T]
a [D + L + (W o 0,70 E) + T]

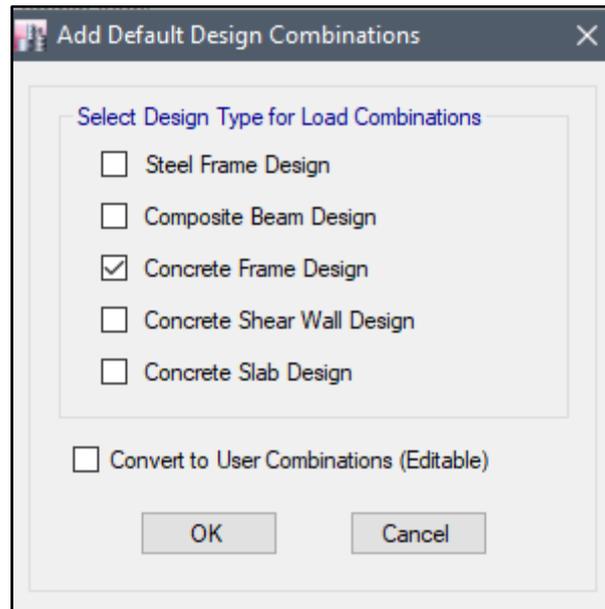
Donde:

- D = Carga muerta, según Capítulo 2.
- L = Carga viva, Capítulo 3.
- W = Carga de viento, según Artículo 12.
- E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño de Sismorresistente.
- T = Acciones por cambios de temperatura, contracciones y/o deformaciones diferidas en los materiales componentes, asentamientos de apoyos o combinaciones de todos ellos.
- a = Factor que tendrá un valor mínimo de 0.75 para las combinaciones (5), (6) y (7); y de 0.67 para la combinación (8). En estos casos no se permitirá un aumento de los esfuerzos admisibles.

Una vez obtenido los datos de combinación existen 2 formas de.

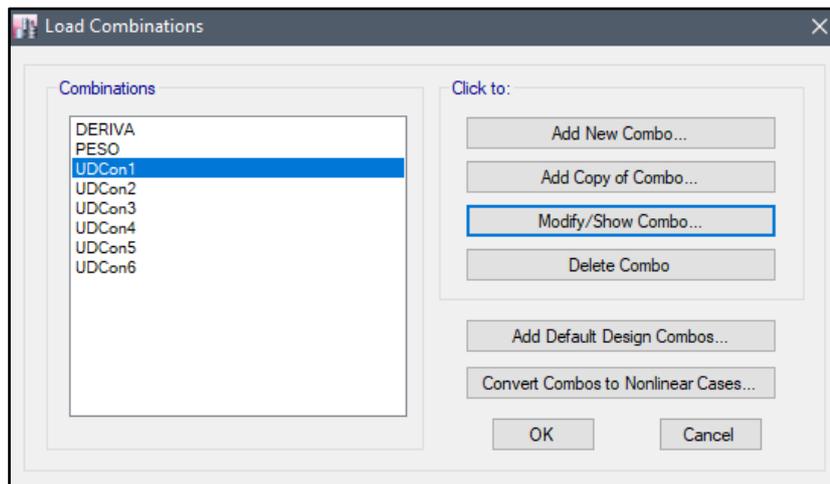
agregar los combos al ETABS, uno de ellos es agregando manualmente un combo cada uno y la otra es usar una opción que posee el ETABS, en la casilla de Load Combination/Add Default Design Combination, seleccionando la opción de Concrete Frame.

Imagen N° 45. Defaul Combinations.



Fuente: Propia.

Imagen N° 46. Generación de combos default.



Fuente: Propia.

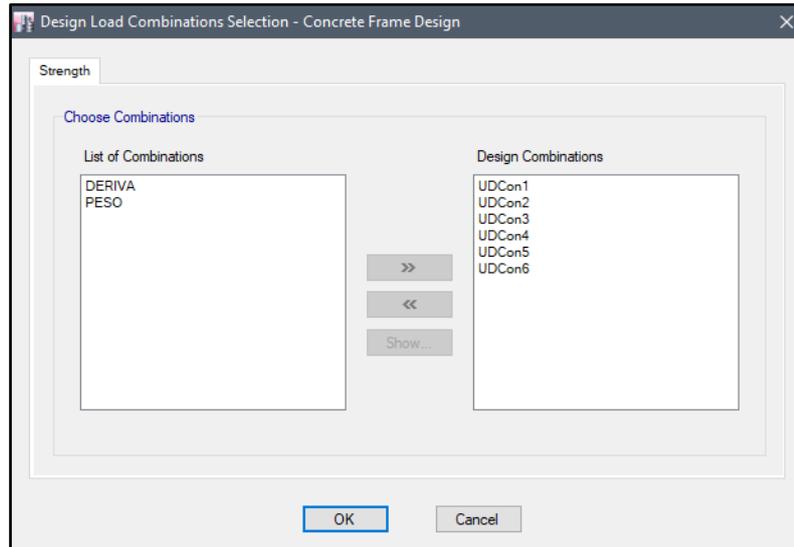
Imagen N° 47. Load Combinación data – Udcom4.

Load Name	Scale Factor
PESO PROPIO	1.3
ACABADOS	1.3
VIVA	1
ESPEC Y	1

Fuente: Propia.

Una vez configurado todos los casos de combos es necesario decirle al programa con que combos va a trabajar el diseño del acero en cada Columna, En la Opcion de Menu de Desing/Concrete Frame Desing/Select Desing Combinations.

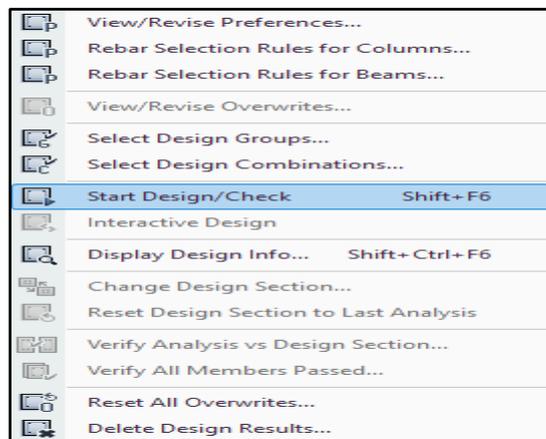
Imagen N° 48. Concrete Frame Design Combinations.



Fuente: Propia.

En la gráfica se observa que solo las combinaciones generadas para la norma ACI 318-14, solo se están tomando combinaciones UDcom, en la casilla de Design Combinatios, para poder someter a las columnas a esas combinaciones, para poder realizar un mejor diseño observamos los cortantes y momentos, es importante recordar que el programa nos muestra la información que solicitamos, debemos llevar una filosofía de diseño en cuento a cuantías mínimas y el máximo ahorro en cuanto de acero.

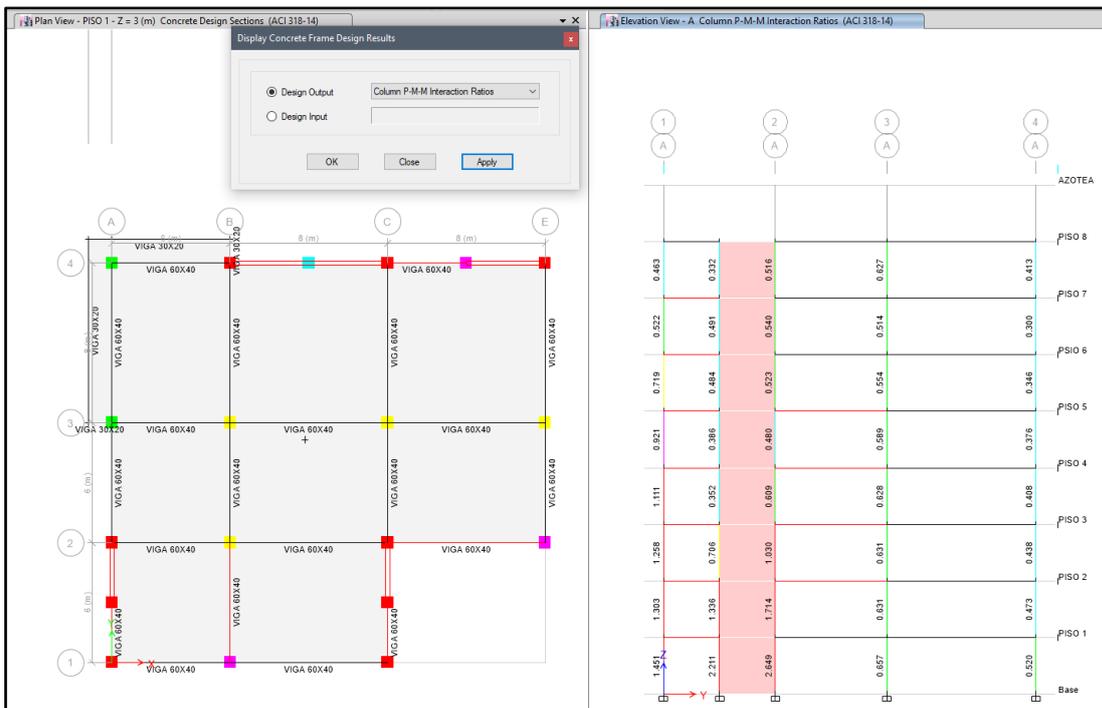
Imagen N° 49. Start Design/check.



Fuente: Propia.

Trabajaremos en 2 vistas en una de ellas veremos la reacción Columna – Momento a partir de las combinaciones, en la relación de interacción en una vista en elevación y en la segunda pantalla veremos las secciones para poder determinar que secciones aumentaremos el acero, recordemos que se necesita trabajar en secciones de 0.90 mínimo ya que acercarse a 1 podríamos en riesgo a la estructura, recordemos que el máximo valor de la relación interacción no es mayor de 1 mostrando a los elementos que fallan de color de rojo.

Imagen N° 50. Area de Trabajo.

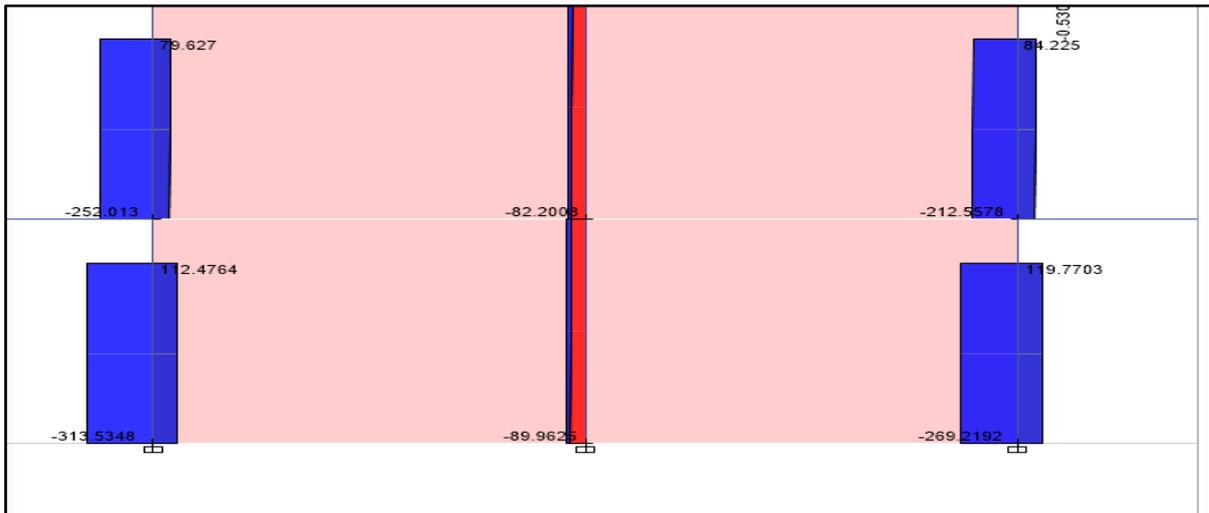


Fuente: Propia.

Tenemos que una consideración de diseño en las columnas en acero, no podemos colocar columnas con menor hacer debajo de una columna con mayor acero es necesario tener mucho cuidado en esta etapa del proceso para poder determinar el acero correcto y no sobre estructurar.

Se observa en la base del primer piso que existen columnas que fallan y en su gran mayoría son las que se encuentran cerca o al lado de los muros de albañilería, porque las cortantes que recibe probablemente sean muy grandes.

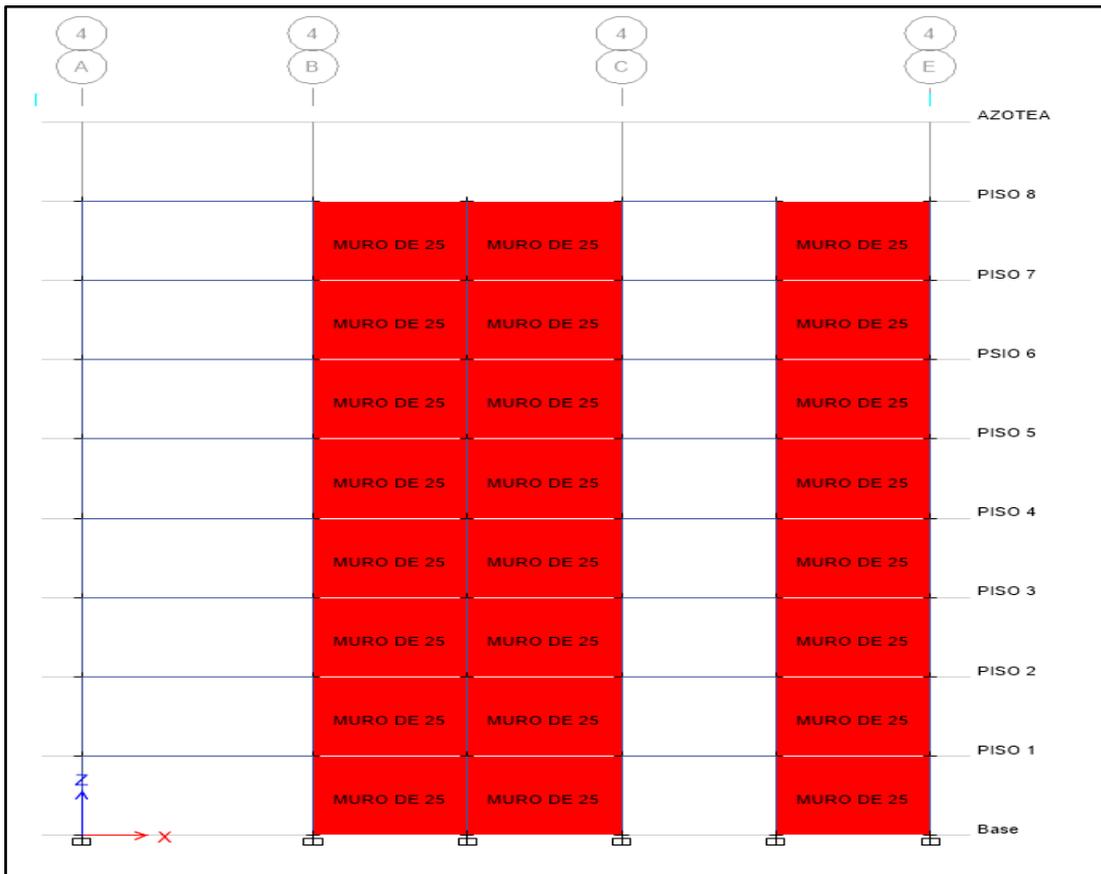
Imagen N° 51. Cortantes en los muros.



Fuente: Propia.

Las cortantes en los muros son muy grandes observando que es necesario hacer que los muros que se usaron para mejorar el centro de masa y rigidez, es necesario hacerlo de albañilería, volverlas en placas para que la carga se distribuya mejor con las cortantes, para hacer eso necesitamos con muros de concreto armado de 25 cm y $280\text{kg}/\text{cm}^2$, donde se cambiaran los SLAM que es el material pro defecto que coloca los muros el ETABS para masas es necesario cambiarlo todos y volver hacer un nuevo análisis.

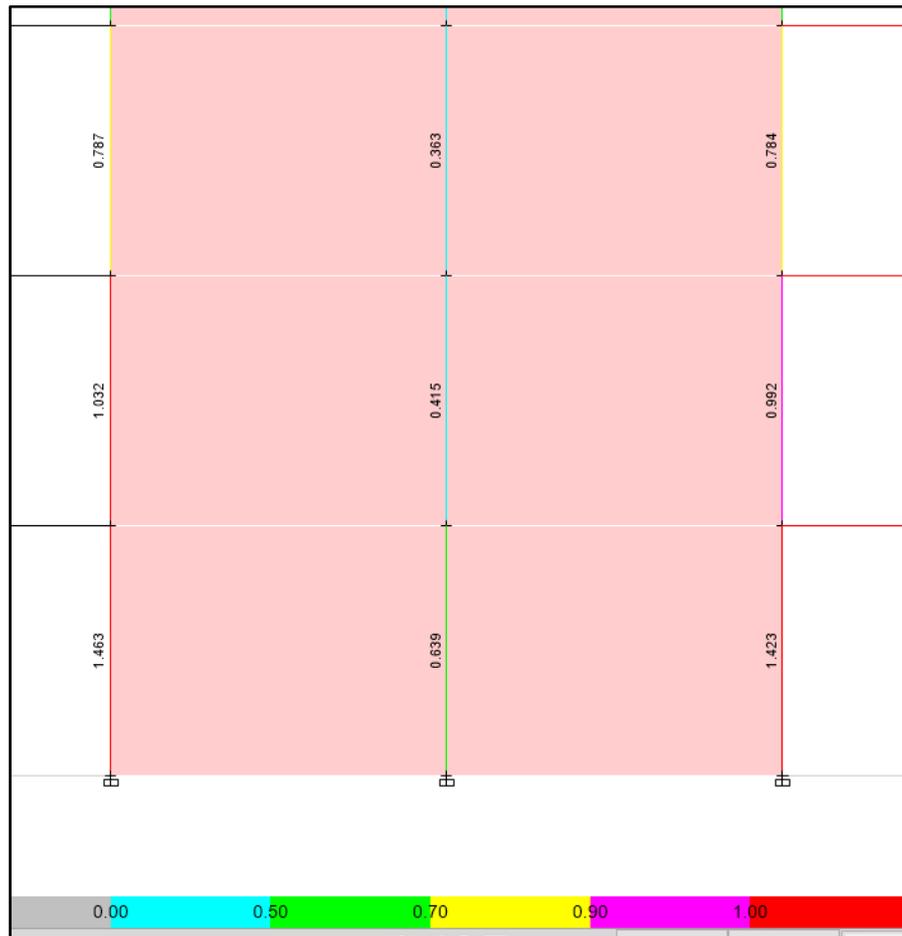
Imagen N° 52. Muros de 25 cm de concreto armado.



Fuente: Propia.

Después de asignar los muros de concreto armado es necesario diseñar las bases que se replicaran hasta el último piso, para ellos necesitamos crear esas secciones, dado que se está usando acero de 1" en las columnas el fierro será de ½" o superiores para tener una homogeneidad en los aceros.

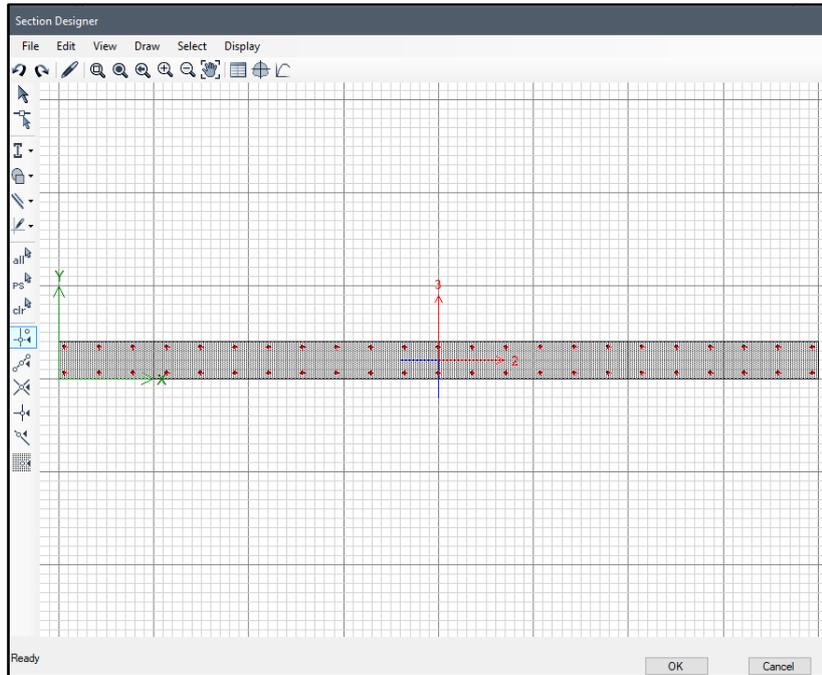
Imagen N° 53. Reducción de acero después de colocar los muros.



Fuente: Propia.

Se observa que el acero inicialmente que nos pedía era de 2.10 un poco, más del doble ahora que se ha colocado los muros de 25 cm, se ha reducido a un 0.60, mejorando la estabilidad del diseño y ahorrando material, es necesario diseñar las bases de los aceros que irán hasta el final del edificio, existe una opción para muros de concreto armado es Shared Wall Desing donde someterá al muro y acero a las combinaciones de diseño del ACI 318 – 14, para reducir los cortantes que está recibiendo la columna, pero como como son elementos frame hay que diseñarlos dependiendo de las dimensiones del muro en Pier Sections.

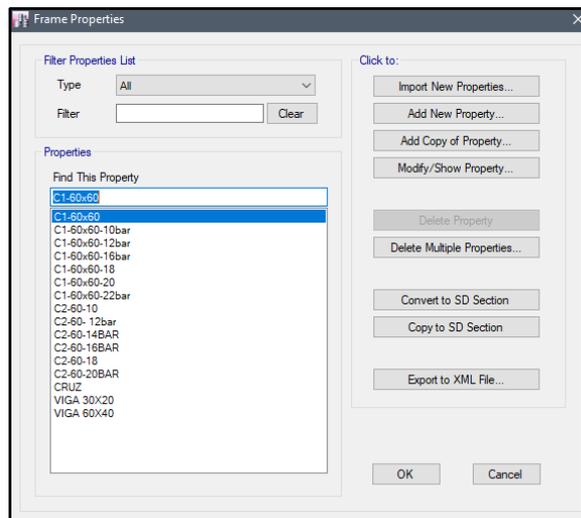
Imagen N° 54. Diseño para el muro de 25cm.



Fuente: Propia.

Se tiene que generar más columnas con mayor cantidad de acero para que puedan pasar la envolvente de diseño y garantizar la estructura,

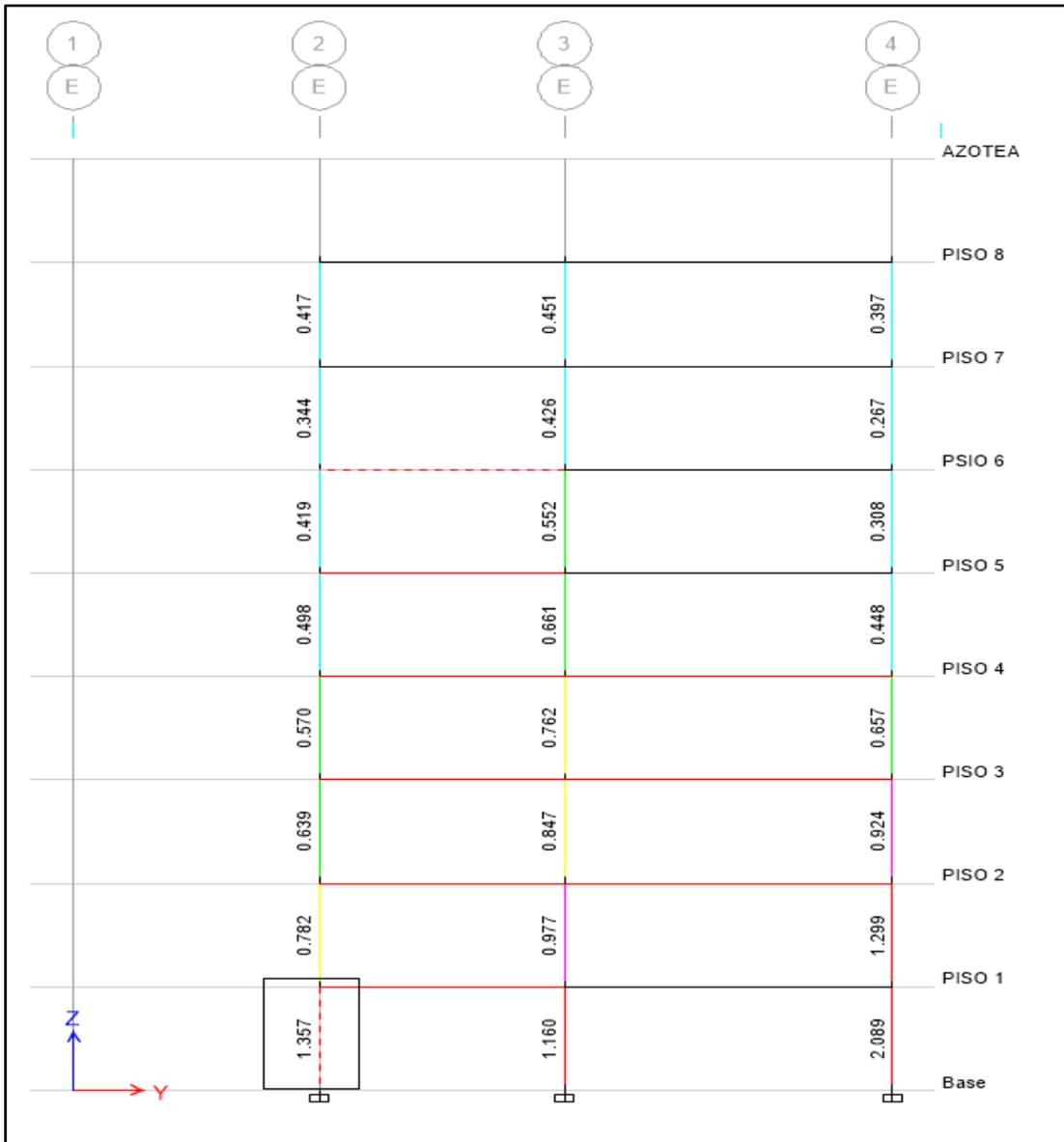
Imagen N° 55. Generación de columnas de 8-10-12 Barillas.



Fuente: Propia.

Se procede a cambiar las columnas que son superiores a uno comparando con el espectro de diseño que tenemos para poder saber dónde y en qué momento ha fallado y la analizaremos de una en una empezando por la Columna que se encuentra en el primer nivel E-2.

Imagen N° 56. Falla en la Columna E-2 primer nivel.



Fuente: Propia.

El ETABS, nos muestra información de ese elemento Frame, con hacer click derecho sobre el mismo.

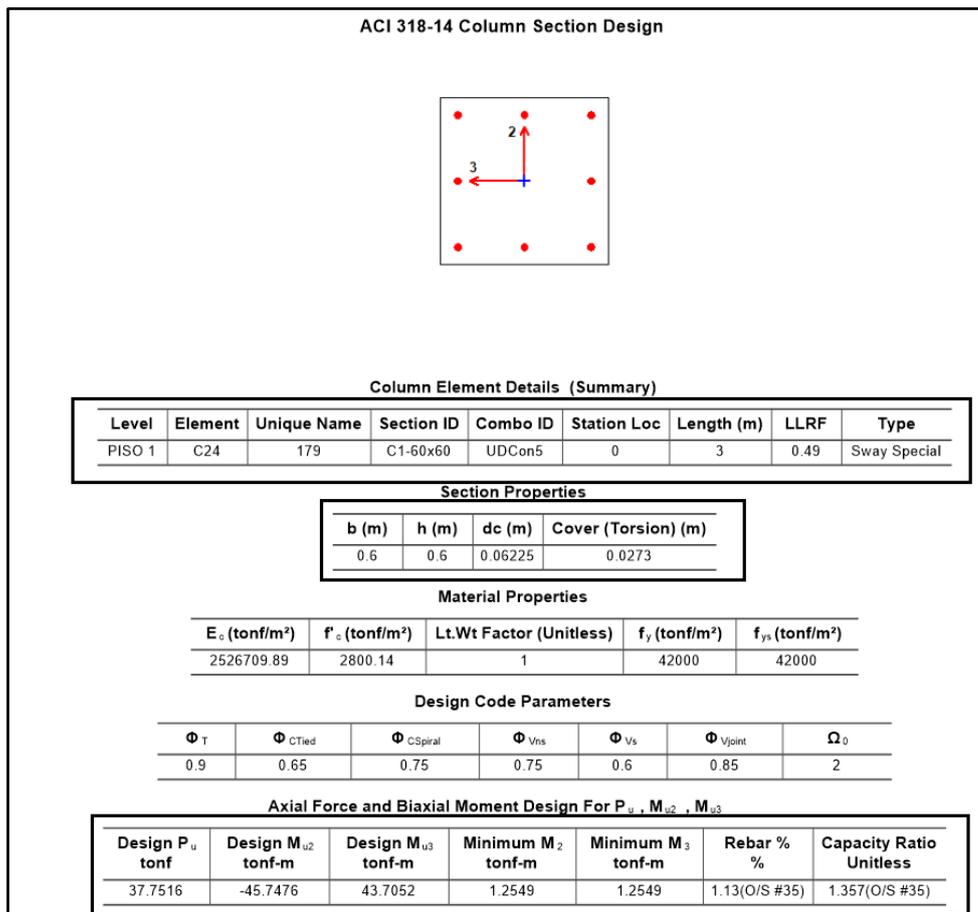
Imagen N° 57. Información del Elemento E-2 – primer nivel.

COMBO ID	STATION LOC	CAPACITY RATIO	MAJOR SHEAR REINFORCEMENT	MINOR SHEAR REINFORCEMENT
UDCon1	0.0000	0.247	0.00000	0.00000
UDCon1	1.2000	0.244	0.00000	0.00000
UDCon1	2.4000	0.241	0.00000	0.00000
UDCon2	0.0000	0.211	0.00000	0.00000
UDCon2	1.2000	0.209	0.00000	0.00000
UDCon2	2.4000	0.207	0.00000	0.00000
UDCon3	0.0000	O/S #35	0.00050	0.00050
UDCon3	1.2000	0.651	0.00050	0.00050
UDCon3	2.4000	0.306	0.00050	0.00050
UDCon4	0.0000	0.800	0.00050	0.00050
UDCon4	1.2000	0.450	0.00050	0.00050
UDCon4	2.4000	0.314	0.00050	0.00050
UDCon5	0.0000	O/S #35	0.00129	0.00139
UDCon5	1.2000	0.661	0.00129	0.00139
UDCon5	2.4000	0.222	0.00129	0.00139

Fuente: Propia.

En la parte superior el nombre del Nivel o piso “Piso 1”, luego el nombre de la sección “C1-60x60” y el código del elemento “Column – C24”; en la parte inferior nos dice que a fallado en la combinación 3 y 5, recordemos que la primera combinación es en dirección “X”, luego en “Y” y finalizando en “Z”, por cada combinación en las 3 direcciones, dando como falla “UDcom2 y UDcom5”, para efectos de diseño siempre el programa tomara la mayor falla para diseño, en este caso UDCom5. Para poder interpretar el porqué de la falla veremos el resumen (summary), en donde nos puede mostrar un resumen(Summary), Details, Join Shear Details y la envolv.

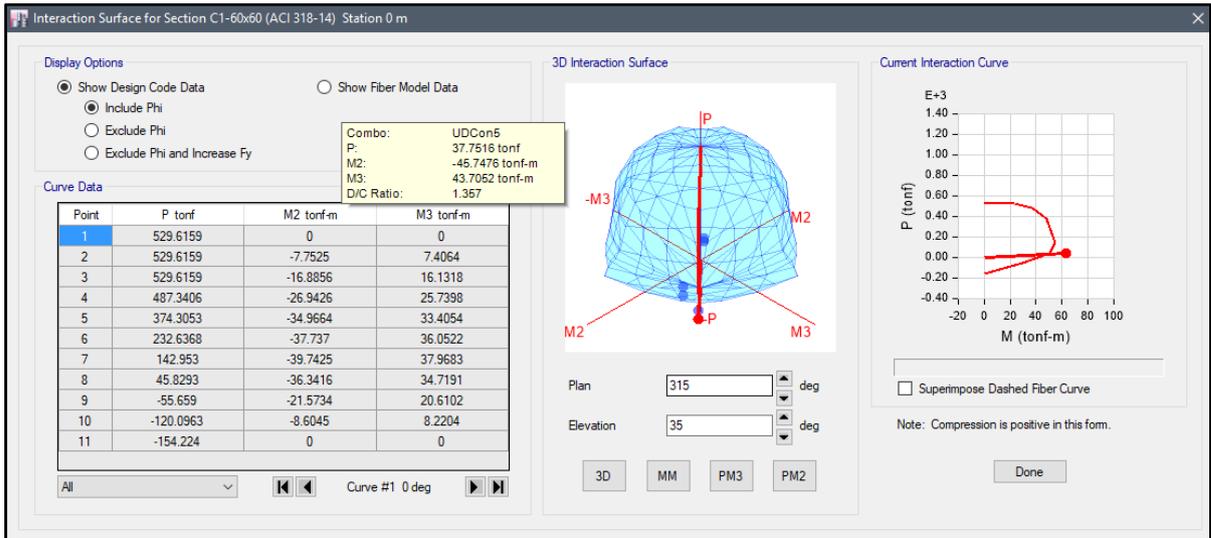
Imagen N° 58. ACI 318-14, columna E-2 primer nivel Summary.



Fuente: ACI 318-14.

Muestra las propiedades de la sección, las propiedades que lo conforman material y las fuerzas axiales y biaxial de momentos en P_u , M_2 y M_3 .

Imagen N° 59. Interacción de la columna E-2.



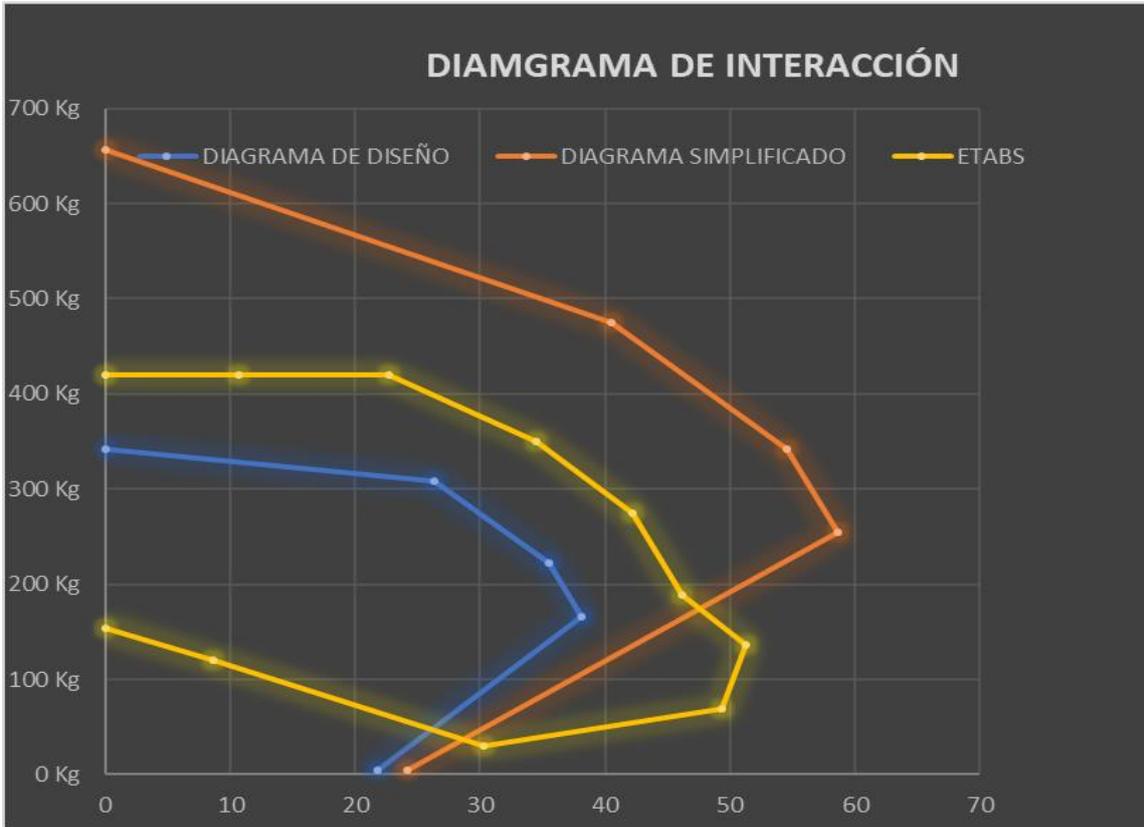
Fuente: Propia.

En la interacción nos muestra el peso y el momento, la gráfica donde está fallando vamos a comprar con la hoja de interacción para ver si esa en lo correcto el ETABS.

Tabla N° 19. Falla en E-2

	P	M
1	529.6159	0
2	529.6159	-7.5612
3	529.6159	-16.4608
4	488.237	-26.3109
5	374.9269	-34.2431
6	232.1093	-36.9606
7	141.8054	-38.873
8	44.4081	-35.4758
9	-56.329	-20.9914
10	-121.669	-8.0696
11	-154.224	0

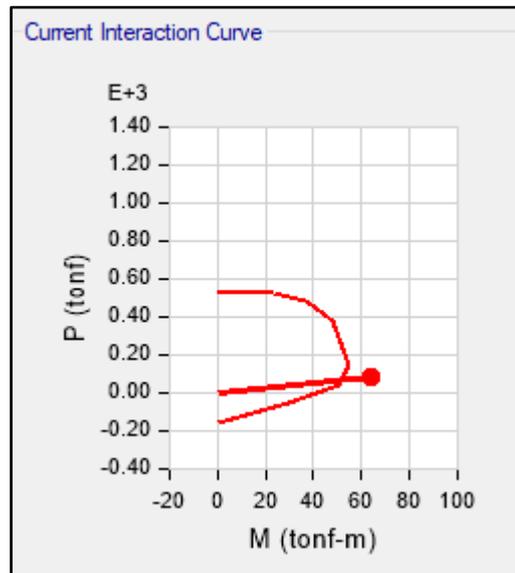
Imagen N° 60. Comparación de diseño y respuesta.



Fuente: Propia.

Observamos que la gráfica con la información proporcionada sale del diagrama en 2 puntos y un tercer punto de borde, tal cual nos muestra el ETABS, en su interacción de columna, es importante notar que al hacer esta comparación se está comprobando que los datos del ETBAS, con respecto a la falla es cierta.

Imagen N° 61. Diagrama interacción de la Columna por ETABS



Fuente: Propia.

Es importante tener la cuantía mínima de diseño para darle ductilidad a la estructura, es importante notar que debemos tener un crecimiento en cuanto a cada vez que se reemplace la columna de C1-60x60, se debe aumentar proporcionalmente para no alejarse mucho de la cuantía mínima, en este caso se ha elaborado una tabla específicamente para columnas de C1-60x60.

Tabla N° 20. Control de aumento de acero para cuantías en porcentajes para fierro de 1"

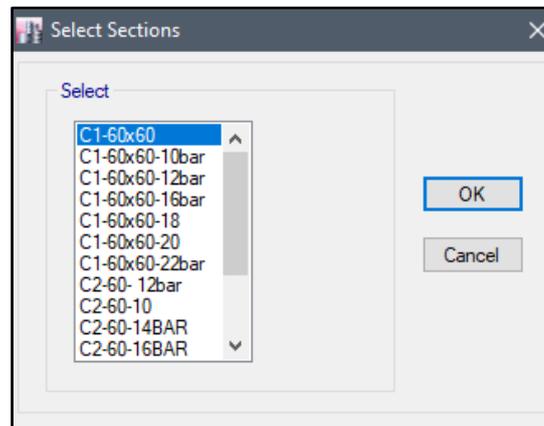
b	h	Área (cm ²)	1%	1.25%	1.50%	1.75%	2%	2.50%	3.00%	3.50%	4.00%	4.50%	5.00%
60	60	3600	25	31.3	37.5	37.5	43.8	62.5	75	87.5	100	112.5	125
1"	2.54	5.067	4	6	7	8	9	12	14	17	19	22	24

Fuente: propia

Para tener en cuenta es importante ir cambiando elemento por elemento hasta que todas las columnas haya pasado la embolante (sismo), una vez verificado estos elementos se procederá a la toma los requisitos de pre dimensionamiento para estructuras Aisladas ante

sísmicos, sin sobre estructurar ahorrando dinero y haciendo más efectiva la estructura es por eso que es necesario ser prudente y llevar de manera efectiva el cambio de columna a la misma sección, pero con mayor acero.

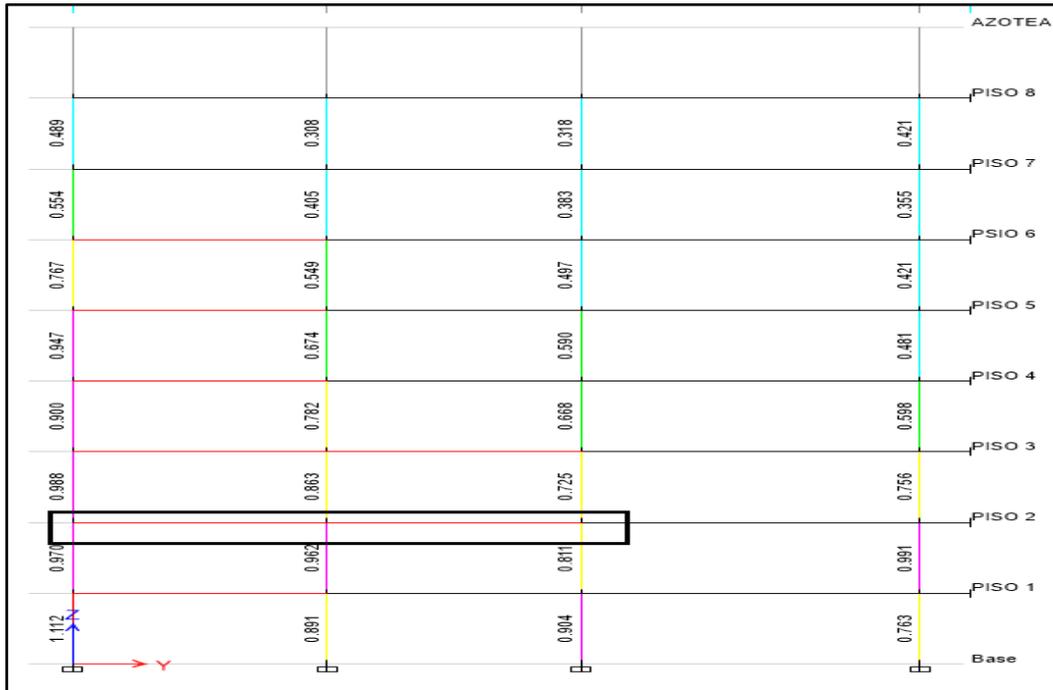
Imagen N° 62. Cambio de sección.



Fuente: Propia.

Una vez cambiadas las columnas se procede a volver a hacer un análisis de toda la estructura, notando que algunas de las vigas en la parte más larga de columnas a columnas que tienen una luz de 8 metros fallan es necesario aumentar la sección y el acero para que la estructura sea eficiente.

Imagen N° 63. Falla en columna.



Fuente: Propia.

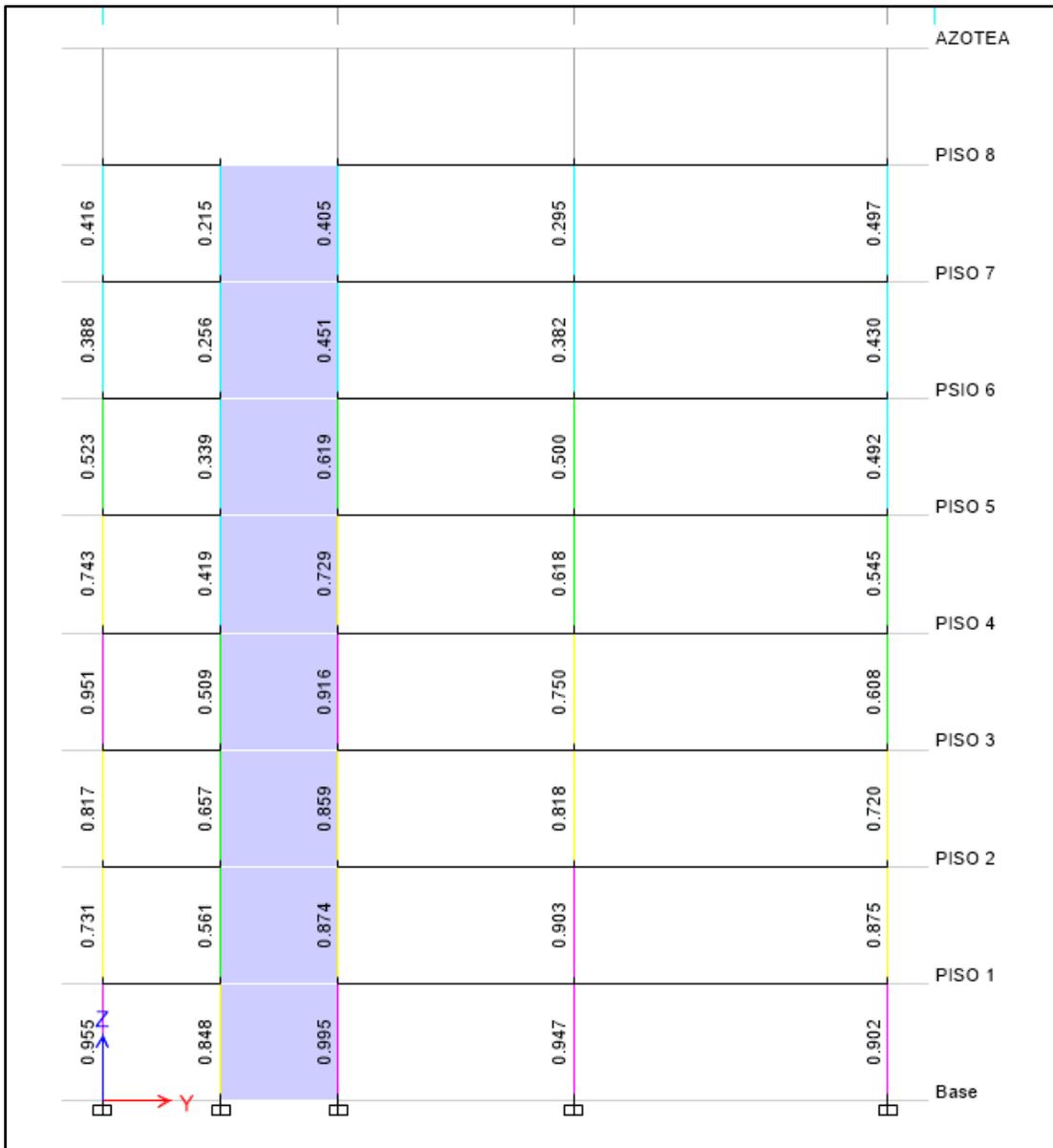
Se necesita crear una viga de mayor sección de 60x40 y vigas de 60x50, para que el modelo pueda pasar la envolvente, se cambia la viga como se hizo anteriormente con la columna.

Imagen N° 64. Vista en elevación A-1.

					AZOTER
	VIGA 60X40		VIGA 60X40	VIGA 60X40	PISO 8
	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	PISO 7
	VIGA 60X40		VIGA 60X40	VIGA 60X40	PISO 6
	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	PISO 5
	VIGA 60x60		VIGA 60X40	VIGA 60X40	PISO 4
	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	PISO 3
	VIGA 60x60		VIGA 60x60	VIGA 60X40	PISO 2
	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	PISO 1
	VIGA 60x60		VIGA 60X40	VIGA 60X40	Base
	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	C1-60x60	

Fuente: Propia.

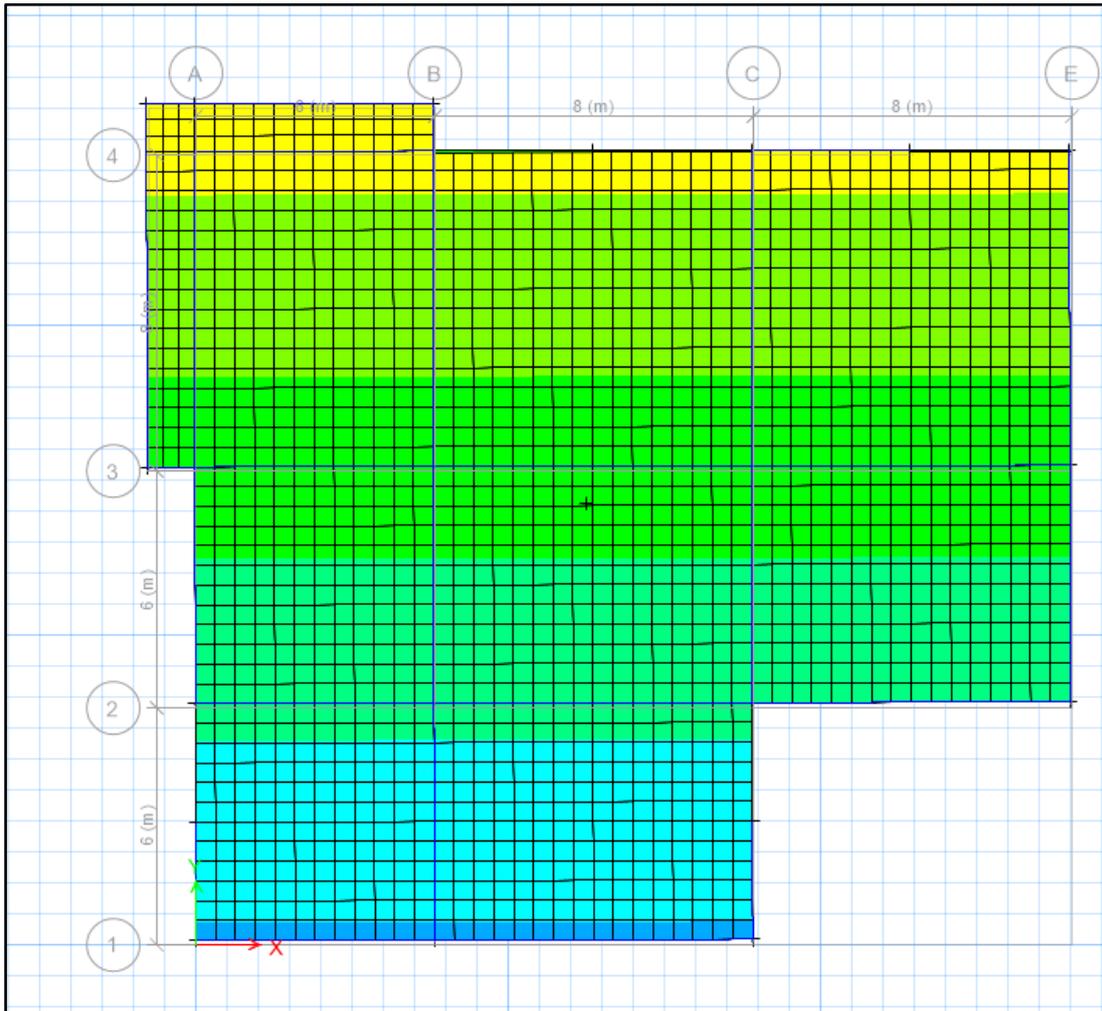
Imagen N° 65. Vista en Elevación A-1.



Fuente: Propia.

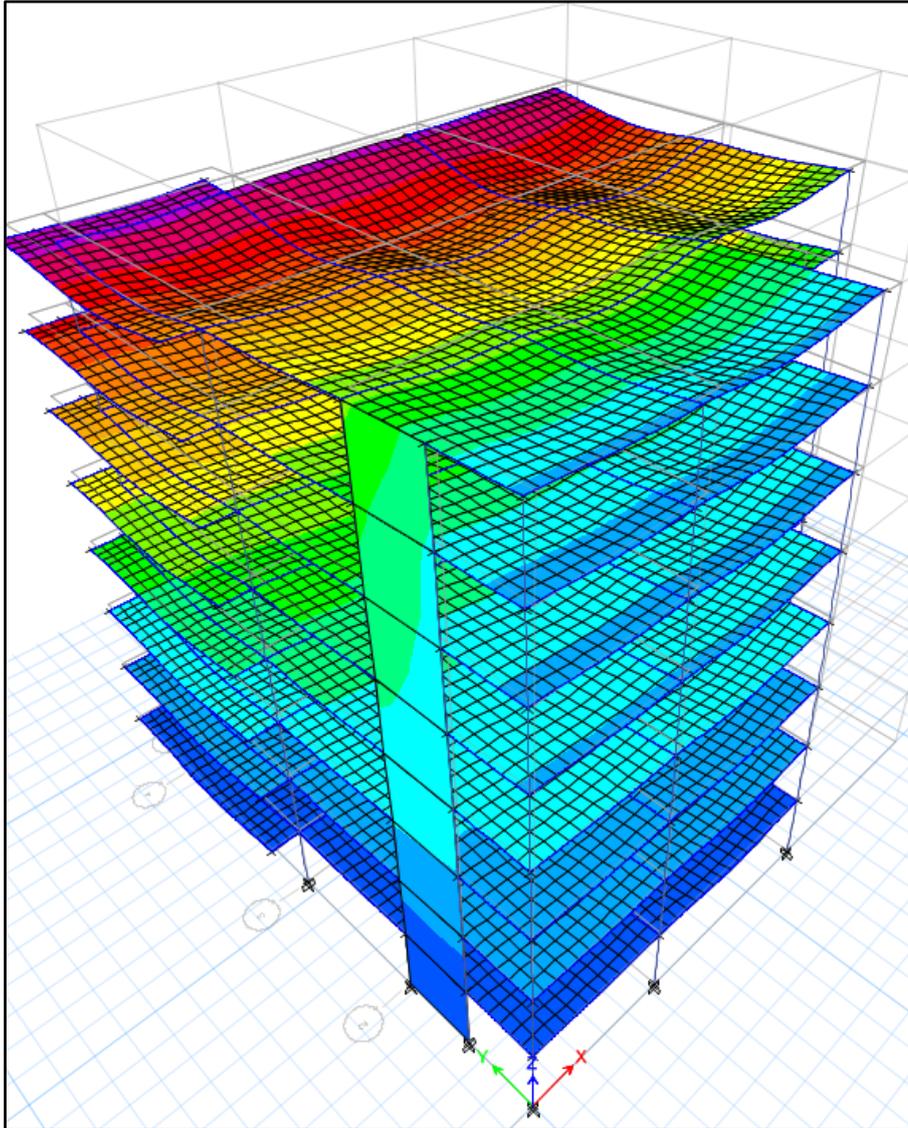
Se observa que todo el elemento frame, columnas y vigas han pasado la envolvente(sismo) como también los muros, ahora con todos los elementos comprobados se volverá a hacer el análisis para observar los resultados en planta y 3 dimensión de losas.

Imagen N° 66. Planta después del análisis.



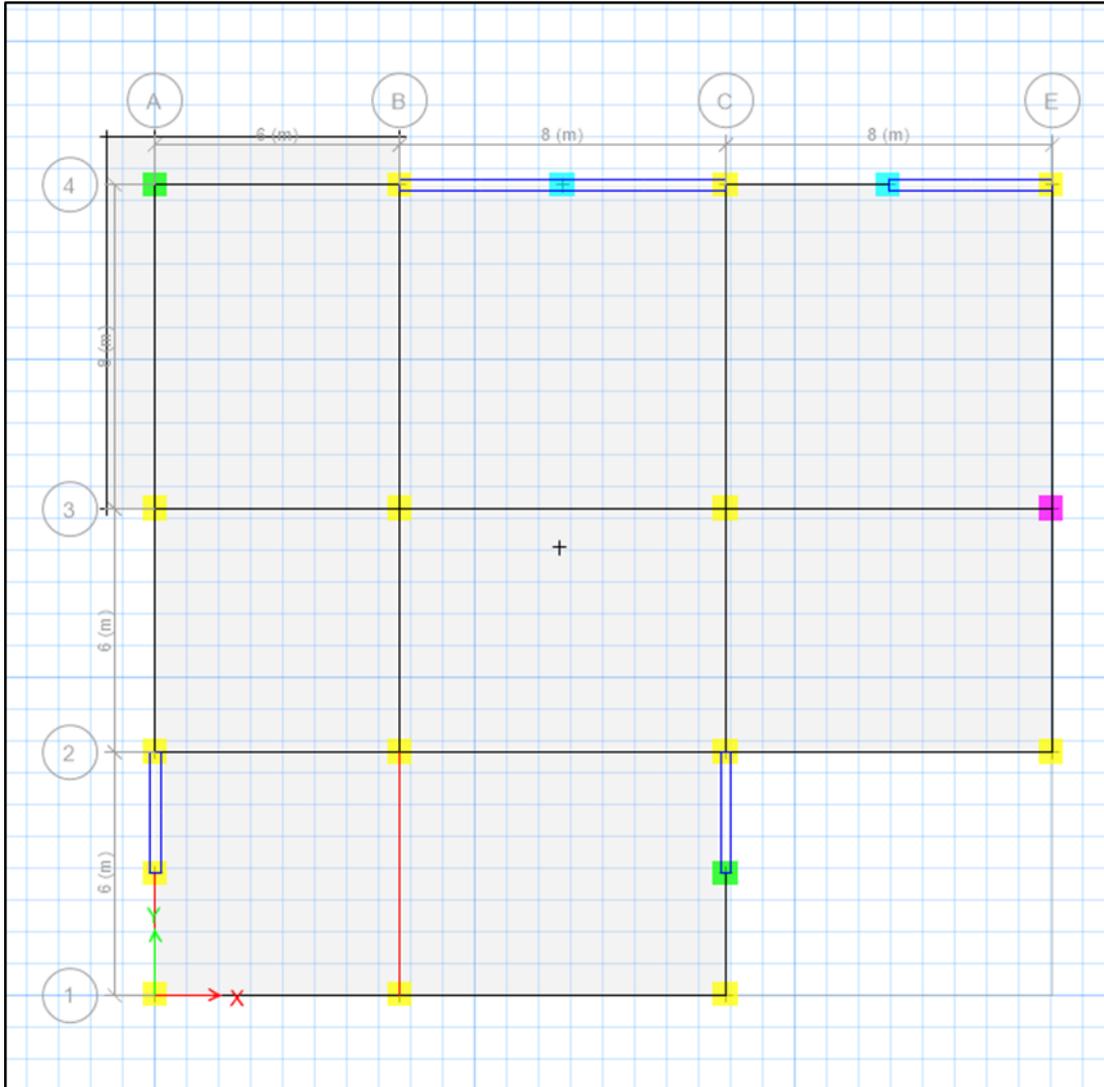
Fuente: Propia.

Imagen N° 67. Vista en 3 dimensiones después del análisis.



Fuente: Propia.

Imagen N° 68. Vista en planta del modelo.



Fuente: Propia.

Una vez realizado el modelo y comprobado que ha pasado la norma sismo resistente se procederá al modelamiento con la norma ASCE 7-10.

2.6.3. REQUISITOS GENERALES PARA EL DISEÑO

- Factor de Importancia

Todas las partes de la estructura, incluyendo la súper estructura por encima del sistema de aislamiento, se les asignarán una categoría de riesgo de acuerdo con la Tabla 1.5-1(ASCE 7 -10). El factor de importancia I_{es} es decir, deben tomarse como 1.0 para una estructura sísmicamente aislado, independientemente de su asignación de la categoría de riesgo.

Tabla N° 21. Risk Catrgory of Buildings

Table 1.5-1 Risk Category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Snow, Earthquake, and Ice Loads	
Use or Occupancy of Buildings and Structures	Risk Category
Buildings and other structures that represent a low risk to human life in the event of failure	I
All buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial risk to human life.	III
Buildings and other structures, not included in Risk Category IV, with potential to cause a substantial economic impact and/or mass disruption of day-to-day civilian life in the event of failure.	
Buildings and other structures not included in Risk Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing toxic or explosive substances where their quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction and is sufficient to pose a threat to the public if released.	
Buildings and other structures designated as essential facilities.	IV
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial hazard to the community.	
Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, or hazardous waste) containing sufficient quantities of highly toxic substances where the quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction to be dangerous to the public if released and is sufficient to pose a threat to the public if released."	
Buildings and other structures required to maintain the functionality of other Risk Category IV structures.	

"Buildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower Risk Category if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that Risk Category.

Fuente: ASCE 7 -10.

- Respuesta Espectral Aceleración (MCER)

Parámetros, S_{MS} Y S_{M1} , El MCER parámetros de aceleración de respuesta espectral S_{MS} Y S_{M1} e determinarán de acuerdo con la SECCIÓN 11.4.3. (ASCE 7 -10) Para determinar la aceleración

espectral máxima probable para periodos a 0.2 seg llamado S_{MS} y a 1 seg llamado S_{M1} , con una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años PGA 0.75 para una probabilidad de excedencia de 2% con un periodo de retorno de 50 años, recordemos que Cajamarca se encuentra en zona 3, que para ellos $S_{SS} = 2.11$ Y $S_{1=} 0.60$ y el ajuste por efectos de la Clase del Sitio (Site Class), se determinará por las ecuaciones. 11.4-1 y 11,4-2, respectivamente.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (11.4-1) - ASCE 7 - 10$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (11.4-2) - ASCE 7 - 10$$

Dónde:

- S_s : es la aceleración estimada para periodos de 0.2seg, según el peligro sísmico de la zona.
- S_1 : es la aceleración estimada para periodos de 1seg.

Tabla N° 22. Site Coefficient, F_a .

Table 11.4-1 Site Coefficient, F_a					
Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE _R) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

Fuente: ASCE 7 -10

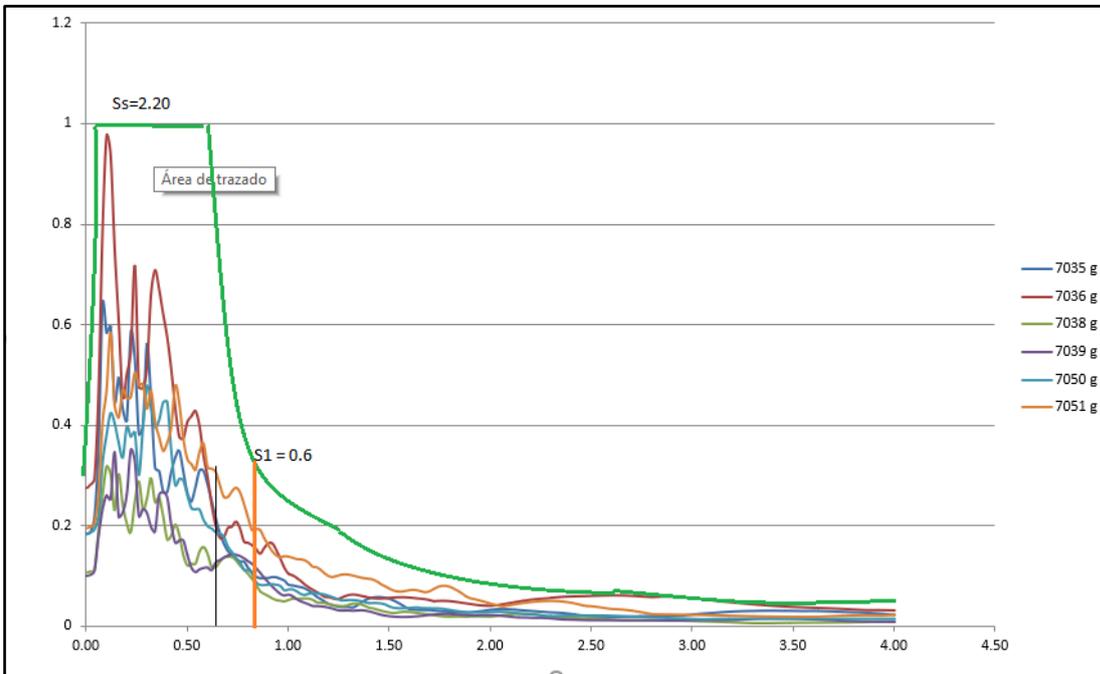
Tabla N° 23. Site Coefficient, F_y

Table 11.4-2 Site Coefficient, F_y					
Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE_R) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period					
Site Class	$S_T \leq 0.1$	$S_T = 0.2$	$S_T = 0.3$	$S_T = 0.4$	$S_T \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	See Section 11.4.7				

Fuente: (ASCE 7 -10)

Dado los datos nuestro coeficiente $F_s=1$ y $F_v = 1$, Tablas 11.4-1 y 11.4-2 respectivamente.

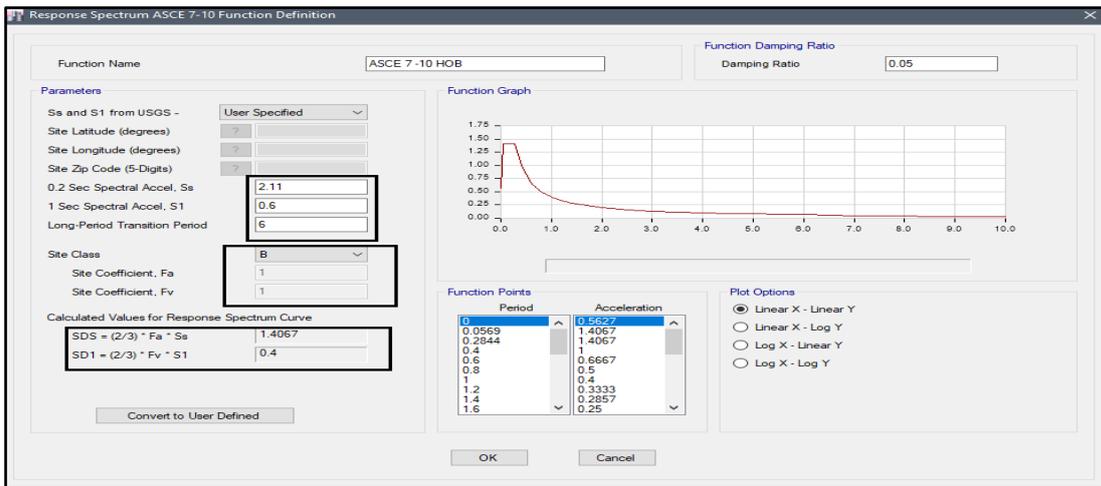
Gráfica N° 2. Excedencia de 2% y retorno de 50 años.



Fuente: Instituto geofísico del Perú

Una vez obtenido los datos se necesita insertar el nuevo espectro de respuesta al ETABS.

Imagen N° 69. Espectro de respuesta.



Fuente: Propia.

Los parámetros para un espectro de aceleración a nivel de Diseño para periodos cortos, S_{DS} y para periodos largos de 1seg, S_{D1} se determina a partir de las ecuaciones. 11,4-3 y 11,4-4, respectivamente.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 1.4067 \quad (11.4-3), \text{ ASCE 7-10.}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0.4 \quad (11.4-4), \text{ ASCE 7-10.}$$

- Diseño de Espectros de Respuesta

Cuando un espectro de respuesta de diseño es requerido por esta norma y los procedimientos de movimiento de tierra no se usen (registros), se desarrollará la curva del espectro de respuesta de diseño como se indica en la figura. 11,4-1 y como sigue:

Para los períodos de menos de T_0 , la aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , se tomarán como fue dada por la Ec. 11.4-5:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (\text{Ec. 11.4-5}), \text{ ASCE 7-10}$$

- En períodos mayores o iguales a T_0 y menores o iguales a T_S , la aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , se tendrán igual a S_{DS} .
- $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$ (Ec. 11.4-6)

Para períodos superiores a T_S , e inferior o igual a T_L , la aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , se tomarán como fue dada por la (Ec. 11.4-6):

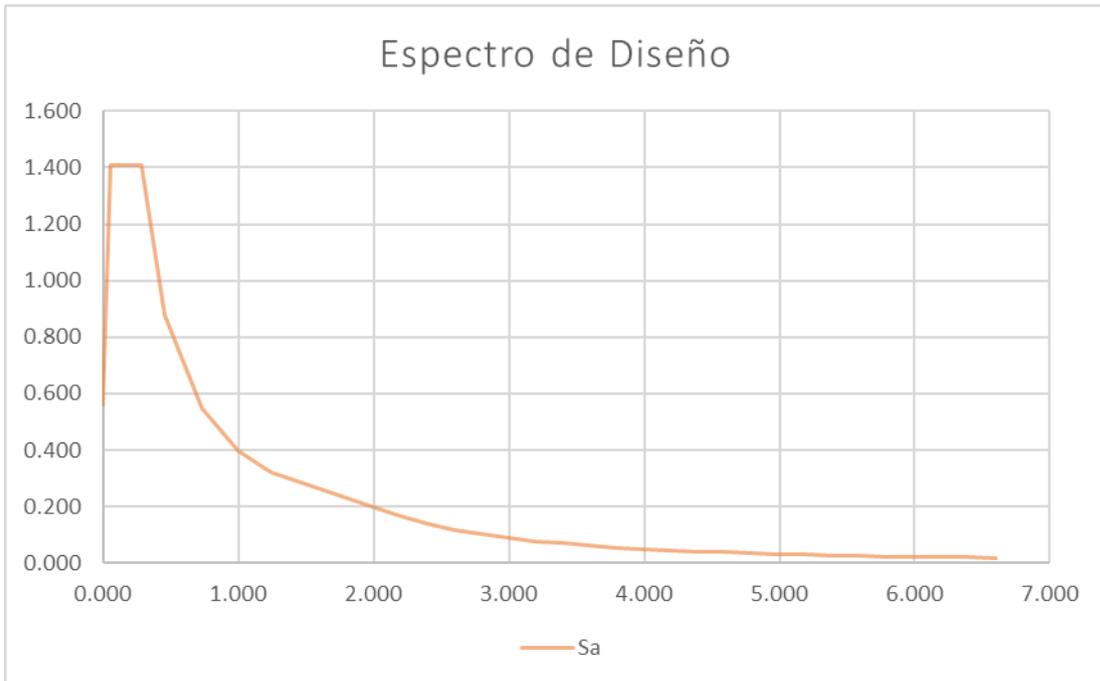
- S_{DS} = Es el parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en períodos cortos
- S_{D1} = Es el parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en períodos 1seg.
- T = Período fundamental de la estructura en seg
- $T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
- $T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ y T_L = período de transición para períodos largos.

Tabla N° 24. Períodos T_P y T_L .

Tabla N° 4 PERÍODOS " T_P " Y " T_L "				
	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: E0.30.

Gráfica N° 3. Espectro de diseño para el aislador.



Fuente: Propia.

Máximo Riesgo Considerado (MCE) Espectro de Respuesta, dónde el espectro de respuesta MCE, se determinará multiplicando el espectro de respuesta de diseño por 1.5.

Un factor de importancia, I_{CP} , se asignará a cada estructura de acuerdo con la Tabla 1.5-2.

Tabla N° 25. Factor de importancia y categoría de riesgo

Risk Category from Table 1.5-1	Snow Importance Factor, I_s	Ice Importance Factor—Thickness, I_t	Ice Importance Factor—Wind, I_w	Seismic Importance Factor, I_e
I	0.80	0.80	1.00	1.00
II	1.00	1.00	1.00	1.00
III	1.10	1.25	1.00	1.25
IV	1.20	1.25	1.00	1.50

^aThe component importance factor, I_p , applicable to earthquake loads, is not included in this table because it is dependent on the importance of the individual component rather than that of the building as a whole, or its occupancy. Refer to Section 13.1.3.

Fuente: ASCE 7 -10

Cuando se requiera el acceso operativo a una estructura Categoría de Riesgo IV a través de una estructura adyacente, la estructura adyacente se ajustará a los requisitos para estructuras categoría de Riesgo IV. Cuando el acceso operacional es menos de 10 pi es de una línea de lote interior u otra estructura en el mismo lote, la protección contra la potencial caída de escombros de las estructuras adyacentes deberá ser proporcionado por el propietario de la estructura Categoría de riesgo IV.

2.6.4. CATEGORÍA DE DISEÑO SÍSMICO

A las obras civiles se les asignan un diseño sísmico de acuerdo la categoría de riesgo I, II, o III situado estructuras donde la aceleración de respuesta espectral asignada parámetro en 1 segundo periodo, S_1 , es mayor que o igual a 0.75 deberán ser asignadas a Categoría Sísmica de Diseño E. Las Estructuras de Categoría de riesgo IV situado en el parámetro de aceleración de respuesta espectral asignada a la 1 seg periodo, S_1 , es mayor o igual a 0,75 se asignan a Categoría Sísmica de Diseño F. Todas las demás estructuras deberán ser asignados a un diseño sísmico. Categoría en función de su categoría de riesgo y los parámetros de aceleración de respuesta espectral de diseño, S_{DS} y S_{D1} , determinado de acuerdo con la Sección 11.4.4. Cada edificio y la estructura deberán ser asignados al diseño sísmico más severo Categoría según la Tabla 11.6-1 11.6-2 o, con independencia del período fundamental de vibración de la estructura, T . Donde S_1 es menor que 0,75, se permite la Categoría de Diseño Sísmico para ser determinada a partir de la Tabla 11.6-1 solo donde todos de los siguientes casos:

- En cada una de las dos direcciones ortogonales, el periodo fundamental aproximada de la estructura, T_a , determinado de acuerdo

con la Sección 12.8.2.1 es menor que $0.8T_s$, donde T_s se determina de acuerdo con la Sección 11.4.5

- En cada una de dos direcciones ortogonales, el período fundamental de la estructura utilizada para calcular la deriva de piso es inferior a T_s .
- Eq. 12.8-2 se utiliza para determinar el coeficiente sísmico respuesta C_s .

Tabla N° 26. Seismic Design Category Based and Response.

Table II.6-1 Seismic Design Category Based on Short Period Response Acceleration Parameter			Table II.6-2 Seismic Design Category Based on I-S Period Response Acceleration Parameter		
Value of S_{DS}	Risk Category		Value of S_{D1}	Risk Category	
	I or II or III	IV		I or II or III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A	$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C	$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D	$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D	$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

ASCE 7-10

Dada la configuración del suelo estamos ante una estructura de tipo B, en la tabla de ASCE 7 -10; dando como importancia a una edificación con información, documentación, equipos, etc; de importancia, la normal para las categorías E a F, las considera especiales con roturas en la superficie y en las categorías C y F, se lleva a cabo un informe por el especialista donde nos proporciona peligros geológicos como: suelos inestables, licuefacción, total y el asentamiento diferencial y superficies en desplazamiento, ese informa debe estar acompañado por recomendaciones para diseños de fundaciones u otras medidas de mitigación al suelo, siendo no este el caso por tratarse de categoría B en el estudio de suelos según la norma ASCE 7 -10. Tenemos los datos del suelo S_2 , donde $T_p = 0.6 s$ y $T_L = 2$.

2.6.5. REQUISITOS DE DISEÑO PARA SÍSMICA DE LA CATEGORÍA A

Edificios y otras estructuras asignadas a Categoría Sísmica de Diseño A sólo tienen que cumplir con los requisitos de la Sección 1.4. Los componentes no estructurales en SDC A son exentos de los requisitos de diseño sísmico. Además, los depósitos asignados a la categoría de Riesgo IV deberán cumplir el requisito en la Sección 15.7.6.1.2. (ASCE 7 -10).

2.7. IMPORTANCIA Y PELIGROS GEOTÉCNICOS

2.7.1. Sitio Limitación de las Categorías de Diseños Sísmicos E y F

Una estructura asignada a Categoría Sísmica de Diseño E o F no se encuentra donde hay un potencial conocido por una falla activa para provocar la rotura de la superficie del suelo en la estructura.

2.7.2. Informe de Investigación Geotécnica

Los Requisitos para las Categorías de Diseños Sísmico C a F Un informe de investigación geotécnica se proporciona para una estructura asignada al diseño sísmico Categoría C, D, E, o F de acuerdo con esta sección. Una investigación se llevará a cabo y un informe será presentado que incluye una evaluación de los siguientes peligros geológicos y sísmicos potenciales:

- a. Inestabilidad de los taludes,
- b. Licuefacción,
- c. Total y el asentamiento diferencial, y
- d. Superficie de desplazamiento debido a fallas o sísmicamente indujo propagación lateral o de flujo lateral.

- El informe contendrá recomendaciones para diseños de fundaciones u otras medidas para mitigar los efectos de los riesgos mencionados anteriormente.

EXCEPCIÓN: Cuando aprobado por la autoridad competente, no se requiere un informe geotécnico del sitio específico donde las evaluaciones previas de sitios cercanos con condiciones similares de suelo proporcionan dirección con respecto a la propuesta de construcción.

2.7.3. Investigación Adicional Geotécnica

El informe de la investigación geotécnica para una estructura asignada a Categoría Sísmica de Diseño D, E o F incluirá todos los siguientes, según corresponda:

- La determinación de las presiones dinámicas sísmicas laterales de tierra en el sótano y muros de contención debido a diseñar movimientos sísmicos.
- El potencial de licuefacción y la pérdida de resistencia del suelo evaluado para la aceleración pico sitio.
- Suelo, magnitud del terremoto y las características de fuentes consistentes con la aceleración máxima del terreno.
- Aceleración pico que se determina en base a cualquier estudio insitu teniendo en cuenta la amplificación del suelo y efectos como se especifica en la Sección 11.4.7 o (2) el pico PGAM aceleración del suelo, de la ecuación. 11.8-1.

$$\text{Ecuación N}^\circ 1. \text{ } PGA_M = F_{PGA} \text{ } PGA$$

Fuente: Ec.11.8-1, ASCE 7 -10

Donde:

- PGAM = MCEG valor máximo de aceleración corregido de la Clase del sitio.
- PGA = asignado valor máximo de aceleración MCEG se muestra en las figuras. 22-6 a través 22-10.
- F PGA = Coeficiente del sitio de la Tabla 11.8-1, ASCE 7 -10.

a. Evaluación de las posibles consecuencias de la licuefacción y la pérdida de la resistencia del suelo, incluyendo, pero no limitado a, la estimación de total y diferencial liquidación, el movimiento del suelo lateral, cargas laterales del suelo sobre las fundaciones, reducción de la capacidad fundación del suelo fértil y la reacción del suelo lateral, downdrag del suelo o y la reducción de la reacción del suelo lateral para pilotes axial y, el aumento de las presiones laterales del suelo sobre muros de contención, y la flotación de estructuras enterradas.

b. Discusión de las medidas de mitigación tales como, pero no limitado a, la selección del tipo apropiado fundación y profundidades, la selección de los sistemas estructurales adecuados para realizar desplazamientos esperados y fuerzas, estabilización de suelos, o cualquier combinación de estas medidas y la forma en que se tendrán en cuenta el diseño de la estructura.

Tabla N° 27. Coeficiente de sitio F_{PGA} .

Table 11.8-1 Site Coefficient F_{PGA}					
Site Class	Mapped Maximum Considered Geometric Mean (MCE_G) Peak Ground Acceleration, PGA				
	PGA \leq 0.1	PGA = 0.2	PGA = 0.3	PGA = 0.4	PGA \geq 0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of PGA.

ASCE 7 -10.

2.8. CONFIGURACIÓN

A cada estructura se le designa una cortante basada en la configuración estructural por encima del sistema de aislamiento.

2.8.1. Sistema de Aislamiento

- Condiciones Ambientales, además de los requisitos para las cargas verticales y laterales inducidas por el viento y terremoto, el sistema de aislamiento deberá prever otras condiciones ambientales, incluidos los efectos del envejecimiento, fluencia, fatiga, temperatura de funcionamiento, y la exposición a la humedad o sustancias perjudiciales.
- Fuerzas de Viento, las Estructuras aisladas deberán resistir las cargas de viento de diseño en todos los niveles por encima de la interfaz de aislamiento. En la interfaz de aislamiento, se dispondrá de un sistema eólico-restricción para limitar el desplazamiento lateral en el sistema de aislamiento a un valor igual a la requerida entre pisos de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento de acuerdo con la Sección 17.5.6.
- Resistencia al Fuego, la resistencia al fuego para el sistema de aislamiento se reunirá la requerida para las columnas, paredes u otros

elementos de tal gravedad que soportan en la misma región de la estructura.

- Fuerza Lateral de Recuperación, el sistema de aislamiento será configurado para producir una fuerza de recuperación de tal manera que la fuerza lateral en el desplazamiento total de diseño es de al menos $0.025W$ mayor que la fuerza lateral en el 50 por ciento del desplazamiento de diseño total.

- Desplazamiento restricción, el sistema de aislamiento no debe ser configurada para incluir un sistema de retención de desplazamiento que limita el desplazamiento lateral debido a la máxima terremoto considerado menor que el desplazamiento máximo total, salvo que la estructura sísmicamente aislado está diseñado de acuerdo con los siguientes criterios en los que más estrictos que los requisitos de sección 17.2:

Máxima Respuesta Considerada terremoto se calcula de acuerdo con los requisitos de análisis dinámico de la Sección 17.6, teniendo en cuenta de manera explícita las características no lineales del sistema de aislamiento y de la estructura por encima del sistema de aislamiento.

La capacidad final del sistema de aislamiento y elementos estructurales debajo del sistema de aislamiento será superior a la fuerza y el desplazamiento demandas del terremoto máximo considerado.

La estructura por encima del sistema de aislamiento se verifica la estabilidad de la demanda y la ductilidad del terremoto máxima considerada.

La restricción de desplazamiento no se hace efectiva en un desplazamiento inferior a 0,75 veces el desplazamiento total del diseño menos que se demuestre mediante análisis que el compromiso anterior no da como resultado un rendimiento insatisfactorio.

- Estabilidad de la Carga Vertical, cada elemento del sistema de aislamiento deberá ser diseñado para ser estable en la carga vertical

diseño en el que se sometió a un desplazamiento horizontal igual al desplazamiento máximo total. La carga vertical de diseño se calcula utilizando la combinación de carga 5 de la, Sección 2.3.2 (Comb 5: $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$) de la carga vertical máxima y la carga combinación 7 de la sección 12.4.2.3 (Comb 7: $(0,9 - 0.2SDS) + D + 1,6H \rho QE$; el factor de carga de H será igual a cero en Comb 7 si la acción estructural debido a H contrarresta que debido a E.

Cuando la presión lateral de la tierra proporciona resistencia a las acciones estructurales de otras fuerzas, que no se incluirán en H, pero se incluirán en la resistencia de diseño) de la carga vertical mínima en SDS en estas ecuaciones se sustituye por SMS. Las cargas verticales que resultan de aplicación de las fuerzas sísmicas horizontales, QE, se basará en la respuesta pico debido al terremoto máximo considerada.

- Vuelco, el factor de seguridad contra el vuelco estructural global de la interfaz de aislamiento no deberá ser inferior a 1,0 para combinaciones de cargas requeridas. Toda la gravedad y las condiciones de carga sísmica serán investigadas. Las fuerzas sísmicas para los cálculos de vuelco se basarán

en el terremoto máxima considerada, y W se utilizarán para la fuerza vertical. La elevación local de los elementos individuales no se permitirá a menos que las deflexiones resultantes no causen tensiones excesivas o inestabilidad de las unidades aislantes u otros elementos de la estructura.

- Inspección y reemplazo, el acceso se concederá para la inspección y sustitución de todos los componentes del sistema de aislamiento.

Un profesional de diseño registrado deberá completar una serie final de inspecciones u observaciones de las zonas de separación de la estructura y componentes que cruzan la interfaz de aislamiento antes de la emisión del certificado de ocupación de la estructura sísmicamente aislado. Estas inspecciones y observaciones deberán

indicar que las condiciones permiten el desplazamiento libre y sin obstáculos de la estructura de los niveles máximos de diseño y que todos los componentes que cruzan la interfaz de aislamiento como instalaciones son capaces de acomodar los desplazamientos previstos.

Sísmicamente estructuras aisladas deberán tener un seguimiento, inspección y programa de mantenimiento para el sistema de aislamiento establecido por el domicilio diseñar profesional responsable del diseño del sistema de aislamiento.

Remodelación, reparación y reconversión en la interfaz del sistema de aislamiento, incluyendo el de los componentes que cruzan la interfaz de aislamiento, se lleva a cabo bajo la dirección de un profesional de diseño registrado.

- Control de Calidad, un programa de pruebas de control de calidad para unidades aislantes será establecido por el profesional registrado de diseño responsable del diseño estructural.

Sistema Estructural

- Distribución Horizontal de la Fuerza, un diafragma horizontal u otros elementos estructurales proporcionarán continuidad por encima de la interfaz de aislamiento y tendrán una resistencia y ductilidad adecuada para transmitir fuerzas (debido a movimiento del terreno no uniforme) a partir de una parte de la estructura a otra.
- Las Separaciones de Construcción Juntas, separaciones mínimas entre la aislada estructura y muros de contención que rodea u otros obstáculos fijos no deberá ser inferior al desplazamiento máximo.
- Otros Edificios, estructuras en lugares distintos a edificios deberán estar diseñadas y construidas de acuerdo con los requisitos del Capítulo 15 utilizando los desplazamientos de diseño y fuerzas calculadas de conformidad con las Secciones 17.5 o 17.6.
- Elementos de Estructuras y No estructurales, los componentes o partes de una estructura aislada, componentes permanentes no estructurales y los archivos adjuntos a ellos, y los accesorios para

equipo permanente con el apoyo de una estructura deben ser diseñados para resistir las fuerzas sísmicas y desplazamientos prescritos por esta sección y las disposiciones aplicables del capítulo 13.

- Los Componentes Superiores a la Interfaz de Aislamiento, elementos de estructuras aisladas sísmicamente y componentes no estructurales, o partes de las mismas, que están en o por encima de la interfaz de aislamiento deberán ser diseñados para resistir una fuerza sísmica lateral total igual a la respuesta dinámica máxima del elemento o componente en cuestión.

EXCEPCIÓN: Elementos de estructuras aisladas sísmicamente y componentes no estructurales o partes diseñadas para resistir las fuerzas sísmicas y desplazamientos según lo prescrito en el capítulo 12 ó 13, según corresponda.

- Componentes del sistema de la interfaz de Aislamiento, elementos de estructuras aisladas sísmicamente y componentes no estructurales, o partes de los mismos, que atraviesan la interfaz de aislamiento deberán ser diseñados para resistir el desplazamiento máximo total, diseñados y construidos de acuerdo con los requisitos de la Sección 12.1 y el Capítulo 13.

2.8.2. MOVIMIENTO DE TIERRA PARA SISTEMAS AISLADOS

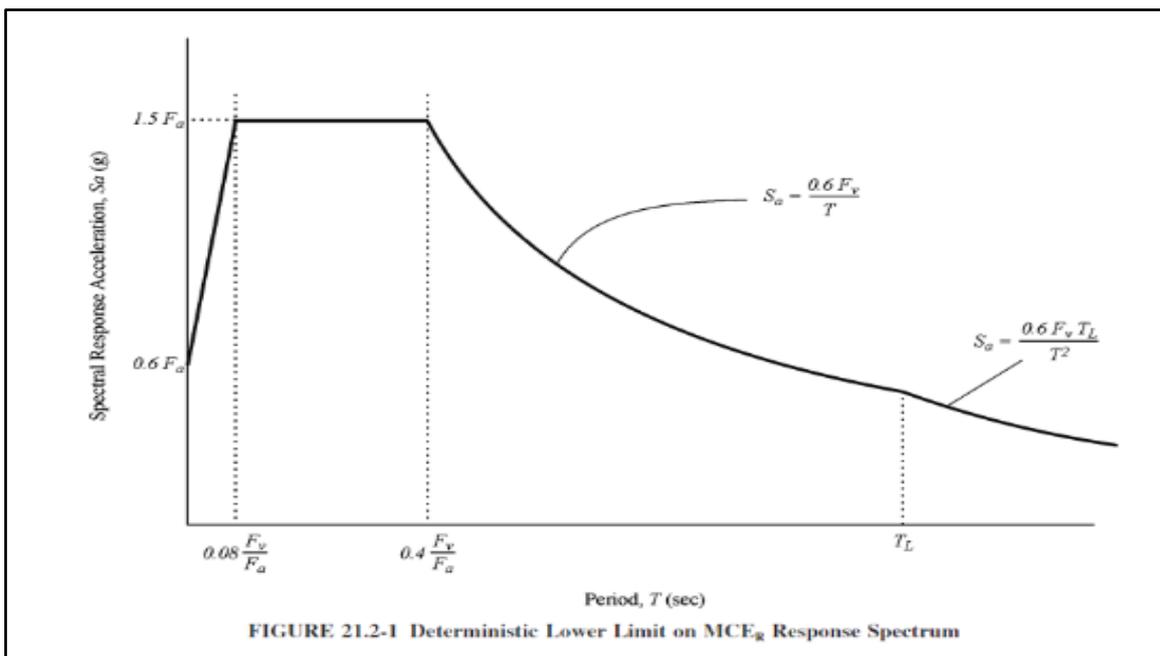
- Espectro de Diseño, se permiten los procedimientos de movimiento de tierra específica del lugar establecidos en el Capítulo 21 para ser utilizado para determinar los movimientos de tierra para cualquier estructura. Para estructuras de clase Sitio F sitios, análisis de respuesta del sitio se realizará de acuerdo con la Sección 21.1.

Para las estructuras aisladas sísmicamente en sitios con S_1 mayor que o igual a 0,6, un análisis de riesgos movimiento del suelo se realizará

de acuerdo con la Sección 21.2. Las estructuras que no requieren ni procedimientos de movimiento de tierra específica uso del sitio serán analizados utilizando el espectro de diseño para el sismo de diseño desarrollado de acuerdo con la Sección 11.4.5.

Un espectro se construyó con el movimiento del suelo MCER. El espectro de movimientos de tierra MCER no se debe tomar como menos de 1,5 veces el espectro de los movimientos sísmicos de diseño.

Gráfica N° 4. Espectro de respuesta.



Fuente: Grafica MCE, Espectro de respuesta.

- Cálculo de fuerza lateral

Obtenidos los datos $S_{SS} = 2.11$ y $S_{1} = 0.60$ y $F_s = 1$ y $F_v = 1$, se puede calcular:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 1.4067 \quad (11.4-3), \text{ ASCE 7-10.}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0.4 \quad (11.4-4), \text{ ASCE 7-10.}$$

Dadas el periodo y el tipo de suelo, $S_2 T_p = 0.6$ y $T_L = 2$, es necesario ver a través de las tablas los valores de S_s , S_1 y PGA para categoría B donde los valores según la norma ASCE 7 – 10, capítulo 17 son 1, para este caso en categoría C, D, E y F que están en la tabla 11.8-4.

Para el factor de reducción se observa que nos encontramos en una edificación de $R = 6$, como en un factor de importancia $I_e = 1$, pudiendo calcular $C_s = \frac{R}{I_e} = 0.234$, donde nuestro periodo fundamental será $T = 2.5$ y $T_0 = 0.2 \frac{S_{DS}}{S_{D1}} = 0.057$, $T_0 = 0.2 \frac{S_{DS}}{S_{D1}} = 0.057$ y $T_s = \frac{S_{DS}}{S_{D1}} = 0.284$, dado estos datos podemos calcular la fuerza lateral $F_s = C_s \times W$, donde el peso de la estructura se ha hallado para el modelamiento, siendo $W = 2814.0144$ toneladas, dando como resultado 659.980 toneladas, ahora debemos analizar el límite de F_s con las 3 condiciones que establece la norma.

Ecuación N° 2. $F_s = C_s \times W$ Fuerza lateral para diseño.

Si: $T \leq T_L$, $C_s =$ Falso ecuación (12.8-3) fuente: ASCE 7-10

- $T = 2.5$
- $T_L = 2$ segundos, esta condición es falsa.

Si $T > T_L$

- $C_s = 0.027$ ecuación (12.8-4) fuente: ASCE 7-10.
- $T = 2.5$.
- $T_L = 2$ segundos, esta condición es verdadera.

Salvo una condición como establece la norma $C_s > 0.01$ Ecuación (12.8-5).

Si la estructura posee un suelo tipo S1 igual o mayor a 0.6 segundos, entonces C_s , no debe ser inferior a la ecuación (12.8-6) en este caso $C_s = 0.063$; dadas las 3 condiciones la que cumple es la que no debe ser menor a $C_s = 0.062 > 0.01$, dando $F_s = 174.235$ toneladas.

- Características de la deformación del sistema de aislación

Desplazamientos de diseño sismo laterales mínimos y las fuerzas de estructuras aisladas sísmicamente se basarán en las características de deformación del sistema de aislamiento. Las características de deformación del sistema de aislamiento deberán incluir explícitamente los efectos del sistema de vientos de moderación si un sistema de este tipo se utiliza para cumplir con los requisitos de diseño de esta norma. Las características de deformación del sistema de aislamiento se basarán en pruebas debidamente documentadas, llevadas a cabo de conformidad con la Sección 17.8. (ASCE 7-10).

2.8.3. DESPLAZAMIENTOS LATERALES MÍNIMO

- Desplazamiento de Diseño DD

El sistema de aislamiento debe ser diseñado y construido para soportar desplazamientos laterales mínimos del terremoto, DD, que actúan en la dirección de cada uno de los ejes principales horizontales de la estructura utilizando la Ec. 17,5-1:

$$\text{Ecuación N}^\circ 3. D_D = \frac{g x S_{D1} x T_P}{4 \pi^2 B_D}$$

- g = aceleración de la gravedad.

- SD1 = aceleración espectral para diseño con un 5% de amortiguamiento crítico para periodos de 1seg en unidades de g-s, como se determina en la Sección 11.4.4.

Tabla N° 28. Coeficiente de porcentaje basal.

Table 17.5-1 Damping Coefficient, B_D or B_M	
Effective Damping, β_D or β_M (percentage of critical) ^{a,b}	B_D or B_M Factor
≤2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥50	2.0

Fuente: Tabla 17.5-1.

- TD = período efectivo de la estructura sísmicamente aislado en segundos, con el desplazamiento de diseño en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.5-2
- BD = coeficiente numérico relacionado con la amortiguación efectiva del sistema de aislamiento en el desplazamiento diseño, β_D , como se expone en la Tabla 17.5-1.

Donde:

- $B_D = 20$ y su factor es 1.5,

Tabla 17.5-1

- $T_D = 1.831$ segundos ecu. (17.5-2).
- $S_{D1} = \frac{2}{3(S_{M1})} = 0.5$, reemplazando en D_D .

Ecuación N° 4. $D_D = \frac{g x S_{D1} x T_P}{4 \pi^2 B_D} = 0.157 m$ ecu.17.5-1

- Período efectivo para Desplazamiento de Diseño TD

El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento de diseño, TD, se determinará

según las características de deformación del sistema de aislamiento y la Ec. 17.5-2:

$$\text{Ecuación N}^\circ 5. T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin} \times g}}$$

Dónde:

- W=Peso efectivo de la estructura aislada (por encima de la interfaz de aislamiento)
- K_{Dmin} = Rigidez efectiva mínima en Kips/in (kN/mm) del sistema de aislación para diseño desplazamientos por diseño en la dirección horizontal considerada y definida por la ecuación 17.8-4
- g = aceleración de la gravedad
- Período Efectivo para Desplazamiento Máximo Esperado T_M .

El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo, T_M , se determinará según las características de deformación del sistema de aislamiento y la Ec. 17.5-4:

$$\text{Ecuación N}^\circ 6. T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin} \times g}}$$

Donde:

- W=Peso efectivo de la estructura aislada (por encima de la interfaz de aislamiento)
- K_{Dmin} = Rigidez efectiva mínima en Kips/in (kN/mm) del sistema de aislación para máximos desplazamientos esperados en la dirección horizontal considerada y definida por la ecuación 17.8-6
- g = aceleración de la gravedad.

$$\text{Ecuación N° 7. } T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin} \times g}} = 2\pi \sqrt{\frac{2815.014 \times 9.81}{33.142 \text{kn/mm}}} = 1.83 \text{ segundos}$$

Teniendo T_D , ya se puede calcular el valor de D_D = Desplazamiento de diseño.

$$\text{Ecuación N° 8. } D_D = \frac{g \times S_{D1} \times T_D}{4 \pi^2 B_D} = 15.168 \text{ cm}$$

Período Efectivo para Desplazamiento Máximo Esperado TM, el período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo, TM, se determinará según las características de deformación del sistema de aislamiento y la Ec. 17.5-4:

$$\text{Ecuación N° 9. } T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin} \times g}} = 2.102$$

Dónde:

- W =Peso efectivo de la estructura aislada (por encima de la interfaz de aislamiento)
- K_{Dmin} = Rigidez efectiva mínima en Kips/in (kN/mm) del sistema de aislación para máximos desplazamientos esperados en la dirección horizontal considerada y definida por la ecuación 17.8-6
- g = aceleración de la gravedad
- Desplazamiento Total para Diseño D_{TM} y para Máximo Esperado D_{TM} .

El desplazamiento total diseño, D_{TM} , y el desplazamiento total máximo, D_{TM} , de los elementos del sistema de aislamiento deberán incluir el desplazamiento adicional debido a la torsión y accidental calculada a partir de la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislamiento y la ubicación más desventajosa de masa excéntrica.

El desplazamiento total del diseño, D_{TD} , y el desplazamiento total máximo, D_{TM} , de los elementos de un sistema de aislamiento con una distribución espacial uniforme de la rigidez lateral no deben tomarse como inferior a la especificada por las ecuaciones. 17.5-5 y 17.5-6 (ASCE 7-10):

$$\text{Ecuación N}^\circ 10. D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2}\right)$$

$$\text{Ecuación N}^\circ 11. D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2}\right)$$

Donde:

- D_D = diseño desplazamiento desde el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada según lo prescrito por la ecuación. 17.5-1.
- D_M = desplazamiento máximo en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada según lo prescrito por la Ec. 17.5-3
- y = distancia entre los centros de rigidez del sistema de aislamiento y el elemento de interés medida perpendicularmente a la dirección de la carga sísmica bajo consideración.
- e = la excentricidad real medida en el plan entre el centro de masa de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento y el centro de la rigidez del sistema de aislamiento, además de excentricidad accidental, en ft (mm), toma como 5 por ciento de la dimensión de la planta más larga de la estructura perpendicular a la dirección de la fuerza bajo consideración b = la dimensión de la planta más corta de la estructura mide perpendicular a d .
- d = la dimensión de la planta más larga de la estructura
EXCEPCIÓN: El desplazamiento total del diseño, D_{TD} , y el

desplazamiento total máximo, D_{TM} , están autorizados a tomar como menor que el valor prescrito por las ecuaciones. 17.5-5 y 17.5-6, respectivamente, pero no inferior a 1.1 veces D_D y D_M , respectivamente, siempre que el sistema de aislamiento se muestra por cálculo que ser configurado para resistir la torsión.

$$\text{Ecuación N}^\circ 12. D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2} \right) = 15.409 \quad (17.5-5)$$

$$\text{Ecuación N}^\circ 13. D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2} \right) = 26.530 \quad (17.5-6)$$

Donde:

- $Y = 1500$ cm
- $B = 15000$ cm
- $d = 25000$ cm
- $e = 750$ cm

2.9. FUERZAS LATERALES MÍNIMAS

17.5.4.1 Sistema de Aislamiento y Elementos Estructurales por debajo del Sistema de Aislamiento El sistema de aislamiento, la fundación, y todos los elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento deberán ser diseñados y construidos para resistir una fuerza sísmica lateral mínima, V_b , utilizando todos los requisitos adecuados para una estructura no aislada y como prescritos por la Ec. 17.5-7:

$$\text{Ecuación N}^\circ 14. V_b = K_{D_{MAX}}(D_D)$$

Donde:

- $K_{D_{MAX}}$ = rigidez máxima efectiva, en kips / in. (KN/mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño en la dirección

horizontal en consideración la forma prescrita por la ecuación. 17.8-3.

- D_D = desplazamiento de diseño, en in (mm.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.5-1.
- V_b no se tendrá como menor que la fuerza máxima en el sistema de aislamiento en cualquier desplazamiento hasta e incluyendo el desplazamiento de diseño.

Ecuación N° 15. $V_b = K_{D_{MAX}}(D_D) = 39.240 \times 151.677 = 5951.789 \frac{kN}{9.81} = 606.706 \text{ toneladas.}$

Ecuación N° 16. $V_b = 606.706 \text{ tn}$, fuerza lateral mínima sub estructura y sistema de aislación.

Elementos Estructurales por Encima del Sistema de Aislamiento, la anterior estructura del sistema de aislamiento debe ser diseñada y construida para soportar una fuerza de corte mínima, V_s , utilizando todos los requisitos adecuados para una estructura no aislada y según lo prescrito por la Ec. 17.5-8:

$$V_s = \frac{K_{D_{MAX}} \times D_D}{R_l}$$

- $K_{D_{MAX}}$ = rigidez máxima efectiva, en kips / in. (KN/mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño en la dirección horizontal en consideración la forma prescrita por la ecuación. 17.8-3.
- D_D = desplazamiento de diseño, en in (mm.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 17.5-1.

- RI = coeficiente numérico relacionado con el tipo de sistema de fuerza de resistencia sísmica por encima del sistema de aislamiento. El factor de RI se basará en el tipo de sistema-resistencia fuerza sísmica utilizada para la estructura anterior del sistema de aislamiento y será de tres octavos del valor de R dada en la Tabla 12.2-1, con un valor máximo no mayor que 2,0 y un valor mínimo no inferior a 1,0.

$$\text{Ecuación N}^\circ 17. V_s = \frac{K_{D\text{MAX}} \times D_D}{R_I} = \frac{39.240 \times 151.677}{2} = \frac{2975.895}{9.81} = 303.353 \text{ tn}$$

$V_s = 303.353 \text{ tn}$, Fuerza lateral mínima super estructura.

2.10. LÍMITES DEL CORTANTE VS

El valor de Vs se obtendrá de la manera siguiente:

- La fuerza sísmica lateral requerida por la Sección 12.8 para una estructura fija de la base del mismo peso sísmico efectivo "W" y un período igual al período aislado "TD".
- El cortante en la base correspondiente a la carga de viento de diseño factorizada.
- La fuerza sísmica lateral requerida para activar plenamente el sistema de aislamiento (por ejemplo, el nivel de rendimiento de un sistema de ablandamiento, la capacidad última de un sistema eólico restricción de sacrificio, o el nivel de fricción de ruptura de un sistema de deslizamiento) multiplicado por 1.5.

Tabla N° 29. Continuidad.

Table 12.2-1 (Continued)									
Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section Where Detailing Requirements Are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	Overstrength Factor, Ω_o^b	Deflection Amplification Factor, C_d^b	Structural System Limitations Including Structural Height, h_u (ft) Limits ^c				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^d
B. BUILDING FRAME SYSTEMS									
1. Steel eccentrically braced frames	14.1	8	2	4	NL	NL	160	160	100
2. Steel special concentrically braced frames	14.1	6	2	5	NL	NL	160	160	100
3. Steel ordinary concentrically braced frames	14.1	3 $\frac{1}{4}$	2	3 $\frac{1}{4}$	NL	NL	35 ^e	35 ^e	NP ^f
4. Special reinforced concrete shear walls ^g	14.2	6	2 $\frac{1}{2}$	5	NL	NL	160	160	100
5. Ordinary reinforced concrete shear walls ^h	14.2	5	2 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	NL	NL	NP	NP	NP
6. Detailed plain concrete shear walls ⁱ	14.2 and 14.2.2.8	2	2 $\frac{1}{2}$	2	NL	NP	NP	NP	NP
7. Ordinary plain concrete shear walls ^j	14.2	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	NL	NP	NP	NP	NP
8. Intermediate precast shear walls ^k	14.2	5	2 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	NL	NL	40 ^l	40 ^l	40 ^l
9. Ordinary precast shear walls ^m	14.2	4	2 $\frac{1}{2}$	4	NL	NP	NP	NP	NP
10. Steel and concrete composite eccentrically braced frames	14.3	8	2 $\frac{1}{2}$	4	NL	NL	160	160	100
11. Steel and concrete composite special concentrically braced frames	14.3	5	2	4 $\frac{1}{2}$	NL	NL	160	160	100
12. Steel and concrete composite ordinary braced frames	14.3	3	2	3	NL	NL	NP	NP	NP
13. Steel and concrete composite plate shear walls	14.3	6 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	NL	NL	160	160	100
14. Steel and concrete composite special shear walls	14.3	6	2 $\frac{1}{2}$	5	NL	NL	160	160	100
15. Steel and concrete composite ordinary shear walls	14.3	5	2 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	NL	NL	NP	NP	NP
16. Special reinforced masonry shear walls	14.4	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	4	NL	NL	160	160	100
17. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4	4	2 $\frac{1}{2}$	4	NL	NL	NP	NP	NP
18. Ordinary reinforced masonry shear walls	14.4	2	2 $\frac{1}{2}$	2	NL	160	NP	NP	NP
19. Detailed plain masonry shear walls	14.4	2	2 $\frac{1}{2}$	2	NL	NP	NP	NP	NP
20. Ordinary plain masonry shear walls	14.4	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	NL	NP	NP	NP	NP
21. Prestressed masonry shear walls	14.4	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	NL	NP	NP	NP	NP
22. Light-frame (wood) walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance	14.5	7	2 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	NL	NL	65	65	65
23. Light-frame (cold-formed steel) walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance or steel sheets	14.1	7	2 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	NL	NL	65	65	65
24. Light-frame walls with shear panels of all other materials	14.1 and 14.5	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	NL	NL	35	NP	NP
25. Steel buckling-restrained braced frames	14.1	8	2 $\frac{1}{2}$	5	NL	NL	160	160	100
26. Steel special plate shear walls	14.1	7	2	6	NL	NL	160	160	100

Fuente: Tabla 12.2-1 del ASCE 7-10.

Se necesita calcular una fuerza de recuperación en el sistema de aislamiento donde es la ec. 17.2.4.4:

$$\text{Ecuación N}^\circ 18. F_{LTD} = K_{D_{MAX}} \times D_{TD} = 154.086 \text{ mm} \times 39.240 \frac{\text{km}}{\text{mm}} = \frac{6046.317}{9.81} =$$
$$616.342 \text{ tn}$$

$$F_{LTD} = 616.342 \text{ tn} = \text{Fuerza lateral de recuperación.}$$

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

3.1.1. PROPIEDADES DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO

- $F_s = 174.235 Tn$, fuerza lateral para diseñar.
- $D_D = 15.168cm$, desplazamiento de diseño.
- $D_M = 26.115cm$, desplazamiento máximo.
- $D_{TD} = 15.409cm$, desplazamiento total del diseño.
- $D_{TM} = 26.530cm$, desplazamiento total máximo.
- $V_b = 606.706tn$, fuerza lateral mínima de Sub estructura y sistemas de Aislación.
- $V_s = 303.353tn$, fuerza lateral mínima súper estructura.
- $F_{min} = 70.375tn$, frecuencia lateral de recuperación mínima.
- $F_{max} = 308.171tn$, frecuencia lateral de recuperación máxima.

3.1.2. ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

El análisis tiempo-historia se realiza en tres dimensiones, los movimientos de la tierra estarán constituidos por pares componentes de aceleración del movimiento sísmico horizontal apropiados que se puedan seleccionar y mejorar los eventos registrados individualmente, para ser seleccionados o agrupados se tiene en cuenta magnitud, distancia a la falla, etc.

A la falta de los mecanismos origen que sean consistentes con los que controlan el terreno máximo considerandos, que se pueden escalar a eventos registrados o de manera individual, estos movimientos deben ser proporcionados de sismo directo, en caso de que no se tenga registros directos se creara registros sintéticos. Cada movimiento se incrementará de manera que en el periodo comprometido entre el rango

0.2T a 1.5T, el promedio del espectro que nos de SRSS, todos los pares de componentes horizontales, no bajan las ordenadas correspondientes del espectro de respuesta utilizando en el diseño. ASCE7-10 (Capítulo 16).

Para escoger el Aislador LRD correcto es necesario calcular la histéresis de los datos requeridos según las especificaciones técnicas, para ello nos apoyaremos del programa MATLAB, que procesa gran cantidad de modelos matemáticos y matemática avanzada necesaria para el cálculo de los valores de histéresis.

3.1.3. MÉTODO DE NEWMARK

A continuación se presentan los datos necesarios para poder resolver la ecuación de histéresis por el método de Newmark.

- D_o = Diámetro exterior de aislador elastomérico con núcleo plomo (cm).
- D_i = Diámetro interior de aislador elastomérico con núcleo plomo (cm).
- G = Módulo de Corte de goma (kg/cm^2) para material LB.
- $G_{\text{lead LB}}$ = Tensión de fluencia del Plomo (kg/cm^2) $T_{\text{ao py}}$. Material LB
- $G_{\text{lead UB}}$ = Tensión de fluencia del Plomo (kg/cm^2) $T_{\text{ao py}}$. Material UB
- T_r = Altura solo de Goma (cm)
- W_t = Peso total que gravita sobre sistema de aislación en (kg)
- N = Número total de aisladores
- Z = Zona de mayor peligrosidad sísmica, E.030
- F_{ac} = Factor que vale 1 para sismo de diseño Y 1.5 máximo.

- Se presenta:

Ecuación N° 19. Ecuación de Newman

$$\left(k + \frac{m}{\beta \Delta t^2} + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c\right) \Delta q = -m \ddot{u}_{g_{i+1}} + m \left[\frac{1}{\beta \Delta t} \dot{q}_i + \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right) \ddot{q}_i \right] - c \left[\left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right) \dot{q}_i + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right) \Delta t \ddot{q}_i \right] - k q_i$$

- De la cual se resuelve:

Ecuación N° 20: Rigidez

$$\hat{k} = k + \frac{m}{\beta \Delta t^2} + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c$$

Ecuación N° 21: Desplazamiento en Q

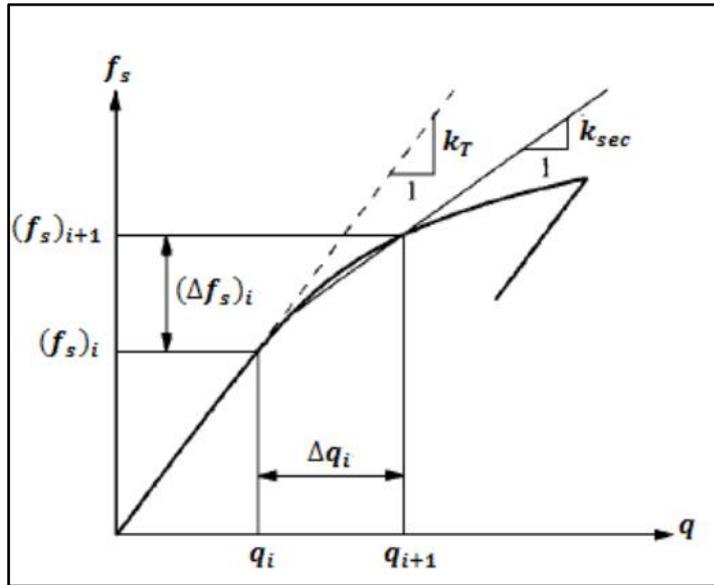
$$\Delta \hat{Q} = -m \ddot{u}_{i+1} + m \left[\frac{1}{\beta \Delta t} \dot{q}_i + \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right) \ddot{q}_i \right] - c \left[\left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right) \dot{q}_i + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right) \Delta t \ddot{q}_i \right] - k q_i$$

$$\hat{k} \Delta q = \Delta \hat{Q}$$

3.1.4. MÉTODO DE LA RIGIDEZ TANGENTE

Se presenta en la gráfica la representación esquemática del método de desplazamiento crítico.

Gráfica N° 5. Representación del método de desplazamiento crítico.



Ecuación N° 22: Rigidez tangente.

$$m \ddot{q} + f_a + f_s = -m \ddot{u} g_{i+1}$$

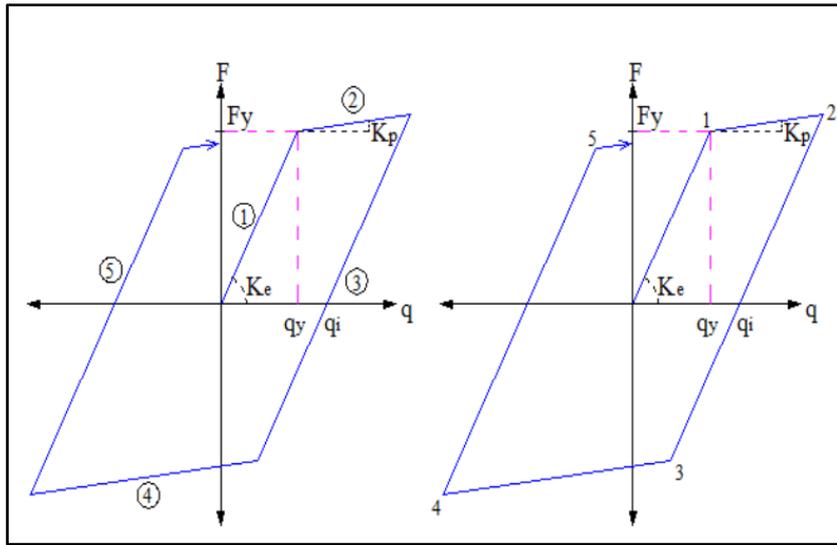
Donde:

$$(\Delta f_s)_i = (k_{sec})_i * \Delta q_i$$

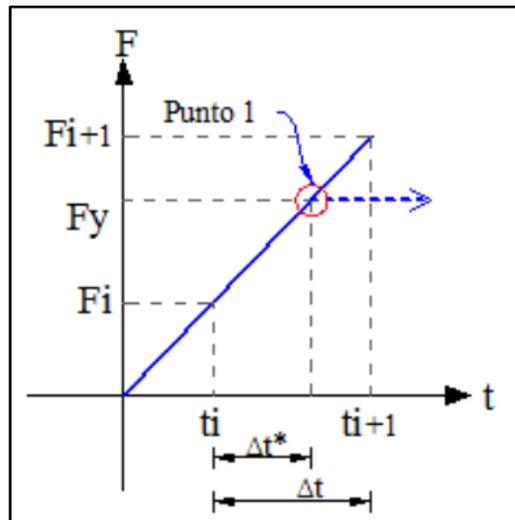
$$(\Delta f_s)_i = (f_s)_{i+1} - (f_s)_i$$

$$\Delta q_i = q_{i+1} - q_i$$

Gráfica N° 6. Modelo Bilineal



Gráfica N° 7. Punto de control 1.



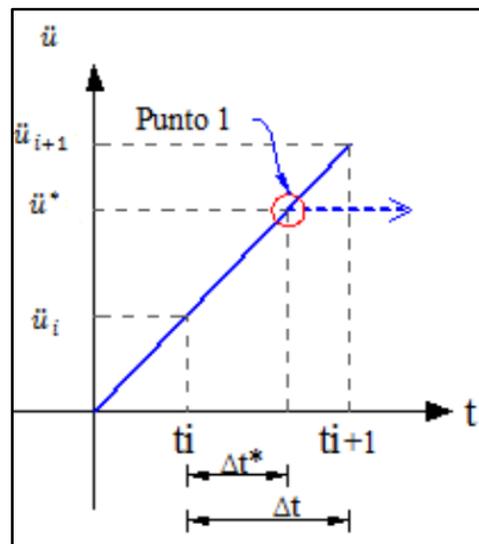
$$\frac{F_{i+1} - F_i}{\Delta t} = \frac{F_y - F_i}{\Delta t^*}$$

$$\Delta t^* = \frac{F_y - F_i}{F_{i+1} - F_i} \Delta t$$

$$\Delta t^* = \frac{q_y - q_i}{q_{i+1} - q_i} \Delta t$$

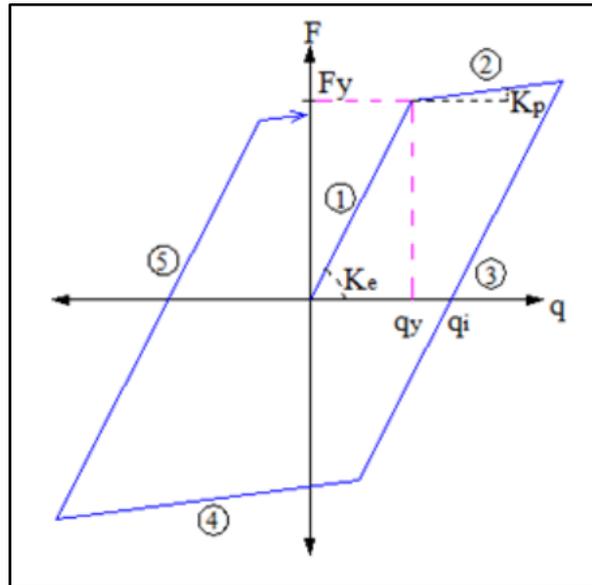
Aceleración del suelo en Δt

Gráfica N° 8. Aceleración del suelo en Δt .



$$\ddot{u}^* = \ddot{u}_i + \frac{\Delta t^*}{\Delta t} (\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i)$$

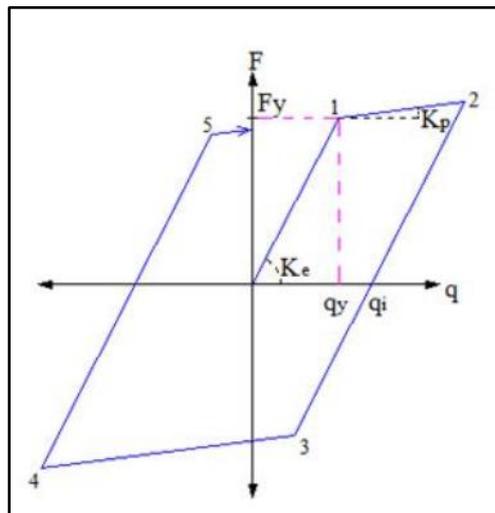
Gráfica N° 9. En Rama 2.



$$k = k_p; \quad k_p = \alpha k_e$$

$$c = 2\xi\sqrt{m k_p}; \quad \Delta t$$

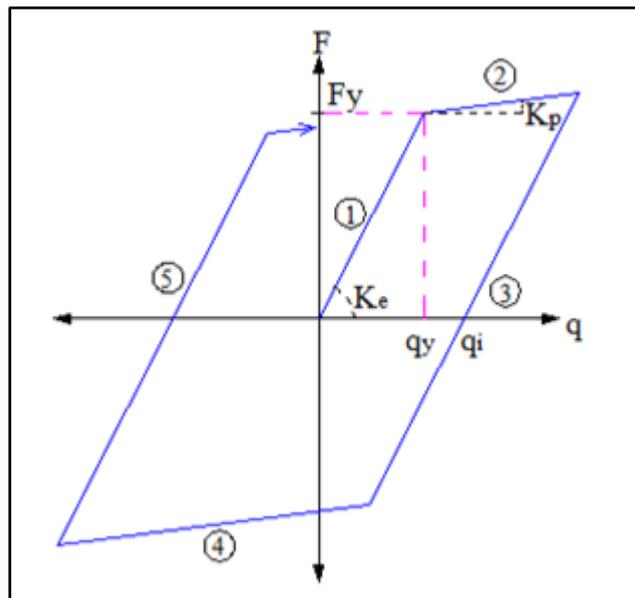
Gráfica N° 10. Punto de control, $v=0$.



$$\Delta t^* = \frac{0 - \dot{q}_i}{\dot{q}_{i+1} - \dot{q}_i} \Delta \tau$$

$$\Delta t^* = \frac{\dot{q}_i}{\dot{q}_i - \dot{q}_{i+1}} \Delta \tau$$

Gráfica N° 11. Rama 1.



Para el tiempo $t = 0$ se considera que las condiciones iniciales son nulas. Por lo tanto:

$$\ddot{q}_i = 0; \quad \dot{q}_i = 0; \quad q_i = 0$$

Ecuación N° 23. Para tiempo de q .

- Se Determina \hat{k} :

$$\hat{k} = k + \frac{m}{\beta \Delta t^2} + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c$$

Ecuación N° 24. Rigidiz en q

- Se encuentra $\Delta \hat{Q}$:

$$\Delta \hat{Q} = -m \ddot{u}_{i+1} + m \left[\frac{1}{\beta \Delta t} \dot{q}_i + \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \ddot{q}_i \right] - c \left[\left(1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{q}_i + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \Delta t \ddot{q}_i \right] - k q_i$$

Ecuación N° 25. Desplazamiento de Q

- Se obtiene el incremento de desplazamiento Δq :

$$\hat{k} \Delta q = \Delta \hat{Q}$$

Ecuación N° 26. Desplazamiento de Δq

- Se halla el desplazamiento q_{i+1} :

$$q_{i+1} = q_i + \Delta q$$

Ecuación N° 27. Desplazamiento en q+1

- Se encuentra la velocidad q_{i+1} :

$$\dot{q}_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta q + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{q}_i + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \Delta t \ddot{q}_i$$

Ecuación N° 28. Velocidad en q+1

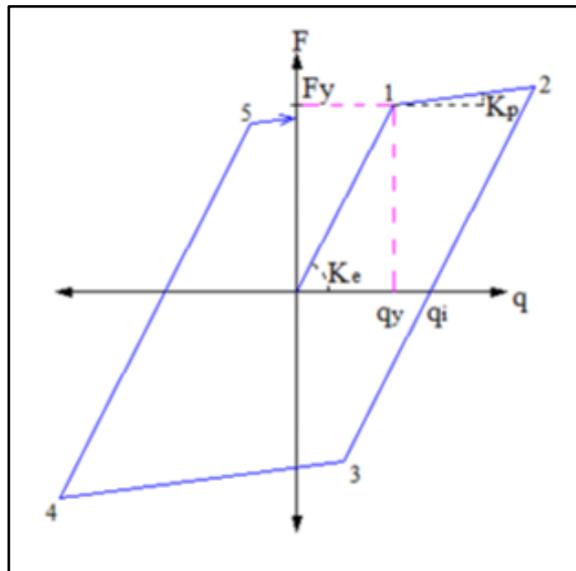
- Con la ecuación diferencial del movimiento se halla la aceleración q_{i+1}

$$m \ddot{q}_{i+1} + c \dot{q}_{i+1} + k q_{i+1} = -m \ddot{u}_{i+1}$$

Ecuación N° 29. Diferencial del movimiento.

- Se halla fuerza en el sistema de reforzamiento $(fs)_{s+1}$

Gráfica N° 12. Fuerza en el Sistema de reforzamiento a partir de $q_{(i+1)}$.



$$(fs)_{i+1} = k q_{i+1}$$

Ecuación N° 30. Fuerza en el Sistema de reforzamiento.

- Seguidamente se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

$(fs)_{s+1} < f_y$ Verdadero, continua en la rama 1.

$(fs)_{s+1} > f_y$ Falso, punto de control 1.

- Ajuste de rama 1, se presenta cuando

$(fs)_{s+1} > f_y$ o cuando

$$q_{i+1} > q_y$$

- Tomando los siguientes datos se reduce el incremento de tiempo con la siguiente expresión. En caso de que se trabaje con desplazamiento.

Ecuación N° 31. Diferencia de aceleración espectral

$$\Delta t^* = \frac{q_y - q_i}{q_{i+1} - q_i} \Delta t$$

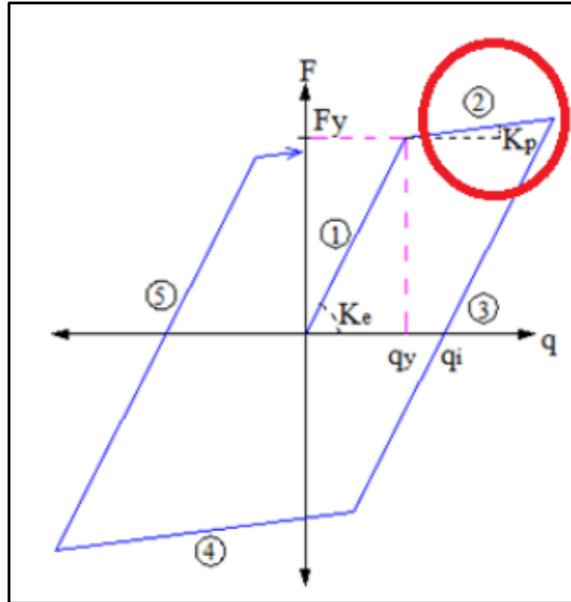
- Se halla la nueva aceleración espectral Δt .

Ecuación N° 32. Aceleración en u

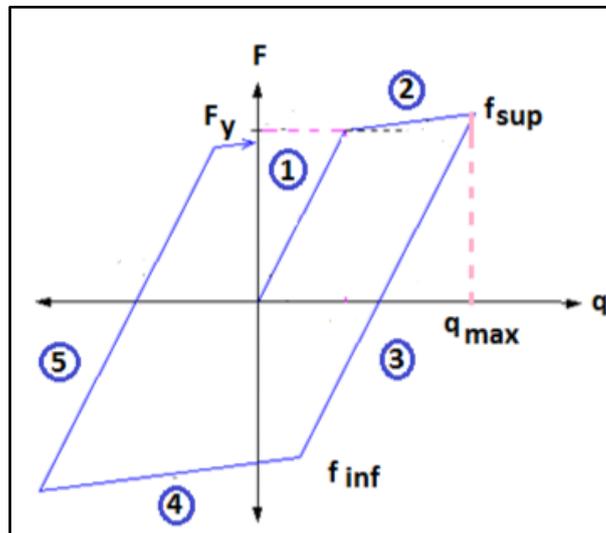
$$\ddot{u}^* = \ddot{u}_i + \frac{\Delta t^*}{\Delta t} (\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i)$$

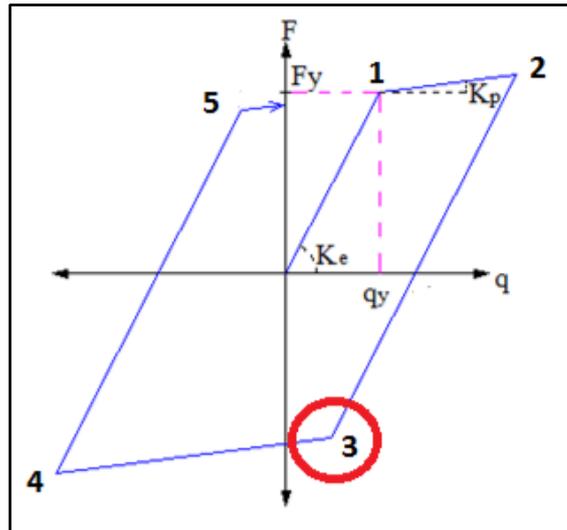
En cada incremento de tiempo de la rama 2 se pregunta si la velocidad es mayor que cero o menor que cero. Por lo tanto, se tiene:

- Si $q_{i+1} > 0$, se repite el procedimiento para el rango lineal con $K=kp$,
- Si $q_{i+1} < 0$, punto de ajuste 2.



- Punto de control 3





- $f_{inf} = f_{sup} - 2 F_y$
- $(fs)_{i+1} > f_{inf}$, Verdadero continua en la rama 3
- $(fs)_{i+1} > f_{inf}$, Falso punto de control 3
- $(fs)_i = f_{sup} + k_e(q - q_{max})$

3.1.5. DISEÑO DE AISLADOR ELASTÓMÉRICO (AGUILAR, 2013)

Clasificación de propiedades de desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador, siendo esto un pre diseño del aislador elastómero de núcleo de plomo.

- Prediseño del Aislador.

Tabla N° 30. Propiedades, desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador.

D_0 (mm)	Propiedades del aislador			Desplazamiento Máximo q_{max} (mm)	Carga Axial P_{max} (kg)
	k_d (T/m)	Q_d (kg)	K_v (T/m)		
305	20 – 40	0 – 6500	> 5000	150	45000
355	20 – 40	0 – 6500	> 10000	150	70000
405	30 – 50	0 – 11000	> 10000	200	90000
455	30 – 70	0 – 11000	> 10000	250	115000
520	40 – 70	0 – 18000	> 20000	300	135000
570	50 -90	0 – 18000	> 50000	360	180000

Fuente: Microzonificación sísmica de Quito, Dr. Roberto Aguilar (Tabla 8.30).

- Peso de la estructura $WT=2815.014$ Tn.
- Cantidad de aisladores según las columnas es de $N=15$.
- Peso de llegada a un aislador será $WT = W/N = 148.159$ Tn.

Tabla N° 31. Valor seleccionado D_0 .

D_0 (mm)	Propiedades del aislador			Desplazamiento Máximo q_{max} (mm)	Carga Axial P_{max} (kg)
	K_d (Tn/m)	Q_d (kg)	K_v (Tn/m)		
520	40 - 70	0 - 18000	> 20000	300	135000

- $Q_d = 148.159$, se encuentra entre 0 – 180 tn, por tanto. $D_0 = 520$ mm.

Tabla N° 32. Dimensiones del aislador y las placas de montaje.

TAMANO DEL AISLADOR				DIMENSIONES DE PLACAS DE MONTAJE					
D_0 (mm)	H (mm)	# capas de goma	D_i (mm)	L (mm)	t (mm)	# orificios	Orificio ϕ (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50

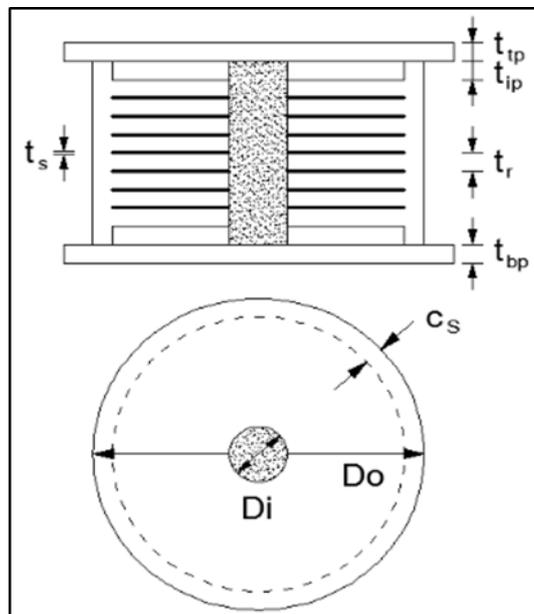
Fuente: Tabla 8.29. ASCE 7-10

- Las dimensiones del aislador estarán dadas por las placas de montajes como los números de gomas y de los orificios para los pernos.

Tabla N° 33. Dimensiones de las placas de montaje.

TAMAÑO DEL AISLADOR				DIMENSIONES DE LAS PLACAS DE MONTAJE					
Do (mm)	H (mm)	# CAPAS DE GOMA	Di (mm)	L (mm)	t (mm)	# orificios	Ø del orificio (mm)	A (mm)	B (mm)
520	205 - 380	8 - 24	0 - 180	570	25	8	27	50	50

Imagen N° 70. Dimensiones de las placas de montaje.



Donde:

- $Do = 52$ cm, orificio de núcleo de plomo.
- $Di = 12$ cm, Diámetro interior de núcleo de plomo.
- Capas de goma = 35 unidades.
- $t_r = 0.5$ cm, espesor de capa de goma.

- $t_s = 0.25$ cm, espesor de la capa acero.
- $L = 55$ cm, long placa cuadrada.
- $t = 2$ cm, espesor placa
- N° pernos = 8 unidades.
- Altura total = 29.25 cm.
- $Tr = 17.5$ cm, altura total solo la goma.
- $H = 30$ cm, está dentro de 20.5 – 38.0 cm.

A partir de estos datos podemos empezar el diseño del aislador tomando en consideración que para esta estructura todos son del mismo tipo; para estos datos los vamos a procesar en MATLAB, por la complejidad de las ecuaciones y obtener un resultado más rápido, presentando el código en MATLAB:

```
function
[Qd, Fy, ke, kd, kef, Tef, betaef, q]=histeresis_peru(Do, Di, G, Gl
ead, Tr, wt, N, z, icods, fac)

Tol=0.1; %Tolerancia de desplazamiento

for i=1:100

    Alead=pi*Di^2/4; %Area solo de plomo en cm2

    A=(Do^2-Di^2)*pi/4; %Area de base de aisladores
en cm2

    %Ap=pi*Do^2/4;

    Qd=(Alead*Glead)*N; %Resistencia Característica
en kg.

    kd=(G*A/Tr)*N; % Rigidez post fluencia

    Fy=Qd+kd*y; %Fuerza de fluencia
```

```

kef=kd+Qd/q; % Rigidez efectiva

Ed=4*Qd*(q-y); %Energía disipada en un ciclo de
histéresis

betaef=Ed/(2*pi*kef*q^2); % Factor de
amortiguamiento efectivo

B=(betaef/0.05)^0.3; % Factor de Reducción

Tef=2*pi*sqrt(wt/(kef*980));

[Sa]=espectro_Peru(Tef,z,icods,B,fac);

xb=Sa*(Tef/(2*pi))^2*100;

if abs(xb-q) > Tol
    q=xb+(q-xb)/2;
else
    break
end

end

%.....Dibujo de Diagrama de
Histéresis.....

ke=(Fy/y); % Rigidez elástica

Fmax1=Qd+kd*q; %Fuerza máxima positiva

Fmax2=Fmax1-2*Fy; %Fuerza máxima de segundo punto

figure (1)

grid; hold on

X=[0; y; q; q-2*y; -q; -(q-2*y); 0];

Y=[0; Fy; Fmax1; Fmax2; -Fmax1; -Fmax2; Qd];

plot (X,Y,'LineWidth',2)

title('Diagrama de histéresis, Con Núcleo de Plomo')

```

```
xlabel('Desplazamiento (cm)')  
ylabel('Fuerza (kg)')  
return
```

Obteniendo como resultado.

- $Z=0.35$
- $T_{ef}=1.9823$
- $Q_d=1.8265e+05$
- $q=14.6735$
- $K_{ef}=2.8858e+04$
- $K_e=8.9471e+04$
- $K_d=1.6410e+04$
- $F_y=2.2368e+04$
- $B_{ef}=0.2278$

Estos datos son necesario para colocar el aislador dentro del Etabs y comprobar si está cumpliendo con nuestros parámetros de diseño inicial, en caso no se cumplan estos diseños iniciales se cambiará el radio de plomo en caso de que no cumpla con la rigidez, si no llega al desplazamiento aumentar la sección del aislador, etc.

- Propiedades del aislador.

Imagen N° 71. Ingreso de propiedades del aislador en programa Matlab.

The screenshot shows the 'Link Property Data' dialog box with the following settings:

- General:** Link Property Name: LRB; Link Type: Rubber Isolator.
- Total Mass and Weight:** Mass: 0 tonf-s²/m; Weight: 0 tonf; Rotational Inertia 1, 2, and 3: 0 tonf-m-s².
- Directional Properties:**

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

Fuente: Propia

Dentro de las propiedades del aislador las direcciones U1 es en dirección Z, donde se encuentra la rigidez vertical U2 es en dirección X y U3 es en dirección Y, se encuentran la linealidad la rigidez efectiva Kef, como la no linealidad y rigidez elástica (Ke), esto quiere decir que tanto la componente U2 y U3, tendrán las mismas características.

La rigidez efectiva se encuentra en la componente U1 y esa característica del aislador, nos la proporciona la ficha técnica; en nuestro caso para un diámetro de 520 mm, su rigidez efectiva es de 20000 Tn/m.

Imagen N° 72. Rigidez efectiva en U1.

Identification	
Property Name	LRB
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	20000 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m

OK Cancel

Fuente: Propia

Dado en U2 y U3, los datos obtenidos a partir del procesamiento de datos. $K_{ef} = 149.12 \text{ tn/m}$

Imagen N° 73.

Identification	
Property Name	LRB
Direction	U3
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	149.12 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.5 m

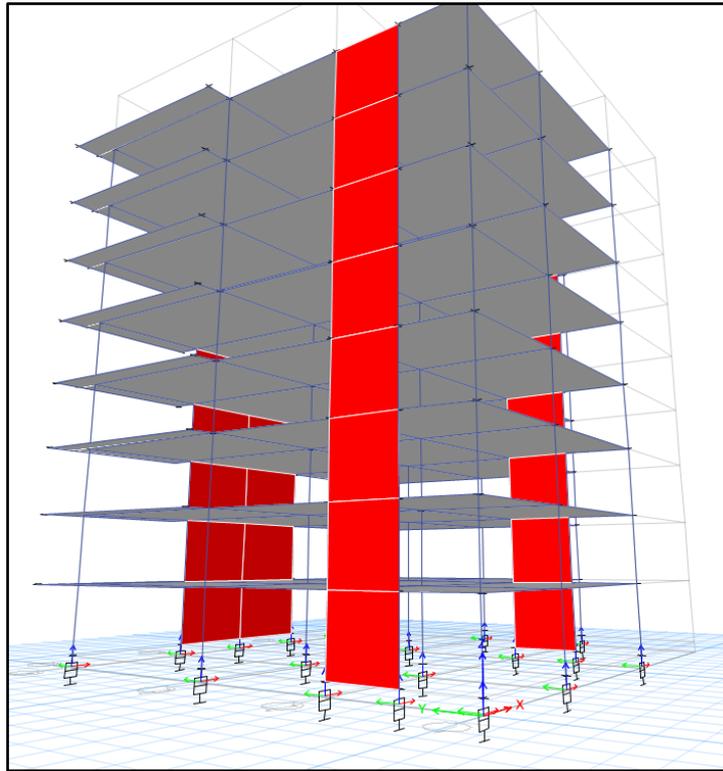
Nonlinear Properties	
Stiffness	596.473 tonf/m
Yield Strength	14.912 tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0.183411

OK Cancel

Fuente: Propia.

Dados estos datos se los asigna a los elementos en la base para tener los aisladores.

Imagen N° 74. Edificación con aisladores.

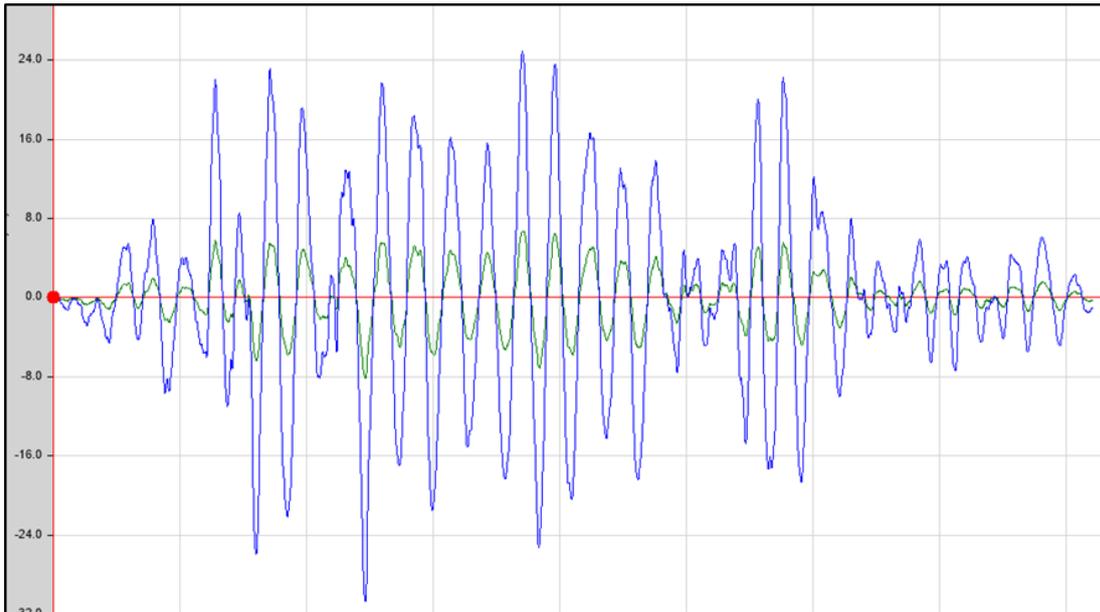


Fuente: Propia.

Dada la edificación, vamos a someter a dos sismos tiempo historia uno de media intensidad y a un sismo severo, donde mostraremos los desplazamientos máximos, en los dos sismos.

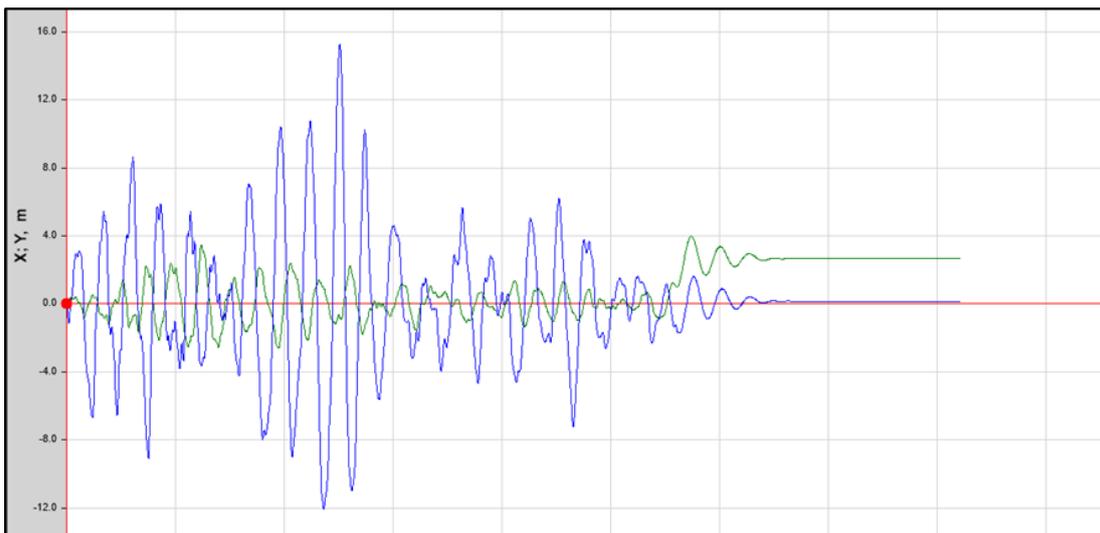
Donde se realizará una comparación del desplazamiento máximo entre X y Y, donde azul es Y y el verde es X.

Imagen N° 75. Gráfica de desplazamiento máximos al sismo severo.



Fuente: Propia.

Imagen N° 76. Sismo de mediana intensidad.



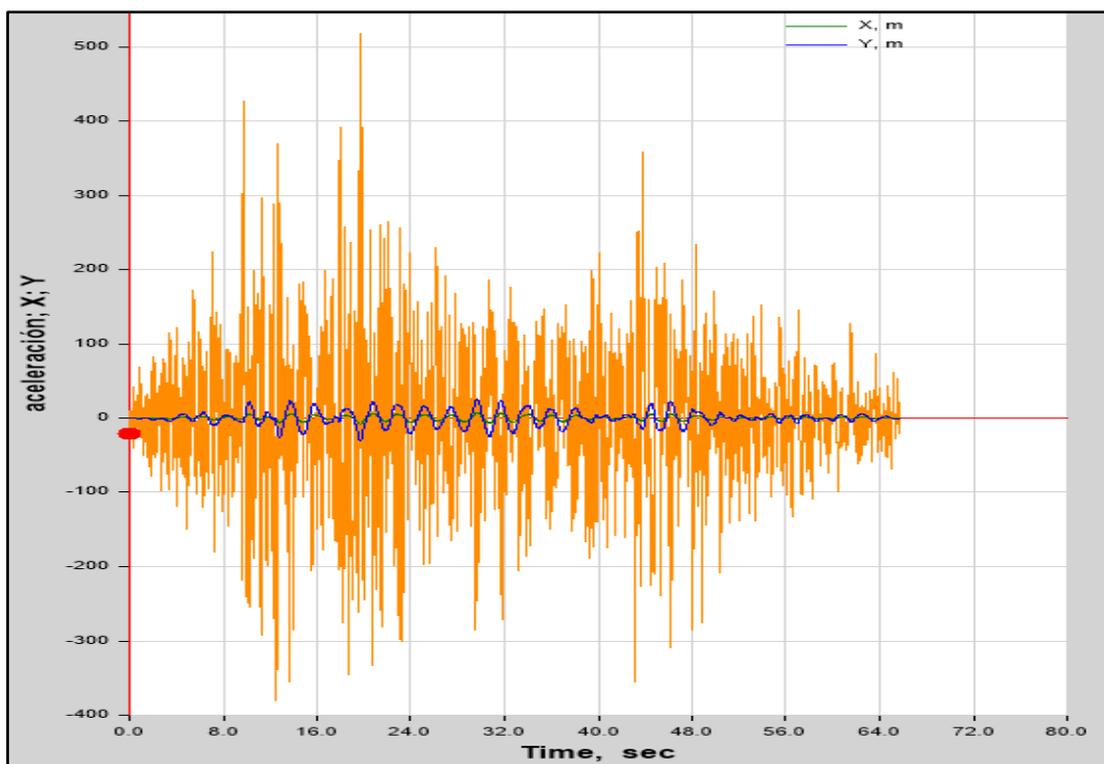
Fuente: Propia.

Observamos que el desplazamiento máximo permitido es de 26.53 y en un sismo de mediana intensidad llega a 16 cm en dirección Y, en el caso de un sismo severo llega a 25.03cm dando que el aislador cumple

su función sin afectar a la estructura, el pre dimensionamiento es correcto.

Dado la aceleración máxima en m/sec^2 , donde ha sido sometido la estructura se observa que el aislador reduce en gran medida el sismo, siendo la aceleración espectral esta de color mostaza y desplazamiento en X color verde, Y en color azul.

Imagen N° 77. Comparación entre aceleración espectral y desplazamientos.



Fuente: Propia.

CAPÍTULO IV

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

La estructura con aislador tiene un mejor comportamiento de respuesta que un sistema convencional, ya que en su desplazamiento máximo el aislador llega a 25.36 cm, siendo la mayor esperada por el cálculo en el pre dimensionamiento de 26.52cm, cumpliendo la norma.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

El modelamiento de la edificación con 8 niveles con un sistema de aisladores LRD, tiene mejor respuesta a un sismo severo en comparación a una estructura convencional debido a que el aislador absorbe una fuerza lateral mínima entre la sub estructura y estructura de $V_b = 606.706tn$, en la estructura con sistema convencional la cortante de la base es menor de 415.87 tn.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTE CON ANTECEDENTES.

5.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

- **Marcías y Suárez (2015).** En sus resultados muestran una respuesta estructural de un edificio de 6 niveles, en este caso son de 8 niveles y el aislador elastómero presenta una muy buena respuesta, como en la presente tesis.
- **Toapanta (2013).** En su tesis hace el estudio del aislamiento basal, desde el punto de vista estructural y económico, siendo uno de los parámetros que establece el ASCE/SIA 7 – 10, en sus capítulos llegando a la misma conclusión que un sistema de aisladores aparte de proteger las vidas humanas perdura en el tiempo con un adecuado mantenimiento, siendo una propuesta a considerar en el tiempo.

5.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES.

- **(Vergara y Zeballos, 2014).** Demuestra la aparición de roturas plásticas y por consecuencia la rigidez global de la estructura, a si los aisladores en conjunto ayudan a disminuir esas roturas, como en el presente trabajo se muestra la gráfica de respuesta del espectro ante un sismo actuando como un solo sistema.
- **(PALACIOS, 2015).** Demuestra que en grandes terremotos estos dispositivos aumentan el nivel de seguridad y la operatividad de la estructura después de un sismo, que también en la presente tesis queda comprobada, agregándole que la edificación con un adecuado mantenimiento perdurada en el tiempo.

5.1.3 ANTECEDENTES LOCALES.

- **(PAJARES, 2016)**. Concluye que los usos de aisladores reducen el desplazamiento en porcentajes considerables, al igual que en la presente tesis el aislador reduce en manera significativa los desplazamientos.
- **(URRUNAGA, 2014)**. Evalúa la utilización de aisladores en suelos blandos obteniendo buenos resultados, contrastando con los obtenidos en esta edificación a considerar que esta a llevado un estudio de suelos considerable explicado en el ítem 2.7 de la presente tesis.

5.2. CONCLUSIONES

5.2.1 Conclusión General

- El comportamiento de la respuesta de la edificación HOB Ingenieros E.I.R.L, es aceptable pero comparada con el aislador basal RLD, es mucho mejor y asegura la edificación.

5.2.2 Conclusión Especifica.

- Al modelar el sistema estructural sin aislador lo más notable son las secciones de las columnas, también que después de someter a la envolvente del sismo llega a un punto casi de colapso en algunas zonas.
- Al modelar la edificación con aisladores basales LRD presenta una frecuencia lateral de recuperación de $F_{min} = 70.375tn$ y $F_{max} = 308.171tn$, haciendo que la estructura se estabilice en un periodo de tiempo muy corto y garantizando que la estructura no colapse o tenga daños severos.

COMPARACIÓN	
Aislador LRD.	Convencional
Costo elevado	Costo Regular
Requiere un estudio de suelos y geotécnico muy fundamentado.	Requiere estudio de suelos.
Es diseñada para la evacuación y disipar energía de onda sísmica.	Es diseñada para tener el tiempo suficiente para evacuar.
Gran disipador de energía sísmica.	No es un gran disipador de energía.
El mantenimiento del aislador siempre es periódico.	No requiere manteniendo.

5.3. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de suelos más detallados, debido a que en esta tesis se ha diseñado el aislador basal LRD, para un tipo de suelo S1 (norma E.030),
- Se recomienda tener en consideración para este o futuros diseños los capítulos 11 y 12, de la normativa ASCE/SEI 7-10, donde tiene gran importancia el estudio geotécnico de los suelos y ciertas consideraciones según la categoría y el sitio donde se realizará la edificación.

5.4. FUENTES DE INFORMACIÓN

- AGUILAR, ALMAZÁN Y DECHENT (2008). *Aisladores de base elastomérico y FPS*, pg. 1-280
- AGUIAR. (2010). El Mega sismo de Chile y lecciones para el Ecuador, pg. 34-128.
- BOZZO ROTONDO (1999). Diseño sismorresistente de edificios: técnicas convencionales y avanzadas, pg. 251 – 289.
- CANDO (2012). Análisis Sísmico de un Edificio (Análisis Comparativo de Comportamiento y costos con un Edificio Tradicional)”, pg 1-341.
- GUILLÉN (2012). Tendencias Actuales en la Construcción Sismorresistente para edificios de Hormigón Armado, pg 1-259.
- KORSWAGEN (2012). Análisis y Diseño de Estructuras con aisladores Sísmicos en el Perú, pg 1-104.
- MEDINA. (2012)., AISLACIÓN SÍSMICA DE UN EDIFICIO, 2012
- STOJADINOVIC (2011) Technical Considerations for Seismic Isolation of Nuclear Facility Structures, pg1-75.
- TABOADA (2009). Análisis y Diseño de Edificios Asistidos por Computadoras, pg 1-149.
- INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, COMPENDIO DE DESASTE 2006, 4 de febrero de 2018.
- PAJARES, I. M. (2016). Comparación de la respuesta sísmica de puentes viga - losa, con y sin aislador sísmicos en Cajamarca. Cajamarca - Perú.

- PALACIOS, Z. M. (2015). análisis y diseño de un hospital con aisladores elastoméricos en el Perú. Piura.
- URRUNAGA, Y. I. (2014). Análisis dinámico de aisladores de base elastómeros como alternativa de solución para edificaciones con fallas por piso blando. Cajamarca - Perú.