



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Diseño estructural de un edificio multifamiliar reforzado
sísmicamente con aisladores elastoméricos – Arequipa 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA CIVIL

AUTORA:

García Torres, Elva Yesenia (0000-0003-4646-8453)

ASESOR:

Mg. Sinche Rosillo, Fredy (0000-0002-3313-9530)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va principalmente dedicado a mis padres que con su apoyo y paciencia me ayudaron a creer y confiar en cada paso que di en mi formación profesional.

Dedicado también a mis hermanos que siempre estuvieron ahí apoyándome en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en cada paso hacia el logro de mis objetivos y por permitirme haber concluido de forma satisfactoria el presente trabajo de investigación, agradezco también a mis padres que me ayudaron a trazar mi camino hacia un futuro mejor.

Gracias al asesor de tesis Mg. Fredy Sinche Rosillo que con su experiencia y sabiduría me ayudó a direccionar mis conocimientos.

ÍNDICE

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA	13
3.1 Tipo y diseño de investigación	13
3.2 Variables y operacionalización	14
3.3 Población, muestra y muestreo	14
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
3.5 Procedimientos	16
3.6 Método de análisis de datos	24
3.7 Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIONES	68
VII. RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Datos generales de la estructura.	25
Tabla 2.	Características de los materiales.....	26
Tabla 3.	Cargas según norma e-020.....	26
Tabla 4.	Ensayo de granulometría para una profundidad de calicata de 3.20 m.	27
Tabla 5.	Ensayo de granulometría para una profundidad de calicata de 4.80 m.	29
Tabla 6.	Propiedades densimétricas del suelo a una profundidad de 3.20 m.....	31
Tabla 7.	Propiedades de fase del suelo a una profundidad de 3.20 m.....	32
Tabla 8.	Propiedades densimétricas a una profundidad de 4.80 m.	32
Tabla 9.	Propiedades de fase del suelo a una profundidad de 4.80 m.....	32
Tabla 10.	Características sísmicas del suelo.....	33
Tabla 11.	Cuadro de peraltes de losas aligeradas.....	35
Tabla 12.	Cuadro de sección de columnas.....	38
Tabla 13.	Resultados de derivas en xx	43
Tabla 14.	Resultados de derivas en yy	43
Tabla 15.	Resultados de desplazamientos en xx.....	44
Tabla 16.	Resultados de desplazamientos en yy.....	44
Tabla 17.	Resultados fuerzas cortante en xx	44
Tabla 18.	Resultados fuerzas cortante en yy	45
Tabla 19.	Características de los aisladores perimetrales	45
Tabla 20.	Propiedades de los aisladores perimetrales	46
Tabla 21.	Características de los aisladores centrales.....	46
Tabla 22.	Propiedades de los aisladores centrales	46
Tabla 23.	Medidas empleadas en el diseño	47
Tabla 24.	Derivas del edificio multifamiliar con base aislada xx.....	53
Tabla 25.	Derivas del edificio multifamiliar con base aislada yy.....	54
Tabla 26.	Desplazamientos en xx.....	54
Tabla 27.	Desplazamientos en yy.....	54
Tabla 28.	Fuerzas cortantes xx.....	55
Tabla 29.	Fuerzas cortantes yy.....	55
Tabla 30.	Derivas del edificio multifamiliar con base aislada xx.....	58
Tabla 31.	Derivas del edificio multifamiliar con base aislada yy.....	58
Tabla 32.	Desplazamientos en xx.....	58
Tabla 33.	Desplazamientos en yy.....	59
Tabla 34.	Fuerzas cortantes xx.....	59
Tabla 35.	Fuerzas cortantes yy.....	60
Tabla 36.	Resultado edificio de base fija vs. edificio aislado en la dirección XX.....	60
Tabla 37.	Resultados edificio de base fija vs edificio aislado en la dirección YY	61
Tabla 38.	Comparación de distorsiones máximas con sismo XX	61
Tabla 39.	Comparación de cortante basal con sismo XX	61
Tabla 40.	Resultados edificio de base fija vs edificio aislado en la dirección XX	62
Tabla 41.	Resultados edificio de base fija vs edificio aislado en la dirección YY	62
Tabla 42.	Comparación de distorsiones máximas con sismo XX	62
Tabla 43.	Comparación de cortante basal con sismo XX	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Organización de los métodos de defensa sísmica.....	8
Figura 2.	Prototipo matemático de un armazón aislado en dos niveles de libertad.	8
Figura 3.	Aislador con núcleo de plomo (LRB).	9
Figura 4.	Relación del comportamiento sísmico de estructuras.....	10
Figura 5.	Bosquejo del procedimiento de aislamiento sin pisos de sótano.....	11
Figura 6.	Bosquejo del procedimiento de aislamiento con pisos de sótano.	11
Figura 7.	Disminución de la aceleración espectral por adicionar aislamiento sísmico.....	12
Figura 8.	Plano de ubicación.	25
Figura 9.	Ensayo de granulometría para una profundidad 3.20 m.	28
Figura 10.	Ensayo de granulometría para una profundidad 4.80 m.	29
Figura 11.	Ensayo para una calicata de profundidad 3.20 m.	30
Figura 12.	Ensayo para una calicata de profundidad 4.80 m.	31
Figura 13.	Plano de arquitectura para el primer nivel.....	33
Figura 14.	Vista de la elevación frontal del edificio.....	34
Figura 15.	Pre dimensionamiento de losa aligerada.	35
Figura 16.	Cargas de servicio de acuerdo a la norma e-030.....	37
Figura 17.	Determinación del área tributaria de acuerdo a la posición de las columnas.	37
Figura 18.	Vista en elevación del edificio con base fija.	39
Figura 19.	Vista en 3D del edificio con base fija.	40
Figura 20.	Máximo desplazamiento en xx.....	41
Figura 21.	Máximo desplazamiento en yy.....	41
Figura 22.	Cortante máximo en el eje xx.....	42
Figura 23.	Cortante máximo en el eje yy.....	42
Figura 24.	Propiedades técnicas del aislador	47
Figura 25.	Vista en planta del edificio aislado	48
Figura 26.	Vista en elevación del edificio aislado	49
Figura 27.	Vista del edificio con base aislada.	50
Figura 28.	Desplazamiento del edificio aislado xx.....	51
Figura 29.	Desplazamiento del edificio aislado yy.....	51
Figura 30.	Cortante basal del edificio con base aislada sismo en xx.....	52
Figura 31.	Cortante basal del edificio con base aislada sismo en yy.....	53
Figura 32.	Desplazamiento del edificio aislado XX.....	56

Figura 33. Desplazamiento del edificio aislado YY	56
Figura 34. Cortante basal del edificio con base aislada sismo en xx	57
Figura 35. Cortante basal del edificio con base aislada sismo en yy	57
Figura 36. Plano del primer nivel.....	80
Figura 37. Plano del segundo nivel.....	80
Figura 38. Plano del tercer nivel.....	81
Figura 39. Plano del cuarto nivel	81
Figura 40. Plano del quinto nivel	82
Figura 41. Plano del sexto nivel.....	82
Figura 42. Plano en corte del edificio multifamiliar	83
Figura 43. Espectro empleado para el edificio con base fija	84
Figura 44. Espectro empleado para el edificio con base aislada.....	85
Figura 45. Zonas sísmicas	86
Figura 46. Edificio con aisladores incorporados.....	94

RESUMEN

En el trabajo de investigación desarrollado se planteó como objetivo general el determinar la respuesta sísmica del edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos, se empezó realizando los diferentes planos de arquitectura, se hizo el pre dimensionamiento para los elementos estructurales, posteriormente se hizo un estudio de mecánica de suelos para saber qué tipo de suelo le corresponde al edificio.

Se comenzó modelando el edificio como uno convencional con base fija, se registraron los resultados, se hizo una copia del modelo al que se le incluyeron después los dos tipos de aisladores elastoméricos.

La metodología empleada fue cuantitativa, del tipo aplicada, con un nivel explicativo y un diseño experimental cuasi experimental.

Como resultados se tuvo que disminuyen en gran porcentaje tanto en derivas (86%) como en cortante basal (82%), también se pudo notar que en lo que se refiere a desplazamientos estos se incrementaron hasta en un 88%.

Con respecto a momentos se obtuvieron máximos decrementos en la base de 77% con sismo dinámico en XX y un resultado de 75% con sismo dinámico en YY.

Como conclusión más importante incorporando un sistema de aislamiento en una edificación se consigue disminuir las derivas, logrando así que se genere menos daño.

Palabras clave: aislamiento sísmico, aislador núcleo de plomo, cortante basal, derivas, desplazamientos.

ABSTRACT

In the research work carried out, the general objective was to determine the seismic response of the multifamily building reinforced with elastomeric insulators, it began by making the different architectural plans, the predimensioning for the structural elements was made, later it was necessary to do a study of soil mechanics to find out what type of soil corresponds to the building.

The building was modeled as a conventional one with a fixed base, the results were recorded, a copy of the model was made and the lead core insulators were later included.

The methodology used was quantitative, of the applied type, with an explanatory level and an experimental design of the quasi-experimental type.

As a result, they had to decrease in a large percentage both in drifts (86%) and in basal shear (82%), it could also be noted that in terms of displacements, these increased by up to 88%.

With respect to moments, maximum decrements were obtained at the base of 77% with a dynamic earthquake in XX and a result of 75% with a dynamic earthquake in YY.

As the most important conclusion, it is necessary to incorporate an insulation system in a building, it is possible to reduce drifts, thus managing to avoid stiffening a structure.

Keywords: seismic isolation, lead core insulator, basal shear, drifts, displacements.

I. INTRODUCCIÓN

Los sucesos sísmicos pueden agruparse como sismos moderados, sismos severos y hasta sismos catastróficos, cualquiera fuera la magnitud del sismo a lo largo de la historia nos han demostrado que no estamos preparados para recibir estos eventos sísmicos, ya que no contamos con estructuras lo suficientemente reforzadas que puedan garantizarnos la funcionalidad de los edificios después de terremotos severos.

En América latina se tienen diversos casos en los que las estructuras han fallado debido a la presencia de terremotos lo que muchas veces ha generado colapsos estructurales dejando como saldo pérdidas humanas y materiales.

Cuando se hace referencia a pérdidas humanas y materiales se debe disgregar la relación con los mecanismos geológicos que causan los diferentes movimientos telúricos, puesto que realmente si se evidencian este tipo de pérdidas se debe principalmente a los malos diseños estructurales y malas prácticas en la construcción, porque los desastres naturales no se pueden evitar, pero si se puede prevenir fallas en las estructuras y de esta forma evitar colapsos que lleven a pérdidas irrecuperables. (Bertero, 2004).

Prueba de lo mencionado en el párrafo anterior se tiene el terremoto severo que sucedió en Perú y parte norte de Chile el 13 de agosto de 1868 cuya magnitud fue de 9.0 Mw, este movimiento telúrico duro 5 minutos tiempo suficiente para acabar con las precarias viviendas mal construidas y por consiguiente terminar con la vida de muchas personas víctimas no solo de un hecho natural sino que son básicamente víctimas de malas prácticas constructivas (Instituto geofísico del Perú, 2002, p.11).

En Arequipa se presencié un terremoto el 23 de junio de 2001, lo que generó importantes daños para los diferentes departamentos del sur del Perú, y las ciudades de Arica e Iquique en Chile. En Camaná se realizó la evaluación de un total de 42 viviendas dañadas a causa de este terremoto, en la ciudad de Caravelí se evaluaron 38 casas dañadas (Centro nacional de datos geofísicos, 2002).

Como problema general se tiene: ¿Cuál será la respuesta sísmica de un edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos? Los problemas específicos se presentan como: ¿Cuál será el desplazamiento por desempeño del edificio multifamiliar reforzado con aisladores sísmicos?, ¿Qué distorsiones o derivas máximas se obtendrán al reforzar el edificio multifamiliar con aisladores de núcleo de plomo?, ¿Cuál será la cortante basal del edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos?

El objetivo general es determinar la respuesta sísmica del edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos; los objetivos específicos son: Determinar el desplazamiento por desempeño del edificio multifamiliar reforzado con aisladores sísmicos, Determinar las distorsiones máximas del edificio multifamiliar con aisladores de núcleo de plomo, Determinar la cortante basal del edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos.

Por hipótesis general se tiene: El edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos tiene una óptima respuesta sísmica lo que asegura un buen comportamiento estructural.

Como hipótesis específicas se tiene:

El desplazamiento por desempeño del edificio multifamiliar reforzado con aisladores sísmicos no presentará incrementos.

Las distorsiones máximas del edificio multifamiliar con aisladores de núcleo de plomo serán reducidas de manera eficiente.

La cortante basal del edificio multifamiliar es óptima según los resultados obtenidos.

Ver anexo 01(matriz de consistencia).

II. MARCO TEÓRICO

Bustamante (2019) en su tesis “Propuesta de aisladores sísmicos para la disipación de energía en el desempeño estructural por desplazamiento en edificaciones-Unach-chota”, señala que al implementar aisladores sísmicos en edificaciones estos generaron que haya menores desplazamientos horizontales de entre pisos es así como deduce que al incorporarlos en una estructura hacen que esta tenga un incremento en su disipación de energía a su vez que también aumente el amortiguamiento debido básicamente a las características inherentes de los dispositivos de aislamiento.

El empleo de esta tecnología de aislamiento genera mayores periodos en la estructura y disminuye aceleraciones y fuerzas que ocasiona el sismo.

Indica a su vez que al realizar los respectivos análisis de asociación entre el de espectro de capacidad y el espectro de respuesta logro hallar el nivel de desempeño de la edificación con ello alcanzó la ductilidad deseada.

El autor nos recomienda hacer diseños estructurales por desempeño con incorporación de los aisladores sísmicos para así mejorar la respuesta sísmica de nuestros edificios.

Toledo (2017) en su trabajo de investigación “Evaluación del desempeño de un edificio con base fija convencional y con aisladores sísmicos en la base”, indica que al analizar una estructura sísmicamente se debe considerar las incertidumbres en demanda y en capacidad, por lo tanto, es conveniente estudiar el desempeño estructural ante sollicitaciones sísmicas con juicios probabilísticos. Con el pasar de los años instituciones como FEMA y la Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), fueron empleando y fomentando metodologías probabilísticas, dentro del marco conceptual de la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE), que posibiliten la adquisición del desempeño presumible de una estructura por medio de periodos secuenciales de análisis y la inclusión de incertidumbres como peligro, daño estructural, y pérdidas las cuales permitan alcanzar variables continuas para usarlas en la toma de decisiones.

La ingeniería sísmica apoyada en el desempeño permite que el diseñador pueda evaluar y elegir el nivel de desempeño para una determinada estructura para lo cual toma en cuenta los componentes estructurales y no estructurales, cabe indicar que

para esta evaluación se incluye a la parte interesada para que pueda tomar medidas en el costo de reparación, periodo de inactividad de la instalación y en el número de fatalidades.

Medina y Choque (2017) en su tesis “Análisis, comportamiento y diseño en concreto armado de un edificio de 6 niveles con un sótano con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.” Indican que en la definición habitual de diseño sismo resistente se pretende que las construcciones combinen de forma adecuada 3 elementos: resistencia, dureza y ductilidad. La resistencia se adquiere haciendo secciones de considerables tamaños, gran soporte y/o componentes de elevada clase, la dureza se obtiene con técnicas tenaces a cargas colaterales más fuertes, en cuanto a la ductilidad se obtiene al evitar fallas frágiles.

Cuando las derivas y aceleraciones de los pisos son de gran magnitud llegan a presentar daños cruciales en componentes no estructurales y en regímenes secundarios, es así como nace la definición de separación sísmica que ha sido fomentado ya hace más de 100 años, pero en los posteriores 40 años recién han sido propagados y su aplicación se dio en los últimos 15 años. Debido al gran desempeño de los edificios aislados su uso se ha visto incrementado en gran medida.

Yactayo (2019) en su tesis “El factor de altura como determinante en el comportamiento estructural en edificaciones con un sistema de aislamiento sísmico, en el departamento de lima”, indica que en Japón se realizó una investigación en edificaciones de gran altura con métodos de separación sísmica llegando a la resolución de que, si es favorable la construcción de edificaciones de altura notable usando para esto, materiales de elevada resistencia ($f'c = 1000 \text{ kg/cm}^2$ y $fy = 6850 \text{ kg/cm}^2$), y aisladores sísmicos. Evidenciando lo mencionado anteriormente se tiene el caso de edificaciones en los cuales se lograron óptimos resultados tanto en el diseño como en su deliberación sísmica.

Investigadores japoneses en el año 2015 efectuando investigaciones en edificios de gran altura empleando sistemas de aislación llegaron a la resolución de que si es dable edificar rascacielos muy elevados.

Los dispositivos de aislamiento tienen una capacidad diseñada para tolerar entre un 70% y 90% de cortante basal.

A su vez señalan que estos edificios son capaces de resistir eventos sísmicos muy severos, pero que el código japonés los considera como sismos muy raros, ya que no es común que pueda suceder este tipo de terremotos tan fuertes en su país.

Castilla y Montes (2011) en su tesis “Análisis Estructural y Económico de edificios de 30 pisos en la ciudad de Cartagena, mediante análisis estático y empleando aisladores sísmicos”, indican que es factible el empleo de separadores sísmicos en edificios de altura considerable que de esa forma se ve reducida el concreto hasta en un 15%, y en un 29% la cantidad de acero.

A su vez indica también que en inmuebles de 30 niveles con separadores sísmicos se logró aumentar el proceder del edificio frente al acontecimiento de un sismo, con respecto a lo monetario consiguió un ahorro considerable en gastos finales de construcción.

Zambrano (2017) en su tesis “Influencia en la colocación de aisladores sísmicos en el comportamiento estructural de un edificio de cinco plantas”, sostiene que el aislamiento sísmico de un edificio radica en la colocación estratégica de elementos de apoyo en su base que deben tener alta flexibilidad y una baja resistencia para que así logren dividir a la estructura de movimientos propagados por el suelo de fundación. Los aisladores tienen la capacidad de reducir rigideces estructurales y así consiguen periodos fundamentales mayores con respecto a periodos normales.

Sifuentes (2020) en su tesis “Diseño sísmico estructural de un edificio multifamiliar de 12 niveles con aisladores sísmicos, urbanización San Andrés – Trujillo – La Libertad”, indica que es importante realizar un estudio sísmico estructural para así poder evaluar alguna sollicitación sísmica de la estructura y de esa forma tener en cuenta diversos parámetros en su diseño.

Es fundamental tomar en cuenta el alcance portante del suelo para así evitar que la estructura tenga asentamientos y a su vez con eso prevenir que la estructura vaya a fallar o colapsar por un mal diseño estructural.

Es recomendable el uso de separadores elastoméricos de alto amortiguamiento y en especial el de núcleo de plomo, por su alta resistencia vertical y flexibilidad horizontal.

Indica también que en el diseño estructural se debe considerar que los elementos estructurales tengan dimensiones adecuadas evitando rigidizar demasiado la estructura para así obtener una adecuada cortante basal.

Carrera (2018) en su tesis “Evaluación de los parámetros sísmicos con la incorporación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en el edificio José Quiñones Lima - 2018”, indica que el sistema estructural con aisladores sísmicos va a tener un mejor comportamiento frente a un sismo moderado comparado con una estructura convencional sin aisladores; sin embargo, no garantiza una seguridad al 100% si llegara a ocurrir un evento sísmico severo.

Muñoz (2013). “Análisis y Diseño de una Estructura Hospitalaria con Aisladores Sísmicos en la Ciudad de Arequipa”, indica que implementando aisladores sísmicos en una edificación estas ayudan a que mejore su comportamiento estructural porque permiten reducir las aceleraciones del suelo y también se reducen las derivas de entre piso en más de la mitad y esto favorece notablemente el rendimiento sísmico de la estructura.

Benavente y Traverso (2013). “Comparación del análisis y diseño de un edificio de concreto armado de siete pisos con y sin aislamiento en la base”, indican que la implementación de separadores sísmicos en una estructura ayuda a disminuir momentos flectores del 43% al 45%.

Millones (2019) en su tesis “Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles y dos sótanos, con y sin aisladores sísmicos”, indica el costo-beneficio de incluir aisladores en un sistema estructural es que a corto plazo será eficiente a nivel estructural, pero económicamente conllevará un aumento en el costo de la especialidad de estructuras en un 18%.

Indica también que se debe garantizar que el edificio aislado tenga un periodo estructural alejado y por encima del periodo del suelo para que de esta forma no se corra el riesgo de presentar el problema de resonancia sísmica.

Las propiedades mecánicas más relevantes de los aisladores son rigidez horizontal y rigidez de flexión.

Nos da como recomendaciones el modelar la estructura empleando acelerogramas registradas en suelos con mejor precisión con respecto a características geotécnicas del terreno, también indica que se debe buscar usar un método de estudio de mecánica de suelos más profundo es decir que represente con mejor detalle la geotecnia del proyecto, para así alcanzar un mejor estudio.

La ingeniería sísmica ha tenido grandes avances en cuanto a sistemas de protección, es por ello que hoy en día se puede contar con estructuras que tengan mejores respuestas ante sollicitaciones sísmicas, al hablar de reforzamiento sísmico con aisladores elastoméricos estamos precisamente dentro del contexto de sistema de protección sísmica estructural.

Cuando a una estructura se le proporciona un reforzamiento sísmico se consigue que esta tenga un mejor desempeño frente al acontecimiento de un terremoto.

En la actualidad se conoce diversos sistemas de protección para las estructuras frente a sismos, para determinar qué sistema emplear se debe tener en cuenta factores como el tipo de estructura que se hará, el número de pisos que tendrá y sobre todo si se cuenta con los sistemas de protección en el país en el que nos encontremos, ya que traerlos de otro lugar también implicara gastos en el costo final de la obra.

En la **figura 1** se puede apreciar con mejor detalle esta clasificación para un mayor entendimiento.

Figura 1. Organización de los métodos de defensa sísmica.



Fuente: Izaguirre (2007, p.40).

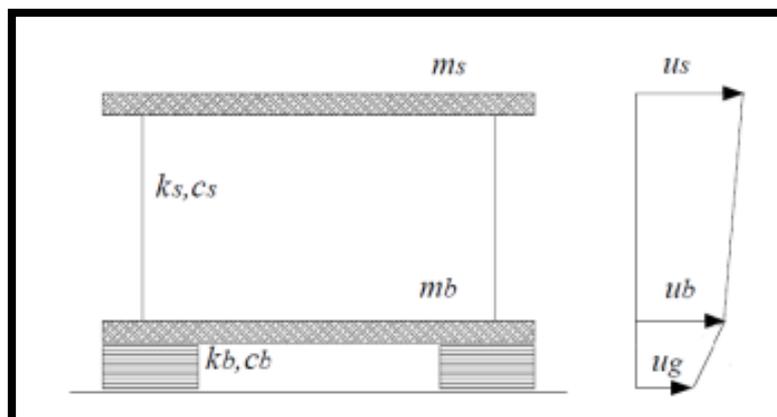
Aisladores elastoméricos

Forman parte de los sistemas pasivos de protección sísmica, se tiene tres tipos de aisladores elastoméricos indicados a continuación:

- Aislador de goma natural (bajo amortiguamiento)
- Aislador de goma con núcleo de plomo (LRB)
- Aislador de goma de alto amortiguamiento (HDR)

Se dice que una estructura está reforzada con aisladores sísmicos, si cuenta con un desacoplamiento dado por lo que se denomina superestructura y sub estructura para esto se tiene una idealización matemática representada en la **Figura 2**.

Figura 2. Prototipo matemático de un armazón aislado en dos niveles de libertad.



Fuente: Naeim y Kelly (1999).

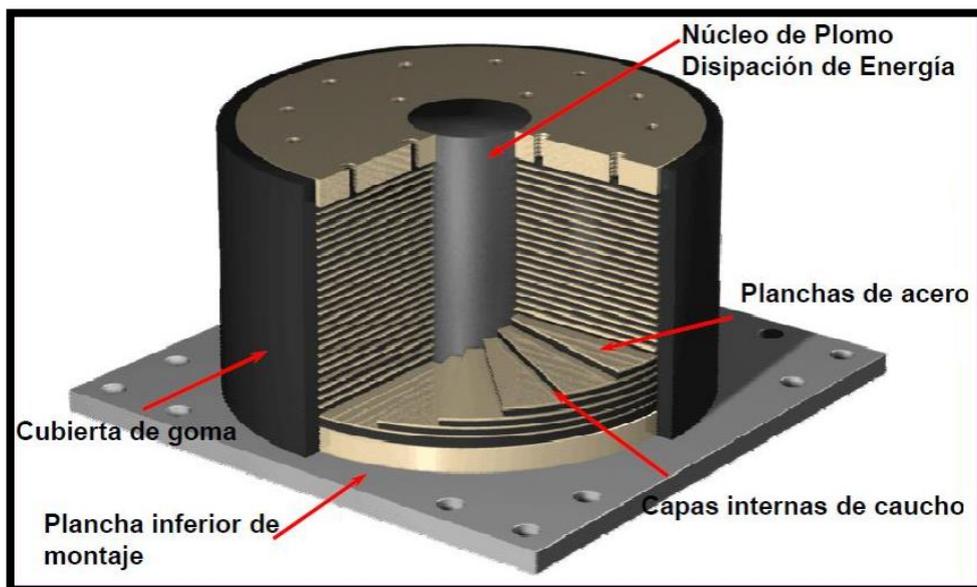
Como se aprecia en la figura se considera dos niveles de libertad dados por la masa de la estructura (m_s) y (m_b) es la masa que se conecta con la aislación representando un diafragma rígido compuesto por losa maciza, estructuras de vigas y peso de los aisladores.

Mientras que (k_s , k_b) son las rigideces y (C_s , C_b) son los amortiguamientos, las rigideces y amortiguamientos corresponden a los pórticos y al aislamiento.

(U_s , U_b , U_g) son vectores de desplazamiento generados por la fuerza sísmica.

El sistema de reforzamiento sísmico con aisladores elastoméricos del tipo núcleo de plomo está conformado por varias láminas planas intercaladas con capas de acero. Los aisladores del tipo elastoméricos pueden ser de sección circular o cuadrada.

Figura 3. Aislador con núcleo de plomo (LRB).

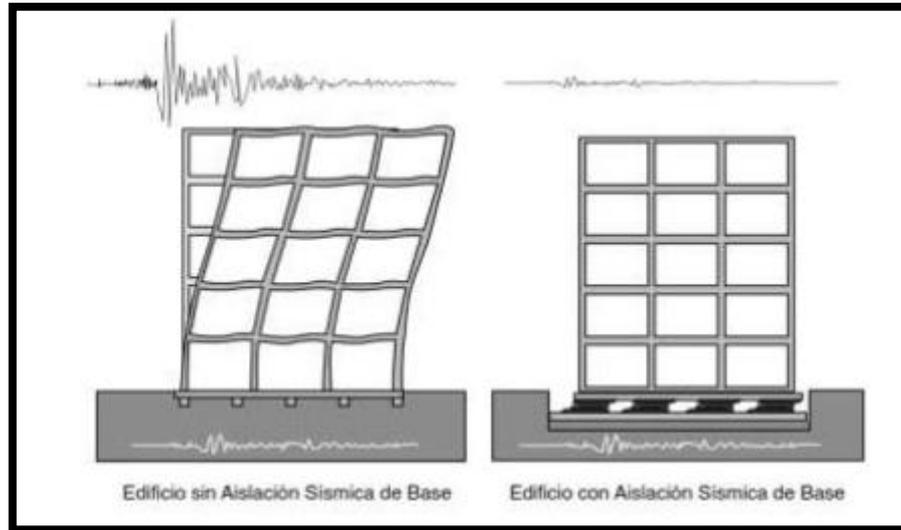


Fuente: catálogo DIS en español.

La aislación sísmica de una estructura consiste en el desacoplamiento de la superestructura de su base con la finalidad de proporcionarle un mejor desempeño sísmico para ello se le incorpora a la subestructura dispositivos desarrollados con capacidades de disipar la energía sísmica y así evitar fallas en la estructura.

Pero también hay la posibilidad de colocar aisladores en los pisos de la superestructura. Con la incorporación de este tipo de dispositivos se logra reducir la rigidez del sistema estructural.

Figura 4. Relación del comportamiento sísmico de estructuras.



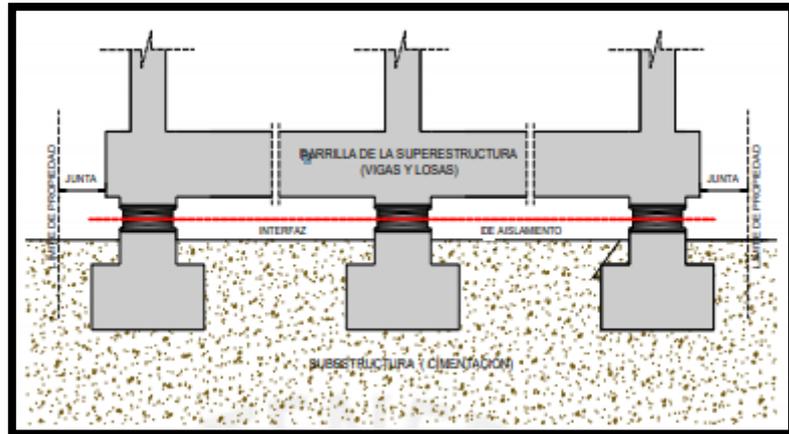
Fuente: cámara chilena de la construcción, 2011.

Un edificio aislado sísmicamente constará de diversos componentes dados a continuación:

- **La subestructura:** propiamente se trata de una estructura localizada debajo de los dispositivos de aislamiento, al presentarse el sismo dicha estructura tendrá el mismo movimiento que el suelo, esta puede estar dada por las cimentaciones del edificio o por pisos ubicados debajo del aislamiento dado en ocasiones por sótanos.
- **La superestructura:** se trata de la estructura ubicada sobre los aisladores sísmicos.
- **Junta de separación sísmica:** es el distanciamiento que debe presentar el edificio aislado con otra vivienda colindante para que de suceder un movimiento sísmico no tengan un impacto entre ellas, la medida establecida para Sudamérica es de 40 cm.
- **Sistema de aislamiento:** es un conjunto formado por 3 componentes antes señalados:

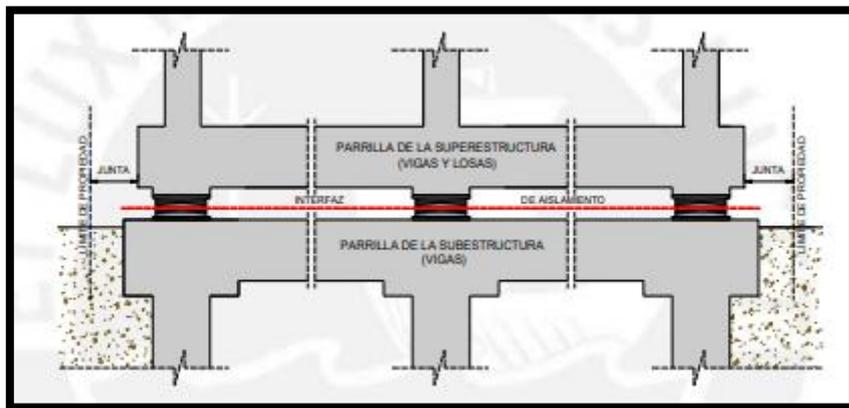
Interfaz de aislamiento
Diafragma o estructura superior
Estructura inferior o cimientos

Figura 5. Bosquejo del procedimiento de aislamiento sin pisos de sótano.



Fuente: Chumpitaz (2017).

Figura 6. Bosquejo del procedimiento de aislamiento con pisos de sótano.



Fuente: Chumpitaz (2017).

Los separadores con núcleo de plomo poseen diversas características mecánicas, dentro de los cuales se puede mencionar al módulo de corte (G_e) que es la dureza que tiene un componente al alabearse bajo fuerzas de corte.

Los separadores con núcleo de plomo se fabrican comúnmente con materiales que tengan un módulo de corte entre 0.4 a 1 MPa para lograr una distorsión del 100%.

Otra propiedad mecánica muy importante para el diseño del aislador es la dureza horizontal (K_H) cuya fórmula está dada por:

$$K_H = \frac{G_e A}{t_r} \dots\dots\dots \text{ec. (1)}$$

En el cual:

G_e = módulo de corte del elastómero

A = Área de la sección de goma

t_r = Altura total de goma del aislador

A su vez se tiene la rigidez vertical (K_v) que está dada por la fórmula:

$$K_v = \frac{E_c A_{\text{acero}}}{t_r} \dots\dots\dots \text{ec. (2)}$$

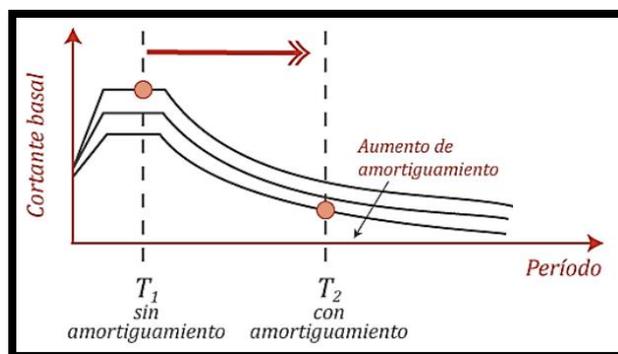
Dado por:

E_c = medida de aplastamiento rápido del compuesto elastómero – acero

A_{acero} = sección de la lámina de acero

La incorporación de aisladores elastoméricos en una estructura logra que el periodo de vibración se incremente, lo que genera una carga sísmica inferior determinada en términos de cortante basal, esto indica que al incrementarse el periodo de la estructura la cortante del edificio disminuye. En la **figura 7** se puede apreciar mejor lo indicado.

Figura 7. Disminución de la aceleración espectral por adicionar aislamiento sísmico.



Fuente: Banco de desarrollo de américa latina.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Según Vara (2015) el enfoque cuantitativo es organizado y preciso para la adquisición de apuntes y afronta más confiablemente conseguir los datos, sin embargo, las resoluciones ofrecerán solo información parcial; puesto que, utiliza una fracción del problema investigado.

La investigación presenta un enfoque cuantitativo porque tiene por objetivo determinar nexos causales que den una posible explicación a un fenómeno observado, también porque se hace uso de la recolección de información para acreditar las hipótesis planteadas.

Según Vara (2015) añadió que el fin del estudio de tipo aplicado es cómodo, puesto que, los productos serán empleados de forma rápida para solucionar la problemática de la realidad, reconociendo su situación y las probabilidades de solución para resolverla de la forma más oportuna en el entorno en que se ubique; esta investigación es del tipo aplicada porque tiene por finalidad dar solución a corto o mediano plazo a los problemas manifestados durante la investigación, a su vez muestra interés en el empleo de nuevos sistemas tecnológicos.

Tiene un nivel explicativo, ya que analiza las causas (edificaciones sin reforzamiento sísmico) y los efectos (colapsos estructurales).

Según el autor G. Arias (2012), define a la investigación experimental como una técnica que radica en imponer a un elemento o grupo de sujetos, a delimitadas restricciones, incentivos o procedimientos (variable independiente), para examinar los resultados o respuestas que se obtienen (variable dependiente).

Esta investigación posee un diseño experimental del tipo cuasi experimental, ya que en la investigación se manipula variables y en el diseño se empleará un software.

Por las menciones previas se planteó una investigación de tipo aplicada, nivel explicativo, con enfoque cuantitativo, diseño experimental del tipo cuasi experimental.

3.2 Variables y operacionalización

Avalos (2014), indica que la operacionalización de variables concibe la disgregación de los componentes que constituyen la organización de la hipótesis y de manera semejante a las variables.

Afirma que la operacionalización de variables es básica, ya que a través de ellas se concretan aspectos y componentes que se quiere medir, tratar y patentar con la finalidad de llegar a resultados.

En esta investigación se tienen dos variables de estudio:

La variable independiente: los aisladores elastoméricos

La variable dependiente: respuesta sísmica del edificio multifamiliar.

En el anexo 02 se tiene la matriz de operacionalización de variables.

3.3 Población, muestra y muestreo

Según Tamayo y Tamayo (1997, p.114), La población se puntualiza como la cabalidad del fenómeno a examinar donde las cifras de población posee una particularidad frecuente la cual se analiza y da inicio a los antecedentes de la investigación.

La población en investigación son todos los edificios reforzados sísmicamente con aisladores elastoméricos.

Según Tamayo, T. Y Tamayo, M (1997, p.38), afirma que la muestra es la porción de sujetos que se coge de la población, para estudiar un fenómeno estadístico.

La muestra es el edificio multifamiliar reforzado sísmicamente con aisladores elastoméricos ubicado en la ciudad de Arequipa.

Según Cuesta (2009), el muestreo no probabilístico es una destreza de muestreo donde las muestras se acopian en un desarrollo que no ofrece a todos los sujetos de la población equivalentes ocasiones de ser escogidos.

El muestreo es no probabilístico empleando la técnica por conveniencia, puesto que la muestra fue seleccionada por estar adecuadamente disponible para investigarla.

Unidad de análisis: m2

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Vara (2015), con relación a eso dijo que la técnica de análisis de datos son implementos provechosos para alcanzar una indagación científica.

Las técnicas e instrumentos empleadas en la investigación son:

Técnicas: la observación directa, análisis documental, fichas de toma de datos, fichas de evaluación estructural, cálculos en el programa Etabs, uso del programa informático Excel.

Instrumentos: fichas técnicas (en blanco), validación de los instrumentos (firmadas por expertos), juicio de expertos, confiabilidad de la recolección de datos.

a. Instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación se utilizó el software Etabs con el que se realizó el modelamiento del sistema estructural dual (pórticos y muros de concreto).

Para la variable dependiente e independiente se emplearon las fichas técnicas de recolección de datos, estas fichas están dadas por:

Ficha 1: propiedades de los aisladores

Ficha 2: comparación de resultados entre edificio de base fija y aislado.

b. Validez de los instrumentos

Según Valderrama (2007), está dado por el grado de evaluación o efecto extraído a través de la utilización de una herramienta.

En la presente investigación para procesar los datos se empleó el programa estructural Etabs el cual facilitara obtener los resultados cercanos al comportamiento de la estructura en estudio, los instrumentos establecidos por fichas serán evaluados y validados por un juicio de expertos.

El juicio de expertos estará dado por los siguientes ingenieros civiles:

Experto 1: Ronal Garcia Torres CIP: 242381

Experto 2: Arturo Bellido Arévalo CIP: 161708

Experto 3: Carlos Quintanilla Palomino CIP: 117763

Ver anexo 03.

c. Confiabilidad de los instrumentos

Valderrama (2007), argumenta que es el grado en el cual un instrumento produce efectos verídicos y consecuentes al mismo sujeto u objeto de investigación.

Para esta investigación se tendrá la licencia de usuario del programa estructural Etabs el cual garantiza la confiabilidad de los resultados.

Ver anexo 04.

3.5 Procedimientos

Los procedimientos empleados en la realización de la presente investigación están dados a continuación:

Actividad 1.-Recolección de datos y estudios básicos

En esta etapa se procedió con el acopio de toda la información que existe sobre el tema investigado, libros, artículos, tesis con temas relacionados, así como también las normas que se seguirán durante las etapas de procesos de diseño del proyecto (e020, e030, e031)

Se verá la configuración estructural del edificio la cual está dada por una forma simple, simétrica y buscando que sea regular, la edificación está planteada como un sistema dual.

Actividad 2.-Realización de planos de arquitectura

En esta etapa se empleó el programa AutoCAD para realizar los planos de arquitectura del edificio multifamiliar tomando en cuenta las partes más importantes que deben contener los planos como son la composición, la escala, el pie de plano, las acotaciones, clave del plano, etc.

Actividad 3.-**Estructuración del edificio**

Se procedió con la estructuración tomando en consideración bases y bibliografía adecuada, verificando que cumpla con las exigencias y criterios de estructuración así como también que tenga simetría, estabilidad, resistencia, rigidez y funcionalidad.

Actividad 4.-**Pre-dimensionamiento y modelado del edificio**

Se hizo el Pre-dimensionamiento de los componentes estructurales considerando la norma e-030.

Se identificó los materiales de cada elemento estructural y luego se hizo el modelamiento del edificio en el programa Etabs. Se corrió el programa para obtener resultados, pasar al Excel y ver las derivas de entrepiso, así corroborar si cumplen con las indicadas por la norma o habría que corregir las dimensiones de los elementos estructurales o de ser necesario rigidizar la estructura con placas.

Actividad 5.-**Diseño de los sistemas de aislación**

Para hacer el diseño de los aisladores se tomó en consideración la norma e-031 (norma de aislamiento sísmico).

Se hizo el cálculo del desplazamiento máximo lateral, luego se halló el desplazamiento máximo total, se calculó la carga axial última, posteriormente se procedió a determinar el diámetro del aislador para continuar con el diámetro del núcleo de plomo, una vez obtenido esos datos necesitamos calcular la altura del aislador, calcular la rigidez de recuperación, con ese dato obtenido se procede al cálculo de la rigidez efectiva, para terminar hallando el amortiguamiento efectivo, todo lo mencionado se realizó en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Actividad 6.-**Diseño del edificio aislado**

Se hizo una copia del edificio con base fija y se procedió a aumentar los pisos necesarios debajo del primer piso de la

estructura los que están conformados por nivel de base, interfaz, capitel y sótano, estos pisos sirvieron para poder incorporar el sistema de protección. Posteriormente, se continuó con definir las dimensiones del capitel el cual necesariamente debe tener medidas mayores a las de las columnas del edificio, ya que estas llevaran entre sí a los aisladores con núcleo de plomo, después se pasó a indicarle al programa las propiedades de los aisladores que fueron calculadas en la actividad 5 para posteriormente pasar a dibujarlos con ayuda del software Etabs, se determinó el uso de dos tipos de aisladores uno para la parte perimetral y otro para la parte central del edificio, pero para ambos tipos se emplearon los aisladores con núcleo de plomo, el análisis sísmico se realizó mediante el método de análisis dinámico (análisis modal espectral), usando espectros de diseño, todo ello empleando el software Etabs. Posteriormente, se hace correr el programa para obtener resultados, y validarlos mediante las fichas técnicas revisadas y firmadas por el respectivo juicio de expertos.

CÁLCULOS REALIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS DIMENSIONES Y OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES CON NÚCLEO DE PLOMO.

- **Factor "z" para sismo máximo (MCE)**

$$Z(MCE) = 0,6 g$$

- **Periodo efectivo inicial**

$$TM = 3 * T$$

$$\text{Dónde: } T = \frac{hn}{ct} \quad hn = 22,7 m \quad y \quad Ct = 60$$

Obteniendo como resultado $TM = 1,17 s$

- **Amortiguamiento efectivo inicial**

BM=20% que es equivalente a 1,5

Este valor se obtiene de una tabla que está disponible en la norma e-031 (aislamiento sísmico).

- **Cálculo del desplazamiento máximo lateral**

$$S_{M1} = Z_{(MCE)} * UCS(g)$$

SM1= 1,80 m

$$D_M = \frac{g * SM1 * TM}{4 * \pi^2 * \beta_M}$$

$$D_M = 0,35m$$

- **Cálculo del desplazamiento máximo total**

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right)$$

$$D_{TM} = 0,40 m$$

- **Carga axial ultima**

$$P_{UMAX} = 1,5 CM + 1,25 CV$$

$$CM = 140,8679$$

$$CV = 20,377$$

$$P_{UMAX} = 236,774 Tn$$

- **Diámetro del aislador**

$$D_A = 1,5 D_{TM}$$

$$D_A = \frac{P_{UMAX}}{8MP_a}$$

$$D_A = 0,608 m$$

- **Cálculo de Qd**

$$Q_d = (3\% \text{ al } 10\%) W_{trib \text{ aisl}}$$

$$Q_d = 6\% \text{ fue el valor considerado}$$

$$W = CM + 0,5CV$$

$$W = 151,057$$

Por lo tanto:

$$Q_d = 9,063 \text{ Tn}$$

- **Diámetro del núcleo de plomo (DIS)**

$$D_N = \sqrt{\frac{4 * 1,10 Q_d}{\pi * \sigma_y}}$$

$$D_N = 0,112 \text{ m}$$

$$A_{\text{plomo}} = \frac{F_y}{\sigma_y}$$

$$F_y = 1,10 Q_d$$

$$F_y = 9,970 \text{ Tn}$$

- **Altura del aislador sin planchas**

$$H_A = \frac{D_{TM}}{2,5}$$

$$H_A = 0,267 \text{ m}$$

- **Cálculo de la rigidez post fluencia K_d**

$$K_d = \frac{\pi}{4} * \frac{(D_A^2 - D_N^2)}{H_A} * G$$

$$K_d = 42,779 \text{ Tn/m}$$

- **Cálculo de la rigidez efectiva**

$$K_{\text{eff}} = \frac{Q_d}{D_{TM}} + K_d$$

$$K_{\text{eff}} = 65,373 \text{ Tn/m}$$

- **Amortiguamiento efectivo**

$$B_{\text{eff}} = \frac{4 Q_d * (D_{TM} - F_y / 10 K_d)}{2 \pi * K_{\text{eff}} * D_{TM}^2}$$

$$B_{\text{eff}} = 0,207$$

- **Cálculo de la rigidez vertical**

$$K_v = \frac{1}{H_A} * (G_p * A_p + G_r * A_r)$$

Dónde:

Gr: módulo de corte del caucho (0,4 MPa).

Gp: módulo de corte del plomo (150 MPa).

Ar = área del caucho.

Ap = área del núcleo de plomo.

$$K_v = 601,981 \text{ Tn/m}$$

- **Cálculo de la rigidez inicial**

$$K_e = 427,790 \text{ Tn/m}$$

- **Cálculo del radio de rigidez post fluencia**

$$K_d/K_e = 0,10$$

CÁLCULOS REALIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS DIMENSIONES Y OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

Se asume un amortiguamiento efectivo del sistema $\beta M = 15\%$ que es equivalente a 1,35

- **Cálculo de la rigidez horizontal de cada aislador para periodo de diseño**

$$K_H = mw^2$$

$$K_H = m * (2\pi/T_D)^2$$

$$CM = 282,148$$

$$CV = 46,972$$

$$W = 282,148 + 0,25 * 46,972 = 293,891 \text{ Tn}$$

$$\text{Por lo tanto } K_H = 1,89 \text{ Tn/cm}$$

- **Cálculo de desplazamiento de diseño**

$$D_D = a/W^2$$

$$D_D = (g * C_y * T_D^2)/(4\pi^2)$$

$$D_D = 26,40 \text{ cm}$$

- **Cálculo de la altura del aislador**

$$H_{\max} = D_D/\gamma_{\max}$$

$$H_{\max} = 13,04 \text{ cm}$$

- **Cálculo del número de capas de caucho**

$$\text{Se asume } n: 12 \quad T_R = \text{espesor caucho } 1,00 \text{ cm}$$

Entonces H: 12

- **Cálculo del área del aislador**

$$A = K_H * H/G_A$$

$$A = 5677,02 \text{ cm}$$

- **Determinación del diámetro exterior**

$$D_{\text{ext}} = \left(\left(4 * \frac{A}{\pi} \right) + D^2 \right)^{1/2}$$

$$D_{\text{ext}} = 85 \text{ cm}$$

- **Determinación de nueva área**

$$A = \pi * D^2/4$$

$$A = 5674,52 \text{ cm}$$

- **Determinación de Carga (50% C. Viva)**

$$p = P_{\max}/A$$

$$p = 590,17 \text{ Tn/m}^2$$

- **Cálculo de la rigidez del aislador**

$$K_H = (G_A * A/H)$$

$$K_H = 189 \text{ Tn/m}$$

- **Cálculo de la rigidez del sistema aislado**

$$K_{\text{TOTAL}} = N * K_H$$

$$K_{\text{TOTAL}} = 45,40 \text{ Tn/cm}^2$$

- **Cálculo del periodo**

$$T = 2 * \pi * (m/K_H)^{1/2}$$

$$T = 2,50 \text{ seg}$$

- **Recalculo del desplazamiento**

$$D_D = (g * C_Y * T^2)/(4\pi^2)$$

$$D_D = 26,25 \text{ cm}$$

$$\frac{DD}{BD} = 19,44 \text{ cm}$$

- **Desplazamiento incluye torsión (Norma)**

$$D_{D\text{norma}} = 1,10 * D_D$$

$$D_{D\text{norma}} = 21,39 \text{ cm}$$

- **Verificación de la distorsión angular**

$$\gamma = D_{D\text{norma}}/H$$

$$\gamma = 178,22$$

- **Cálculo de la rigidez vertical compuesta de cada aislador y del sistema**

$$K_V = E'_C * A/H$$

- **Altura total del aislador Caucho + acero**

$$H_{\text{total}} = 2 * PL_{\text{EXT}} + H + (n - 1) * t_s$$

$$H_{\text{total}} = 20,3 \text{ cm}$$

3.6 Método de análisis de datos

Según Arias (2004, p.99) en este apartado se detallan las variadas intervenciones a las que serán sometidos los datos que se logren.

Teniendo en cuenta lo mencionado por el autor se hace hincapié en que el análisis es cuantitativo, ya que utiliza técnicas estadísticas y matemáticas para el entendimiento de sus variables en estudio.

Para la investigación se usó el programa de cómputo Etabs y los resultados obtenidos se contrastarán con los parámetros normativos desplazamiento, punto de desempeño, cortante basal; los que serán evaluados mediante la estadística descriptiva porque en esta investigación se tiene variables cuantitativas y con una escala dada por la razón.

Es así como se confrontan los resultados con los planeamientos mencionados en el marco teórico, todo ello otorgará una mejor interpretación de la información conseguida en la realidad.

3.7 Aspectos éticos

La investigación se realizó bajo la normativa e-030 y el RNE considerando el programa computacional Etabs, durante el transcurso de realización de la investigación se hizo siguiendo una transparencia y buscando que los resultados tengan veracidad a su vez que sean confiables.

La tesis fue evaluada mediante el programa o herramienta web turnitin obteniendo un porcentaje de similitud válido de 13%.

IV. RESULTADOS

El edificio multifamiliar planteado se encuentra ubicado en el distrito de Yanahuara perteneciente a la ciudad de Arequipa.

El sistema estructural empleado en el diseño del edificio es del tipo dual.

Figura 8. Plano de ubicación.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta información relevante que servirá para tener una visión más cercana con respecto al proyecto planteado.

Tabla 1. Datos generales de la estructura.

UBICACIÓN	Yanahuara
ÁREA DE TERRENO	334.06 m ²
USO	vivienda multifamiliar
TIPO DE SUELO	Arena densa
Nº DE PISOS	6 + 1 sótano
ALTURA DE SÓTANO	2,8 m
ALTURA TÍPICA	3,05 m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Características de los materiales.

PESO CONCRETO ARMADO	2400 Kg/m ³
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	420 Kg/cm ²
ELASTICIDAD DEL CONCRETO	218819,79 Kg/cm ²
FLUENCIA DEL ACERO	4200 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Cargas según norma e-020.

TABIQUERÍA	150 Kgf/m ²
LOSA ALIGERADA H=0.20	300 Kgf/m ²
ACABADOS	100 Kgf/m ²
S/C VIVIENDAS	200 Kgf/m ²
S/C AZOTEA	100 Kgf/m ²

Fuente: Elaboración propia.

Lo primero que se debe conocer en todo proyecto estructural es el tipo de suelo sobre el cual se efectuará la edificación, para ello se realizó un estudio de mecánica de suelos, el cual sirvió para indicarnos con exactitud las características del suelo y así plantear el tipo de cimentación adecuado que deberá tener nuestra estructura, asegurando de esta forma que posteriormente no se tengan problemas de asentamientos, o en el peor de los casos colapsos.

Por lo tanto, para este proyecto se efectuó un estudio de suelos y los ensayos fueron realizados in situ y otros en el laboratorio.

Dentro de los principales ensayos podemos mencionar al ensayo de contenido de agua, el ensayo de densidad en seco, el ensayo de densidad mínima en seco, el ensayo de densidad relativa, el ensayo de granulometría, el de gravedad específica de los sólidos, el ensayo de porosidad, ensayos de límite líquido, ensayo de límite plástico, ensayo de corte directo, etc.

Para este proyecto se hicieron dos calicatas a diversas profundidades para asegurarnos de no tener sorpresas luego porque en ocasiones suele presentarse

que el suelo puede tener variantes a medida que se hace más profunda su excavación.

Se tuvieron calicatas a profundidades de 3.20 m y 4.80 m.

A continuación se detalla parte de la información obtenida del estudio de mecánica de suelos, tomando para ello tres ensayos resaltantes y básicos.

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA, LIMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 4. Ensayo de granulometría para una profundidad de calicata de 3.20 m.

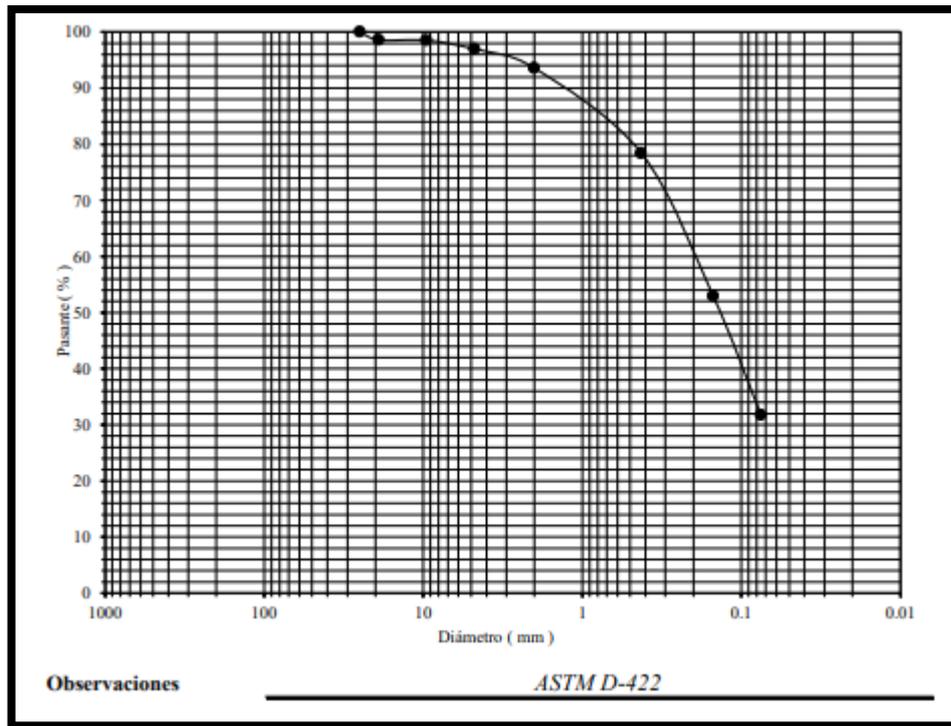
MALLA	DIÁMETRO (mm)	PASANTE (%)	RETENIDO (%)
	25.000	100.00	0.00
$\frac{3}{4}$	19.050	98.59	1.41
3/8	9.525	98.50	1.50
#4	4.760	96.96	3.04
#10	2.000	93.58	6.42
#40	0.425	78.41	21.59
#100	0.150	52.92	47.08
#200	0.075	31.73	68.27

D_{MAX}	25.000
D_{10}	0.05
D_{30}	0.07
D_{60}	0.19
D_{50}	0.14
C_U	4.11
C_c	0.52

WL	NP
WP	NP
IP	NP
SUCS	SM
AASHTO	A-2-6

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Ensayo de granulometría para una profundidad 3.20 m.



Fuente: Elaboración propia.

De la **Tabla N°4** se puede apreciar también el diámetro efectivo, los coeficientes de uniformidad y de curvatura. Dónde:

D_{10} = diámetro correspondiente al 10% de finos

$C_U = D_{60} / D_{10}$ $C_U < 3$ = uniforme

$C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$ $C_c = 1-3$ suelo bien gradado

D_{60} = diámetro en mm correspondiente al 60% de granos finos

D_{30} = diámetro en mm correspondiente al 30% de granos finos

Tabla 5. Ensayo de granulometría para una profundidad de calicata de 4.80 m.

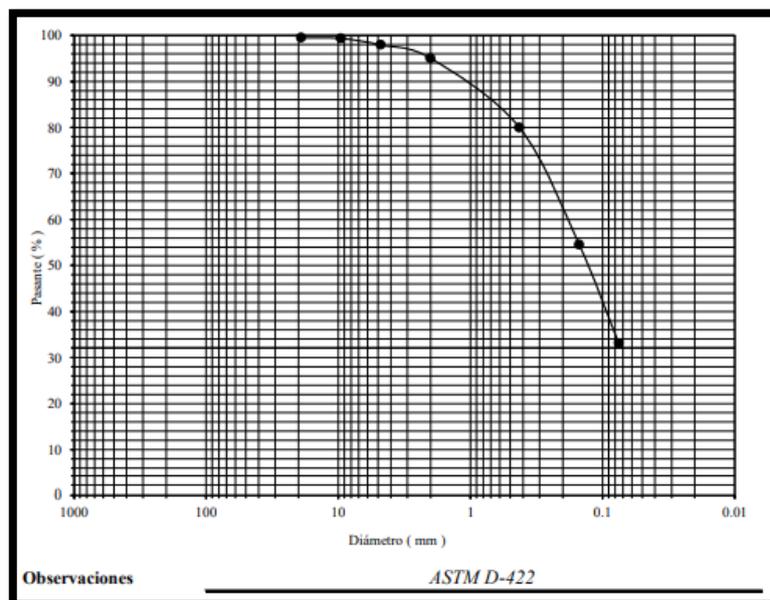
MALLA	DIÁMETRO (mm)	PASANTE (%)	RETENIDO (%)
	25.000	100.00	0.00
¾	19.050	99.46	0.54
3/8	9.525	99.32	0.68
#4	4.760	97.93	2.07
#10	2.000	95.03	4.97
#40	0.425	79.97	20.03
#100	0.150	54.53	45.47
#200	0.075	32.97	67.03

D _{MAX}	25.000
D ₁₀	0.04
D ₃₀	0.07
D ₆₀	0.18
D ₅₀	0.13
C _U	4.88
C _C	0.71

WL	NP
WP	NP
IP	NP
SUCS	SM
AASHTO	A-2-6

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Ensayo de granulometría para una profundidad 4.80 m.

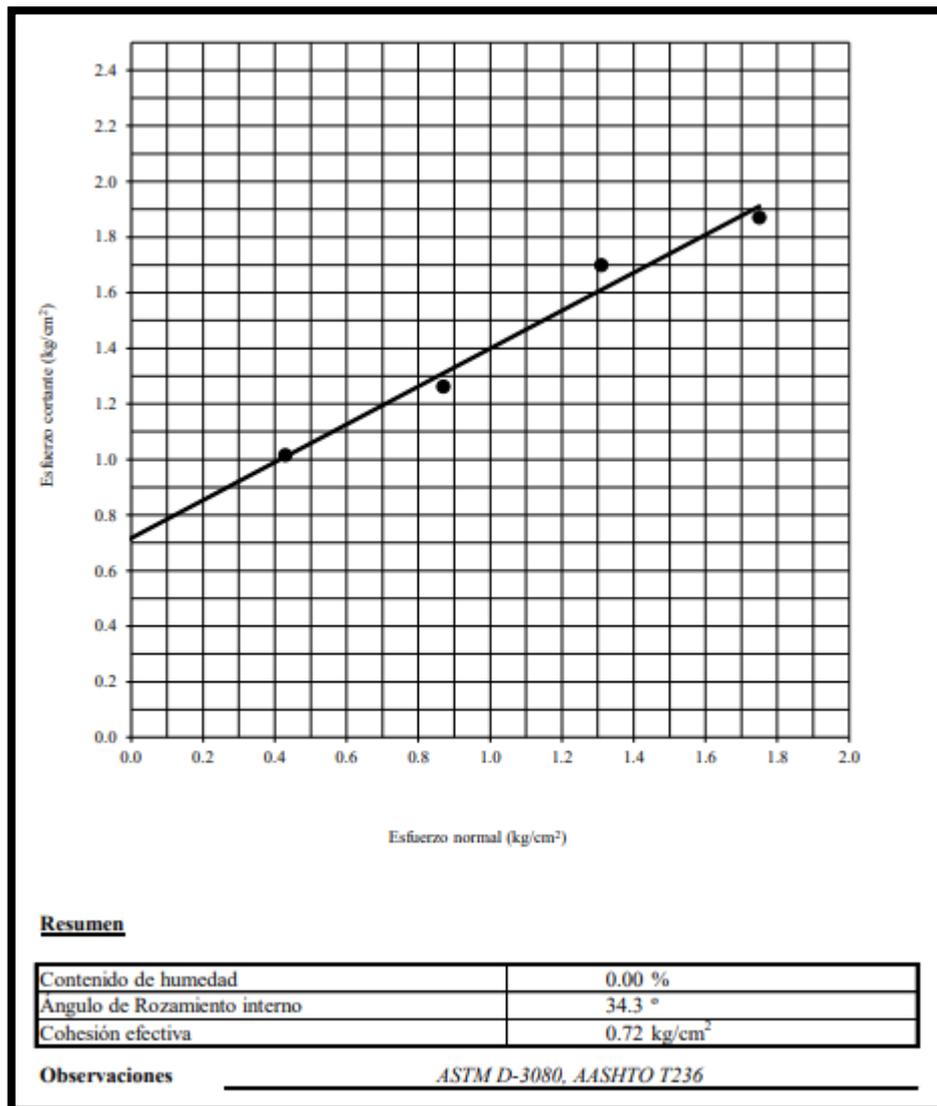


Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

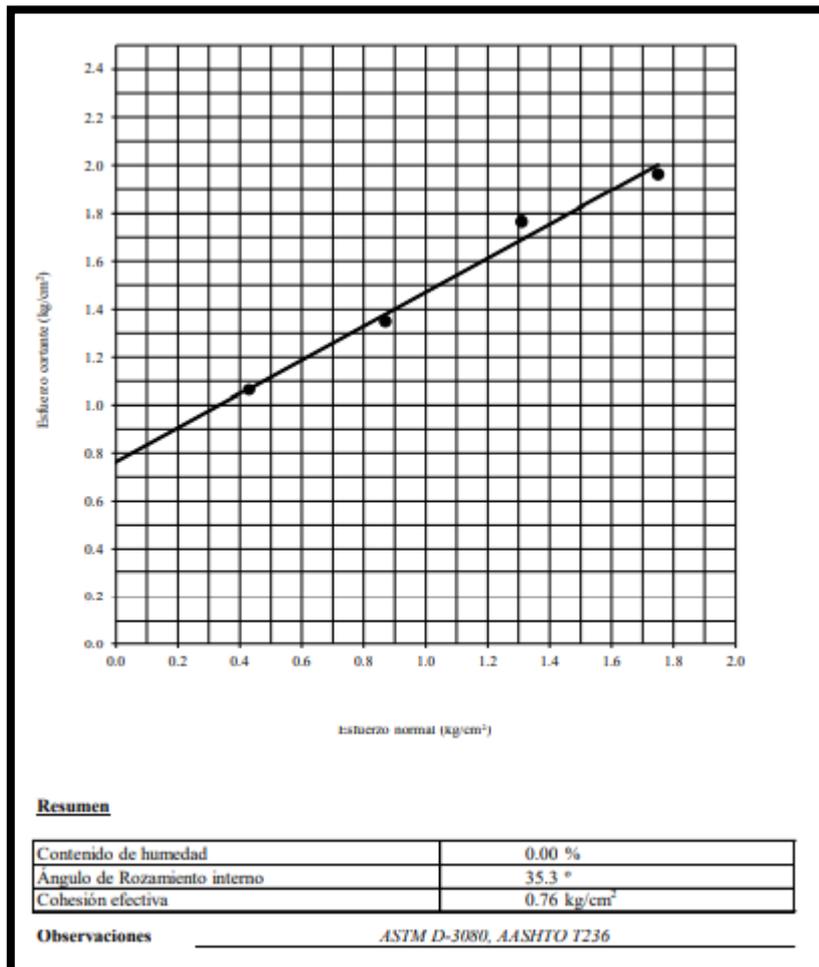
Es importante la realización de este ensayo, ya que es necesario para analizar los problemas que pudieran presentarse en un proyecto determinado, problemas que van relacionados con la estabilidad, capacidad de carga, estabilidad de taludes, etc.

Figura 11. Ensayo para una calicata de profundidad 3.20 m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Ensayo para una calicata de profundidad 4.80 m.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Propiedades densimétricas del suelo a una profundidad de 3.20 m.

Peso específico natural (γ_n)	1.380 g/cm ³
Peso específico en seco (γ_d)	1.221 g/cm ³
Peso específico saturado (γ_{sat})	1.675 g/cm ³
Peso específico sumergido (γ_b)	0.675 g/cm ³
Gravedad específica de los sólidos (G_s)	2.24
Peso específico mínimo en seco ($\gamma_{dmín}$)	0.974 g/cm ³
Peso específico máximo en seco ($\gamma_{dmáx}$)	1.266 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Propiedades de fase del suelo a una profundidad de 3.20 m.

Índice de poros (e)	0.83
Porosidad (n)	45.48%
Contenido de agua (w)	13.05%
Grado de saturación (S)	35.02%
Índice de poros máximo ($e_{m\acute{a}x}$)	1.30
Índice de poros mínimo ($e_{m\acute{i}n}$)	0.77
Porosidad máxima ($n_{m\acute{a}x}$)	56.50%
Porosidad mínima ($n_{m\acute{i}n}$)	43.45%
Densidad relativa (D_r)	87.61%
Límite líquido (W_L)	NP
Límite plástico (W_P)	NP

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Propiedades densimétricas a una profundidad de 4.80 m.

Peso específico natural (γ_n)	1.502 g/cm ³
Peso específico en seco (γ_d)	1.275 g/cm ³
Peso específico saturado (γ_{sat})	1.717 g/cm ³
Peso específico sumergido (γ_b)	0.717 g/cm ³
Gravedad específica de los sólidos (G_s)	2.28
Peso específico mínimo en seco ($\gamma_{d\acute{m}i}n$)	0.988 g/cm ³
Peso específico máximo en seco ($\gamma_{d\acute{m}a}x$)	1.285 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Propiedades de fase del suelo a una profundidad de 4.80 m.

Índice de poros (e)	0.79
Porosidad (n)	44.20%
Contenido de agua (w)	17.82%
Grado de saturación (S)	51.39%
Índice de poros máximo ($e_{m\acute{a}x}$)	1.31
Índice de poros mínimo ($e_{m\acute{i}n}$)	0.78
Porosidad máxima ($n_{m\acute{a}x}$)	56.73%
Porosidad mínima ($n_{m\acute{i}n}$)	43.75%
Densidad relativa (D_r)	97.33%
Límite líquido (W_L)	NP
Límite plástico (W_P)	NP

Fuente: Elaboración propia.

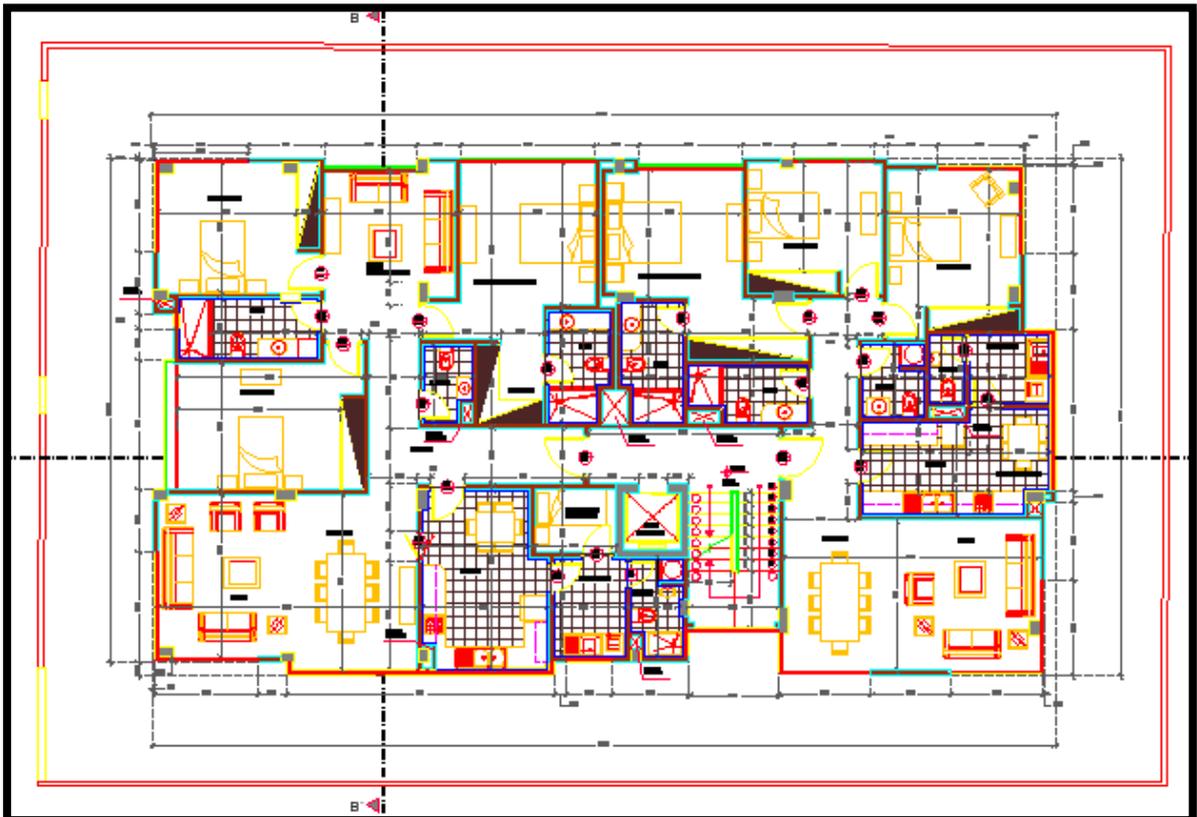
Tabla 10. Características sísmicas del suelo.

Factor de zona	0.35
Perfil del suelo	S2
Factor de ampliación del suelo	1.00
Periodo fundamental de vibración TP	0.6 seg.
Periodo fundamental de vibración TL	2.0 seg.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se puede apreciar el plano de arquitectura el cual fue diseñado en el programa Autocad.

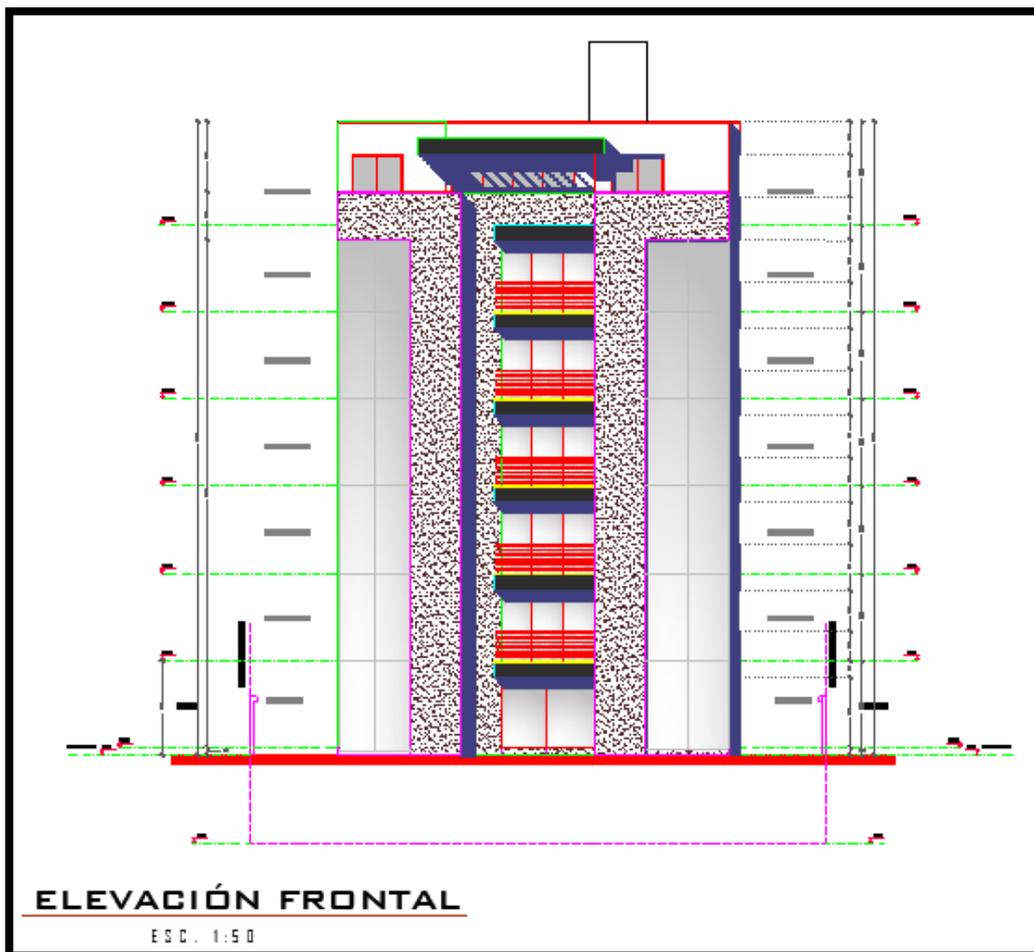
Figura 13. Plano de arquitectura para el primer nivel.



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 13** se visualiza el plano de arquitectura de la primera planta, con sus respectivas acotaciones y ambientes para los cuales serán destinados, en la sección de anexos se tiene los demás planos correspondientes a los pisos superiores del edificio.

Figura 14. Vista de la elevación frontal del edificio.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Figura 14** se aprecia la vista de la elevación frontal del edificio, se puede notar también sus respectivas medidas de entre pisos.

PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para la realización del pre dimensionamiento se tomó en cuenta las normas correspondientes de cargas (e-020), las de diseño sismo resistente (e030), así como también la norma de concreto armado (e-0.60) y se incluyó la revisión bibliográfica. Se contrastó los resultados del pre dimensionamiento con el libro del ING. Antonio Blanco Blasco (estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado) en el que indica de una manera más práctica y didáctica como realizar el pre dimensionamientos de los principales elementos estructurales.

PRE DIMENSIONAMIENTO DE LOSA ALIGERADA

Para el pre dimensionamiento de la losa aligerada se procedió a revisar el plano de arquitectura planteado y buscar la luz menor dado por 5.30 m.

Figura 15. Pre dimensionamiento de losa aligerada.

Longitud x-x = 6,78 m	dirección de vigas principales
Longitud y-y = 5,08 m	dirección de vigas secundarias y losa
$H = \frac{5.08}{25}$	H = 0.20 m

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura mostrada anteriormente se puede notar que se obtuvo una altura de losa igual a: $H=0.20$ m

Tabla 11. Cuadro de peraltes de losas aligeradas.

H(cm)	LUCES (m)
17	$Ln < 4m$
20	$4 \leq Ln < 5.5$
25	$5.5 \leq Ln < 6.5$
30	$6.5 \leq Ln \leq 7.5$

SEGÚN ING. ANTONIO BLANCO BLASCO

Fuente: Elaboración propia.

Al revisar la bibliografía adecuada se pudo contrastar el resultado obtenido de la altura de la losa aligerada.

PRE DIMENSIONAMIENTO DE VIGAS PRINCIPALES Y VIGAS SECUNDARIAS

Se realizó de acuerdo a lo que indica la norma, para hallar la sección de las vigas se empleó las fórmulas:

$$H = \frac{Ln}{12} \qquad b = \frac{H}{2}$$

Dando como resultado las siguientes secciones de vigas:

VIGAS PRINCIPALES									
Descripción	L(m)	H(m)	B(m)	H(real)	B(real)	B/H	Condicion	RESULTADO FINAL	
Eje 1	6,78	0,57	0,30	0,60	0,30	0,50	Ok!!!	30	60

Se tienen vigas principales de V= 30 x 60

VIGAS SECUNDARIAS									
Descripción	L(m)	H(m)	B(m)	H(real)	B(real)	B/H	Condicion	RESULTADO FINAL	
Eje A	5,08	0,42	0,23	0,45	0,25	0,56	Ok!!!	25	55

Se tienen vigas secundarias de V= 25 x 55

PRE DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS

Se realizó el pre dimensionamiento de columnas de acuerdo a lo indicado en la norma y revisando bibliografía adecuada, tomando en cuenta la distribución de las columnas. Se siguieron las fórmulas dadas a continuación:

$$P_{ser} = P(\text{uso}) \times A_{trib} \times N_{pisos}$$

a) Columnas externas o esquineras:

$$Area\ de\ columna = \frac{P(\text{servicio})}{0.35 \times f'c}$$

b) Columnas centrales:

$$\text{Area de columna} = \frac{P(\text{servicio})}{0.45 \times f'_c}$$

Figura 16. Cargas de servicio de acuerdo a la norma e-030.

CARGAS DE SERVICIO DE USO PRACTICO	
CATEGORIA DE LA EDIFICACION	PESO DE SERVICIO PROMEDIO (kg/m ²)
A	1500
B	1250
C	1000

$\frac{B}{L} \geq 0.40$

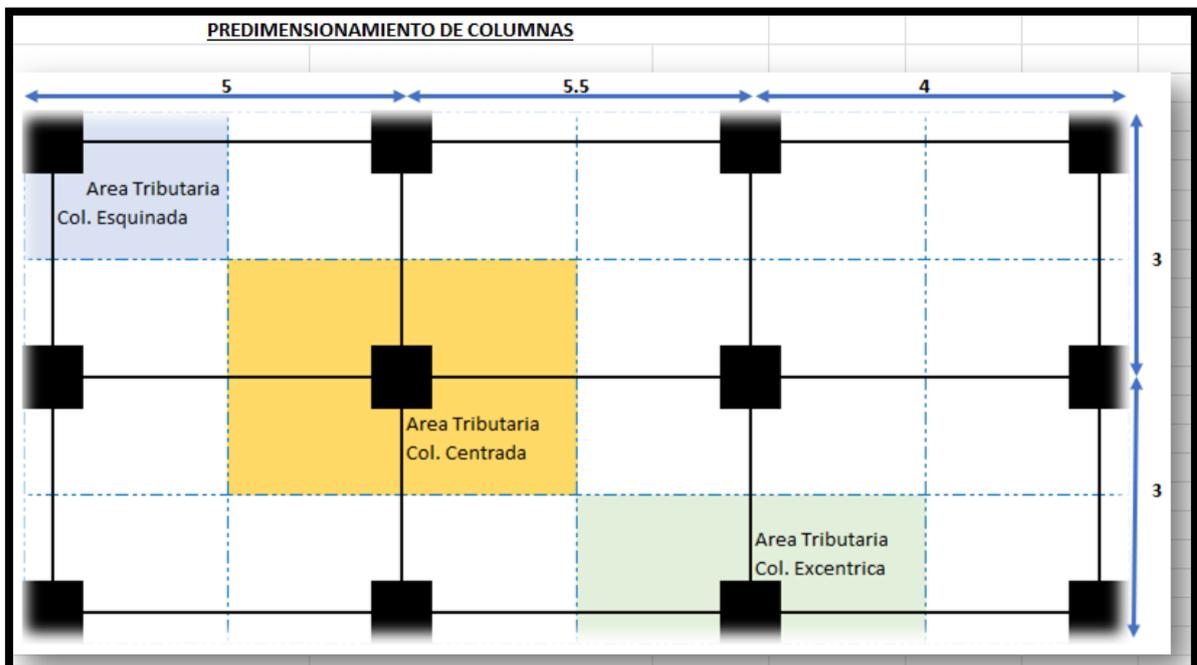
Factor de cumplimiento

Categoría de la edificación según norma peruana E. 030 R.N.E.
 Peso de servicio promedio es estimado de calculos practicos

Fuente: Elaboración propia.

El proyecto es una edificación de uso multifamiliar, por lo tanto, se encuentra dentro de la categoría C y le corresponde un peso de servicio promedio de 1000 Kg/m².

Figura 17. Determinación del área tributaria de acuerdo a la posición de las columnas.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se puede apreciar la distribución de columnas y el nombre que toman para ser determinadas de acuerdo a las fórmulas que indica la bibliografía mencionada.

Se obtuvieron las siguientes secciones de columnas:

Tabla 12. Cuadro de sección de columnas.

Descripción	B(m)	H(m)	A(tributaria)	P(serv) Kg	Ac(cm2)	Col. Cuad.	Col. Cir.	Col. Rectangular		Verif.	
						BXL	D	B	L	B/L	
C-1	1,80	1,82	3,28	32760	445,71	25	25	30	15	2,00	Ok
C-2	3,58	1,82	6,52	65156	886,48	30	35	30	30	1,00	Ok
C-3	4,41	1,82	8,03	80262	1092,00	35	40	30	40	0,75	Ok
C-4	4,87	1,82	8,86	88634	1205,90	35	40	30	45	0,67	Ok
C-5	5,37	1,82	9,77	97734	1329,71	40	45	30	45	0,67	Ok
C-6	3,13	1,82	5,70	56966	775,05	30	35	30	30	1,00	Ok
C-7	1,80	4,5	8,10	81000	1102,04	35	40	30	40	0,75	Ok
C-8	1,80	4,9	8,82	88200	1200,00	35	40	30	40	0,75	Ok
C-9	1,80	2,22	4,00	39960	543,67	25	30	30	20	1,50	Ok
C-10	3,58	2,56	9,16	91648	1246,91	40	40	30	45	0,67	Ok
C-11	4,62	2,56	11,83	118272	1609,14	45	50	30	55	0,55	Ok
C-12	3,46	4,9	16,95	169540	2306,67	50	55	35	70	0,50	Ok
C-13	2,63	13,88	18,30	183000	2489,80	50	60	35	75	0,47	Ok
C-14	4,79	4,37	11,05	110500	1503,40	40	45	30	55	0,55	Ok
C-15	3,46	2,38	8,23	82348	1120,38	35	40	30	40	0,75	Ok
C-16	3,32	4,45	14,77	147740	2010,07	45	55	35	60	0,58	Ok
C-17	3,07	4,44	13,63	136308	1854,53	45	50	30	65	0,46	Ok
C-18	3,58	4,5	16,11	161100	1704,76	45	50	30	60	0,50	Ok
C-19	4,41	4,5	19,85	198450	2100,00	50	55	35	60	0,58	Ok
C-20	4,87	6,72	32,73	327264	3463,11	60	70	40	90	0,44	Ok
C-21	5,37	4,42	23,74	237354	2511,68	55	60	35	75	0,47	Ok
C-22	3,58	4,9	17,54	175420	1856,30	45	50	30	65	0,46	Ok
C-23	6,62	4,88	32,31	323056	3418,58	60	70	40	90	0,44	Ok
C-24	8,28	4,52	37,43	374256	3960,38	65	75	45	90	0,50	Ok

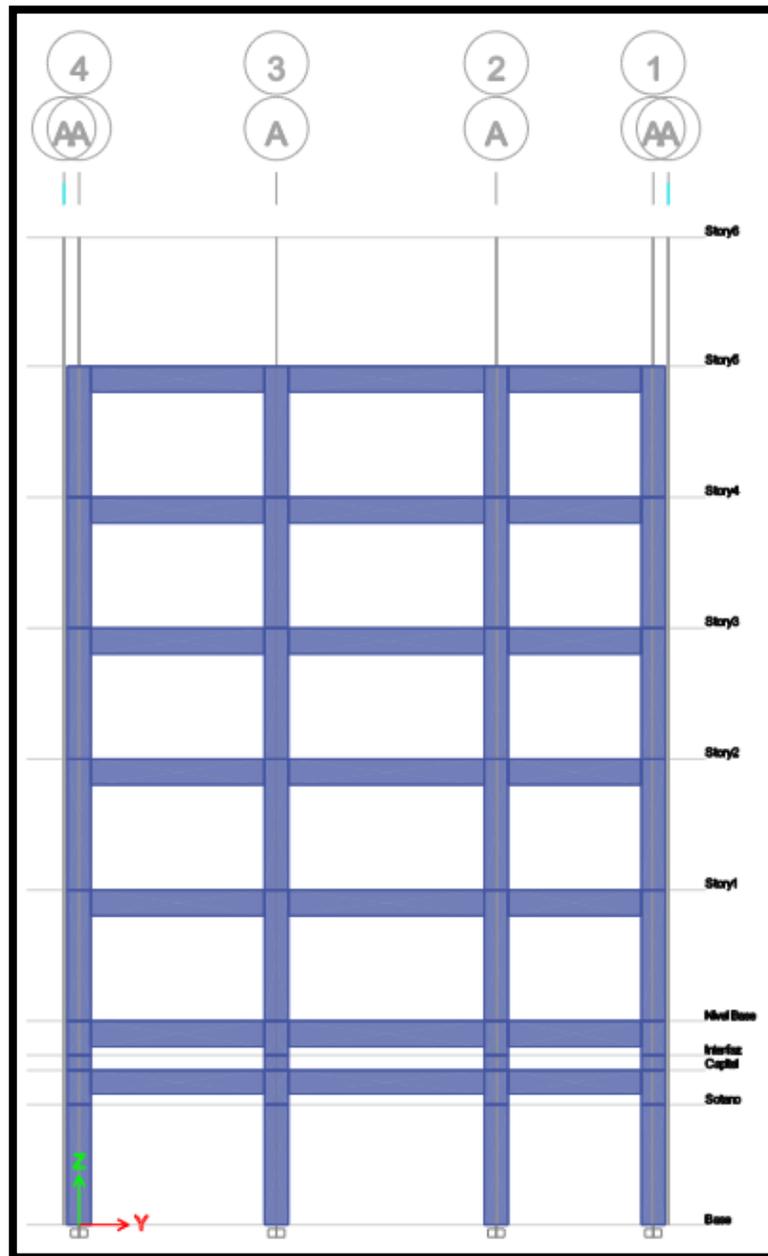
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se muestra los resultados para la estructura de base fija, la cual se diseñó con el pre dimensionamiento de elementos estructurales realizados previamente.

En la siguiente figura se puede apreciar la vista en elevación para el edificio con base fija.

RESULTADOS PARA EDIFICIO CON BASE FIJA

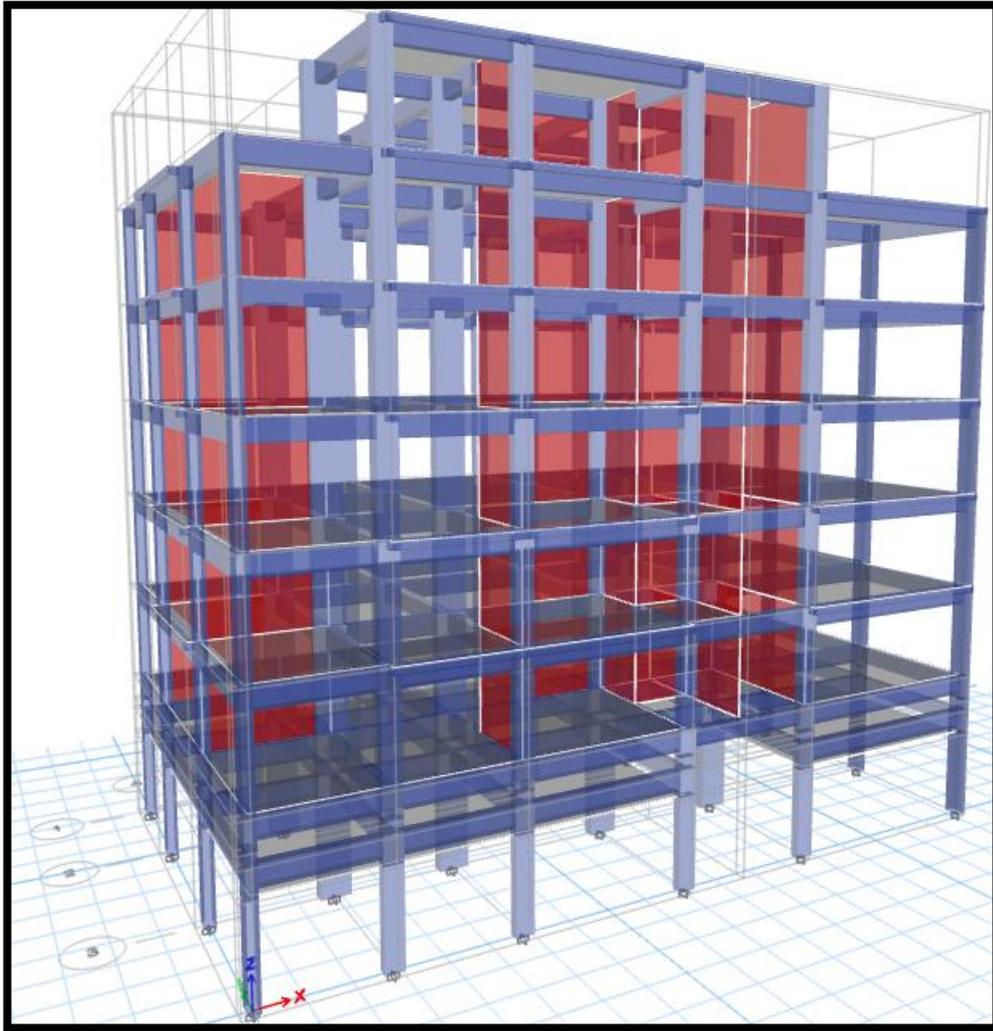
Figura 18. Vista en elevación del edificio con base fija.



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 18** se visualiza la elevación del edificio con base fija. Como se aprecia en el gráfico entre el sótano y el nivel base hay una separación la cual está destinada para los aisladores, pero se le puso columnas con la finalidad de que en el siguiente modelo que se hará con aisladores no haya o se presuma que varían los resultados solo por ese piso que se le agregará.

Figura 19. Vista en 3D del edificio con base fija.



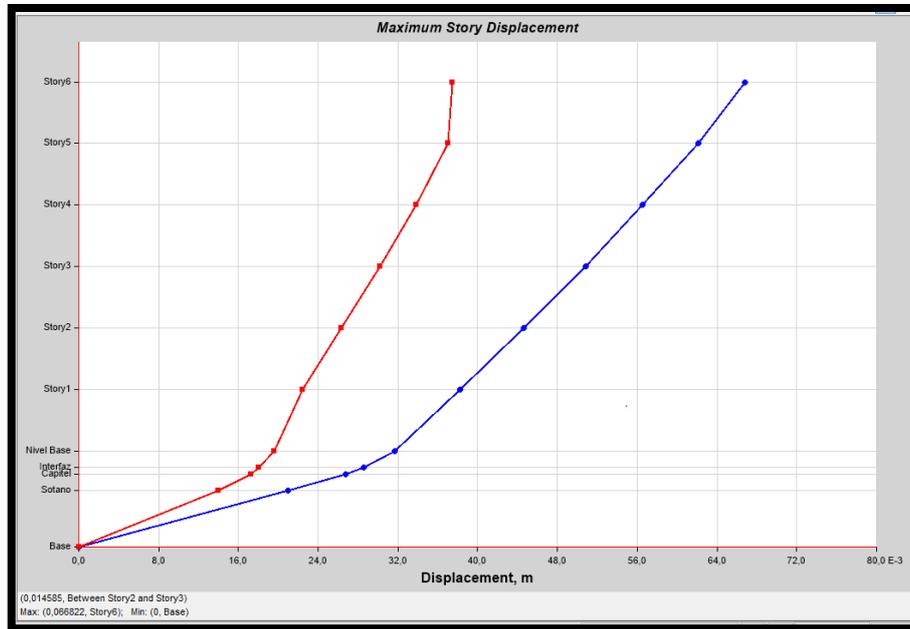
Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 19** se visualiza la vista del edificio con base fija empotrada en 3D.

A continuación se presentan los resultados más importantes del modelado del edificio con base fija en el software Etabs.

RESULTADOS PARA EL EDIFICIO CON BASE FIJA DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

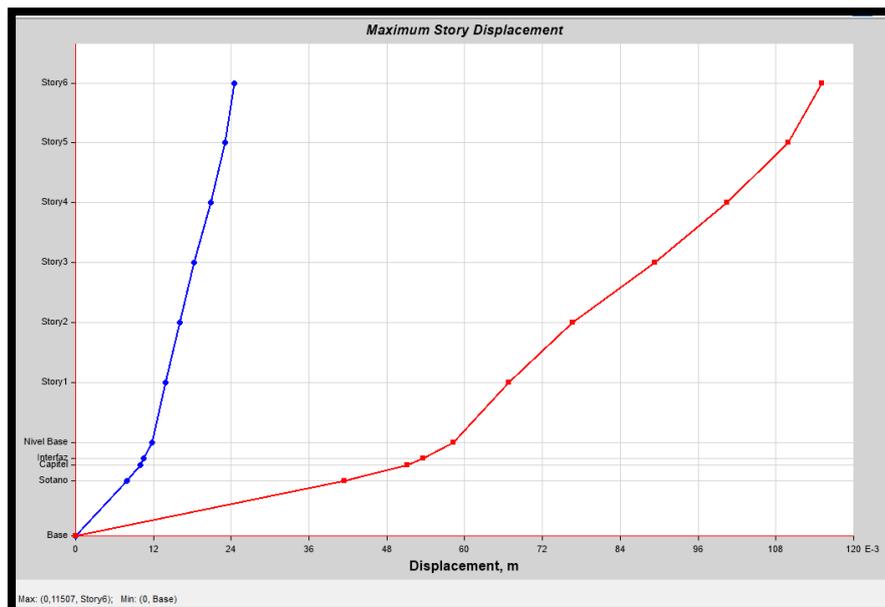
Figura 20. Máximo desplazamiento en xx



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 20**, se puede notar el valor máximo del desplazamiento en el eje xx que es igual a 0.067 m o 6.7 cm. Y está dado en el piso 6 del edificio.

Figura 21. Máximo desplazamiento en yy

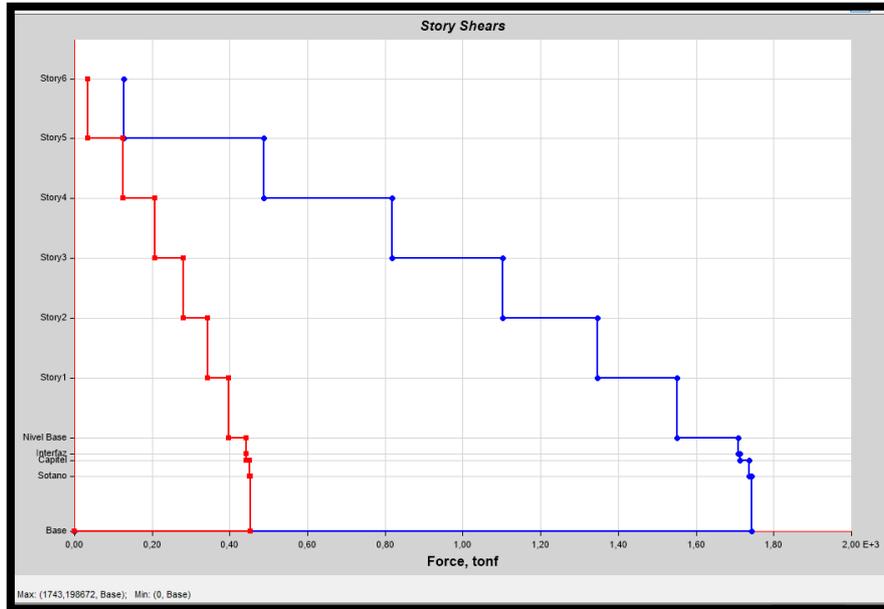


Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 21**, se puede notar el valor máximo del desplazamiento en el eje yy que es igual a 0.115 m o 11.5 cm. Y está dado en el piso 6 del edificio.

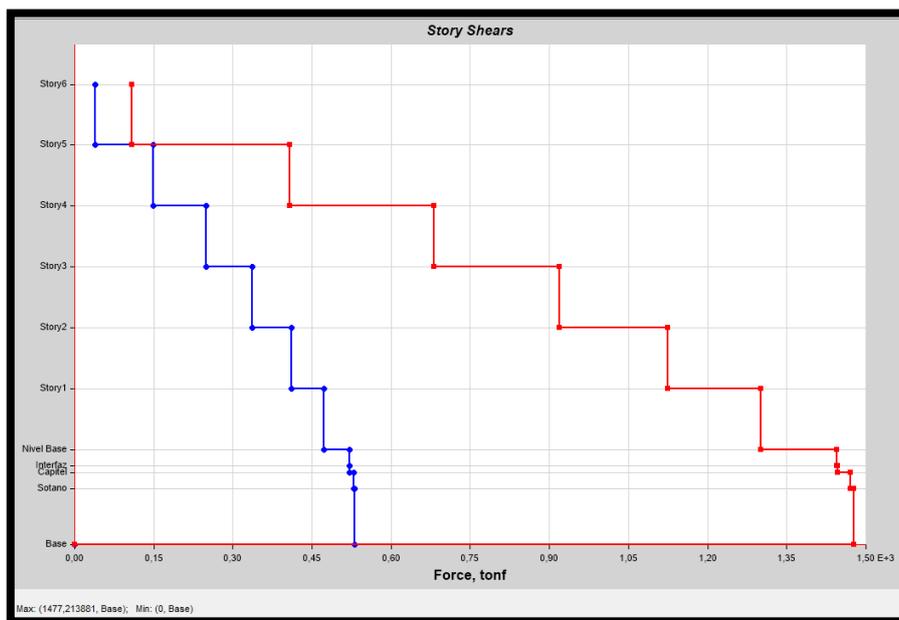
CORTANTES MÁXIMOS

Figura 22. Cortante máximo en el eje xx



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Cortante máximo en el eje yy



Fuente: Elaboración propia.

En las figuras, se aprecia el cortante máximo obtenido en el eje xx equivalente a 1743.20 Tn. Y en yy es igual a 1477.21 en ambos casos se da en la base del edificio.

Tabla 13. Resultados de derivas en xx

TABLE: S	Drifts								DERIVAS	
Story6	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,001579	31	16,73	13,27	23	0,00237
Story6	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,001026	56	16,73	0	23	0,00154
Story5	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,00216	32	23,51	13,27	20	0,00324
Story5	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,001248	4	23,51	-0,35	20	0,00187
Story4	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,002451	32	23,51	13,27	16,95	0,00368
Story4	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,001405	60	0	0	16,95	0,00211
Story3	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,002653	32	23,51	13,27	13,9	0,00398
Story3	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,001582	60	0	0	13,9	0,00237
Story2	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,002679	32	23,51	13,27	10,85	0,00402
Story2	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,001642	60	0	0	10,85	0,00246
Story1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,002494	32	23,51	13,27	7,8	0,00374
Story1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,001521	60	0	0	7,8	0,00228
Nivel Base	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,039631	4	23,51	-0,35	4,75	0,05945
Nivel Base	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,02435	4	23,51	-0,35	4,75	0,03653
Interfaz	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,076373	5	3,48	-0,35	3,95	0,11456
Interfaz	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,049295	2	23,86	9,64	3,95	0,07394
Capitel	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,00746	56	16,73	0	3,6	0,01119
Capitel	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,004129	2	23,86	9,64	3,6	0,00619
Sotano	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	X	0,007428	60	0	0	2,8	0,01114
Sotano	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,004943	55	23,51	0	2,8	0,00741

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Resultados de derivas en yy

TABLE: S	Drifts								DERIVAS	
Story6	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,000662	31	16,73	13,27	23	0,00099
Story6	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,003207	56	16,73	0	23	0,00481
Story5	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,000769	32	23,51	13,27	20	0,00115
Story5	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,003494	4	23,51	-0,35	20	0,00524
Story4	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,000922	32	23,51	13,27	16,95	0,00138
Story4	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,003702	60	0	0	16,95	0,00555
Story3	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,00109	32	23,51	13,27	13,9	0,00164
Story3	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,004185	60	0	0	13,9	0,00628
Story2	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,001208	32	23,51	13,27	10,85	0,00181
Story2	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,004487	60	0	0	10,85	0,00673
Story1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,001164	32	23,51	13,27	7,8	0,00175
Story1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,004363	60	0	0	7,8	0,00654
Nivel Base	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,014664	4	23,51	-0,35	4,75	0,02200
Nivel Base	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,072535	4	23,51	-0,35	4,75	0,10880
Interfaz	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,028409	5	3,48	-0,35	3,95	0,04261
Interfaz	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,146184	2	23,86	9,64	3,95	0,21928
Capitel	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,002703	57	12,32	0	3,6	0,00405
Capitel	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,012224	54	23,51	4,56	3,6	0,01834
Sotano	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	X	0,002759	60	0	0	2,8	0,00414
Sotano	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Y	0,014729	55	23,51	0	2,8	0,02209

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Resultados de desplazamientos en xx

TABLE: f	phragm C	ter Of Mass	placements			
Story6	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0633
Story5	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0588
Story4	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0533
Story3	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0471
Story2	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0405
Story1	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0338
Nivel Base	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0267
Interfaz	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0000
Capitel	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0236
Sotano	D1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max		0,0173

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Resultados de desplazamientos en yy

TABLE: f	phragm C	ter Of Mass	placements				
Story6	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,020062	0,109873	
Story5	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,018412	0,101345	
Story4	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,016643	0,092296	
Story3	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,014734	0,082173	
Story2	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,012665	0,071478	
Story1	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,010552	0,060635	
Nivel Base	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,008199	0,050742	
Interfaz	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0	0	
Capitel	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,00775	0,046156	
Sotano	D1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	0,005279	0,035742	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Resultados fuerzas cortante en xx

TABLE: S	ry Forces						
Story6	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	127,9059	
Story6	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	127,9059	
Story5	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	487,874	
Story5	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	487,874	
Story4	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	817,0205	
Story4	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	817,0205	
Story3	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	1102,8361	
Story3	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	1102,8361	
Story2	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	1346,6096	
Story2	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	1346,6096	
Story1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	1551,3807	
Story1	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	1551,3807	
Nivel Base	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	1709,2567	
Nivel Base	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	1709,2567	
Interfaz	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	1712,2598	
Interfaz	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	1712,2598	
Capitel	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	1736,2839	
Capitel	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	1736,2839	
Sotano	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	1743,1987	
Sotano	SISMO XX R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	1743,1987	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Resultados fuerzas cortante en yy

TABLE: S	yy Forces						
Story6	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	39,0694	108,4858
Story6	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	39,0694	108,4858
Story5	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	148,896	407,8522
Story5	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	148,896	407,8522
Story4	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	249,1821	680,8356
Story4	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	249,1821	680,8356
Story3	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	336,1858	918,5632
Story3	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	336,1858	918,5632
Story2	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	410,3559	1123,8782
Story2	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	410,3559	1123,8782
Story1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	472,6433	1300,8009
Story1	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	472,6433	1300,8009
Nivel Base	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	520,6597	1444,3296
Nivel Base	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	520,6597	1444,3296
Interfaz	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	521,5737	1447,1609
Interfaz	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	521,5737	1447,1609
Capitel	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	528,8865	1470,3292
Capitel	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	528,8865	1470,3292
Sotano	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Top	0	530,9917	1477,2139
Sotano	SISMO YY R=2	LinRespSpec	Max	Bottom	0	530,9917	1477,2139

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CÁLCULOS PARA DETERMINAR LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS AISLADORES.

AISLADORES PERIMETRALES

Tabla 19. Características de los aisladores perimetrales

CARACTERÍSTICAS	AISLADOR	UNIDADES
Número de Aisladores del edificio	16	Unid.
Diámetro del Aislador	608	mm
Altura del aislador sin planchas	267	mm
diámetro del Núcleo de plomo	112	mm
Número de capas de caucho N	22	Unid.
Altura del aislador H	343	mm
Espesor de la pancha de anclaje	38	mm

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Propiedades de los aisladores perimetrales

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Desplazamiento máximo lateral (DM)	0,35	m
Desplazamiento máximo total (DTM)	0,40	m
Carga axial última (Pumax)	236,774	Tn
Resistencia lateral (Qd)	9,063	Tn
Rigidez post fluencia (Kd)	42,779	Tn/m
Rigidez inicial (Keff)	65,373	Tn/m
Rigidez vertical (Kv)	601,981	Tn/m
Amortiguamiento efectivo (Beff)	0,21	T.s/m
Rigidez no lineal (Ke)	420,790	Tn/m
Fluencia (Fy)	9,970	Tn
Radio de rigidez post fluencia (Kd/Ke)	0,10	

Fuente: Elaboración propia.

AISLADORES CENTRALES

Tabla 21. Características de los aisladores centrales

CARACTERISTICAS	AISLADOR	UNIDADES
Número de Aisladores del edificio	8	Unid.
Diámetro del Aislador	867	mm
Altura del aislador sin planchas	267	mm
diámetro del Núcleo de plomo	159	mm
Número de capas de caucho N	22	Unid.
Altura del aislador H	343	mm
Espesor de la pancha de anclaje	38	mm

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Propiedades de los aisladores centrales

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Desplazamiento máximo lateral (DM)	0,35	m
Desplazamiento máximo total (DTM)	0,40	m
Carga axial última (Pumax)	481,937	Tn
Resistencia lateral (Qd)	18,338	Tn
Rigidez post fluencia (Kd)	87,092	Tn/m
Rigidez inicial (Keff)	132,807	Tn/m
Rigidez vertical (Kv)	1218,530	Tn/m
Amortiguamiento efectivo (Beff)	0,21	Tn.s/m
Rigidez no lineal (Ke)	870,919	Tn/m
Fluencia (Fy)	20,172	Tn
Radio de rigidez post fluencia (Kd/Ke)	0,10	

Fuente: Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS FINALES DE LOS AISLADORES

Aisladores a solicitar al fabricante (DIS)

Para el aislamiento de la estructura se emplearon dos tipos de aisladores de núcleo de plomo uno para la parte perimetral del edificio y el otro para la parte central, los cuales presentaron las siguientes características adaptadas al catálogo proporcionado por la empresa DIS.

Figura 24. Propiedades técnicas del aislador

TAMANO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Díámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Díámetro del plomo, D _p (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (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
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

Fuente: Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES EMPLEADOS

Tabla 23. Medidas empleadas en el diseño

AISLADOR	DIÁMETRO AISLADOR (mm)	ALTURA AISLADOR (mm)	NUMERO DE CAPAS CAUCHO	DIÁMETRO DEL PLOMO (mm)
Tipo A	650	350	22	120
Tipo B	900	350	22	165

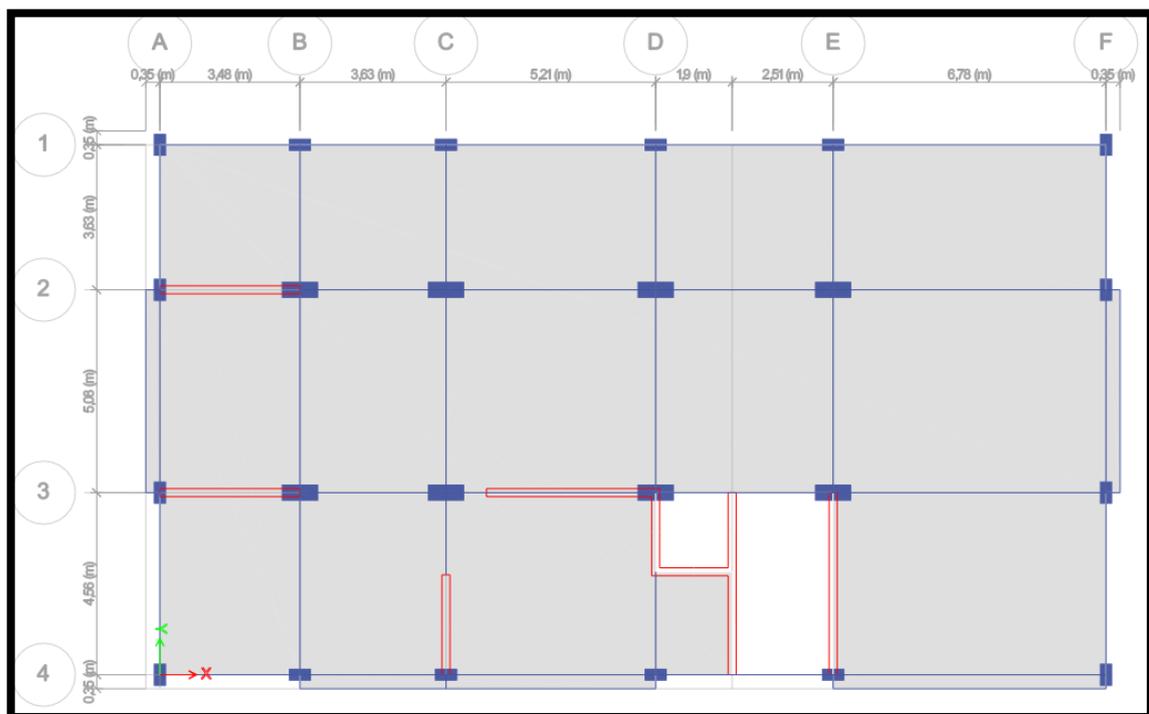
Fuente: Elaboración propia.

Se decidió emplear dos tipos de aisladores diferenciados por el diámetro de cada uno, los de mayor diámetro están ubicados en la parte central porque según el pre dimensionamiento es la zona más crítica, ya que soportara más peso.

Como se puede apreciar dichos diámetros escogidos se adaptaron al catálogo de la marca DIS, ya que se tiene buenas referencias de esa empresa por ser reconocidos por los diferentes servicios que brindan tanto en sistemas de aislamiento como en otros sistemas de protección sísmica.

RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA ESTRUCTURA DE BASE AISLADA

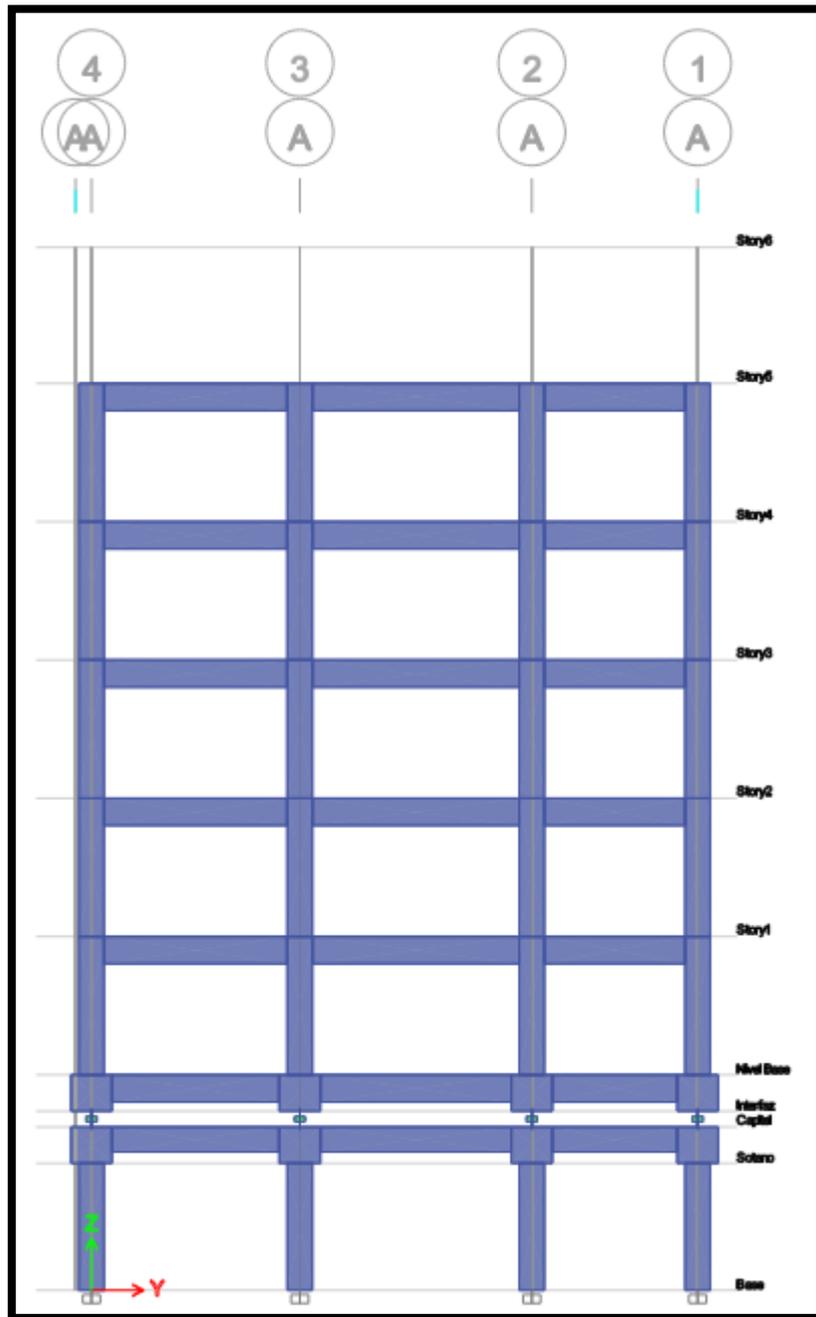
Figura 25. Vista en planta del edificio aislado



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 25**, se puede observar la vista en planta del edificio aislado, se nota también que las columnas centrales son más robustas, cada elemento estructural se modeló de acuerdo al pre dimensionamiento obtenido inicialmente.

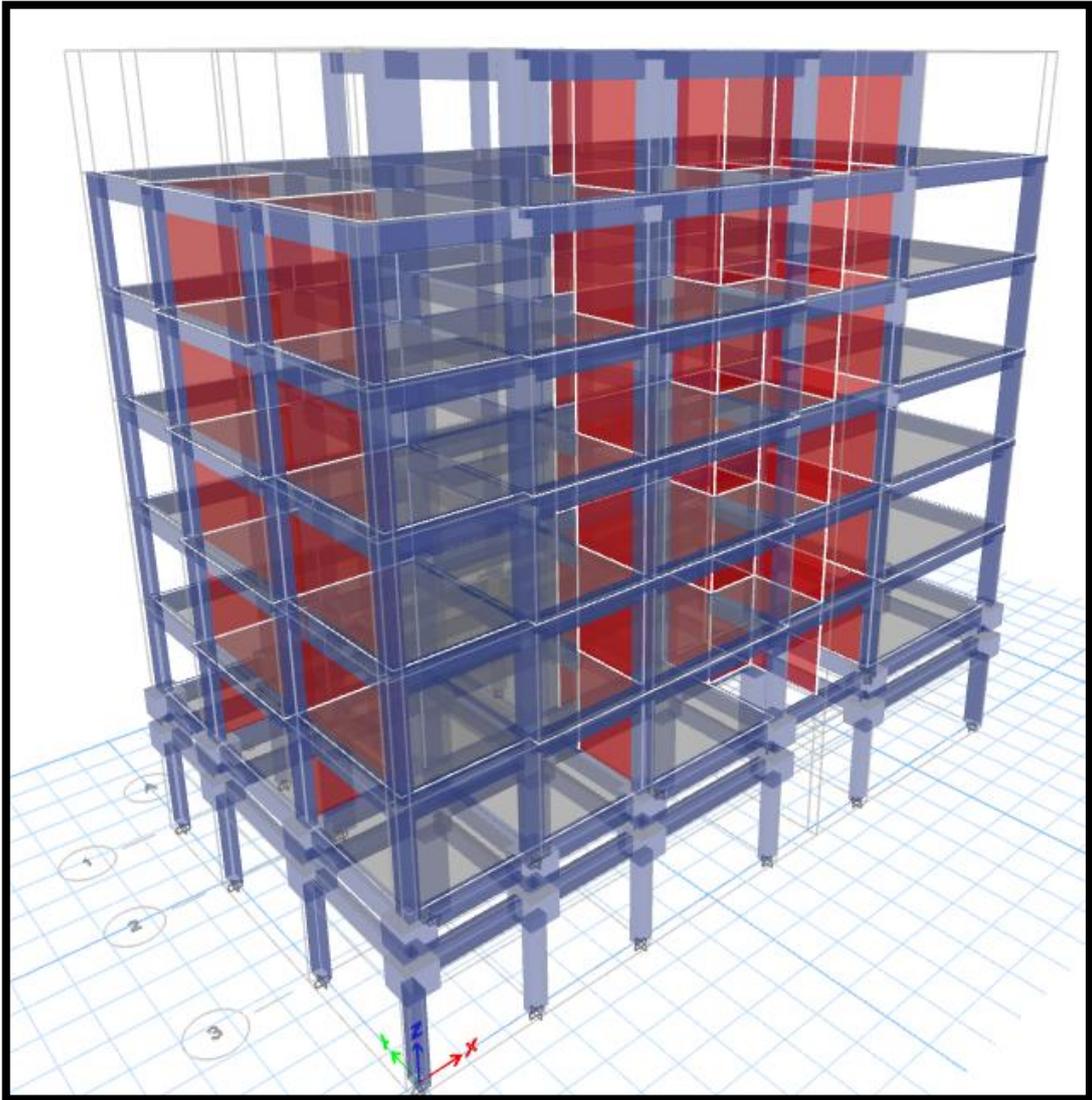
Figura 26. Vista en elevación del edificio aislado



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 26** se puede apreciar la elevación del edificio aislado, es justamente en la parte de interfaz donde se colocó los aisladores con núcleo de plomo, el piso debajo de los aisladores es lo que corresponde al sótano.

Figura 27. Vista del edificio con base aislada.

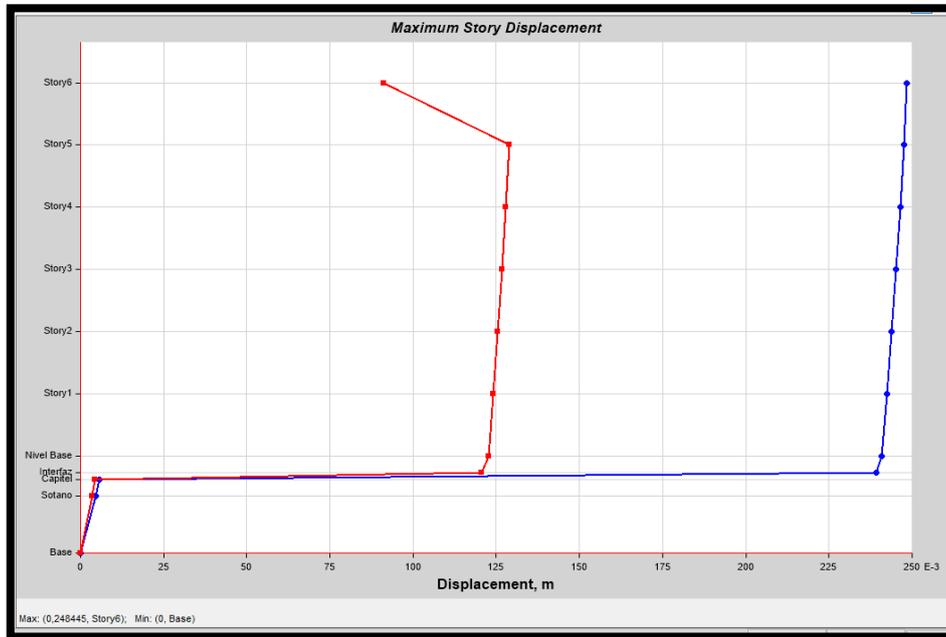


Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 27** se puede apreciar la estructura multifamiliar de 6 pisos con un sótano en una vista en 3D.

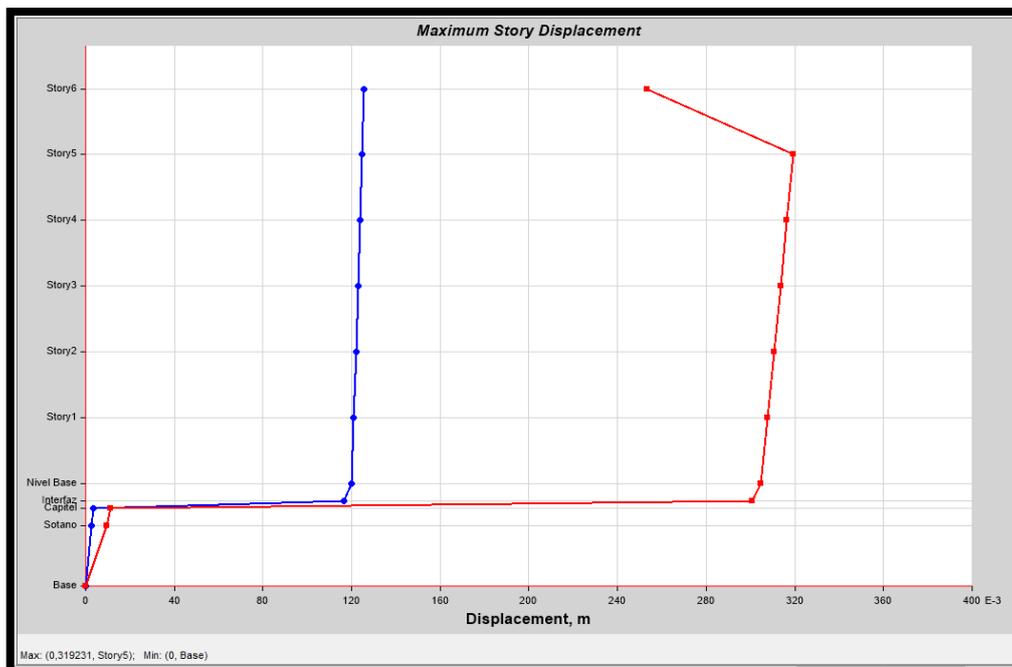
GRÁFICAS CON RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS Y CORTANTES PARA EL EDIFICIO CON BASE AISLADA (AISLADOR CON NÚCLEO DE PLOMO)

Figura 28. Desplazamiento del edificio aislado xx



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Desplazamiento del edificio aislado yy

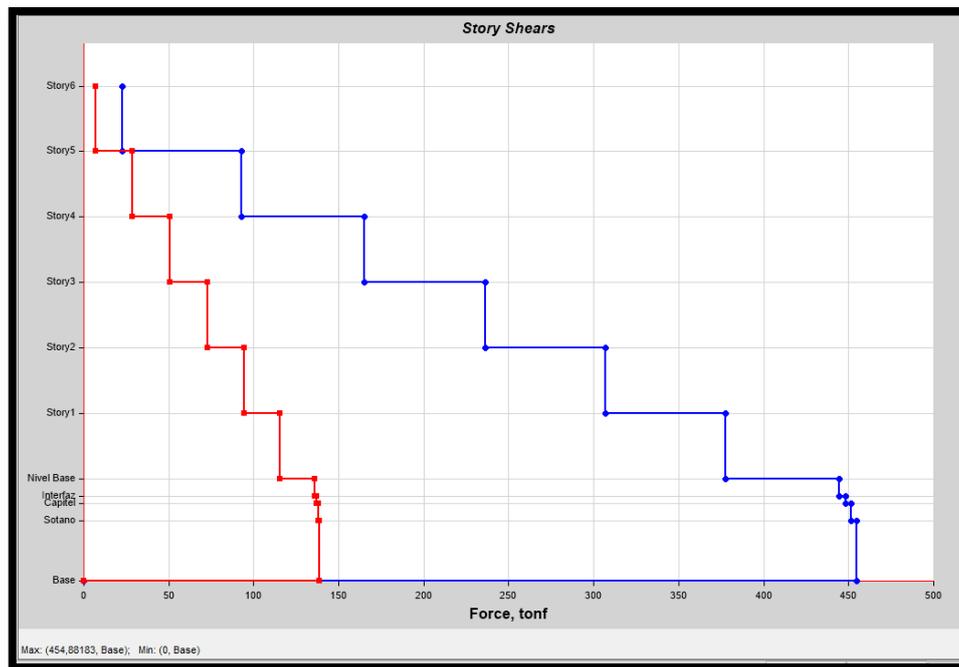


Fuente: Elaboración propia.

Se puede notar el máximo desplazamiento del edificio aislado en dirección xx es de 0,25 m o 25 cm. Y en dirección yy es 0.32 m o 32 cm.

Los gráficos mostrados se extrajeron de los resultados que nos proporciona el software Etabs se puede apreciar como los desplazamientos aumentan, pero no son desplazamientos como el de un edificio con base fija.

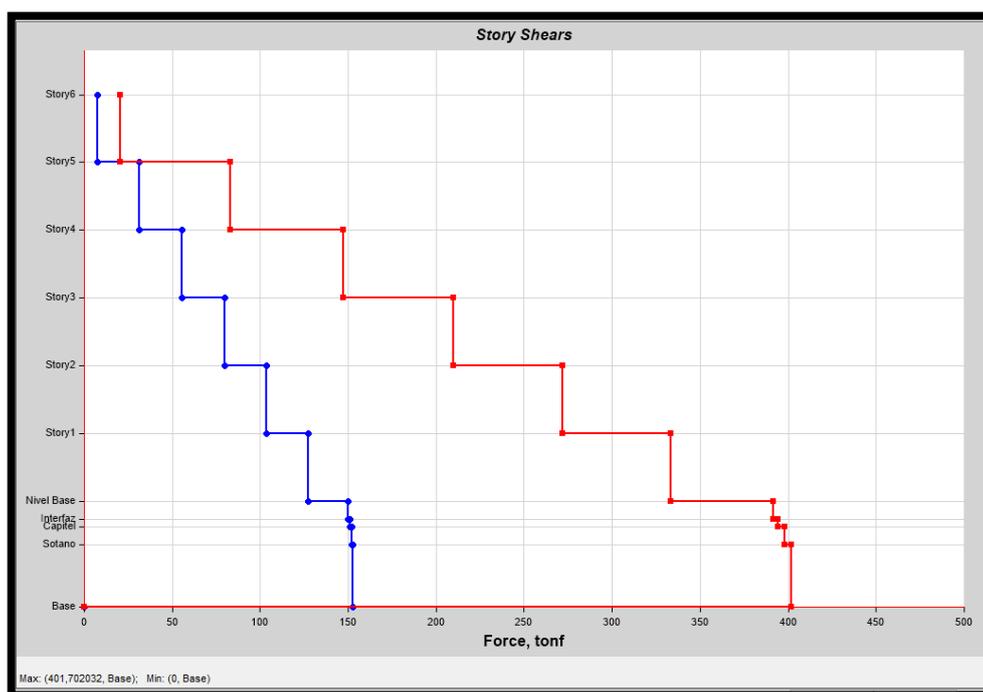
Figura 30. Cortante basal del edificio con base aislada sismo en xx



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 30** se puede notar que el Cortante es máximo en XX para el edificio con base aislada es igual a 454.88 Tn y se da en la base del edificio.

Figura 31. Cortante basal del edificio con base aislada sismo en yy



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 31** se puede notar que el Cortante es máximo en YY para el edificio con base aislada es igual a 401.70 Tn y se da en la base del edificio.

Tabla 24. Derivas del edificio multifamiliar con base aislada xx

TABLE: Story Drifts	Y					m	m	m	DERIVAS	
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000325	31	16,73	13,27	23	0,0004875
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000259	56	16,73	0	23	0,0003885
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000446	32	23,51	13,27	20	0,000669
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000378	4	23,51	-0,35	20	0,000567
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000517	32	23,51	13,27	16,95	0,0007755
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000417	4	23,51	-0,35	16,95	0,0006255
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000578	32	23,51	13,27	13,9	0,000867
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000501	60	0	0	13,9	0,0007515
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000602	32	23,51	13,27	10,85	0,000903
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000563	60	0	0	10,85	0,0008445
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000576	32	23,51	13,27	7,8	0,000864
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000574	60	0	0	7,8	0,000861
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,001346	55	23,51	0	4,75	0,002019
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000565	60	0	0	4,75	0,0008475
Interfaz	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,667949	60	0	0	3,95	1,0019235
Interfaz	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,331896	32	23,51	13,27	3,95	0,497844
Capitel	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,001563	5	3,48	-0,35	3,6	0,0023445
Capitel	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000962	2	23,86	9,64	3,6	0,001443
Sotano	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,001606	60	0	0	2,8	0,002409
Sotano	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,001246	55	23,51	0	2,8	0,001869

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Derivas del edificio multifamiliar con base aislada yy

TABLE: Story Drifts										DERIVAS
							m	m	m	
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000274	31	16,73	13,27	23	0,000411
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,000719	56	16,73	0	23	0,0010785
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000319	32	23,51	13,27	20	0,0004785
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,000906	4	23,51	-0,35	20	0,001359
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000389	32	23,51	13,27	16,95	0,0005835
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,000957	4	23,51	-0,35	16,95	0,0014355
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000461	32	23,51	13,27	13,9	0,0006915
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001031	60	0	0	13,9	0,0015465
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000511	32	23,51	13,27	10,85	0,0007665
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001154	60	0	0	10,85	0,001731
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000512	32	23,51	13,27	7,8	0,000768
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001175	60	0	0	7,8	0,0017625
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000724	55	23,51	0	4,75	0,001086
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001266	55	23,51	0	4,75	0,001899
Interfaz	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,323326	60	0	0	3,95	0,484989
Interfaz	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,826938	32	23,51	13,27	3,95	1,240407
Capitel	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000874	5	3,48	-0,35	3,6	0,001311
Capitel	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,0025	55	23,51	0	3,6	0,00375
Sotano	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000947	60	0	0	2,8	0,0014205
Sotano	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,003295	55	23,51	0	2,8	0,0049425

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Desplazamientos en xx

TABLE: Character Of Mass Displacements					
Story6	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,229452
Story5	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,22703
Story4	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,225603
Story3	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,224365
Story2	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,223009
Story1	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,221601
Nivel Base	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,219389
Capitel	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,005197
Sotano	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,003841

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Desplazamientos en yy

TABLE: Character Of Mass Displacements						
Story6	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,080082	0,212759
Story5	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,077708	0,210539
Story4	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,07698	0,206506
Story3	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,076575	0,204409
Story2	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,076135	0,20219
Story1	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,075679	0,199933
Nivel Base	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,074448	0,197445
Capitel	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,002011	0,008958
Sotano	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,001293	0,006913

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Fuerzas cortantes xx

TABLE: Story Forces					tonf	tonf
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	22,8965
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	22,8965
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	92,9248
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	92,9248
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	164,8036
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	164,8036
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	236,2185
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	236,2185
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	307,167
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	307,167
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	377,6668
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	377,6668
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	444,623
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	444,623
Interfaz	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	447,998
Interfaz	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	447,998
Capitel	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	451,4066
Capitel	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	451,4066
Sotano	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Top	0	454,8818
Sotano	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Bottom	0	454,8818

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Fuerzas cortantes yy

TABLE: Story Forces					tonf	tonf	tonf
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	7,7468	20,5939
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	7,7468	20,5939
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	31,3361	83,2769
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	31,3361	83,2769
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	55,5604	146,9994
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	55,5604	146,9994
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	79,6197	209,8503
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	79,6197	209,8503
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	103,519	271,9238
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	103,519	271,9238
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	127,271	333,3317
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	127,271	333,3317
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	149,8644	391,5409
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	149,8644	391,5409
Interfaz	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	151,0044	394,4543
Interfaz	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	151,0044	394,4543
Capitel	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	151,935	397,9853
Capitel	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	151,935	397,9853
Sotano	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	152,8736	401,702
Sotano	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	152,8736	401,702

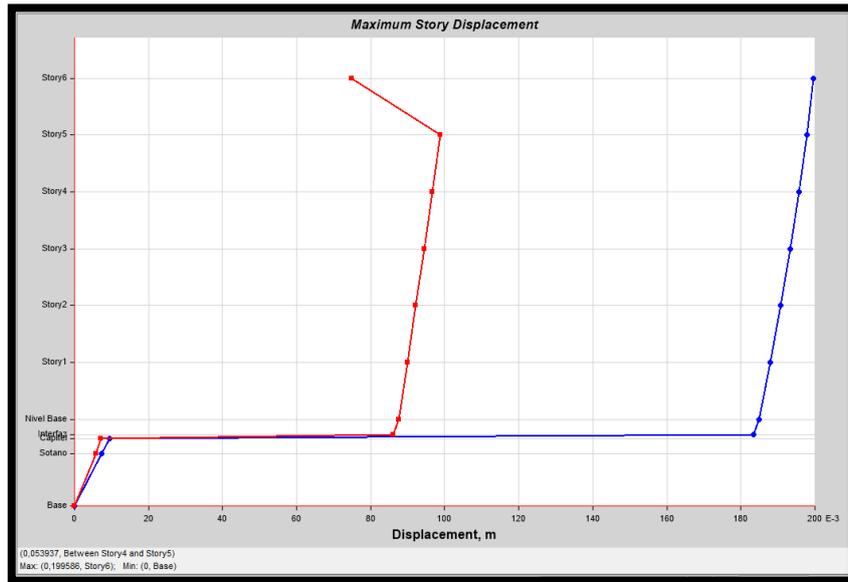
Fuente: Elaboración propia.

Los espectros empleados en los edificios serán anexados donde corresponde, solo mencionar que para un edificio con aisladores es necesario mayorar el

espectro empleado en el edificio con base fija multiplicándolo por un factor de 1.5 y cambiar el R. todo ello indica la norma e-031.

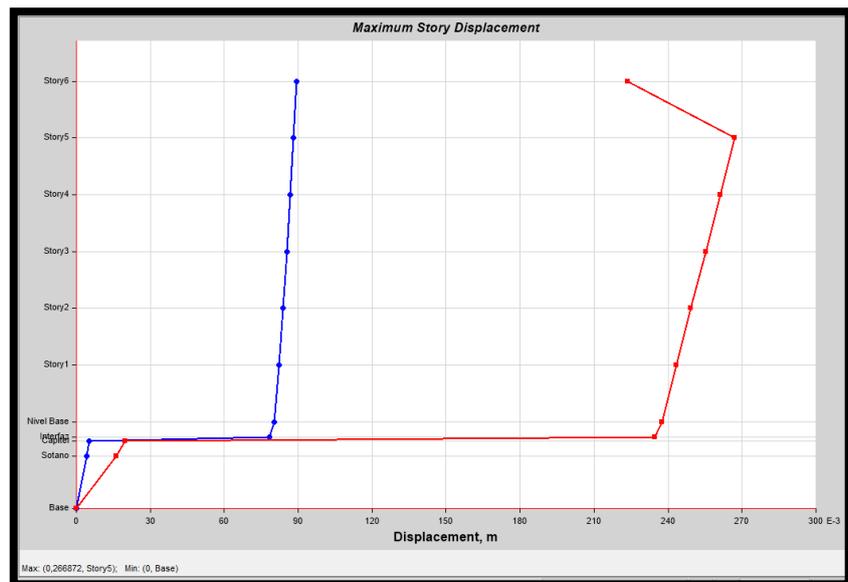
GRÁFICAS CON RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS Y CORTANTES PARA EL EDIFICIO CON BASE AISLADA (AISLADOR DE ALTO AMORTIGUAMIENTO)

Figura 32. Desplazamiento del edificio aislado XX



Fuente: Elaboración propia.

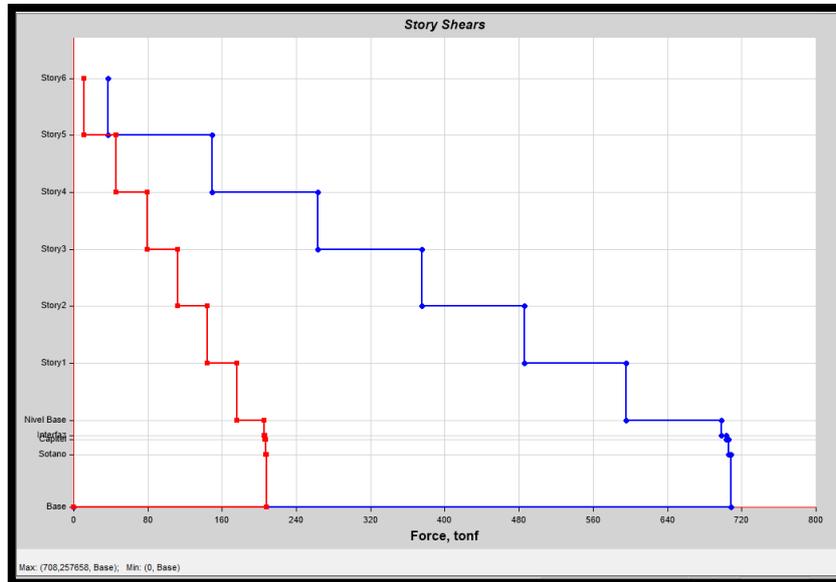
Figura 33. Desplazamiento del edificio aislado YY



Fuente: Elaboración propia.

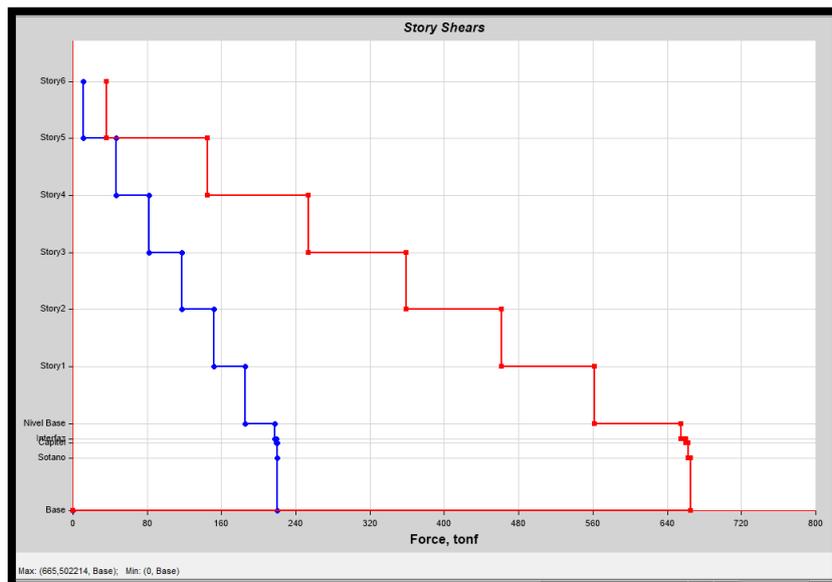
En las figuras 32 y 33 se puede apreciar desplazamientos de 20 cm y 27 cm respectivamente dados por el sismo en dirección xx y para el sismo en dirección yy.

Figura 34. Cortante basal del edificio con base aislada sismo en xx



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Cortante basal del edificio con base aislada sismo en yy



Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 34 y 35 se aprecian cortantes de 708,26 Tn y 665,50 Tn para sismos en xx y en yy.

Tabla 30. Derivas del edificio multifamiliar con base aislada xx

TABLE: Story Drifts										DERIVAS
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000613	5	3,48	-0,35	22,85	0,0009
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000494	56	16,73	0	22,85	0,0007
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000778	32	23,51	13,27	19,85	0,0012
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,00068	4	23,51	-0,35	19,85	0,0010
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000894	32	23,51	13,27	16,8	0,0013
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000732	4	23,51	-0,35	16,8	0,0011
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,000996	32	23,51	13,27	13,75	0,0015
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000776	4	23,51	-0,35	13,75	0,0012
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,001048	32	23,51	13,27	10,7	0,0016
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000821	60	0	0	10,7	0,0012
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,001014	32	23,51	13,27	7,65	0,0015
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000832	60	0	0	7,65	0,0012
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	X	0,002491	55	23,51	0	4,6	0,0037
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	Y	0,000936	55	23,51	0	4,6	0,0014

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Derivas del edificio multifamiliar con base aislada yy

TABLE: Story Drifts										DERIVAS
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000447	31	16,73	13,27	22,85	0,0007
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001469	56	16,73	0	22,85	0,0022
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000474	32	23,51	13,27	19,85	0,0007
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001832	4	23,51	-0,35	19,85	0,0027
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000547	32	23,51	13,27	16,8	0,0008
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001916	4	23,51	-0,35	16,8	0,0029
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000628	32	23,51	13,27	13,75	0,0009
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001972	4	23,51	-0,35	13,75	0,0030
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,00069	32	23,51	13,27	10,7	0,0010
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001956	4	23,51	-0,35	10,7	0,0029
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,000694	32	23,51	13,27	7,65	0,0010
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,001904	60	0	0	7,65	0,0029
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	X	0,001223	55	23,51	0	4,6	0,0018
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Y	0,002472	55	23,51	0	4,6	0,0037

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Desplazamientos en xx

TABLE: Diaphragm Center Of Mass Displacements					
Story6	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,179682
Story5	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,176135
Story4	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,174089
Story3	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,171912
Story2	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,169528
Story1	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,167028
Nivel Base	D1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max	0,16378

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Desplazamientos en yy

Story	Diaphragm C	Center Of Mass	Response	Direction	Value
Story6	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,188119
Story5	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,18642
Story4	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,18158
Story3	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,177477
Story2	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,173182
Story1	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,168828
Nivel Base	D1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	0,164698

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Fuerzas cortantes xx

Story	Response	Direction	Location	Value
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 36,9889
Story6	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 36,9889
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 149,0385
Story5	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 149,0385
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 263,0837
Story4	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 263,0837
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 375,4933
Story3	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 375,4933
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 486,2619
Story2	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 486,2619
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 595,3806
Story1	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 595,3806
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 698,0362
Nivel Base	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 698,0362
Interfaz	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 703,1952
Interfaz	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 703,1952
Capitel	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 705,8743
Capitel	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 705,8743
Sotano	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Top	0 708,2577
Sotano	SISMO R=2 XX	LinRespSpec	Max Bottom	0 708,2577

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Fuerzas cortantes yy

TABLE: S	y Forces					
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	36,2451
Story6	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	36,2451
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	145,0009
Story5	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	145,0009
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	253,6477
Story4	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	253,6477
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	359,0829
Story3	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	359,0829
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	461,6264
Story2	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	461,6264
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	561,6564
Story1	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	561,6564
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	655,3202
Nivel Base	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	655,3202
Interfaz	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	659,9757
Interfaz	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	659,9757
Capitel	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	662,9844
Capitel	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	662,9844
Sotano	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Top	0	665,5022
Sotano	SISMO R=2 YY	LinRespSpec	Max	Bottom	0	665,5022

Fuente: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EDIFICIO CON BASE FIJA Y EDIFICIO AISLADO (AISLADORES CON NÚCLEO DE PLOMO)

Tabla 36. Resultado edificio de base fija vs. edificio aislado en la dirección XX

SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	INDICADORES	RESULTADO
EDIFICACIÓN CON AISLACIÓN SÍSMICA (NÚCLEO DE PLOMO)	CORTANTE BASAL MÁX.	454,88 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	25 cm
	DISTORSIÓN MÁX.	0,00090
EDIFICACIÓN SIN AISLACIÓN SÍSMICA (BASE FIJA)	CORTANTE BASAL MÁX.	1743,20 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	6,7 cm
	DISTORSIÓN MÁX.	0,004

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Resultados edificio de base fija vs edificio aislado en la dirección YY

SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	INDICADORES	RESULTADO
EDIFICACIÓN CON AISLACIÓN SÍSMICA (NÚCLEO DE PLOMO)	CORTANTE BASAL MÁX.	401,70 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	32 cm
	DISTORSIÓN MÁX	0,0017
EDIFICACIÓN SIN AISLACIÓN SÍSMICA (BASE FIJA)	CORTANTE BASAL MÁX.	1477,21 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	11,5 cm
	DISTORSIÓN MÁX.	0,0067

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Comparación de distorsiones máximas con sismo XX

PISOS	EDIFICIO BASE FIJA	EDIFICIO AISLADO
6	0,002	0,0005
5	0,003	0,0007
4	0,004	0,0008
3	0,004	0,0009
2	0,004	0,0009
1	0,004	0,0009

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Comparación de cortante basal con sismo XX

PISOS	EDIFICIO BASE FIJA	EDIFICIO AISLADO
6	127,9059	22,8965
5	487,874	92,9248
4	817,0205	164,8036
3	1102,8361	236,2185
2	1346,6096	307,167
1	1551,3807	377,6668

Fuente: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EDIFICIO CON BASE FIJA Y EDIFICIO AISLADO (AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO)

Tabla 40. Resultados edificio de base fija vs edificio aislado en la dirección XX

SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	INDICADORES	RESULTADO
EDIFICACIÓN CON AISLACIÓN SÍSMICA (ALTO AMORTIGUAMIENTO)	CORTANTE BASAL MÁX.	708,26 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	18 cm
	DISTORSIÓN MÁX.	0,0016
EDIFICACIÓN SIN AISLACIÓN SÍSMICA (BASE FIJA)	CORTANTE BASAL MÁX.	1743,20 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	6,7 cm
	DISTORSIÓN MÁX.	0,004

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Resultados edificio de base fija vs edificio aislado en la dirección YY

SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	INDICADORES	RESULTADO
EDIFICACIÓN CON AISLACIÓN SÍSMICA (ALTO AMORTIGUAMIENTO)	CORTANTE BASAL MÁX.	665,50 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	19 cm
	DISTORSIÓN MÁX.	0,003
EDIFICACIÓN SIN AISLACIÓN SÍSMICA (BASE FIJA)	CORTANTE BASAL MÁX.	1477,21 Tn
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	11,5 cm
	DISTORSIÓN MÁX.	0,0067

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Comparación de distorsiones máximas con sismo XX

PISOS	EDIFICIO BASE FIJA	EDIFICIO AISLADO
6	0,002	0,0009
5	0,003	0,0012
4	0,004	0,0013
3	0,004	0,0015
2	0,004	0,0016
1	0,004	0,0015

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Comparación de cortante basal con sismo XX

PISOS	EDIFICIO BASE FIJA	EDIFICIO AISLADO
6	127,9059	36,9889
5	487,874	149,0385
4	817,0205	263,0837
3	1102,8361	375,4933
2	1346,6096	486,2619
1	1551,3807	595,3806

Fuente: Elaboración propia.

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

H0: El edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos tiene una óptima respuesta sísmica lo que asegura un buen comportamiento estructural.

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 30 y 31, se da respuesta a la hipótesis general, en donde se aprecia como la estructura mejora su comportamiento con la incorporación de aisladores elastoméricos.

H1: El desplazamiento por desempeño del edificio multifamiliar reforzado con aisladores sísmicos no presentará incrementos.

De acuerdo a los resultados de las gráficas 13 y 20, se da respuesta a esta hipótesis, en donde se ve como los desplazamientos aumentan de un 6,7 cm (edificio con base fija) a un desplazamiento de 25 cm (edificio aislado) por lo tanto, si habrá incremento de desplazamientos.

H2: Las distorsiones máximas del edificio multifamiliar con aisladores de núcleo de plomo serán reducidas de manera eficiente.

Esta hipótesis es válida, ya que se notó en los resultados como las distorsiones de la estructura presentan una reducción significativa, en la tabla 32 se da respuesta a esta hipótesis.

H3: La cortante basal del edificio multifamiliar es óptima según los resultados obtenidos.

Esta hipótesis es válida según los resultados obtenidos en la tabla 33.

V. DISCUSIÓN

Los principales hallazgos obtenidos en la investigación dan clara respuesta a muchas interrogantes sobre si es factible el empleo de sistemas de protección en las estructuras, es claro que si en el Perú ya se hizo oficial una norma con una forma determinada de aplicación para proyectos estructurales es porque se tiene conocimiento de que es necesario que se empiece a construir edificios con sistemas de aislamiento, porque estamos dentro del cinturón de fuego y solo por eso estamos en constante peligro, existen países que hace muchos años cuentan con sus propias normas y vienen aplicando sistemas de aislamiento en sus construcciones y por eso es que se tiene esas buenas referencias.

Hoy en día a nivel nacional ya se cuenta con estructuras que han empleado el sistema de protección investigado, la norma indica que es de uso obligatorio para edificaciones importantes como hospitales, pero que para las demás categorías como viviendas pueden emplearla o no dependiendo de varios factores como el factor zona por ejemplo, para zonas 3 y 4 es de uso obligatorio.

En este proyecto de investigación se obtuvo buenos resultados, se siguió lo que indica la norma peruana e-031 (aislamiento sísmico) para los cálculos y también para el diseño en el programa Etabs.

Al hacer una comparación con la tesis de Carrera “Evaluación de los parámetros sísmicos con la incorporación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en el edificio José Quiñones Lima - 2018”, se obtuvo que difiere en cuanto a la norma que el autor usa para realizar sus hallazgos con respecto al cálculo de la estructura aislada, ya que el autor emplea la norma internacional ASCE 7-10 mientras que, por el contrario, en esta investigación se empleó la norma peruana e-031.

Se apoya la primera conclusión dada por el autor basándonos en que los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo van a influir de manera satisfactoria en los parámetros sísmicos de una estructura, dado que ayudan enormemente a que una edificación no sufra daños y, por lo tanto, se salvaguarde la vida de sus ocupantes.

Los resultados en cuanto a cortante basal difieren del hallado por el autor, ya que el edificio analizado en esta investigación presenta una cantidad de niveles diferente y una zona o ubicación distinta.

Si contrastamos los resultados obtenidos con la tesis de Pretell “Análisis sismo resistente utilizando aisladores sísmicos en un edificio multifamiliar de 9 pisos en la urb. San Andrés distrito de Trujillo.” Difiere puesto que el sistema estructural que emplea el autor es del tipo aporticado, la zona sísmica en la que se ubica su proyecto es la zona 4 y la de este proyecto es la zona 3, por lo tanto, desde ahí ya es presumible que habrá notables diferencias.

En su tercera conclusión afirma que no fue necesario que la estructura diseñada cuente con muros de corte, ya que los aisladores absorben los esfuerzos horizontales y puedo constatar que es verdad porque en esta investigación también pude notar que efectivamente no hace falta rigidizar más una estructura que presenta un comportamiento algo flexible.

En su conclusión cinco indican que las cortantes que obtuvo disminuyeron en un 30% mientras que para esta investigación se obtuvieron cortantes que disminuyeron hasta en un 76%.

Realizando la contrastación con la tesis de Sifuentes “Diseño sísmico estructural de un edificio multifamiliar de 12 niveles con aisladores sísmicos, urbanización San Andrés – Trujillo – La Libertad”, indica que la edificación de su proyecto de investigación presentará asentamientos eso lo presume del estudio de suelos que realizó previo al diseño del edificio y es dable porque por eso es necesario hacer un estudio de mecánica de suelos para conocer con exactitud sobre que suelo se va a edificar; pero la estructura sobre la que se está trabajando en esta investigación no presentará este problema, ya que no es un suelo blando, por el contrario, se trata de un suelo intermedio.

En su conclusión cuatro menciona que tuvo derivas de 0,007 en su análisis estático y, por lo tanto, asume que en su análisis dinámico también tendrá las mismas derivas y que estará dentro de lo que indica el reglamento nacional de edificaciones, difiero de lo que indica porque el hecho de que tenga derivas que pasen es sismo estático no quiere decir que también van a pasar el sismo

dinámico ya que, en esta investigación se vio que las derivas aumentan al adicionarle un sismo dinámico, por ello no se puede dar por hecho que las derivas van a mantenerse igual en ambos sismos.

En su conclusión cinco indica que empleó el sistema de aislamiento con aisladores de núcleo de plomo y que tuvieron dimensiones de 0,35 cm de alto, en esta investigación se obtuvo el mismo resultado para los aisladores con núcleo de plomo que se emplearon.

En el trabajo de investigación de Medina y Choque titulada como “Análisis, comportamiento y diseño en concreto armado de un edificio de 6 niveles con un sótano con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.”, menciona en su primera conclusión que el Perú no cuenta con una norma específica para realizar el diseño de edificios con sistemas de protección contra el sismo y es falso porque hoy en día ya se cuenta con dicha norma denominada e-031 basada principalmente en las normas establecidas previamente por otros países que fueron los pioneros en sistemas de aislación sísmica, esta norma peruana fue adaptada al territorio peruano, pero en general tiene bastante similitud a gran escala con las normas extranjeras.

En su conclusión siguiente refiere que según las normas que empleó para el diseño del sistema de aislación del edificio estas normas amplifican el sismo de manera diferente una lo hace con un factor de 1.5 mientras que la otra con un factor de 1.2, para el edificio estudiado en esta investigación se cuenta con la norma peruana que ya establece que se debe amplificar con un factor del 1.5, ya que se prevé que el edificio aislado debe soportar grandes sismos y lo nombra con las siglas (SMC) que significa sismo máximo considerado.

En cuanto a su conclusión 3 considero que tiene razón, puesto que al adicionar aisladores a una estructura los elementos estructurales de la misma no tendrán mayor esfuerzo, ya que todo el trabajo vendrá dado por los aisladores, estos se encargarán de absorber toda la energía sísmica.

En su conclusión 4 menciona que con la incorporación de aisladores en una estructura se incrementa el periodo de la estructura y es totalmente cierto, indica que se reducen las fuerzas cortantes y es verdad es eso lo que sucede, que se

incrementan los desplazamientos y es cierto eso es lo que se ve en los resultados obtenidos en esta investigación.

En su conclusión siguiente hace referencia sobre los periodos obtenidos en su investigación, para su primer modo obtuvo un periodo de 2.53 seg. Mientras que en esta investigación se obtuvo para el primer periodo un valor de 2.20 seg. Cuyo valor no está muy distante del hallado por los autores en discusión.

La norma e030 (diseño sismo resistente) sirvió como una fortaleza para el hallazgo de los resultados, puesto que ayuda a obtener los principales datos para posteriormente trabajar la parte sísmica que es lo que interesa en este tipo de investigación.

Con respecto a la norma e031 (aislamiento sísmico), no tiene lineamientos muy claros, hay puntos en los que no indica de manera clara como se deben diseñar este tipo de aisladores, esta falta de claridad genera ciertas dudas por lo que es necesario tener una buena bibliografía a lado para trabajar a la par con esta norma.

VI. CONCLUSIONES

- 1) Al implementar un sistema de aislamiento en una estructura se consigue incrementar el periodo de vibración logrando así que la estructura tenga una mejor respuesta sísmica, ya que tendrá un desacoplamiento del suelo.
- 2) Se concluye que los desplazamientos van a ser mayores a los de una estructura convencional con base fija, pero que estos desplazamientos son en bloque lo que indica que no generarán daños estructurales, puesto que la estructura pasa a comportarse como un cuerpo rígido.
- 3) El edificio aislado presentó distorsiones máximas de 0.002 con ese valor obtenido se está dentro de las derivas máximas que indica la norma e-031, ya que esta menciona en su art. 23 que las derivas de entrepiso no deben exceder de 0,0035.
- 4) La cortante basal se vio reducida hasta en un 82%, lo que significa que los aisladores amortiguan de forma satisfactoria los efectos del sismo.
- 5) Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo son más eficientes que los aisladores de alto amortiguamiento tanto en distorsiones, desplazamientos y reducen de manera más efectiva las fuerzas cortantes en el edificio multifamiliar.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda el empleo de los sistemas de protección sísmica (aisladores) dado que asegura una mejor respuesta sísmica del edificio.

Es recomendable que una estructura aislada cuente con una debida separación sísmica porque como se pudo apreciar en los resultados los desplazamientos se incrementan.

Se recomienda usar aisladores con núcleo de plomo porque estos generan mejores resultados al tener un mejor amortiguamiento, permitiendo así que la energía sísmica sea absorbida por el sistema de aisladores y, por lo tanto, reduce la energía transferida a la estructura.

REFERENCIAS

- Medina y Choque, “ANÁLISIS, COMPORTAMIENTO Y DISEÑO EN CONCRETO ARMADO DE UN EDIFICIO DE 6 NIVELES CON UN SÓTANO CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO.”
- Carrera, “EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS SÍSMICOS CON LA INCORPORACIÓN DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO EN EL EDIFICIO JOSÉ QUIÑONES LIMA - 2018”
- Herrera, “DESEMPEÑO SÍSMICO EN EDIFICACIONES CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS Y AMORTIGUADORES DE FLUIDO VISCOSO”
- Mullo, “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS, MODELAMIENTO EN ETABS.”
- Pretell, “ANÁLISIS SISMO RESISTENTE UTILIZANDO AISLADORES SÍSMICOS EN UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 9 PISOS EN LA URB. SAN ANDRÉS DISTRITO DE TRUJILLO.”
- Sifuentes, “DISEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 12 NIVELES CON AISLADORES SÍSMICOS, URBANIZACIÓN SAN ANDRÉS – TRUJILLO – LA LIBERTAD”
- Pungoci, “ASSESSING THE LEVEL OF PERFORMANCE OF ELASTOMERIC ANTISEISMIC DEVICES FOR SEISMIC ISOLATION AT THE BASE”
- Salvatierra, “COMPARATIVE ANALYSIS OF EARTHQUAKE BEHAVIOR BETWEEN A CONVENTIONAL STRUCTURE VERSUS ANOTHER WITH ELASTOMERIC INSULATORS, LIMA 2020”.
- Rosales, et al Orihuela, “PROPOSAL OF PARAMETERS FOR THE DESIGN OF SEISMIC INSULATORS THROUGH A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SEISMIC RESPONSE OF AN ESSENTIAL BUILDING WITH ANTI-SEISMIC ISOLATION UNDER VARIOUS INTERNATIONAL STANDARDS”.
- Muresan, “SEISMIC ISOLATING SYSTEMS. CLASSIFICATION, PROPERTIES AND UTILIZATION”.

- Petrina, et al Mureşan “SEISMIC ISOLATING SYSTEMS CLASSIFICATION, PROPERTIES AND UTILIZATION”.
- Polukoshko, et al Martinovs, “AGING, FATIGUE AND DURABILITY OF RUBBER VIBRATION ISOLATION ELEMENTS”.
- Maureira, de la Llera, “IMPLEMENTATION OF ELASTOMERIC SEISMIC ISOLATION IN TALL BUILDINGS CONSIDERING AXIAL-LATERAL COUPLING IN THE ISOLATORS”.
- Mantilla y Apaza, “STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN WITH SEISMIC ISOLATION AT THE BASE OF THE HOSPITAL IN THE DISTRICT OF YARABAMBA”.
- Perez, “ELASTOMERIC INSULATORS WITH LEAD CORE IN THE REDUCTION OF SEISMIC DAMAGE IN ESSENTIAL BUILDINGS, SURCO-LIMA”.
- Santanse y Shaikh, “DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SEISMIC ISOLATED BUILDING FOR EVALUATION AND ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF ELASTOMERIC BEARING USING LABVIEW”.
- Maquera, “SEISMIC ANALYSIS OF A BUILDING WITH LRB INSULATORS IN PAVILION D OF THE CÉSAR VALLEJO UNIVERSITY SEDE LIMA EAST IN SAN JUAN DE LURIGANCHO, 2018”
- Alcocer, “ANALYSIS OF SEISMIC PROTECTION SYSTEMS WITH ELASTOMERIC ISOLATOR (HDR) IN HOSPITAL OF VILLA EL SALVADOR, LIMA 2018”
- Cousins et al Robinson, “RECENT DEVELOPMENTS IN DEVICES FOR SEISMIC ISOLATION”.
- Kumar et al Alam, “COMPARATIVE ANALYSIS OF PROPERTIES AND PERFORMANCE OF BUILDING INSULATION MATERIALS”.
- Usta, “INVESTIGATION OF A BASE-ISOLATOR SYSTEM’S EFFECTS ON THE SEISMIC BEHAVIOR OF A HISTORICAL STRUCTURE”.
- Sağıroğlu et al Maali “INSTALLATION AND MAINTENANCE PRINCIPLES OF SEISMIC ISOLATORS: ERZURUM HEALTH CAMPUS”.

- Fernández et al Quispe, “USO DE AISLADORES SÍSMICOS PARA EDIFICIOS MULTIFAMILIARES. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO MULTIFAMILIAR RESIDENCIAL HUNGRÍA”
- Hung Anh y Pasztory, “UNA DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES DE AISLAMIENTO DE EDIFICIOS”.
- Prashanthi y Ajith, “INTEND AND VIBRATION ANALYSIS OF G+10 RC BUILDING WITH BASE ISOLATION METHOD”.
- Huayllasco y Garcia, “MODELAMIENTO DE UN HOSPITAL CON AISLADOR NÚCLEO DE PLOMO (LRB)”.
- Alvarado, “INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS EN LOS FACTORES DE DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN TRUJILLO, 2019”.
- Gunawan y Nirbito, “RESPONSE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF LRB BASE ISOLATOR FOR CYCLOTRON BUILDING DUE TO PARTS SIZING”
- Pancca, “DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN CENTRO DE SALUD DE TRES NIVELES CON O SIN AISLADORES”
- Durand, “EVALUACIÓN DEL AISLADOR ELASTOMÉRICO Y TRIPLE PÉNDULO SEGÚN NORMA E.031, PARA LA MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DEL HOSPITAL MI PERÚ, REGIÓN CALLAO”
- Banco de desarrollo de américa latina, “INTRODUCCIÓN AL USO DE AISLADORES Y DISIPADORES EN ESTRUCTURAS”.
- Ing Blanco Blasco, “ESTRUCTURACIÓN Y DISEÑO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO”.
- Dynamic Isolation Systems, “AISLAMIENTO SÍSMICO PARA EDIFICACIONES Y PUENTES”.
- Norma e030 “DISEÑO SISMO RESISTENTE DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES”
- Norma e031 “NORMA DE AISLAMIENTO SÍSMICO DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES”.

- Norma e 020 “NORMA DE CARGAS DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES”.
- Norma e 060 “NORMA DE CONCRETO ARMADO”
- CDV ingeniería antisísmica, “CATALOGO DIS EN ESPAÑOL “.
- Genner Villareal, “BLOG DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL”.
- Anibal Nilo, “CURSO SISTEMA DE AISLAMIENTO SÍSMICO CON ETABS”.

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Diseño estructural de un edificio multifamiliar reforzado sísmicamente con aisladores elastoméricos – Arequipa 2021.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<i>Problema General</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Hipótesis General</i>				
¿Cuál será la respuesta sísmica de un edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos?	Determinar la respuesta sísmica del edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos	El edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos tiene una óptima respuesta sísmica lo que asegura un buen comportamiento estructural.	<i>Independiente:</i> <i>Aisladores Elastoméricos</i>	Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)	<ul style="list-style-type: none"> • Norma e-031 (Aislamiento sísmico). • Diámetro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Software ETABS. • Hojas de cálculo (Excel).
<i>Problemas Específicos</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>Hipótesis Específicos</i>		Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR)	<ul style="list-style-type: none"> • Altura. • Peso. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿Cuál será el desplazamiento por desempeño del edificio multifamiliar reforzado con aisladores sísmicos? ✓ ¿Qué distorsiones o derivas máximas se obtendrán al reforzar el edificio multifamiliar con aisladores de núcleo de plomo? ✓ ¿Cuál será la cortante basal del edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar el desplazamiento por desempeño del edificio multifamiliar reforzado con aisladores sísmicos. ✓ Determinar las distorsiones máximas del edificio multifamiliar con aisladores de núcleo de plomo. ✓ Determinar la cortante basal del edificio multifamiliar reforzado con aisladores elastoméricos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El desplazamiento por desempeño del edificio multifamiliar reforzado con aisladores sísmicos no presentará incrementos. ✓ Las distorsiones máximas del edificio multifamiliar con aisladores de núcleo de plomo serán reducidas de manera eficiente. ✓ La cortante basal del edificio multifamiliar es óptima según los resultados obtenidos. 	<i>Dependiente:</i> <i>Respuesta Sísmica del Edificio Multifamiliar</i>	Desplazamientos Distorsiones Cortante basal	<ul style="list-style-type: none"> • Norma e-030 (diseño sismo resistente). • Desplazamiento por desempeño • Cortante basal • Distorsión sísmica • Punto de desempeño 	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas técnicas • Juicio de expertos.

ANEXO 02

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: Diseño estructural de un edificio multifamiliar reforzado sísmicamente con aisladores elastoméricos – Arequipa 2021.

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p>Variable Independiente:</p> <p><i>Aisladores Elastoméricos</i></p>	<p>Es una herramienta de alta tecnología que protege una estructura de los efectos destructivos de un sismo, lo hace separando la base de la edificación de la tierra. (CDV Perú, 2018, p.1)</p>	<p>Será medido bajo la norma e-031 y diseñada en un software de acuerdo a las solicitudes establecidas o requeridas por el edificio multifamiliar desarrollado.</p>	<p>Diseño de los sistemas de aislación (aisladores elastoméricos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desplazamientos máximos (cm). ➤ Carga axial última (Tn). ➤ Diámetro del aislador (cm). ➤ Altura del aislador (cm). ➤ Rigidez (Tn/m). ➤ Amortiguamiento efectivo (%). 	<p>El intervalo</p>
<p>Variable Dependiente:</p> <p><i>Respuesta Sísmica del Edificio Multifamiliar</i></p>	<p>Es aquel comportamiento que presenta una edificación frente a la ocurrencia de un evento sísmico. (García 2020).</p>	<p>Estará medido a través de la revisión y análisis de la norma e-030, diseñada empleando softwares como AutoCAD y ETABS.</p>	<p>Diseño de elementos estructurales.</p> <p>Diseño por desempeño sísmico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Columnas ➤ Vigas ➤ Losas ➤ Desplazamiento ➤ Cortante basal ➤ Distorsiones del sistema ➤ Punto de desempeño 	<p>La razón</p>

ANEXO 03

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LOS AISLADORES

CARACTERÍSTICAS	AISLADOR	UNIDADES
Número de Aisladores del edificio		Unid.
Diámetro del Aislador		mm
Altura del aislador sin planchas		mm
diámetro del Núcleo de plomo		mm
Número de capas de caucho N		Unid.
Altura del aislador H		mm
Espesor de la pancha de anclaje		mm

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Desplazamiento máximo lateral (DM)		m
Desplazamiento máximo total (DTM)		m
Carga axial última (Pumax)		Tn
Resistencia lateral (Qd)		Tn
Rigidez post fluencia (Kd)		Tn/m
Rigidez inicial (Keff)		Tn/m
Rigidez vertical (Kv)		Tn/m
Amortiguamiento efectivo (Beff)		T.s/m
Rigidez no lineal (Ke)		Tn/m
Fluencia (Fy)		Tn
Radio de rigidez post fluencia (Kd/Ke)		

VALIDACIÓN MEDIANTE JUICIO DE EXPERTOS

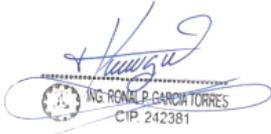
NOMBRE Y APELLIDOS	ESPECIALIDAD	FIRMA SELLADA
1) Bellido Arévalo, Arturo	Ing. civil	 Ing. Arturo V. Echevarría Arévalo RESIDENTE DE OBRA CIP 161706
2) Garcia Torres, Ronal	Ing. civil	 ING. RONAL P. GARCIA TORRES CIP. 242381
3) Quintanilla Palomino, Carlos	Ing. civil	 Ing. CIP 117763 JAVIER QUINTANILLA PALOMINO Registro 117763 - CIVIL

ANEXO 04

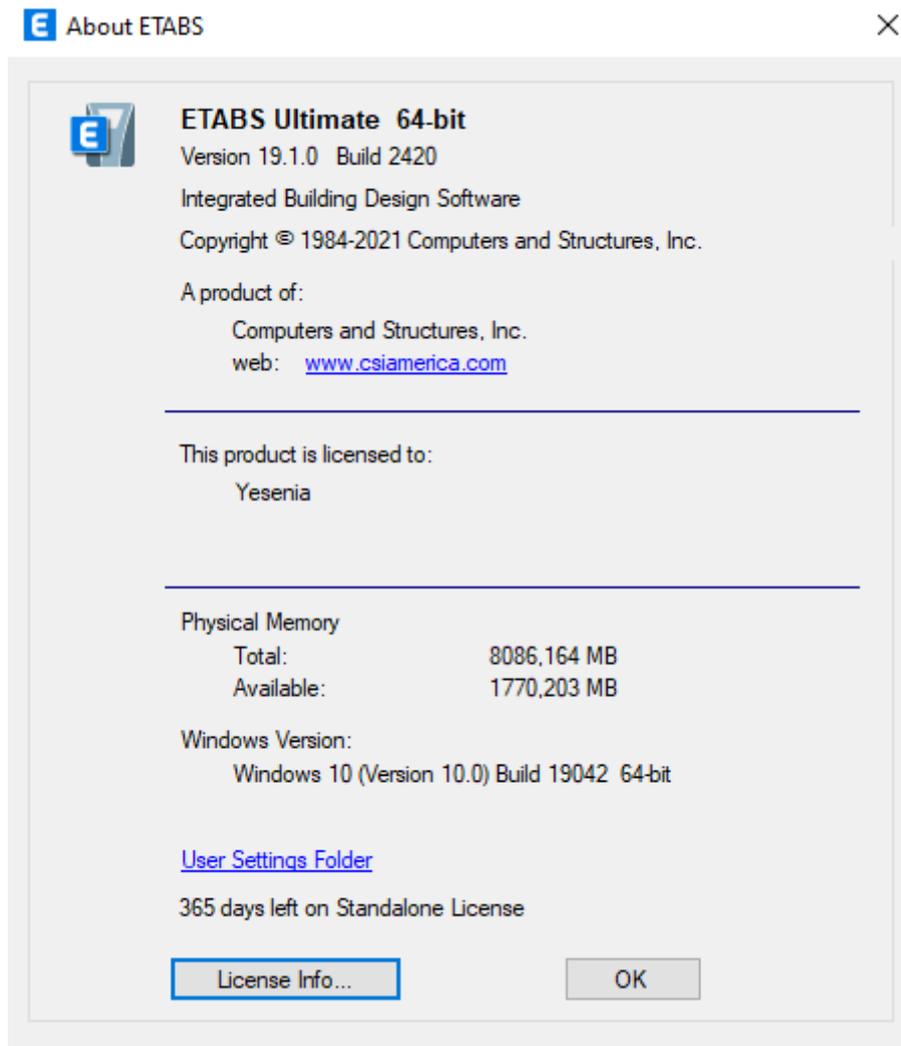
FICHA DE COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EDIFICIO CON BASE FIJA Y EDIFICIO AISLADO

SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	INDICADORES	RESULTADO
EDIFICACIÓN CON AISLACIÓN SÍSMICA (NÚCLEO DE PLOMO)	CORTANTE BASAL MÁXIMA	
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	
	DISTORSIÓN MÁXIMA	
EDIFICACIÓN SIN AISLACIÓN SÍSMICA (BASE FIJA)	CORTANTE BASAL MÁXIMA	
	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	
	DISTORSIÓN MÁXIMA	

VALIDACIÓN MEDIANTE JUICIO DE EXPERTOS

NOMBRE	ESPECIALIDAD	FIRMA SELADA
1) Bellido Arévalo, Arturo	Ing. civil	 Ing. Arturo V. Bellido Arévalo RESIDENTE DE OBRA CIP 161708
2) Garcia Torres, Ronal	Ing. civil	 ING. RONAL P. GARCIA TORRES CIP. 242381
3) Quintanilla Palomino, Carlos	Ing. civil	 Ing. CIP 15485 JAVIER QUINTANILLA PALOMINO Registro 11763 - CIVIL

ANEXO 05



ANEXO 06

DISEÑO_ESTRUCTURAL_DE_UN_EDIFICIO_MULTIFAMILIAR_R... (1).docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

4%

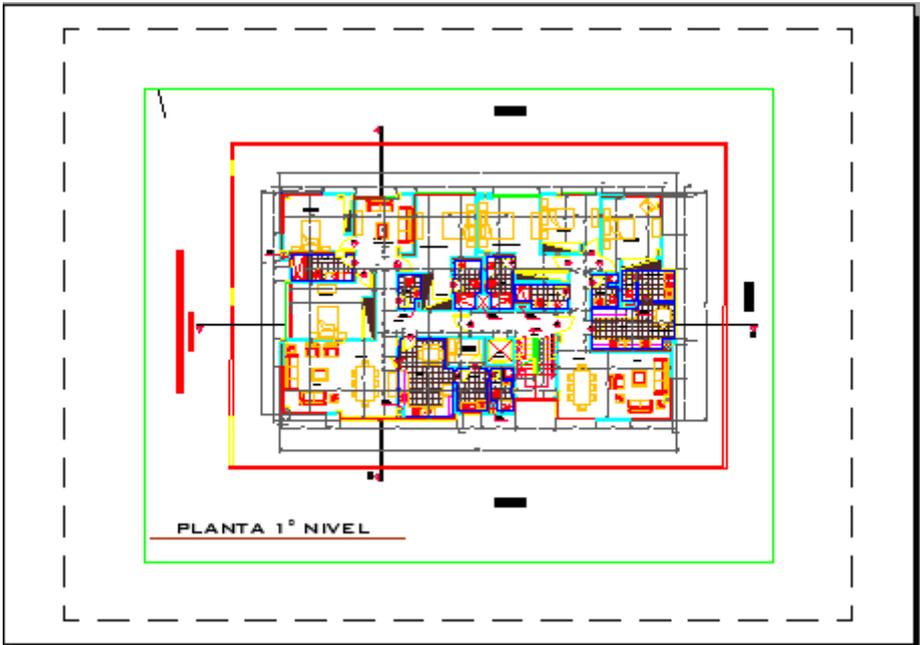
TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1%
7	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	creativecommons.org Fuente de Internet	<1%

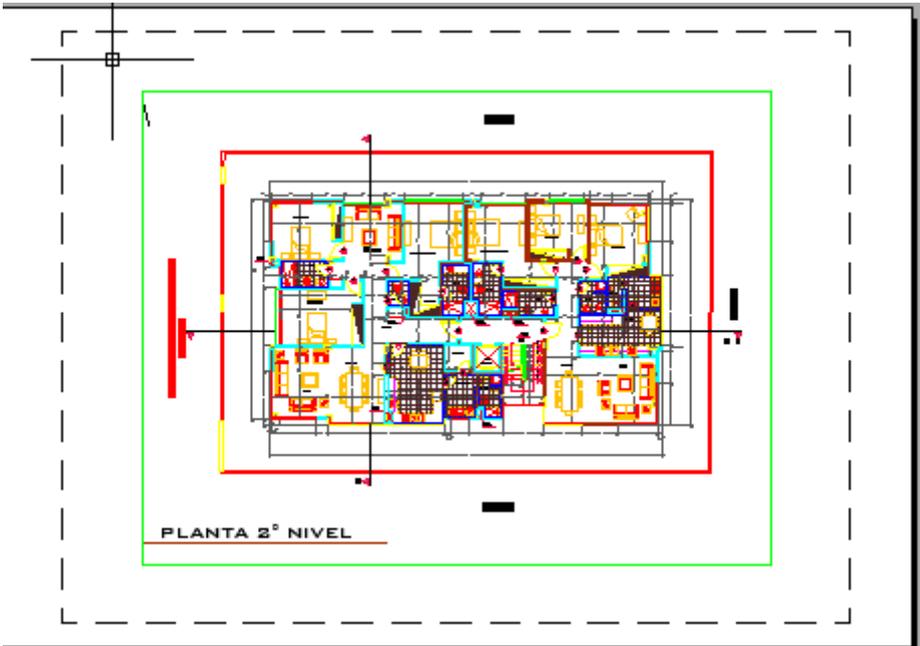
PLANOS DE ARQUITECTURA DE LOS PISOS DEL EDIFICIO MULTIFAMILIAR

Figura 36. Plano del primer nivel



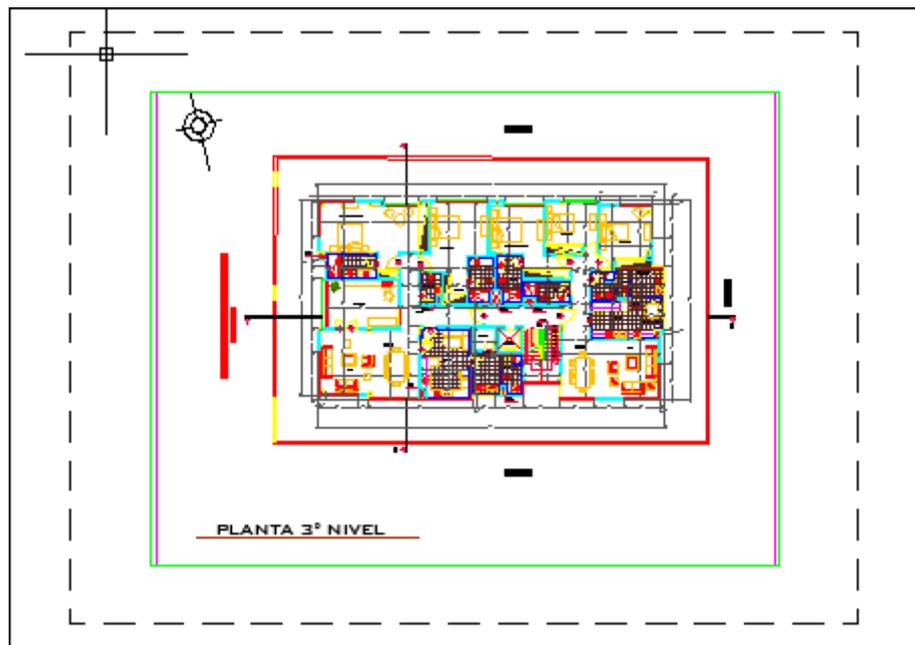
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Plano del segundo nivel



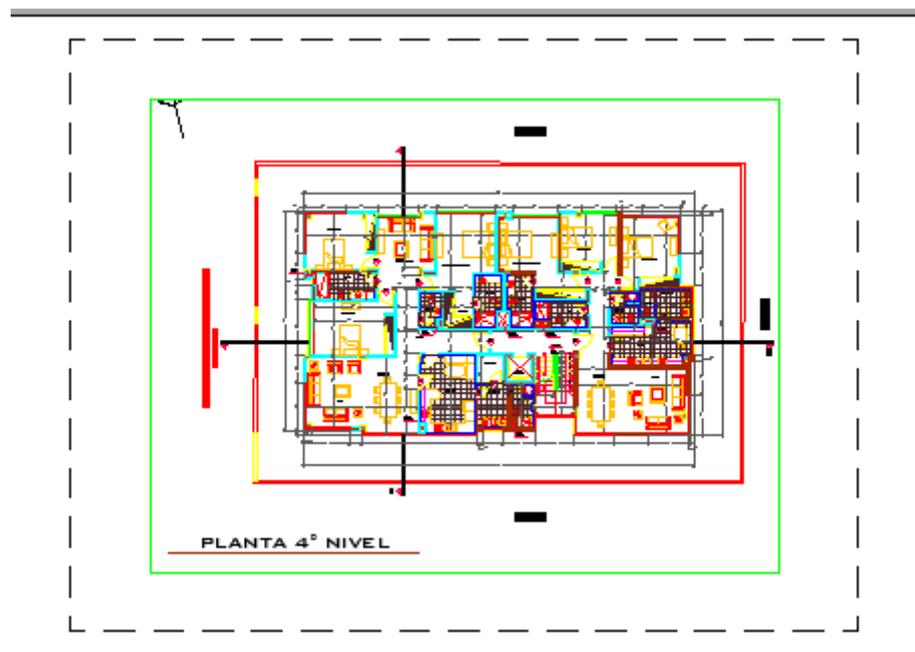
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Plano del tercer nivel



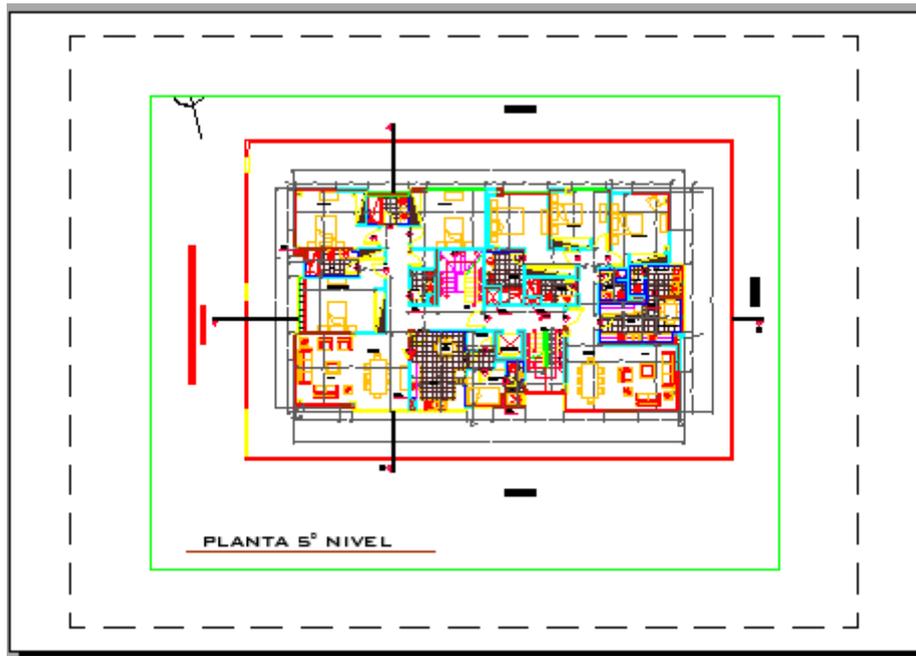
Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Plano del cuarto nivel



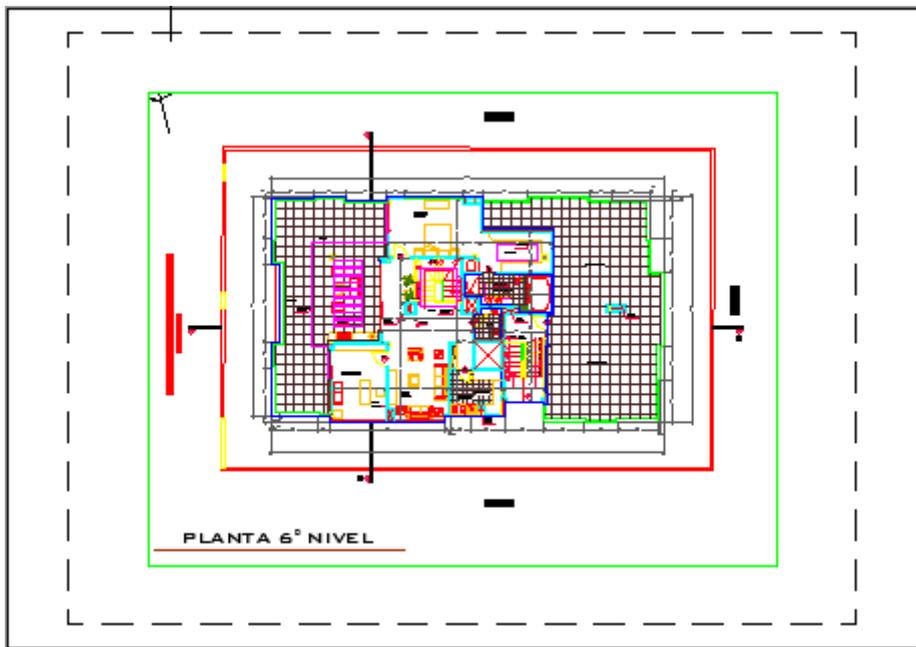
Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Plano del quinto nivel



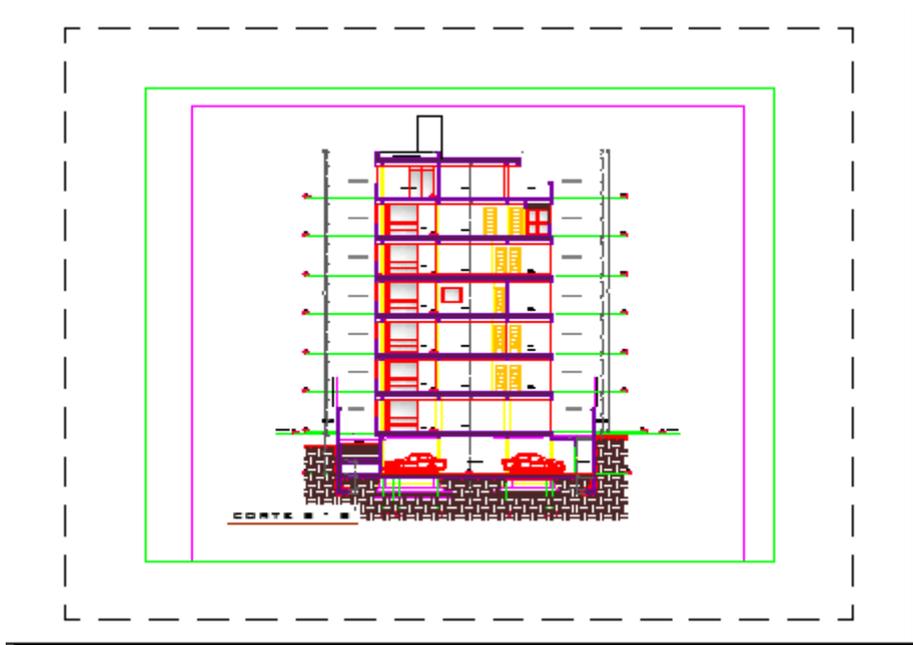
Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. Plano del sexto nivel



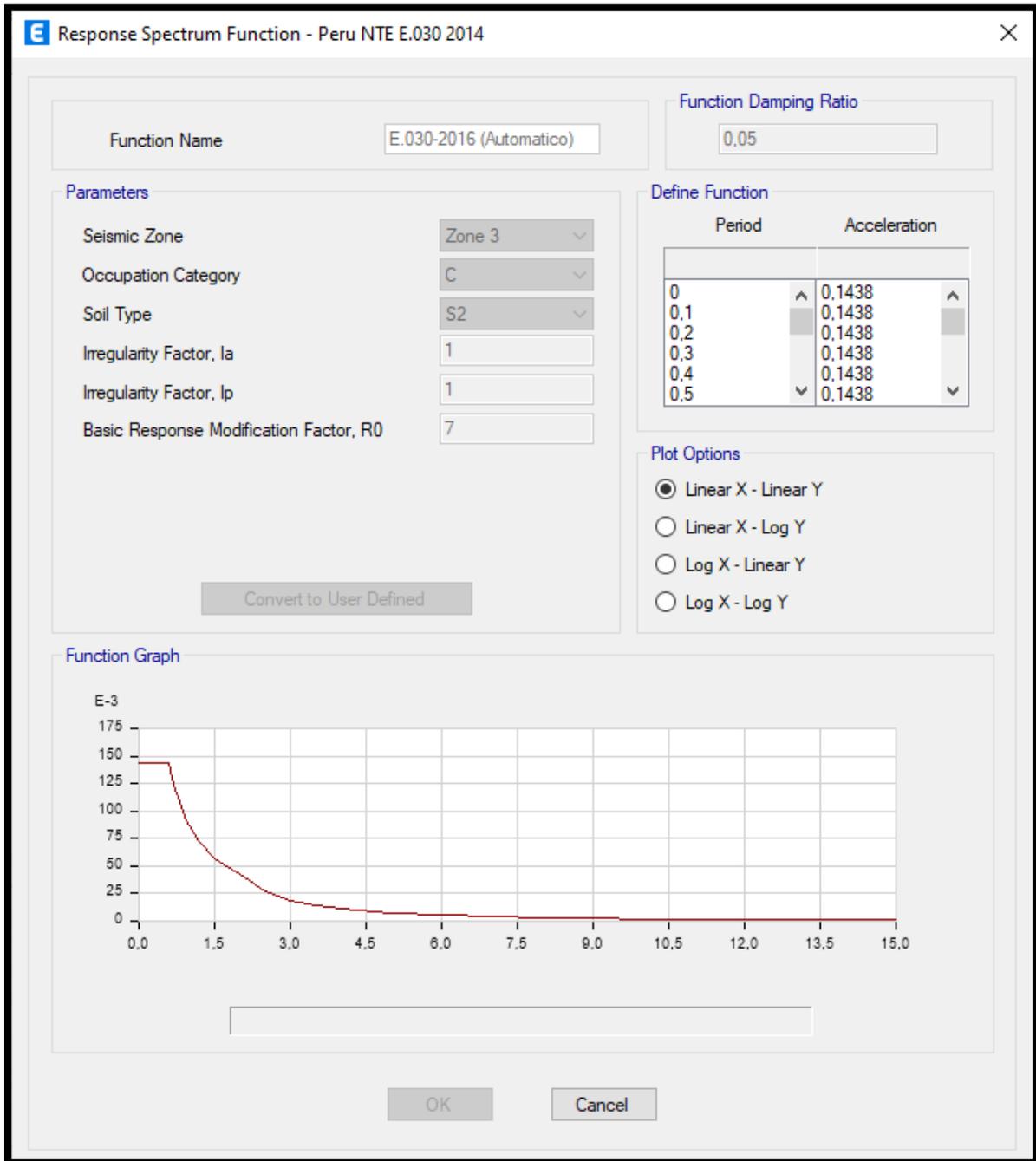
Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Plano en corte del edificio multifamiliar



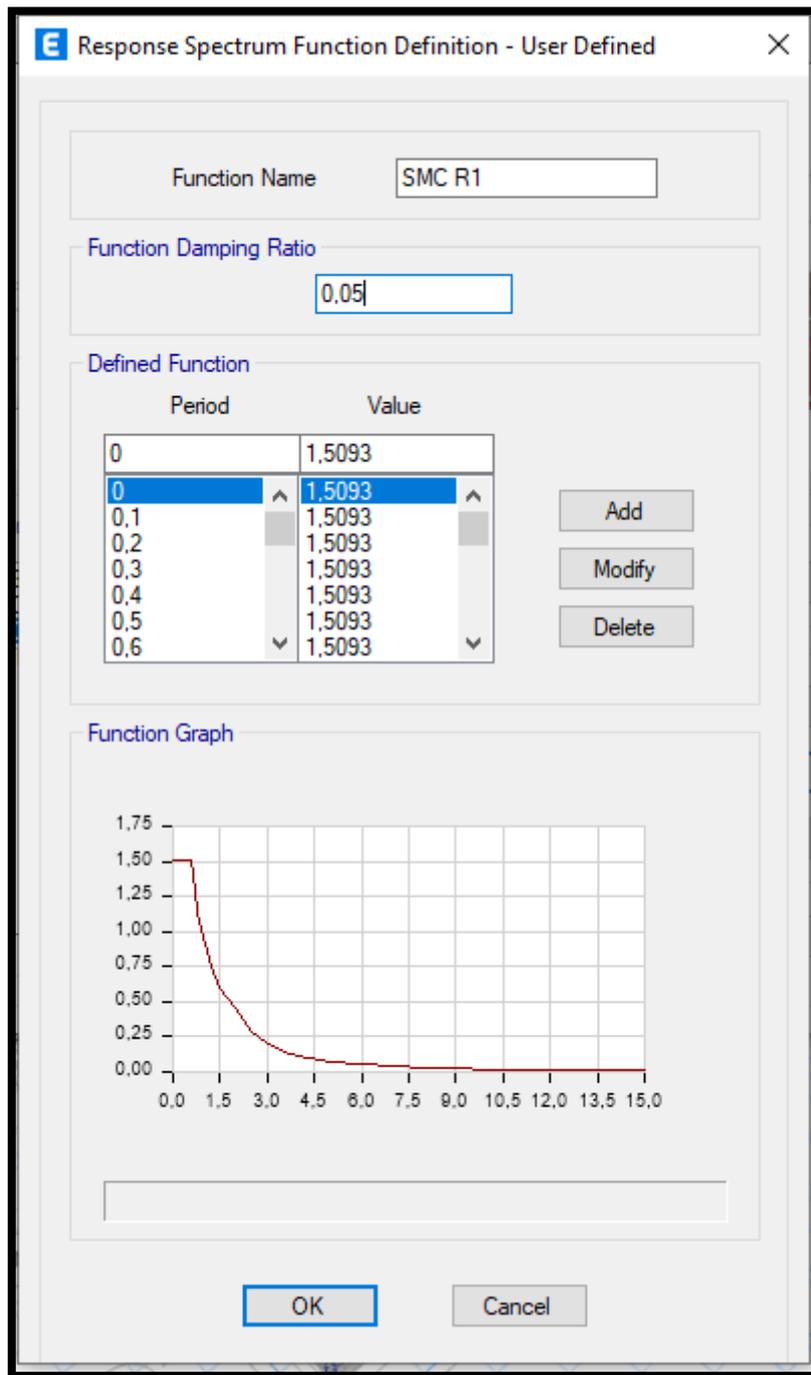
Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Espectro empleado para el edificio con base fija



Se empleó un R= 7 por tener un sistema estructural dual (pórticos y muros)

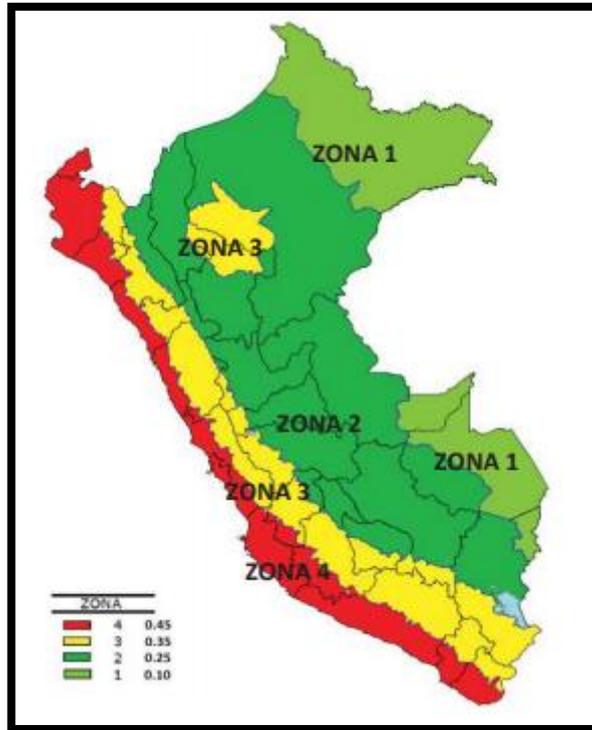
Figura 44. Espectro empleado para el edificio con base aislada



El factor de reducción R usado ya no es 7 se cambió por un $R=1$ y se multiplicó por un factor igual a 1.5 veces la pseudo aceleración. Ya que esto indica la norma e031 del reglamento nacional de edificaciones.

DATOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR TODAS LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS AISLADORES CON NÚCLEO DE PLOMO

Figura 45. Zonas sísmicas



Fuente: Reglamento nacional de edificaciones.

En primer lugar, se identificó en que zona según el mapa que nos proporciona la norma e030 se encuentra el edificio en estudio. De la norma se obtuvieron diversos cuadros que sirvieron para dar los primeros lineamientos para llegar a las dimensiones de los aisladores.

Se identificó la zona como $Z=3$

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Por lo tanto, le corresponde un factor $z=0,35$

Mediante el estudio de suelos se identificó el tipo de suelo al que pertenece siendo un suelo del tipo S2.

ZONA \ SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₁	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₂	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₃	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₄	0,80	1,00	1,60	2,00

De este cuadro se obtuvo el valor de 1.2 para empezar con los cálculos.

Con un valor de periodo de la estructura: $T=0.39$ s

$T_M = 3 \cdot T = 1.17$ seg.

	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
T _p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

De este cuadro se obtuvieron valores a los respectivos T_p y T_L. Siendo de 0,6 y 2 respectivamente.

Pasamos a obtener el valor de C:

$T < 0,2 T_p$	→	$C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_p}\right)$
$0,2 T_p < T < T_p$	→	$C = 2,5$
$T_p < T < T_L$	→	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$
$T > T_L$	→	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$

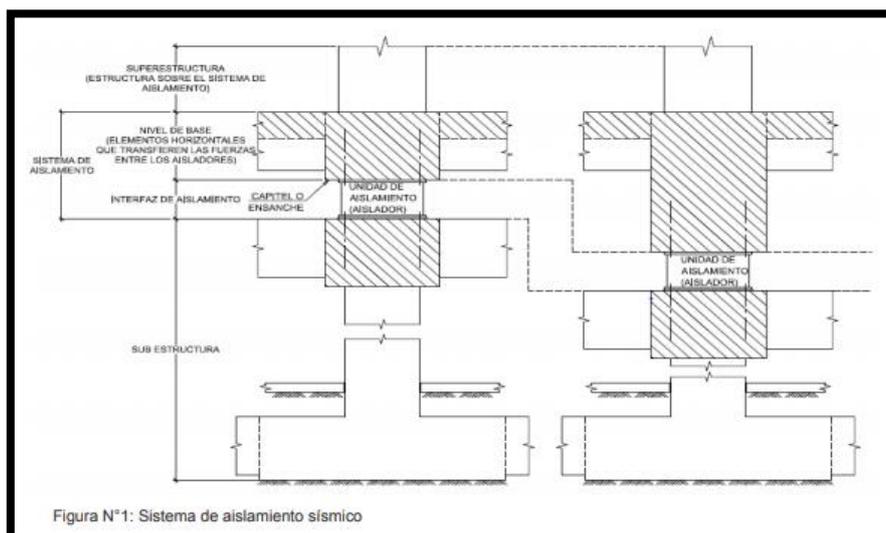
Se obtiene un valor de $C = 2.5$

g=	9,81
S=	1,2
U=	1
Tp=	0,6
Tl=	2
T=	0,39
C=	2,5

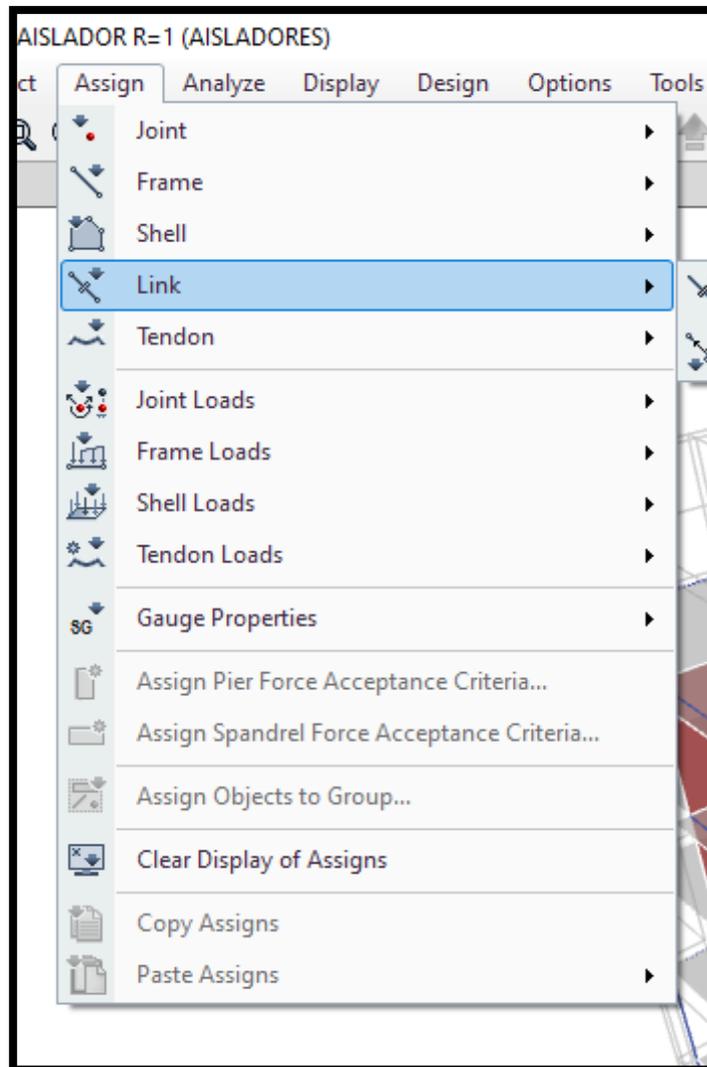
Con estos datos se empezó a realizar los cálculos que están mejor detallados en el capítulo III en lo que corresponde a procedimientos.

Amortiguamiento Efectivo, β_u (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a,b	Factor B_u
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
≥ 40	1,9

De esta tabla se obtuvo valores para el amortiguamiento en un inicio se asume un valor de 15%, pero luego de hallar todos los cálculos nos termina dando un valor del 20% de amortiguamiento por lo que se volvió a realizar los cálculos con ese valor para tener características y propiedades de los aisladores con valores más cercanos a la realidad. A continuación una imagen de la ubicación del aislador.



PROCEDIMIENTO DE INGRESO DE DATOS OBTENIDOS CON LAS FORMULAS
EMPLEADAS INDICADAS EN EL CAP. III AL SOFTWARE ETABS.



Asignamos link tipo y damos a link properties y se nos abre otra ventana:

Posteriormente ahí se ingresaron los datos obtenidos del aislador:

Link Property Data

General

Link Property Name: P-Delta Parameters:

Link Type: Acceptance Criteria:

Link Property Notes: None specified

Total Mass and Weight

Mass: tonf-s²/m Rotational Inertia 1: tonf-m-s²

Weight: tonf Rotational Inertia 2: tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: m²

Directional Properties

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

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases:

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping:

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor:

El aislador de tipo A tuvo las siguientes propiedades que se ingresaron al software dadas en la siguiente captura de imagen:

Cabe recalcar que se trabaja solo con los ejes x i y porque por ser un aislador elastomérico del tipo núcleo de plomo será empotrado en el eje z.

E Link/Support Directional Properties ×

Identification

Property Name	<input type="text" value="TIPO A"/>
Direction	<input type="text" value="U2"/>
Type	<input type="text" value="Rubber Isolator"/>
NonLinear	<input type="text" value="Yes"/>

Linear Properties

Effective Stiffness	<input type="text" value="65.373"/>	tonf/m
Effective Damping	<input type="text" value="0,21"/>	tonf-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J	<input type="text" value="0"/>	m
---------------------	--------------------------------	---

Nonlinear Properties

Stiffness	<input type="text" value="420,79"/>	tonf/m
Yield Strength	<input type="text" value="9,97"/>	tonf
Post Yield Stiffness Ratio	<input type="text" value="0,1"/>	

Propiedades ingresadas para el aislador del tipo A son las mismas propiedades para ambos ejes x i y.

E Link/Support Directional Properties ×

Identification

Property Name	<input type="text" value="TIPO B"/>
Direction	<input type="text" value="U2"/>
Type	<input type="text" value="Rubber Isolator"/>
NonLinear	<input type="text" value="Yes"/>

Linear Properties

Effective Stiffness	<input type="text" value="132.807"/>	tonf/m
Effective Damping	<input type="text" value="0,21"/>	tonf-s/m

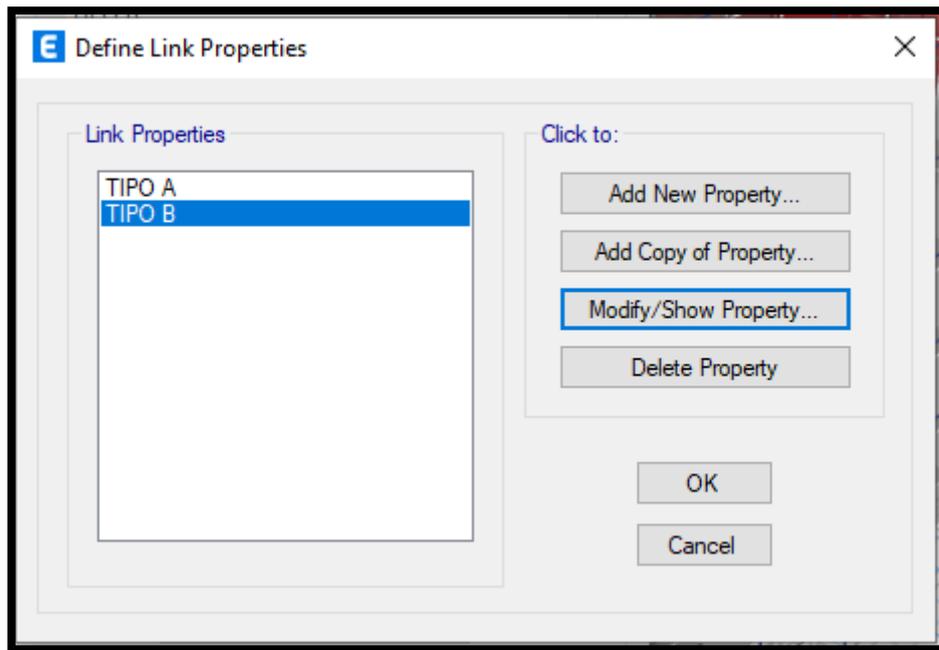
Shear Deformation Location

Distance from End-J	<input type="text" value="0"/>	m
---------------------	--------------------------------	---

Nonlinear Properties

Stiffness	<input type="text" value="870,919"/>	tonf/m
Yield Strength	<input type="text" value="20,172"/>	tonf
Post Yield Stiffness Ratio	<input type="text" value="0,1"/>	

Propiedades ingresadas para el aislador del tipo B son las mismas propiedades para ambos ejes x i y.



Una vez que creamos ambos tipos de aisladores ya se puede pasar a colocarlos donde sea conveniente y de acuerdo a los pre dimensionamientos realizados para los mismos.



Y se dibuja con el icono resaltado en amarillo escogiendo cada tipo de aislador donde sea más conveniente, según los resultados obtenidos en los cálculos previos.

Figura 46. Edificio con aisladores incorporados.

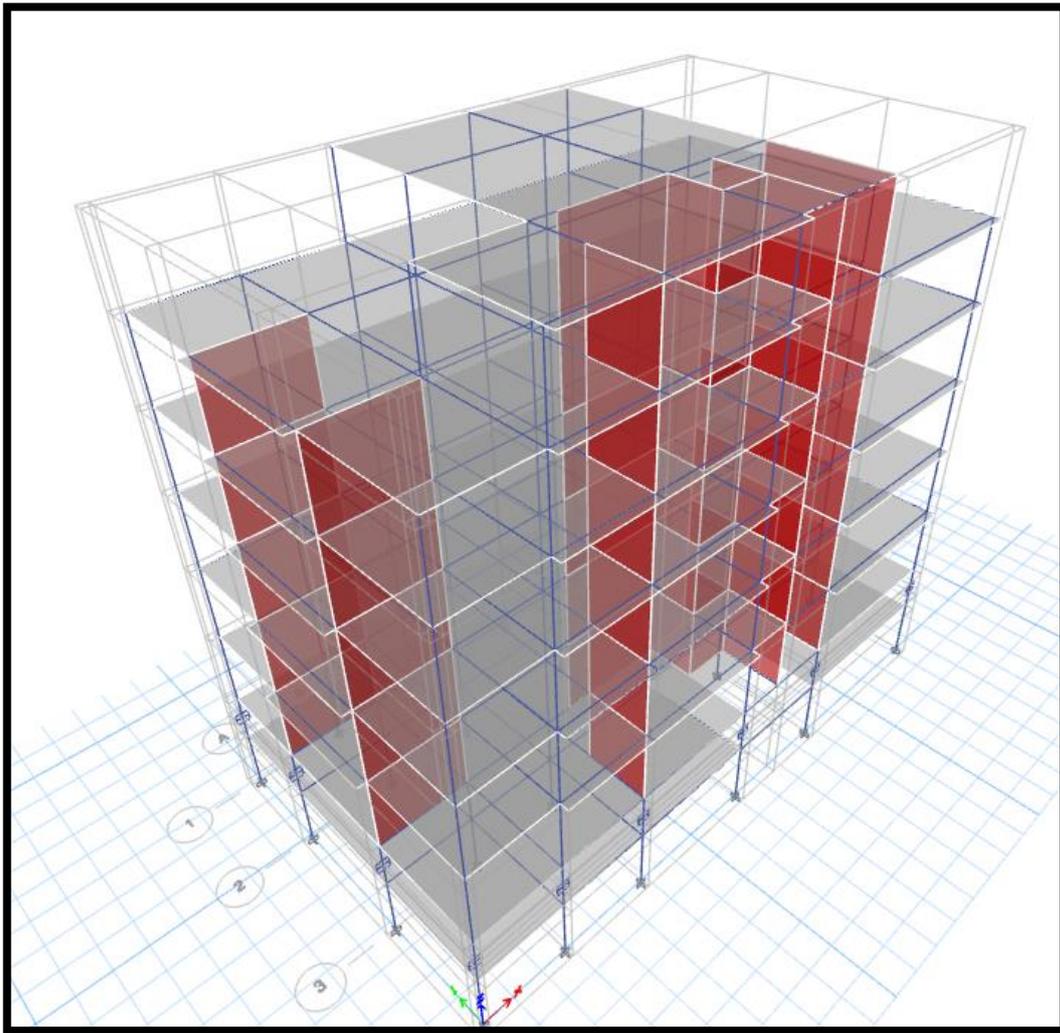
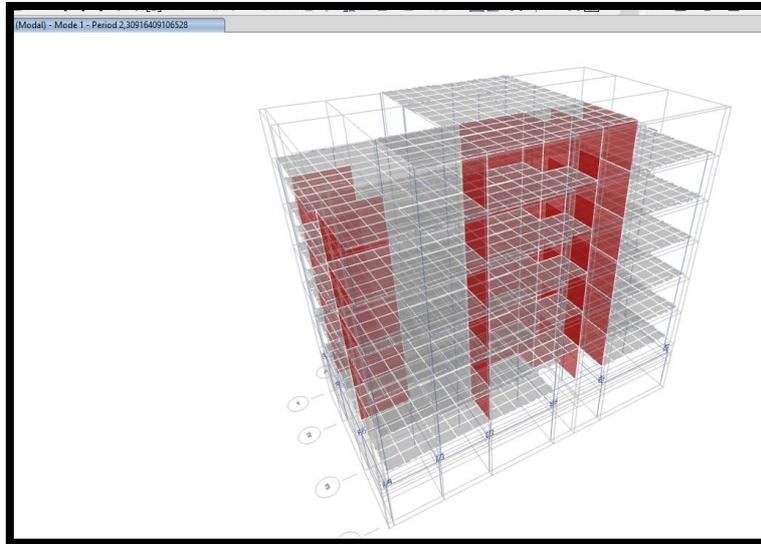


TABLA CON RESULTADOS OBTENIDOS DEL PORCENTAJE DE AUMENTO Y DECREMENTO De CORTANTES, DERIVAS Y DESPLAZAMIENTOS CON AISLADORES NÚCLEO DE PLOMO

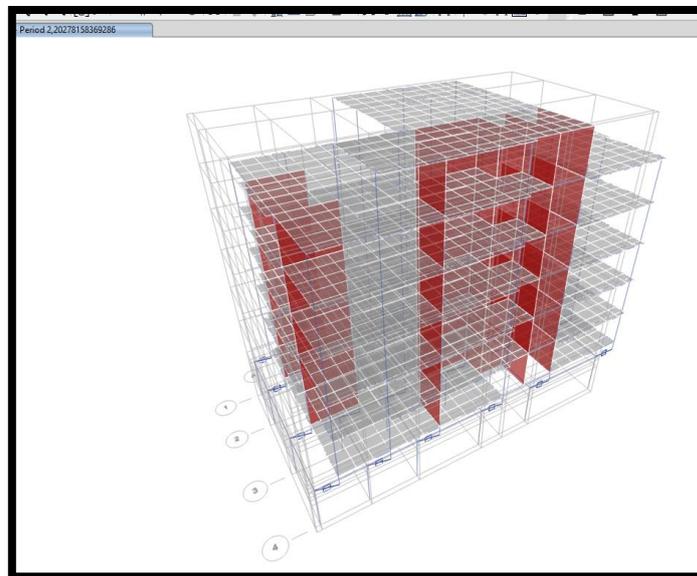
PISOS	CORTANTES	DERIVAS	DESPLAZAMIENTOS
6	82%	79%	73%
5	81%	78%	74%
4	80%	78%	77%
3	79%	78%	79%
2	77%	78%	82%
1	76%	76%	85%
NIVEL BASE	74%	86%	88%

PRINCIPALES MODOS DE VIBRACIÓN DEL EDIFICIO AISLADO

El primer modo con un periodo de: $T = 2.31$ seg.



El segundo modo con un periodo de: $T = 2.20$ seg.



El tercer modo con un periodo $T = 2.02$ seg.

