



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS SISMORRESISTENTE UTILIZANDO AISLADORES
SÍSMICOS EN UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 9 PISOS EN LA
URB. SAN ANDRÉS DISTRITO DE TRUJILLO.”**

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

AUTOR:

PRETELL VIGO, PAUL FRANCISCO

ASESOR:

DR. ING. OMAR CORONADO ZULOETA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL

TRUJILLO – PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO

MG. ING. HILBE SANTOS ROJAS SALAZAR
PRESIDENTE

MG. ING. MARLON GASTÓN FARFÁN CÓRDOVA
SECRETARIO

MG. ING. OMAR CORONADO ZULOETA
VOCAL

DEDICATORIA

A mi madre, Flor, por ser el motor principal que empuja todos mis proyectos y por enseñarme que para nosotros no hay causas perdidas.

A tu fortaleza, a tu valor y a todo tu amor, porque por ti todas las cosas son.

A mi padre, Paul, por perseverar siempre y no rendirte en las más adversas situaciones, por confiar que lo lograríamos. A ti que me enseñaste mis primeros “porques”, el valor de ayudar al prójimo y el amor a mi país.

A mi hermano Leonardo, por enseñarme la fortaleza que encierran los pequeños corazones. No importa cuán larga sea la lucha, lo importante es no dejar de luchar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a Dios, por llevarme de la mano a los lugares indicados para cumplir mis metas, porque todos sus tiempos son perfectos en su plan. Agradecer a mi casa de estudios Universidad César Vallejo, y a cada uno de mis docentes que me acompañaron en este gran proceso de formación, por brindarme las capacidades necesarias para desenvolverme como un profesional íntegro y al servicio del país. Un agradecimiento a mi familia, por su constante aliento en todo este proceso, por su comprensión, sus valores y todo el calor brindado. Agradecer a mi pequeño pero valioso grupo de amigos por festejar mis logros, pero más importante aún por brindarme su mano en los momentos más difíciles, un abrazo fraterno a cada uno de ustedes y toda mi estima y lealtad. A la empresa MarkaGroup Norte SAC, por su paciencia y comprensión en este año transcurrido. A Edggar Calla, por sus enseñanzas, por brindarme las herramientas de la lógica, el análisis y la serenidad; por enseñarme a no callar cuando de nuestros derechos se trata, por enseñarme el valor del trabajo y la pasión por lo académico, cada una de sus enseñanzas terminaron de forjar mi carácter y personalidad, y que me permiten ser una persona íntegra y de principios. Y un infinito agradecimiento a Yanira Esquivel, por ser mi compañera en este camino, por todo su incondicional apoyo, por hacer suya también esta meta, y por compartir los mismos sueños; gracias por todo tu amor y paciencia, por todos los escalones avanzados, por llegar cada vez más lejos juntos.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Paul Francisco Pretell Vigo, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N° 48101498; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaro bajo juramento que la tesis es de mi autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y auténtica.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de información adicional aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, julio del 2018

Paul F. Pretell Vigo

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos, de la Universidad César Vallejo de Trujillo, presento ante ustedes la tesis titulada: “ANÁLISIS SISMORRESISTENTE UTILIZANDO AISLADORES SÍSMICOS EN UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 9 PISOS EN LA URB. SAN ANDRÉS, DISTRITO DE TRUJILLO.”, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Agradezco por los aportes y sugerencias brindadas a lo largo del desarrollo del presente estudio y de esta manera realizar una investigación más eficiente. El trabajo mencionado determina la importancia y la influencia que tiene un proyecto que comprende el análisis sismo resistente de la aplicación de aisladores sísmicos en edificaciones multifamiliares de la ciudad de Trujillo, por lo que constatamos que la aplicación de esta tecnología reduce significativamente el daño de la estructura después de un evento sísmico.

Paul F. Pretell Vigo

Indice

PÁGINA DEL JURADO.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
PRESENTACIÓN.....	vii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	13
1.2 TRABAJOS PREVIOS	14
1.3 TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA	16
1.3.1 INGENIERIA SISMICA	16
1.3.2 SISTEMA DE PROTECCION SISMICA.....	19
1.3.3 AISLADORES SISMICOS	23
1.3.4 SOFTWARE DE MODELAMIENTO Y ANALISIS	23
1.3.5 NORMATIVAS Y REGLAMENTOS.....	24
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	25
1.6 OBJETIVOS	26
1.6.1 OBJETIVO GENERAL:.....	26
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	26
II. METODOLOGÍA.....	27
2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	27
2.2 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	27
2.2.1 Variable	27
2.2.2 Operacionalización	28
2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	29
2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD. 29	
2.4.1 Técnicas:.....	29
2.4.2 Instrumentos:.....	29
2.4.3 Validez y Confiabilidad: (Informantes).....	29
2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	30

2.6	ASPECTOS ÉTICOS.....	30
III.	CONDICIONES GENERALES DE LA ESTRUCTURA	31
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	31
3.2	RESUMEN DE ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	32
3.3	NORMAS EMPLEADAS.....	33
3.4	REQUISITOS DE RESISTENCIA	34
3.5	ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES.....	34
3.6	CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL.....	35
IV.	ANÁLISIS SÍSMICO CON SISTEMA DUAL	37
4.1	DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	37
4.1.1	Descripción de Losas	37
4.1.2	Descripción de Columnas	39
4.1.3	Descripción de Vigas Horizontales (eje x) y Verticales (eje y).....	40
4.1.4	Descripción de Placas (para el modelo normativo sismo-resistente).....	41
4.2	METRADO DE CARGAS	50
4.2.1	Carga Viva del Piso	50
4.2.2	Metrado de Carga Por Piso	52
4.3	PARÁMETROS DEL ANÁLISIS SÍSMICO.....	52
4.3.1	Factor de zona	52
4.3.2	Condiciones geotécnicas	53
4.3.3	Factor de amplificación sísmica (C)	54
4.3.4	Factor de uso e importancia (U).....	57
4.3.5	Coeficiente de reducción (R).....	57
4.3.6	Efectos de Torsión (Excentricidad).....	58
4.4	ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL.....	58
4.4.1	Hallar las cargas sísmicas de la edificación	58
4.5	CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS.....	64
V.	DISEÑO DEL AISLAMIENTO DEL EDIFICIO	66
5.1	PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMNTOS PRINCIPALES.....	66
5.2	CARGAS SISMICAS DE LA EDIFICACIÓN	67
5.3	MASA TRASLACIONAL Y ROTACIONAL	68
5.4	CRITERIO DE SELECCIÓN DE LOS AISLADORES	70
5.5	DATOS INICIALES DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO	70
5.5.1	Utilización del código UBC-97	70
5.5.2	Definición de los datos comunes para el diseño de aisladores.....	71

5.5.3	Obtención de los datos preliminares del proyecto	72
5.6	UTILIZACIÓN DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR) ..	80
5.6.1	Desplazamientos máximos y cortantes según Norma UBC-97	80
5.6.2	Procedimiento para determinar los detalles de los aisladores HDR.....	84
5.6.3	Verificación según Norma UBC-97	87
5.6.4	Características Finales del Aislador HDR	91
5.7	MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA EN ETABS.....	93
5.7.1	Determinación de los Parámetros para la Modelación.....	93
5.7.2	Modelamiento con aislador HDR en ETABS	95
5.8	CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES	98
VI.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL DISEÑO NORMATIVO SISMO-RESISTENTE Y EL MODELO CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR).....	101
6.1	COMPARACIÓN ENTRE LOS MODELOS: NORMATIVOS SISMO-RESISTENTES Y CON LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR).....	101
6.1.1	Deformaciones Laterales por Piso.....	101
6.1.2	Periodos y Frecuencias.....	102
6.1.3	Fuerzas Internas Máximas.....	103
6.1.4	Control de Desplazamientos Laterales de la Estructura	104
6.2	COMPARACIÓN DE COSTOS GLOBALES DEL DISEÑO NORMATIVO SISMO-RESISTENTE DE UN SISTEMA DUAL FRENTE AL MODELO CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)	106
VII.	DISCUSIÓN.....	118
VIII.	CONCLUSIONES	119
IX.	RECOMENDACIONES	121
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	122

RESUMEN

La presente investigación busca crear un precedente local en el área de la ingeniería sísmica en lo que refiere a la implementación del uso de aisladores de base en edificaciones. Perú se encuentra en una región altamente sísmica, lo cual la condiciona a sufrir frecuentemente eventos sísmicos de gran escala. En el Perú se han realizado pocas investigaciones respecto al tema, y casi en específico en la ciudad de Lima. Para el presente proyecto se escogió un edificio multifamiliar de 9 pisos en la urbanización San Andrés Provincia de Trujillo. Utilizando el programa Etabs se modeló el proyecto de acuerdo a los planos que se han tenido en cuenta para su construcción. Para ello previamente se realizó la comprobación de los elementos estructurales para evitar fallas en lo sucesivo. Una vez modelado el edificio se le realizaron los respectivos análisis estático y dinámico según el Reglamento Nacional de Edificaciones y de acuerdo a los criterios y parámetros que esta demanda. Teniendo como resultado las características dinámicas sismorresistentes de la estructura. Se proiguió con la implementación de los aisladores de base, para lo que previamente se realizó un predimensionamiento, con la finalidad de disminuir secciones. Hecho esto se realizó el modelamiento tanto de la estructura, cómo de los aisladores de base. A la edificación modelada se le realizaron los análisis estático y dinámico, obteniendo ventajosos resultados. Finalmente se procedió a comparar los resultados en dónde podemos concluir que los asiladores de base no sólo resisten efectivamente los eventos sísmicos, sino que también permite alargar su tiempo de vida, esto y sumado a la reducción de secciones, nos permite llegar a la conclusión de que la implementación de aisladores de base es viable tanto del punto estructural, como desde el punto de vista económico.

Palabras clave: Aisladores sísmicos, análisis estático, análisis dinámico, modelamiento, estructura

ABSTRACT

The present investigation seeks to create a local precedent in the area of seismic engineering with respect to the implementation of the use of base insulators in buildings. Peru is located in a highly seismic region, which conditions it to suffer large-scale seismic events. In Peru, a survey was conducted on the subject, and almost specifically in the city of Lima. For this project, the 9-story multi-family unit was chosen in the San Andrés Province of Trujillo urbanization. Using the Etabs program, the project was modeled according to the plans that have been taken into account for its construction. For this, the structural elements were checked to avoid failures in the future. Once modeled, the building became the value of static and dynamic analysis according to the National Building Regulations and criteria and parameters that this demand. Having as a result the dynamic seismic characteristics of the structure. We tried with the implementation of the base insulators, for which a pre-dimensioning was previously carried out, for detention purposes. This was done by modeling both the structure and the base insulators. Static and dynamic analyzes were carried out on the modeled building, obtaining advantageous results. Finally, the procedure to compare the results in which we can conclude that the basic asiladores not only resist the seismic events, but also allows to extend their life time, this and added to the reduction of sections, allows us to reach the conclusion of that the implementation of base insulators is viable both from the structural point and from the economic point of view.

Key words: Seismic isolators, static analysis, dynamic analysis, modeling, structure

I. INTRODUCCIÓN

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

Uno de los fenómenos geológicos más frecuentes son los sismos, estos ocurren por diversas causas producto de la actividad de las placas tectónicas. Estos existen en diferentes intensidades y magnitudes. Si estudiamos la sismicidad del planeta, nos daremos cuenta que no hay país que no haya sufrido un sismo en toda su historia. Sin embargo, nos daremos cuenta que la sismicidad es más alta en unas regiones que otras, entre estas tenemos el cinturón de fuego del pacífico.

El Cinturón de Fuego del Pacífico es una zona de alta actividad sísmica. En esta región se encuentran las placas tectónicas de la tierra, y entran en actividad moviéndose una debajo de otra, a esta dinámica se le conoce como el “fenómeno de subducción”. Este suceso es frecuente en la actividad tectónica intercontinental, sin embargo, el constante roce entre estas genera una acumulación de energía, buscando, consecuentemente, la liberación de esta; generando así el sismo, lo cual hace que la actividad sísmica sea más periódica en los países comprendidos en esta región. Entre las placas que se ven involucradas en esta actividad tenemos la Euroasiática, la de Filipinas, la Indo-australiana, la norteamericana, la de Cocos, la del Caribe, la de Nazca, la Sudamericana, la Antártica y la del Pacífico.

Todas las civilizaciones que se han desarrollado en torno a este Cinturón de fuego del pacífico, han tenido que adaptar sus estructuras para poder convivir con este fenómeno geológico; tal es así que entre las culturas locales como en los países internacionales se observan diversos tipos de estructuras antisísmicas. Sin embargo, tanto las edificaciones como los métodos constructivos han ido evolucionando con el tiempo. Y así nuevos métodos que permitan mantener a salvo las estructuras de los efectos de la naturaleza.

En los países de Sudamérica con costa al océano pacífico, se han registrado una serie de eventos sísmicos de gran magnitud, junto con los cuales se ha reportado grandes pérdidas materiales y humanas. Entre los terremotos más recientes tenemos el de Pisco - Perú (2007), Chile (2015), Ecuador (2016) y en México recientemente

(2017); los cuales han hecho resaltar las grandes deficiencias en lo que respecta a la construcción sismo resistente en los países de América latina. Los países recientemente afectados, se han visto en la obligación de modificar sus normas de construcción y adaptarlas a las nuevas tecnologías constructivas antisísmicas. En el Perú, principalmente, además de la sismicidad, también tenemos un crecimiento vertical en el campo inmobiliario; lo cual nos condiciona aún más adaptar el reglamento a estos nuevos métodos de construcción sísmica y a tenerlos en cuenta al momento del diseño estructural.

Los nuevos métodos de construcción antisísmica comprenden el uso de disipadores de energía y aisladores de base o aisladores sísmicos, en los cuales concentraremos el estudio en la presente investigación. Estas nuevas tecnologías se encuentran en una fase de implementación y desarrollo, sin embargo, su uso cada vez toma un carácter más obligatorio. Nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) no es ajeno a esta realidad y en su actualización en el 2016 en la E-030 muestra una nueva actualización mencionando por primera vez el uso de aisladores sísmicos en edificaciones especiales clasificadas como A1, mas no una normativa que regule o detalle el uso o especificaciones técnicas que aportan estos aisladores, así como tampoco la clase de aislador a usar según el tipo de estructura ni mucho menos los requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad. En base a este vacío técnico en algunas ciudades del Perú, especialmente en Lima se han hecho estudios y propuestas con respecto al uso de aisladores sísmicos, pero en Trujillo actualmente aun no contamos con un antecedente, lo cual el presente estudio busca satisfacer.

1.2 TRABAJOS PREVIOS

Para la elaboración de este proyecto de investigación contara con información sobre estudios similares ejecutados en Lima y en países con sismicidad parecida al Perú, así como de extensa bibliografía, los cuáles tomaremos como referencia:

Leyton (2017) en su propuesta de “IMPLEMENTACIÓN DE AISLADORES SÍSMICOS EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN LIMA, PERÚ”, tesis para obtener el título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica Del Perú, se propone el uso de aisladores sísmicos en un edificio multifamiliar de concreto

armado considerando la factibilidad técnica-económica del uso del aislamiento de base. Para reconocer la factibilidad hace un análisis comparativo entre un edificio ya construido y una propuesta alternativa implementado la aislación sísmica. El diseño determinará cuan eficiente es esta tecnología a través de indicadores estructurales y la evaluación económica, circunscrita a las variaciones entre propuestas, determinará los costos por el aislamiento.

Pérez y Vásquez (2016) en su investigación titulada “DISEÑO DE AISLADORES SISMICOS DE BASE PARA EDIFICIO DE OFICINAS DE 10 NIVELES CON SISTEMA ESTRUCTURAL DE PORTICOS RIGIDOS DE CONCRETO REFORZADO” Esta Tesis de la Universidad Centroamericana de Managua. Hace un análisis comparativo entre la configuración estructural existente y el modelamiento con dos sistemas de aisladores distintos, que vendrían a ser un sistema basado en elastómeros y el otro basado en el deslizamiento. Para el sistema con elastómeros se propuso el aislador de goma con núcleo de plomo y para el de basado en desplazamiento se utilizaron las características del aislador de péndulo friccionante. Para hacer el modelamiento de estos tres sistemas se utilizó el ETABS 2000, siendo la estructura un edificio de oficinas de 10 pisos de tipo aporticado. Las características simorresistentes que se tuvieron en cuenta al momento de correr los modelos las propiedades dinámicas: periodo, aceleración, distorsión y cortante basal. Los aisladores sobresalieron en desempeño con respecto a la estructura convencional en todos los parámetros de comparación obteniéndose una óptima respuesta antisísmica.

Lema (2013) en su trabajo “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS MODELAMIENTO EN EL ETABS” En la Pontificia Universidad Central del Ecuador. Se escogió el Bloque “E” del Hospital de Ambato, edificación de concreto armado, que cuenta también con placas estructurales. En este caso el autor modela en ETABS la estructura con el modelo tradicional. A continuación, hace un modelamiento empleando tres tipos diferentes de aisladores sísmicos, HDR (Aislador de Goma de Alto Amortiguamiento), LBR (Aislador de Goma con Núcleo de Plomo) y FPS (Aislador con Péndulo de Fricción), comparando principalmente los desplazamientos relativos de la

superestructura, fuerzas de corte basal, considerando la interacción suelo – estructura.

Benavente y Traverso (2013) en su proyecto de investigación “COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO DE SIETE PISOS CON Y SIN AISLAMIENTO EN LA BASE” para obtener el título de ingeniero civil en la Pontificia Universidad Católica Del Perú hace un análisis comparativo para una estructura aun en etapa de proyecto. La estructura a modelar es un museo en la ciudad de Lima, y se hace el diseño utilizando un sistema de aislación sísmica y uno tradicional. La estructura contara con 7 niveles y lo que se propone es hacer una comparación técnica – económica. Este proyecto contemplará los comportamientos sismorresistentes de ambos modelos.

1.3 TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1 INGENIERIA SISMICA

La Ingeniería sísmica es una rama de la ingeniería civil, que apoyado de la sismología y la ingeniería estructural busca estudiar, proyectar, desarrollar y aplicar métodos y técnicas de construcción que permitan a las estructuras afrontar un evento sísmico de manera que sus propiedades estructurales iniciales no se vean afectadas o se tienda a ello, teniendo como prioridad asegurar la integridad del ser humano ante un evento sísmico.

1.3.1.1 DISEÑO SISMORRESISTENTE

El diseño sismorresistente convencional está basado en que el comportamiento de la estructura, específicamente en sus características estructurales, esté dentro de los parámetros aceptables durante un evento sísmico y sea el sistema capaz de absorber las fuerzas laterales y de disipar la energía de manera estable por una prolongada cantidad de ciclos. La disipación de energía en el sistema ocurre en las regiones conocidas como rótulas plásticas dúctiles, que son detalladas espacialmente en las conexiones viga – columna, elementos que también soportan cargas por gravedad. Las zonas del pórtico que sufren daño concentrado de gravedad se les conoce como rótula plástica. Para evitar

esto se refuerzan específicamente estas regiones de manera que se pueda prevenir el colapso de la estructura y de esta manera asegurar la vida de las personas.

Sin embargo, existen situaciones donde el diseño convencional no logra cubrir los requerimientos mínimos para mantener la estructura en funcionamiento, este es el caso de edificaciones importantes tales como hospitales tanto públicos como privados. En estos casos se diseña la estructura con una resistencia tal que la acción inelástica se prevenida o mínima, sin embargo, esto resulta altamente costoso teniendo en cuenta también que en general se refuerzan las regiones de mayor importancia.

En la actualidad se han desarrollado métodos y tecnologías que nos permiten disminuir significativamente los efectos del sismo en el deterioro de las características estructurales de la edificación. A estas tecnologías se les conoce como sistemas de protección sismorresistente en la estructura, y estos a su vez pueden ser sistemas de aislación sísmica o sistemas de disipación de energía a través de elementos complementarios.

1.3.1.2 ANALISIS ESTATICO

Es el análisis de las cargas que actúan en la estructura sin variar en el tiempo. En este método las solicitaciones sísmicas son representadas mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en el centro de masa de cada piso de la edificación. Para determinar las fuerzas horizontales en cada piso se calcula el corte en la base o cortante basal en base a la estimación del periodo fundamental de vibración.

1.3.1.3 ANALISIS DINAMICO

Este análisis tiene en cuenta las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que están presentes en la estructura como resultado de las deformaciones y desplazamientos que aparecen en la edificación, apoyándose en el análisis modal espectral. En el análisis dinámico las

cargas y respuestas de la estructura varían con el tiempo. Las aceleraciones producto de las deformaciones, producen en el tiempo fuerzas de inercia.

1.3.1.4 CARGA SISMICA

Son las fuerzas resultantes horizontales que actúan en el centro de masa de cada planta, son un sistema de fuerzas puras que son equivalentes a soportar un sismo.

1.3.1.5 CORTANTE BASAL

La cortante basal es el resultado total de las fuerzas laterales en la estructura de los efectos de las fuerzas de inercia horizontales, para luego distribuirlo en los diferentes pisos de la estructura.

1.3.1.6 CENTRO DE MASA

Es el punto donde asumimos se concentra toda la masa del sólido, en este caso de cada piso visto en planta y así poder estudiarlo. Es el punto de la masa donde al aplicar una fuerza es el equivalente a aplicar una fuerza distribuida en todo el cuerpo.

1.3.1.7 CENTRO DE GRAVEDAD

Es el punto donde se aplica la resultante de todas las fuerzas de gravedad, que actúan sobre las distintas porciones de materia que contornen el cuerpo.

1.3.1.8 CENTRO DE RIGIDEZ

Es el punto con respecto con respecto al cual el edificio se mueve desplazándose como un todo, es el punto donde se pueden considerar concentradas las rigideces de todos los pórticos. Si el edificio presenta rotaciones estas serán con respecto a este punto.

1.3.1.9 DERIVA

Se conoce como distorsión de entrepiso al cociente entre la diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos de la estructura entre la altura de dicho entrepiso.

1.3.1.10 PREDIMENSIONAMIENTO

El pre dimensionamiento es el procedimiento a través del cual se estiman las medidas y propiedades estructurales de los elementos principales en la construcción.

1.3.1.11 METRADO DE CARGAS

Es el peso que pueda tener la edificación al sumar el peso de cada elemento, teniendo en cuenta sus dimensiones y las propiedades del material.

1.3.2 SISTEMA DE PROTECCION SISMICA

Cuando se hace el diseño de la mayoría de estructuras y obras civiles se tiene la tendencia, en general, de dimensionar en base a las cargas de gravedad, debido a que estas cargas son constantes a lo largo de la vida de la estructura. Estas cargas son fácilmente calculadas teniendo en cuenta el peso propio de la estructura y las solicitaciones que la edificación tenga durante su vida útil. A través del análisis estático se puede idealizar fácilmente el diseño de la estructura asumiendo que las cargas no sufren variación a lo largo del tiempo. Este método ha permitido al hombre diseñar sus estructuras a lo largo de su historia, permitiéndole cubrir sus necesidades estructurales.

Por otro lado, cuando se tiene que trabajar con fuerza laterales, se tiende a utilizar el mismo método que se usa para analizar las cargas por gravedad, asumiendo las fuerzas laterales como “Cargas estáticas equivalentes” tal es el caso de las cargas de sismo y cargas de viento. Idealizándolas de esta forma nos permite un trabajo aproximado, pero no exacto, de las solicitaciones sismorresistentes de la estructura. Sin embargo, llevándolo a un análisis

dinámico nos permite detallar con mayor exactitud el comportamiento de la estructura, lo cual ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías. Estas tecnologías comprenden una amplia gama de estrategias que consisten en la incorporación de elementos externos a la estructura de manera que favorezca a la edificación al momento de dar una respuesta dinámica. Estos métodos son los considerados sistemas de protección sísmica y están considerados como elementos de control estructural según la mecánica de estructuras.

Los sistemas de protección sísmica tienen por objeto:

- Modificar las propiedades dinámicas de la estructura.
- Disipar la energía a través de elementos mecánicos externos a la estructura.
- Controlar a través de dispositivos que ejerzan una fuerza que contrarresten la acción sísmica.

1.3.2.1 SISTEMAS PASIVOS

Este sistema está basado en elementos que respondan de forma inercial a la acción sísmica, y que, a diferencia de los otros sistemas, no hace un aporte energético a la estructura durante su funcionamiento. Son elementos que tienen una característica reactiva y cuyas respuestas no son controlables y únicamente dependen de las condiciones de trabajo en la que se encuentran. Estos elementos alteran las propiedades dinámicas de la estructura de forma que su respuesta estructural se ve reducida. Este sistema a su vez se subdivide en tres tipos: el aislamiento de base, los disipadores de energía y los osciladores resonantes.

1.3.2.1.1 AISLAMIENTO SISMICO

Este sistema se basa en el desacoplamiento de la estructura del movimiento del suelo como medida de protección sísmica. Son dispositivos cuyas características son ser flexibles para los desplazamientos horizontales y rígidos para desplazamientos verticales, estos se encuentran ubicados entre la cimentación y la superestructura. Los aisladores en la estructura alargan el periodo

fundamental de esta, y al aislarla del terreno limita la entrada de energía ante un evento sísmico, y por consiguiente limita los desplazamientos hasta un punto considerablemente aceptable.

1.3.2.1.2 DISIPADORES DE ENERGIA

Las estructuras convencionales disipan la energía a través de sus elementos estructurales principales, los disipadores son elementos externos que favorecen en la absorción de energía, reduciendo significativamente las deformaciones y los daños a los elementos estructurales. Modifican las propiedades dinámicas de la estructura en el amortiguamiento.

En el sistema de control pasivo por disipadores de energías tenemos dos clases. Los dispositivos histéricos que dependen del desplazamiento. Y los disipadores viscoelásticos que dependen de la velocidad.

1.3.2.1.3 OSCILADOR RESONANTE o TMD

También conocido como Tuned Mass Damper y cuenta con un oscilador de un grado de libertad, un mecanismo de muelle y un mecanismo de amortiguamiento. Se instala en la parte superior de la edificación y de forma que el muelle y a masa tengan una frecuencia de oscilación igual a la frecuencia fundamental de la estructura.

Una de sus ventajas adicionales es que también ejerce control sobre las fuerzas horizontales de viento, y entre sus desventajas tenemos que requiere de una gran masa y espacio amplio para su ubicación, aunque actualmente se está considerando los tanques de agua como masa.

1.3.2.2 SISTEMAS ACTIVOS

El sistema de control activo está constituido por sensores y controladores. Los sensores determinan la cantidad de energía que entra producto de la excitación externa. Los controladores se basan en la medida de los

sensores para regular la fuerza a aplicar por parte de los actuadores de control y de esta manera contrarrestar los efectos de la actividad sísmica. Los actuadores obtienen la energía de una fuente externa y es de forma variable de acuerdo a las sollicitaciones captadas por el sensor.

Entre los sistemas activos tenemos de tres tipos:

- **ARRIOSTRES ACTIVOS**
- **TENDONES ACTIVOS**
- **OSCILADOR ACTIVO**

1.3.2.3 SISTEMAS HIBRIDOS

Es la combinación entre el sistema activo y el sistema pasivo, donde el dispositivo del sistema pasivo hace las veces de controlador. Entre las ventajas que nos ofrece este sistema resaltan dos principalmente; primero, de fallar el sistema activo, el sistema pasivo sigue actuando; segundo, la energía externa necesaria es menor debido a que el elemento pasivo ya ha absorbido parte de la energía.

El sistema híbrido se subdivide en dos tipos:

- **AISLAMIENTO ACTIVO**
- **OSCILADOR HIBRIDO**

1.3.2.4 SISTEMAS SEMI-ACTIVOS

Tiene un funcionamiento similar al sistema activo, pero con una variación en el elemento de control, el cual es de carácter reactivo, donde sus propiedades mecánicas (rigidez o amortiguamiento) son controlables, de manera que se pueda manejar las propiedades dinámicas de la edificación utilizando una cantidad de energía bastante menor.

El sistema semi-activo se subdivide en:

- **DISIPADORES DE ORIFICIO VARIABLE**

- **DISPOSITIVOS DE FRICCIÓN VARIABLE**
- **DISIPADORES FLUIDO CONTROLABLE**

1.3.3 AISLADORES SISMICOS

Son elementos que aíslan la estructura del suelo, separando la cimentación de la superestructura. Estos dispositivos tienen como características principales el ser flexibles al movimiento horizontal y rígido al desplazamiento horizontal. La finalidad del aislador sísmico es alargar el periodo fundamental con lo cual se separa el movimiento del terreno con la estructura y controla la entrada de energía. Se recomienda usar en terrenos rígidos.

1.3.3.1 SISTEMAS BASADOS EN ELASTOMEROS

Estos dispositivos están formados por varias capas de caucho intercaladas con placas de acero, y al centro se le coloca un elemento vertical de plomo. Como tapas se le agrega dos placas de metal adicional de manera que permita conectarse a la cimentación y a la estructura. El caucho en el elemento le proporciona flexibilidad horizontal, las placas de metal y el núcleo de plomo proporcionan la rigidez vertical al elemento.

1.3.3.2 SISTEMAS BASADOS EN DESLIZAMIENTO

Estos dispositivos trabajan limitando la fuerza máxima transmitida a la estructura mediante la fricción.

1.3.4 SOFTWARE DE MODELAMIENTO Y ANALISIS

1.3.4.1 REVIT AUTODESK

Es un software de autodesk que utilizando el sistema BIM nos permite modelar las estructuras, corregir parámetros y correr simulaciones con la estructura. Este software tiene 3 funciones principales; el modelar la parte arquitectónica, diseñar la parte estructural de la edificación y controlar las instalaciones sanitarias y eléctricas presentes en el proyecto.

1.3.4.2 ROBOTSTRUCTURAL

El robotstructural es un software mayormente enfocado al análisis de estructuras, que nos permite analizar la edificación y sus elementos estructurales de manera que cumpla con los parámetros mínimos. Además, nos permite ver los esfuerzos de la estructura y simular la resistencia de la edificación ante un evento sísmico.

1.3.4.3 ETABS

Es un software de análisis de estructuras, que permite diseñar y analizar edificios y estructuras en general.

Para el cálculo, y al igual que los dos programas anteriores, utiliza el método de elementos finitos.

1.3.5 NORMATIVAS Y REGLAMENTOS

1.3.5.1 RNE – REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

Norma los criterios y requisitos mínimos para el diseño y ejecución de las habilitaciones urbanas y las edificaciones, a lo largo del territorio nacional.

1.3.5.2 ASCE/SEI MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES

Sociedad Americana de Ingenieros / Instituto de Ingeniería Estructural, institución americana que busca el desarrollo en el campo de la ingeniería civil y sus ramas. De manera que estemos a la vanguardia y de la mano con la tecnología de la época

1.3.5.3 ACI 318S-14

Instituto Americano de Concreto, organización americana que desarrolla estándares, normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto.

1.3.5.4 FEMA – FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY

Es una agencia de Estados Unidos que se encarga del manejo de emergencias ocurridas ya sea por terremotos o por cualquier otro desastre natural.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuál es el efecto en las características sismorresistentes al implementar aisladores sísmicos en un edificio multifamiliar de 9 pisos en comparación a la cimentación convencional en un modelamiento en el programa Etabs?

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente proyecto de investigación se justifica por:

Busca establecer un precedente en la implementación de aisladores sísmicos de base; actualmente en el Perú el empleo de aisladores de base no tiene una normativa nacional. El presente trabajo busca dar los primeros pasos en el empleo de esta tecnología en la ciudad de Trujillo.

Contribuye en establecer los beneficios de la aplicación de aisladores sísmicos en cuanto a parámetros sismo resistente, buscando determinar cuáles son las características estructurales que se ven beneficiadas con el empleo de aisladores de base.

Cubre el vacío normativo en cuanto la aplicación de aisladores sísmicos que dicta el RNE en la E-030. Sin embargo, solo hace mención del uso mas no una guía o una normativa especificando la aplicación de esta tecnología.

La implementación de estas tecnologías ha demostrado en otros países que ante un evento sísmico logra conservar con notable menor daño las estructuras, evitando así pérdidas materiales y humanas. Tal es el ejemplo en México con

el edificio que ha pasado sin grandes riesgos los tres grandes terremotos en dicho país.

La alta actividad sísmica en la región nos condiciona a implementar estas nuevas tecnologías en nuestras edificaciones. Todos los países en el cinturón de fuego del pacífico, son altamente vulnerables a sufrir fenómenos sísmicos, poniendo en riesgos las estructuras y onsecuentemente la vida humana.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVO GENERAL:

- Analizar las características sismorresistentes del edificio multifamiliar de 9 pisos con su diseño convencional y con la implementación de aisladores sísmicos.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Modelar las estructuras en el programa computacional ETABS con su diseño convencional.

Analizar las estructuras en su estado actual y ver las características sismo resistentes que tienen.

Predimensionar la estructura teniendo en cuenta las características del aislador sísmico.

Modelar las estructuras en el programa computacional ETABS usando aisladores sísmicos.

Analizar las estructuras empleando el uso de aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo.

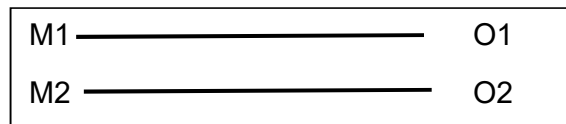
Comparar el comportamiento que tiene la estructura con los diferentes tipos de diseño.

Comparar los costos de la estructura convencional versus la estructura aislada.

II. METODOLOGÍA

2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se diseña como descriptiva comparativa, y se utilizara el esquema siguiente:



Donde:

M1: Modelamiento de la estructura con configuración tradicional.

O1: Características sismorresistentes de la estructura luego de la simulación.

M2: Modelamiento de la estructura utilizando aislador sísmico.

O2: Características sismorresistentes de la estructura luego de la simulación.

2.2 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1 Variable

Variable: Características Sismorresistentes de una estructura con aislador sísmico.

2.2.2 Operacionalización

Variable	Dimensiones	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
Características Sismorresistentes de una estructura con aislador sísmico..	Pre dimensionamiento	Procedimiento previo al cálculo de dimensionado que es necesario llevar a cabo en estructuras hiperestáticas antes de poder calcular con precisión los esfuerzos sobre las mismas.	Este proceso sirve para determinar la configuración estructural inicial de las estructuras	Dimensiones (m)
				Alturas (m)
				Áreas (m ²)
				Espesores (cm)
	Modelamiento	Proceso mediante el cual se genera una idealización matemática que pretende representar la conducta real de la estructura a ser construida	Este Procedimientos permitirá hacer los cálculos necesarios para el análisis.	Momento (Tn*m)
				Cortante (Tn)
				Peso Propio (Tn)
				Centro de masa (m)
	Análisis	Considera el comportamiento tenso-deformacional de los materiales y la no linealidad geométrica, descartando de manera directa el principio de superposición.	Son los datos obtenidos a través de la simulación de los modelos a estudiar. A través del uso del software.	Frecuencia (Hz)
				Desplazamiento lateral (m)
				Periodo (seg)
				Fuerzas laterales T(n)

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población Muestral: Edificio Multifamiliar de 9 pisos en la urbanización San Andrés.

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

2.4.1 Técnicas:

- Observacional

2.4.2 Instrumentos:

Instrumento Documental

- Ficha de Observación.

Instrumento de software

- ETABS
- RobotStructural

Instrumento de Campo:

- Wincha
- Niveles
- Compas
- Cámara Fotográfica

Equipo de Oficina:

- Computadora
- Ploter

2.4.3 Validez y Confiabilidad: (Informantes)

Los planos y cálculos de las estructuras originales son proporcionados por los ingenieros proyectistas de cada uno de los edificios multifamiliares, ambos en su configuración convencional inicial.

2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Para agilizar y facilitar el procesamiento de los datos especializados se utilizará lo siguiente:

El programa ETABS para realizar los modelamientos de ambas propuestas estructurales. Tanto convencional cómo con aisladores sísmicos. Este software analizará los efectos del análisis.

El programa Robot Structural se empleará para realizar cálculos puntuales de algunas secciones.

Se contará el asesoramiento de un experto en el tema de la línea de investigación para analizar los datos.

2.6 ASPECTOS ÉTICOS

El autor e investigador promete cumplir con la veracidad de resultados, sinceridad de datos obtenidos en campo y los análisis generados en gabinete.

III. CONDICIONES GENERALES DE LA ESTRUCTURA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

La edificación a analizar es una estructura ya existente, construida por la empresa JMC Contratistas SAC, con nombre de proyecto VIVIENDA MULTIFAMILIAR PALMERAS DE SAN ANDRES ubicado en la mz. T lote 9 urbanización San Andrés, provincia de Trujillo, región La Libertad. y consta de nueve (9) pisos, con dos departamentos por piso.

El área total del terreno es de 414.8 m², con un área construida de 264.87 m², área techada de 229.43 m² y un área libre de 119.37 m².

El edificio consta de nueve (09) pisos, cada piso contempla dos departamentos de un área aproximada de 130.00 m².

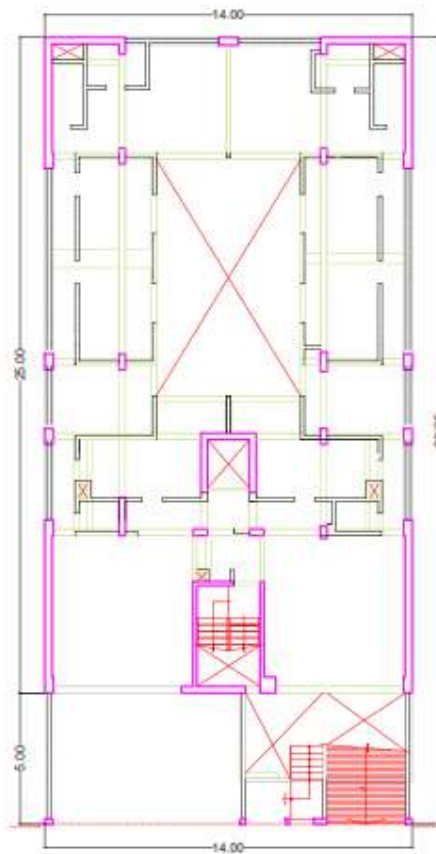


Fig. 10. Plano en planta de la estructura, con las dimensiones perimetales y la configuración estructural base.

3.2 RESUMEN DE ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

La empresa JMC Contratistas SAC, nos proporcionó los resultados del estudio de mecánica de suelos que se hicieron en su momento. Para fines del presente estudio se tendrá en consideración los resultados de dicho estudio, con la finalidad de que al hacer el modelamiento los resultados nos aproximen más a la realidad y se haga una mejor comparación entre ambas propuestas. Las características del suelo obtenidas son:

Se realizaron 03 sondajes de exploración subterránea.

Características físicas del estrato de apoyo

El estrato de apoyo se desarrolla a partir de -0.30 m desde el nivel del terreno natural.

Clasificación SUCS: SP Arena Uniforme

Contenido de humedad: 5.595 %

Angulo de Fricción: 32°

Módulo de Elasticidad (E): 155 kg/cm²

Coefficiente de Balasto: 2.50 kg/cm³

Asentamientos

Asentamiento Tolerable: 1.29 cm.

Nivel freático

Presencia de NAF a 14.00 m. con respecto al nivel inicial del terreno.

Agresividad del terreno

Moderada, usar cemento Portland Tipo II o similar.

* Los datos presentados sólo son válidos para el lote indicado en el membrete de este plano.

3.3 NORMAS EMPLEADAS

Para el presente trabajo, se tuvo como documento base el Reglamento Nacional de Edificaciones(RNE), específicamente las normas relacionadas directamente con el área de estructuras las cuales nos darán los parámetros necesarios para el correcto análisis y verificación de los resultados obtenidos. Las Normas en consideración son:

- Norma E.020 Cargas. - El presente capítulo nos permite tener en cuenta las cargas que actúan en la estructura. Tanto las cargas muertas como el peso de los materiales, así como las cargas vivas que actúan producto del mismo uso de la edificación. Mención aparte, en este capítulo también se habla de las cargas de viento, este tipo de cargas no se tendrán en consideración en el presente trabajo.

- Norma E.030 Diseño Sismoresistente. - El presente capítulo nos establece las condiciones mínimas que toda edificación dentro del territorio nacional debe cumplir de manera que, la respuesta de la estructura ante un evento sísmico debe estar de acuerdo a la filosofía del diseño sismorresistente que esta norma establece:
 - Evitar pérdidas de vidas

 - Asegurar la continuidad de los servicios básicos

 - Minimizar los daños a la propiedad.

- Norma E.060 Diseño en Concreto Armado. - Esta norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, preesforzado y simple.

Para el diseño de los Aisladores Sísmicos, tendremos como texto base el código UBC (Uniform Building Code) de 1997.

3.4 REQUISITOS DE RESISTENCIA

En la norma E.060 nos especifica que para que una estructura funcione adecuadamente según su configuración estructural, las estructuras y los elementos estructurales deberán diseñarse para obtener en todas sus secciones **resistencias de diseño** por lo menos iguales a las **resistencias requeridas**, calculadas para las cargas y fuerzas amplificadas en las combinaciones que se estipulan en esta norma. Las combinaciones de carga a utilizar para los cálculos en adelante son:

$$U = 1.4CM + 1.7CV \quad \dots \text{(Ecuación 14)}$$

$$U = 0.9CM \pm 1.0CS \quad \dots \text{(Ecuación 15)}$$

$$U = 1.25CM + 1.25CV \pm 1.0CS \quad \dots \text{(Ecuación 16)}$$

Dónde: CM = Carga Muerta; CV = Carga Viva; CS= Carga Sísmica

U es la resistencia requerida de los elementos en su etapa última, teniendo que cumplir con:

$$\text{Resistencia de diseño} \geq \text{Resistencia Ultima (U)}$$

Además, se debe considerar:

$$\text{Resistencia de diseño} \leq \phi \text{ Resistencia Nominal}$$

3.5 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

Todos los elementos estructurales de concreto armado tendrán las siguientes características:

- Resistencia a compresión: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 2066.83 \text{ Ton/m}^2$

- Módulo de Poisson: = 0.15
- Módulo de Elasticidad: $E_c = 15,000 f'c = 217,371.65 \text{ kg/cm}^2 = 2139385.98 \text{ Ton/m}^2$

Los valores comerciales se encuentran en kg/cm^2 , pero para facilidad de cálculo en el software las unidades serán en Ton/m^2 .

Interactuando con el concreto se tendrá acero de refuerzo corrugado grado 60 con las siguientes características:

- Límite de fluencia: $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2 = 41,336.67 \text{ Ton/m}^2$
- Módulo de Elasticidad: $E_s = 2,000,000 \text{ kg/cm}^2 = 19,684,130.62 \text{ Ton/m}^2$

Las propiedades para el aislador son:

- Amortiguamiento = 20%
- Módulo de Rigidez a Cortante (G) = 0.4 Mpa = 4.08 kg/cm^2
- Deformación lateral a cortante = 1.5
- Módulo de Elasticidad Volumétrico = 2000 Mpa = 20,394.32 kg/cm^2

3.6 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

El edificio que vamos a analizar, ya cuenta con una configuración estructural inicial, en donde el sistema predominante tanto en XX como en YY es el Dual (Pórticos y Muros de Concreto). Por lo tanto, encontraremos columnas, vigas, losas aligeradas en una y dos direcciones, losas macizas y placas tanto en la dirección x como en la dirección y. La configuración original será respetada en todo lo posible, sin embargo, para fines de modelamiento y cálculo, algunos elementos como vigas y losas serán uniformizadas de una manera tal que las características estructurales varíen de manera insignificante. Los criterios originales de estructuración serán respetados de manera fidedigna. Otro punto a tener en cuenta es que la edificación

partirá del NPT +0.00 debido a que es en ese punto donde se darán los cálculos más relevantes. Las consideraciones estructurales más resaltantes son:

Simetría

El edificio visto en planta presenta una simetría rectangular. En cuanto a la distribución de los elementos estructurales, se ha tratado de mantener una repartición simétrica de manera que no se cree una irregularidad en cuanto a las rigideces. Esto se comprobará con los análisis que se realizarán.

Resistencia

Los elementos verticales y horizontales de manera continua en toda la estructura, permiten una resistencia ante movimientos sísmicos y ante las cargas verticales. Los elementos que nos permiten esta resistencia son las columnas, vigas, losas y placas. **Rigidez lateral**

Las placas o muros estructurales son los elementos que proporcionan a la estructura la rigidez lateral, estos han sido ubicados de forma simétrica de forma que contrarresten los efectos de las fuerzas sísmicas, de manera que se reduzcan las deformaciones laterales.

Diafragma rígido

Los elementos que conforman los diafragmas rígidos son las losas aligeradas en una y dos direcciones y las losas macizas. Estos elementos permiten la idealización de la estructura como un solo elemento que no permite deformaciones, lo que nos permitirá calcular los desplazamientos tanto en X como en Y.

Elementos no estructurales

El diseño de la edificación también comprende elementos no estructurales, estos son la tabiquería externa e interna. Estos elementos no serán tomados en consideración al momento del modelamiento. Pero de acuerdo a la norma E.020 se tendrá en cuenta el peso de la tabiquería.

IV. ANALISIS SÍSMICO CON SISTEMA DUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Realizaremos una descripción de los elementos estructurales considerados por el proyectista, así como las dimensiones y las distintas topologías. También realizaremos un predimensionamiento de los elementos con la finalidad de comprobar la correcta estructuración. Para los criterios del predimensionamiento, y buscando que sean criterios que se acoplen a la realidad nacional y a un uniforme criterio estructural, tendremos como base el libro de Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado, de autoría del ingeniero Antonio Blasco Blanco.

4.1.1 Descripción de Losas

Las losas tienen dos funciones primordiales. La primera, es la de transmitir las cargas de gravedad a las vigas entre las que encontramos el peso mismo de la losa, los tabiques y la sobrecarga. La segunda, tiene relación con las cargas sísmicas, en el que la losa sirve como elemento unificador de los elementos estructurales de forma que las deformaciones se den en una misma cantidad en cada nivel. Para este segundo caso a la losa se la idealiza como una estructura indeformable, a lo que llamamos diafragma rígido.

Las losas que se han considerado para la edificación son de tres tipos de losas, aligeradas en una dirección, macizas y en dos direcciones. Estas han sido colocadas de acuerdo al uso de las áreas y a las dimensiones de las luces.

Las Losas se han enumerado por paños de acuerdo al plano de losas, en los que se indica el sentido y el tipo de losa que se detalla. Así también presentamos un cuadro donde indicamos sus dimensiones, sentidos, tipo y predimensionamiento. Todos estos datos los presentamos en el siguiente recuadro:

Tabla 1 Luces de mayor longitud por sector

Descripción	Tipo	Sentido	Dimensión en X	Dimensión en Y	Luz Mayor	Predimensionamiento	Espesor en plano	Comprobación
Paño 1	Aligerado	X	2.550	4.150	4.150	0.20	0.20	ok!
Paño 2	Aligerado	X	3.850	4.150	4.150	0.20	0.20	ok!
Paño 3	Aligerado	X	3.425	4.150	4.150	0.20	0.20	ok!
Paño 4	Aligerado	X	2.975	4.150	4.150	0.20	0.20	ok!
Paño 5	Aligerado	X	2.500	3.425	3.425	0.20	0.20	ok!
Paño 6	Aligerado	X	2.925	3.575	3.575	0.20	0.20	ok!
Paño 7	Aligerado	X	2.500	3.475	3.475	0.20	0.20	ok!
Paño 8	Aligerado	X	2.925	3.625	3.625	0.20	0.20	ok!
Paño 9	Aligerado	Y	2.500	2.600	2.600	0.20	0.20	ok!
Paño 10	Aligerado	Y	2.925	2.600	2.925	0.20	0.20	ok!
Paño 11	Aligerado	Y	2.500	3.400	3.400	0.20	0.20	ok!
Paño 12	Aligerado	Y	2.925	3.400	3.400	0.20	0.20	ok!
Paño 13	Maciza	-	1.200	2.850	2.850	0.20	0.20	ok!
Paño 14	Maciza	-	5.700	1.450	5.700	0.20	0.20	ok!
Paño 15	Maciza	-	0.775	2.850	2.850	0.20	0.20	ok!
Paño 16	Maciza	-	3.000	3.650	3.650	0.20	0.20	ok!
Paño 17	Maciza	-	1.600	1.600	1.600	0.20	0.20	ok!
Paño 18	Maciza	-	2.450	3.650	3.650	0.20	0.20	ok!
Paño 19	Maciza	-	2.400	1.950	2.400	0.20	0.20	ok!
Paño 20	Aligerado	X-Y	5.400	6.125	6.125	0.20	0.20	ok!
Paño 21	Aligerado	X-Y	5.400	6.125	6.125	0.20	0.20	ok!

De acuerdo a los cálculos realizados obtenemos una uniformidad en el espesor de los distintos tipos de losa. El criterio para el predimensionamiento de losas lo encontramos en el libro de Antonio Blanco Blasco – Estructuración y Diseño de

Edificaciones de Concreto Armado, el cual nos arroja un espesor de losa de 0.20 m teniendo en cuenta la mayor luz y el tipo de losa empleada.

4.1.2 Descripción de Columnas

Para la comparación entre las columnas planteadas y las predimensionadas tendremos en cuenta el área de las distintas secciones planteadas y el área de la sección calculada con la fórmula:

$$A_{col} = \frac{P \times A \times N}{0.45f'c}$$

Donde: P es una carga ejercida sobre la columna, A es el área tributaria (según ubicación de la columna), $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y N es el número de pisos (9 pisos).

Tabla 2 Predimensionamiento de Columnas

Tabla de análisis de columnas							
Piso 1	Etiqueta	Elemento	Área Tributaria	P	A columna	A Columna	Condición
			m ²	tonf	Calculada	En el plano	
Eje 9	C5	Column	59.01	-33.5118	1883.36	1625	REVISAR
Eje 3	C2	Column	25.7	-22.7926	557.88	1375	OK
Eje 3	C2	Column	28.3	-23.8958	644.05	1375	OK
Eje 8	C3	Column	21.63	-17.9976	370.75	1500	OK
Eje 8	C3	Column	21.76	-17.5675	364.07	1500	OK
Eje 9	C3	Column	25.64	-19.5748	478.00	1500	OK
Eje 9	C3	Column	25.82	-19.2551	473.49	1500	OK
Eje 1	C3	Column	16.08	-15.6324	239.40	1500	OK
Eje 1	C3	Column	17.47	-15.9845	265.95	1500	OK
Eje 3	C3	Column	20.27	-17.6433	340.60	1500	OK
Eje 3	C3	Column	18.2	-16.7603	290.51	1500	OK
Eje 1	C3	Column	16.52	-16.1854	254.65	1500	OK
Eje 1	C3	Column	15.19	-15.8366	229.10	1500	OK
Eje 1	C3	Column	23.43	-18.9908	423.77	1500	OK
Eje 2	C7	Column	6.66	-6.7066	42.54	600	OK
Eje 2	C7	Column	9.78	-7.7958	72.61	600	OK
Eje 3	C1	Column	44.98	-27.5387	1179.71	1125	REVISAR
Eje 6	C3	Column	62.78	-41.1712	2461.65	1500	REVISAR
Eje 4	C3	Column	47.82	-33.354	1519.04	1500	REVISAR
Eje 4	C3	Column	50.32	-33.6445	1612.37	1500	REVISAR

Eje 6	C3	Column	65.39	-40.467	2520.13	1500	REVISAR
Eje 6	C3	Column	105.4	-63.1193	6335.98	1500	REVISAR
Eje 4	C3	Column	62.15	-40.7087	2409.57	1500	REVISAR
Eje 6	C4	Column	100.08	-60.3972	5756.72	1875	REVISAR
Eje B	C6	Column	19.61	-14.6894	274.34	875	OK
Eje 3	C6	Column	19.27	-14.3974	264.23	875	OK

* Ver anexo 1 – ubicación de tipos de columnas en plano de planta.

Los tipos de columnas dimensionados según el plano y que se han tenido en cuenta al momento del modelamiento son:

- C1: 0.25 x 0.45 m (1125 cm²)** **C2: 0.25 x 0.55 m (1375 cm²)**
C3: 0.25 x 0.60 m (1500 cm²) **C4: 0.25 x 0.75 m (1875 cm²)**
C5: 0.25 x 0.65 m (1625 cm²) **C6: 0.25 x 0.35 m (875 cm²)**
C7: 0.15 x 0.40 m (600 cm²)

4.1.3 Descripción de Vigas Horizontales (eje x) y Verticales (eje y)

Para la comparación de las secciones de las vigas principales, hemos uniformizado el criterio de predimensionamiento. Las vigas tendrán una base mínima de 0.25 m y las dimensiones serán calculadas de acuerdo a las fórmulas:

$$h = \frac{L}{12}, B = \frac{h}{2}$$

h = peralte de la viga, L = Longitud de la viga, b = base de la viga

Tabla 3 Predimensionamiento de Vigas

Eje	Elemento	Longitud	Peralte Calculado	Base = Peralte/2	Peralte Elegido	Base mínima	Condición
9-B,D	Viga	3.55	0.30	0.15	0.55	0.25	OK
6,8-A	Viga	6.9	0.58	0.29	0.55	0.25	REVISAR
9-A,D	Viga	5.63	0.47	0.23	0.55	0.25	OK
1-F,I	Viga	4.88	0.41	0.20	0.55	0.25	OK

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la edificación contará con cuatro tipos de vigas:

Viga 1: 0.25 x 0.55 m Viga 2: 0.15 x 0.55 m Viga Chata 3: 0.20 x 0.20 m
Viga Chata 4: 0.20 x 0.25m

4.1.4 Descripción de Placas (para el modelo normativo sismo-resistente).

Las placas se modelarán de acuerdo a lo planteado por el proyectista, sin embargo, haremos la comprobación de cortante para verificar que los elementos cumplan con la resistencia requerida.

Las placas serán distribuidas de acuerdo a lo proyectado, observándose que la configuración nos da una primera impresión de simetría. Esta aparente simetría será corroborada posteriormente al momento de hacer los análisis. Se ha considerado las fuerzas tanto en el Eje x cómo en el Eje y.

Tabla 4 Parámetros Sísmicos

PARÁMETROS SÍSMICOS		
Z=	0.45	ZONA 4
U=	1.30	IMPORTANTE
C=	1.63	TP < T < TL
S=	1.05	S2
R=	7.00	COEFICIENTE "R"

Tabla 5 Masa por piso

MASA ETABS	N° PISO
356.65	AZOTEA
498.45	PISO 9
498.45	PISO 8
498.45	PISO 7
498.45	PISO 6
498.45	PISO 4
498.45	PISO 3
498.45	PISO 2
545.88	PISO 1
4391.68	TOTAL

Tabla 6 Factor K y Cortante Basal

FACTOR DE FUERZAS SÍSMICAS ("C" EN ETABS)		
Z*U*C*S/R=	0.143	
V=	628.32	CORTANTE BASAL
K=	1.21	0.5 < T <= 2.0

* Estos parámetros del análisis sísmico serán presentados con mayor detalle en el ítem 4.3.

Cálculo de la resistencia de Diseño

Para poder evaluar la resistencia de diseño se considerará el aporte del concreto y el acero, mediante la siguiente fórmula:

$$\phi V_n = \phi \times 2.1 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d + \phi \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$\phi = 0.85, d = 0.80L \text{ (placas)} \text{ y } d = 0.90L \text{ (Columnas)}$$

En las siguientes tablas se detallan los cálculos de las resistencias de diseño y requerida para todas las placas y columnas.

Tabla 7 Comprobación de la resistencia requerida a la fuerza cortante en el eje «x»

TABLE: Shell Forces														
Pis o1	Elem ento	Tipo de Elemento	Caso de Carga	F1	F2	F12	FMax	FMin	FVM	V13	V23	VM ax	Vu	Cond ición
				tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	
Pis o1	W1	Placa	Sismo xx	4.355	21.775	-1.574	21.916	4.214	20.143	0.008	0.431	0.431	0.431	OK
Pis o1	W1	Placa	Sismo xx	28.422	142.109	-1.01	142.118	28.413	130.257	0.008	0.181	0.182	0.181	OK
Pis o1	W1	Placa	Sismo xx	28.422	142.109	1.162	142.121	28.41	130.261	-0.004	0.181	0.186	0.181	OK
Pis o1	W1	Placa	Sismo xx	4.355	21.775	0.599	21.796	4.334	19.984	0.004	0.431	0.433	0.431	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo xx	28.422	142.109	33.559	151.276	19.255	142.627	0.008	0.005	0.001	0.008	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo xx	-38.287	-191.437	36.2	-30.162	-199.562	186.322	0.008	0.255	0.255	0.255	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo xx	-38.287	-191.437	41.11	-27.95	-201.774	189.353	0.0082	0.255	0.268	0.255	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo xx	28.422	142.109	38.469	153.903	16.628	146.299	0.0082	0.005	0.0083	0.0082	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo xx	42.961	214.805	38.835	223.174	34.592	208.046	0.008	-0.263	0.263	0.008	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo xx	-30.992	-154.961	35.899	-21.347	-164.606	155.039	0.008	-0.002	0.008	0.008	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo xx	-30.992	-154.961	42.655	-17.734	-168.22	160.091	0.0076	-0.002	0.0076	0.0076	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo xx	42.961	214.805	45.591	226.151	31.615	212.118	0.0076	-0.263	0.273	0.0076	OK
Pis o1	W4	Placa	Sismo xx	-6.467	-32.337	1.05	-6.425	-32.38	29.693	0.008	0.415	0.415	0.415	OK
Pis o1	W4	Placa	Sismo xx	-30.992	-154.961	0.439	-30.991	-154.963	142.026	0.008	0.194	0.194	0.194	OK
Pis o1	W4	Placa	Sismo xx	-30.992	-154.961	-2.215	-30.953	-155.001	142.076	-0.0035	0.194	0.197	0.194	OK

Pis o1	W4	Placa	Sismo xx	- 6.4 67	- 32.3 37	- 1.6 04	- 6.36 8	- 32.4 36	29.7 67	- 0.0 35	0.4 15	0.4 16	0.4 15	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo xx	20. 245	101. 227	27. 617	109. 748	11.7 24	104. 381	0.0 03	0.0 19	0.0 19	0.0 19	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo xx	- 18. 72	- 93.5 99	28. 379	- 9.18	- 103. 139	98.8 69	0.0 03	- 0.1 54	0.1 54	0.0 03	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo xx	- 18. 72	- 93.5 99	29. 347	- 8.58 9	- 103. 73	99.7 14	- 0.1 09	- 0.1 54	0.1 89	- 0.1 09	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo xx	20. 245	101. 227	28. 585	110. 3	11.1 72	105. 16	- 0.1 09	0.0 19	0.1 11	0.0 19	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo xx	34. 491	172. 453	63. 311	197. 102	9.84 1	192. 37	0.0 15	0.0 45	0.0 48	0.0 45	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo xx	- 30. 235	- 151. 173	68. 16	0.41 3	- 181. 821	182. 028	0.0 15	- 0.0 05	0.0 16	0.0 15	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo xx	- 37. 029	- 152. 532	67. 103	- 6.24 8	- 183. 313	180. 27	- 0.0 21	- 0.0 05	0.0 21	- 0.0 05	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo xx	27. 696	171. 094	62. 253	194. 349	4.44 1	192. 167	- 0.0 21	0.0 45	0.0 5	0.0 45	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo xx	13. 304	66.5 18	1.4 27	66.5 56	13.2 65	61.0 15	0.0 15	- 0.8 68	0.8 68	0.0 15	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo xx	8.0 77	40.3 85	1.7 13	40.4 76	7.98 6	37.1 33	0.0 15	- 2.0 61	2.0 61	0.0 15	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo xx	8.0 77	40.3 85	1.8 68	40.4 93	7.96 9	37.1 55	- 0.6 93	- 2.0 61	2.1 74	- 0.6 93	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo xx	13. 304	66.5 18	1.5 82	66.5 65	13.2 57	61.0 26	- 0.6 93	- 0.8 68	1.1 1	- 0.6 93	OK
Pis o1	W11	Placa	Sismo xx	18. 026	90.1 32	3.0 36	90.2 6	17.8 99	82.7 75	0.0 03	- 0.0 85	0.0 85	0.0 03	OK
Pis o1	W11	Placa	Sismo xx	18. 473	92.3 63	2.9 61	92.4 82	18.3 54	84.8 07	0.0 03	- 0.1 16	0.1 16	0.0 03	OK
Pis o1	W11	Placa	Sismo xx	18. 473	92.3 63	4.4 15	92.6 26	18.2 1	84.9 97	- 0.0 03	- 0.1 16	0.1 16	- 0.0 03	OK
Pis o1	W11	Placa	Sismo xx	18. 026	90.1 32	4.4 89	90.4 1	17.7 48	82.9 73	- 0.0 03	- 0.0 85	0.0 85	- 0.0 03	OK

Pis o1	W16	Placa	Sismo xx	- 13. 719	- 68.5 95	- 3.2 92	- 13.5 22	- 68.7 92	63.1 27	0.0 03	- 0.3 17	0.3 17	0.0 03	OK
Pis o1	W16	Placa	Sismo xx	- 14. 88	- 74.3 99	- 2.2 53	- 14.7 95	- 74.4 84	68.2 99	0.0 03	- 0.6 69	0.6 69	0.0 03	OK
Pis o1	W16	Placa	Sismo xx	- 14. 723	- 74.3 67	- 4.9 75	- 14.3 11	- 74.7 8	68.7 51	0.0 67	- 0.6 69	0.6 72	0.0 67	OK
Pis o1	W16	Placa	Sismo xx	- 13. 562	- 68.5 64	- 6.0 14	- 12.9 12	- 69.2 14	63.7 46	0.0 67	- 0.3 17	0.3 24	0.0 67	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo xx	36. 866	184. 331	- 10. 634	185. 094	36.1 03	169. 943	0.0 15	- 0.4 96	0.4 96	0.0 15	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo xx	26. 933	134. 664	- 14. 061	136. 469	25.1 28	125. 802	0.0 15	- 0.9 66	0.9 66	0.0 15	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo xx	26. 933	134. 664	- 18. 997	137. 916	23.6 81	127. 732	0.1 63	- 0.9 66	0.9 79	0.1 63	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo xx	36. 866	184. 331	- 15. 57	185. 957	35.2 4	171. 081	0.1 63	- 0.4 96	0.5 22	0.1 63	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo xx	41. 472	207. 36	60. 49	227. 074	21.7 57	217. 015	0.0 15	- 0.1 1	0.1 11	0.0 15	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo xx	- 41. 623	- 208. 113	61. 024	- 21.6 51	- 228. 085	218. 067	0.0 15	0.1 04	0.1 05	0.1 04	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo xx	- 41. 623	- 208. 113	68. 768	- 16.8 92	- 232. 844	224. 875	0.1 03	0.1 04	0.1 47	0.1 04	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo xx	41. 472	207. 36	68. 235	231. 82	17.0 12	223. 8	0.1 03	- 0.1 1	0.1 51	0.1 03	OK
Pis o1	W24	Placa	Sismo xx	- 36. 998	- 184. 988	9.9 1	- 36.3 37	- 185. 649	170. 411	0.0 15	- 0.5 04	0.5 05	0.0 15	OK
Pis o1	W24	Placa	Sismo xx	- 27. 698	- 138. 492	13. 264	- 26.1 33	- 140. 058	128. 992	0.0 15	- 0.8 98	0.8 98	0.0 15	OK
Pis o1	W24	Placa	Sismo xx	- 27. 698	- 138. 492	18. 179	- 24.7 92	- 141. 398	130. 777	0.1 35	- 0.8 98	0.9 08	0.1 35	OK
Pis o1	W24	Placa	Sismo xx	- 36. 998	- 184. 988	14. 825	- 35.5 27	- 186. 459	171. 478	0.1 35	- 0.5 04	0.5 22	0.1 35	OK

Pis o1	W10	Placa	Sismo xx	- 12. 937	- 64.6 86	- 8.4 33	- 11.5 98	- 66.0 26	61.0 59	0.0 08	- 0.4 73	0.4 73	0.0 08	OK
Pis o1	W10	Placa	Sismo xx	5.5 33	27.6 65	- 7.7 41	30.1 03	3.09 4	28.6 82	0.0 08	- 0.6 66	0.6 66	0.0 08	OK
Pis o1	W10	Placa	Sismo xx	5.5 33	27.6 65	- 11. 6	32.6 3	0.56 7	32.3 51	- 0.0 19	- 0.6 66	0.6 66	- 0.0 19	OK
Pis o1	W10	Placa	Sismo xx	- 12. 937	- 64.6 86	- 12. 292	- 10.1 66	- 67.4 57	62.9 93	- 0.0 19	- 0.4 73	0.4 73	- 0.0 19	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo xx	13. 719	68.5 93	8.4 02	69.8 5	12.4 61	64.5 29	0.0 08	- 0.4 91	0.4 91	0.0 08	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo xx	- 5.6 41	- 28.2 05	7.4 61	- 3.39 7	- 30.4 48	28.9	0.0 08	- 0.7 09	0.7 09	0.0 08	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo xx	- 5.6 41	- 28.2 05	11. 078	- 1.11 1	- 32.7 34	32.1 93	- 0.0 23	- 0.7 09	0.7 1	- 0.0 23	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo xx	13. 719	68.5 93	12. 02	71.1 1	11.2 01	66.2 24	- 0.0 23	- 0.4 91	0.4 92	- 0.0 23	OK

Tabla 8 Comprobación de la resistencia requerida a la fuerza cortante en el eje «y»

TABLE: Shell Forces														
Pis o1	Elem ento	Tipo de Elemento	Caso de Carga	F1	F2	F12	FM ax	FMi n	FV M	V1 3	V2 3	VM ax	Vu	Cond ición
				tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	tonf /m	ton f/m	ton f/m	ton f/m	ton f/m	
Pis o1	W1	Placa	Sismo yy	20.696	103.478	13.364	105.582	18.592	97.623	0.001	-0.073	0.073	0.001	OK
Pis o1	W1	Placa	Sismo yy	-14.379	-71.896	13.043	-11.56	-74.715	69.658	0.001	0.014	0.014	0.014	OK
Pis o1	W1	Placa	Sismo yy	-14.379	-71.896	17.241	-9.607	-76.668	72.344	0.018	0.014	0.023	0.018	OK
Pis o1	W1	Placa	Sismo yy	20.696	103.478	17.561	107.049	17.124	99.597	0.018	-0.073	0.075	0.018	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo yy	-14.379	-71.896	2.657	-14.257	-72.018	66.054	0.001	-0.071	0.071	0.001	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo yy	-9.354	-46.768	2.59	-9.175	-46.946	43.098	0.001	-0.07	0.07	0.001	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo yy	-9.354	-46.768	3.788	-8.974	-47.148	43.363	0.001	-0.07	0.07	0.001	OK
Pis o1	W2	Placa	Sismo yy	-14.379	-71.896	3.855	-14.122	-72.153	66.231	0.001	-0.071	0.071	0.001	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo yy	-12.594	-62.968	-5.06	-12.09	-63.471	58.373	0.001	-0.067	0.067	0.001	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo yy	-13.87	-69.352	-4.94	-13.434	-69.789	64.136	0.001	-0.085	0.085	0.001	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo yy	-13.87	-69.352	-6.856	-13.036	-70.187	64.662	0.004	-0.085	0.086	0.004	OK
Pis o1	W3	Placa	Sismo yy	-12.594	-62.968	-6.975	-11.646	-63.916	58.962	0.004	-0.067	0.067	0.004	OK
Pis o1	W4	Placa	Sismo yy	25.348	126.74	16.144	129.248	22.84	119.477	0.001	0.072	0.072	0.072	OK
Pis o1	W4	Placa	Sismo yy	-13.87	-69.352	-15.804	-9.684	-73.539	69.207	0.001	-0.027	0.027	0.001	OK

Pis o1	W4	Placa	Sismo yy	- 13. 87	- 69.3 52	21. 033	- 6.79 8	- 76.4 25	73.2 63	- 0.0 18	- 0.0 27	0.0 32	- 0.0 18	OK
Pis o1	W4	Placa	Sismo yy	25. 348	126. 74	21. 373	131. 061	21.0 27	121. 915	- 0.0 18	0.0 72	0.0 74	0.0 72	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo yy	- 11. 322	- 56.6 11	3.6 51	- 11.0 3	- 56.9 03	52.2 68	0.0 01	- 0.0 31	0.0 31	0.0 01	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo yy	- 11. 61	- 58.0 48	3.8 48	- 11.2 93	- 58.3 65	53.6 18	0.0 01	- 0.1 52	0.1 52	0.0 01	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo yy	- 11. 61	- 58.0 48	4.3 95	- 11.1 97	- 58.4 61	53.7 44	- 0.0 79	- 0.1 52	0.1 71	- 0.0 79	OK
Pis o1	W13	Placa	Sismo yy	- 11. 322	- 56.6 11	4.1 98	- 10.9 36	- 56.9 96	52.3 92	- 0.0 79	- 0.0 31	0.0 84	- 0.0 31	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo yy	21. 892	109. 459	1.3 03	109. 478	21.8 72	100. 346	0.0 02	- 0.1 69	0.1 69	0.0 02	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo yy	18. 802	94.0 09	- 0.5 96	94.0 14	18.7 97	86.1 67	0.0 02	- 0.0 94	0.0 94	0.0 02	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo yy	0.0 51	90.2 59	- 1.6 72	90.2 9	0.02	90.2 8	0.0 1	- 0.0 94	0.0 94	0.0 1	OK
Pis o1	W14	Placa	Sismo yy	3.1 41	105. 708	0.2 28	105. 709	3.14	104. 174	0.0 1	- 0.1 69	0.1 69	0.0 1	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo yy	- 11. 102	- 55.5 09	- 9.1 65	- 9.28 5	- 57.3 26	53.2 94	0.0 02	- 0.0 85	0.0 85	0.0 02	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo yy	7.1 79	35.8 96	- 8.7 63	38.3 59	4.71 6	36.2 32	0.0 02	- 0.2 08	0.2 08	0.0 02	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo yy	7.1 79	35.8 96	- 8.6 95	38.3 23	4.75 2	36.1 82	- 0.0 71	- 0.2 08	0.2 2	- 0.0 71	OK
Pis o1	W20	Placa	Sismo yy	- 11. 102	- 55.5 09	- 9.0 96	- 9.31 1	- 57.3	53.2 59	0.0 71	- 0.0 85	0.1 11	- 0.0 71	OK
Pis o1	W11	Placa	Sismo yy	- 11. 344	- 56.7 2	- 12. 295	- 8.22 7	- 59.8 37	56.1 78	0.0 01	- 0.0 11	0.0 11	0.0 01	OK
Pis o1	W11	Placa	Sismo yy	13. 033	65.1 64	- 11. 666	67.6 55	10.5 41	63.0 49	0.0 01	- 0.0 02	0.0 02	0.0 01	OK

Pis o1	W11	Placa	Sismo yy	13. 033	65.1 64	- 15. 467	69.4 07	8.78 9	65.4 57	0.0 02	- 0.0 02	0.0 03	0.0 02	OK
Pis o1	W11	Placa	Sismo yy	- 11. 344	- 56.7 2	- 16. 096	- 6.21 4	- 61.8 5	58.9 89	0.0 02	- 0.0 11	0.0 12	0.0 02	OK
Pis o1	W16	Placa	Sismo yy	- 13. 416	- 67.0 82	- 11. 169	- 11.1 85	- 69.3 13	64.4 53	0.0 01	- 0.0 02	0.0 03	0.0 01	OK
Pis o1	W16	Placa	Sismo yy	14. 844	74.2 22	-9.6	75.7 35	13.3 31	70.0 28	0.0 01	- 0.0 4	0.0 4	0.0 01	OK
Pis o1	W16	Placa	Sismo yy	14. 847	74.2 22	- 12. 252	76.6 51	12.4 18	71.2 58	0.0 07	- 0.0 4	0.0 4	- 0.0 07	OK
Pis o1	W16	Placa	Sismo yy	- 13. 414	- 67.0 81	- 13. 82	- 10.0 64	- 70.4 31	65.9 77	0.0 07	- 0.0 02	0.0 07	- 0.0 02	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo yy	- 15. 171	- 75.8 56	- 11. 026	- 13.2 3	- 77.7 98	72.0 99	0.0 02	- 0.0 04	0.0 05	0.0 02	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo yy	12. 719	63.5 94	- 12. 741	66.6 06	9.70 6	62.3 22	0.0 02	- 0.1 36	0.1 36	0.0 02	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo yy	12. 719	63.5 94	- 13. 228	66.8 27	9.48 5	62.6 26	0.0 48	- 0.1 36	0.1 44	- 0.0 48	OK
Pis o1	W22	Placa	Sismo yy	- 15. 171	- 75.8 56	- 11. 514	- 13.0 6	- 77.9 67	72.3 27	0.0 48	- 0.0 04	0.0 48	- 0.0 04	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo yy	- 13. 503	- 67.5 17	1.2 59	- 13.4 74	- 67.5 46	61.9 19	0.0 02	- 0.0 95	0.0 95	0.0 02	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo yy	- 14. 833	- 74.1 66	2.5 11	- 14.7 27	- 74.2 72	68.1 13	0.0 02	- 0.0 93	0.0 94	0.0 02	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo yy	- 14. 833	- 74.1 66	2.4 56	- 14.7 32	- 74.2 67	68.1 07	0.0 03	- 0.0 93	0.0 94	0.0 03	OK
Pis o1	W23	Placa	Sismo yy	- 13. 503	- 67.5 17	1.2 04	- 13.4 77	- 67.5 44	61.9 16	0.0 03	- 0.0 95	0.0 95	0.0 03	OK
Pis o1	W24	Placa	Sismo yy	- 16. 383	- 81.9 13	- 10. 931	- 14.6 07	- 83.6 88	77.4 25	0.0 02	- 0.0 26	0.0 26	0.0 02	OK
Pis o1	W24	Placa	Sismo yy	12. 242	61.2 11	- 12. 671	64.2 95	9.15 8	60.2 41	0.0 02	0.0 67	0.0 68	0.0 67	OK

Pis o1	W24	Placa	Sismo yy	12. 242	61.2 11	- 12. 955	64.4 26	9.02 6	60.4 21	0.0 38	0.0 67	0.0 77	0.0 67	OK
Pis o1	W24	Placa	Sismo yy	- 16. 383	- 81.9 13	- 11. 215	- 14.5 16	- 83.7 79	77.5 46	0.0 38	- 0.0 26	0.0 46	0.0 38	OK
Pis o1	W10	Placa	Sismo yy	- 25. 048	- 125. 238	- 16. 459	- 22.4 13	- 127. 873	118. 27	0.0 01	0.0 68	0.0 68	0.0 68	OK
Pis o1	W10	Placa	Sismo yy	28. 154	140. 772	- 15. 192	142. 785	26.1 41	131. 675	0.0 01	- 0.0 88	0.0 88	0.0 01	OK
Pis o1	W10	Placa	Sismo yy	28. 154	140. 772	- 21. 387	144. 697	24.2 29	134. 232	- 0.0 21	- 0.0 88	0.0 9	- 0.0 21	OK
Pis o1	W10	Placa	Sismo yy	- 25. 048	- 125. 238	- 22. 655	- 20.1 63	- 130. 122	121. 304	- 0.0 21	0.0 68	0.0 71	0.0 68	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo yy	- 20. 128	- 100. 638	- 14. 46	- 17.6 09	- 103. 156	95.5 76	0.0 01	- 0.1 37	0.1 37	0.0 01	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo yy	26. 28	131. 399	- 13. 107	133. 009	24.6 7	122. 551	0.0 01	0.0 37	0.0 37	0.0 37	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo yy	26. 28	131. 399	- 18. 391	134. 524	23.1 55	124. 571	0.0 26	0.0 37	0.0 45	0.0 37	OK
Pis o1	W12	Placa	Sismo yy	- 20. 128	- 100. 638	- 19. 743	- 15.5 47	- 105. 218	98.3 71	0.0 26	- 0.1 37	0.1 4	0.0 26	OK

Se logró verificar que en ambas direcciones (x –y) la resistencia de diseño es mayor que la resistencia requerida con el cual las dimensiones asumidas son aceptables.

4.2 METRADO DE CARGAS

4.2.1 Carga Viva del Piso

Para las cargas vivas de piso se tendrá en cuenta la norma E.030, en dónde de acuerdo al uso u ocupación de la edificación y/o piso consideraremos las sobrecargas respectivas.

La sobrecarga tendrá un valor de 200 kg/m² debido a que el edificio será de viviendas multifamiliares donde se respetará el espacio de corredores y escaleras. (ver tabla 8)

Tabla 9 Cargas Mínimas repartidas

OCUPACIÓN/ USO	CARGAS REPARTIDAS
VIVIENDAS	200 Kgf/m ²
Corredores y escaleras	200 Kgf/m ²

Fuente: Norma E.020

El cálculo de la carga mínima repartida equivalente a la tabiquería nos arroja un valor de 150 kg/m². Esta se obtuvo calculando el peso del tabique y luego ubicamos en valor obtenido de la carga mínima repartida en la tabla 10.

Tabiquería

Peso específico 1350 Kg/m³ (Tabla

Altura del Tabique 2.8 m

espesor del tabique 0.1 m

Peso Tabique 378 kg/ml

Tabla 10 Peso específico

Materiales	Peso (Kg/m ³)
Albañilería:	
Unidades de albañilería	1800
Unidades de albañilería	1350

Fuente: Norma E.020

Tabla 11 Cargas Mínimas repartidas equivalentes a la de tabiquería

Peso del tabique (Kg/m)	Carga equivalente a ser añadida a
	la carga muerta (Kg/m ²)
74 o menos	30
75 a 149	60
150 a 249	90
250 a 399	150
400 a 549	210
550 a 699	270
700 a 849	330
850 a 1000	390

Fuente: Norma E.020

Para los distintos tipos de losa que presenta el proyecto tendremos en cuenta qué, la losa aligerada tiene un espesor de 20 cm, por lo que su carga equivalente será 300 kg/cm²

4.2.2 Metrado de Carga Por Piso

Se realizó el cálculo de las masas por piso. Se observa que el primer piso tiene una masa superior por la diferencia de altura, a partir del segundo piso es una configuración típica hasta el octavo piso. Luego la sobrecarga normal en el noveno piso de acuerdo a la norma:

Tabla 12 Metrado de Carga Por Piso

TABLA DE MASAS POR NIVEL		
PISO	UX	UY
	ton	ton
Techo	356.65	356.65
Piso 8	498.45	498.45
Piso 7	498.45	498.45
Piso 6	498.45	498.45
Piso 5	498.45	498.45
Piso 4	498.45	498.45
Piso 3	498.45	498.45
Piso 2	498.45	498.45
Piso1	545.88	545.88
Base	135.98	135.98

4.3 PARÁMETROS DEL ANÁLISIS SÍSMICO

Para realizar el análisis sísmico se deben tener en consideración los siguientes parámetros y condiciones:

4.3.1 Factor de zona

La actual norma E.030 divide el territorio nacional en cuatro zonas sísmicas, a la que se le ha asignado un factor diferente a cada una. El territorio peruano se encuentra dividido en cuatro zonas sísmicas (Ver fig. 21), cada zona tiene un factor diferente (Ver tabla 12), el valor corresponde a la máxima aceleración del terreno con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años.

Figura 11. Zonas Sísmicas



Fuente: Norma E.030

Tabla 13 Factor de zona según la Norma E.030.

ZONA	FACTOR DE ZONA – Z (g)
4	0.45
3	0.40
2	0.30
1	0.15

Fuente: Norma E.030

En nuestro caso, el edificio multifamiliar se encuentra ubicado en la región de La Libertad por lo que el factor de zona será 0.45.

4.3.2 Condiciones geotécnicas

El edificio multifamiliar está ubicado en un suelo intermedio, y ubicado en la zona cuatro, por lo que su factor de suelo "S" será de 1.05 y los periodos T_p y T_L serán de 0.6 y 2.0 respectivamente. (Ver Tabla 13)

Tabla 14 Factor de suelo según la Norma E.030.

FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA\SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E.030

Tabla 15 Periodos T_p y T_L

PERIODOS " T_p " y " T_L "				
	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

4.3.3 Factor de amplificación sísmica (C)

Se entiende por Factor de amplificación sísmica (C) a la respuesta estructural ante la aceleración del suelo. Este factor tiene en cuenta el periodo fundamental de vibración T y el periodo correspondiente al perfil del suelo T_p .

Se tabularon valores T – C para así conseguir el espectro de diseño, utilizando la siguiente fórmula:

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

Tabla 16 Factor de amplificación "C"

T	C	S_a
0.0000	2.5000	2.1512
0.0500	2.5000	2.1512
0.1000	2.5000	2.1512
0.1500	2.5000	2.1512
0.2000	2.5000	2.1512
0.2500	2.5000	2.1512
0.3000	2.5000	2.1512
0.3500	2.5000	2.1512
0.4000	2.5000	2.1512
0.4500	2.5000	2.1512
0.5000	2.5000	2.1512
0.5500	2.5000	2.1512
0.6000	2.5000	2.1512
0.6500	2.3077	1.9857
0.7000	2.1429	1.8439
0.7500	2.0000	1.7210
0.8000	1.8750	1.6134

0.8500	1.7647	1.5185
0.9000	1.6667	1.4341
0.9500	1.5789	1.3586
1.0000	1.5000	1.2907
1.0500	1.4286	1.2293
1.1000	1.3636	1.1734
1.1500	1.3043	1.1224
1.2000	1.2500	1.0756
1.2500	1.2000	1.0326
1.3000	1.1538	0.9929
1.3500	1.1111	0.9561
1.4000	1.0714	0.9219
1.4500	1.0345	0.8901
1.5000	1.0000	0.8605
1.5500	0.9677	0.8327
1.6000	0.9375	0.8067
1.6500	0.9091	0.7823
1.7000	0.8824	0.7592
1.7500	0.8571	0.7376
1.8000	0.8333	0.7171
1.8500	0.8108	0.6977
1.9000	0.7895	0.6793
1.9500	0.7692	0.6619
2.0000	0.7500	0.6454
2.0500	0.7139	0.6143
2.1000	0.6803	0.5854
2.1500	0.6490	0.5584
2.2000	0.6198	0.5334
2.2500	0.5926	0.5099
2.3000	0.5671	0.4880
2.3500	0.5432	0.4674
2.4000	0.5208	0.4482
2.4500	0.4998	0.4301
2.5000	0.4800	0.4130
2.5500	0.4614	0.3970
2.6000	0.4438	0.3819
2.6500	0.4272	0.3676
2.7000	0.4115	0.3541
2.7500	0.3967	0.3413
2.8000	0.3827	0.3293
2.8500	0.3693	0.3178
2.9000	0.3567	0.3069
2.9500	0.3447	0.2966
3.0000	0.3333	0.2868

Figura N° 12 Espectro de Pseudo – aceleraciones(Excel)

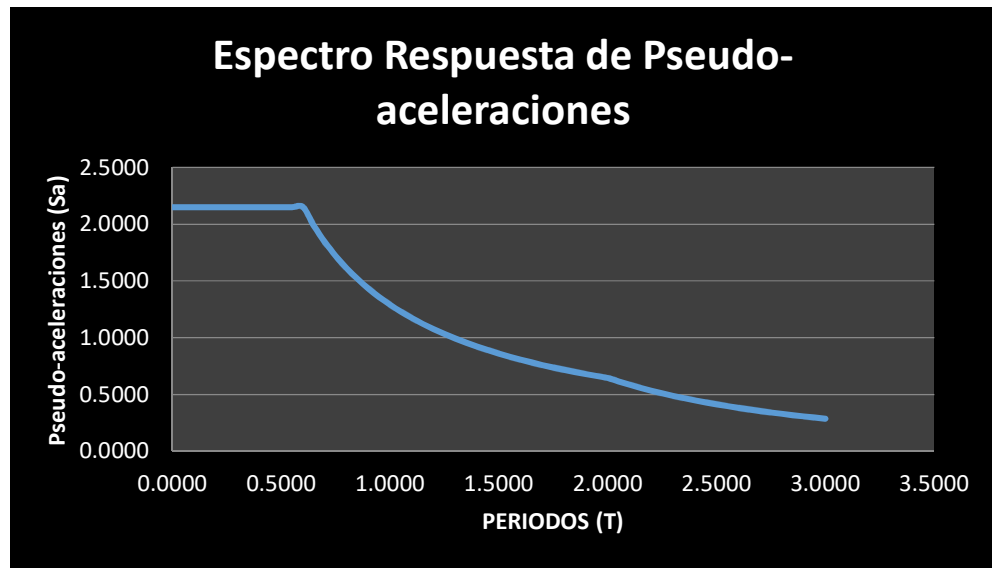
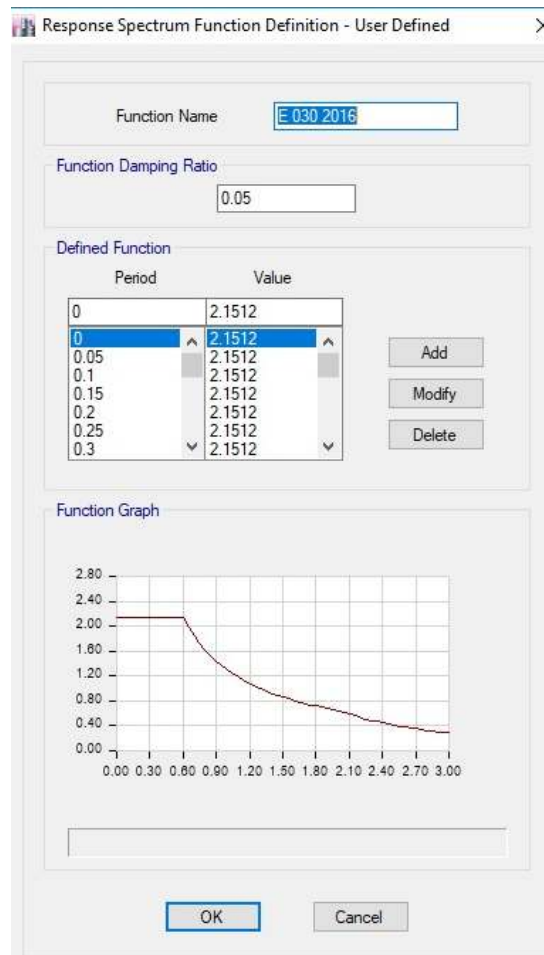


Figura N° 13 Espectro de Pseudo – aceleraciones (ETABS)



4.3.4 Factor de uso e importancia (U)

La estructura al ser un edificio multifamiliar pertenece a la categoría «C» - edificaciones comunes, por lo que tendrá un factor de uso e importancia «U» de 1.0 (Ver Tabla 15); sin embargo, para fines de cálculo consideraremos la estructura de tipo IMPORTANTE en la categoría “B” con un factor U de 1.30.

Tabla 17 Categoría de las Edificaciones

CATEGORIA	DESCRIPCION	FACTOR U
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	,0

Fuente: Norma E.030

4.3.5 Coeficiente de reducción (R)

El coeficiente de reducción se obtiene a través de la tabla 16, donde su valor depende del sistema estructural utilizado. La estructura a evaluar, en las dos direcciones, utiliza el sistema estructural Dual. Por lo que se obtendrá un R= 7.00.

Tabla 18 Valores de R

SISTEMA ESTRUCTURAL	R
Pórticos	8.00
Dual	7.00
De muros estructurales	6.00
Muros de ductilidad limitada	4.00

Fuente: Norma E.030

4.3.6 Efectos de Torsión (Excentricidad)

La excentricidad accidental en la dirección horizontal (Eje x) y vertical (Eje y), se obtiene al multiplicar 0.05 por la longitud de la edificación ($L_x - L_y$).14-25

$$L_x = 14.00 \text{ m}, \quad L_y = 25.00 \text{ m}$$
$$e_x = 0.05 \times 14.00 = 0.7 \text{ m}, \quad e_y = 0.05 \times 25.00 = 1.25$$

4.4 ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL

Para estructuras convencionales se utiliza el análisis dinámico por combinación modal espectral. La estructura es un edificio de viviendas multifamiliar por lo que por su configuración y uso es considerada estructura convencional.

Los desplazamientos laterales (Verificación - Norma E.030) y las fuerzas internas se obtienen mediante un análisis estructural con el programa Etabs. Para ello se debe seguir el siguiente procedimiento:

4.4.1 Hallar las cargas sísmicas de la edificación

Para obtener el peso de la edificación por piso, se tendrá en cuenta los resultados obtenidos del metrado de carga por piso de la carga viva y muerta (tabla 11). De aquellos resultados se tomará el 25% de la carga viva y el 100% de la carga muerta (Según el art.

16.3 (b) para edificaciones tipo C). Los valores finales se muestran en la tabla 17.

Tabla 19 Peso de la edificación – Sistema Dual

Story Forces	dead	live	CM	CVT	
Nivel	P	P	P	P	P
	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Techo	218.9418	0	29.2833	29.2833	354.48
Piso 8	214.4227	139.2226	103.0247	0	489.53
Piso 7	214.4227	139.2226	103.0247	0	489.53
Piso 6	214.4227	139.2226	103.0247	0	489.53
Piso 5	214.4227	139.2226	103.0247	0	489.53
Piso 4	214.4227	139.2226	103.0247	0	489.53
Piso 3	214.4227	139.2226	103.0247	0	489.53
Piso 2	214.4227	139.2226	103.0247	0	489.53
Piso1	261.8573	139.2226	103.0247	0	534.67

Hallar las masas traslacional (Mt) y rotacional (Mr)

Masa Traslacional

$$Mt = P_{\text{piso}}/g$$

Dónde:

Piso: Peso del piso a analizar; g: Gravedad 9.81m/s².

Tabla 20 Masa Traslacional – Sistema Dual

Piso	Peso (Ton)	g (m/s ²)	Mt (tn.s ² /m)
Techo	354.48	9.81	36.135
Piso 8	489.53	9.81	49.901
Piso 7	489.53	9.81	49.901
Piso 6	489.53	9.81	49.901
Piso 5	489.53	9.81	49.901
Piso 4	489.53	9.81	49.901
Piso 3	489.53	9.81	49.901
Piso 2	489.53	9.81	49.901
Piso1	534.67	9.81	54.503

Masa Rotacional

$$Mr = Mt(I_x + I_y)/A$$

Dónde:

I_x: Inercia con respecto al eje X.

I_y: Inercia con respecto al eje Y.

A: Área total, en planta, de la edificación.

Mt: Masa Traslacional

Inercia x - Inercia y

Sistema de los ejes principales

Angulo

alpha = -0.1 Deg

Momentos de inercia

Iz = 0.000 m⁴

Ix = 17257.276 m⁴

Iy = 5591.543 m⁴

Los resultados se muestran en la tabla 21.

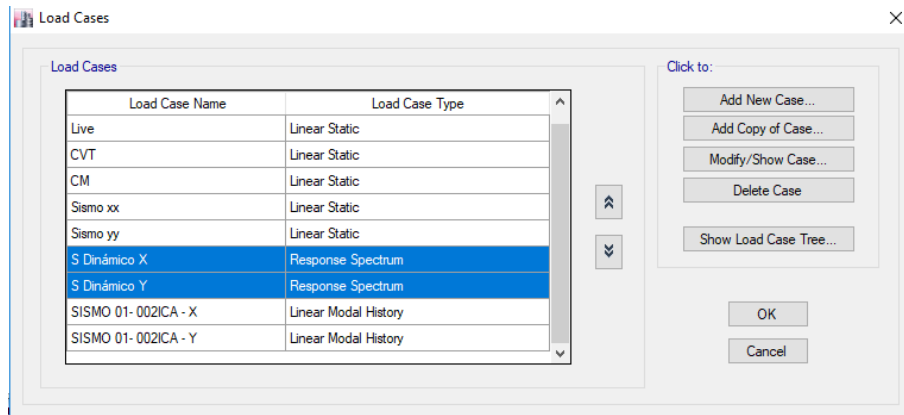
Tabla 21 Masas Rotacional – Sistema Dual

Piso	Mt	Ix	Iy	A (m ²)	Mr
	(tn.s ² /m)	(m ⁴)	(m ⁴)	A1	(tn.s ² /m)
Techo	36.135	17257.276	5591.543	300.5	2747.527
Piso 8	49.901	17257.276	5591.543	300.5	3794.282
Piso 7	49.901	17257.276	5591.543	300.5	3794.282
Piso 6	49.901	17257.276	5591.543	300.5	3794.282
Piso 5	49.901	17257.276	5591.543	300.5	3794.282
Piso 4	49.901	17257.276	5591.543	300.5	3794.282
Piso 3	49.901	17257.276	5591.543	300.5	3794.282
Piso 2	49.901	17257.276	5591.543	300.5	3794.282
Piso1	54.503	17257.276	5591.543	300.5	4144.156

Ingreso de datos al Etabs

Se deberá ingresar los siguientes datos:

Figura 14. Ingreso de Load Case en sismo x – sismo y



Luego para cada sismo se ingresará: Load Name –U1 (Sismo x) – U2 (Sismo y), Función (espectro de respuesta para suelo rígido) y el Factor de Escala ($FE = ZUSg/R$; $FE = (0.40 \times 1.00 \times 1.00 \times 9.81 / 5.25 = 0.7474)$). Se puede observar en la Figura 26 y Fig 27.

Figura 15. Ingreso de datos – Load Case Sismo X

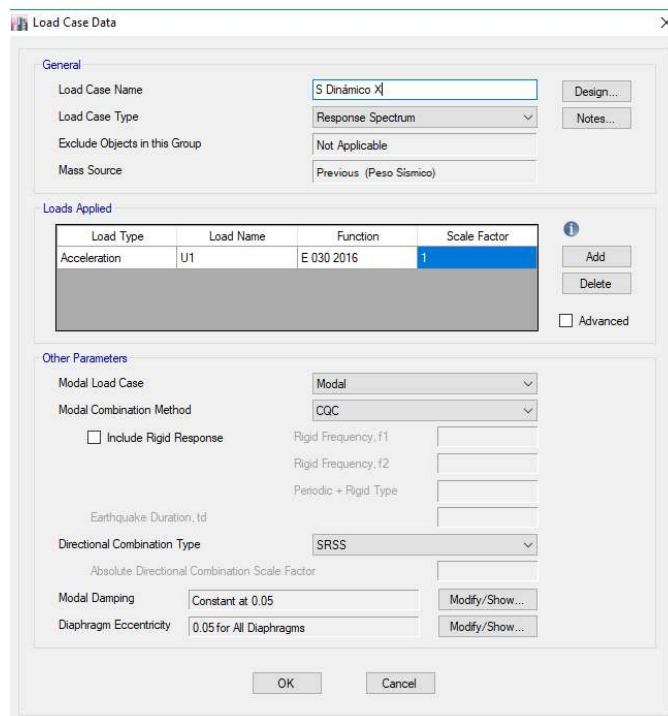
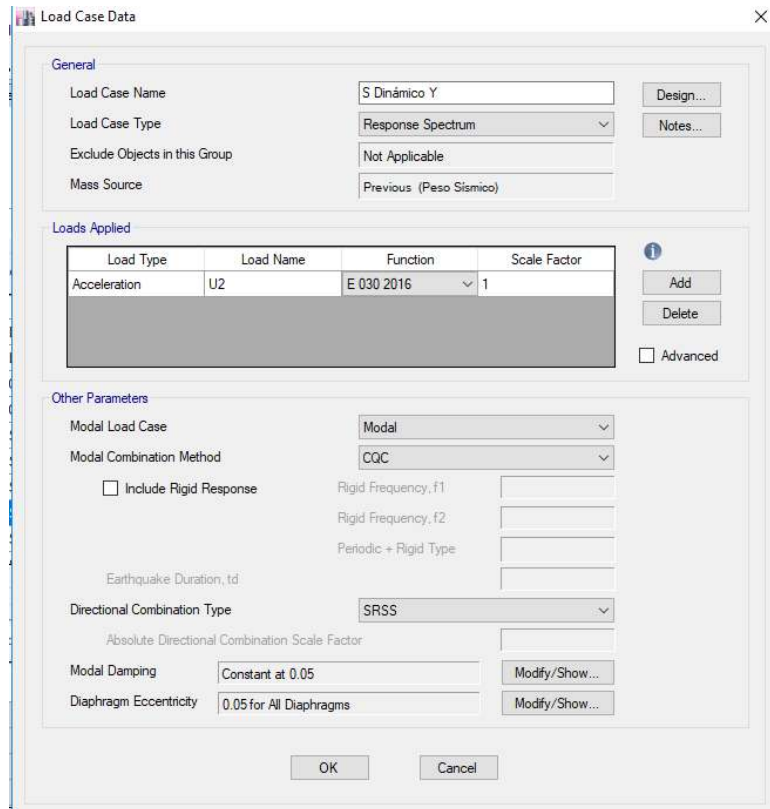
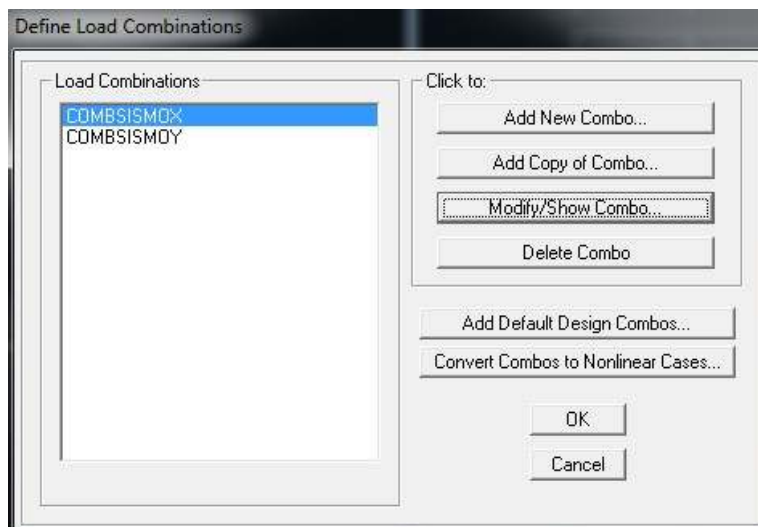


Figura 16. Ingreso de datos – Load Case Sismo Y



- Definir Load Combinations en sismo x – sismo y (Ver Fig. 17)

Figura 17. Ingreso de Load Combinations en sismo x – sismo y



Resultados – Control de desplazamientos laterales

Se debe comprobar que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso no exceda el 0.007, ya que se trata de un edificio construido de concreto. La altura de entrepiso es igual a 3.20 m (2do piso al 6to piso) y de 4.20 m (1er piso).

$$|Deriva(Piso p)| = \frac{Desplazamiento_{p+1} - Desplazamiento_p}{Altura\ de\ entrepiso} < 0.007$$

Control desplazamientos laterales en la dirección X – X

En la tabla 22 se observa el desplazamiento lateral en la dirección X-X

Tabla 22 Control de desplazamientos laterales X-X – Sistema Dual

PISO	DESPLAZAMIENTO LATERAL (m)	DERIVAS	< 0.007
Techo	0.004093	0.000183	OK
Piso 8	0.003672	0.000206	OK
Piso 7	0.003268	0.000229	OK
Piso 6	0.002819	0.000248	OK
Piso 5	0.00233	0.000260	OK
Piso 4	0.001814	0.000261	OK
Piso 3	0.001294	0.000249	OK
Piso 2	0.000797	0.000218	OK
Piso1	0.000363	0.000119	OK

Control desplazamientos laterales en la dirección Y-Y

En la tabla 23 se observa el desplazamiento lateral en la dirección Y-Y

Tabla 23 Control de desplazamientos laterales Y-Y – Sistema Dual

PISO	DESPLAZAMIENTO LATERAL (m)	DERIVAS	< 0.007
Techo	0.002225	0.000102	OK
Piso 8	0.001962	0.000107	OK
Piso 7	0.001687	0.00011	OK
Piso 6	0.001403	0.000112	OK
Piso 5	0.001116	0.00011	OK
Piso 4	0.000834	0.000103	OK
Piso 3	0.00057	9.10E-05	OK
Piso 2	0.000336	7.30E-05	OK
Piso1	0.000147	3.80E-05	OK

Amplificación de la cortante en la base del edificio

En la norma de diseño sismorresistente E-030 se indica que el cortante basal que resulta del análisis dinámico no debe ser menor que el 90% (para edificaciones irregulares), del cortante basal estático.

Vestático (x, y) = 628.32 Ton (Ver ítem 4.1.4)

Vdinámico(x) = 601.6552 Ton (SAP 2000)

Vdinámico (y)= 601.6552 Ton (SAP 2000)

Si no cumple con el requisito se tendrá que escalar por un factor que se muestra a continuación:

$$Factor = 0.9 \left(\frac{V_{estático}}{V_{dinámico}} \right)$$

Se puede apreciar que la fuerza cortante en la base del análisis dinámico es mayor que el 90% del valor obtenido del análisis estático, por consiguiente, los esfuerzos obtenidos del análisis dinámico no se deben escalar proporcionalmente.

4.5 CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS

En la tabla 24 se presentan los desplazamientos laterales máximos, para el eje X y el eje Y.

Tabla 24 Desplazamientos Laterales Máximos– Sistema Dual

Desplazamientos Laterales Máximos	Eje X	Eje Y
Xmáx	0.004093	-
Y máx	-	0.002225

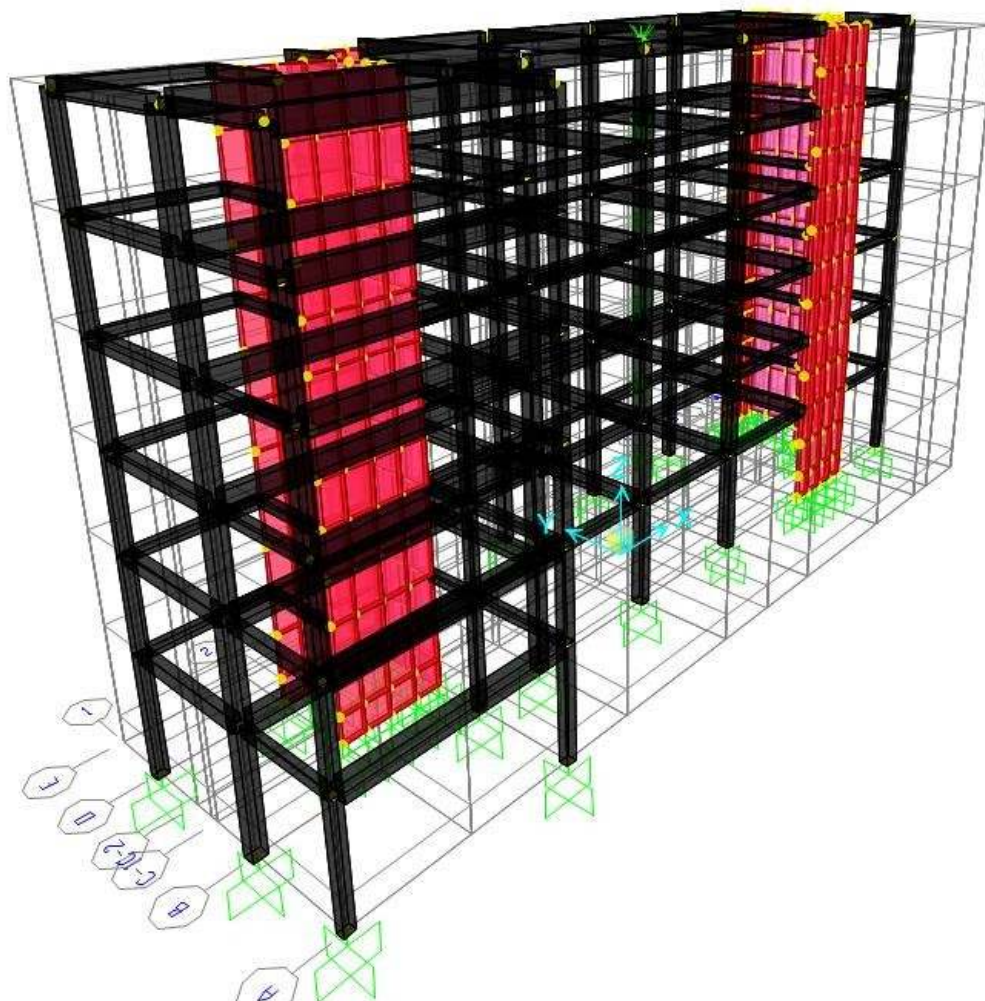
En la tabla 25 se presentan los periodos y frecuencias.

Tabla 25 Períodos y Frecuencias– Sistema Dual

Modal Periods and Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	0.918	1.09	6.846	46.8681
Modal	2	0.528	1.895	11.9097	141.8414
Modal	3	0.489	2.046	12.8526	165.1897
Modal	4	0.252	3.966	24.9182	620.9171
Modal	5	0.124	8.053	50.5966	2560.0141
Modal	6	0.12	8.307	52.1969	2724.5131
Modal	7	0.119	8.376	52.6281	2769.7211
Modal	8	0.073	13.615	85.5465	7318.2028
Modal	9	0.056	17.805	111.8703	12514.9563
Modal	10	0.056	17.927	112.6404	12687.8561
Modal	11	0.051	19.477	122.38	14976.8764
Modal	12	0.039	25.469	160.029	25609.2718
Modal	13	0.036	28.155	176.903	31294.6585
Modal	14	0.035	28.539	179.3145	32153.7016
Modal	15	0.032	31.108	195.4578	38203.7623
Modal	16	0.028	35.793	224.8937	50577.1926
Modal	17	0.026	38.244	240.2916	57740.0477
Modal	18	0.026	38.926	244.5802	59819.4882
Modal	19	0.025	39.322	247.0685	61042.8256
Modal	20	0.021	47.555	298.7968	89279.5542
Modal	21	0.02	49.22	309.2558	95639.1714
Modal	22	0.018	55.007	345.6208	119453.7262
Modal	23	0.018	55.626	349.5089	122156.4409
Modal	24	0.018	56.828	357.0601	127491.8974
Modal	25	0.017	57.897	363.7792	132335.3103
Modal	26	0.017	58.293	366.2675	134151.9011
Modal	27	0.017	59.291	372.5349	138782.2336

En la Fig. N° 31, se muestra una vista en 3D del edificio de oficinas con el Sistema Dual.

Figura N° 31.- Edificio de Oficinas con el Sistema Dual



V. DISEÑO DEL AISLAMIENTO DEL EDIFICIO

5.1 PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS PRINCIPALES

Las dimensiones de las columnas serán de dos tipos C 2-2: 0.50 x 0.40 m y C 1-1: 0.40 x 0.30 m. se puede verificar la distribución de las columnas en el Anexo 6.

Se deberá considerar vigas de amarre en el nivel 0 de la estructura, es decir, al nivel de los pedestales superiores del aislador.

Para el predimensionamiento de vigas de amarre, se tendrá en cuenta el criterio del libro de Antonio Blanco Blasco – Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado, referente al diseño de vigas secundarias, el cual consiste en la siguiente fórmula:

$$h = \frac{L}{14}, B = \frac{h}{2}$$

h = peralte de la viga, L = Longitud de la viga, b = base de la viga

Tabla 26 Predimensionamiento de Vigas de Amarre

		Longitud de las vigas - representativas (m)	Peralte (m)	Base (m)
SECTOR	1	7.8	0.56	0.28
	2	3.95	0.28	0.14
	3	4.65	0.33	0.17

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la edificación contará con dos tipos de vigas de amarre:

Viga 1-1: 0.60 x 0.30 m Viga 2-2: 0.50 x 0.25 m

No se considerará las placas en la estructura debido a que se considerará como un sistema aporticado.

Se considerarán pedestales de 1m x 1m (planta) en la parte superior e inferior de cada aislador para un correcto anclaje, esto debido a que el diámetro del aislador (0.650m) y longitud de la placa de anclaje (0.70m) son mayores a las dimensiones de los dos tipos de columnas C 1-1 y C 2-2. Respecto a la altura (0.8m), se toma como referencia la norma E.060 Item 7.10.5.6 donde muestra la longitud mínima de refuerzo transversal.

Se debe tener en cuenta que los demás elementos de la estructura seguirán teniendo las mismas dimensiones anteriores (ítem 4.1).

5.2 CARGAS SISMICAS DE LA EDIFICACIÓN

En el metrado de carga por piso se puede observar que desde el segundo al noveno piso son iguales y el primero diferente, debido a que en el primer piso se considera

una profundidad de desplante. Siendo por ello, mayor a los demás. A continuación, en la tabla 26 se muestra los resultados:

Tabla 27 Peso Por Piso

TABLA DE MASAS POR NIVEL		
PISO	UX	UY
	ton	ton
Techo	312.42	312.42
Piso 8	448.64	448.64
Piso 7	448.64	448.64
Piso 6	448.64	448.64
Piso 5	448.64	448.64
Piso 4	448.64	448.64
Piso 3	448.64	448.64
Piso 2	448.64	448.64
Piso1	522.36	522.36
Base	204.22	204.22

5.3 MASA TRASLACIONAL Y ROTACIONAL

Las masas traslacional y rotacional para el edificio con Sistema Aislado son las siguientes:

Masa Traslacional

$$Mt = P_{\text{piso}}/g$$

Dónde:

Ppiso: Peso del piso a analizar.

g: Gravedad 9.81m/s².

Tabla 28 Masa Traslacional – Sistema Aislado

Piso	Peso (Ton)	g (m/s ²)	Mt (tn.s ² /m)
Techo	312.42	9.81	31.847
Piso 8	448.64	9.81	45.733
Piso 7	448.64	9.81	45.733
Piso 6	448.64	9.81	45.733
Piso 5	448.64	9.81	45.733
Piso 4	448.64	9.81	45.733
Piso 3	448.64	9.81	45.733
Piso 2	448.64	9.81	45.733
Piso1	522.36	9.81	53.248

Masa Rotacional

$$Mr = Mt(Ix + Iy)/A$$

Dónde:

Ix: Inercia con respecto al eje X. (Ver Fig. 23)

Iy: Inercia con respecto al eje Y. (Ver Fig. 24)

A: Área total, en planta, de la edificación.

Mt: Masa Traslacional

Sistema de los ejes principales

Angulo

$$\alpha = -0.1 \text{ Deg}$$

Momentos de Inercia

$$Iz = 0.000 \text{ m}^4$$

$$Ix = 17257.276 \text{ m}^4$$

$$Iy = 5591.543 \text{ m}^4$$

Los resultados se muestran en la tabla 29.

Tabla 29 Masa Rotacional – Sistema Aislado

Piso	Mt	lx	ly	A (m2)	Mr
	(tn.s2/m)	(m4)	(m4)	A1	(tn.s2/m)
Techo	31.847	17257.276	5591.543	300.5	2421.526
Piso 8	45.733	17257.276	5591.543	300.5	3477.349
Piso 7	45.733	17257.276	5591.543	300.5	3477.349
Piso 6	45.733	17257.276	5591.543	300.5	3477.349
Piso 5	45.733	17257.276	5591.543	300.5	3477.349
Piso 4	45.733	17257.276	5591.543	300.5	3477.349
Piso 3	45.733	17257.276	5591.543	300.5	3477.349
Piso 2	45.733	17257.276	5591.543	300.5	3477.349
Piso1	53.248	17257.276	5591.543	300.5	4048.743

5.4 CRITERIO DE SELECCIÓN DE LOS AISLADORES

La elección de tipo de aisladores, se basa en tres aspectos principalmente:

- La utilización de los aisladores comúnmente instalados en edificios en el mundo, según sus respectivos parámetros de comportamiento.
- La existencia de mayor cantidad de estudios y el respaldo teórico obtenido.
- Historial de edificios con resultados positivos, comprobados en respuesta de la estructura y en la operatividad post-sismo.

De acuerdo con estos criterios, tomando en consideración especial el punto 2, se decidió usar los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR).

5.5 DATOS INICIALES DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO

5.5.1 Utilización del código UBC-97

El código empleado para el diseño del aislador es el UBC-97, lo que define dicho código es que cualquier sistema de aislamiento que cumpla con los requerimientos de desplazamientos puede ser considerado como aceptable.

Una observación importante que se debe tener en cuenta es que el código UBC-97 no tiene como intención o filosofía reducir los costos de la estructura si no

controlar el daño frente a un evento sísmico. La reducción de costos se puede generar post-sismo y no es fundamental para dicho código.

5.5.2 Definición de los datos comunes para el diseño de aisladores

En primer lugar, se deben definir las reacciones de base del edificio aporticado que son el punto de partida para el diseño, estas se aprecian en la tabla 30.

Tabla 30 Reacciones de base del edificio aporticado

COLUMNA	CM	CV	CM + 30%CV
	(kg)	(kg)	(Ton)
A1	7,823.80	2,000.00	50.83
A3	7,823.80	2,000.00	50.83
B10	9,889.00	2,315.00	63.79
D1	9,428.20	2,562.50	61.47
E3	2,214.90	385	14.27
E10	7,614.00	1,440.00	48.56
B1	14,815.30	4,562.50	97.58
B3	15,254.10	4,645.00	100.37
B4	12,283.70	3,735.00	80.9
B5	15,525.60	4,950.00	102.54
B6	15,525.60	4,950.00	102.54
B7	19,155.00	5,715.00	125.7
D3	4,702.30	572.5	29.72
E4	12,283.70	3,735.00	80.9
E5	15,525.60	4,950.00	102.54
E6	15,525.60	4,950.00	102.54
E7	19,155.00	5,715.00	125.7

Realizando la conversión necesaria, se halla la reacción en toneladas de cada columna para posteriormente hallar el total (suma de todas las reacciones) y el promedio de los resultados. Estos últimos dos valores se presentan en Kilonewton debido a requerimientos de cálculo del aislador:

Total = 12986 KN

Promedio= 738 KN

Las reacciones estáticas en la base consideran un peso propio del edificio con el 30% de la carga viva para efectos de un comportamiento adecuado en

servicio, además considera una situación dinámica máxima en la que interviene más carga por lo que se toma el 50% de la carga viva, lo que permite comprobar la capacidad última de los aisladores.

Para el proyecto se utilizó sólo un tipo de diámetro, considerando un diseño conservador, tomando en cuenta que el 70% de las cargas que reciben las columnas son mayores a 60 ton. (Ver tabla 30). Además, ya que se deben realizar encargos a los fabricantes y pruebas de carga a cada tipo de aislador, lo que aumentaría más el costo mientras más tipos de aislador se tengan. Los datos de entrada comunes para el diseño se muestran en la tabla 31.

Tabla 31 Datos de entrada comunes para el diseño de aisladores

DATOS DE ENTRADA COMUNES PARA EL DISEÑO DE AISLADORES			
Número de aisladores	Peso edificio con 30% de Carga Viva (Kn)	Período Objetivo deseado (s)	Carga Máxima en la Vida Útil de los aisladores más cargados (Kn)
21	12986	2	300

5.5.3 Obtención de los datos preliminares del proyecto

Para la obtención de los coeficientes sísmicos, factor de reducción y los parámetros necesarios para el diseño del aislador, se encuentran en el código UBC-97 en el capítulo 16. Los datos solicitados por el código se muestran en la tabla 32.

Tabla 32 Datos de entrada comunes para el diseño de aisladores

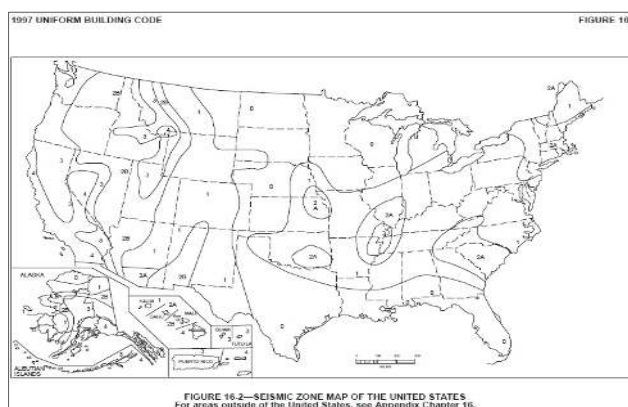
DATOS DEL PROYECTO SOLICITADO POR EL CÓDIGO UBC - 97						
Sistema estructural	Zona sísmica	Prueba de penetración estandar SPT (#degolpes/pie)	Resistencia al corte sin drenar (Kpa)	Máxima magnitud del sismo esperado	Proporción de deslizamiento de la Placa (mm/año)	Distancia a la falla (km)
Aporticado	4	50	80	7	5	> 15

Obtención de datos de la tabla 32:

Sistema Estructural Aporticado: Sistema que basa su estructura en pórticos que forman un conjunto esquelético de vigas y columnas las cuales se conectan rígidamente por medio de nudos.

Zona Sísmica 4: El código UBC97 utiliza el mapa de los Estados Unidos para verificar la Zona Sísmica (Fig 32), donde el tipo de zona 4, tiene un factor $Z=0.4$. Si verificamos la Norma Técnica Peruana podemos ver que la zona 3, donde pertenece Lima, tiene un factor $Z=0.4$, es por ello que se decidió utilizar Zona Sísmica 4 en nuestro proyecto.

Figura N° 32. Seismic zone map of the United States



Fuente: Código UBC97

Prueba de penetración Standard SPT (#degolpes/pie) 50: Considerando un suelo rígido como tipo de perfil (Fig 33), el número de golpes varía entre 15 a 50, se tomó 50 golpes/pie para efectos prácticos de la tesis.

Resistencia al corte sin drenar (Kpa) 80: considerando un suelo rígido como tipo de perfil (Fig 33), la resistencia al corte varía entre 50 a 100 Kpa, se tomó 80 Kpa para efectos prácticos del proyecto.

Figura N° 33. Tipo de perfiles de suelos

TABLA 16-J- TIPO DE				
PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO PARA LOS 30 m				
TIPO DE PERFIL DE SUELOS	NOMBRE DEL PERFIL DE SUELOS DESCRIPCIÓN GENÉRICA	Velocidad de onda de cortante, Vs pies/segundo (m/s)	Ensayo estándar de penetración N fo N ch para capas de suelo sin cohesión	Resistencia al cortante desagüe Su psf (kPa)
S	Roca Dura	> 5,000 (1,500)	-	
S	Roca	2,500 to 5,000 (760 to	-	
S	Suelo muy denso y roca blanda	1,200 to 2,500 (360 to	>	>2,000 (100)
S	Perfil de suelo rígido	600 to 1,200 (180 to	15 to	1,000 a 2,000 (50 a
S	perfil de suelo sólido	< 600 (180)	<	< 1,000 (50)
SF	Suelo que requiere evaluación específica del lugar.			

Fuente: Código UBC97

Máxima magnitud del sismo esperado 7: Se tomó el máximo sismo que considera el código UBC97 (Fig 34). Para fallas que pueden producir eventos de gran magnitud (Tipo de lugar de origen del sismo A).

Proporción de deslizamiento de la placa (mm/año) 5: se tomó la máxima proporción de deslizamiento. (Fig 34).

Figura N° 34 Tipo de lugar de origen del sismo

TABLA 16-U TIPO DE LUGAR DE ORIGEN DEL SISMO			
TIPO DE LUGAR	DESCRIPCIÓN A LA FUENTE DEL SISMO	DEFINICIÓN A LA FUENTE DEL SISMO	
		Magnitud del	Proporción de
A	Fallas que pueden producir eventos de	$M \geq$	$SR \geq$
B	Otras fallas además de los tipos A y C	$M \geq 7.0, M < 7.0, M$	$SR < 5, SR > 2, SR$
C	Fallas que pueden producir eventos de gran magnitud y que tiene una relación de	$M < 6.5$	$SR \leq 2$
Observación: Tanto las condiciones de magnitud del momento máximo como de proporción de			

Fuente: Código UBC97

Distancia a la falla (Km) 15: consideramos una distancia a la falla mayor o igual a 15Km, distancia usada para hallar los factores de cercanía a la fuente explicados más adelante.

Las tablas para hallar los parámetros necesarios usando los datos solicitados por el código UBC-97, se muestran en la tabla 33. Además de la fórmula para calcular los coeficientes de sismicidad máximo (Cam y Cvm).

Tabla 33 Datos del Proyecto

Datos del Proyecto			Código UBC97
Factor sísmico de zona	0.4	Zona 4	tabla 16-I (Fig 35)
Tipo de perfil de suelo	Sd	Suelo Rígido	tabla 16-J (Fig 29)
Factor de cercanía a la fuente (Na)	1		tabla 16-S (Fig 36)
Factor de cercanía a la fuente (Nv)	1		tabla 16-T (Fig 37)
Mm (coef. De máxima capacidad sísmica)	1.5		Factor of safety for strain and buckling (Fig 38)
Coefficiente de sismicidad (Cad)	0.44		tabla 16-Q (Fig 39)
Coefficiente de sismicidad (Cvd)	0.64		tabla 16-R (Fig 40)
Coefficiente de sismicidad máximo (Cam)	0.66		Mm x Cad

Considerando zona 4, se obtiene un factor Z igual a 0.4 según la figura 35.

Figura N° 35. Factores de zona sísmica Z

TABLA 16-I FACTOR DE ZONA SÍSMICA Z	
ZONA	Z
1	0.075
2A	0.15
2B	0.2
3	0.3
4	0.4

Fuente: Código UBC97

Considerando el tipo del lugar de origen del sismo A, y una distancia a la falla mayor a 15Km (Tabla 32), se obtiene un factor de cercanía N_a igual a 1 según la fig 36.

Figura N° 36. Factores de Cercanía a la fuente N_a

TABLA 16-S FACTOR DE CERCANÍA A LA			
TIPO DE SISMO	DISTANCIA MÁS PRÓXIMA A LA FUENTE DEL SISMO		
	< 2 Km	5K	>= 10 Km
A	1.	1.	1
B	1.	1	1
C	1	1	1

Observación: el factor de cercanía a la fuente puede basarse en la interpolación lineal de valores para distancias diferentes a las que se muestran en la tabla

Fuente: Código UBC97

Considerando el tipo del lugar de origen del sismo A, y una distancia a la falla mayor a 15Km (Tabla 32), se obtiene un factor de cercanía N_v igual a 1 según la fig 37.

Figura N° 37. Factores de Cercanía a la fuente N_v

TABLA 16-T FACTOR DE CERCANÍA A LA FUENTE N_v				
TIPO DE LUGAR DE ORIGEN DEL SISMO	DISTANCIA MÁS PRÓXIMA AL LUGAR DE ORIGEN			
	<=2Km	5Km	10Km	>=15K
A	2	1.6	1.2	1
B	1.8	1.2	1	1
C	1	1	1	1

Fuente: Código UBC97

El coeficiente de máxima capacidad sísmica se obtiene de la fig. 38, considerando un MCE (maximum considered earthquake), igual a 1.5.

Figura N° 38. Factor of safety for strain and buckling

Table 7. Factor of safety for strain and buckling.		
	Factor of safety	Remark
Gravity	>3.0 for both strain and buckling	>6.0 for high seismic zone
DBE	>1.5 for both strain and buckling	2.0 preferable
MCE	>1.25 for both strain and buckling	1.5 preferable

Fuente: Código UBC97

Considerando un factor $Z=0.4$, y un tipo de suelo rígido (Sd) se aplica la fórmula $0.44 \times N_a$ para hallar el coeficiente C_{ad} según la fig. 39, dando como resultado 0.44

Figura N° 39. Coeficiente de sismicidad C_{ad}

TABLA 16-Q COEFICIENTE DE SISMICIDAD C_a					
TIPO DE PERFIL DE SUELO	FACTOR DE ZONA SÍSMICA, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.33 N_a
SB	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4 N_a
SC	0.09	0.18	0.24	0.33	0.4 N_a
SD	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44 N_a
SE	0.19	0.3	0.34	0.36	0.36 N_a
SF	Se debe realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para el tipo de perfil de suelo SF				

Fuente: Código UBC97

Considerando un factor $Z=0.4$, y un tipo de suelo rígido (Sd) se aplica la fórmula $0.64 \times N_v$ para hallar el coeficiente C_{vd} según la fig. 40, dando como resultado 0.64

Figura N° 40. Coeficiente de sismicidad C_{vd}

TABLA 16-R COEFICIENTE DE SISMICIDAD C_v					
TIPO DE PERFIL DE SUELO	FACTOR DE ZONA SÍSMICA, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 N_v
SB	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4 N_v
SC	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56 N_v
SD	0.18	0.32	0.4	0.54	0.64 N_v
SE	0.26	0.5	0.64	0.84	0.96 N_v
SF	Se debe realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para el tipo de perfil de suelo SF				

Fuente: Código UBC97

Usamos un coeficiente de reducción sísmica (R_i) igual a 2 según la fig 41.

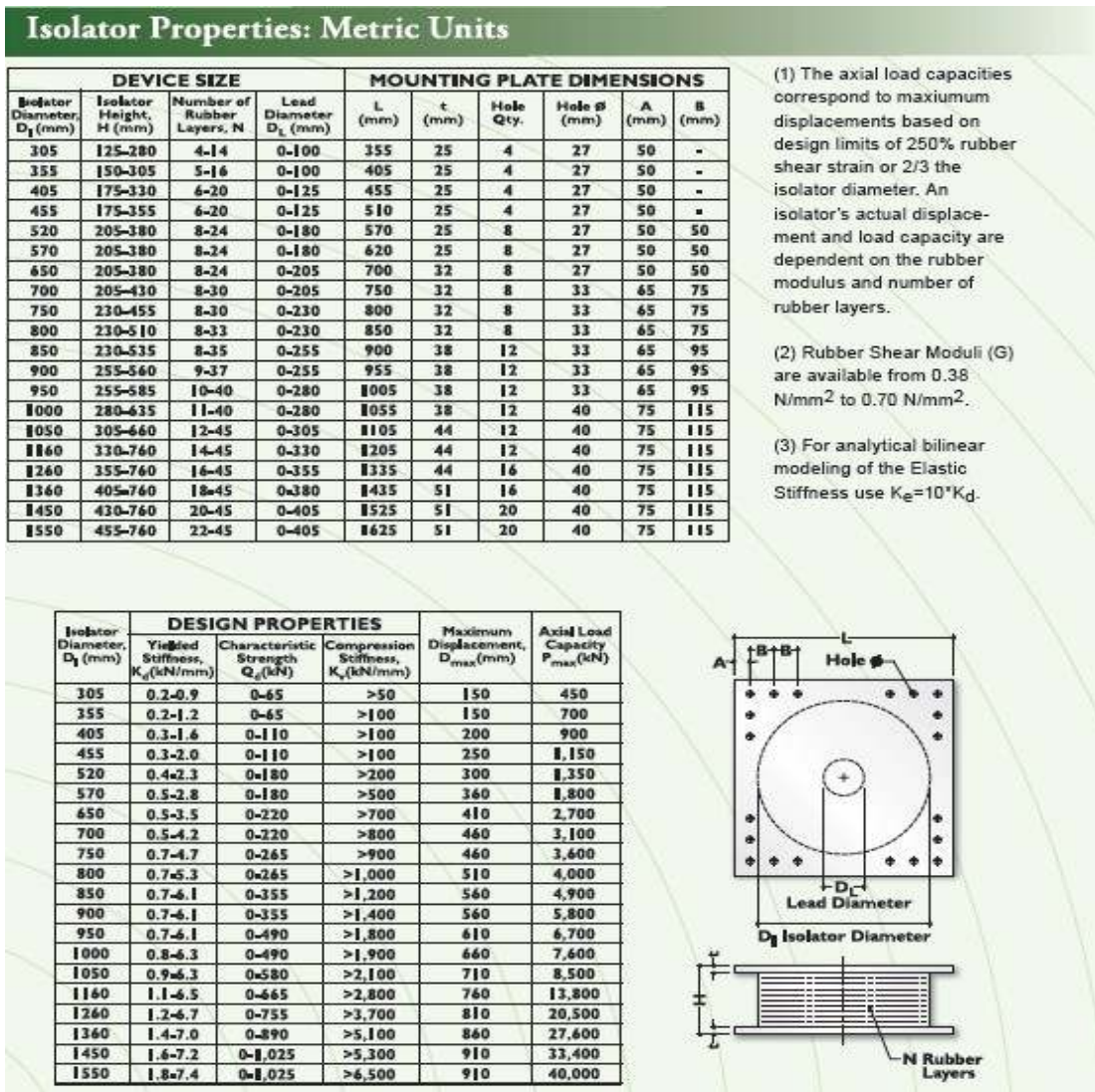
Figura N° 41. Response modification coefficients for structural systems above isolation interface

Structural system	Lateral force resisting system	Fixed base R	Isolated base R_i
Bearing wall system	Concrete shear Walls	6	2.0
	Masonry shear Walls	6	2.0
Building frame system	Steel eccentrically braced frame (EBF)	10	2.0
	Concrete shear walls	8	2.0
	Masonry shear walls	8	2.0
	Special steel concentric braced frame	8	2.0
	Special moment resisting frame (SMRF)		
	Steel	12	2.0
	Concrete	12	2.0
Moment resisting frame	Intermediate moment resisting frame (IMRF)		
	Concrete	8	2.0
	Ordinary moment resisting frame (OMRF)		
	Steel	6	2.0
	Shear walls		
	Concrete with SMRF	12	2.0
	Concrete with steel OMRF	6	2.0
	Masonry with SMRF	8	2.0
	Masonry with steel OMRF	6	2.0
Dual system	Steel EBF		
	With steel SMRF	12	2.0
	With steel OMRF	6	2.0
	Concentric braced frame		
	Steel with Steel SMRF	10	2.0
	Steel with Steel OMRF	6	2.0

Fuente: Código UBC97

En el mercado, se encuentran diferentes ofertas de varias casas fabricantes, para este proyecto tomamos las propiedades del aislador de la empresa Dynamic Isolation Systems (Ver fig. 42).

Figura N° 42. Propiedades del aislador



Fuente: Dynamic Isolation Systems

Se tomo un diámetro inicial de 650 mm para iniciar el proceso de iteración y verificar el cumplimiento de los mínimos permisibles. Se explica más adelante el procedimiento para el diseño del aislador.

Las propiedades de inicio para el diseño del aislador HDR, se muestra en la tabla 34.

Tabla 34 Propiedades de inicio para el diseño del aislador HDR

Propiedades de inicio para el diseño de aisladores HDR		
Propiedades	Unidades	A
Prom. de Carga del peso propio mas 30% de carga viva	Kn	738.00
Módulo de Rigidez a Cortante (G)	Mpa	0.4
deformación lateral a cortante (Y)		1.5
Presión de apoyo Admisible	Mpa	8.14
Módulo de elasticidad volumétrico	Mpa	2000
Carga máxima admisible	Kn	2700
Desplazamiento máximo	mm	410

Obtención de datos de la tabla 34:

La carga peso propio mas 30% de carga viva se obtiene del promedio de las reacciones en las columnas de la estructura (Ver tabla 30).

El Módulo de rigidez a Cortante (G), ver fig. 42.

Deformación lateral a cortante¹⁸

Presión de apoyo admisible (8.14Mpa), se obtiene diviendo la carga máxima admisible de 2700kn entre el área requerida del aislador, si el diámetro del aislador es de 0.650m, su área requerida es de 0.332m², por lo tanto la presión de apoyo admisible es igual a $2700/0.332$, este valor se divide entre 1000 para convertirlo en Mpa.

Módulo de elasticidad volumétrico¹⁹

Carga máxima admisible, ver fig. 42.

Desplazamiento máximo, ver fig. 42.

5.6 UTILIZACIÓN DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

5.6.1 Desplazamientos máximos y cortantes según Norma UBC-97

Se procede al inicio del diseño y análisis del aislador HDR, citando las tablas correspondientes y mostrando el procedimiento detallado para un correcto entendimiento.

Primero se debe calcular la rigidez horizontal del aislador, la cual servirá para hallar el área que necesita el aislador y definirá el diámetro del aislador. Se debe calcular el desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema aislado, considerando el 20% de amortiguamiento. Luego se procede a hallar las alturas de capas de caucho usando el desplazamiento obtenido anteriormente. Por último se compara el área que necesita el aislador, con el área del aislador elegido (Diámetro 650mm). A continuación se muestran el proceso cuantitativo de lo explicado anteriormente:

Paso 1 Cálculo de la rigidez horizontal del aislador HDR (kh)

Datos

m: Cargas promediadas del edificio al 30% de la carga viva = 738 Kn

T: Período objetivo = 2s

$$K_h = m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 774 \times \left(\frac{2\pi}{2}\right)^2 = 0.74 \text{ Mn/m}$$

Considerando el valor de 738 Kn de la tabla 34.

Paso 2 Cálculo del desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento (Dd) (20% amortiguamiento)

Datos

Cvd: Coeficiente de sismicidad = 0.64

T: Período objetivo = 2s

Bd: Damping Coefficient = 1.5

$$D_M = \frac{\frac{g}{4 \times \pi^2} \times C_{VD} \times T}{\beta_d} = \frac{\frac{9.81}{4 \times \pi^2} \times 0.64 \times 2}{1.5} = 0.212 \text{ m}$$

Paso 3 Cálculo de la suma de las alturas de las capas de caucho (tr)

Datos

Dd: desplazamiento de diseño del centro de rigidez = 0.212m

Y: deformación lateral a cortante = 1.5

$$tr = \frac{Dd}{Y} = 0.141m$$

Paso 4 Cálculo del área que necesita el aislador HDR

Datos

Kh: rigidez horizontal del aislador = 0.74 Mn/m

Tr: Alturas de capas de caucho= 0.141 m

G: Módulo de rigidez a cortante = 0.4 Mpa

$$A = \frac{kh \cdot tr}{G} = \frac{0.74 \times 0.141}{0.4} = 0.262 < 0.332 \text{ m}^2 \text{ CUMPLE}$$

Se tomó un tipo de aislador de diámetro 0.650 m, el cual necesita un área de 0.332m², considerando en este caso un solo tipo de aislador HDR.

Luego de verificar el área requerida, se procede a comprobar la presión de apoyo. Para ello se halla la presión de apoyo dividiendo la carga máxima en la vida útil del aislador (ver tabla 31) y el área del aislador elegido (Diámetro 0.650 m, área 0.332m²), este valor debe ser menor a la presión de apoyo admisible mostrada en la tabla 34. A continuación se muestran el proceso cuantitativo de lo explicado anteriormente:

Paso 5 Cálculo de la presión de apoyo del aislador (ρ)

Datos

Carga max: Carga máxima en la vida útil del aislador = 300 Kn

A: Área del aislador según tablas del fabricante = 0.332 m²

$$\rho = \frac{\text{Carga max}}{A} = \frac{300}{0.332} = 0.90 < 8.14 \text{ Mpa CUMPLE}$$

Tomando el valor de 8.14 Mpa de la tabla 34.

Teniendo los datos comerciales del aislador, se procede a hallar la rigidez horizontal del aislador utilizando la misma fórmula del paso 4. Además hallamos una rigidez compuesta, que en este caso, por ser sólo un tipo de aislador, es la rigidez mencionada multiplicada por el número de aisladores. El objetivo es hallar el período real del sistema aislado y comprobar la similitud con el período objetivo. A continuación se muestran el proceso cuantitativo de lo explicado anteriormente:

Paso 6 Cálculo de la rigidez horizontal del aislador (K_h)

Datos

G: Módulo de rigidez a cortante = 0.4 Mpa

A: Área del aislador según tablas del fabricante = 0.332 m²

Tr: Alturas de capas de caucho según tablas del fabricante = 0.205 m

$$K_h = \frac{G \times A}{tr} = \frac{0.4 \times 0.332}{0.205} = 0.65 \text{ Mn/m}$$

Paso 7 Cálculo de la rigidez compuesta del sistema de aislamiento (K_C)

Datos

n: Cantidad de aisladores en el sistema = 21

K_h : Rigidez horizontal del aislador = 0.65 Mn/m

$$K_H = n \times K_h = 21 \times 0.65 = 13.60 \text{ Mn/m}$$

Paso 8 Cálculo del período real del sistema de aislamiento (T_d)

Datos

m: masa del edificio con 30% de la carga viva = 12986 Kn

K_h : Rigidez compuesta del sistema de aislamiento = 13.60 Mn/m

$$T_d = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_H}} = 1.96 \text{ seg}$$

Con lo que se cumple la hipótesis inicial de período deseado de 2seg.

Por último, se halla el desplazamiento de diseño del centro de rigidez utilizando el período real, y se le amplifica un 10% según el código UBC97. Este valor se compara con el desplazamiento máximo de la tabla 34. A continuación se muestran el proceso cuantitativo de lo explicado anteriormente:

Paso 9 Desplazamiento de diseño del centro de rigidez con período real (Dd)

Datos

Cvd: Coeficiente de sismicidad = 0.64

Td: Período real de aislamiento = 1.96 s

Bd: Damping Coefficient = 1.5

$$D_d = \frac{\frac{g}{4 \times \pi^2} \times C_{VD} \times T_d}{\beta_d} = \frac{\frac{9.81}{4 \times \pi^2} \times 0.64 \times 1.96}{1.5} = 0.208 \text{ m}$$

Paso 10 Desplazamiento de diseño del centro de rigidez con período real considerando efectos de torsión según norma (Dtdnorma)

Datos

Dd: desplazamiento de diseño del centro de rigidez

$$D_{tdnorma} = 1.1 \times D_d = 1.1 \times 0.208 = 0.229 \text{ m} < 0.410 \text{ m } \mathbf{CUMPLE}$$

Considerando el valor de 0.410 m de la tabla 34.

5.6.2 Procedimiento para determinar los detalles de los aisladores HDR

Se continúa el diseño del aislador HDR, siguiendo los pasos mostrados a continuación:

Para determinar los detalles del aislador HDR, se debe estimar el factor de forma S de cada aislador, el cual debe ser mayor a 10 según el código UBC97. Además se debe obtener el módulo de compresión caucho – acero el cual nos servirá para hallar rigidez vertical compuesta del sistema aislado. El objetivo del cálculo es asegurar que la frecuencia natural vertical sea mayor a 10 Hz. A continuación se muestran el proceso cuantitativo de lo explicado anteriormente:

Paso 1 Estimación del Factor de Forma S de Cada Aislador y el número de capas de caucho (nc)

Datos

Altura de capas de caucho -Real (tr) = 0.205 m

Altura de Cada Capa de Caucho (t) = 0.01 m

Diámetro de Capa de Caucho (Θ) = 0.650 m

$$nc = \frac{tr}{t} = \frac{0.205}{0.01} = 21$$

$$S = \frac{\Theta}{4 \times t} = 16.25 > 10.00 \text{ CUMPLE}$$

Paso 2 Cálculo del Módulo de Compresión del Compuesto Caucho y Acero Para el Aislador HDR (Ec)

Datos

Módulo de Elasticidad Volumétrica (K) = 2000 Mpa

Módulo de Rigidez a Cortante (G) = 0.40 Mpa

Factor de Forma (S) = 16.25 m

$$Ec = \left(\frac{1}{6 \times G \times S} + \frac{4}{3 \times K} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{6 \times 0.4 \times 16.25} + \frac{4}{3 \times 2000} \right)^{-1} = 446 \text{ Mpa}$$

Paso 3 Cálculo de la Rigidez Vertical Compuesta del Sistema de Aislamiento (Kv)

Datos

Módulo de compresión del compuesto caucho y acero (E_c) = 446 Mpa

Suma de Alturas de Capas de Caucho (t_r) = 0.205 m

Área Requerida del Aislador (A) = 0.332 m²

Cantidad de Aisladores (n) = 21.00 und

$$K_v = \frac{E_c \times A \times n}{t_r} = \frac{446 \times 0.332 \times 21}{0.205} = 15144 \text{ Mn/m}$$

Paso 4 Verificación de la Frecuencia Natural Vertical (f_v)**Datos**

Peso Edificio con 30% de CV (m) = 12986 KN

Rigidez Vertical Compuesta (K_v) = 15144 MN/m

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_v}} = 0.07 \text{ seg}$$

$$f_v = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.07} = 15.27 > 10.00 \text{ Hz } \mathbf{CUMPLE}$$

Al ser mayor a 10Hz asegura la rigidez vertical de la estructura.

Para calcular la altura del aislador y el diámetro de los discos de acero sin tener en cuenta el recubrimiento en cada extremo, se deben utilizar todos los datos mostrados en el paso 5.

Paso 5 Cálculo de la Altura del aislador (h)**Datos**

Espesor de la placa de anclaje = 32.00 mm (Ver fig. 42)

Espesor de los discos de acero = 3.00 mm

Número de Capas de Caucho (n_c) = 21.00 Und

Suma de Alturas de Capas de Caucho (tr) = 0.205 m Diámetro de las Capas de Caucho = 0.650 m Recubrimiento = 5.00 mm

$$h = 2 \times 32 + tr + (21 - 1) \times 3 = 329 \text{ mm}$$

Al tener, los discos de acero, un recubrimiento de 5.00 mm el diámetro de cada disco es:

Diámetro Final del disco de acero del Aislador = 640 mm.

5.6.3 Verificación según Norma UBC-97

Verificación Por Pandeo

El objetivo de esta verificación es determinar la carga crítica de pandeo para el aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) y dividirlo sobre la carga máxima respectiva, para poder obtener el factor de seguridad, el cual debe ser mayor a 2 para poder ser aceptado.

Paso 1 Cálculo de la carga de Pandeo de Euler PE de cada aislador

Datos

Diámetro final del aislador = 640.00 mm

(Se utilizará el diámetro del disco de acero y no del aislador, con esto se estará en el lado de la seguridad).

Inercia del Disco de Acero = 0.0082 m⁴

$$I = \frac{\pi \times (\phi/2)^4}{4} = \frac{\pi \times (0.640/2)^4}{4} = 0.0082 \text{ m}^4$$

Suma de Alturas de Capas de Caucho (tr) = 0.205 m

Módulo de Compresión del Compuesto caucho y acero (E_c)=446 Mpa

La carga de Pandeo de Euler PE de cada aislador es:

$$P_E = \frac{\pi^2 \times E_c \times I}{3 \times tr^2} = \frac{\pi^2 \times 446 \times 0.0082}{3 \times 0.205^2} = 287.23 \text{ MN}$$

Paso 2 Cálculo de la rigidez efectiva a cortante por unidad de longitud P_s de cada aislador.

Datos

Suma de Alturas de Capas de Caucho (tr) = 0.205 m

Área Requerida del Aislador (A) = 0.332 m²

Altura Total del Disco de Acero = 0.060 m

El área efectiva a cortante de cada aislador A_s es:

$$A_s = A \times \frac{tr + discos}{tr} = 0.332 \times \frac{0.205 + 0.060}{0.205} = 0.429 \text{ m}^2$$

Módulo de Rigidez a Cortante = 0.40 Mpa

La rigidez cortante del aislador es:

$$P_s = G \times A_s = 0.40 \times 0.429 = 0.172 \text{ MN}$$

Paso 3 Cálculo de la carga crítica de cada aislador

Debido a que el P_E es muy superior al P_S se utilizará la siguiente ecuación para hallar la carga crítica:

$$P_{crit} = \sqrt{P_E \times P_S} = \sqrt{287.23 \times 0.172} = 7.02 \text{ MN}$$

Paso 4 Cálculo del coeficiente de seguridad a pandeo SF de cada aislador

Datos

Carga Máxima en la Vida Útil de los aisladores más cargados (con el 50 % de C_v) = 300.00 KN

Carga Crítica de Cada Aislador (P_{crit}) = 7020 KN

El coeficiente de Seguridad a Pandeo SF de cada aislador es:

$$SF = \frac{P_{crit}}{P_{m\acute{a}x}} = \frac{7020}{300} = 23.4 > 2.00 \text{ CUMPLE}$$

Desplazamiento Máximo del Centro de Rigidez del Sistema de Aislamiento en el Caso del Sismo Máximo Esperado

Según la norma se debe obtener el periodo y el amortiguamiento en el máximo sismo, para poder obtener un desplazamiento mayor que el de diseño.

Paso 1 Incremento de los Módulos de Deformación a Cortante y Decremento de los Amortiguamientos Efectivos.

El aislador experimentará un incremento del 20 % de deformación a cortante y un decremento de amortiguamiento de 1%, aproximadamente.

$$G = 0.40 \times 1.20 = 0.48 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0.20 - 0.01 = 0.19$$

Paso 2 Cálculo de la Rigidez Horizontal del Sistema de Aislamiento

Datos

Área Requerida del Aislador (A) = 0.332 m²

Deformación a Cortante $G = 0.48$ Mpa

Suma de Alturas de Capas de Caucho (tr) = 0.205 m

Cantidad de Aisladores = 21.00 und

La rigidez horizontal de cada aislador es:

$$K_h = \frac{G \times A}{tr} = \frac{0.48 \times 0.332}{0.205} = 0.777 \text{ Mn/m}$$

La rigidez compuesta del sistema de aislamiento es:

$$K_H = 21 \times K_h = 21 \times 0.777 = 16.32 \text{ Mn/m}$$

Paso 3 Determinación del Coeficiente de Amortiguamiento β_M

El amortiguamiento compuesto del sistema de aislamiento es:

Datos

Cantidad de Aisladores = 21.00

Rigidez Horizontal (K_h) = 0.777 Mn/m

Rigidez Compuesta (K_H) = 16.32 Mn/m

Amortiguamiento del aislador (β) = 19%

$$\beta_M = \frac{21 \times \beta \times K_h}{K_H} = \frac{21 \times 19\% \times 0.777}{16.32} = 19\%$$

Aplicando la Tabla 35. Damping Reduction Factors y por interpolación se obtiene:

$$\beta_M = 1.47$$

Tabla 35 Damping Reduction factors

Effective Damping β % of critical	B _s	B ₁
< 2	0.8	0.8
5	1.0	1.0
10	1.3	1.2
20	1.8	1.5
30	2.3	1.7
40	2.7	1.9
> 50	3.0	2.0

Fuente: In-structure damping and energy – Holmes

Paso 4 Cálculo del Periodo Efectivo en el Máximo Desplazamiento del Sistema

Datos

Peso Edificio con 30% de CV = 12986 KN

Rigidez Compuesta = 16316.36 KN/m

$$T_M = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{m/g}{K_H}} = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{12986/9.81}{16316.36}} = 1.79 \text{ seg}$$

Paso 5 Cálculo del Desplazamiento Máximo del Centro de Rigidez del Sistema de Aislamiento

Datos

Coefficiente Sísmico CVM = 0.96

Periodo Efectivo (TM) = 1.79 seg

Coefficiente de Amortiguamiento (β_M) = 1.47

$$D_M = \frac{\frac{g}{4 \times \pi^2} \times C_{VM} \times T_M}{\beta_M} = \frac{\frac{9.81}{4 \times \pi^2} \times 0.96 \times 1.79}{1.47} = 0.290 \text{ m}$$

Paso 6 Cálculo del Desplazamiento Máximo del Centro de Rigidez del Sistema de Aislamiento con efectos de torsión según norma.

$$D_{TMnorma} = 1.1 \times D_M = 1.1 \times 0.290 = 0.319 \text{ m}$$

Determinación del Desplazamiento de Rodamiento y Verificación del Volcamiento

Global

Las conexiones del aislamiento a la cimentación y superestructura son empernadas. Sin embargo, se verifica el comportamiento de inestabilidad de rodamiento que está asociado con un desplazamiento máximo, que si se sobrepasa el mismo el aislador rodaría.

Datos

Diámetro final del aislador + recubrimiento = 0.650 m

Rigidez horizontal de cada aislador (K_h) = 647.47 KN/m

Carga peso propio más 30% de carga viva = 738.00 KN

Altura total de aisladores (h) = 0.329 m

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{\phi}{1 + K_h \times h / \text{carga}_{pp+30\%cv}} = \frac{0.650}{1 + 647.47 \times 0.329 / 738} = 0.504 \text{ m}$$

El desplazamiento obtenido es mayor al obtenido anteriormente

$$0.504 \text{ m} > 0.319 \quad D_{m\acute{a}x} > D_{TMnorma} \quad \text{CUMPLE}$$

5.6.4 Características Finales del Aislador HDR

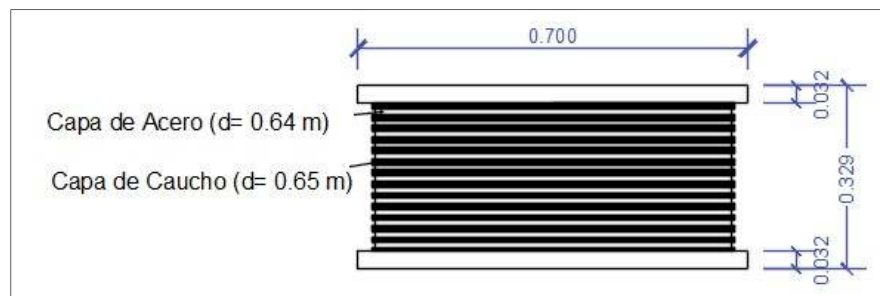
En la siguiente tabla se muestra las características finales del aislador:

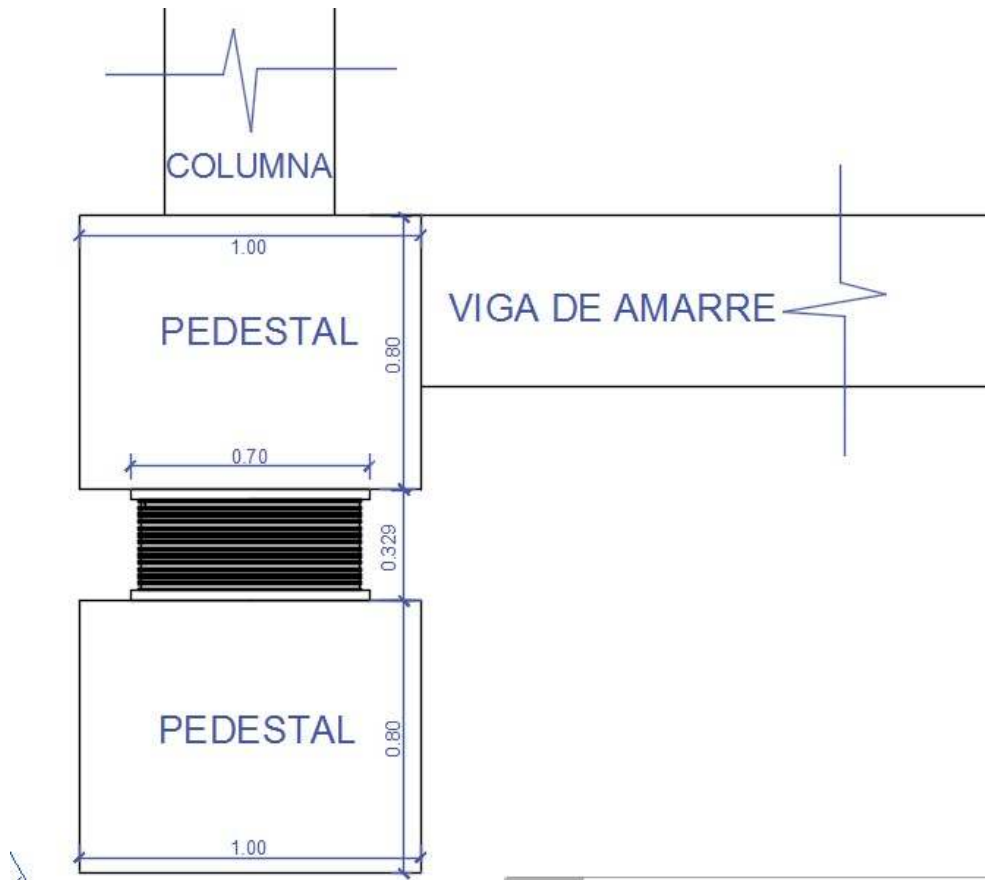
Tabla 36 Características Finales del Aislador HDR

CARACTERISTICAS FINALES DE LOS AISLADORES HDR		
Característica	Unidades	Aislador
Número de Aisladores del Sistema	Und	21.00
Altura	cm	32.90
Diametro del Caucho	cm	65.00
Altura del	cm	20.50
Número de Capas de Caucho	Und	21.00
Espesor de Capa de Caucho	cm	1.00
Diametro del Disco de Acero	cm	64.00
Altura Total del Disco de Acero	cm	6.00
Número de Disco de Acero	Und	20.00
Espesor de Cada Disco de Acero	cm	0.30
Espesor de la Placa de Anclaje más interface	cm	3.20
Longitud de Placas de Anclaje	cm	70.00
Modulo de Rigidez a Cortante	Mpa	0.40
Rigidez Horizontal	KN/m	647
Rigidez	KN/m	721155

Las principales características del aislador a utilizar se presentan en la fig. 43, donde se aprecia la longitud de la placa de anclaje = 70cm, el ancho de cada placa = 3.2cm, altura total del aislador incluyendo las placas de anclaje = 32.9cm, diámetro de los discos de acero = 64cm y diámetro del aislador = 65cm.

Figura N° 43 Esquema y ubicación del aislador





5.7 MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA EN ETABS

5.7.1 Determinación de los Parámetros para la Modelación

Bilineal de los Aisladores HDR

Los datos iniciales para la modelación bilineal son:

Tabla 37 Datos iniciales para la modelación bilineal de los Aisladores HDR

DATOS INICIALES PARA LA MODELACION BILINEAL DE LOS AISLADORES HDR		
CARACTERISTICAS	UNIDADES	Aislador
Rigidez Efectiva Lineal (K_{eff})	KN/m	647.47
Desplazamiento de Diseño del Sistema (DD)	m	0.23
Amortiguamiento (β)		0.20
Altura del Caucho (t_r)	m	0.205
Periodo Real del Sistema (T_{real})	seg	1.96

Valores obtenidos de los cálculos anteriormente realizados.

Luego se procedió a calcular los parámetros principales.

- Desplazamiento de Fluencia

$$D_y = \% \times t_r = 0.2 \times 0.205 = 0.041 \text{ m}$$

- Energía Disipada

$$W_D = 2 \times \pi \times K_{eff} \times D_D^2 \times \beta = 2 \times \pi \times 647.47 \times 0.23^2 \times 0.20 = 42.53 \text{ KN.m}$$

- Fuerzas de Disipación Nula

$$Q = \frac{W_D}{4 \times (D_D - D_y)} = \frac{42.53}{4 \times (0.26 - 0.041)} = 56.97 \text{ KN}$$

- Rigidez Post – Fluencia

$$K_2 = K_{eff} - \frac{Q}{D_D} = 647.47 - \frac{56.97}{0.26} = 399.62 \text{ KN/m}$$

- Rigidez Inicial

$$K_1 = \frac{Q}{D_y} + K_2 = \frac{56.97}{0.041} + 399.62 = 1916.3 \text{ KN/m}$$

- Fuerza de Fluencia

$$F_y = Q + K_2 \times D_y = 56.97 + 399.62 \times 0.041 = 73.05 \text{ KN}$$

- Frecuencia Angular

$$\omega = \frac{2 \times \pi}{T_{real}} = \frac{2 \times \pi}{1.96} = 3.2 \text{ rad/seg}$$

- Amortiguamiento Efectivo

$$C = \frac{W_D}{\pi \times D_D^2 \times \omega} = \frac{42.53}{\pi \times 0.23^2 \times 3.2} = 80.81 \text{ KN} \cdot \frac{\text{seg}}{\text{m}}$$

A continuación se muestra un resumen de los parámetros calculados que serán necesarios para el ingreso de propiedades de los aisladores en el programa SAP – 2000. Cabe resaltar, que los valores hallados anteriormente se pueden ver en la tabla 38 en “Ton” y “m” según sea el caso, debido a que se está trabajando con dichas unidades en el programa estructural mencionado anteriormente.

Tabla 38 Parámetros de los Aisladores HDR para el programa ETABS

PARAMETROS DE MODELACION BILINEAR DE LOS AISLADORES TIPO HDR PARA PROGRAMA SAP 2000		
Aislador	Rigidez Vertical (Ton/m)	73512.20
	Rigidez Efectiva Lineal (Ton/m)	66.00
	Rigidez Inicial (Ton/m)	181.63
	Fuerza de Fluencia (Ton)	7.45
	Relación Rigidez Post- Fluencia /Rigidez Inicial	0.224
	Amortiguamiento Efectivo (Ton.seg/m)	8.24
	Energía Disipada (Ton. m)	4.34

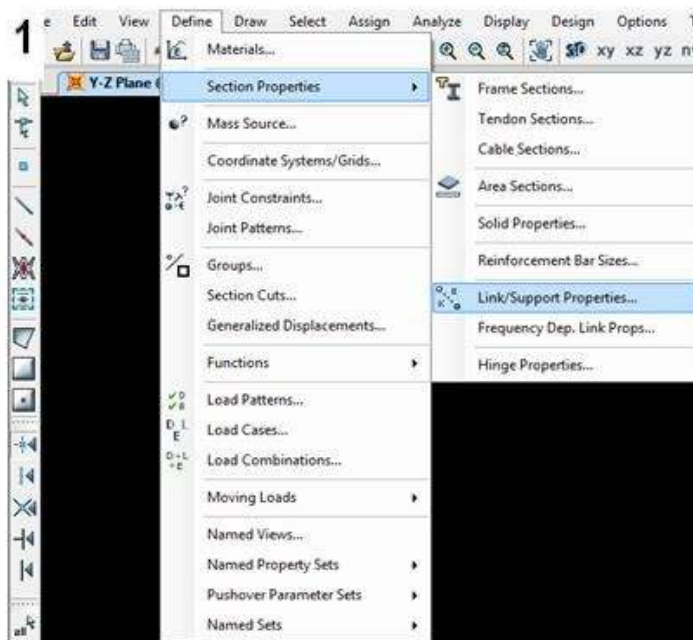
5.7.2 Modelamiento con aislador HDR en ETABS

Para insertar las propiedades al programa de modelación estructural ETABS se sigue la secuencia que se muestra a continuación:

Define → Section Properties → Link/Support Properties

En la pantalla inicial se dirige el cursor a la parte superior donde vemos la palabra: Define, abrimos y nos dirigimos a Sección Properties, por último entramos a Link/Support Properties donde encontraremos la opción de crear un aislador con sus propiedades requeridas (Rubber Isolator).

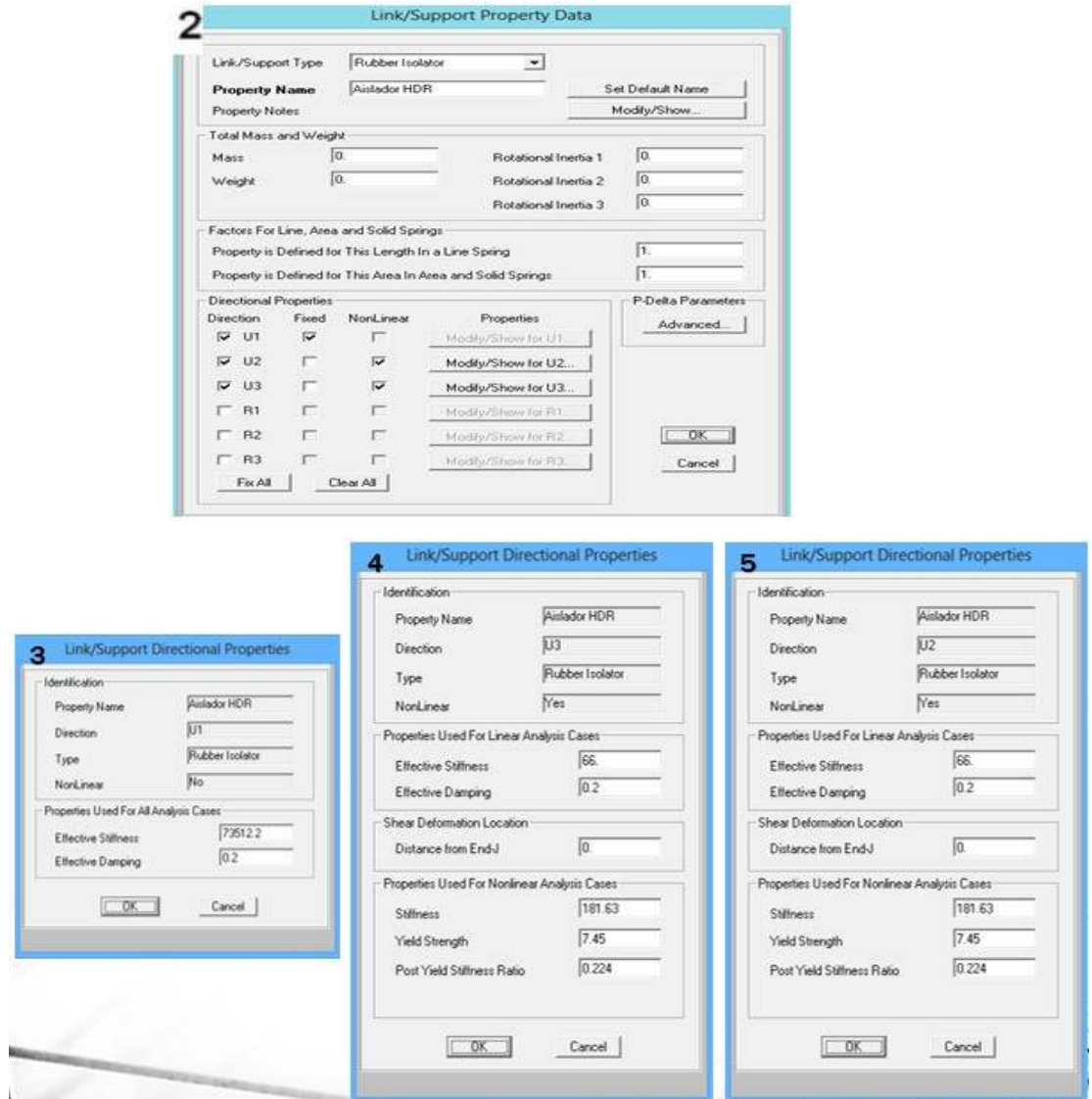
Figura N° 44 Inserción de las propiedades del aislador al Etabs – parte 1



Los parámetros ingresados se extraen de la tabla 38, y se registran según la fig. 45, se debe tomar en cuenta que para la dirección U1 (eje Z) se realizará un análisis lineal (fixed), es decir la relación causa-efecto cumple la ley de Hooke, las fuerzas son directamente proporcionales a los desplazamientos, debido a que corresponde a un resorte (trabajo del caucho con planchas de acero). Sin embargo, para la dirección U2 y U3 se realizará un análisis no lineal, debido al movimiento causado por el sismo donde trabaja la rigidez del aislador, es decir, la relación causa-efecto deja de ser una recta y pueden ser relaciones polinómicas, trigonométricas, exponenciales, hiperbólicas, etc. Por esa razón la fig 45, en los pasos 4 y 5, muestra propiedades de inicio de análisis (Properties used for linear

analysis cases) y luego propiedades de análisis no lineal (Properties used for Nonlinear Analysis Cases).

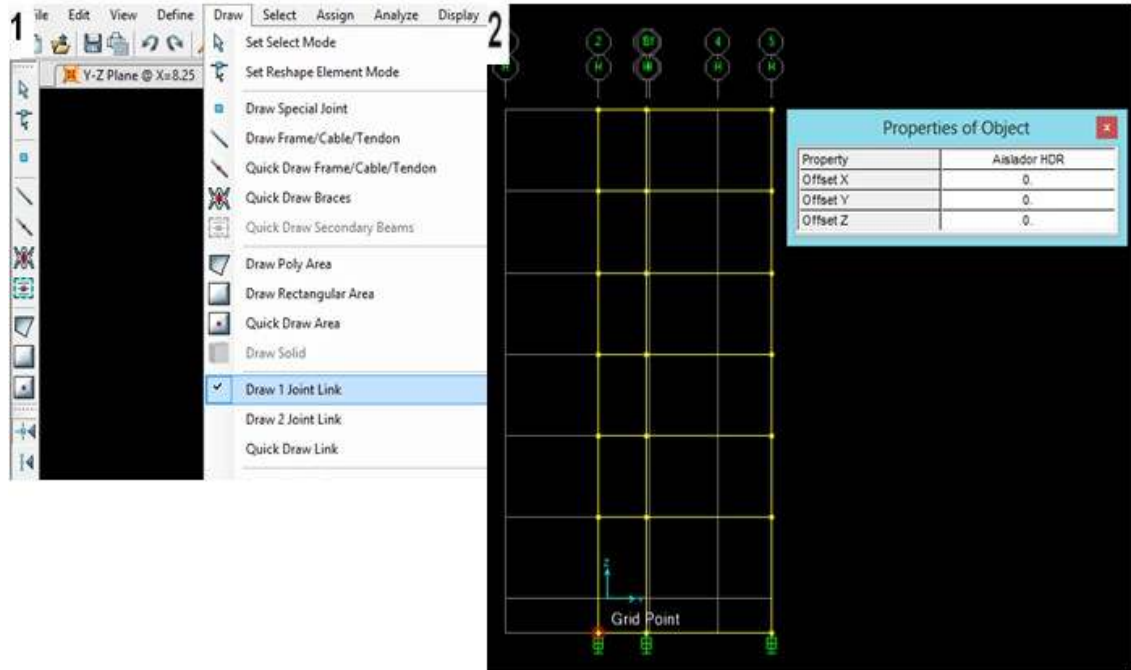
Figura N° 45 Inserción de las propiedades del aislador al Etabs – parte 2



Por último, para colocar los aisladores en la base, se dirige el cursor a la palabra: Draw, donde encontraremos varias opciones entre ellas: Draw 1 Joint Link, se da click y aparecerá un cuadro: Properties of Objects, donde se verá el aislador HDR creado anteriormente, se selecciona y se procede a colocar el aislador en el extremo inferior de cada columna del primer piso. (Ver fig. 46)

Figura N° 46 Colocación del aislador a la estructura

Draw → **Draw 1 Joint Link**



5.8 CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Según el código UBC97 se debe comprobar que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso no exceda el $0.0075 (0.015/R \ R= 2)$ la altura de entrepiso. La altura de entrepiso es igual a 2.80 m (2do piso al 9no piso) y de 4.50 m (1er piso)

Control desplazamientos laterales en la dirección X – X

En la tabla 39 se observa el desplazamiento laterales en la dirección X-X

Tabla 39 Control de desplazamientos laterales X-X – Sistema Aislado

PISO	DESPLAZAMIENTO LATERAL (m)	DERIVAS	< 0.007
Techo	0.06548800	0.0001464	OK
Piso 8	0.05875200	0.0001648	OK
Piso 7	0.05228800	0.0001832	OK
Piso 6	0.04510400	0.0001984	OK
Piso 5	0.03728000	0.000208	OK
Piso 4	0.02902400	0.0002088	OK
Piso 3	0.02070400	0.0001992	OK
Piso 2	0.01275200	0.0001744	OK
Piso 1	0.00580800	0.0000952	OK
Piso 0	0.0046464	0.0000714	OK

Control desplazamientos laterales en la dirección Y-Y

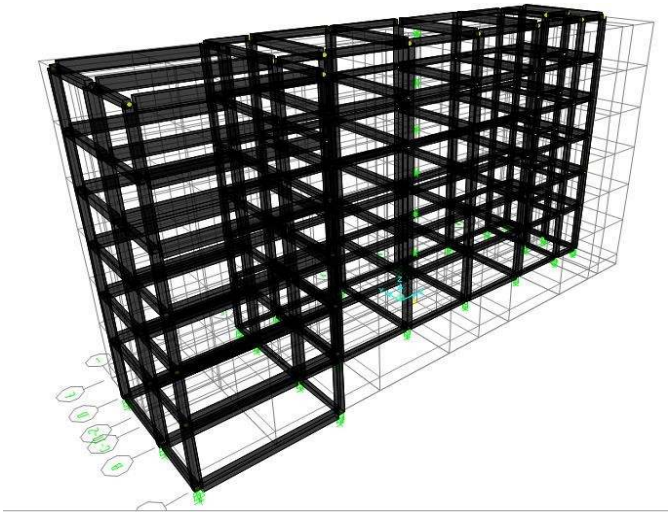
En la tabla 40 se observa el desplazamiento laterales en la dirección Y-Y

Tabla 40 Control de desplazamientos laterales Y-Y – Sistema Aislado

PISO	DESPLAZAMIENTO LATERAL (m)	DERIVAS	< 0.007
Techo	0.0356	0.0000816	OK
Piso 8	0.031392	0.0000856	OK
Piso 7	0.026992	0.0000880	OK
Piso 6	0.022448	0.0000896	OK
Piso 5	0.017856	0.0000880	OK
Piso 4	0.013344	0.0000824	OK
Piso 3	0.00912	0.0000728	OK
Piso 2	0.005376	0.0000584	OK
Piso1	0.002352	0.0000304	OK
Piso 0	0.0018816	0.0000714	OK

En la Fig. N° 46, se muestra una vista en 3D del edificio de oficinas con el Sistema Aislado.

Figura N° 46 - Edificio de Oficinas con el Sistema aislado



VI. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL DISEÑO NORMATIVO SISMO-RESISTENTE Y EL MODELO CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

6.1 COMPARACIÓN ENTRE LOS MODELOS: NORMATIVOS SISMO-RESISTENTES Y CON LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

6.1.1 Deformaciones Laterales por Piso

Las Deformaciones Laterales obtenidas por el programa de modelación estructural ETABS según el modelo Normativo Sismo resistente con un sistema dual y el Modelo con Aisladores de Alto Amortiguamiento HDR son los siguientes:

Tabla 43 Comparación de Deformaciones Laterales por Piso en el Eje X

En Eje X	DESPLAZAMIENTO – MODELO NORMATIVO SIMO-RESISTENTE – SISTEMA DUAL (m)	DESPLAZAMIENTO – MODELO CON AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO HDR (m)
Techo	0.004093	0.065488
Piso 8	0.003672	0.058752
Piso 7	0.003268	0.052288
Piso 6	0.002819	0.045104
Piso 5	0.00233	0.03728
Piso 4	0.001814	0.029024
Piso 3	0.001294	0.020704
Piso 2	0.000797	0.012752
Piso1	0.000363	0.005808

Tabla 44 Comparación de Deformaciones Laterales por Piso en el Eje Y

En Eje Y	DESPLAZAMIENTO – MODELO NORMATIVO SIMORESISTENTE – SISTEMA DUAL (m)	DESPLAZAMIENTO – MODELO CON AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO HDR (m)
Techo	0.002225	0.035600
Piso 8	0.001962	0.031392
Piso 7	0.001687	0.026992
Piso 6	0.001403	0.022448
Piso 5	0.001116	0.017856
Piso 4	0.000834	0.013344
Piso 3	0.000570	0.009120
Piso 2	0.000336	0.005376
Piso1	0.000147	0.002352

En las Tablas 43 y 44 se observa:

La estructura aislada presenta su mayor desplazamiento relativo en la interface de aislación y que en los pisos superiores se observa poco incremento entre ellos, esto se debe a que la absorción de la energía ocurre principalmente en el nivel de aislación con una gran deformación de la interface, logrando un mejor comportamiento de la estructura

La estructura con el sistema dual no presenta desplazamiento en la base, pero si mayores desplazamientos relativos y menor desplazamiento máximo con relación al sistema aislado. Esto sucede, debido a que la base de la edificación es empotrada, su movimiento será restringido.

6.1.2 Periodos y Frecuencias

Los Periodos y Frecuencias obtenidos por el programa de modelación estructural ETABS según el modelo Normativo Sismo resistente con un sistema dual y el Modelo con Aisladores de Alto Amortiguamiento HDR son los siguientes:

Tabla 45 Comparación de Periodos y Frecuencias

MODE	MODELO NORMATIVO SISMORESISTENTE – SISTEMA DUAL		MODELO CON AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO HDR	
	PERIODO (Seg)	FRECUENCIA (Hz)	PERIODO (Seg)	FRECUENCIA (Hz)
1	0.42119	2.37424	2.247077	0.44502
2	0.40885	2.44588	2.224643	0.44951
3	0.27740	3.60489	1.856068	0.53877
4	0.10509	9.51563	0.436986	2.2884
5	0.08713	11.47701	0.423582	2.3608
6	0.06369	15.70216	0.371539	2.6915
7	0.05043	19.82883	0.200416	4.9896
8	0.03723	26.86143	0.199773	5.0057

En la tabla 45 se puede observar que el periodo es mayor en el modelo con aisladores que en el Sistema Dual, se debe a que los aisladores actúan amortiguando el movimiento, por lo que la estructura demorará más tiempo en volver a su estado inicial. Esto ocurre porque los aisladores absorben parte de las fuerzas sísmicas, disminuyendo la aceleración de la estructura.

6.1.3 Fuerzas Internas Máximas

Mientras que entre las Fuerzas Internas Máximas (Fuerza Axial, Fuerza Cortante y Momento Flector) de los 2 modelos son:

Tabla 46 Comparación de Fuerzas Internas Máximas

MODELO NORMATIVO SISMORESISTENTE – SISTEMA DUAL					
FUERZA AXIAL – MAXIMA (Ton)		FUERZA CORTANTE MAXIMA (Ton)		MOMENTO FLECTOR MAXIMO (Ton.m)	
Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
10.07	16.01	4.1	3.71	8.79	5.40
Columna B1 Piso 1	Columna B3	Columna B3 Piso 6	Columna B1 Piso 6	Viga B1-B3 Piso 5	Columna B1 Piso 6
MODELO CON AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO HDR					
Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
5.20	8.11	2.93	2.02	6.32	3.80
Columna B1	Columna B7	Columna B3	Columna D3	Viga B1-B3 Piso 2	Columna B3

En la tabla 46 se muestra la comparación de las fuerzas internas (Axial, cortante, Momento Flector) halladas en las columnas y vigas, dichas fuerzas son menores en el Sistema Aislado. Es lógico pensar que en el Sistema Aislado disminuiría las fuerzas internas máximas, esto debido al aumento del período fundamental.

6.1.4 Control de Desplazamientos Laterales de la Estructura

Por último con las deformaciones laterales ya mencionadas ítems atrás, se obtienen las derivas y estas son:

Tabla 47 Comparación de Control de Desplazamiento Laterales en el Eje X

EN X	DERIVAS – MODELO NORMATIVO SISMORESISTENTE – SISTEMA DUAL (m)	DERIVAS – MODELO CON AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO HDR (m)
Piso 9	0.00358	0.0007
Piso 8	0.00362	0.0013
Piso 7	0.00348	0.0018
Piso 6	0.00313	0.0023
Piso 5	0.00245	0.0030
Piso 4	0.00117	0.0041
Piso 3	0.00095	0.0054
Piso 2	0.00074	0.0060
Piso 1	0.00052	0.0066

Tabla 48 Comparación de Control de Desplazamiento Laterales en el Eje Y

EN Y	DERIVAS – MODELO NORMATIVO SISMORESISTENTE – SISTEMA DUAL (m)	DERIVAS – MODELO CON AISLADORES DE ALTO AMORTIGUAMIENTO HDR (m)
Piso 9	0.00270	0.000875
Piso 8	0.00285	0.001406
Piso 7	0.00287	0.001906
Piso 6	0.00271	0.002469
Piso 5	0.00226	0.003125
Piso 4	0.00132	0.004452
Piso 3	0.00084	0.004986
Piso 2	0.00046	0.005682
Piso 1	0.00012	0.006124

Las tablas 47 y 48 muestran que las derivas del modelo aislado disminuyen en valor al subir de piso en piso. Mientras que en el otro modelo es diferente. Esto ocurre debido a las deformaciones laterales obtenidas las cuales no cumplen con un mismo patrón, siendo esto explicado anteriormente.

6.2 COMPARACIÓN DE COSTOS GLOBALES DEL DISEÑO NORMATIVO SISMO-RESISTENTE DE UN SISTEMA DUAL FRENTE AL MODELO CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

En términos de costos durante la ejecución del proyecto no se estima una reducción en el modelo con aisladores HDR, al contrario, se incrementa el costo debido a la inserción de ellos, a pesar de reducir las partidas de concreto, encofrado y acero, al extraer las placas del sistema dual.

Para estimar el incremento del diseño con aisladores respecto al diseño normativo, se sigue los siguientes pasos:

Paso 1 Cálculo del presupuesto de placas del sistema dual

Se procedió a obtener el costo del concreto en placas, se tiene un volumen de concreto de 110.05 m³ y un costo total de concreto de S/. 32,586.79. (Ver Tabla 49)

Tabla 49 Presupuesto de Concreto – Placas

PRESUPUESTO DE CONCRETO - PLACAS					
L(m)	H(m)	e(m)	Vol (m3)	PU (S/.)	Sub-Total (S/.)
19.59	20.20	0.20	79.14	296.11	32,586.79
7.65	20.20	0.20	30.91		

Luego se determino el costo del acero en placas, considerando un ratio de 140.00 kg de acero por cada 1 m3 de concreto en las placas, se obtuvo un costo total de acero de S/. 52,229.54. (Ver tabla 50)

Tabla 50 Presupuesto de Acero – Placas

PRESUPUESTO DE ACERO - PLACAS				
Vol concreto	Ratio (kg/m3)	Peso (Kg)	PU (S/.)	Sub-Total (S/.)
110.05	140.00	15406.94	3.39	52,229.54

Por último, se calculó el costo del encofrado y desencofrado, se tiene un área de 1,100.50 m2 y un costo total de encofrado y desencofrado de S/. 35,678.08. (Ver tabla 51)

Tabla 51 Presupuesto de Encofrado y Desencofrado – Placas

PRESUPUESTO DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - PLACAS				
L (m)	H (m)	Area (m2)	PU (S/.)	Sub-Total (S/.)
39.18	20.20	791.44	32.42	35,678.08
15.30	20.20	309.06		

El costo total del presupuesto de placas es de S/. 120,494.41

Paso 2 Cálculo del presupuesto de implementación del sistema aislado

Para el cálculo de este presupuesto se tendrá en cuenta los siguientes partidas:

- **Vigas de Amarre**

Para obtener el presupuesto de vigas de amarre se consideró un precio unitario de S/. 292.17 para el concreto, S/. 3.39 para el acero y S/. 38.28 para el encofrado y desencofrado. Además de un ratio de 134.00 kg de acero por cada 1 m³ de concreto en vigas de amarre. (Ver tabla 52)

Tabla 52 Presupuesto de Vigas de Amarre

PRESUPUESTO DE VIGAS DE AMARRE						
CONCRETO						
Cantidad	L(m)	H(m)	B(m)	Vol (m3)	PU (S/.)	Sub-Total (S/.)
1.00	7.75	0.60	0.30	1.40	292.17	4,679.71
2.00	7.80	0.60	0.30	2.81		
3.00	2.18	0.35	0.25	0.57		
6.00	5.10	0.40	0.30	3.67		
2.00	4.38	0.35	0.25	0.77		
1.00	3.55	0.35	0.25	0.31		
1.00	3.60	0.35	0.25	0.32		
2.00	4.70	0.40	0.30	1.13		
1.00	1.80	0.35	0.25	0.16		
4.00	6.70	0.50	0.25	3.35		
2.00	3.80	0.35	0.25	0.67		
2.00	2.60	0.35	0.25	0.46		
1.00	2.40	0.35	0.25	0.21		
1.00	2.45	0.35	0.25	0.21		
ACERO						
Vol concreto		Ratio (kg/m3)		Peso	PU (S/.)	Sub-Total (S/.)
				(Kg)		
16.02		134.00		2154.49	3.39	7,275.91
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO						
Cantidad	L (m)	H(m)	Area (m2)		PU (S/.)	Sub-Total (S/.)

2.00	7.75	0.60	9.30		
1.00	7.75	0.30	2.33		
4.00	7.80	0.60	18.72		
2.00	7.80	0.30	4.68		
6.00	2.18	0.35	4.57		
3.00	2.18	0.25	1.63		
12.00	5.10	0.40	24.48		
6.00	5.10	0.30	9.18		
4.00	4.38	0.35	6.13		
2.00	4.38	0.25	2.19		
2.00	3.55	0.35	2.49		
1.00	3.55	0.25	0.89		
2.00	3.60	0.35	2.52		
1.00	3.60	0.25	0.90		
4.00	4.70	0.40	7.52		
2.00	4.70	0.30	2.82		
2.00	1.80	0.35	1.26		
1.00	1.80	0.25	0.45	38.28	5,797.46
8.00	6.70	0.50	26.80		
4.00	6.70	0.25	6.70		
4.00	3.80	0.35	5.32		
2.00	3.80	0.25	1.90		
4.00	2.60	0.35	3.64		
2.00	2.60	0.25	1.30		
2.00	2.40	0.35	1.68		
1.00	2.40	0.25	0.60		
1.00	2.45	0.35	0.86		
1.00	2.45	0.25	0.61		

El costo total de las vigas de amarre es de S/. 17,753.08

- **Pedestales**

Para obtener el presupuesto de los pedestales se consideró un precio unitario de S/. 287.80 para el concreto, S/. 3.39 para el acero y S/. 30.69 para el encofrado y desencofrado. Además de un ratio de 40.00 kg de acero por cada 1 m³ de concreto en vigas de amarre. (Ver tabla 53)

Tabla 53 Presupuesto de Pedestales

PRESUPUESTO PEDESTALES						
CONCRETO						
Cantidad	L(m)	H(m)	B(m)	Vol (m3)	PU	Sub-Total (S/.)
42.00	1.00	1.00	0.80	33.60	287.80	9,670.08
ACERO						
Vol concreto	Ratio (kg/m3)		Peso (Kg)	PU	Sub-Total (S/.)	
33.60	40.00		1344.00	3.39	4,556.16	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO						
Cantidad	L (m)	H(m)	Area (m2)	PU	Sub-Total (S/.)	
168	1.00	0.8	134.40	30.69	4,124.74	

El costo total de los pedestales es de S/. 18,350.98

- **Losa Aligerada a Nivel Aislador**

Para obtener el presupuesto de la losa aligerada de 20 cm, se consideró un precio unitario de S/. 276.36 para el concreto, S/. 3.39 para el acero, S/. 2.17 para el ladrillo 15 cm y S/. 32.49 para el encofrado y desencofrado. Además de ratios de 0.10 m3 de concreto por cada 1 m2 de encofrado y desencofrado; 7.00 kg de acero por cada 1 m2 de encofrado y desencofrado; 8.50 und de ladrillos de techo por cada 1 m2 de encofrado y desencofrado. (Ver tabla 54)

Tabla 54 Presupuesto de Losa Aligerada a Nivel Aislador

PRESUPUESTO DE LOSA ALIGERADA A NIVEL AISLADOR					
LOSA ALIGERADA (20 CM)					
CONCRETO					
AREA	Ratio (m3/m2)	Peso (m3)	PU	Sub-Total (S/.)	
218.53	0.10	21.85	276.36	6,039.30	
ACERO					
AREA	Ratio (kg/m2)	Peso (Kg)	PU	Sub-Total (S/.)	
218.53	7.00	1529.71	3.39	5,185.72	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO					
Cantidad	L (m)	H(m)	Area (m2)	PU	Sub-Total (S/.)
1.00	1.00	1.00	218.53	32.49	7100.04
LADRILLO PARA TECHO 0.30 X 0.30 X 0.15 m					
AREA	Ratio (und/m2)	Und	PU	Sub-Total (S/.)	
218.53	8.50	1857.51	2.17	4030.79	

El costo total de las losas aligeradas del nivel aislador es de S/. 22,355.85

- Columnas Adicionales en el Sistema Aislado.

Para obtener el presupuesto de las columnas adicionales en el sistema aislado con relación al sistema dual, se deberá determinar el adicional de columnas, restando las áreas de las columnas del sistema aislado menos la del sistema dual multiplicándolo por la longitud total. (Ver tabla 55) Además se consideró un precio unitario de S/. 298.58 para el concreto, S/. 3.39 para el acero y S/. 37.03 para el encofrado y desencofrado. Además de ratios de 200.00 kg de acero por cada 1 m³ de concreto y 9.00 m² de encofrado y desencofrado por cada 1 m³ de concreto. (Ver tabla 56).

Tabla 55 Areas De Columnas Sistema Aislado - Columnas Del Sistema Con Placas

Sistema Aislado					Diferencia (m2)
CANTIDAD	B (m)	H (m)	Area (m2)	Total	
10	0.5	0.4	2.00	3.32	1.32
11	0.4	0.3	1.32		
Sistema Dual					
CANTIDAD	B (m)	H (m)	Area (m2)	Total	
5	0.4	0.3	0.6	2.00	
7	0.5	0.4	1.4		

Tabla 56 Presupuesto de Columnas Adicionales en el Sistema Aislado

PRESUPUESTO DE COLUMNAS ADICIONALES EN EL SISTEMA AISLADO					
CONCRETO					
Cantidad	L(m)	Area (m2)	Vol (m3)	PU	Sub-Total (S/.)
1.00	20.20	1.32	26.66	298.58	7,961.34
ACERO					
Vol concreto	Ratio (kg/m3)	Peso (Kg)	PU	Sub-Total (S/.)	
26.66	200.00	5332.80	3.39	18,078.19	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO					
Vol concreto	Ratio (m2/m3)	Area (m2)	PU	Sub-Total (S/.)	
26.66	9.00	239.98	37.03	8,886.31	

El costo total de las columnas adicionales en el Sistema Aislado es de S/. 34,925.84

- Vigas Adicionales en el Sistema Aislado

Para obtener el presupuesto de las Vigas adicionales en el sistema aislado, se consideró un precio unitario de S/. 292.17 para el concreto, S/. 3.39 para el acero y S/. 38.28 para el encofrado y desencofrado. Además de ratios de 134.00 kg de acero por cada 1 m3 de concreto. (Ver tabla 57)

Tabla 57 Presupuesto de Vigas Adicionales en el Sistema Aislado

PRESUPUESTO DE VIGAS ADICIONALES EN EL SISTEMA AISLADO						
CONCRETO						
Cantidad	L(m)	H(m)	B(m)	Vol (m3)	PU	Sub-Total
12.00	2.18	0.35	0.25	2.28	292.17	5,844.35
6.00	3.80	0.35	0.25	2.00		
6.00	4.38	0.45	0.30	3.54		
6.00	-1.08	0.35	0.25	-0.57		
6.00	2.40	0.35	0.25	1.26		
6.00	4.70	0.45	0.30	3.81		
6.00	-1.70	0.35	0.25	-0.89		
6.00	7.80	0.65	0.35	10.65		
6.00	-3.95	0.35	0.25	-2.07		
ACERO						
Vol concreto	Ratio (kg/m3)	Peso (Kg)	PU	Sub-Total (S/.)		
20.00	134.00	2,684.44	3.39	9,086.68		
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO						
Cantidad	L (m)	H(m)	Area (m2)	PU	Sub-Total (S/.)	
24.00	2.18	0.35	18.27			
12.00	2.18	0.25	6.53			
12.00	3.80	0.35	15.96			

6.00	3.80	0.25	5.70		
12.00	4.38	0.45	23.63		
6.00	4.38	0.30	7.88		
12.00	-1.08	0.35	-4.54		
6.00	-1.08	0.25	-1.62		
12.00	2.40	0.35	10.08		
6.00	2.40	0.25	3.60	38.28	6,290.71
12.00	4.70	0.45	25.38		
6.00	4.70	0.30	8.46		
12.00	-1.70	0.35	-7.14		
6.00	-1.70	0.25	-2.55		
12.00	7.80	0.65	60.84		
6.00	7.80	0.35	16.38		
12.00	-3.95	0.35	-16.59		
6.00	-3.95	0.25	-5.93		

El costo total de las vigas adicionales en el Sistema Aislado es de S/. 21,221.74

El costo de los aisladores se estima de S/. 25,000.00 nuevos soles, considerando 21 aisladores del mismo tipo como se ha realizado el proyecto, se obtiene el valor total de los aisladores de: S/. 525,000.00 nuevos soles.

El costo total del sistema aislado es de S/. 639,607.49 nuevos soles.

Se estima además, el costo de la edificación por m² para poder hallar el incremento total de la edificación en cifras reales. En la siguiente tabla 58 se muestra cuanto es el porcentaje de dicho incremento.

Tabla 58 Incremento del costo del edificio con aisladores

COSTO APROXIMADO DEL EDIFICIO	
Costo del edificio por m2 (S/.)	3140
área del edificio (m2)	283.81
número de pisos (und)	6
Costo Total de la edificación (S/.)	S/. 5'346,980.40
Costo de la edificación con aisladores (S/.)	S/. 5'866,093.45
Diferencia	S/. 519,113.05
Diferencia %	9.71%

Por otro lado, también se deben notar los beneficios del uso de aisladores. Sin embargo, esta tesis no examina ni escudriña el análisis de costos a largo plazo, sólo se realiza una estimación de costos globales, especialmente por lo difícil que es cuantificar muchos de ellos, se debe de indicar que durante la vida útil del edificio ocurrirán sismos frecuentes y quizás sismos importantes, los cuales producirían daños considerables a una estructura convencional. Sin embargo, ninguno de estos afectaría de manera significativa a la estructura aislada.

En términos de costos post-sismo del proyecto se estima una reducción en el modelo con aisladores HDR, debido a que los costos de reparación de dicha edificio aislado serán menores que aquel con sistema dual.

Para estimar la reducción de la edificación post-sismo con aisladores, respecto al diseño normativo, se sigue los siguientes pasos:

Paso 1 Cálculo de los estados y factores de daño

Considerando que para el edificio aislado no se tiene daño, y para el edificio con sistema dual se presenta un daño: Severo, los factores de daño a utilizar se encuentran en la table 59. (Definición de daño de acuerdo al EERI)

Tabla 59 Estados de daño y factores de daño de acuerdo al EERI sugeridos por Colegio de Ingenieros del Perú

Estado de Daño	Factor de Daño
Sin daño	0%
Leve	0-5%
Moderado	5-25%
Severo	25-50%
Total	50-100%
Colapso	>100%

Fuente: Aspectos a considerar en el Peritaje de estructuras afectadas por sismo (Colegio de Ingenieros del Perú)

Paso 2 Cálculo del costo de reparación Post-sismo

Teniendo los factores de daño para los dos modelos, el costo de reparación se muestra en la tabla 60.

Tabla 60 Costo de reparación Post-Sismo

Reparación Post-Sismo	
Sin aisladores	Con Aisladores
S/. 3'475,537.26	S/. 0.00

Paso 3 Cálculo del costo total de las edificaciones Post-sismo

Sumando los resultados obtenidos en la tabla 58 y en la tabla 60, se obtienen los costos de las edificaciones. En la tabla 61 se muestran los resultados.

Tabla 61 Costos Total de la edificación Post-Sismo

Costo post-sismo sin aisladores	S/. 8'020,470.60
Costo post-sismo con aisladores	S/. 5'866,093.45
Diferencia -	36.73 %

Por lo tanto, el modelo con aisladores HDR es aproximadamente 36.73 % más económico que la edificación con el sistema dual.

VII. DISCUSIÓN

Los indicadores que se tuvieron en cuenta durante los análisis son similares a los trabajos previamente realizados, lo cual nos acerca a las conclusiones obtenidas por los otros autores. Estos obtuvieron reducciones significativas en los elementos estructurales en cuanto a sus características sismo resistentes.

La diferencia con los trabajos realizados, varía en el uso y la importancia de la estructura. El trabajo realizado aplica por primera vez un análisis sismorresistente a un edificio multifamiliar implementando aisladores sísmicos. Las diferencias más resaltantes son observadas al momento de modelar la configuración estructural, la cual de acuerdo al uso es notablemente diferente. Es decir un edificio de oficinas u hospitales es, en dimensiones, notablemente diferente a un edificio multifamiliar.

A diferencia de Lema (2013) en su trabajo “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS MODELAMIENTO EN EL ETABS”, él se enfoca en la aplicación de aisladores en un hospital, obteniendo resultados enormemente ventajosos en su estructura. Sumándole que él realizó una triple comparación con dos tipos de aisladores distintos. Lo que se busca con este proyecto es la aplicación a estructuras más comunes pero que también tienen como objetivo cuidar la integridad humana ante eventos sísmicos.

El trabajo con el que mayor similitud hemos encontrado es con Leyton (2017) en su propuesta de “IMPLEMENTACIÓN DE AISLADORES SÍSMICOS EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN LIMA, PERÚ”, el cuál orienta la aplicación de los aisladores de base a edificios de viviendas multifamiliares. Obteniendo ventajas en lo que refiere a la integridad de la estructura. Su conclusión se ve orientada a los sismos ocurridos recientemente ocurridos en el Perú. Lo cuál nos da una idea de lo que debemos buscar como investigación.

VIII. CONCLUSIONES

Luego de obtener los resultados de las características sismo-resistentes de ambos modelos, la estructura con sistema convencional dual y la estructura aporticada con la aplicación de los aisladores sísmicos (HDR), obtenemos las siguientes conclusiones:

1. Los elementos estructurales se modelaron previo predimensionamiento cumpliendo con las demandas de esfuerzos y análisis estructural. Así como los materiales y tipos de elementos que permitieron cumplir la demanda estructural de la edificación escogida.
2. La estructura en su configuración actual, fue sometida a los análisis sísmicos estático y dinámico, obteniendo desplazamientos dentro de lo establecido por la norma. Sin embargo de acuerdo a la intensidad de un evento sísmico real, la estructura sufre daños internos por los esfuerzos.
3. Los elementos estructurales en la edificación con HDR se predimensionaron con secciones disminuidas pero con la condición de aguantar las cargas verticales de acuerdo a un predimensionamiento y a las cargas a usarse. Los muros de corte no se consideraron debido a que los aisladores absorben los esfuerzos horizontales.
4. Al realizarse los análisis sísmicos estático y dinámico, obtenemos resultados bastante más favorable. Observamos un desplazamiento ligeramente más marcado, sin embargo una serie de derivas más constantes. La aplicación de aisladores sísmicos del tipo HDR, nos permite obtener mayores periodos de la estructura al hacer el análisis dinámico. Con lo que se obtiene una considerable reducción de las aceleraciones y consecuentemente la acción de las fuerza de sismo será menor. Esto nos permite reducir elementos estructurales al momento de considerar los criterios de diseño.
5. Los esfuerzos axiales disminuyen en un 40% en la estructura con aisladores sísmicos. Los resultados de las fuerzas cortantes obtenidas disminuyeron en un 30% aproximadamente en sistema con aisladores en comparación al sistema convencional dual. Observamos que los resultados del momento flector en los elementos, se redujeron en un 25% en la estructura aislada.

6. Al realizar la comparación de costos entre ambos modelos y teniendo en cuenta la reducción de dimensiones de los elementos estructurales en el sistema aislado, más la implementación del costo de los aisladores sísmicos, la variación del costo ese en promedio un 10% superior en la estructura aislada. Esto sin considerar el costo de los daños después de un evento sísmico. La reducción de costos y la ventaja económica y estructural se podrá apreciar después de un evento sísmico real, dónde los costos de reparación se verán disminuidos en un 35% antes un evento sísmico severo.

IX. RECOMENDACIONES

1. Se debe tener cuidado en los detalles de los anclajes entre el aislamiento, la superestructura y la cimentación. Además los elementos y conexiones flexibles deben estar diseñados para desarrollar desplazamientos según el máximo sismo esperado. Si esto no ocurriese, podría ocasionar el colapso de la estructura.
2. Se debe realizar un análisis de factibilidad económica al construir un edificio aislado. Considerando investigaciones geológicas, riesgo sísmico, entre otros.
3. Se debe ser minucioso al insertar los parámetros de los aisladores. Además de verificar la colocación de estos en la base de cada columna en el programa ETABS.
4. No se debe olvidar colocar las vigas de amarre en el programa de modelación estructural ETABS, en caso de no hacerlo, el aislador no se comportaría como debe.
5. Se debe tener en cuenta que los aisladores tienen garantizados una vida útil de 50 años como mínimo. Luego, estos pueden ser removidos y cambiados sin interrumpir el funcionamiento del edificio.
6. En esta Tesis, hemos presentado solo un primer paso de lo que se viene dando como avance en el tema estructural en el Perú, se sugiere a futuras generaciones que sigan con la investigación del tema de aisladores, considerando por ejemplo, edificio con sótanos, otros tipos de aisladores, combinación de los tipos de aisladores, etc.
7. Se sugiere realizar, para futuros ingenieros, un análisis cuantitativo de los costos indirectos como las pólizas de seguro y el costo de cese de operación de una estructura importante. Además de los costos de reparación que se generan post-sismo.
8. Existen sistemas de control mucho más sofisticados en el mundo, el sistema de control utilizando aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento es solo el primer paso en el desarrollo de este amplio tema.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUIAR FALCONÍ, Roberto y otros 2008 Aisladores de base elastoméricos y FPS. Valle de los Chillos, Ecuador: Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército.

ALBAMAR GRUPO INMOBILIARIO 2014 Presupuesto para la construcción del Edificio Residencial Foresta – Documento de Uso Interno (Albamar, Lima)

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS 2008 Minimum Design Loads for Building and Other Structures (ASCE/SEI Chapter 17). Estados Unidos.

ARRAIGADA, Jaime 2005 Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional) (Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile)

ASTM INTERNATIONAL 1994 ASTM D2231-94 Standard Practice for Rubber Properties in Force Vibration (ASTM, Online)

BOZORGNIA, Yousef y Vitelmo BERTERO 2004 Earthquake Engineering: From engineering seismology to Performance - Based engineering. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group. Consulta: 16 de marzo de 2015. <
https://books.google.com.pe/books?id=br7MuVFKesC&dq=UANG+Y+BERTERO+Ei+%3D+Ek&source=gbs_navlinks>

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO - CÁMARA CHILENA DE LLA CONSTRUCCIÓN 2011 Protección Sísmica de Estructuras. Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía.

CHENG, Franklin Y., Hongping JIANG y Kangyu LOU 2008 Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Response control. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. 1997 FEMA -451. NEHRP Recommended Provisions: Design Examples.

HARMSSEN, Teodoro 2012 Diseño de Estructuras de Concreto Armado I (PUCP, Lima)

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ S/F Acelerogramas de sismos de Huaraz (1970), Lima (1974) y Pisco (2007) (IGP, Lima, consulta en <http://www.igp.gob.pe/>)

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE CHILE. 2003 NCH2745. Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica - requisitos

KELLY, Trevor E. 2001 *Base Isolation of Structures – Design Guidelines* (Holmes Consulting Group Ltd: Wellington, Nueva Zelanda)

KORSWAGEN, Paul; ARIAS, Julio; HUARINGA, Pamela. 2012 Análisis y Diseño de Estructuras con Aisladores en el Perú (PUCP, Lima)

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - I 2016 Decreto Supremo que Modifica la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismoresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N°011-2006-Vivienda, Modificada con Decreto Supremo. (El Peruano, Lima)

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - II 2006 Norma E.020 Cargas en Reglamento Nacional de Edificaciones (Sencico, Lima)

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - III 2009 Norma E.060 Concreto Armado (Sencico, Lima)

MUÑOZ, ALEJANDRO S/F Ingeniería Sismoresistente (Pontificia Universidad Católica del Perú: Lima)

NAEIM, Fazard; KELLY, James M. 1999 *Design of Seismic Isolated Structures – From Theory to Practice* (John Wiley & Sons, Inc, EEUU)

NOVOA, Pedro; QUISPE, Edna 2009 Caral. La Civilización más antigua de las Américas: 15 años develando su historia (Ministerio de Cultura del Perú: Lima)

RODRIGUEZ, Gonzalo 2015 Caral. Hacia la primera civilización de América (La República: Lima)

SHADY, Ruth; CÁCEDA, Daniel; CRISPÍN, Aldemar; MACHACUAY, Marco;

SIRVE 2014 Especificaciones Técnicas de Aisladores en Sistemade Aislamiento – Documento de Uso Interno (Sirve, Santiago de Chile)

TINMAN, Marcos 2013 Plano de Edificio Multifamiliar Basadre: Planos de Arquitectura y Estructuras (Prisma Ingenieros, Lima)

OTTAZZI, Gianfranco 2012 Apuntes del Curso de Concreto Armado I (PUCP, Lima)

ANEXOS