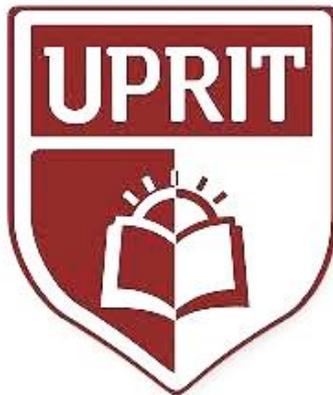


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS EN LOS  
FACTORES DE DESEMPEÑO SISMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE  
CONCRETO ARMADO EN TRUJILLO, 2019**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**BACH. BRANDON BRIAN ALVARADO HUANGAL**

**ASESOR:**

**ING. Javier Galarreta Malaver**

**TRUJILLO - PERU**

**2020**

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Nombres y Apellidos**, denominada:

**INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS EN LOS FACTORES DE DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN TRUJILLO, 2019**

---

Ing. Nombres y Apellidos

**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Nombres y Apellidos

**JURADO**

---

Ing. Nombres y Apellidos

**JURADO**

---

Ing. Nombres y Apellidos

**ASESOR**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo, de una manera muy especial a mi Madre Esther Huangal Bustamante, por su apoyo constante en el logro de mis metas, y mi abuela María Inocenta que con su apoyo incondicional y su comprensión pude lograr mis metas y a todos mis Hermanos que este logro les servirá como ejemplo a seguir, y reconocimiento muy especial a mis Padrinos Laura Huangal y Víctor Castañeda que me apoyaron para seguir adelante en todo momento.

*“En la vida todo es posible siempre y cuando tú quieras hacerlo, Nunca es tarde para empezar”*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero Agradecer de una manera muy especial a mi asesor Javier Galarreta Malaver, por su apoyo constante, consejos y correcciones en este proyecto, y a todos los docentes que con su apoyo, enseñanzas y experiencia en los temas de cada curso de la carrera de ing. Civil, y reconocimiento muy especial a la Universidad Privada de Trujillo por darme la oportunidad de optar por el título de ing. civil.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Realidad problemática.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Formulación del problema.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Hipótesis.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Justificación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5. Limitaciones.....</b>	<b>13</b>
<b>1.6. Objetivos.....</b>	<b>13</b>
<b>1.6.1. Objetivo general.....</b>	<b>13</b>
<b>1.6.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Bases teóricas.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.1. Aislación basal y aislación sísmica.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2. Comparación entre Sistema convencional y Sistema aislado.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.3. Componentes y tipos.....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.4. Edificación esencial de concreto armado.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2. Definición de términos básicos.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1. Objeto de estudio.....</b>	<b>29</b>

<b>3.2. Métodos y técnicas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1. Diseño de investigación.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.2. Variables.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3. Operacionalización de variables.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.5. Método y técnica de análisis de datos.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3. Procedimiento Experimental.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.1. Descripción de la Edificación.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.2. Parámetros sísmicos (NTP E030).....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.3. Modelamiento estructural de edificio no aislado.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.4. Diseño de aisladores sísmicos.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.5. Modelamiento estructural de edificio aislado.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.6. Análisis Dinámico de la edificación.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.7. Cálculos y resultados de la edificación.....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1. Resultados.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.1. Resultados de desempeño sísmico.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.2. Prueba de normalidad.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.3. Prueba de hipótesis.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.4. Prueba Post hoc.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2. Discusión.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>48</b>

<b>5.1. Conclusiones.....</b>	<b>48</b>
<b>5.2. Recomendaciones.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO N°01: Guía de Observación.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO N°02: Matriz de consistencia.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO N°03: Registros sísmicos empleados en el análisis. ....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO N°04: Diseño de aislador HDRB.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO N°05: Diseño de aislador LRB.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO N°06: Diseño de aislador FPS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO N°07: Modelamiento en ETABS. ....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO N°08: Planos en planta de la edificación en estudio. ....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO N°09: Plano secciones de elevaciones de la edificación en estudio.....</b>	<b>78</b>

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en Trujillo, en la Universidad Privada de Trujillo, se tuvo como objetivo principal determinar la influencia de los tipos de aisladores sísmicos (HDRB, LRB y FPS) en los factores de desempeño sísmico de una edificación de concreto armado, mediante un análisis dinámico tiempo historia para varios registros sísmicos. Para la realización de esta investigación se utilizó un diseño experimental, pre experimental, el muestreo fue por no probabilístico por expertos. La recolección de datos se realizó con la técnica de observación, empleando una guía de observación como instrumento, para el análisis de datos se empleó la inferencia estadística. El problema principal que motivo la investigación fue actualmente el 70% de las edificaciones de la ciudad de Trujillo están el peligro de colapso ante un terremoto de gran magnitud, incluyendo edificaciones esenciales, tales como hospitales, colegios, residenciales, etc. Entre los resultados obtenidos, se obtuvo que los aisladores sísmicos permiten mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones antes movimientos telúricos, siendo el aislador FPS el más efectivo, llegando a reducir los factores de desempeño sísmico, tales como derivas de entrepiso, aceleración del último piso y cortante basal, en un 90.49%, 95.31% y 89.34%, respectivamente.

Palabras clave:

- Tipos de aisladores sísmicos
- Factores de desempeño sísmico
- Edificación de concreto armado

## **ABSTRACT**

The present investigation was carried out in Trujillo, in the Private University of Trujillo, the main objective was to determine the influence of the types of seismic insulators (HDRB, LRB and FPS) on the seismic performance factors of a reinforced concrete building, through A dynamic analysis time history for several seismic records. For the realization of this research an experimental, pre experimental design was used, the sampling was by no probabilistic by experts. The data collection was performed with the observation technique, using an observation guide as an instrument, statistical analysis was used to analyze the data. The main problem that motivated the investigation was currently 70% of the buildings of the city of Trujillo are the danger of collapse due to a severe earthquake, including essential buildings, such as hospitals, schools, residential, etc. Among the obtained results, it was obtained that the seismic insulators allow to improve the seismic performance of the buildings before earthquakes, being the FPS insulator the most effective, getting to reduce the factors of seismic performance, such as mezzanine drifts, acceleration of the top floor and basal shear, in 90.49%, 95.31% and 89.34%, respectively

### **Keywords:**

Types of seismic isolators

Seismic Performance Factors

Reinforced concrete building

## I. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Realidad problemática.

A través de los años, debido a los impactos negativos producto de los constantes sismos ocurridos en todo el mundo, se están desarrollando nuevos sistemas antisísmicos con el propósito de mitigar los daños estructurales en las edificaciones producto de un movimiento sísmico y por ende reducir considerablemente las cifras de víctimas mortales posterior al desastre.

En los últimos 10 años, el 20% de los terremotos más importantes han ocurrido en Japón, esto lo convierte en el país que sufre la mayor cantidad de terremotos en el mundo. A partir de los años 80 y más aun a partir del año 1995, luego del terremoto de Kobe, en Japón se empezó a incrementar las medidas de seguridad contra terremotos para mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones (Poch, 2011). Poch también indica que actualmente, en Japón se vienen utilizando materiales que absorben los impactos sísmicos, como el acero, y además revisten a los edificios de amortiguadores. Por otra parte, Blazquez (como se citó en Guerrero, 2011) subraya que lo adecuado es levantar los edificios en un suelo estable, sin embargo parte del suelo de Japón es blando, por ello tienen dos opciones: mejorar el suelo de manera artificial, o emplear un sistema de aislamiento de base.

Al igual que Japón, México también se encuentra ubicado en el cinturón de Fuego del Pacífico y por ende es un país de alta actividad sísmica. Luego del terremoto de 1985 en Mexico, el Reglamento de Construcción se actualizó incluyendo una microzonificación de los tipos de suelos de la Ciudad de México y la tecnología en materia de construcción se modificó considerablemente, siendo ahora posible tener edificaciones más resistentes y menos pesadas (Davila, 2017). Sin embargo, muchas edificaciones quedaron vulnerables sin ningún tipo de reparación, lo cual se pudo notar en el último sismo de noviembre del 2017. Rodríguez (como se citó en Sánchez, 2017) indica que se debe cambiar el estilo de

construcción y realizar diseños basados en muros de concreto que se han comprobado que son resistentes incluso a sismos de 9 grados. De esta manera las edificaciones tendrían un buen desempeño sísmico evitando su colapso.

Chile también es uno de los países con alta actividad sísmica. Después del devastador terremoto de Maule del 27 de febrero del 2010, se empezó a incorporar el sistema de Aislación sísmica y disipación de energía en nuevos proyectos, siendo la mejor solución para proteger la inversión en infraestructura además de proteger la vida, permitiendo que las edificaciones tengan un mejor desempeño sísmico ante futuros terremotos (EMB Construcción, 2012). De la Llera (como se citó en Agencias, 2017) menciona que “Desde el 27F hasta ahora se han multiplicado en Chile los edificios que cuentan con protección sísmica, pasando de 13 a más de 110 (...) la tecnología chilena de aislamiento ayuda a reducir en diez veces los efectos del movimiento sísmico y los disipadores de energía pueden reducir a la mitad la deformación de la estructura”. El listado incluye hospitales, edificios residenciales, inmuebles de oficinas, construcciones industriales y colegios (Agencias, 2017).

Por otra parte, en Perú el estudio del desempeño sísmico de edificaciones ha ido avanzando muy lentamente desde inicios de este siglo. Actualmente, el sistema constructivo que rige en la mayoría de viviendas es la albañilería confinada debido a su bajo costo. Enrique Espinoza (como se citó en Angulo, 2017) menciona que debido a la autoconstrucción que rige en más del 70% de viviendas a nivel nacional, gran parte de estas viviendas están en peligro de colapso ante un movimiento sísmico de alta intensidad. Recién en la última actualización de la norma técnica E 030 de Diseño sísmo resistente en el 2016 se ha incluido el uso obligatorio de aislación sísmica en edificaciones esenciales de categoría A1 (establecimientos de salud, públicos y privados), así como la modificación de los factores de diseño sísmico para los sistemas estructurales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

Según el sismólogo Julio Kuroiwa (como se citó en Chávez, 2014) en el norte del país hay tres regiones con probabilidad de sufrir los efectos de un terremoto de gran magnitud, estas regiones son Piura, Lambayeque y La Libertad, ya que en dicha zona no se producen

terremotos devastadores desde hace más de 150 años. En La Libertad, más de la mitad de edificaciones tienen serios problemas de desempeño sísmico, cerca de 45 mil inmuebles (70%) se derrumbarían ante un evento sísmico de gran intensidad (Perú 21, 2017).

Según el ingeniero José Velázquez Vargas (como se citó en RPP, 2014) en Trujillo el 80% de viviendas autoconstruidas están en peligro de colapso ante un sismo de gran magnitud superior a los 8 grados, estas viviendas se encuentran ubicadas en los distritos aledaños a la ciudad, pero también muchas casonas y hospitales serían afectados.

Lamentablemente, en Trujillo predomina la autoconstrucción y muchas de las edificaciones antiguas no cumplen con los parámetros de diseño sísmico adecuados para lograr un buen desempeño sísmico ante terremotos devastadores.

La evaluación e inspección del estado de seguridad y riesgo de las edificaciones en la ciudad de Trujillo está a cargo de la Subgerencia de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Trujillo, la cual verifica y evalúa el cumplimiento de la normativa (E 030 “Diseño sismo resistente”) con la finalidad de prevenir y reducir el riesgo debido a un peligro originado por un fenómeno natural.

Para estudiar y controlar el desempeño sísmico de edificaciones ante terremotos de gran intensidad, en los últimos años en diversos países se han realizado estudios para disminuir el impacto de los eventos sísmicos.

Lafontaine (2008) encontró que la adición de amortiguadores magnetoreológicos (MR) en edificaciones de 4 pisos con aislación en la base reducen la aceleración absoluta máxima hasta en un 27.6% y además pueden reducir los desplazamientos relativos máximos hasta en un 64.9% en promedio respecto al caso sin disipadores.

De igual manera, Bharti, Dumne, & Shrimali (2010) y Pérez, Avila, & Doz (2017) encontraron que el uso de amortiguadores MR y amortiguadores visco fluidos, respectivamente, como sistema de conexión entre dos edificios adyacentes resulta muy eficiente para reducir la respuesta sísmica de ambos edificios.

Por otra parte, Wang, Wang, & Lu (2018) demostraron que en comparación de los muros de corte tradicionales (RC), los muros de corte reforzados con placas de acero (SPRW)

incrementan hasta en un 107% su capacidad de carga y en un 122% su desplazamiento final. Así mismo, el índice de ductilidad y el coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente se incrementan en un 25.02% y 24.99% respectivamente.

Valerio (2015) encontró que la utilización de aisladores sísmicos mejora el desempeño sísmico en comparación de un edificio fijo en la base. La deriva de piso, aceleración de piso y cortante basal se reducen entre un 74% y 90% aproximadamente, y el desplazamiento se incrementa entre un 167% y 333%, dependiendo del tipo de aislador que se utilice.

Estas investigaciones, junto con otras sobre protección sísmica en edificaciones, permiten realizar diseños de edificios que ante un gran terremoto tendrán un buen desempeño sísmico y seguir operativos inmediatamente después de la ocurrencia del evento sísmico. Es por ello

que en la ciudad de Trujillo se debe impulsar el uso de estos sistemas de protección sísmica en edificaciones esenciales, tales como hospitales, colegios, entre otros.

A nivel nacional el primer edificio con sistema de protección sísmica es la Biblioteca de la Universidad Nacional de Ingeniería, la cual ha sido diseñada por profesionales de la misma universidad y cuenta con 20 dispositivos de aislación sísmica elastoméricos con núcleo de plomo y deslizadores (Talavera, 2017). A partir del 2016 se ha extendido el uso de estos sistemas de protección sísmica a los hospitales licitados, como es el caso del Hospital Regional de Moquegua, el cual contará con 216 dispositivos de aislación sísmica elastoméricos con núcleo de plomo y deslizadores (Talavera, 2017), cuya elaboración del expediente técnico y ejecución de la obra está a cargo del Consorcio Hospitalario Moquegua, formado por las empresas Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. (ICCGSA) e INCOT S.A.C.

En la ciudad de Trujillo, como ya se mencionó antes, gran parte de sus edificaciones están en peligro latente de colapso ante un movimiento sísmico de gran intensidad. Esto se debe a la mala práctica constructiva que ha venido predominando desde hace décadas y al descuido de las autoridades para evaluar y mejorar el sistema estructural de las edificaciones con cierto grado de antigüedad, entre ellas edificaciones esenciales, las cuales deben

mantenerse en óptimas condiciones de operación durante y después de un desastre para atender la emergencia, pudiendo señalar como ejemplo a los hospitales, estación de bomberos, centros de control de emergencia e inclusive escuelas como lugares de refugio de los damnificados.

El sistema estructural predominante en la mayoría de edificaciones esenciales antiguas está basado en pórticos de concreto armado compuesto por columnas y vigas. Actualmente, de acuerdo a la norma E 030 del RNE, el uso de este tipo de sistema estructural ha quedado descartado para este tipo de edificaciones en ciudades costeras del país, debido a su bajo desempeño sísmico que pueden presentar ante un evento sísmico de considerable magnitud. Como ejemplo se puede tomar el Hospital Regional Docente de Trujillo, el cual fue construido hace más de 50 años empleando un sistema estructural en base a pórticos de concreto armado, y estudios realizados en el año 1998 demostraron que, para ese entonces, el hospital presentaba media a alta vulnerabilidad ante un sismo esperado en 100 años (MINSAL & INDECI, 1998). El estudio, además recomendó aumentar la rigidez de la edificación incorporando placas de concreto armado. Hasta la fecha, al igual que en otros hospitales de la ciudad, no se han realizado ninguna modificación estructural.

Ante la ocurrencia de un sismo de gran intensidad, estas edificaciones quedarían inoperativas para realizar sus funciones, producto de los daños estructurales o no estructurales que se pueden presentar, Por ello, la correcta elección del sistema estructural y un adecuado diseño sísmico de este tipo de establecimiento es determinan en comportamiento de la edificación durante una eventualidad sísmica y posterior a ello sigan funcionando.

Actualmente, desde fines del siglo pasado, se viene desarrollando en diferentes países la filosofía de diseño mediante el uso de aisladores sísmicos en la base de los edificios de baja y mediana altura, buscando reducir las fuerzas inducidas en la estructura al producirse un movimiento sísmico, para ello este sistema se basa en desacoplar la superestructura de la subestructura e incorporar un dispositivo (aislador) muy rígido verticalmente, pero muy flexible en la dirección horizontal. De esta manera se logra un nivel de desempeño que

permita que el establecimiento siga en funcionamiento luego de un terremoto de gran intensidad.

En esta investigación se busca aplicar esa filosofía de diseño en edificaciones esenciales de categoría A1 (hospitales) como alternativa de solución y prevención ante un posible colapso de la estructura producto de un terremoto de gran magnitud, a través de un análisis comparativo de un hospital aporticado con aislación en la base y un hospital con muros de concreto armado.

## **1.2. Formulación del problema.**

¿De qué manera influye el uso de aisladores sísmicos en los factores de desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en la ciudad de Trujillo?

## **1.3. Justificación.**

El principal propósito de esta investigación es la seguridad de la población trujillana luego de un posible sismo de gran intensidad, ya que se busca asegurar que la población afectada por el sismo pueda ser atendida sin ningún inconveniente en los hospitales de la localidad, como es el Hospital Regional de Trujillo, el cual actualmente, está en peligro de colapso o sufrir daños estructurales considerables luego de un terremoto de gran magnitud.

La investigación planteada se enfocará en explicar el diseño de edificaciones esenciales mediante el uso de aisladores sísmicos, ya que se ha probado en diferentes países que esta filosofía de diseño provee de buen desempeño sísmico a las estructuras, y que actualmente su uso es escaso en este país. Se evaluará los diferentes factores que implica el desempeño sísmico de las edificaciones que son determinantes para evaluar un posible colapso de la estructura.

Como se mencionó anteriormente, al diseñar una edificación esencial, como es el caso de los hospitales, se busca que estos continúen en funcionamiento luego de un evento sísmico, sin embargo, actualmente no sería el caso de muchos hospitales de la ciudad, ya que muchos

están en peligro de colapso ante un gran terremoto. Esta investigación busca promover una alternativa de solución ante semejante peligro para futuras edificaciones o en la reestructuración de las ya existentes que desde su construcción no han tenido reparaciones estructurales.

Esta investigación servirá para determinar las cualidades que tienen cada tipo de aislador sísmico y luego puedan ser incluidas por los consultores en los diseños de edificaciones esenciales que, según la normativa peruana, desde el 2016 es obligatorio el uso de sistemas de aislamiento para este tipo de estructuras ubicadas en zonas de alto peligro sísmico como es la costa peruana.

Además, esta investigación también busca generar una fuente de información para futuros investigadores que deseen conocer o continuar indagando en la problemática del desempeño sísmico en edificaciones, como viviendas, escuelas, etc, en la ciudad de Trujillo, ya que actualmente se cuenta con muy poca data de estudios o proyectos realizados en esta ciudad para afrontar este gran problema que felizmente hasta ahora no se podido observar sus devastadoras consecuencias.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Determinar la influencia de los tipos de aisladores sísmicos en los factores de desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en la ciudad de Trujillo.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- ✓ Explicar el procedimiento de diseño de los aisladores sísmicos tipo HDRB y LRB y FPS.
- ✓ Modelar una edificación sin aislamiento y con aislamiento en el software computacional ETABS.

- ✓ Calcular y comparar la deriva de pisos, aceleración de piso y cortante basal en una edificación sin aislamiento y con aislamiento en la base.

### 1.5. Antecedentes.

**En la tesis de pregrado** “Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos”,(Valerio, 2015) Realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio fijo versus un edificio aislado, utilizando cuatro tipos de aisladores sísmicos a través de un análisis tiempo historia. Se modeló un edificio de siete pisos destinado a viviendas con un sistema estructural de muros cortantes en el programa de cálculo estructural ETABS 2013, para el análisis de uso registros de 17 terremotos y se empleo cuatro tipos de aisladores: HDRB, LRB, FPS y RNC. Los resultados del modelamiento revelan que la deriva de piso, la aceleración de piso y la cortante basal se reducen entre un 75% a 90% aproximadamente según el tipo de aislador, y el desplazamiento relativo se incrementa entre 167% y 333%, dependiendo del tipo de aislador, siendo los más efectivos los aisladores FPS y RNC. Se concluyó que el uso de aisladores sísmicos permite tener un mayor control del desempeño sísmico al evaluar cuatro factores importantes: la deriva de piso, aceleración de piso, cortante basal y desplazamientos relativos. Esta investigación describe el proceso de diseño de los principales tipos de aisladores sísmicos utilizados internacionalmente, lo cual será de gran ayuda para la elección de los tipos de aisladores a usar en este proyecto. Además, también sirve para tomar como guía el tipo de análisis a emplear para obtener resultados más cercanos a los reales.

**En la tesis de pregrado** “Seismic response control of buildings using base isolation”, (Danila, 2015) Estudio comparativo entre dos sistemas de aislamiento sísmico HDRB+NFVD y el FPB2S. Se realizó un

modelamiento de una estructura dual de ocho pisos con aislación en la base y se sometió a una acción sísmica descrita por seis acelerogramas entre reales y artificiales mediante un análisis tiempo-historia no lineal usando el software SAP 2000. Los resultados mostraron que los desplazamientos relativos y la fuerza cortante basal tienen valores cercanos para ambos sistemas aislados estudiados (entre 45% y 50% para desplazamientos y entre 28% y 40% para aceleraciones) y que el sistema HDRB+NFVD disipa más energía (85%) en comparación al sistema FPB2S (82%). Dependiendo de los requisitos de diseño, se puede usar un sistema u otro, ya sea para limitar las aceleraciones o disipación de energía. De este trabajo se consideró también incluir un análisis de disipación de energía de los sistemas aislados a emplear y, además determinar también que tipos de aisladores sísmicos usar, así como hacer un mejor diseño de la investigación de los diferentes tipos de aisladores sísmicos a usar en el proyecto.

**En la tesis de pregrado** “Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados en el Perú”, (Yucra, 2018) Contribuir a la protección sísmica de los hospitales en el Perú, garantizar su funcionamiento continuo ante eventos sísmicos de gran magnitud. Se empleó un método de análisis dinámico incremental (IDA) evaluando los parámetros de derivas y aceleraciones mediante curvas IDA. Los resultados obtenidos muestran derivas menores a 0.0031 y aceleraciones de piso menores a 0.22g para el sismo máximo, estimando un estado de daño leve en los elementos estructurales y no estructurales sensibles a aceleraciones. Finalmente se concluyó que todos los elementos de la estructura hospitalaria con aislamiento sísmico satisfacen los requerimientos de rendimiento del nivel de Ocupación inmediata cuando es sometido a un sismo máximo de PGA 0.675g (T=2475 años) y se garantiza el objetivo de funcionalidad continua. En la investigación se detalla todas las condiciones de desempeño sísmico que debe de cumplir una edificación esencial (hospital), por lo cual se decidió enfocar esta investigación en ese tipo de estructuras, considerando

de vital importancia en caso ocurra un evento sísmico.

**En la tesis de pregrado** “Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados y convencionales a través de un análisis de fragilidad”, (Ferj, 2016) Cuantificar las diferencias del desempeño sísmico de hospitales de pórticos aislados y sus alternativas sustitutas convencionales de muros y evaluar las ventajas y desventajas a cada opción. Se definió casos de estudios aislados y tradicionales representativos, luego se diseñó sus estructuras según la normativa vigente en Chile, después se desarrolló modelos computacionales no lineales tridimensionales y se sometió a análisis IDA con registro sísmico de ese país, obteniendo así curvas de fragilidad de los sistemas aislados, elementos estructurales y no estructurales de los hospitales. Se obtuvo como resultados que las deformaciones relativas y aceleraciones de piso son sustancialmente menores (60%) en los sistemas aislados que en los tradicionales. Se logró concluir que la implementación de sistemas aislados en edificaciones hospitalarias permite reducir la fragilidad de los elementos estructurales y no estructurales. La información de esta investigación sirve para tomar como ejemplo la importancia que tiene el desempeño sísmico de las edificaciones esenciales en Chile y el manejo de sus registros sísmicos, los cuales se emplearán en el procesamiento de datos en el presente proyecto.

**En la tesis de pregrado** “Análisis y diseño de edificios con aisladores sísmicos de péndulo friccional doble y triple”, (Ruiz, 2017) Realizar un estudio de la dinámica y métodos de análisis y diseño de edificios con aisladores sísmicos comparando la mecánica de los aisladores de péndulo friccional (FPS) doble y triple. Se realizó el análisis de un edificio hospitalario con aisladores FPS doble y triple y base empotrada, tomando las exigencias de diseño por funcionalidad continua que recomienda limitar la deriva máxima de piso a 3%, aceleración máxima de piso a 0.25g para un sismo de diseño con  $T_r=475$  años, sometiénolo a análisis: estático, espectral y tiempo historia no lineal, donde se evaluó parámetros globales

(periodo, deriva, aceleración, cortante, desplazamiento y amortiguamiento). Los resultados arrojaron que los parámetros globales de respuesta sísmica son similares en los análisis espectral y estático, sin embargo, hay diferencia considerable en el análisis tiempo historia no lineal. Para un análisis estático los dos tipos de aisladores pueden llegar a variar hasta 30% en función del cortante nominal y 10% en función al desplazamiento nominal. Luego del análisis, se concluyó que ambos tipos de edificios con aisladores FPS cumplen con los requisitos del desempeño de funcionalidad continua. Además, se concluyó que el empleo de aisladores FPS requiere menos refuerzo de acero y menos dimensiones de vigas y columnas, generando un ahorro económico de la superestructura. La información que proporciona esta investigación es de gran utilidad para adentrarse más en el diseño de los aisladores sísmicos tipo FPS, que serán empleados en el proyecto. Además, permite realizar una comparación entre tres tipos de análisis sísmico para elegir uno y aplicarlo al proyecto.

**En la tesis de pregrado** “Evaluación comparativa del análisis estructural entre los sistemas estructurales: pórtico y dual (pórticos rigidizados) en un edificio tipo educacional”, (Quispe, 2017) Evaluación comparativa del análisis estructural entre los sistemas estructurales de pórticos y dual en un edificio tipo educacional. Primeramente, se seleccionó la edificación a modelar, luego se realizó el cálculo de los elementos estructurales para ambos tipos de sistemas, después se realizó un análisis estático y dinámico de la edificación. Del análisis se obtuvo que el sistema dual tiene menor periodo fundamental, por lo tanto, es más rígido y puede soportar mayores aceleraciones del suelo y mayores fuerzas laterales. Además, se obtuvo que el sistema dual soporta una cortante basal hasta un 52% más en el análisis dinámico que un sistema aporticado. Respecto a las derivas y desplazamientos, son menores en el sistema dual que en el sistema aporticado. Finalmente, se concluyó que una edificación con sistema dual tiene mejor comportamiento sísmico que un sistema de pórticos.

## 1.6. Bases Teóricas.

### 1.6.1. Aislación basal y aislación sísmica

El termino aislación basal hace referencia a que una estructura, sea esta un edificación, puente o pieza de un equipo, se encuentra separa de su base. La idea de separar la estructura de su base se originó con la finalidad de evitar daños producidos por los terremotos. Durante un terremoto, el suelo se mueve y es este movimiento del suelo el que causa la mayor parte del daño de la estructura. Al separar la estructura de la edificación el suelo se moverá, pero el edificio no se moverá. Entonces, el termino aislación sísmica es más preciso para hacer referencia a que la estructura está separada de los efectos del terremoto (Kelly, 2001).

Según Skinner, Robinson, & McVerry (1993) la aislación sísmica consiste esencialmente en la instalación de mecanismos que desacoplan la estructura, y su contenido, de los movimientos del terreno provocados por terremotos potencialmente dañinos. Este desacoplamiento se logra a través del incremento de la flexibilidad en la base de la estructura en el plano horizontal, junto con la amortiguación adecuada para restringir la amplitud del movimiento causado por el sismo (Mayes & Naeim, 2001). Este sistema de amortiguamiento en la base permitirá reducir la cantidad de energía de entrada a las fundaciones de una estructura (Falconí, Almazán, Dechent, & Suárez, 2008).

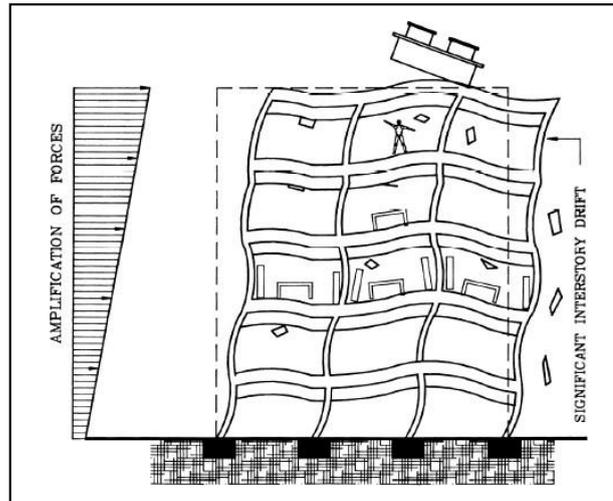
### 1.6.2. Comparación entre Sistema convencional y Sistema aislado

Tradicionalmente, las alternativas aplicadas a las edificaciones para resistir las fuerzas laterales son muros de corte, marcos arriostrados y marcos resistentes a momentos. Con el pasar del tiempo la idea se ha ido perfeccionando y reducido la incertidumbre, pero el principio básico es el mismo: construir un edificio dúctil y fuerte que esté conectado de forma segura al suelo (Mayes & Naeim, 2001).

Las construcciones convencionales pueden causar aceleraciones de piso muy altas en edificaciones rígidas y grandes derivas de entrepiso en edificaciones flexibles. Estos dos factores dificultan la seguridad de los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones (Mayes & Naeim, 2001).

La fuerza inercial producida por un sismo en una edificación es proporcional al producto de la masa del edificio y la aceleración del suelo. En zonas altamente sísmicas, la aceleración causa fuerzas en el edificio que exceden una o incluso dos veces la aceleración debida a la gravedad. El diseño para este nivel de fuerza no es sencillo ni barato. Por ellos los códigos de diseño usan la ductilidad de los materiales para alcanzar esa capacidad. La ductilidad puede generar deformaciones permanentes y no reversibles, por lo tanto, la capacidad de una edificación para continuar resistiendo cargas se verá afectada (Kelly, 2001). Es decir, las edificaciones convencionales buscan aumentar la capacidad de resistencia de la estructura ante las fuerzas producidas por el sismo. La filosofía de aislamiento sísmico tiene un enfoque opuesto, no busca aumentar la capacidad, sino reducir la fuerza que recibirá la estructura.

La figura 2.1 muestra el comportamiento de una edificación convencional sin aislamiento sísmico, se observa que la fuerza y derivas de piso aumentan proporcionalmente a la altura del edificio. Además, se observa los daños estructurales y no estructurales que puede causar el movimiento sísmico en este tipo de edificaciones.



**Figura 2.1.** Edificación convencional, sin aislamiento sísmico.

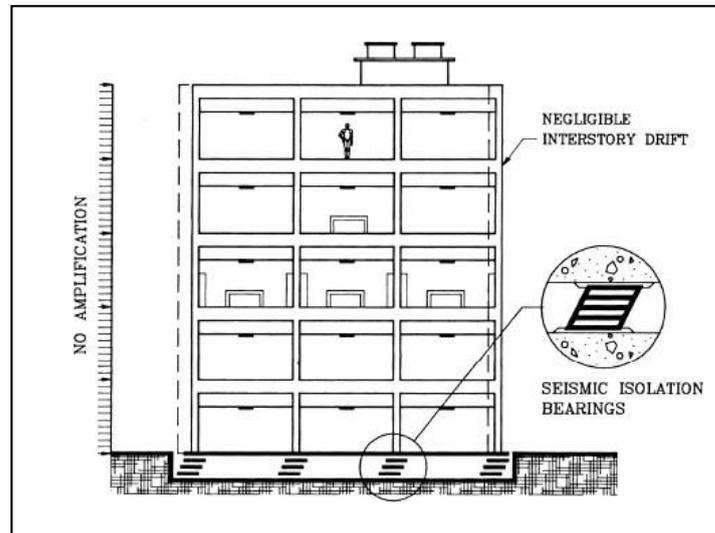
**Elaboración:** Mayes & Naeim (2001)

**Fuente:** Mayes & Naeim (2001)

En las edificaciones con aislamiento sísmico se evita que la mayor parte del movimiento horizontal del suelo se transmita a la superestructura. Esto da como resultado una reducción significativa de la aceleración de piso y de las derivas de entrepiso, proporcionando protección de los componentes estructurales y no estructurales de la edificación (Mayes & Naeim, 2001).

La figura 2.2 muestra el comportamiento de una edificación aislada sísmicamente, se puede notar que la fuerza sísmica no se incrementa con la altura del edificio y permanece casi constante en toda la altura; y las derivas de también son casi constantes en todos los niveles. Por lo tanto, los daños estructurales y no estructurales son casi nulos.

**Figura 2.2.** Edificación con sistema de aislamiento sísmico.



**Elaboración:** Mayes & Naeim (2001)

**Fuente:** Mayes & Naeim (2001)

Algunos sismos son más devastadores en periodos largos, los que suelen ocurrir en zonas con suelo blando. En estos casos, proveer de un alto amortiguamiento como parte del sistema de aislación da una importante defensa contra este tipo de movimientos (Skinner, Robinson, & McVerry, 1993)

### 1.6.3. Componentes y tipos

El aislamiento basal sísmico se ha ido desarrollando desde fines del siglo pasado. En todo este tiempo se ha venido desarrollando diferentes sistemas de aislamiento que son usados con mucha frecuencia en los grandes proyectos de edificaciones. De acuerdo a Naeim & Kelly (1999), Kelly (2001) y Mayes & Naeim (2001) los tipos de sistemas de aisladores sísmicos son:

- Sistemas elastoméricos
- Sistemas deslizantes

- Sistema de resortes
- Sistema de rodamiento
- Sistema de balanceo
- Sistema de pilas encamisadas

#### 1.6.4. Sistemas elastoméricos

Estos tipos de aisladores están fabricados en caucho natural o sintético. Inicialmente, por el año 1969, estos tipos de aisladores se usaban como bloques de caucho natural sin ningún tipo de refuerzo que le dé mayor rigidez vertical, por ello los edificios con estos sistemas presentaban balanceo cuando eran sometidos a movimiento horizontal (Naeim & Kelly, 1999). Posteriormente estos aisladores elastoméricos se empezaron a fabricar en forma de capas horizontales de caucho unidas entre láminas de acero, permitiendo mayor rigidez vertical y disminuyendo considerablemente el balanceo, pero siempre manteniendo su flexibilidad lateral (Naeim & Kelly, 1999; Kelly, 2001).

Naeim & Kelly (1999) muestran una subclasificación para estos tipos de aisladores:

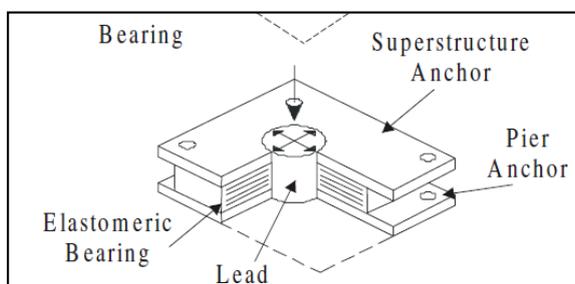
##### a. Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB)

Estos aisladores de caucho natural han sido ampliamente utilizados en Japón en conjunto con otros elementos para dar mayor amortiguamiento, como amortiguadores viscosos, barras de acero, barras de plomo y dispositivos de fricción. El caucho natural también era reemplazado por neopreno. Estos aisladores tienen dos láminas finales gruesas de acero y delgadas cuñas de acero para darle rigidez vertical y un orden de magnitud similar a las columnas de edificaciones convencionales (Mayes & Naeim, 2001).

### b. Aisladores con núcleo de plomo (LRB)

Estos aisladores son similares a los LDRB pero contienen uno o más núcleos de plomo que son insertados dentro agujeros como se muestra en la figura

2.3. La incorporación del núcleo de plomo se realiza para aprovechar las propiedades disipativas de este material y así aumentar la capacidad de disipación de energía del aislador (Falconí, Almazán, Dechent, & Suárez, 2008).



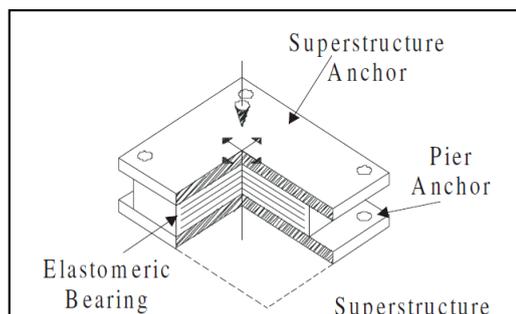
**Figura 2.3.** Aislador con núcleo de plomo (LRB).

**Elaboración:** Mayes & Naeim (2001)

**Fuente:** Mayes & Naeim (2001)

### c. Aisladores de caucho de alto amortiguamiento (HDRB)

Estos tipos de aisladores se desarrollaron con la finalidad de tener un dispositivo con amortiguamiento suficiente para eliminar la necesidad de emplear elementos adicionales usados en los LDRB. El incremento del amortiguamiento se logra al añadir fibras de carbono extrafinas, aceites o resinas (Figura 2.4).

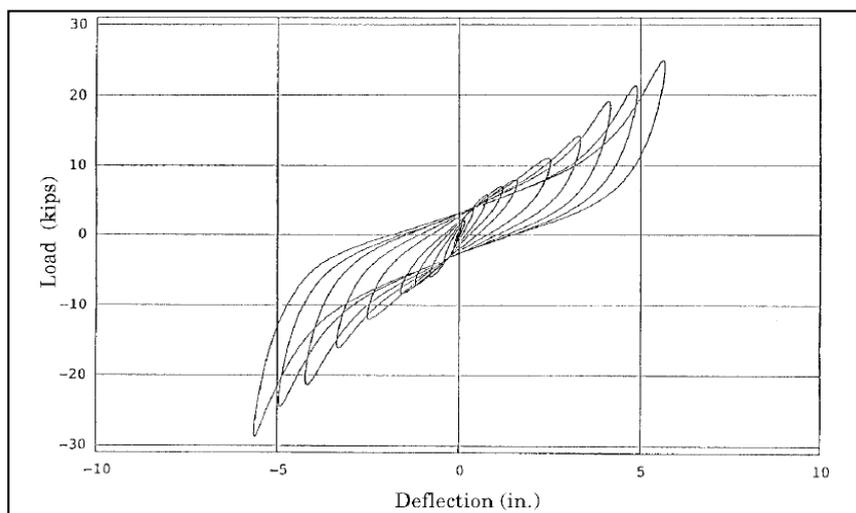


**Figura 2.4.** Aislador de caucho de alto amortiguamiento (HDRB).

**Elaboración:** Mayes & Naeim (2001)

**Fuente:** Mayes & Naeim (2001)

La figura 2.5 muestra que la energía disipada por ciclos es proporcional al desplazamiento alrededor del valor de la potencia 1.5. Estas características pertenecen a una combinación de elementos con viscosidad lineal y elementos elasto-plásticos.



**Figura 2.5.** Comportamiento histerético de un Aislador de caucho de alto amortiguamiento (HDRB).

**Elaboración:** Naeim & Kelly (1999)

**Fuente:** Naeim & Kelly (1999)

### 1.6.5. Sistemas deslizantes

Un sistema deslizante entre la edificación y la fundación, puede resultar simple. La filosofía de este tipo de sistemas, se basa en el bajo coeficiente de fricción entre la estructura y el sistema de aislación, lo cual es ideal para el adecuado desacoplamiento entre la fundación y la estructura. Sin embargo, el proceso de diseño es complejo debido a la gran cantidad de variables (Naeim & Kelly, 1999).

Este coeficiente de fricción limitará la aceleración y la fuerza transmitida. Este sistema es adecuado siempre y cuando el valor del coeficiente de fricción sea el necesario para resistir el movimiento debido a las cargas de servicio (Kelly, 2001).

Los materiales más comunes en las superficies deslizantes está el politetrafluoretileno (PTFE - teflón) y el acero inoxidable, los que varían considerablemente sus características deslizantes en función a la temperatura, velocidad de desplazamiento, grado de utilización y limpieza de la superficie (Naeim & Kelly, 1999).

Un sistema puramente deslizante no proporciona fuerzas restauradoras y por lo tanto la estructura quedaría desplazada luego de un movimiento sísmico y continuaría desplazándose por las réplicas (Kelly, 2001).

Dentro de estos sistemas de aisladores encontramos varios tipos de sistemas deslizantes donde se incluye diferentes soluciones a los problemas de desplazamientos.

Según Naeim & Kelly (1999) estos tipos son:

#### a. Sistema de la compañía Eléctrica de Francia

Este sistema se desarrolló a inicios de la década de los 70s como sistema de aislamiento en una planta nuclear que fue diseñada para no exceder una aceleración de 0.2g. Este sistema combina láminas de neopreno con una aleación plomo-bronce en contacto, por la parte superior, con una superficie de acero inoxidable. El coeficiente de fricción entre ambas superficies es de 0.2. Los cojinetes de neopreno tienen una capacidad de desplazamiento de  $\pm 5.0$  cm, una

vez superado este límite, inicia el proceso de deslizamiento. Una desventaja de este sistema es que no incluye ningún dispositivo de restauración, por lo cual los deslizamientos son permanentes.

#### **b. Sistema combinado EERC**

Este sistema es una combinación de un sistema elastomérico y un sistema deslizante. Los sistemas deslizantes (teflón sobre elementos de acero inoxidable) se colocaron en las columnas interiores y los sistemas elastoméricos (LDRB) en las columnas exteriores. Los elementos elastoméricos permiten restauración de la estructura y un control de la torsión, mientras que los elementos deslizantes proveen amortiguamiento.

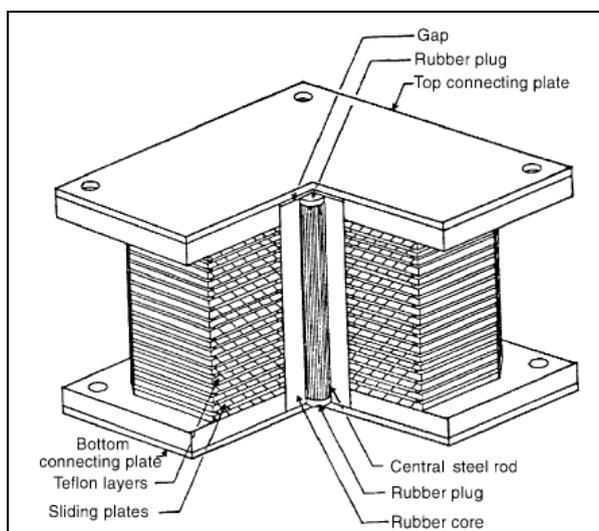
#### **c. Sistema TASS**

Este sistema se desarrolló en Japón. En este sistema la carga vertical en su totalidad es soportada por elementos de teflón y acero inoxidable. Además, se colocan láminas de neopreno solamente para agregar fuerzas de restauración sin soportar carga vertical. La presión aplicada sobre la superficie deslizante es alrededor de 10 MPa y su coeficiente de fricción es de 0.05 para bajas velocidades y de 0.15 para velocidades altas.

#### **d. Sistema de fricción resiliente**

Este tipo de sistema trata de superar el problema del alto coeficiente de fricción que hay entre el teflón y el acero inoxidable a altas velocidades. Esto lo logra mediante el uso de muchas superficies de deslizamiento en un mismo aislador. De esta manera la velocidad entre la parte superior e inferior del aislador se divide por el número de capas, haciendo que la velocidad en cada superficie sea pequeña, manteniendo un bajo coeficiente de fricción, tal como se muestra en la figura 2.6. Además, se agrega un núcleo central de caucho que no soporta carga vertical, pero provee fuerza de restauración. Sin embargo, el núcleo de caucho no evita que el desplazamiento se concentre en una sola superficie, por ellos se agregó una barra

de acero que mejora la distribución del desplazamiento entre todas las superficies deslizantes.



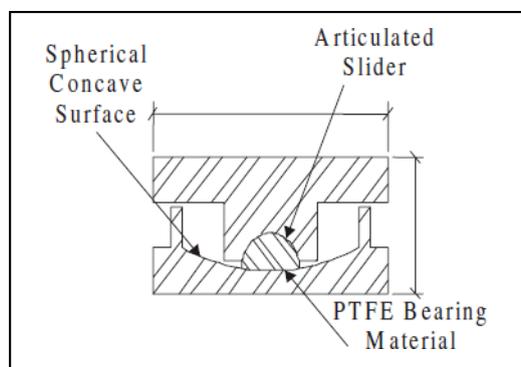
**Figura 2.6.** Sistema de fricción resiliente.

**Elaboración:** Naeim & Kelly (1999)

**Fuente:** Naeim & Kelly (1999)

#### **e. Sistema de Péndulo de Fricción (FPS)**

Este sistema combina la acción deslizante y una fuerza restauradora producida por geometría del aislador. Este tipo de aislador está formado por un deslizador articulado que se mueve sobre una superficie esférica de acero inoxidable, tal como se muestra en la figura 2.7. El lado del deslizador que descansa sobre la superficie esférica está recubierto de un material de bajo coeficiente de fricción (teflón) y el otro lado del deslizador es esférico recubierto de acero inoxidable. La fricción entre el deslizador articulado y la superficie esférica genera el amortiguamiento de sistema. La rigidez efectiva y el periodo de la estructura es controlada por el radio de curvatura de la superficie cóncava.



**Figura 2.7.** Sistema de Péndulo de Fricción (FPS).

**Elaboración:** Mayes & Naeim (2001)

**Fuente:** Mayes & Naeim (2001)

Al producirse un sismo que supera la fuerza de fricción estática, el deslizador se mueve sobre la superficie esférica cóncava, causando la elevación de la masa soportada. Durante la elevación, se induce una fuerza restauradora producida por la masa soportada (Falconí, Almazán, Dechent, & Suárez, 2008).

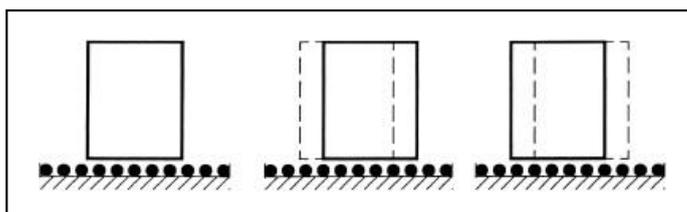
#### 1.6.6. Sistema de resortes

Los sistemas elastoméricos y deslizantes solo proporcionan aislamiento horizontal. Cuando se requiere aislamiento tridimensional (horizontal y vertical) se usa los sistemas de resortes, aunque su uso no es común. Estos sistemas están formados por resortes helicoidales de acero que son flexibles tanto en la dirección horizontal como vertical, siendo su frecuencia vertical 3 a 5 veces su frecuencia horizontal. Este tipo de aisladores no presentan amortiguamiento, por ello se suelen usar en conjunto con elementos de amortiguación viscosa. Su uso se da mayormente en maquinaria de plantas nucleares ya que es necesario que el centro de gravedad y el centro de rigidez del sistema aislado se ubiquen a un mismo nivel,

lo cual no ocurre en edificaciones comunes, ya que su centro de gravedad se encuentra por encima del centro de rigidez, provocando problemas de balanceo cuando se produce un movimiento horizontal (Naeim & Kelly, 1999). Además, debido a su flexibilidad vertical puede generar movimientos de cabeceo, lo cual resulta ser muy incómodo para sus ocupantes (Kelly, 2001).

#### **1.6.7. Sistema de rodamiento**

Su uso también es común en maquinarias de plantas nucleares. Dependiendo del material de los rodillos, la resistencia al movimiento resulta suficiente para resistir la carga de servicio y puede generar amortiguamiento (Kelly, 2001).



**Figura 2.8.** Sistema de rodamiento.

**Elaboración:** Mayes & Naeim (2001)

**Fuente:** Mayes & Naeim (2001)

#### **1.6.8. Sistema de balanceo**

La disipación de energía en este sistema no se da como en los sistemas clásicos aislamiento sísmico. Este sistema se emplea en estructuras esbeltas y se basa en el principio de que, para un cuerpo oscilante, el periodo de respuesta aumenta al aumentar la amplitud de balanceo, provocando un efecto de cambio de periodo. La amortiguación se agrega mediante el uso de pernos de deformación o voladizos de acero (Kelly, 2001).

### **1.6.9. Sistema de pilas encamisadas**

Cuando una edificación requiere de una cimentación profunda y a la vez un sistema de aislamiento, por ejemplo, en suelos muy blandos, puede ser ventajoso usar este sistema de pilas encamisadas. Las pilas adquieren flexibilidad al encerrarlas en tubos con un espacio de holgura. Este sistema permite flexibilidad, pero no amortiguamiento; por lo que se debe usar en paralelo con otros dispositivos de amortiguamiento (Kelly, 2001). En algunos casos se coloca amortiguamiento a través de un conjunto de placas de acero cónico colocadas en el perímetro de la edificación a nivel del suelo, sobre las pilas encamisadas en el sótano del edificio, o cualquier otro dispositivo de amortiguamiento (Naeim & Kelly, 1999).

De acuerdo a Mayes & Naeim (2001), los dispositivos de aislamiento sísmico en edificaciones usados con mayor frecuencia, en los Estados Unidos y otros países del mundo, son el aislador con núcleo de plomo (LRB), el aislador de caucho de alto amortiguamiento (HDRB) y el sistema de Péndulo de Fricción (FPS).

### **1.6.10. Edificación esencial de concreto armado**

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana E030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016) un edificación esencial viene a ser aquella que puede servir de refugio o de atención a la población después de ocurrir un desastre y por lo tanto se debe tener consideraciones especiales para lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de ocurrido un sismo de gran magnitud. Dentro de este tipo de edificaciones se encuentran: hospitales, colegios, universidades, puertos, aeropuertos, central de bomberos, entre otros.

De la misma manera, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana, una edificación de concreto armado es toda aquella donde sus elementos estructurales están conformados por concreto y reforzados con elementos de acero, previamente diseñados. Dentro de las cuales se tiene:

- ✓ **Sistemas de pórticos:** Las columnas soportan más del 80% de la cortante basal.
- ✓ **Sistemas de muros estructurales:** Los muros resisten más del 70% de la cortante basal
- ✓ **Sistemas duales:** Los muros soportan entre el 20% y 70% de la cortante basal. Las columnas diseñadas para soportar por lo menos el 30% de la cortante basal
- ✓ **Sistemas de ductilidad limitada:** La resistencia sísmica y de gravedad es soportada por muros de concreto armado de espesores reducido.

De esta manera, los pabellones del Hospital Regional de Trujillo, se clasifican como edificaciones esenciales con un sistema de pórticos de concreto armado. Estos pabellones, construidos hace más de 50 años, constan de 3 niveles, llegando algunos hasta 4 niveles. Debido a su antigüedad y a la no restauración, muchos de sus pabellones están en peligro de colapso ante un terremoto de gran intensidad (MINSa & INDECI, 1998).

## 1.7. Definición de términos básicos.

### 1.7.1. Aislador sísmico

Sistema empleado para desacoplar la superestructura de la subestructura de una edificación, con la finalidad de reducir el impacto generado por la acción de un sismo.

### 1.7.2. Desempeño sísmico

Comportamiento que tendrá una edificación ante la ocurrencia de un evento sísmico. Abarca una serie de factores, como son: la aceleración de piso, derivas de piso y energía disipada.

### 1.7.3. Edificaciones de concreto armado

Estructura cuyo sistema principal está compuesto de concreto reforzado con varillas de acero, previamente diseñados para cumplir una determinada función y permitiendo ser un lugar seguro para la población usuaria.

### 1.8. Formulación de la hipótesis.

El empleo de aisladores sísmicos en el Análisis y diseño de una edificación de concreto armado en la ciudad de Trujillo, mejorará su desempeño sísmico, reduciendo las derivas de piso, la aceleración de piso y la cortante basal.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El empleo de aisladores sísmicos en el diseño de una edificación de concreto armado en la ciudad de Trujillo mejorará el desempeño sísmico, reduciendo las derivas de piso, la aceleración de piso y la cortante basal.	Aisladores sísmicos	Edificaciones de concreto armado	mejora	Ciudad de Trujillo	2019
	Desempeño sísmico				

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Material:

#### a. Materiales

Partida	Nombre del recurso	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/.)	Total (S/.)
<b>2.3</b>	<b>Bienes y servicios</b>				<b>26.50</b>
2.3.1 5.1 2	Papelería en general, útiles y materiales de oficina				26.50
	Papel bond A4	1/2	millar	13.00	6.50
	USB 4GB Kingston	1	und	20.00	20.00

#### b. Humano.

Docentes

#### c. Servicios.

Partida	Nombre del recurso	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/.)	Total (S/.)
<b>2.3</b>	<b>Bienes y servicios</b>				<b>520.04</b>
2.3.2 1.2 1	Pasajes y gastos de transporte				32.00
	Transporte público	16	und	2.00	32.00
2.3.2 2.1 1	Servicio de suministro de energía				191.04

	<b>eléctrica</b>				
	Energía eléctrica domiciliaria	320	KW/h	0.60	191.04
<b>2.3.2 2.2 3</b>	<b>Servicio de internet</b>				<b>280.00</b>
	Internet domiciliario	4	mes	70.00	280.00
<b>2.3.2 7.11 99</b>	<b>Servicios diversos</b>				<b>17.00</b>
	Fotocopias	30	und	0.10	3.00
	Impresiones	50	und	0.10	5.00
	Anillados	2	und	2.50	5.00
	Quemado de CD	2	und	2.00	4.00

#### **d. Otros**

##### **2.2. Material de estudio.**

###### **2.2.1. Población.**

Una edificación de concreto armado.

###### **2.2.2. Muestra.**

Una edificación de concreto armado de sistema estructural a porticado en Trujillo.

## **2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.**

### **2.3.1. Para recolectar datos.**

#### **2.3.1.1. Técnica de recolección de información**

Como técnica de recolección de datos se utilizará la observación de tipo no participante, indirecta y no estructurada; en la cual, a través de planos estructurales, se obtendrá los datos necesarios para el modelamiento en el software ETABS; y haciendo uso de la Norma Técnica Peruana E 030, se obtendrán los parámetros sísmicos necesarios para el análisis dinámico de la estructura.

#### **2.3.1.2. Instrumento de recolección de datos**

Como instrumento de recolección de datos se empleará una Guía de Observación (Anexo N° 01), en la cual se anotará los datos obtenidos de los planos estructurales necesarios para realizar el modelamiento. Además, se anotarán los parámetros sísmicos, obtenidos de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 030.

#### **2.3.1.3. Método de análisis de datos**

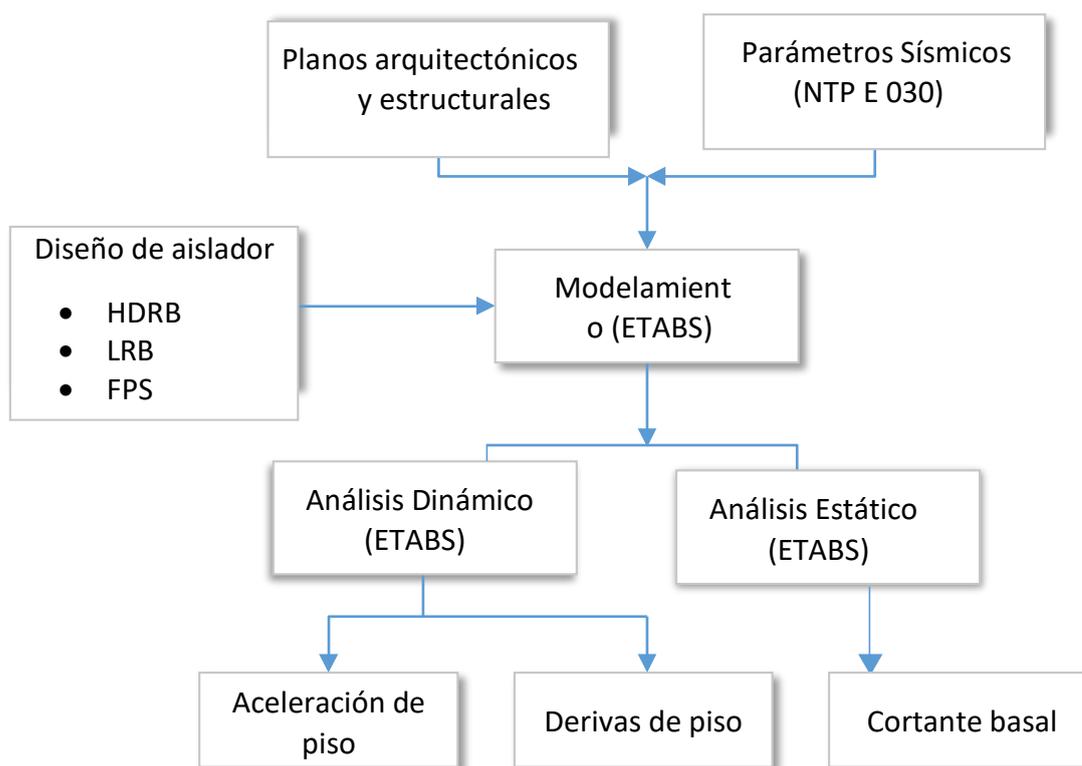
La investigación a realizar es experimental con diseño cuasi experimental, por lo tanto, se empleará Inferencia estadística, en la cual, primeramente, se realizará una prueba de hipótesis, para probar la normalidad de los datos, empleando el método de Shapirowilk, ya que se obtendrá menos de 30 datos.

### 2.3.1.4. Técnica de análisis de datos

Para determinar la influencia de la variable independiente (aisladores sísmicos) sobre la variable dependiente (factores de desempeño sísmico) se emplearán la prueba de T de Student, ya que se cuenta con variables numéricas (VD) y nominales (VI).

### 2.3.2. Para procesar datos.

En la Figura 3.1 se muestra el esquema resumen donde se muestran los pasos que se seguirá para llevar a cabo la investigación y obtener los resultados de interés.



**Figura 3.1.** Esquema del procedimiento experimental.

**Elaboración:** Propia.

### 2.3.2.1. Descripción de la Edificación

Se describirá a la edificación en base a los planos arquitectónicos y estructurales de la edificación.

### 2.3.2.2. Descripción de la arquitectura.

Descripción de los ambientes y sus usos, área en planta, número de pisos, altura de entrepiso

Además, se debe tener en cuenta los accesos, ascensores y escaleras, cada uno con su respectiva ubicación.

### 2.3.2.3. Descripción de la estructura:

Se describirá el sistema estructural de la edificación de acuerdo a la NTP E030, indicando las propiedades de los materiales de cada elemento. Además, se describirá la simetría e irregularidades, tanto en planta como en altura.

También se describe la distribución de todos los elementos (vigas, columnas y losas) y su función que cumplen en la edificación.

### 2.3.2.4. Parámetros sísmicos (NTP E030)

Se obtendrá los parámetros sísmicos necesarios para realizar en análisis dinámico posteriormente, de acuerdo a la NTP E030. Entre estos parámetros sísmicos a tener en cuenta están:

- **Factor de zona (Z):** Se obtiene conociendo la ubicación exacta de la edificación y designándole un factor  $Z$ , el cual representa la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% y de ser excedida en 50 años.
- **Factor de uso (U):** Clasificar la edificación de acuerdo a las categorías que da la NPT E030 y asignarle un factor  $U$ .

- **Factor de suelo (S): Teniendo** definida el tipo de suelo sobre la cual esta cimentada la edificación y la ubicación de esta, se le asignara un factor S.
- **Factor de amplificación dinámica (C): De acuerdo** al tipo de suelo se le asigna un periodo ( $T_p$ ), la cual será necesario para calcular el factor C.
- **Coefficiente de reducción sísmica (R):** Teniendo definido el tipo de sistema estructural de la edificación, se le asigna un factor R, el cual será multiplicado por coeficientes de acuerdo al tipo de irregularidad que presente la edificación.

#### 2.3.2.5. Modelamiento estructural de edificio no aislado

En el software ETABS se desarrollará un modelo tridimensional de la edificación donde se considera que todos los elementos admiten deformación por flexión, fuerza cortante y carga axial.

Primeramente, se designa los ejes idealizados en las tres direcciones: X, Y y Z, los cuales representan luces entre eje de elementos y altura de entrepiso de eje de viga a eje de viga del piso inmediato superior.

Después de añade los materiales que estarán compuestos los elementos estructurales, teniendo en cuenta: Peso volumétrico, resistencia, coeficiente de poisson, entre otros.

Luego se crearán los elementos estructurales, teniendo en cuenta que, las vigas se representan como elementos unidireccionales con rigidez torsional nula, mientras que las columnas y placas se representan como elementos bidimensionales y las losas se representan como elementos Shell. Posterior a ello, se designan los elementos creados a su posición correspondiente.

Luego de tener ubicados todos los elementos se crean los casos de carga que se usaran en el modelamiento (tanto para carga viva, peso propio y acabados).

Como carga viva se considera una sobrecarga de  $300 \text{ kg/m}^2$  en salas de operaciones, laboratorio y zonas de servicio; una sobrecarga de  $200 \text{ kg/m}^2$  en

cuartos; una sobrecarga de  $400 \text{ kg/m}^2$  en corredores y escaleras; y una sobrecarga de  $100 \text{ kg/m}^2$  en azoteas. En acabados se considerará una carga de  $100 \text{ kg/m}^2$ .

Para el cálculo del peso de la edificación se considerará una participación del 100% del peso propio y cargas muertas, y del 50% de la carga viva por ser edificación esencial.

#### **2.3.2.6. Diseño de aisladores sísmicos**

En el diseño de los aisladores sísmicos se debe tener en cuenta que los aisladores deben soportar carga de gravedad en servicio de la edificación durante toda su vida.

Para la investigación se seguirá los siguientes pasos para el diseño de los aisladores (Mayes & Naeim, 2001):

- Determinar el tamaño mínimo necesario y la ubicación de los aisladores bajo cargas máximas de gravedad.
- Calcular las dimensiones de los aisladores, teniendo en cuenta el periodo deseado para la reducción de las fuerzas sísmicas.
- Determinar el coeficiente de amortiguamiento del aislador, con la finalidad de controlar los desplazamientos de la estructura dentro de los límites de diseño bajo cargas de viento.
- Comprobar el funcionamiento de los aisladores bajo cargas de servicio de gravedad, viento, sísmicas y otras consideraciones posibles.

Siguiendo estos pasos, se diseñó los tres tipos de aisladores sísmicos empleados en esta investigación, las cuales son: Aisladores de caucho de alto amortiguamiento (HDRB), aisladores con núcleo de plomo (LRB) y aisladores de péndulo de fricción (FPS).

### **2.3.2.7. Modelamiento estructural de edificio aislado**

El modelamiento estructural de los edificios aislados también se realizará en el software ETABS, siguiendo los pasos descritos en el modelamiento del edificio no aislado, con la diferencia que se añadirá el modelamiento de los aisladores. Los aisladores se modelarán como elementos N-LINK, el cual se utiliza para modelar las no linealidades estructurales.

Para cada tipo de aislador se modelo una edificación aislada, donde se ingresarán los parámetros determinados en el diseño de los aisladores.

### **2.3.2.8. Análisis Dinámico de la edificación**

El análisis dinámico se realizó en el mismo software ETABS, para lo cual, primeramente, se ingresó los parámetros sísmicos ya definidos anteriormente. Al correr el programa se muestran los resultados del análisis. Este procedimiento se realiza para todos los modelos realizados (edificación no aislada y edificaciones aisladas con los tres tipos de aisladores).

### **2.3.2.9. Cálculos y resultados de la edificación**

Los resultados cuantitativos de interés en esta edificación son la aceleración del piso superior, las derivas de piso y la fuerza cortante en la base.

#### **a. Aceleración de piso**

Esta variable es de suma importante porque permite que la edificación desarrolle una medida de confort humano, las cuales son la principal causa de daño de los elementos no estructurales y equipos sensibles dentro de la edificación.

#### **b. Derivas de piso**

Las derivas de piso son la principal causa de los daños estructurales y no estructurales de la edificación

#### **c. Cortante basal**

La cortante basal permite estimar las dimensiones de las secciones transversales de los principales elementos resistentes a las fuerzas de sismo aplicada a la edificación.

#### 2.4. Operacionalización de variables.

Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems
dependiente	Conceptual	operacional			
<b>Factores de desempeño sísmico</b>	Elementos que describen el comportamiento que tendrá una edificación al ocurrir un terremoto.	Comportamiento sísmico de una edificación, expresado cuantitativamente a través de aceleraciones, derivas y fuerza cortante, los cuales se medirán a partir de un análisis sísmico computacional en el software ETABS.	Aceleración de piso	Función a la aceleración de la gravedad	Análisis dinámico ETABS
			Derivas	Desplazamiento relativos entre la altura de entre piso	Análisis dinámico ETABS
			Cortante basal	Fuerza en toneladas	Análisis dinámico ETABS

### III. RESULTADOS.

#### 3.1. Resultados de desempeño sísmico

Del análisis dinámico tiempo historia realizado en el software ETABS, como ya se mencionó antes, las variables principales que se han considerado en este estudio son: Derivas de entrepiso, aceleración del piso superior y la cortante basal.

Tabla 4.1 Derivas obtenidas del análisis tiempo historia del edificio sin aislamiento y con aislamiento para cada caso de registro sísmico.

Registro sísmico		Derivas		
Lugar/Año	Edificio sin aislamiento	Edificio aislado		
		HDRB	LRB	FPS
Ancash 1970	0,00102	0,00021	0,00015	0,00009
Lima 1974	0,00210	0,00088	0,00082	0,00012
Callao 1966	0,00495	0,00125	0,00108	0,00045
Maule	0,00970	0,00305	0,00370	0,00120
Newhall	0,02380	0,00371	0,00322	0,00081
Lucerne	0,00136	0,00032	0,00029	0,00024

Tabla 4.2 Aceleraciones obtenidas del análisis tiempo historia del edificio sin aislamiento y con aislamiento para cada caso de registro sísmico.

Registro sísmico		Aceleraciones (m/s <sup>2</sup> )		
Lugar/Año	Edificio sin aislamiento	Edificio aislado		
		HDRB	LRB	FPS
Ancash 1970	10,61	1,34	1,17	0,15
Lima 1974	12,65	5,55	3,85	0,18
Callao 1966	17,11	3,28	3,62	0,85
Maule	18,17	6,91	6,64	2,61
Newhall	44,81	12,68	11,45	1,87
Lucerne	30,33	3,10	2,25	0,54

Tabla 4.3 Aceleraciones obtenidas del análisis tiempo historia del edificio sin aislamiento y con aislamiento para cada caso de registro sísmico.

Registro sísmico	Cortante basal (tonf)			
	Edificio sin aislamiento	Edificio aislado		
		HDRB	LRB	FPS
Ancash 1970	1009,15	93,64	56,74	85,10
Lima 1974	386,55	158,64	131,81	8,74
Callao 1966	882,21	138,96	116,14	93,55
Maule	1687,70	613,03	743,75	316,21
Newhall	3784,48	355,51	428,90	187,69
Lucerne	1733,02	248,30	292,52	328,30

### 3.2. Prueba de normalidad

En el software SPSS se realizó una prueba de normalidad por cada variable de desempeño sísmico en estudio (derivadas del último piso, aceleración del último piso y cortante basal del último piso), en donde se tuvo seis muestras por cada grupo de estudio.

Tabla 4.4 Prueba de normalidad para las derivadas.

Tipo de aislador	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sin aislador	0,266	6	0,200*	0,772	6	0,052
HDRB	0,253	6	0,200*	0,864	6	0,204
LRB	0,286	6	0,137	0,835	6	0,119
FPS	0,211	6	0,200*	0,886	6	0,299

Tabla 4.5

Prueba de normalidad para las aceleraciones del último piso.

Tipo de aislador	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sin aislador	0,291	6	0,123	0,866	6	0,210
HDRB	0,207	6	0,200*	0,899	6	0,368
LRB	0,270	6	0,195	0,888	6	0,310
FPS	0,240	6	0,200*	0,873	6	0,239

**Tabla 4.6**

Prueba de normalidad para la cortante basal.

Tipo de aislador	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sin aislador	0,283	6	0,146	0,865	6	0,206
HDRB	0,215	6	0,200*	0,871	6	0,231
LRB	0,236	6	0,200*	0,883	6	0,284
FPS	0,220	6	0,200*	0,905	6	0,404

### 3.3. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis también se realizó en el software SPSS, obteniendo como resultados lo siguiente:

Tabla 4.7 Prueba de ANOVA para la variable Derivas de entrepiso.

ANOVA					
Derivas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	3	,000	2,679	,045
Dentro de grupos	,000	20	,000		
Total	,001	23			

**Tabla 4.8**

Prueba de ANOVA para la variable Aceleración.

ANOVA					
Aceleraciones					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1609,277	3	536,426	10,717	,000
Dentro de grupos	1001,032	20	50,052		
Total	2610,309	23			

Tabla 4.9 Prueba de ANOVA para la variable Cortante Basal.

ANOVA					
Cortante basal					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8086537,174	3	2695512,391	6,967	,002
Dentro de grupos	7738460,694	20	386923,035		
Total	15824997,868	23			

### 3.4. Prueba Post hoc

Se realizó una prueba Post hoc también en el software SPSS para determinar el grado de influencia de cada aislador sobre las variables en estudio del edificio.

Tabla 4.10 Prueba de TUKEY para la variable Derivas.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Derivas						
HSD Tukey						
(I) Tipo de aislador	(J) Tipo de aislador	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Sin aislador	HDRB	,00558500	,00260963	,175	-,0017192	,0128892
	LRB	,00561167	,00260963	,172	-,0016925	,0129158
	FPS	,00667000	,00260963	,081	-,0006342	,0139742
HDRB	Sin aislador	-,00558500	,00260963	,175	-,0128892	,0017192
	LRB	,00002667	,00260963	1,000	-,0072775	,0073308
	FPS	,00108500	,00260963	,975	-,0062192	,0083892
LRB	Sin aislador	-,00561167	,00260963	,172	-,0129158	,0016925
	HDRB	-,00002667	,00260963	1,000	-,0073308	,0072775
	FPS	,00105833	,00260963	,977	-,0062458	,0083625
FPS	Sin aislador	-,00667000	,00260963	,081	-,0139742	,0006342

Tabla 4.11 Prueba de TUKEY para la variable Aceleraciones.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Aceleraciones						
HSD Tukey						
(I) Tipo de aislador	(J) Tipo de aislador	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Sin aislador	HDRB	16,80333*	4,08459	,003	5,3708	28,2358
	LRB	17,45000*	4,08459	,002	6,0175	28,8825
	FPS	21,24667*	4,08459	,000	9,8142	32,6792
HDRB	Sin aislador	-16,80333*	4,08459	,003	-28,2358	-5,3708
	LRB	,64667	4,08459	,999	-10,7858	12,0792
	FPS	4,44333	4,08459	,701	-6,9892	15,8758
LRB	Sin aislador	-17,45000*	4,08459	,002	-28,8825	-6,0175
	HDRB	-,64667	4,08459	,999	-12,0792	10,7858
	FPS	3,79667	4,08459	,790	-7,6358	15,2292
FPS	Sin aislador	-21,24667*	4,08459	,000	-32,6792	-9,8142
	HDRB	-4,44333	4,08459	,701	-15,8758	6,9892
	LRB	-3,79667	4,08459	,790	-15,2292	7,6358

Tabla 4.12 Prueba de TUKEY para la variable Cortante basal

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Cortante basal						
HSD Tukey						
(I) Tipo de aislador	(J) Tipo de aislador	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Sin aislador	HDRB	1312,50500 <sup>*</sup>	359,12998	,008	307,3231	2317,6869
	LRB	1285,54167 <sup>*</sup>	359,12998	,009	280,3597	2290,7236
	FPS	1410,58667 <sup>*</sup>	359,12998	,004	405,4047	2415,7686
HDRB	Sin aislador	-1312,50500 <sup>*</sup>	359,12998	,008	-2317,6869	-307,3231
	LRB	-26,96333	359,12998	1,000	-1032,1453	978,2186
	FPS	98,08167	359,12998	,993	-907,1003	1103,2636
LRB	Sin aislador	-1285,54167 <sup>*</sup>	359,12998	,009	-2290,7236	-280,3597
	HDRB	26,96333	359,12998	1,000	-978,2186	1032,1453
	FPS	125,04500	359,12998	,985	-880,1369	1130,2269
FPS	Sin aislador	-1410,58667 <sup>*</sup>	359,12998	,004	-2415,7686	-405,4047
	HDRB	-98,08167	359,12998	,993	-1103,2636	907,1003
	LRB	-125,04500	359,12998	,985	-1130,2269	880,1369

En las siguientes figuras se muestra específicamente la influencia de cada aislador respecto a un sistema sin aislamiento.

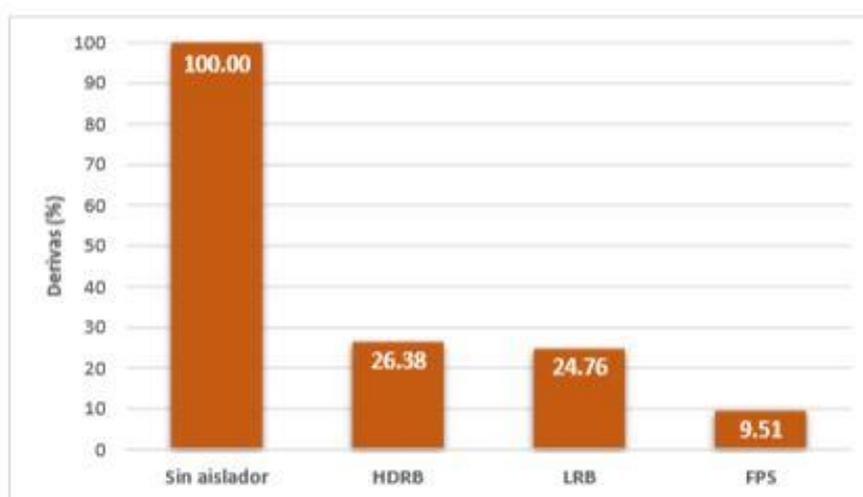
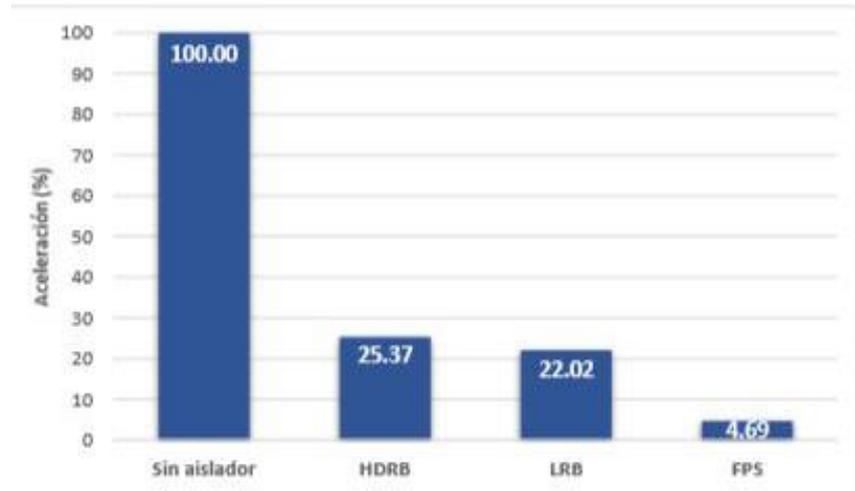
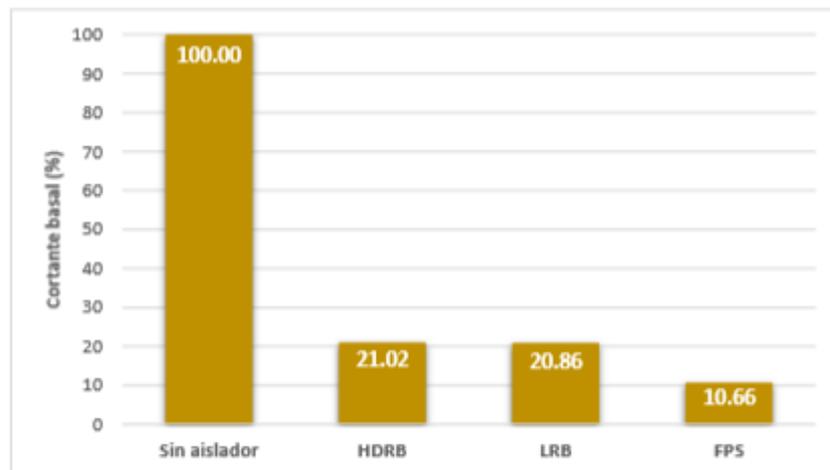


Figura 5.1. Porcentaje de deriva promedio de cada aislador  
Elaboración: Propia



**Figura 5.2.** Porcentaje de aceleración promedio de cada aislador.  
**Elaboración:** Propia



**Figura 5.3.** Porcentaje de cortante basal promedio de cada aislador.  
**Elaboración:** Propia

#### IV. DISCUSIÓN.

Del análisis de normalidad con la prueba Shapiro-Wilk, ya que se tiene menos de 30 muestras, se obtuvo que la significancia para los cuatro grupos de análisis es mayor a 0.05; por lo tanto, los datos son normales (tablas 4.4, 4.5 y 4.6 para cada variable en estudio).

Luego de probar la normalidad de los datos, se realizó un análisis ANOVA de un factor, ya que se trabajó con más de dos grupos independientes, tal como se muestra en las tablas 4.7, 4.8 y 4.9. En estas tablas se observa que la significancia es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, aceptando que el uso de aisladores sísmicos si influye en los factores de desempeño sísmico del edificio en estudio.

Las tablas 4.10, 4.11 y 4.12 muestra las pruebas Post hoc, específicamente la prueba de Tukey, la cual nos permite determinar cuál de los tres tipos de aisladores empleados influye más en los factores de desempeño sísmicos. Se determinó que los tres aisladores tienen influencia en las variables, pero el aislador que presenta mayor influencia, reduce más significativamente las derivas, aceleraciones y cortante basal, es el FPS.

Las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 muestra gráficamente la influencia de cada aislador sobre cada factor de desempeño sísmico. Teniendo como resultados que:

El sistema aislado con los aisladores HDRB reduce en un 73.62% las derivas de entrepiso, el sistema con aisladores LRB reduce en un 75.24% las derivas de entre piso y el sistema con aisladores FPS reduce en un 90.49% las derivas de entre piso; siendo este último el más eficiente.

El sistema aislado con los aisladores HDRB reduce en un 74.63% las aceleraciones, el sistema con aisladores LRB reduce en un 77.98% las aceleraciones y el sistema con aisladores FPS reduce en un 95.31% las aceleraciones; siendo este último el más eficiente.

El sistema aislado con los aisladores HDRB reduce en un 78.98% la cortante basal, el sistema con aisladores LRB reduce en un 79.14% la cortante basal y el sistema con aisladores FPS reduce en un 89.34% la cortante basal; siendo este último el más eficiente.

## V. CONCLUSIONES

Se determinó la influencia de los tipos de aisladores sísmicos en los factores de desempeño sísmico de mediante un análisis dinámico tiempo historia de cuatro tipos de aisladores sísmicos en los factores de desempeño sísmico de una edificación de concreto armado, pudiendo concluir lo siguiente:

Para el factor desempeño de la deriva de entre piso de la edificación sin aislamiento, haciendo uso de un sistema aislado con HDRB se logra reducir este factor en un 73.62%, cuando se utiliza un sistema aislado con LRB se logra reducir en un 75.24% y cuando se utiliza un sistema aislado con FPS se reduce en un 90.49%.

Se explicó el procedimiento de diseño de los aisladores sísmicos tipo HDRB y LRB y FPS para el factor de desempeño de la aceleración del piso superior de la edificación sin aislamiento, haciendo uso de un sistema aislado con HDRB se logra reducir este factor en un 74.63%, cuando se utiliza un sistema aislado con LRB se logra reducir en un 77.98% y cuando se utiliza un sistema aislado con FPS se reduce en un 95.31%.

Para el factor de desempeño de la cortante basal de la edificación sin aislamiento, haciendo uso de un sistema aislado con HDRB se logra reducir este factor en un 78.98%, cuando se utiliza un sistema aislado con LRB se logra reducir en un 79.14% y cuando se utiliza un sistema aislado con FPS se reduce en un 89.34%.

Además, se realizó el diseño de los tres tipos de aisladores sísmicos empleados en esta investigación, siguiendo el procedimiento indicado por Mayes & Naeim (2001), distinguiendo gran similitud en el diseño de un aislador HDRB y un aislador LRB, siendo la única diferencia el diseño del núcleo de plomo de este último aislador; es por ellos que la diferencias en los resultados entre ambos aisladores es mínima.

Se modeló una edificación sin aislamiento y con aislamiento en el software computacional ETABS, a partir del cual se obtuvo todos los resultados de factores

de desempeño sometidos a varios registros sísmicos, tanto nacionales como mundiales.

Se calculó y se comparó la deriva de pisos, aceleración de piso y cortante basal en una edificación sin aislamiento y con aislamiento en la base

Finalmente, concluimos que, de los tres tipos de aisladores empleados en la investigación, el aislador más efectivo es el FPS, ya que reduce los factores de desempeño sísmico en un 90% aproximadamente.

## VI. RECOMENDACIONES.

Para futuras investigaciones se podría realizar un análisis de un edificio aislado considerando el comportamiento histerético que tendría el sistema aislado en comparación con el sistema no aislado y determinar la cantidad de energía que logra disipar los aisladores sísmicos.

De igual manera, se podría ampliar la investigación realizando el diseño de un edificio aislado y compararlo con el diseño de un edificio no aislado, ya que como se comprobó en esta investigación, el uso de aisladores sísmicos reduce la cortante basal de la estructura, por ende, también se reduciría los momentos y cortantes en los elementos estructurales, luego conllevaría a un diseño diferente.

Para los proyectistas y contratistas, antes de implementar el uso de aisladores sísmicos en una edificación, se debería realizar un análisis costo-beneficio de cada tipo de aislador, para luego seleccionar el aislador más efectivo, no solo en el comportamiento sísmico, sino también el costo total de la edificación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Agencias. (23 de febrero de 2017). *Edificios con protección sísmica desarrollada en Chile suben de 13 a 112 desde el 27-F*. Publimetro. Recuperado de <https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2017/02/23/edificios-proteccion-sismicasuben-13-112-27-f-revisa-listado.html>
- Angulo, W. (26 de septiembre de 2017). *Capeco: El 70% de viviendas en Lima son informales y vulnerables a un terremoto*. RPP Noticias. Recuperado de <http://rpp.pe/economia/economia/capeco-el-70-de-viviendas-en-lima-sonconstruidas-sin-normas-tecnicas-noticia-1078934>
- Bharti, S. D., Dumne, S. M., & Shrimali, M. K. (2010). *Seismic response analysis of adjacent buildings connected with MR dampers*. Engineering Structures, 32, 2122-2133. doi:10.1016/j.engstruct.2010.03.015
- Bitca, D., Ursu, E., & Ioan, P. (2015). *Seismic base isolators for a silo supporting structure*. Mathematical Modelling in Civil Engineering, 11(2), 1 - 9. doi:10.1515/mmce-20150006
- Chávez, P. B. (18 de marzo de 2014). *Riesgo de sismos fuertes es mayor en tres zonas de la costa*. El Comercio. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/riesgo-sismosfuertes-mayor-tres-zonas-costa-302626>
- Davila, M. F. (10 de noviembre de 2017). *Terremoto en México: la historia se repite 32 años después*. United Explanations. Recuperado de <http://www.unitedexplanations.org/2017/11/10/terremoto-en-mexico-la-historia-serepite-32-anos-despues/>
- EMB Construcción. (mayo de 2012). *“Los sistemas de aislación sísmica resuelven uno de los grandes problemas de la humanidad”*. Revista EMB Construcción. Recuperado de <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=69&tip=5&xit=los-sistemasde-aislacion-sismica-resuelven-uno-de-los-grandes-problemas-de-la-humanidad#>

- Falconí, R., Almazán, J., Dechent, P., & Suárez, V. (2008). *Aisladores de base Elastómericos y FPS*. Quito, Ecuador: CEINCI ESPE.
- Ferj, M. S. (2016). *Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados y convencionales a través de una análisis de fragilidad*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- Guerrero, T. (23 de marzo de 2011). *Los edificios japoneses, los mejor preparados para resistir un seísmo*. El Mundo. Recuperado de <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/03/21/ciencia/1300706112.html>
- Kelly, T. (2001). *Base Isolation of Structures. Wllington, Nueva Zelanda: Holmes Consulting Group*.
- Lafontaine, M. A. (2008). *Uso de Disipadores Magnetoreológicos en un Edificio con Aislación*. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103296>
- Mayes, R., & Naeim, F. (2001). *Design of Structures with Seismic Isolation. En F. Naeim, The Seismic Design Handbook* (págs. 723-733). Nueva York: Springer.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Norma Técnica E 030 "Diseño Sismorresistente"*. Lima: Diario Oficial El Peruano.
- MINSA & INDECI. (1998). *Proyecto de la vulnerabilidad sísmica en hospitales del Perú, Hospital Regional Docente de Trujillo*.
- Naeim, F., & Kelly, J. (1999). *Design of Seismic Isolated Structures*. Canada: Wiley.
- Pauletta, M., Di Luca, D., Russo, E., & Fumo, C. (2018). *Seismic rehabilitation of cultural heritage masonry buildings with unbonded fiber reinforced elastomeric isolators (UFREIs) – A case of study*. Journal of Culture Heritage, 32, 84 - 97.  
doi:10.1016/j.culher.2017.09.015
- Pérez, L., Avila, S., & Doz, G. (2017). *Experimental study of the seismic response of coupled buildings models*. Procedia Engineering, 199, 1767-1772.  
doi:10.1016/j.proeng.2017.09.445

- Perú 21. (20 de setiembre de 2017). *El norte teme terremoto de gran magnitud*. Perú 21. Recuperado de <https://peru21.pe/peru/norte-alerta-terremoto-gran-magnitud-376836>
- Poch, A. (17 de marzo de 2011). *ESPECIAL JAPÓN: los sistemas de seguridad contra terremotos y tsunamis en Japón*. United Explanations. Recuperado de <http://www.unitedexplanations.org/2011/03/17/especial-japon-los-sistemas-deseguridad-contra-terremotos-y-tsunamis-en-japon/>
- RPP Noticias. (9 de abril de 2014). *Trujillo: 80 % de viviendas autoconstruidas podrían colapsar por sismos*. RPP Noticias. Recuperado de <http://rpp.pe/peru/actualidad/trujillo-80-de-viviendas-autoconstruidas-podriancolapsar-por-sismos-noticia-683365>
- Ruiz, P. W. (2017). *Análisis y diseño de edificios con aisladores sísmicos de péndulo friccional doble y triple*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Sánchez, V. (23 de noviembre de 2017). *La tecnología antisísmica que México necesita*. Conacyt. Recuperado de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/reportajesespeciales/19034-la-lecciones-que-deja-el-sismo-del-pasado-19-de-septiembre>
- Skinner, I., Robinson, W., & McVerry, G. (1993). *An Introduction to Seismic Isolation*. Chichester, Inglaterra: Wiley.
- Talavera, A. (2017). *Experiencia nacional en edificaciones con sistemas de protección sísmica*.
- Valerio, J. J. (2015). *Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Wang, W., Wang, Y., & Lu, Z. (2018). *Experimental study on seismic behavior of steel plate reinforced concrete composite shear wall*. *Engineering Structures*, 160, 281-292. doi:10.1016/j.engstruct.2018.01.050

Yucra, M. E. (2018). *Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados en el Perú.*

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima

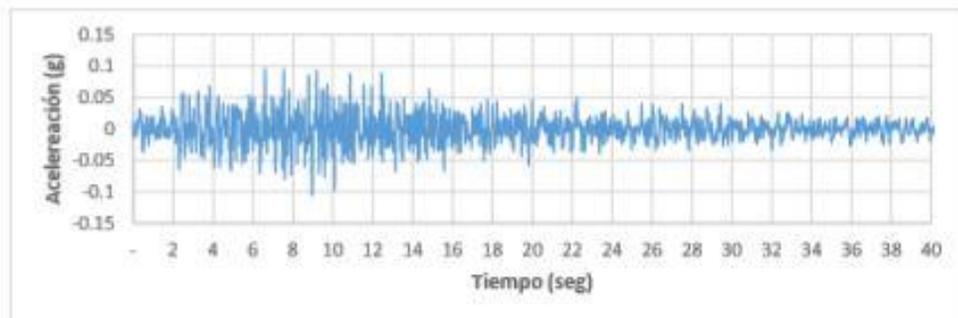


ANEXO N°02: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>¿De qué manera influye los tipos de aisladores sísmicos en los factores de desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en la ciudad de Trujillo?</p> <p>De acuerdo a los especialistas, en la ciudad de Trujillo, aproximadamente el 70% de las edificaciones están en peligro de colapso ante un terremoto de gran magnitud, incluyendo edificaciones esenciales como hospitales, colegios, entre otros; los cuales deben de permanecer</p>	<p><b>O. General:</b> Determinar la influencia de los tipos de aisladores sísmicos en los factores de desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en la ciudad de Trujillo, mediante el modelamiento de la edificación con dos tipos de aisladores sísmicos, con la finalidad de que la edificación se mantenga operativa luego de un terremoto de gran magnitud</p> <p><b>O. Específicos:</b>            ✓ Explicar el procedimiento de diseño de los aisladores sísmicos</p>	<p>(Valerio, 2015) en su tesis titulada "Análisis comparativo de un edificio fijo en base versus un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos"</p> <p>(Pauletta, Di Luca, Russo, &amp; Fumo, 2018) en su investigación titulada "Seismic rehabilitation of cultural heritage masonry buildings with unbonded fiber reinforced elastomeric isolators (U-FREIs)"</p> <p>(Yucra, 2018) en su tesis "Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados en el Perú"</p>	<p>El empleo de tipos de aisladores sísmicos en el diseño de una edificación de concreto armado en la ciudad de Trujillo, mejorará su desempeño sísmico, reduciendo las derivas de piso, la aceleración de piso y la cortante basal.</p> <p><b>Hipótesis específica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El aislador HDRB mejorará los factores de desempeño sísmico de edificaciones de concreto armado en un 75%.</li> </ul>	<p><b>1) V. Dependiente:</b> Factores de desempeño sísmico.</p> <p><b>Dimensiones.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aceleración de piso.</li> <li>Derivas.</li> <li>Cortante basal.</li> </ul> <p><b>2) Tratamiento</b> Tipos de aisladores sísmicos.</p>	<p><b>Diseño de investigación:</b> Pre experimental</p> <p><b>Unidad de estudio:</b> Edificación de concreto armado.</p> <p><b>Población:</b> Todas las edificaciones de concreto armado de Trujillo.</p> <p><b>Muestra:</b> Edificación de concreto armado.</p> <p><b>Técnica e instrumento de recolección de datos:</b> <b>Técnica:</b> Observación.</p>

<p>operativos luego de un movimiento sísmico para que se puede brindar ayuda a la población afectada. Por ello, que las edificaciones esenciales deben ser diseñadas con protección antisísmica para soportar grandes movimientos sísmicos.</p>	<p>tipo HDRB y LRB y FPS.</p> <p>✓ Modelar una edificación sin aislamiento y con aislamiento en el software computacional ETABS.</p> <p>✓ Calcular y comparar la deriva de pisos, aceleración de piso y cortante basal en una edificación sin aislamiento y con aislamiento en la base.</p>	<p>(Ferj, 2016) en su tesis titulada "Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados y convencionales a través de un análisis de fragilidad"</p> <p>(Ruiz, 2017) en su tesis titulada "Análisis y diseño de edificios con aisladores sísmicos de péndulo de fricción doble y triple"</p> <p>(Bitca, Ursu y Ioan, 2017) en su investigación titulada "Seismic base isolators for a silo supporting structure"</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El aislador LRB mejorará los factores de desempeño sísmico de edificaciones de concreto armado en un 75%.</li> <li>• El aislador FPS mejorará los factores de desempeño sísmico de edificaciones de concreto armado en un 85%.</li> </ul>		<p><b>Instrumento:</b> Guía de observación.</p> <p><b>Método y técnica de análisis de datos:</b></p> <p><b>Método:</b> Inferencia estadística.</p> <p><b>Técnica:</b> T de Student.</p>
---	---	---	--	--	---

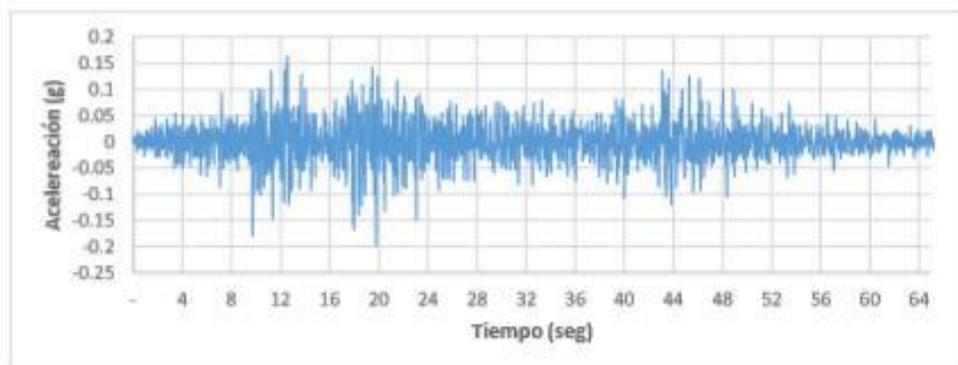
**ANEXO N°03: Registros sísmicos empleados en el análisis.**



**Figura A3.1. Acelerograma del Sismo en Ancash 1970**

**Elaboración: Propia**

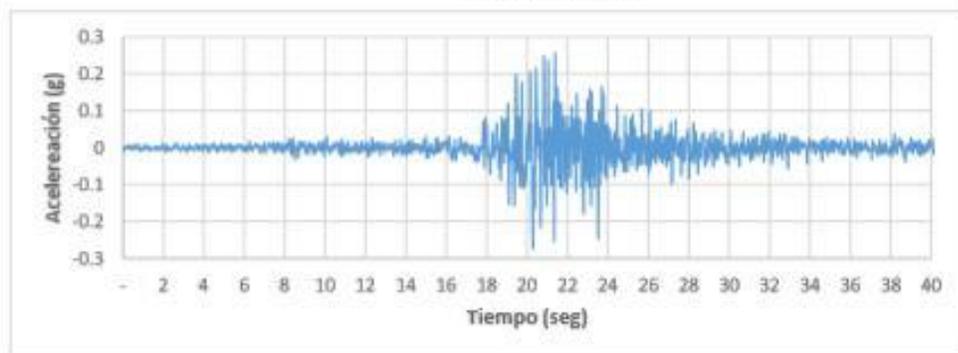
**Fuente: CISMID**



**Figura A3.2. Acelerograma del Sismo en Lima 1974**

**Elaboración: Propia**

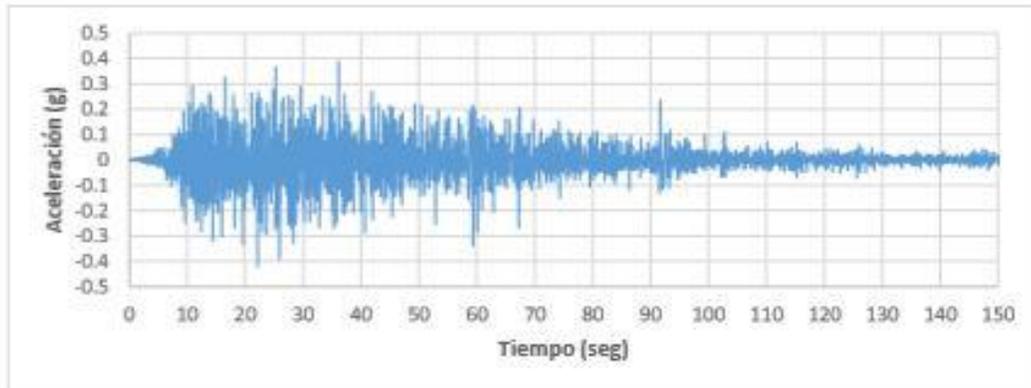
**Fuente: CISMID**



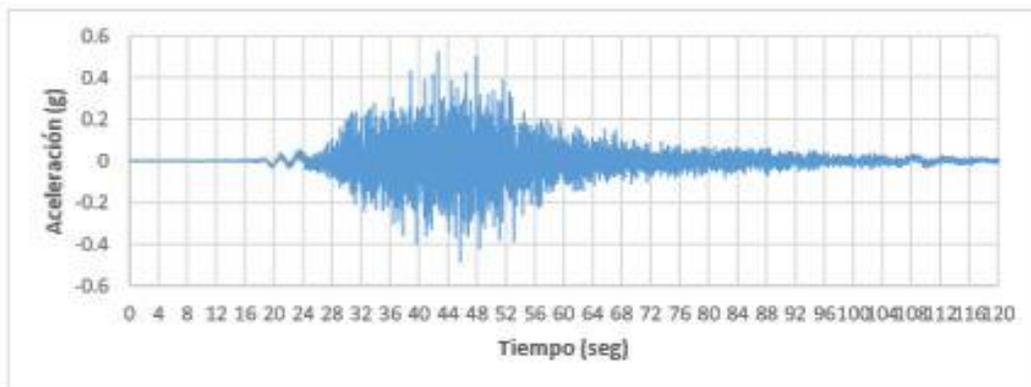
**Figura A3.3. Acelerograma del Sismo en Callao 1966**

**Elaboración: Propia**

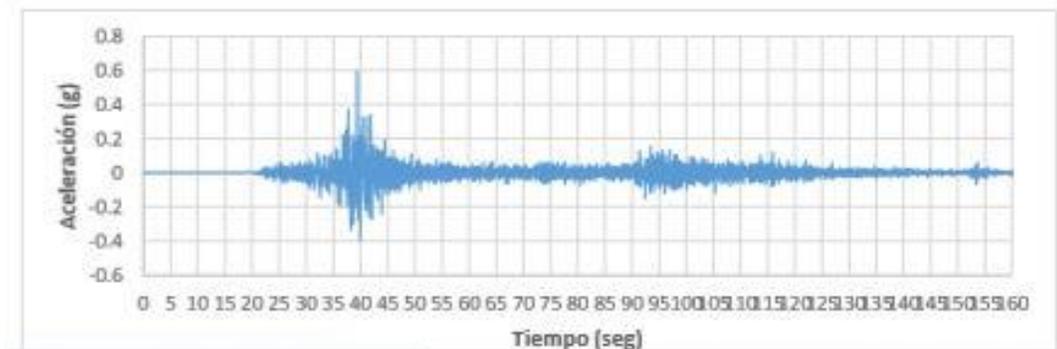
**Fuente: CISMID**



**Figura A3.4. Acelerograma del Sismos en Maule 2010**  
**Elaboración: Propia**  
**Fuente: Universidad de Chile**



**Figura A3.5. Acelerograma del Sismos en Newhall**  
**Elaboración: Propia**  
**Fuente: Peer Ground Motion Database**



**Figura A3.6. Acelerograma del Sismos en Lucerne**

**Elaboración: Propia**

**Fuente: Peer Ground Motion Database**

## ANEXO N°04: Diseño de aislador HDRB

### 4.1. Procedimiento de diseño

Las capas de caucho que constituyen el soporte de goma de alto amortiguamiento (HDR) son generalmente hechas de materiales que son altamente no lineales en términos de deformación por corte. El amortiguamiento efectivo está en el rango de 0.10 ~ 0.20 del crítico que puede ser fácilmente exhibidos por el HDR, que se logra mediante la adición de compuestos químicos especiales que pueden cambiar las propiedades del material de la goma. Como se ha indicado anteriormente, la rigidez y amortiguación del HDR necesitan ser lo suficientemente grandes para resistir el viento y los terremotos menores. En la práctica, las propiedades de rigidez y amortiguación del HDR siguen siendo bastante estables en uno o más terremotos de diseño. Por lo tanto, similar a lo que se ha llevado a cabo en la mayoría de los estudios anteriores, el HDR se supone que es elástico lineal e isótropo en este capítulo, para el propósito de diseño preliminar.

El procedimiento de diseño para el HDR se explica como sigue:

1. Especifique las condiciones del suelo para la estructura aislada. 2. Seleccione la deformación cortante de diseño  $\gamma_{max}$  y la proporción de amortiguamiento efectivo  $\xi_{eff}$  para el soporte, y el período de diseño objetivo TD para la estructura aislada. El primero puede ser obtenida directamente del proveedor de material. 3. Utilizar fórmulas de código, o análisis estático o dinámico, para determinar la rigidez horizontal efectiva  $K_{eff}$  y el desplazamiento máximo horizontal (diseño), D, del soporte. 4. Seleccione las propiedades de los materiales, incluyendo módulo de Young E y módulo de corte G, de informe de prueba del fabricante. 5. Calcular la altura total de caucho,  $t_r$ , en el soporte de acuerdo con el desplazamiento de diseño D y la deformación cortante de diseño  $\gamma_{max}$ :

$t_r =$

$D \gamma_{max}$

(A4.1)

6. Calcular el área efectiva  $A$  y el espesor  $t$  de las capas de caucho individuales. a.

Seleccione el factor de forma  $S$  bajo ninguna condición de balanceo:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{E_c \frac{A}{T_r}}{K_h \frac{A}{T_r}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E(1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \text{ Para } S > 10 \quad (A3.2)$$

Dónde:

$K_v$ = Rigidez vertical del soporte

$K_h$ = Rigidez horizontal del soporte

$G$ = Modulo cortante, en el rango de 0,4 a 1,0 Mpa

$E$ = Modulo de Young, en el rango de 1,5 a 5,0 Mpa

$E_c$ = Modulo de compresión de la composición caucho-acero,

$$E_c = E + (1 + 2kS^2)$$

$A$ = área de la sección transversal completa (área cargada) del soporte.

$T_r$ = altura total de las capas de caucho

$K$ = factor de modificación, en el rango de 1 a 0,5

$S$ = factor de forma=  $A/A_f$  [Kelly, 1993]

$A_f$ = zona libre de carga alrededor del soporte (figura A4.2)

En la ecuación A3.2, la relación de rigidez  $K_v/K_h$  es necesario que sea mayor que 400 para  $S > 10$ , para que los efectos en P- $\delta$  sean ignorados en el cálculo de la rigidez horizontal  $K_h$ .

b. Determinar el área de sección transversal efectiva  $A_0$  del soporte basado en la tensión admisible  $\sigma_c$  para el caso de carga vertical PDL+LL:

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 80 \text{ kg/cm}^2 \quad (A4.3)$$

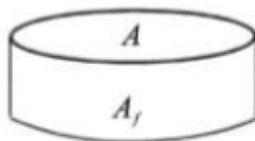


Figura A4.1. Área de carga libre  $A_f$

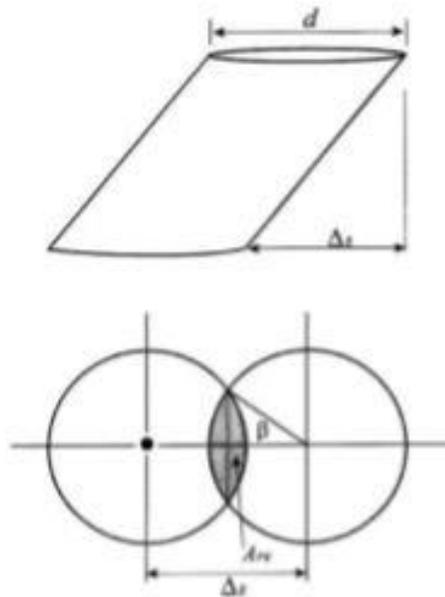


Figura A4.2. Área de la sección transversal reducida para soportes circulares.

- c. Determinar el área de sección transversal efectiva  $A_1$  del soporte desde la deformación por esfuerzo cortante debido a la carga vertical PDL+LL :

$$\gamma_{C_{DL+LL}} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\epsilon_b}{3} \quad (A4.4)$$

Donde  $\epsilon_b$  es la elongación del caucho a la rotura. El límite de  $\epsilon_b / 3$  se selecciona de acuerdo con la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte [1983] Guía de Especificaciones.

- d. Obtener el área de sección transversal mínima  $A_{sf}$  por falla de corte del soporte:

$$A_{sf} = \frac{K_{eff} t_r}{G} \quad (A4.5)$$

Usar  $A_{sf}$  para determinar las dimensiones del soporte. Entonces calcular el área de la sección transversal efectiva  $A_2$  como el área reducida  $A_{re}$  dada a continuación (ver figura A4.2):

$$A_{ve} = L(B - \Delta_s) \text{ Para soportes rectangulares} \quad (A4.6)$$

$$A_{ve} = \frac{d^2}{4} (\beta - \text{sen}\beta) \text{ Para soportes rectangulares} \quad (A4.7)$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left( \frac{\Delta_s}{d} \right) \quad (A4.8)$$

Donde

L, B = dimensiones en planta del soporte perpendicular y paralela a los de desplazamientos, respectivamente.

$\Delta_s$  = Desplazamiento horizontal del soporte.

- e. El diseño de la sección transversal del área A del soporte es el máximo de los tres valores calculados: A0, A1 y A2.
  - f. Seleccionar las dimensiones adecuadas para la capa de caucho basado en el diseño del área de la sección transversal A.
7. Espesor de capa única, t, y el número de capas de caucho, N:
- a. Utilice el factor de forma S y las dimensiones de la capa de caucho para determinar el espesor de la capa de caucho individual, t:

$$S = \frac{LB}{2(L + B)t} \text{ Para un soporte rectangular} \quad (A4.9)$$

$$S = \frac{\pi d^2/4}{\pi dt} = \frac{d}{4t} \text{ Para un soporte rectangular} \quad (A4.10)$$

Dónde:

L, B = Dimensiones en planta de un soporte rectangular ( $L \leq B$ )

d = diámetro de un soporte circular

t = espesor individual de la capa de caucho

- b. Usar  $t_r = N \cdot t$  para determinar el número requerido de capas de caucho, N.

8. Espesor de la placa de acero,  $t_s$ :

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1})P_{DL+LL}}{A_{re}F_s} \geq 2mm \quad (A4.11)$$

Dónde:

$t_i, t_{i+1}$  = espesor de la capa de caucho arriba y debajo de la placa de acero.

$F_s = 0,6 F_y$

$F_y$  = resistencia a la fluencia de las placas de acero (274.4 MN/m<sup>2</sup>)

$A_{re}$  = área de la sección transversal reducida del soporte bajo el desplazamiento horizontal.

9. Todos los parámetros determinados para el soporte deben ser revisados bajo esfuerzo cortante y condiciones de estabilidad que figuran a continuación. Si estos requisitos no se pueden satisfacer, repita los pasos del 2 al 8 para un mejor diseño.

#### 4.2. Condiciones de esfuerzo cortante y estabilidad para HDRB

1. Las capas de caucho seleccionados deben satisfacer el requisito de esfuerzo cortante bajo la carga vertical  $P_{DL+LL}$ :

$$\gamma_{c_{DL+LL}} = 6S\varepsilon_c = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \quad (A4.12)$$

Donde la resistencia a compresión  $\varepsilon_c$  es:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta C}{t_r} = \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \quad (A4.13)$$

$\Delta C$  = Desplazamiento a compresión del soporte.

2. Condición de estabilidad: Para evitar que el soporte se convierta en inestable, el esfuerzo a compresión promedio  $\sigma_c$  del soporte debe ser inferior a una tolerancia preestablecida:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \leq \sigma_{cr} = \frac{GSL}{2.5t_r} \quad (A4.14)$$

Donde L es la dimensión menor en planta del soporte rectangular o el diámetro d del soporte circular. Cabe señalar que las fórmulas siguientes fueron utilizadas por Naeim y Kelly [1999]:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \leq \sigma_{cr} = \begin{cases} \frac{\pi G S d}{2\sqrt{2}t_r} & \text{Para un soporte circular} \\ \frac{\pi G S L}{\sqrt{6}t_r} & \text{Para un soporte rectangular} \end{cases} \quad (A4.15)$$

3. Condiciones de esfuerzo cortante para cargas sísmicas:

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 0,75\epsilon_b \quad (A4.16)$$

Con

$$\gamma_{sc} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{E_c A_{ve}} \quad (A4.17)$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} \quad (A4.18)$$

$$\gamma_{sr} = \frac{B^2 \theta}{2tt_r} \quad (A4.19)$$

$$\theta = \frac{12D_e}{b^2 + d^2} \quad (A4.20)$$

Donde

$\gamma_{sc}$ =esfuerzo cortante bajo compresión

$P_{DL+LL+EQ}$ =Combinación de carga muerta, viva y de sismo

$\gamma_{eq}$ =Esfuerzo cortante bajo sismo

$\gamma_{sr}$ =Esfuerzo cortante bajo rotación

$\theta$ =Angulo de rotación del soporte inducido por el sismo

$e$ = excentricidad actual + 5% de excentricidad accidental

$b, d$ = dimensiones de la estructura con planta rectangular.

4. Para evitar el despliegue del soporte, el desplazamiento del soporte bajo la carga sísmica deberá cumplir con la siguiente condición:

$$D \leq \delta_{roll-out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff} h} \quad (A4.21)$$

Donde

$K_{eff}$ = Rigidez efectiva del soporte

$h$ = Altura total del soporte

$L$ = Menor dimensión en planta de un soporte rectangular o diámetro  $d$  de un soporte circular.

De la ecuación A4.21 pueden ser derivados de las siguientes dos ecuaciones establecidas para el soporte en la posición deformada, como se muestra en la Figura A4.3:

$$Fh = P_{DL+LL+EQ} (L - \delta_{roll-out}) \quad (A4.22)$$

$$F = K_{eff} \delta_{roll-out} \quad (A4.23)$$

Donde  $F$  es la fuerza cortante actuando sobre el soporte y  $\delta_{roll-out}$  el desplazamiento de despliegue correspondiente.

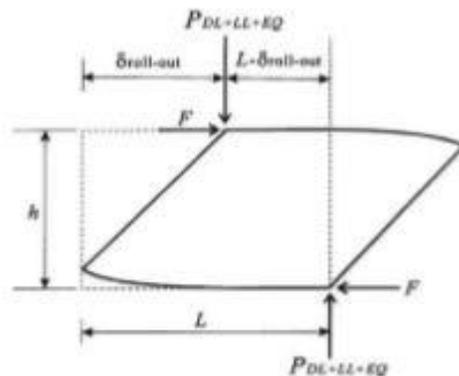


Figura A4.3. Soporte en posición de despliegue.

## ANEXO N°05: Diseño de aislador LRB

Soportes de caucho con núcleo de plomo (LRB) se hacen generalmente de capas alternas de placas de acero y caucho natural con un agujero central en el que el núcleo de plomo se ajusta a presión. Cuando se somete a fuerzas de cizallamiento lateral, el núcleo de plomo se deforma casi en cizalla pura, los rendimientos a bajo nivel de esfuerzos de corte aproximadamente 8 a 10 MPa a temperatura normal (20° C), producen un comportamiento de deformación de histéresis bastante estable durante un número de ciclos. Una característica del núcleo de plomo es que se puede recristalizar a temperatura normal y no se encontrará con el problema de fallo por fatiga bajo cargas cíclicas. Suficiente rigidez siempre está garantizada por los LRBs para la estructura bajo cargas de servicio. En esta sección, se describe el procedimiento de diseño para los LRBS.

### 5.1. Procedimiento de diseño

El procedimiento de diseño para los LRBs es similar a los HDRBs, excepto que hay una necesidad adicional, diseñar el núcleo de plomo.

1. Especifique las condiciones del suelo para la estructura aislada. 2. Seleccione la deformación cortante de diseño  $\gamma_{max}$  y la proporción de amortiguamiento efectivo  $\xi_{eff}$  para el soporte, y el período de diseño objetivo TD para la estructura aislada. El primero puede ser obtenida directamente del proveedor de material. 3. Utilizar fórmulas de código, o análisis estático o dinámico, para determinar la rigidez horizontal efectiva  $K_{eff}$  y el desplazamiento máximo horizontal (diseño), D, del soporte. 4. Seleccione las propiedades de los materiales, incluyendo módulo de Young E y módulo de corte G, de informe de prueba del fabricante.

5. Calcular la altura total de caucho,  $t_r$ , en el soporte de acuerdo con el desplazamiento de diseño D y la deformación cortante de diseño  $\gamma_{max}$ :

$t_r =$

$D \gamma_{max}$

(A5.1)

6. Diseño del núcleo de plomo: determinar el área de la sección transversal  $A_p$  de diámetro  $d_p$  del núcleo de plomo basado en la fuerza a la fluencia a corto plazo  $Q_d$  y la resistencia a la fluencia  $F_{py}$ :

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}} \quad (A5.2)$$

$f_{py}$  = Resistencia a la fluencia del plomo en cortante = 10 Mpa [Mayes and Naeim, 2000]

$Q_d$  = Fuerza de fluencia del plomo =  $W_D / 4D$

$W_D$  = Energía disipada por ciclo =  $2\pi K_{eff} D^2 \xi_{eff}$

$D$  = Desplazamiento de diseño del soporte

7. Calcular el área efectiva  $A$  y el espesor  $t$  de las capas de caucho individuales.

a. Seleccione el factor de forma  $S$  bajo ninguna condición de balanceo:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{E_c \frac{A}{T_r}}{K_h \frac{A}{T_r}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E(1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \quad (A5.3)$$

b. Determinar el área de sección transversal efectiva  $A_0$  del soporte basado en la tensión admisible  $\sigma_c$  para el caso de carga vertical PDL+LL:

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 80 \text{ kg/cm}^2 \quad (A5.4)$$

c. Determinar el área de sección transversal efectiva  $A_1$  del soporte desde la deformación por esfuerzo cortante debido a la carga vertical PDL+LL :

$$\gamma_{c_{DL+LL}} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\epsilon_b}{3} \quad (A5.5)$$

d. Determinar el modulo elástico  $K_r$  del soporte:

$$K_d = K_r \left( 1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right) \quad (A4.6)$$

Donde  $K_d$  = rigidez post fluencia del LRB en la dirección horizontal [Naeim and Kelly, 1999]:

$$K_d = K_{eff} - \frac{Q_d}{D} \quad (A5.7)$$

- e. Obtener el área de sección transversal mínima  $A_{sf}$  por falla de corte del soporte:

$$A_{sf} = \frac{K_r t_r}{G} \quad (A5.8)$$

Usar  $A_{sf}$  para determinar las dimensiones del soporte. Entonces calcular el área de la sección transversal efectiva  $A_2$  como el área reducida  $A_{re}$  dada a continuación:

$$A_{re} = L(B - \Delta_s) \text{ Para soportes rectangulares} \quad (A5.9)$$

$$A_{re} = \frac{d^2}{4} (\beta - \text{sen}\beta) \text{ Para soportes rectangulares} \quad (A5.10)$$

- f. El diseño de la sección transversal del área  $A$  del soporte es el máximo de los tres valores calculados:  $A_0$ ,  $A_1$  y  $A_2$ .
- g. Seleccionar las dimensiones adecuadas para la capa de caucho basado en el diseño del área de la sección transversal  $A$ .

8. Espesor de capa única,  $t$ , y el número de capas de caucho,  $N$ :

- a. Utilice el factor de forma  $S$  y las dimensiones de la capa de caucho para determinar el espesor de la capa de caucho individual,  $t$ :

$$S = \frac{LB}{2(L+B)t} \text{ Para un soporte rectangular} \quad (A5.11)$$

$$S = \frac{\pi d^2/4}{\pi dt} = \frac{d}{4t} \text{ Para un soporte rectangular} \quad (A5.12)$$

- b. Usar  $t_r = N \cdot t$  para determinar el número requerido de capas de caucho,  $N$ .

9. Espesor de la placa de acero,  $t_s$ :

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1})P_{DL+LL}}{A_{re}F_s} \geq 2mm \quad (A5.13)$$

10. Todos los parámetros determinados para el soporte deben ser revisados bajo esfuerzo cortante y condiciones de estabilidad que figuran a continuación. Si estos requisitos no se pueden satisfacer, repita los pasos del 2 al 9 para un mejor diseño.

### 3.2. Condiciones de esfuerzo cortante y estabilidad para LRB

1. Las capas de caucho seleccionados deben satisfacer el requisito de esfuerzo cortante bajo la carga vertical P DL+LL:

$$\gamma_{c_{DL+LL}} = 6S\varepsilon_c = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \quad (A5.14)$$

Donde todos los parámetros fueron definidos anteriormente, en el diseño de HDRB.

2. Condición de estabilidad: Para evitar que el soporte se convierta en inestable, el esfuerzo a compresión promedio  $\sigma_c$  del soporte debe ser inferior a una tolerancia preestablecida:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \leq \sigma_{cr} = \frac{GSL}{2.5t_r} \quad (A5.15)$$

Donde L es la dimensión menor en planta del soporte rectangular o el diámetro d del soporte circular.

3. Tamaño del núcleo de plomo: el núcleo de plomo provee rigidez inicial y capacidad de energía de disipación al soporte, cuyas dimensiones deben tener las siguientes características:

$$1.25 \leq \frac{H_p}{d_p} \leq 5.0 \quad (A5.16)$$

Donde:

$H_p$  = Altura efectiva del núcleo de plomo

$d_p$  = diámetro del núcleo de plomo

4. Condiciones de carga incluyendo sismo:

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 0.75\varepsilon_b \quad (A5.17)$$

Donde todos los parámetros fueron anteriormente definidos en el diseño de HDRB

5. Para evitar el despliegue del soporte, el desplazamiento del soporte bajo la carga sísmica deberá cumplir con la siguiente condición:

$$D \leq \delta_{roll-out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} L}{P_{DL+LL+EQ} + K_d h} \quad (A5.18)$$

Donde  $K_d$  es la rigidez post fluencia del soporte en la dirección horizontal

### ANEXO N°06: Diseño de aislador FPS

El soporte de péndulo de fricción permite que la estructura soportada retorne a su posición original mediante el uso de una superficie esférica cóncava de deslizamiento, en lugar de una superficie de deslizamiento plana, venciendo así el problema de recentrado. Ya que el soporte de péndulo de fricción permite que la estructura aislada vibre de una manera similar al péndulo, que implica un período natural de vibración,  $T_D$ . En el diseño del soporte de péndulo de fricción, una preocupación clave es hacer que el periodo natural  $T_D$  tenga un tiempo suficiente, de tal manera que las fuerzas transmitidas desde el suelo hasta la superestructura se reduzcan considerablemente. El período  $T_D$  del sistema de péndulo de fricción (FPS) de la estructura aislada se puede diseñar a través de una elección adecuada del radio de curvatura,  $R_{FPS}$ , por la superficie de deslizamiento esférica, es decir,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{R_{FPS}}{g}} \quad (A6.1)$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad. Como puede verse a partir de la ecuación A5.1, el período de la FPS es independiente de la masa de la estructura soportada. Tal propiedad representa una ventaja de la FPS en el control de la respuesta de la estructura aislada. Debido a la utilización de una superficie de deslizamiento cóncava, el FPS proporciona un mecanismo de recentrado para la estructura aislada para volver a su posición original después de los terremotos. La carga vertical que lleva cada FPS en la base de la columna será  $W$ . La rigidez efectiva de la FPS es:

$$K_{eff} = \frac{W}{R_{FPS}} + \frac{\mu W}{D} \quad (A6.2)$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción de la superficie de deslizamiento y  $D$  el desplazamiento de diseño. Como se ha indicado por la ecuación A6.2, la rigidez efectiva  $K_{eff}$  del FPS depende de la carga  $W$  soportado, lo que hace difícil para los diseñadores seleccionar el sistema de aislamiento adecuado para columnas con diferentes cargas sostenidas.

La relación de amortiguamiento efectivo  $\xi_{eff}$  proporcionada por el sistema de aislamiento está en función del desplazamiento de diseño, que puede expresarse como:

$$K_{eff} = \frac{W}{R_{FPS}} + \frac{\mu W}{D} \quad (A6.2)$$

El desplazamiento vertical  $\delta_V$  de la estructura causada por la superficie curva del aislador puede ser estimado como:

$$\delta_V = \frac{D^2}{2R_{FPS}} \quad (A6.4)$$

Para garantizar que la estructura aislada volverá a su posición original, el desplazamiento  $D$  horizontal de la estructura bajo la carga sísmica debe cumplir el requisito de que la fuerza de recuperación  $F (= WD / R_{FPS})$  no es menor que la fuerza de fricción  $\mu W$ , es decir:

$$\frac{D}{R_{FPS}} = \mu \quad (A6.5)$$

Esta es la condición de comprobación para el recentrado de la estructura aislada.

### **ANEXO N°07: Modelamiento en ETABS.**

Para el modelado en Etabs, primero se generó una grilla con los ejes de las columnas, y vigas con los materiales que se proyectaron y con las propiedades que corresponde como concreto de resistencia  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , luego de la comprobación de los requerimientos de la normativa, y de la asignación de los elementos de columnas, vigas y muros de albañilería, el modelo quedó tal como se detalla a continuación.

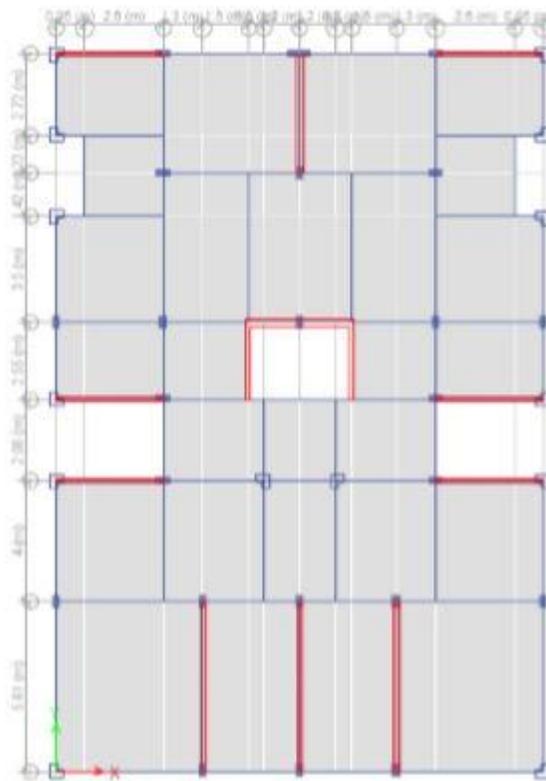


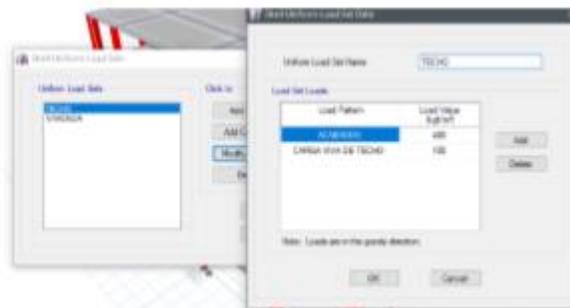
Figura A7.11. Modelamiento en planta con Etabs.

Luego de ello se detallan las cargas que va a ir en cada uno de las load patterns, que en nuestro caso van a ser peso propio, carga viva de entrepiso, acabados, carga viva de techo, parapetos, asignando el valor de 1 en peso propio para que considere las secciones de los elementos que conforman la estructura y en las demás el valor de 0.



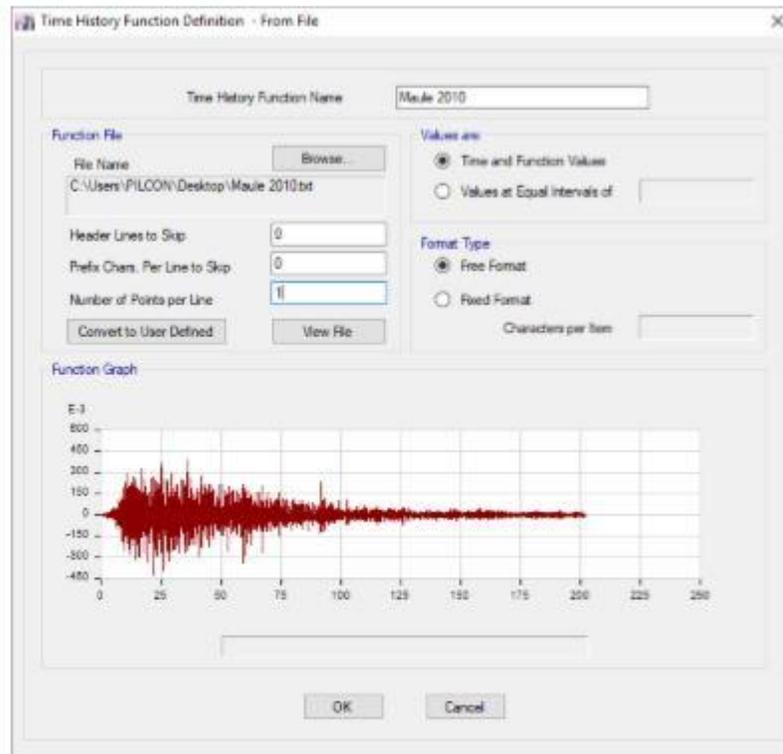
**Figura A7.2. Asignación de lad patterns con Etabs.**

Luego de ello se distribuye la carga uniformemente repartida en el elemento membrana que se generó para simular la losa aligerada. Para repartir las cargas en el techo y en el entrepiso se generó dos casos: techo y vivienda en donde en techo se consideró la carga de acabados con un valor de 400 kg/cm<sup>2</sup>, que es la suma de la carga de la losa de 20 cm más los acabados, así como la carga viva de techo de 100 kg/cm<sup>2</sup> y el caso de vivienda en el que se considera acabados con un valor de 400 kg/cm<sup>2</sup> y la carga viva de 200 kg/cm<sup>2</sup> por ser la edificación una vivienda.



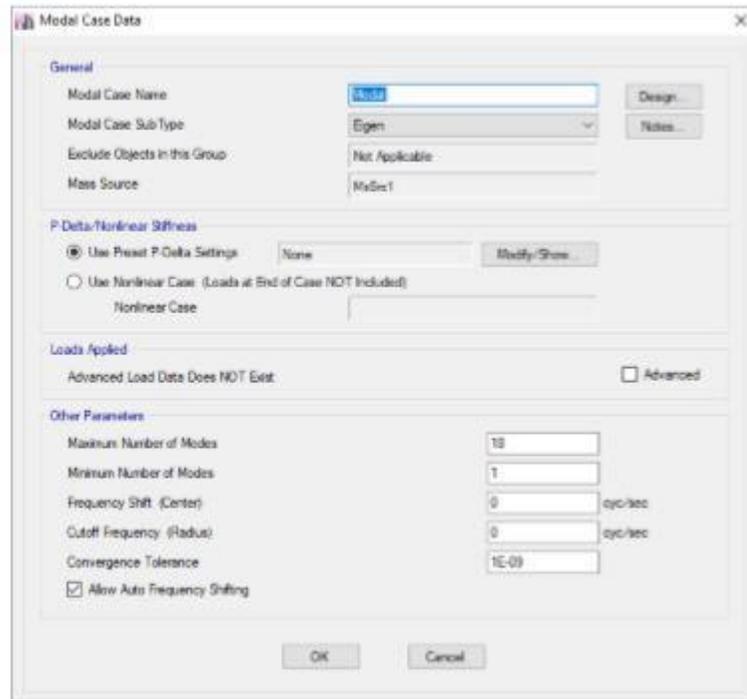
**Figura A7.3. Asignación de cargas distribuidas.**

Para el análisis tiempo historia primero definimos las funciones Tiempo Historia que usaremos. Los datos del acelerograma se extrajeron de un Block de Notas.



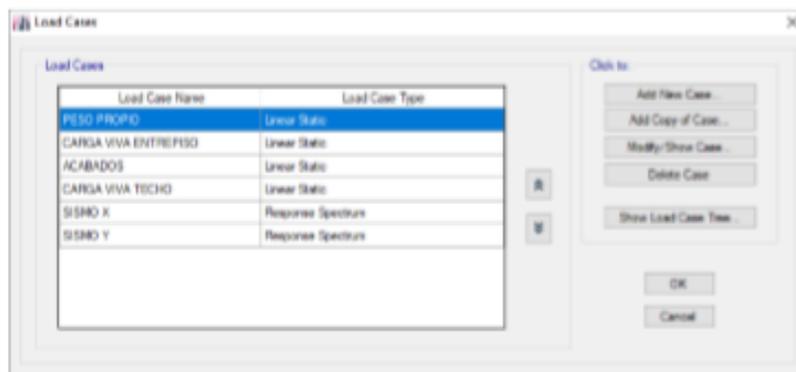
**Figura A7.4. Asignación de la función del registro sísmico.**

Luego definimos en Modal Case de tipo Eigen, y además se consideró 3 grados de libertad por cada piso, siendo un máximo total de 18, por lo tanto, se obtuvo también 18 modos de vibrar de la estructura.

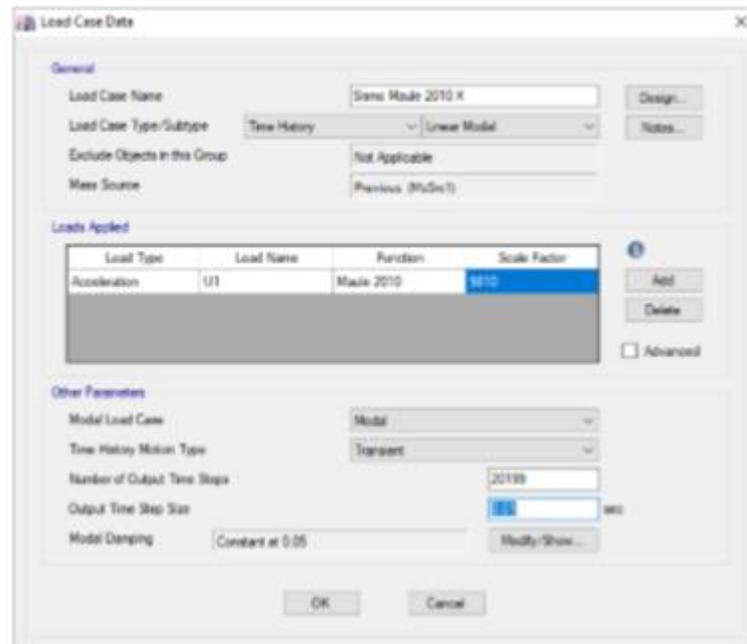


**Figura A7.5. Casos modales**

Luego añadimos los Load Case, en los cuales generamos el peso propio, la carga viva de entrepiso, los acabados, la carga viva de techo y muros de contorno los cuales están dentro de los casos linear static. De la misma manera se generan los casos de sismo tiempo historia en x e y.



**Figura A7.6. Asignación de casos de carga.**



Luego procedemos a realizar el análisis tiempo historia para hallar las variables de estudio (Derivas, aceleraciones y cortante basal) en la cual, solo corremos los casos de carga Madal y Sismo Maule 2010

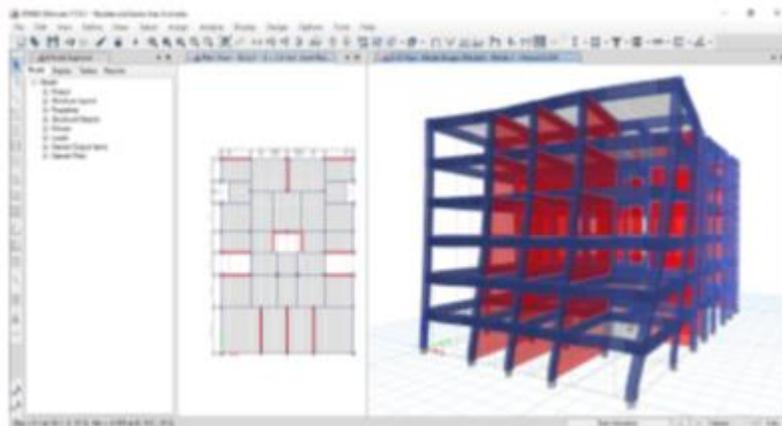


Figura A7.82. Análisis de modelo en etabs.

Del análisis se obtuvo los periodos fundamentales de la estructura para cada caso de estudio, tanto sistema aislado como no aislado.

Tabla A7.1 Periodos fundamentales para casa modo de vibrar y su masa participativa.

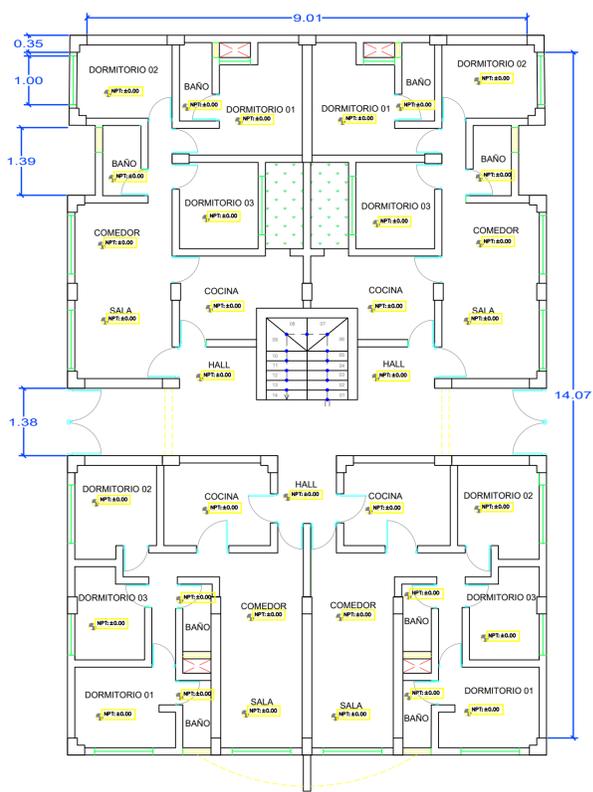
Caso	Modo	Periodo (seg)	UX (%)	UY (%)	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.593	0	74.00	0	74
Modal	2	0.314	0	0.7	0	74.7
Modal	3	0.256	73.12	0	73.12	74.7
Modal	4	0.171	0	13.87	73.12	88.57
Modal	5	0.098	0	1.28	73.12	89.85
Modal	6	0.097	0	4.05	73.12	93.9
Modal	7	0.068	0	1.87	73.12	95.77
Modal	8	0.068	19.42	0	92.54	95.77
Modal	9	0.054	0	1.35	92.54	97.12
Modal	10	0.052	0	0.95	92.54	98.07
Modal	11	0.05	0	0.01	92.54	98.08
Modal	12	0.043	0	0.42	92.54	98.5
Modal	13	0.04	0	0.04	92.54	98.54
Modal	14	0.039	3.62	0	96.16	98.54
Modal	15	0.038	0	0.58	96.16	99.12
Modal	16	0.037	0	0.2	96.16	99.32
Modal	17	0.037	0	0	96.16	99.32
Modal	18	0.036	0.01	0	96.17	99.32
Modal	19	0.035	0.31	0	96.48	99.32
Modal	20	0.034	0.09	0	96.57	99.32
Modal	21	0.033	0	0.01	96.57	99.33

Tabla A7.2 Periodos fundamentales usados para cosas sin aislamiento y con aislamiento.

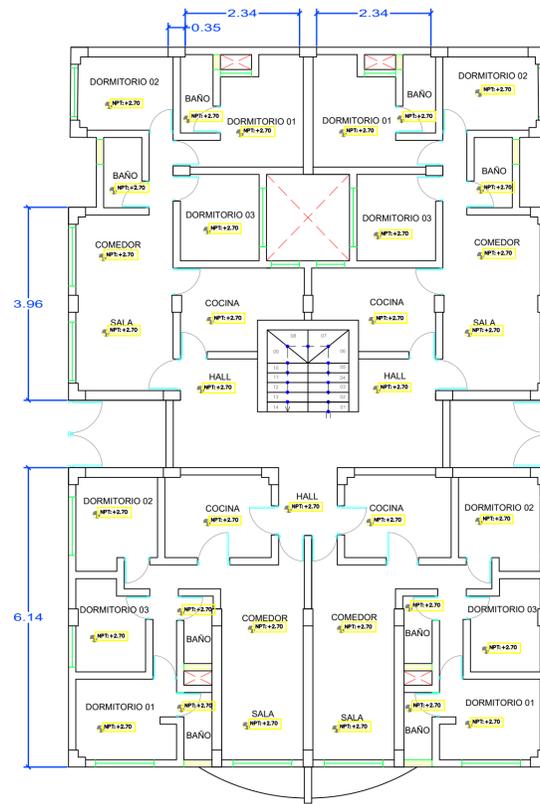
Edificio	Periodo X (seg)	Periodo Y (seg)
Sin aislador	0.26	0.59
HDRB	1.37	1.66
LRB	1.49	1.8
FPS	1.36	1.65



# ANEXO N°08: Planos La Edificación En Estudio.

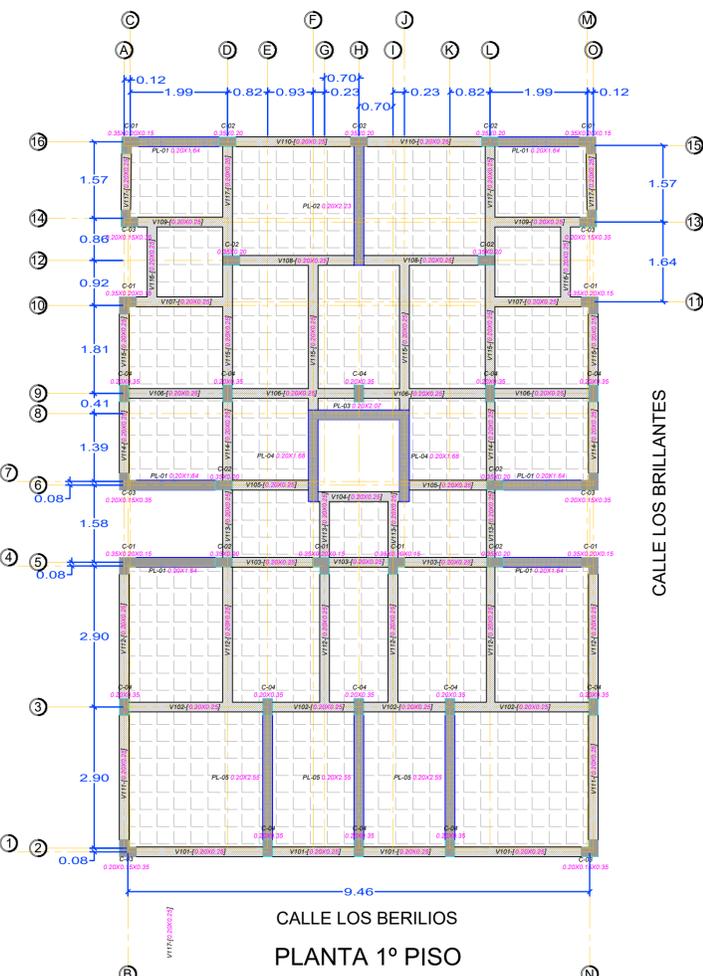


CALLE LOS BERILIOS  
PLANTA 1º PISO

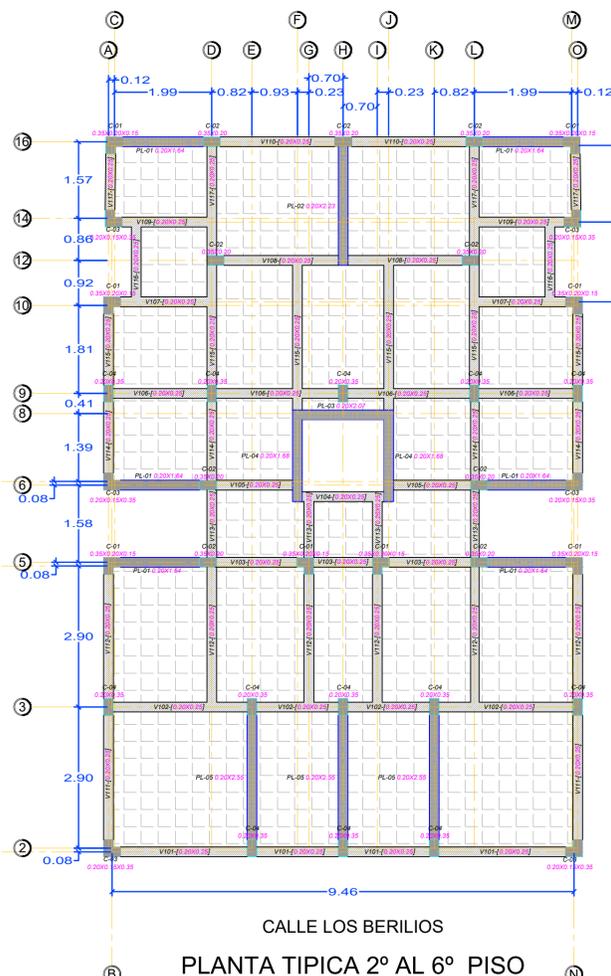


CALLE LOS BERILIOS  
PLANTA TÍPICA 2º AL 6º PISO

PROYECTO	EDIFICIO MULTIFAMILIAR	
PLANO	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	
BACHILLER	BRANDON BRIAN ALVARADO HUANGAL	LAMINA: A-01
ESCALA	1:50	FECHA: DICIEMBRE 2015

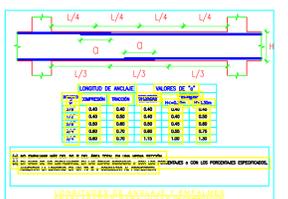


CALLE LOS BERILIOS  
PLANTA 1º PISO



CALLE LOS BERILIOS  
PLANTA TÍPICA 2º AL 6º PISO

- CONCRETO ARMADO**
  - RESISTENCIA DEL CONCRETO
    - SOLADOS, CIMENTOS, CORRIDOS (f<sub>cd</sub> = 100 kg/cm<sup>2</sup>)
    - PANTALLAS PARA CIMENTACIÓN Y COLUMNAS (f<sub>cd</sub> = 200 kg/cm<sup>2</sup>)
    - LOSAS, VIGAS Y CISTERNAS (f<sub>cd</sub> = 150 kg/cm<sup>2</sup>)
    - COLUMNAS DE ARROSTRE (TABIQUES) (f<sub>cd</sub> = 175 kg/cm<sup>2</sup>)
  - ACERO DE REFUERZO
    - VIGAS DE FERRO CORRUGADO (f<sub>yk</sub> = 4200 kg/cm<sup>2</sup>)
  - RECUBRIMIENTOS
    - ZAPATAS: 7.5 cm (EXT.), 5.0 cm (INT.)
    - LOSAS, VIGAS CHATAS Y CISTERNAS: 2.0 cm
    - VIGAS Y COLUMNAS (ESPAESOR > 15cm): 4.0 cm
    - VIGAS Y COLUMNAS (ESPAESOR < 15cm): 2.0 cm
- CIMENTACION**
  - TIPO DE CIMENTACION: PLATA DE CIMENTACION
  - ESTRATO DE APOYO: ARENA MAL GRADUADA SP
  - PROFUNDIDAD: > 1.00m, < 4.00m, ver cimentación
  - PRESION ADMISIBLE: q<sub>adm</sub> = 1.378 kg/cm<sup>2</sup>
  - ESPECIALISTA: ING. ENRIQUE LUJAN SILVA
- SOBRECARGAS**
  - S/C = INDICADAS



PROYECTO	EDIFICIO MULTIFAMILIAR	
PLANO	ESTRUCTURAS	
BACHILLER	BRANDON BRIAN ALVARADO HUANGAL	LAMINA: E-01
ESCALA	1:50	FECHA: DICIEMBRE 2015

**CONEO E.I.R.L**  
**CONSULTORES Y EJECUTORES DE OBRAS E.I.R.L.**

El que suscribe, Representante legal de la **EMPRESA CONEO E.I.R.L.** ponemos en conocimiento que hemos tenido el alcance de los precios de los aisladores sísmico de diferentes proveedores cuyo promedio de precios detallamos:

<b>Aisladores sísmicos</b>	<b>Precio</b>
Aislador sísmico tipo FPS	S/450 000 Sol.
Aislador Sísmico tipo HDRB	S/500 00 Sol.
Aislador sísmico tipo LRB	S/600 000 Sol.

Se extiende la presente a solicitud del interesado el presente documento para fines académicos.

~~CONSULTORES Y EJECUTORES DE OBRAS E.I.R.L.  
(CONEO E.I.R.L.)  
ING. JORGE FILIBERTO ANTICONA SANCHEZ  
CIP 14743 TITULAR GERENTE~~

**Domicilio:**

CALLE LOS GLADIOLOS NUMERO 242 INT. 201 URBANIZACION SANTA EDELMIRA  
LA LIBERTAD - TRUJILLO - VICTOR LARCO HERRERA.