

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**“Análisis comparativo del comportamiento estructural
de una edificación de cuatro niveles con base fija
y base aislada en el Distrito de Tumbes, Perú”**

**Tesis para obtener el Grado de
Doctor en Ingeniería Civil**

Autor:

Mg. Niquen Tineo, Katherine del Pilar

Asesor:

PH.Dr. Villarreal Castro, Genner Alvarito
DNI. N° 18802184
Código ORCID. 0000-0003-1768-646X

Línea de Investigación
Viviendas antisísmicas

Nuevo Chimbote - PERÚ
2024



CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

Yo, **Villarreal Castro, Genner Alvarito**, a través del presente documento, hago constar mi asesoramiento de la Tesis de Doctorado titulado: “**Análisis comparativo del comportamiento estructural de una edificación de cuatro niveles con base fija y base aislada en el distrito de Tumbes, Perú**” que tiene como autora a: **Niquen Tineo, Katherine del Pilar**, alumna del Doctorado en Ingeniería civil, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento de Normas y Procedimientos para optar el Grado de **Doctor** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa;

Dc. Villarreal Castro, Genner Alvarito
ASESOR
DNI: 17936682
Código ORCID: 0000-0003-1768-646X



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis de Doctorado titulado: “Análisis comparativo del comportamiento estructural de una edificación de cuatro niveles con base fija y base aislada en el distrito de Tumbes, Perú”

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Aguilar Marín, Pablo
Presidenta
DNI: 18071385
ORCID: 0000-0001-6096-4010

Dr. Castañeda Gamboa, Rogelio Fermín
Secretaria
DNI: 32789954
ORCID 0000-0002-6961-7418

Dc. Villarreal Castro, Genner Alvarito
Integrante
DNI: 17936682
Código ORCID: 0000-0003-1768-646X



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

A los **veintinueve días del mes de marzo del año 2022**, siendo las **21:00 horas**, a través de la plataforma de videoconferencia, meet.google.com/znx-epst-ovd, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 547-2021-EPG-UNS de fecha 29 de noviembre de 2022, conformado por: Dr. Pablo Aguilar Marín (Presidente), Dr. Rogelio Fermín Castañeda Gamboa (Secretario) y Genner Alvarito Villarreal Castro (Vocal), con la finalidad de evaluar la sustentación virtual de la tesis titulada: **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN UNA EDIFICACIÓN DE CUATRO NIVELES CON BASE FIJA Y BASE AISLADA EN EL DISTRITO DE TUMBES - PERÚ**, presentado por la tesista **Katherine del Pilar Niquen Tineo**, egresada del programa de **Doctorado en Ingeniería Civil**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 029-2022-EPG-UNS de fecha 23 de marzo de 2022.

El Presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como: **APROBADO** asignándole la calificación de: **17**.

Siendo las **23:00 horas** del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nombre: **Pablo Aguilar Marín**
PRESIDENTE

Rogelio Castañeda Gamboa
Dr. INGENIERO CIVIL

Nombre: **Rogelio Fermín Castañeda Gamboa**
SECRETARIO

Nombre: **Genner Alvarito Villarreal Castro**
VOCAL

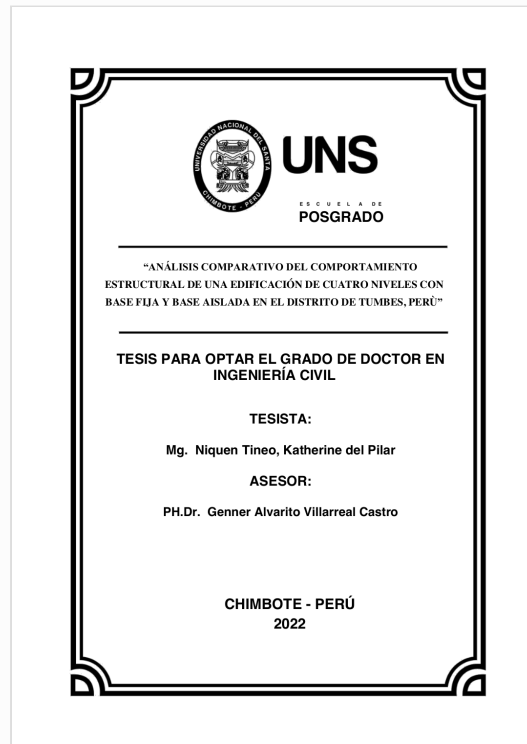


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Katherine del Pilar Niquen Tineo
Título del ejercicio: proyecto de tesis 2024
Título de la entrega: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTU...
Nombre del archivo: 1._TESIS.docx
Tamaño del archivo: 9.77M
Total páginas: 136
Total de palabras: 26,979
Total de caracteres: 150,407
Fecha de entrega: 05-jun.-2024 08:04a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2396140653



ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE CUATRO NIVELES CON BASE FIJA Y BASE AISLADA EN EL DISTRITO DE TUMBES, PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.um.edu.uy Fuente de Internet	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	vsip.info Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

AVAL DE INFORME DE TESIS

El Informe de Tesis: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE CUATRO NIVELES CON BASE FIJA Y BASE AISLADA EN EL DISTRITO DE TUMBES, PERÚ” que tiene como autora Katherine del Pilar Niquen Tineo, alumna del Doctorado en Ingeniería civil, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento de Normas y Procedimientos para optar el Grado de Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa; quedando expedito para ser evaluado por el Jurado Evaluador correspondiente.

A handwritten signature in black ink, which appears to read "Genner Alvarito Villarreal Castro". The signature is written in a cursive style with a large, stylized initial 'G'.

Ph.D. Genner Alvarito Villarreal Castro

DEDICATORIA

A Dios quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis amados padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi abuelito, un hombre que me dio enseñanzas de vida, es y será mi inspiración en cada meta trazada.

A mi asesor por la confianza, conocimientos y tiempo brindado

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento para Dios por su bondad y bendición infinita que derrama en mí, porque es mi compañía y mi guía siempre.

A mis adorados padres por siempre tomar de mis manos, ayudándome a construir cada día mis sueños.

A mi papito Eduardo, por ser nuestro ejemplo familiar, por su increíble fortaleza y su gran corazón.

A los integrantes del jurado evaluador, Dr. Pablo Aguilar Marín, Dr. Rogelio Fermín Castañeda Gamboa, Dr. Genner Alvarito Villarreal Castro, por sus preciados aportes para la optimización de la presentación final de la tesis.

A mi asesor Dr. Genner Alvarito Villarreal Castro, por su generosa paciencia y aportación intelectual, para el desarrollo de la presente tesis.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDO	vi
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÒN.....	1
CAPITULO I	3
PROBLEMA DE INVESTIGACION	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Antecedentes de la investigación.....	6
1.3. Formulación del problema de investigación	13
1.3.1. Problema general	13
1.3.2. Problemas específicos.....	13
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.4.1. Delimitación espacial.....	13
1.4.2. Delimitación temporal	13
1.4.3. Delimitación teórica.....	14
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.5.1. Justificación teórica	14
1.5.2. Justificación práctica.....	14

1.5.3. Justificación metodológica	14
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.6.1. Objetivo general.....	15
1.6.2. Objetivos específicos	15
CAPITULO II.....	16
MARCO TEORICO	16
2.1 BASES TEÓRICAS.....	16
2.1.1. El aislamiento sísmico en edificaciones	16
2.1.2. Los sistemas de protección sísmica	17
2.1.3. Teoría lineal del aislamiento sísmico.....	18
2.1.4. Norma E.031 para aislamiento sísmico.....	20
2.2 MARCO CONCEPTUAL (DEFINICIONES PARA DEMOSTRAR LA HIPÓTESIS)	25
2.2.1. Tipología de dispositivos elastoméricos	25
CAPITULO III.....	33
METODOLOGIA	33
3.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1.1. Hipótesis general	33
3.1.2. Hipótesis específicas.....	33
3.2. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	34
3.4. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	34

3.5.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.6.	POBLACIÓN Y MUESTRA	35
3.6.1.	Población	35
3.6.2.	Muestra	36
3.7.	ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO	40
3.7.1.	Recolección de información	40
3.7.2.	Calculo estructural de la edificación	40
3.7.3.	Modelamiento estructural de la edificación con base fija y base aislada	47
3.7.4.	Análisis tiempo historia	53
3.7.5.	Resultados y conclusión	53
3.8.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	53
CAPITULO IV		55
CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN		55
4.1.	ASPECTOS ESTRUCTURALES COMUNES A LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA.....	55
4.1.1	Columnas.....	55
4.1.2	Elementos horizontales.....	56
4.2.	EDIFICACIÓN CON BASE FIJA.....	57
4.2.1.	Modelamiento estructural de los bloques 01, 02, 03 y bloque único.....	57
4.3.	EDIFICACIÓN CON BASE AISLADA	59

4.3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL DISPOSITIVO, AISLADORES ELASTOMÈRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)	59
4.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DEL DISPOSITIVO ANTISÍSMICO.....	62
4.3.3. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL BLOQUE ÚNICO CON AISLADORES SÍSMICOS	67
4.4. VARIACIÓN DE PERIODO DE LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA.....	68
4.5. DEFORMACIÓN ANGULAR PERMISIBLE DE LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA.....	71
4.6. ACELERACIONES DE ENTREPISO DE LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA.....	77
4.7. VARIACIÓN DE COSTOS DE LAS EDIFICACIONES CON BASE FIJA Y BASE AISLADA.....	80
4.8. ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA	84
4.8.1. Procedimiento de escalamiento	84
4.8.2. Incorporación y métodos de análisis	85
CAPITULO V.....	92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1 CONCLUSIONES	92
5.2 RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	95
ANEXOS	97

ANEXO A: ESPECTROS SD – SMC	98
ANEXO B: SEUDOACELERACIÓN SD – SMC	100
ANEXO 03: DEFORMACIONES DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL SMC -XX	101
ANEXO 04: DEFORMACIONES DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL SMC -YY.	104
ANEXO 05: CUADROS DE FACTORES MODIFICATORIOS DE PROPIEDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS. FUENTE NORMA E031)	108
ANEXO 06: COMPONENTES SÍSMICOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA	109
ANEXO 07: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA SISMO DE LIMA 1966	114
Anexo 08: Resultados del análisis tiempo historia para el Sismo de Ancash 1970..	116
ANEXO 09: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA PARA EL SISMO DE LIMA 1974.....	118
ANEXO 10: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA PARA EL SISMO DE AREQUIPA 2001.....	120
ANEXO 11: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA PARA EL SISMO DE ICA 2007.....	122
ANEXO 12: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS	123
ANEXO 13: COSTOS POR DISPOSITIVO	123

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Sismo de Lima de 1966</i>	22
<i>Tabla 2: Sismo de Ancash de 1970</i>	23
<i>Tabla 3: Sismo de Lima de 1974</i>	24
<i>Tabla 4: Sismo de Arequipa del 2001</i>	24
<i>Tabla 5: Sismo de Ica del 2007</i>	25
<i>Tabla 6 Factores de amortiguamiento critico (NTE E 031, 2019)</i>	21
<i>Tabla 7: Valores modificadorios para propiedades Míminas y Máximas (NTE E 031, Art.12.3.7)</i>	38
<i>Tabla 8: Poblaciòn de Centros de Salud en el país (INEI, 2019)</i>	49
<i>Tabla 9: Niveles y altura del centro de Salud</i>	60
<i>Tabla 10: Cargas estructurales y Sobrecargas</i>	62
<i>Tabla 11: peso sísmico de la edificaciòn</i>	73
<i>Tabla 12: características físicass – mecànicas de los dispositivos</i>	70
<i>Tabla13: periodo de la edificacion con base fija, bloque 01</i>	68
<i>Tabla14: periodo de la edificacion con base fija, bloque 02</i>	68
<i>Tabla15: periodo de la edificacion con base fija, bloque 03</i>	68
<i>Tabla16: periodo de la edificacion con base fija, bloque ùnico</i>	68
<i>Tabla17: periodo de la edificacion con base aislada, bloque ùnico</i>	68
<i>Tabla18: Derivas de la edificacion con base fija, bloque 01</i>	68
<i>Tabla19: Derivas de la edificacion con base fija, bloque 02</i>	685
<i>Tabla20: Derivas de la edificacion con base fija, bloque 03</i>	68
<i>Tabla 21: Derivas de la edificacion con base fija, bloque ùnico</i>	68
<i>Tabla 22: Derivas de la edificacion con base aislada, bloque ùnico</i>	88
<i>Tabla 23: Aceleraciones de entrepiso de la edificaciòn con base fija, bloque 01</i>	770
<i>Tabla 24: Aceleraciones de entrepiso de la edificaciòn con base fija, bloque 02</i>	770

<i>Tabla 25: Aceleraciones de entrepiso de la edificación con base fija, bloque 03</i>	<i>771</i>
<i>Tabla 26: Aceleraciones de entrepiso de la edificación con base fija, bloque único...771</i>	<i>771</i>
<i>Tabla 27: Aceleraciones de entrepiso de la edificación base aislada, bloque único...772</i>	<i>772</i>
<i>Tabla 28: costos por grupo genérico de la edificación con base fija... ¡Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Tabla 29: costos por grupo genérico de la edificación con base aislada</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 30: costos a precios de mercado y costos a precios social de la edificación con base fija..... ¡Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Tabla 31: costos a precios de mercado y costos a precios social de la edificación con base aislada</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<i>Tabla 32: periodos con los factores modificatorios</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 33: Desplazamientos para el sismo de Lima 1966.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 34: Derivas para el sismo de Lima 1966.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 35: Aceleración para el sismo de Lima 1966.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 36: Desplazamientos para el sismo de Ancash 1970</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 37: Derivas para el sismo de Ancash 1970.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 38: Aceleración para el sismo de Ancash 1970</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 39: Desplazamientos para el sismo de Lima 1974.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 40: Derivas para el sismo de Lima 1974.....</i>	<i>892</i>
<i>Tabla 41: Aceleración para el sismo de Lima 1970.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 42: Desplazamientos para el sismo de Arequipa 2001</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 43: Derivas para el sismo de Arequipa 2001</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 44: Aceleración para el sismo de Arequipa 2001</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 45: Desplazamientos para el sismo de Ica 2007</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 46: Derivas para el sismo de Ica 2007.....</i>	<i>91</i>

<i>Tabla 47: Aceleración para el sismo de Ica 2007</i>	91
--------------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Mapa sísmico del Perú (Tavera, 2011)</i>	4
<i>Figura 2 Acelerogramas del Sismo de Lima de 1966</i>	23
<i>Figura 3 Acelerogramas del Sismo de Ancash de 1970</i>	210
<i>Figura 4 Acelerogramas del Sismo de Lima de 1974</i>	24
<i>Figura 5 Acelerogramas del Sismo de Arequipa del 2007</i>	25
<i>Figura 6 Acelerogramas del Sismo de Ica del 2007</i>	25
<i>Figura 7 Estructura con aislamiento y sin aislamiento</i>	30
<i>Figura 8 Sistemas de protección sísmica</i>	31
<i>Figura 9 Sistema de aislamiento con dos grados de libertad (Naeim & Kelly, 1999)</i> ..	319
<i>Figura 10 Aislador convencional (Constantinou et. al, 2007)</i>	39
<i>Figura 11 Aislador elastomérico de alto amortiguamiento</i>	40
<i>Figura 12 Aislador elastomérico con núcleo de plomo</i>	41
<i>Figura 13 Aislador de tipo pendular</i>	29
<i>Figura 14 Localización del distrito de Tumbes, Cs Andrés Araujo Moran</i>	49
<i>Figura 15 Localización del distrito de Tumbes</i>	50
<i>Figura 16 Planta arquitectónica de la edificación, nivel 01</i>	38
<i>Figura 17 Planta arquitectónica de la edificación, nivel 02</i>	38
<i>Figura 18 Planta arquitectónica de la edificación, nivel 03</i>	38
<i>Figura 19 Planta arquitectónica de la edificación, nivel 04</i>	38
<i>Figura 20 Diafragma rígido del bloque único en cada nivel</i>	62
<i>Figura 21 Casos modales de análisis</i>	63
<i>Figura 22 Casos modales de análisis, respuesta sísmica</i>	63
<i>Figura 23 Casos modales de análisis</i>	64
<i>Figura 24: Incorporación de brazo rígido en el modelo</i>	64
<i>Figura 25 Generación de elemento link</i>	38
<i>Figura 26 Modelamiento estructural del Bloque 01, software ETABS</i>	71
<i>Figura 27 Modelamiento estructural del Bloque 02, software ETABS</i>	71
<i>Figura 28 Modelamiento estructural del Bloque 03, software ETABS</i>	71
<i>Figura 29 Modelamiento estructural del Bloque único, software ETABS</i>	72
<i>Figura 30 Curva Fuerza - deformación</i>	80
<i>Figura 31 Modelamiento estructural del Bloque único, con aisladores sísmicos</i>	81

Figura 32 Rango de escalamiento para el escalamiento98

Figura 33 Incorporación de sismos escalados para el Análisis tiempo historia98

RESUMEN

La presente investigación, se desarrolló con el proyecto de inversión pública realizado por la unidad formuladora de proyectos del Gobierno Regional de Tumbes, el cual consiste en mejorar y ampliar los servicios prestados por el Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Moran en el distrito de Tumbes, Provincia y Región de Tumbes, donde se plantea que, la estructura de la edificación, cuenta con un sistema convencional sismorresistente, bajo el criterio de la norma que no exige el uso de aislamiento sísmico en estructuras esenciales de menor categoría al de hospital.

En este contexto problemático, en la presente investigación se planteó determinar en cuanto mejora el comportamiento sísmico de una edificación esencial, de menor categoría, definida por el Ministerio de Salud (MINSA) como “Centro de Salud”, de base fija, en comparación a una edificación esencial con base aislada, el mismo que será implementado con aisladores sísmicos elastoméricos de núcleo de plomo (LRB).

El tipo de investigación es aplicada, con un método cuantitativo, el diseño de la investigación es cuasi experimental. La muestra del estudio fue el Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Moran del distrito de Tumbes.

Finalmente se llegó a demostrar que el comportamiento estructural de la edificación mejoró cuantitativamente respecto al periodo, deformación angular permisible o derivas, las aceleraciones, y las cortantes. Respecto al costo total del proyecto, la edificación con base aislada presento un incremento que no superó el 10% en comparación a la edificación con base fija.

Palabras clave: base aislada, dispositivo LRB, Centro de salud.

ABSTRACT

The present investigation was developed with the public investment project carried out by the project formulation unit of the Regional Government of Tumbes, which consists of improving and expanding the services provided by the I-3 Andrés Araujo Moran Health Center in the district of Tumbes, Province and Region of Tumbes, where it is stated that the structure of the building has a conventional earthquake-resistant system, under the criteria of the standard that does not require the use of seismic isolation in essential structures of a lower category than that of a hospital.

In this problematic context, in the present investigation it was proposed to determine how much the seismic behavior of an essential building, of a lower category, defined by the Ministry of Health (MINSA) as a "Health Center", with a fixed base, improves, compared to an essential building with an isolated base, the same that will be implemented with elastomeric lead-core seismic isolators (LRB).

The type of research is applied, with a quantitative method, the research design is quasi-experimental. The study sample was the I-3 Andrés Araujo Moran Health Center in the district of Tumbes.

Finally, it was shown that the structural behavior of the building improved quantitatively with respect to the period, permissible angular deformation or drifts, accelerations, and shears. Regarding the total cost of the project, the building with an isolated base presented an increase that did not exceed 10% compared to the building with a fixed base.

Keywords: isolated base, LRB device, Health Center.

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país con elevado índice de sismicidad, por ello toda edificación debe ser diseñada con la finalidad de resistir la presencia de sollicitaciones sísmicas. La ingeniería sismorresistente tiene como principal objetivo proteger la vida y de esta manera, su avance tienda a mejorar los comportamientos sísmicos de las estructuras con el propósito de disminuir el colapso. Por otra parte, se debe cambiar la finalidad del diseño para conservar la operatividad de edificaciones que sean vitales ante una eventualidad de emergencia asegurando su funcionamiento.

En consecuencia, el diseño de estructuras convencionales que durante una eventualidad sísmica no sufran daños puede alcanzar elevados costos.

La aplicación del aislamiento sísmico en zonas de peligro sísmico Z4 y Z3 es obligatorio para edificaciones con Categoría A1, los mismos que se clasifican como establecimientos del sector salud del segundo y tercer nivel, es decir su uso es obligatorio en hospitales tipo I y tipo II en las categorías establecidas por el Ministerio de Salud (MINSA), por ende, no afectan o no se requieren en estructuras de menor dimensión como centros de salud, puestos de salud, institutos de salud, clínicas y otros, siendo estas edificaciones las que más se construyen en el país. Se considera que esta limitación del uso de los sistemas de aislamiento sísmico se debe al alto costo del sistema de aislamiento.

En este contexto problemático, la unidad formuladora de proyectos del Gobierno Regional de Tumbes, presentó la oportunidad de mejorar y ampliar los servicios prestados por el Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Moran en el distrito de Tumbes, Provincia y Región de Tumbes, a través de un Proyecto de Inversión pública, donde se plantea que, la estructura de la edificación, cuenta con un sistema convencional sismorresistente en albañilería confinada y pórticos de concreto, cumpliendo con el criterio sismorresistente en el análisis estructural, bajo el criterio de la norma que no exige el uso de aislamiento sísmico en estructuras esenciales de menor categoría al de hospital.

La presente investigación consistió en demostrar que, la estrategia de desacoplamiento de la edificación de la cimentación, mediante un sistema flexible reduce parte de las fuerzas sísmicas y aceleraciones que se presentan en el evento sísmico severo, siguiendo lo

establecido en la Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente, donde se promueve su uso en edificaciones de categoría esencial y en la Norma Técnica E.031 promulgada en octubre del 2019 mediante Decreto Supremo N°030-2019-VIVIENDA, se establece todos los criterios para el diseño de estructuras con aislamiento sísmico. En este aspecto, la presente investigación busca determinar mediante un análisis comparativo, el comportamiento estructural de la edificación de cuatro niveles con base fija y con base aislada, mediante el cual se establece que se puede mejorar el comportamiento estructural con el uso de dispositivos de aislamiento sísmico, sin alterar excesivamente el costo de la estructura, condición que podría hacer inviable una propuesta técnica y económica.

La investigación se ha ordenado en el Capítulo I aborda el planteamiento del problema, antecedentes de la investigación, formulación del problema de investigación (problema general, problemas específicos), delimitación de la investigación, justificación de la investigación, objetivos de la investigación (objetivo general, objetivos específicos), capítulo II comprende el marco teórico (bases teóricas), capítulo III trata sobre la metodología, hipótesis de la investigación (Hipótesis general, Hipótesis específicas), variables de la investigación, métodos de investigación, Tipo y nivel de la investigación, diseño de la investigación, Población y muestra, Actividades del proceso investigativo, Técnicas e instrumentos de la investigación, capítulo IV se realiza el cálculo y modelamiento estructural, de la edificación con base fija y base aislada, aplicando la norma técnica E. 030 diseño sismorresistente de las edificaciones y Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, capítulo V se presentan resultados y discusión, realizando su análisis e interpretación mediante tablas y gráficos, así mismo se relacionan con la hipótesis y la teoría, capítulo VI: conclusiones y recomendaciones, pretendiendo con ellos demostrar que el uso de dispositivos de aislamiento sísmico en centros de salud mejorara su comportamiento estructural sin alterar excesivamente sus costos.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del Problema

El Perú es un país con un alto riesgo sísmico, debido a la condición de subducción de la placa oceánica de Nazca que converge por debajo de la placa Sudamericana, condición que permite la presencia de eventos sísmicos de diversas magnitudes y con características cíclicas a lo largo de toda la costa y sierra peruana, como se aprecia en el mapa sísmico del Perú (véase Figura 1) elaborado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Cabe señalar que la presencia de eventos sísmicos de tipo superficiales y con magnitudes (M_w) superiores a los $M_w \geq 4.0$, también se presentan en las costas de los países vecinos como Chile, Ecuador, Colombia y países de Centro América como Nicaragua, Honduras, México entre otros, países se encuentran en el anillo de fuego del Pacífico, zona donde se concentran intensas actividades sísmicas.

Dentro de esta actividad sísmica, el terremoto suscitado en el año 1970 en la ciudad de Chimbote, fue uno de los fenómenos telúricos más desastrosos en la historia del Perú, según el Instituto Geofísico del Perú, alcanzó una magnitud de $M_w = 7.8$, generando la muerte de más de 80,000 habitantes y cerca de 20,000 desaparecidos, así mismo la destrucción de la infraestructura fue completa, quedando viviendas totalmente inservibles, debido a que estas en su mayoría fueron autoconstruidas en adobes y barro.

Otros eventos sísmicos suscitados durante las últimas décadas; en el país como el sismo de octubre de 1966 en Lima, el sismo de 1974 igualmente en la capital, el sismo de junio del 2001 en las regiones de Moquegua, Tacna y Arequipa, el sismo de agosto del 2007 en el departamento de Ica, demuestran que son eventos altamente devastadores. Por lo que se puede decir que las apariciones de estos fenómenos telúricos en el país son permanentes y cíclicas, son condiciones naturales geográficas y geológicas, que no se pueden evitar y se debe convivir con ellos.

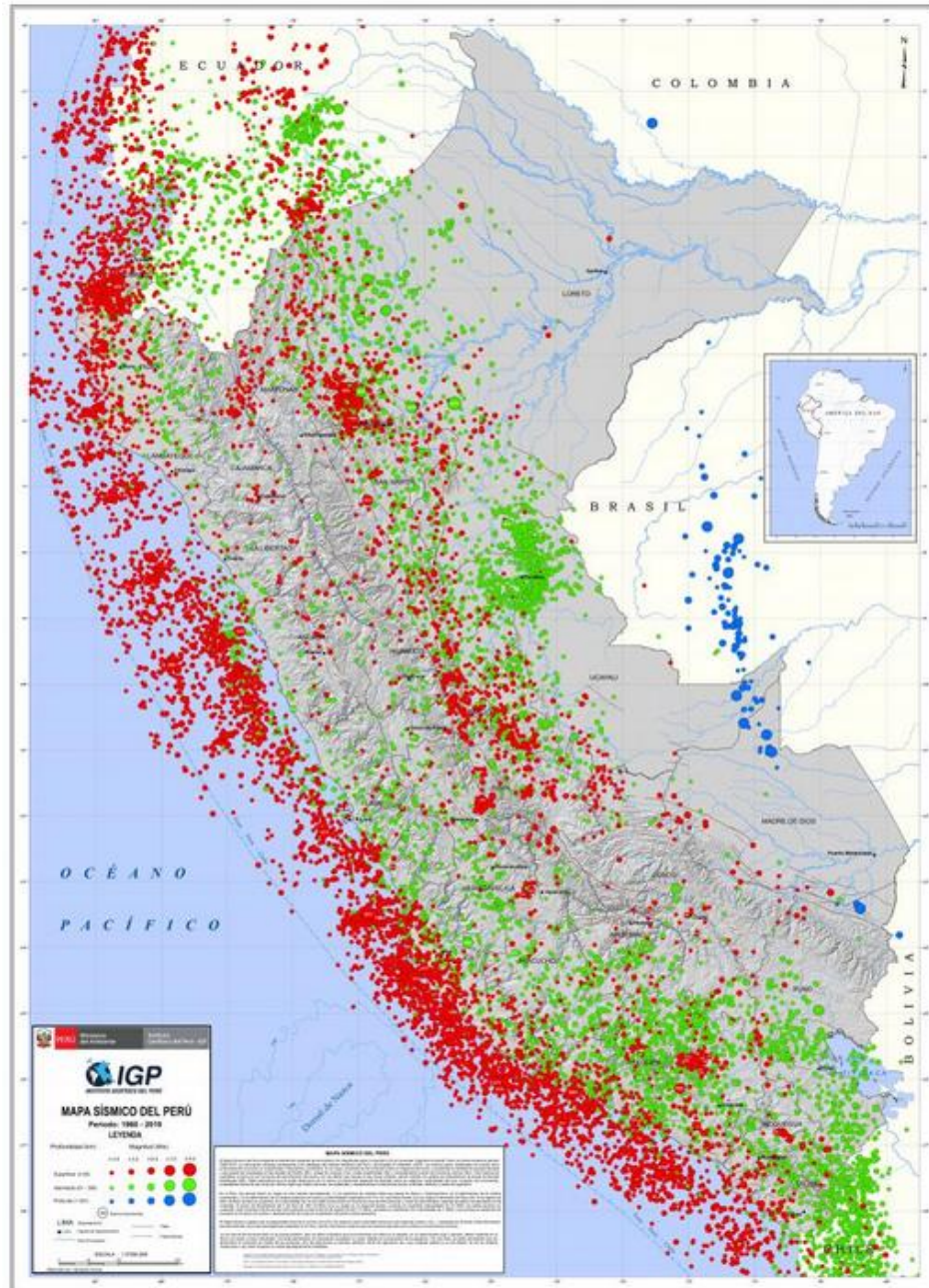


Figura 1. Mapa sísmico del Perú (Tavera, 2011).

Con este precedente, la ingeniería sísmica en el país ha tenido notables avances en la investigación, dotando de herramientas como la Norma Técnica E.030 publicada en el 2018 para el diseño sismorresistente de las edificaciones, que promueve procedimientos y parámetros de diseño normativos estrictos, y que se han ido modificando cada cierto tiempo, de acuerdo al incremento del conocimiento científico, sin embargo, las experiencias sísmicas de países como Chile en febrero del 2010 con una magnitud de $M_w = 8.8$ en Concepción, Ecuador en abril del 2016 con $M_w=7.8$ en Manabí y Esmeraldas y México en setiembre del

2017 en Puebla con una magnitud de $M_w=7.1$, demuestran que el diseño sismorresistente no tendría la capacidad para cubrir o soportar eventos sísmicos que sobrepasan la condición de diseño en la cual se basan, se debe señalar que es un aspecto que se reconoce explícitamente en la Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente, en el Ítem 3.2 del Artículo 3 “Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente”, dicho sea de paso donde se habla de “consideraciones especiales” para mantener operativas las edificaciones esenciales. Esas consideraciones especiales se refieren al uso de las tecnologías de sistemas de aislamiento sísmico en las edificaciones de tipo esenciales, la modificación de coeficientes sísmicos, y un cambio en la filosofía de diseño, que se orienta al desempeño de la estructura frente al evento sísmico y la operacionalidad. Además, se incrementa la severidad del sismo, exigiendo el uso del sismo con una probabilidad de retorno de $T_r = 2475$ basado en la norma norteamericana ASCE 7-16.

Las tecnologías del aislamiento sísmico en la protección de estructuras han permitido obtener la completa operacionalidad de edificaciones, es decir han permitido mejorar el comportamiento estructural, Piscal & López, (2017, p.1) señalan al respecto que:

“El aislamiento de base constituye una estrategia eficiente para la protección sismorresistente de edificios. Esta solución de desacoplamiento entre la estructura y el suelo de fundación, mediante dispositivos altamente flexibles en las direcciones horizontales [...] consigue una importante reducción de la excitación sísmica que experimentara la estructura”.

La aplicación del aislamiento sísmico en zonas de peligro sísmico Z4 y Z3 es obligatorio para edificaciones con Categoría A1 que se clasifican como establecimientos del sector salud del segundo y tercer nivel, es decir su uso es obligatorio en hospitales tipo I y tipo II en las categorías establecidas por el Ministerio de Salud (MINSA), por ende, no afectan o no se requieren en estructuras de menor dimensión como centros de salud, puestos de salud, institutos de salud, clínicas y otros, siendo estas edificaciones las que más se construyen el país. Se considera que esta limitación del uso de los sistemas de aislamiento sísmico se debe al alto costo del sistema de aislamiento, como lo señalan Muñoz et. al, (2019), quienes señalan que: “El sistema de aislamiento sísmico es costoso, especialmente en los países en desarrollo, para proteger edificios que no están clasificados como edificios esenciales, como viviendas u otras estructuras mínimas, es casi posible permitir el uso de este tipo de sistema”.

El Gobierno Regional de Tumbes, a través de su unidad formuladora de proyectos, plantea mejorar y ampliar los servicios prestados en la edificación del Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Moran en el distrito de Tumbes, Provincia y Región de Tumbes, con un sistema convencional sismorresistente y pórticos de concreto, en este contexto problemático, al encontrarnos en un país con alta sismicidad y una normativa que prioriza el uso del aislamiento sísmico, en la presente investigación se plantea un supuesto hipotético con el uso de aislamiento sísmico en la edificación, del Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Moran en el distrito de Tumbes, Provincia y Región de Tumbes, buscando determinar mediante un análisis comparativo, la variación en el comportamiento estructural de la edificación, considerando un análisis con base fija y base aislada, proponiendo para ello, la utilización de dispositivos elastoméricos con núcleo de plomo, teniendo como parámetro el aspecto económico de la edificación.

1.2. Antecedentes de la investigación

Wamanrao & Madhuri (2015), realizaron un análisis de las cualidades (ventajas y limitaciones) de un sistema de aislamiento sísmico y el costo que implica, estudiando para ello varios casos. En el estudio señalan que un sistema de aislamiento sísmico protege efectivamente una estructura contra sismo extremos, sin sacrificar el comportamiento estructural durante el evento sísmico, añaden que, con los métodos convencionales de diseño de estructuras resistentes a sismos, las estructuras quizá sobrevivan al terremoto, sin embargo, es poco probable que no requieran operaciones de reparación frente a cualquier evento sísmico. La técnica del aislamiento sísmico no solo previene a la estructura de daños serios frente a un sismo severo, sino también mantiene la funcionalidad de la estructura después del evento sísmico severo. Añaden que también su uso es factible en estructuras que tienen un periodo rápido de vibración, como las estructuras de baja altura, como las estructuras históricas como museos, construcciones históricas, en vista que al incorporar un sistema de aislamiento sísmico se puede alterar la respuesta dinámica de estas edificaciones, cabe señalar que en estas estructuras al igual que en los hospitales, centrales nucleares puede proporcionar un nivel alto de seguridad. Respecto al costo de implementación de un sistema de aislamiento sísmico, mencionan que este costo es generalmente alto, que solo ha sido utilizado en estructuras de gran importancia como los centros de emergencia, edificios históricos y estructuras como equipo costoso y sensible, sobre todo en países en desarrollo como la India. Señalan además que, el único caso de aislamiento en la base en la India es en el hospital de distrito, construido después del terremoto de Bhuj de 2001, que incorporó un

sistema de aislamiento con dispositivos de caucho de plomo. El costo involucrado en la construcción del nuevo edificio fue más alto que el costo del sistema estructural convencional con diseño resistente a sismos. En el estudio concluyen que los sistemas de aislamiento sísmico son requeridos para mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras frente a un rango amplio de eventos sísmicos severos, sin embargo, son dispositivos caros por ende para hacer factible su uso en estructuras comunes u ordinarias se tendría que desarrollar dispositivos de bajo costo y efectivos.

Usta (2021), desarrollaron el procedimiento de análisis y resultados de una estructura histórica con un periodo bajo de 0.478 s. haciendo uso de la técnica de los elementos finitos para estructuras históricas. En el estudio se hace uso de los dispositivos con núcleo de plomo, que proporcionara un mayor grado de amortiguamiento a la estructura que es una mezquita construida en albañilería. También después de haber definido las propiedades de los dispositivos, se procede a un análisis no lineal de tiempo historia para eventos sísmicos sucedidos en una zona altamente sísmica como Turquía, en la cual se aprecia que el uso de dispositivos de aislamiento reduce las deformaciones de la estructura significativamente, mejorando el comportamiento sísmico de la estructura. Inicialmente haciendo uso de software se logra un modelo matemático de la estructura histórica con base fija, planteando como objetivo lograr un incremento en el periodo de la estructura al proporcionarle un sistema de aislamiento sísmico. En la estructura modelada con un sistema de aislamiento sísmico, se obtuvo que el periodo se incrementó hasta seis veces logrando que la estructura llegue hasta los 2.94 s., respecto a los máximos desplazamientos que se lograron frente a los diversos eventos sísmicos, se obtuvo un desplazamiento máximo en la superestructura en la dirección XX de 5.88 cm. mientras que en la dirección YY se obtuvo 6.01 cm. Respecto a las aceleraciones, se tomó el promedio de aceleraciones en todos los niveles de la estructura en ambas direcciones, verificando que estas decrecieron en 83% y 92% en la dirección XX y en la dirección YY en 63% y 82% respectivamente. Con los resultados observados en el estudio se llegó a concluir que, el uso de dispositivos de aislamiento sísmico reduce significativamente los efectos negativos producidos por los sismos severos en edificios históricos, en este contexto el uso de esta tecnología puede proteger edificios de alto valor cultural y mantener la integridad de los mismos frente a sismos con magnitudes superiores a 6.5 Mw.

Madera et. al, (2019), indica que el aislamiento sísmico es una técnica de desacoplamiento de la estructura que reduce el daño horizontal y disminuye notablemente los costos económicos posteriores al sismo y las pérdidas de vidas humanas. Señalan que la efectividad de los sistemas de aislamiento sísmico ha sido demostrada frente a sismos severos como Kobe y Los Ángeles, sin embargo, en el artículo resaltan que la principal limitación para el uso de sistemas de aislamiento sísmico es el alto costo de los dispositivos, añaden que su aplicación se justifica en estructuras que tienen presupuestos elevados, sin embargo, su uso es cuestionable en edificaciones de uso común por el costo que implica su utilización. En este aspecto, el estudio se orienta a buscar alternativas económicas para masificar la utilización de los sistemas de aislamiento sísmico, dentro de las alternativas se propone el uso de materiales alternativos al caucho, acero, plomo y procedimiento de fabricación con caucho natural, neopreno y materiales reciclados para lograr dispositivos de aislamiento que no impacten excesivamente en el costo del proyecto.

Lashgari (2014), realiza un estudio con seis estructuras, considerando la estructura con base fija y base aislada. En el estudio se señala que uno de los factores limitantes son los costos iniciales de construcción estimados, sin embargo, una evaluación considerando costos futuros de reparación debido a daños del terremoto, puede proporcionar un mejor alcance para la selección de un diseño óptimo. En ese aspecto el objetivo del estudio está dirigido a evaluar la relación costo-beneficio en un estudio comparativo de estructuras con base aislada y base fija. Las estructuras seleccionadas para el estudio son edificios de oficinas de los cuales cinco fueron modelados con criterio sismorresistente o base fija y uno fue modelado con base aislada, lo cual permitió la comparación de costos. En el estudio se utilizaron diversas cargas sísmicas los que fueron incrementados en una a tres veces las fuerzas sísmicas mínimas establecidos en su normativa. Para los sismos de diseño (Tasa de retorno de 10% en 50 años), se registró una disminución constante del costo de reparación para los modelos más fuertes como se esperaba debido a la disminución de las tasas de deriva. Se verificó que la estructura con el sistema de aislamiento de base fue más efectiva para reducir las desviaciones y las aceleraciones, ya que funcionaron de forma totalmente no lineal a ese nivel de intensidad. Se obtuvo un porcentaje de reducción de costes del 87% con respecto al modelo con base fija B1, cuando se incorporó el sistema de aislamiento en la base. Cuando se incrementó la intensidad del sismo, con una aceleración mayor (2% en 50 años), se produjo una tendencia similar de disminución de los costos de reparación, es decir se puede lograr una disminución de costos mayores mediante la incorporación de dispositivos de

aislamiento sísmico que son más efectivos en todos los casos. Con estos resultados, se llegó a concluir mediante la evaluación de las estructuras por el análisis tiempo historia que la estructura con un sistema de aislamiento sísmico tuvo un desempeño superior a todos los modelos de base fija en el análisis de costo-beneficio. Sin embargo, los costos iniciales del modelo con aislamiento sísmico supera en un 6% el costo del modelo básico de base fija, también se consideró los resultados como proyecto y retorno de la inversión, obteniendo que el valor actual neto total del edificio aislado de la base es 4.1% más bajo a una tasa de interés supuesta del 7%. Se demuestra que los menores costos a largo plazo de los edificios con un alto desempeño tienen el sustento y potencial para justificar los costos iniciales adicionales por la incorporación de la protección sísmica.

Fenómenos sísmicos en el Perú

En la costa peruana desde el año 1966 han ocurrido cinco sismos que afectaron a la infraestructura y a los habitantes: Sismo de Lima de 1966, Sismo de Ancash de 1970, Sismo de Lima de 1974, Sismo de Arequipa del 2001 y Sismo de Ica del 2007. En las tablas 1-5 y figuras 2-6, se incorpora la ficha técnica y los llamados acelerogramas respectivos.

Tabla 1. Sismo de Lima de 1966

Ficha Técnica del Sismo de Lima 1966	
Estación de registro	Parque de la Reserva
Latitud	-10.70
Longitud	-78.70
Frecuencia (Hz)	50
Fecha del sismo	17 de octubre de 1966
Profundidad	25 km
Magnitud	8.1 Mw
Número de registros	3283
Aceleración máxima EW en cm/s ²	-180.56
Aceleración máxima NS cm/s ²	-268.24
Intervalo de tiempo (s)	0.02

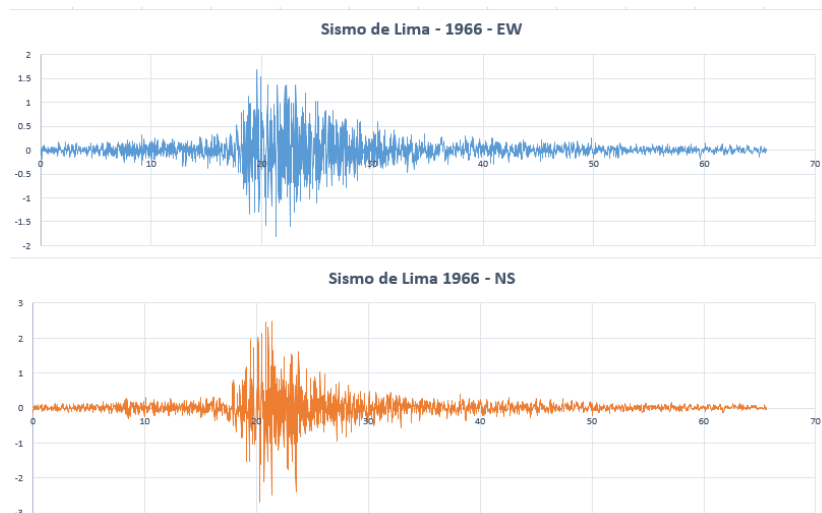


Figura 2. Acelerogramas del Sismo de Lima de 1966.

Tabla 2. Sismo de Ancash de 1970

Ficha Técnica del Sismo de Ancash 1970	
Estación de registro	Parque de la Reserva
Latitud	-9.36
Longitud	-78.87
Frecuencia (Hz)	50
Fecha del sismo	31 de Mayo de 1970
Profundidad	64 km
Magnitud	6.6 Mw
Número de registros	2255
Aceleración máxima EW en cm/s ²	-105.05
Aceleración máxima NS cm/s ²	-97.81
Intervalo de tiempo (s)	0.02

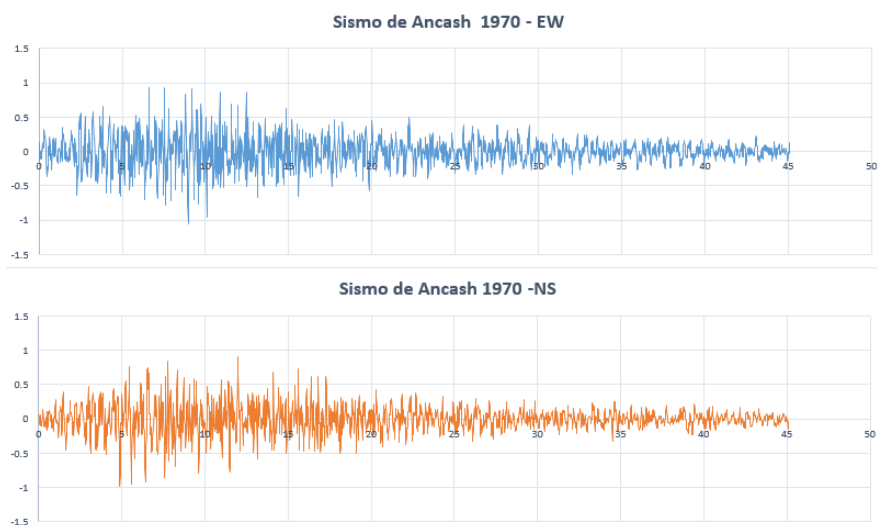


Figura 3. Acelerogramas del Sismo de Ancash de 1970.

Tabla 3. Sismo de Lima de 1974

Ficha Técnica del Sismo de Lima 1974	
Estación de registro	Parque de la Reserva
Latitud	-12.50
Longitud	-77.98
Frecuencia (Hz)	50
Fecha del sismo	03 de octubre de 1974
Profundidad	13 km
Magnitud	6.6 Mw
Número de registros	4899
Aceleración máxima EW en cm/s ²	-194.21
Aceleración máxima NS cm/s ²	180.09
Intervalo de tiempo (s)	0.02

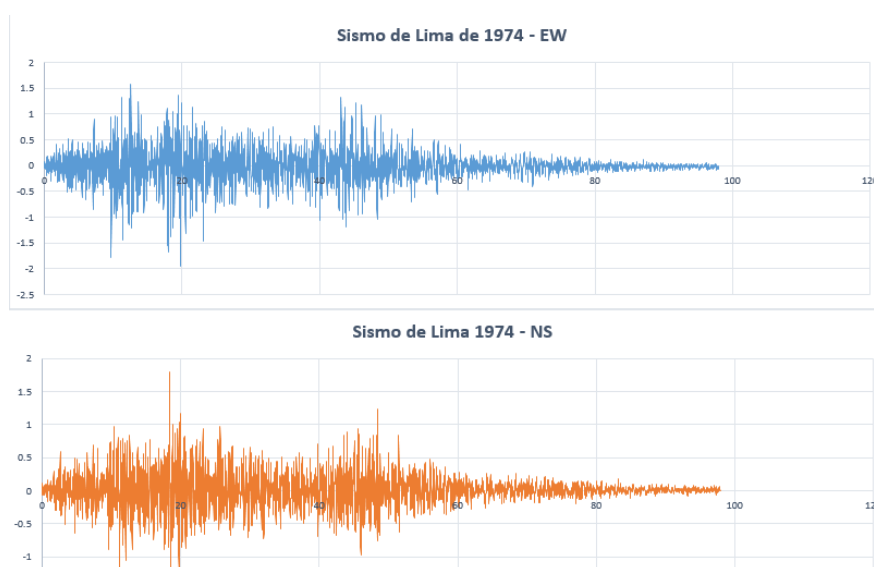


Figura 4 2 Acelerogramas del Sismo de Lima de 1974.

Tabla 4 Sismo de Arequipa del 2001

Ficha Técnica del Sismo de Arequipa 2001	
Estación de registro	MOQ001
Latitud	-16.08
Longitud	-73.77
Frecuencia (Hz)	100
Fecha del sismo	23 de junio de 2001
Profundidad	33 km
Magnitud	6.9 Mw
Número de registros	19892
Aceleración máxima EW en cm/s ²	-295.15
Aceleración máxima NS cm/s ²	219.99
Intervalo de tiempo (s)	0.01

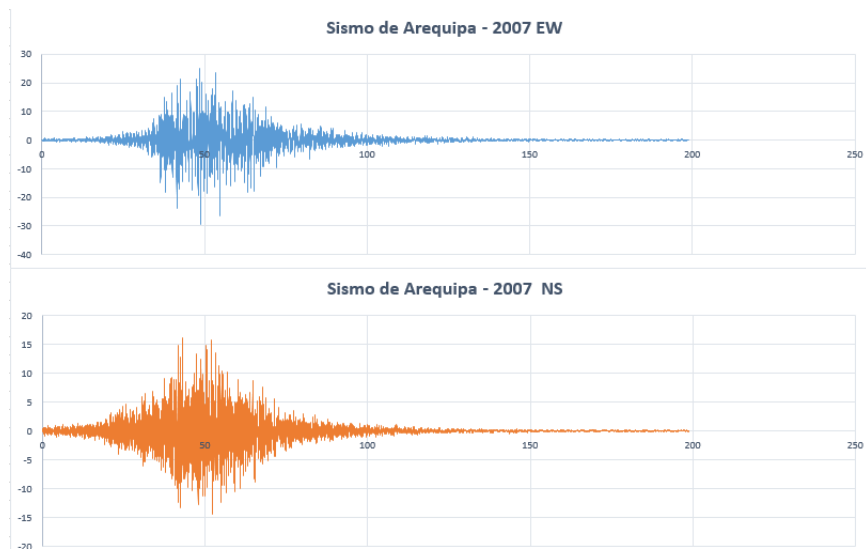


Figura 5. Acelerogramas del Sismo de Arequipa 2007.

Tabla 5. Sismo de Ica del 2007

Ficha Técnica del Sismo de Ica 2007

Estación de registro	UNICA - ICA002
Latitud	-13.67
Longitud	-76.76
Frecuencia (Hz)	100
Fecha del sismo	15 de agosto de 2007
Profundidad	40 km
Magnitud	7.0 ML
Número de registros	21807
Aceleración máxima EW en cm/s ²	-272.82
Aceleración máxima NS cm/s ²	333.66
Intervalo de tiempo (s)	0.01

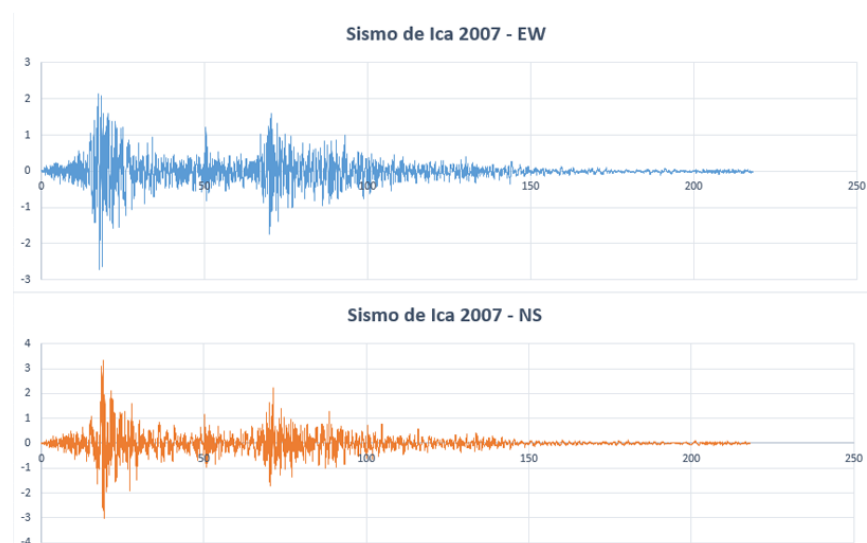


Figura 6. Acelerogramas del Sismo de Ica del 2007.

1.3. Formulación del problema de investigación

1.3.1. Problema general

- ¿En qué medida varía el comportamiento estructural de una edificación de cuatro niveles con base fija y base aislada, en el distrito de Tumbes, Perú?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características físicas-mecánicas del dispositivo de aislamiento sísmico de una edificación de cuatro niveles?
- ¿En qué medida se incrementa el periodo de una edificación de cuatro niveles de base aislada en comparación a la edificación con base fija?
- ¿En qué medida varía la deformación angular permisible de una edificación de cuatro niveles con base fija en comparación a la edificación con base aislada?
- ¿En qué medida varía la aceleración de entre piso de una edificación de cuatro niveles con base fija en comparación a la edificación con base aislada?
- ¿En qué medida varía el costo de construcción e inversión de una edificación de cuatro niveles con base fija en comparación a la edificación con base aislada?

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Delimitación espacial

El estudio está limitado a una Zona de aceleración sísmica Z4, con una estructura en pórticos y muros de concreto reforzado. La condición del suelo es S3, aspectos espaciales que condicionan la aceleración utilizada para las estructuras con bases fija y las estructuras con aislamiento sísmico.

1.4.2. Delimitación temporal

El estudio está definido para el periodo 2022, con la aplicación de las normas técnicas E.030-2018, E.031-2019 y los resultados serán verificables con los parámetros normativos vigentes en este periodo. Teniendo en cuenta que las normativas y parámetros van cambiando de

acuerdo al avance de la investigación, se delimita temporalmente a los criterios y parámetros definidos en la norma mencionada.

1.4.3. Delimitación teórica

En el aspecto teórico el estudio se ha delimitado a la utilización de conceptos estructurales definidos dentro de las normativas nacionales e internacionales, en vista que al ser una nueva tecnología dentro del país y con pocos referentes la bibliografía y recursos teóricos nacionales son escasos.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Justificación teórica

La investigación se desarrolló para conocer la respuesta sísmica de una edificación de tipo esencial con la incorporación de dispositivos de amortiguamiento viscoso, dejando en evidencia que el uso de estos dispositivos es válido para su uso en centros de salud de menor categoría que los Hospitales de Tipo I y tipo II, establecidos en la norma como edificaciones con uso obligatorio del aislamiento sísmico.

1.5.2. Justificación práctica

El estudio realizado se justifica, por la importancia que tienen las nuevas tecnologías en la protección antisísmica aplicadas a las edificaciones, tecnologías que tienen como objetivo proteger estructuralmente las edificaciones frente a los sismos que son frecuentes en las costas del Perú. La incorporación de mayor amortiguamiento a una edificación es un nuevo procedimiento en el diseño de edificaciones que permite obtener estructuras más seguras frente a eventos sísmicos, por ende, la investigación y profundización del tema es de vital importancia dentro de la arquitectura.

1.5.3. Justificación metodológica

El estudio se realizó haciendo uso estricto de los criterios del método científico, permitiendo explicar cómo la incorporación de un sistema de aislamiento sísmico y el cambio en rigidez y amortiguamiento puede mejorar la respuesta sísmica de las edificaciones y la incidencia del sistema en el costo.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Objetivo general

- Determinar en qué medida varía el comportamiento estructural dinámico de una edificación de cuatro niveles con base fija y base aislada, en el distrito de Tumbes, Perú - 2022.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físicas-mecánicas del dispositivo de aislamiento sísmico de una edificación de cuatro niveles.
- Determinar en qué medida se incrementa el periodo de una edificación de cuatro niveles de base aislada en comparación a la edificación con base fija.
- Determinar en qué medida varia la deformación angular permisible de una edificación de cuatro niveles con base fija en comparación a la edificación con base aislada.
- Determinar en qué medida varia la aceleración de entre piso de una edificación de cuatro niveles con base fija en comparación a la edificación con base aislada.
- Determinar en qué porcentaje varía el costo de construcción e inversión de una edificación de cuatro niveles con base fija en comparación a la edificación con base aislada.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 BASES TEÓRICAS

2.1.1. El aislamiento sísmico en edificaciones

Las fuerzas que se presentan en un evento sísmico, generan movimientos horizontales y periódicos en el suelo. La energía sísmica se traslada mediante ondas horizontales y verticales conocidas como ondas S y ondas P de aceleración. Es dicha aceleración la causa principal de los daños estructurales en una edificación. El ingreso de energía sísmica a una estructura genera que cada uno de sus componentes estructurales trabaje disipando la energía sísmica mediante desplazamientos de tipo elásticos e inelásticos. Es en esta situación, que los materiales usados en el diseño sismorresistente, principalmente aquellos de baja resistencia y ductilidad van perdiendo su capacidad elástica y van entrando a un rango de deformación irrecuperable que puede provocar el colapso de la estructura o su inutilización.

Se entiende, por tanto, que la fuerza sísmica que ingresa a una estructura puede colapsar o inutilizar una estructura, si esta excede la capacidad de disipar la energía de forma convencional. Por tanto, el aislamiento sísmico utiliza un criterio simple, el desacoplamiento de la estructura de la cimentación o del suelo a través de un elemento de baja rigidez o alta flexibilidad.

Los sistemas de aislación sísmica limitan la energía que el sismo transfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones de la estructura aislada, previniendo el daño estructural y el no estructural (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011, p. 10). Al desacoplar la estructura de la cimentación, se reduce considerablemente los daños, la estructura no recibe la fuerza sísmica completa, sino una fracción. El concepto de aislamiento es desacoplar la estructura del terreno incorporando elementos altamente flexibles que disminuyen la transmisión de la aceleración horizontal y disipando la energía sísmica mediante un amortiguamiento viscoso (Figura 7).

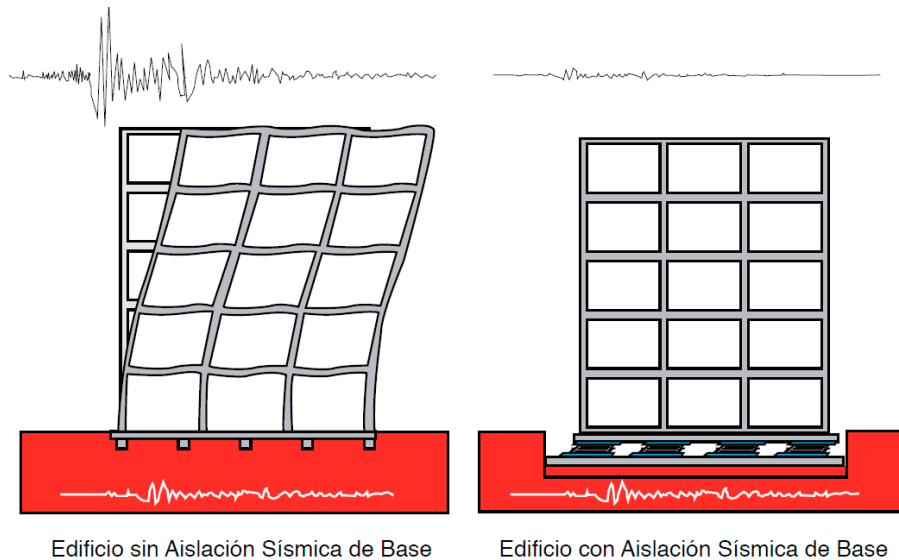


Figura 7. Estructura con aislamiento y sin aislamiento (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011, p. 10).

2.1.2. Los sistemas de protección sísmica

Los sistemas de protección sísmica son elementos adicionales a la estructura principal, cuyo objetivo es proteger a la propia estructura y los demás sistemas tales como los sistemas eléctricos, sanitarios, informáticos, etc. Esta protección es mediante la incorporación de un sistema adicional que incorpore una mayor capacidad de amortiguamiento a la estructura principal, mejorando de esta manera la respuesta estructural.

Las propuestas tecnológicas para el aislamiento sísmico son abundantes, desde los dispositivos convencionales de caucho y acero, hasta los dispositivos metálicos que disipan energía por fluencia del metal. La clasificación de sistemas se divide en cuatro grandes grupos: los sistemas pasivos, los sistemas activos, los sistemas semiactivos y los sistemas mixtos o híbridos.

En la clasificación (figura 08), se aprecia los diversos sistemas de protección sísmica en uso. Los sistemas pasivos incluyen el aislamiento de base, los disipadores de energía y Masa Sintonizada (TMD), los semiactivos incluyen tecnologías de control de fricción, los híbridos utilizan combinaciones de protección sísmica, los sistemas activos utilizan sistemas informáticos que evalúan posibles respuestas a un evento sísmico.

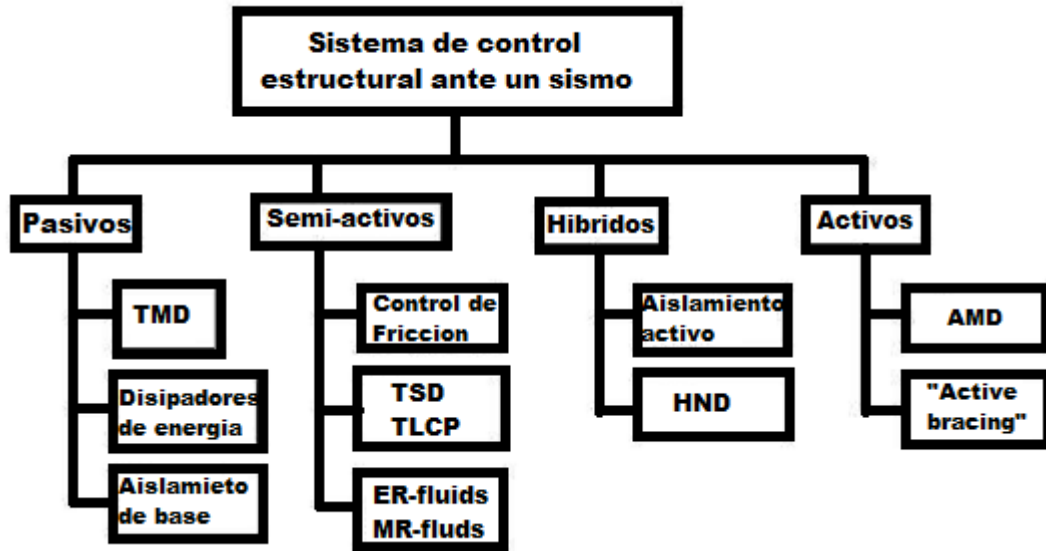


Figura 8. Sistemas de protección sísmica.

A nivel nacional los sistemas de protección pasivos son los más usados, difundidos y accesibles. En las edificaciones peruanas los más utilizados son: la masa sintonizada, los dispositivos de disipación de energía y los dispositivos de aislamiento sísmico, dentro de los cuales se presentan una variedad amplia de dispositivos que trabajan por desplazamiento.

2.1.3. Teoría lineal del aislamiento sísmico

La teoría lineal del desacoplamiento de una estructura (Naeim & Kelly, 1999) considera un modelo de dos grados de libertad (figura 9). La masa m representa la masa de la estructura mientras que m_b representa a la masa del nivel de base, interfaz donde se encuentran los aisladores. Los pórticos de la estructura tienen una rigidez K_s y un amortiguamiento C_s , mientras que k_b y c_b representan la rigidez y el amortiguamiento del dispositivo de aislamiento. También se aprecia los vectores de desplazamiento u_s y u_b que representan a los desplazamientos traslaciones del modelo y los desplazamientos relativos de entrepiso. De los vectores se puede extraer las siguientes ecuaciones de equivalencia:

$$v_b = u_b - u_g \quad (1)$$

$$v_s = u_s - u_b \quad (2)$$

El desplazamiento del suelo se simboliza como u_g . La elección de desplazamientos relativos es conveniente para este análisis, dado que u_b permite representar el desplazamiento registrado por el sistema de aislación y u_s la deriva de entrepiso.

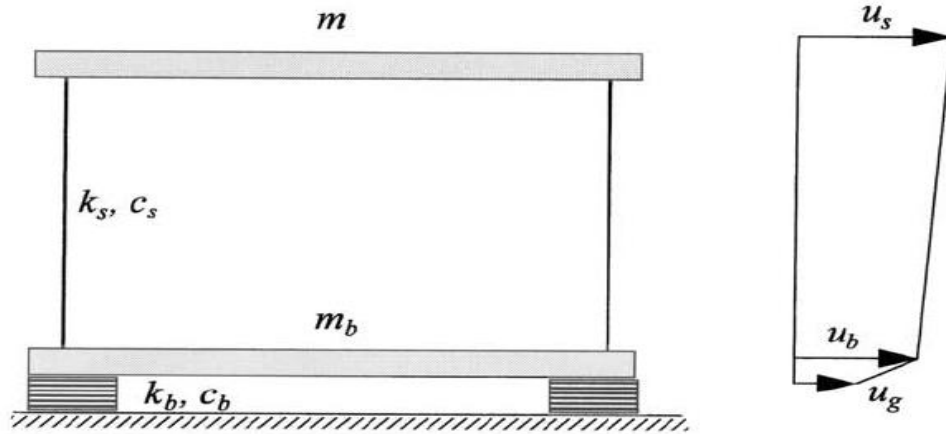


Figura 9. Sistema de aislamiento con dos grados de libertad (Naeim & Kelly, 1999).

Del modelo se puede deducir las ecuaciones del movimiento, en función a la aceleración y masa equivalente a la fuerza sísmica:

$$\begin{aligned} (m + m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b &= -(m + m_b)\ddot{u}_g \\ m\dot{v}_b + m\dot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_b &= -m\ddot{u}_g \end{aligned} \quad (3)$$

Las cuales se pueden escribir de forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g$$

Donde $M = m + mb$, que en notación matricial es:

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr\ddot{u}_g \quad (4)$$

En la notación matricial y ecuación del movimiento equivalente a la fuerza sísmica, las notaciones “ M ” representa la masa del modelo, “ C ” representa el amortiguamiento y “ K ” representa la rigidez.

Comparando una estructura con diseño sismorresistente y una estructura con aislamiento sísmico en la base; en la edificación con empotramiento en la base el diseño es en función a la capacidad de resistencia, ductilidad y rigidez (deformación lateral de los elementos

estructurales). En el segundo caso, el diseño es por disminución de la demanda sísmica, al disminuir la fuerza sísmica, disipando la energía en forma de deformaciones de los dispositivos, lo que genera desplazamientos de la superestructura como un bloque rígido. Mayes & Naeim (2000, p.730) añaden que la forma más efectiva de proveer un sustancial nivel de amortiguamiento a una estructura es a través de la disipación de energía de tipo histérico. El término histérico se refiere al desplazamiento en las curvas de carga y descarga bajo carga cíclica. El trabajo realizado durante la carga no se recupera completamente durante la descarga y la diferencia se pierde (disipa) como calor”.

2.1.4. Norma E.031 para aislamiento sísmico

En la norma técnica E.031 se establece los criterios para el análisis y diseño de estructuras con aislamiento sísmico y el procedimiento para el análisis sísmico de fuerzas estáticas equivalentes, que sirve como base para el prediseño de los dispositivos y los elementos estructurales.

Desplazamiento máximo D_M

El cálculo del desplazamiento hipotético máximo D_M , se determina utilizando los límites superiores e inferiores de las propiedades, en la dirección más crítica para la respuesta horizontal, calculado con la ecuación:

$$D_M = \frac{S_{aM} T_M^2}{4\pi^2 B_M} \quad (5)$$

Donde:

S_{aM} = Máximo valor de la ordenada espectral de pseudoaceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado, calculada en mm/s². Se determina mediante la siguiente ecuación.

$$S_{aM} = 1.5ZUCS g \quad (6)$$

Z: fator de zona

U: fator de uso, para todos los casos = 1

C: 2.5 donde $0.2 T_p < T < T_L$, además $T_p = 1.0 s$ y $T_L = 1.6 s$

S: fator de amplificación de suelo

g: aceleración de la gravedad

T_M = Período efectivo de la estructura con aislamiento sísmico, que se logra con el amortiguamiento incorporado y asociado al desplazamiento traslacional máximo D_M en la dirección de análisis. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{K_M g}} \quad (7)$$

En la ecuación P es equivalente al peso de la estructura, que va sobre la interfaz de aislamiento, K_M es la rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento sísmico en la dirección de análisis y g aceleración de la gravedad.

B_M = Es el factor de amortiguamiento que le corresponde al amortiguamiento crítico del dispositivo, se determina mediante la razón entre la ordenada espectral para 5% del amortiguamiento crítico y la ordenada espectral para el amortiguamiento efectivo β_M . Los valores de amortiguamiento se pueden determinar mediante la norma técnica E031 (tabla 6).

Tabla 6. Factores para el amortiguamiento crítico (NTE E 031, 2019).

Amortiguamiento Efectivo, (% del amortiguamiento critico)	Factor β_M
<	0.8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
> 40	1.9

Desplazamiento máximo total D_{TM}

Se calcula en función al desplazamiento máximo. El desplazamiento total D_{TM} incluye el desplazamiento generado por la torsión real y accidental del dispositivo de aislamiento sísmico, se calcula mediante la configuración geométrica de la estructura, el centro de rigidez lateral, la excentricidad y la razón de periodos traslacional y rotacional. La norma señala que el desplazamiento total D_{TM} no debe ser menor que el $1.15D_M$, ni menor que el desplazamiento obtenido en la siguiente ecuación.

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (8)$$

Donde:

D_M = Desplazamiento traslacional máximo.

y = Distancia al centro de rigidez de la estructura y el dispositivo de aislamiento seleccionado.

e = Excentricidad calculada mediante la suma de la excentricidad torsional más la excentricidad accidental (5% de la longitud mayor de la planta).

b = Longitud del lado menor de la planta.

d = Longitud del lado mayor de la planta.

P_T = Razón entre el período traslacional efectivo del sistema de aislamiento sísmico y el período rotacional efectivo del sistema de aislamiento sísmico; que se obtiene mediante un análisis dinámico de la estructura con aislamiento, la norma menciona que no requiere ser menor que 1 (ecuación 9)

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}} \quad (9)$$

Donde:

r_a : es el radio de giro del sistema de aislamiento sísmico, el cual es igual a $\frac{1}{12}(b^2 + d^2)^{1/2}$ en sistemas de aislamiento con planta rectangular de dimensiones $b \times d$

N : el número de aisladores, x_i, y_i Distancias horizontales entre el centro de masas del sistema de aislamiento sísmico y el aislador i -ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento sísmico.

Fuerza lateral sísmica V_b

Las Fuerzas sísmicas laterales mínimas se definen mediante V_b y son las cortantes mínimas requerida para el diseño de los elementos estructurales como la cimentación, dados de concreto, soportes, muros, etc. que se encuentran por debajo del nivel de base. El diseño debe ser con criterio sismorresistente, considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico:

$$V_b = K_M D_M \quad (10)$$

Donde:

K_M = Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento sísmico en la dirección horizontal de análisis, expresada en kN/mm.

D_M = Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis, expresado en mm.

La fuerza de corte mínima V_s requerida para el diseño de la estructura por encima del nivel de base utilizando todos los requisitos aplicables para una estructura no aislada, como se indica en la ecuación, considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico.

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a} \quad (11)$$

Donde:

R_a : Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico, calculado como $3/8 R_0$, pero no menor que 1 ni mayor que 2.

R_0 : Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre base fija, dependiente de las características de la estructura, definido en la Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente.

V_{st} : Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, como se indica en la ecuación, expresada en kN.

$$V_{st} = V_b \left(\frac{P_s}{P} \right)^{1-2.5\beta_M} \quad (12)$$

Donde:

P : es el peso sísmico de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, determinado según la Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente, expresado en kN, P_s es el peso sísmico efectivo de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, calculado en forma similar a P pero sin incluir el nivel de base, expresado en kN.

β_M : es el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico para el desplazamiento traslacional DM según la ecuación 4 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).

Registros de aceleración del suelo

El Artículo 15 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, que lleva como título “Registros de aceleración del suelo”, se establece los criterios para el análisis tiempo-historia, y se menciona que los sismos seleccionados deben ser siete pares, con dos componentes horizontales, y además escalados a un espectro de escalamiento, en el Ítem 15.6 se menciona el escalamiento de los sismos debe oscilar entre $0.75T_M$ y $1.25T_M$, donde

T_M es el periodo de la estructura aislada. Este rango debe ser calculado con el límite superior de las propiedades del dispositivo (0.75) y con el límite inferior de las propiedades del dispositivo (1.25).

Cuando el registro sísmico es compatible con el espectro, se deberá escalar en el siguiente rango $0.2T_M$ y $1.25T_M$, donde el $0.2T_M$ se calcula con el límite superior de las propiedades de los dispositivos y el $1.25T_M$ se calcula con el límite inferior de las propiedades del dispositivo con núcleo de plomo.

Respecto a las propiedades inferiores y superiores, se calculan mediante los factores modificatorios de propiedades, que señalan que los dispositivos elastoméricos y con núcleo de plomo, pueden alterarse según las ecuaciones λ_{max} y λ_{min} .

En el artículo 13.3 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, los factores modificatorios y ecuaciones de cálculo para las propiedades máximas y las propiedades mínimas:

$$\lambda_{max} = (1 + (0.75 * (\lambda_{(ae,max)} - 1))) * \lambda_{(tvs,max)} * \lambda_{(fab,max)} \quad (13)$$

$$\lambda_{min} = (1 - (0.75 * (1 - \lambda_{(ae,min)}))) * \lambda_{(tvs,min)} * \lambda_{(fab,min)} \quad (14)$$

Dónde:

$\lambda_{(ae,max)}$: Factor modificatorio para determinar los valores máximos de las propiedades del aislador “considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento” (Norma E.031).

$\lambda_{(ae,min)}$: Factor modificatorio para determinar los valores mínimos de las propiedades del aislador “considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento” (Norma técnica E.031).

$\lambda_{(tvs,max)}$: Factor modificadorio para determinar los valores máximos de las propiedades del aislador “considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga, y *scragging*” (Norma técnica E.031).

$\lambda_{(tvs,min)}$: Factor modificadorio para determinar los valores mínimos de las propiedades del aislador “considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga, y *scragging*” (Norma técnica E.031)

Mediante estas propiedades, se debe determinar un rango de escalamiento para el espectro de escalamiento, al cual se someterán los sismos, el resumen de los factores modificadorios para dispositivos con núcleo de plomo (tabla 7), en este caso para fabricantes calificados de acuerdo a la normativa (proveedores que han estandarizado sus dispositivos mediante ensayos en laboratorios reconocidos):

Tabla 7. Valores modificadorios para propiedades Mínimas y Máximas, Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico (Art. 12.3.7)

Variable	Aislador de caucho con núcleo de Plomo K	Aislador de caucho con núcleo de Plomo Qd
<i>Mínimo factor de modificación Max</i>	1.3	1.5
<i>Máximo factor de modificación Max</i>	0.8	0.8

2.2 MARCO CONCEPTUAL (DEFINICIONES PARA DEMOSTRAR LA HIPÓTESIS)

2.2.1. Tipología de dispositivos elastoméricos

Aislador elastomérico convencional (LDR)

Los aisladores elastoméricos (LDR) son dispositivos de caucho natural o sintético que tienen bajo amortiguamiento, se elaboran intercalando una lámina de acero y una lámina de caucho, que se unen mediante la adición de un pegamento de tipo epóxico y un proceso de vulcanizado. El dispositivo proporciona alta rigidez vertical que soporta las cargas de la edificación en el eje axial, mientras que en el eje horizontal presenta una rigidez lateral baja, que permite el desplazamiento de la superestructura en el movimiento sísmico. Los

aisladores elastoméricos laminados cuentan en sus extremos superior e inferior con dos placas de acero con las cuales se conecta a la superestructura en su parte superior y a la fundación en su parte inferior.

Los dispositivos son en su mayoría de forma cilíndrica (figura 10). Este diseño circular permite que las propiedades del aislador se consideren homogéneas en todas las direcciones horizontales, lo cual permite que el dispositivo se encuentre afectado a los esfuerzos cortantes con la misma magnitud en todas las direcciones.

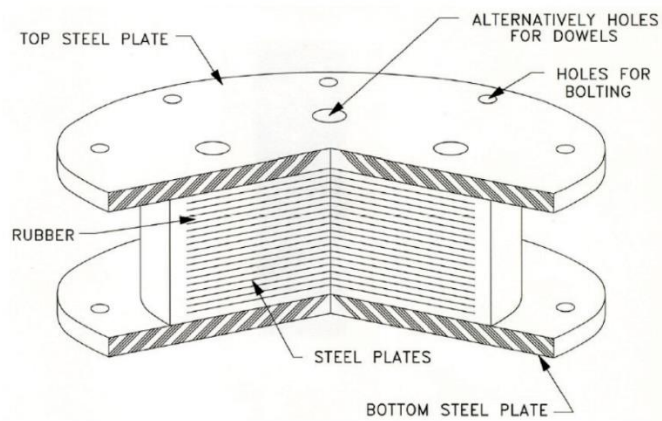


Figura 10 Aislador convencional (Constantinou et. al, 2007).

Kamrava (2015), señala que, los dispositivos LDR (“Low Damping Rubber”) son aisladores elaborados con goma natural o neopreno, que tienen un bajo nivel de amortiguamiento, poseen las mismas características ya mencionadas para los aisladores elastoméricos donde las láminas de acero impiden las expansiones laterales de la goma y proveen de alta rigidez vertical, pero no tienen efecto sobre la rigidez horizontal que es controlada por el bajo módulo al esfuerzo de corte que posee el elastómero.

Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)

Denominado HDR por sus siglas en inglés “High Damping Rubber” tiene la misma disposición ya mencionada con láminas de goma y acero (figura 11), pero en este caso a manera de un sándwich. Estos aisladores proveen un mayor amortiguamiento que oscila entre 8 y 15% del crítico debido a la viscosidad del caucho modificados con aditivos (aceites, polímeros, resinas u otros elementos que aumentan el amortiguamiento por si solos) los cuales incrementan la capacidad de disipar energía.

Una de las desventajas que tienen estos aisladores es que tras tener varios ciclos de deformación las propiedades que tiene el caucho se empiezan a degradar debido a diferentes factores como la temperatura, el proceso de fabricación y el incremento de la carga axial hace que exista una variación del 10% de la rigidez efectiva.

Los aisladores de alto amortiguamiento están hechos de un compuesto especial de goma, obtenido con la adición de carbono extra fino, aceite negro o resinas, que permite alcanzar valores más altos de amortiguamiento. El espesor de las capas de caucho varía, normalmente, entre los 8 mm y 20 mm, y el espesor de la capa de acero oscila entre los 2 mm y los 4 mm.

Los valores de amortiguamiento varían entre el 10% y el 20%, el análisis de estructuras aisladas con estos dispositivos se realiza como un sistema bilineal cuyas propiedades dependen de la razón de amortiguamiento efectivo y el módulo de deformación (G) cuyos valores oscilan entre 0.4 MPA y 1.4 MPA.

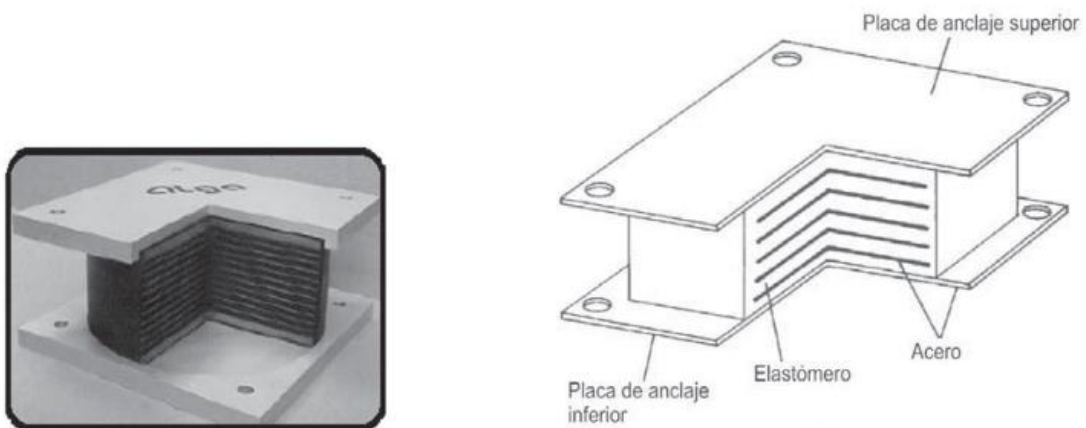


Figura 11 Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)

Para asegurar la rigidez bajo cargas de servicio, Bill Robindson añadió a los dispositivos con láminas de caucho convencional un núcleo de plomo (*lead Core*) resultando un nuevo dispositivo de aislamiento. Este dispositivo con núcleo de plomo HDR por sus siglas en ingles “High Damping Rubber”, se caracteriza por presentar un comportamiento histérico:

“Bajo deformación lateral, el núcleo de plomo se deforma en cizallamiento casi puro, cede a niveles bajos de tensión (aproximadamente de 8 a 10 Mpa en cizallamiento a temperatura normal) y produce un comportamiento histerético. Este comportamiento es estable durante muchos ciclos, porque el plomo se recristaliza a temperatura normal, de modo que la fluencia repetida no ocasiona fallas por fatiga (Lancu et. al, 2012; p. 237).

Un dispositivo con núcleo de plomo, puede ser diseñado considerando diversos diámetros iniciales del Lead Core y mediante el análisis de los resultados aproximados encontrar un diámetro adecuado. Stojadinovic (s/f) añade respecto al núcleo de plomo del dispositivo que el *Lead Core* típicamente ocupa entre el 15-33% del total del diámetro del dispositivo y que la disipación de energía depende del tamaño del núcleo de plomo.

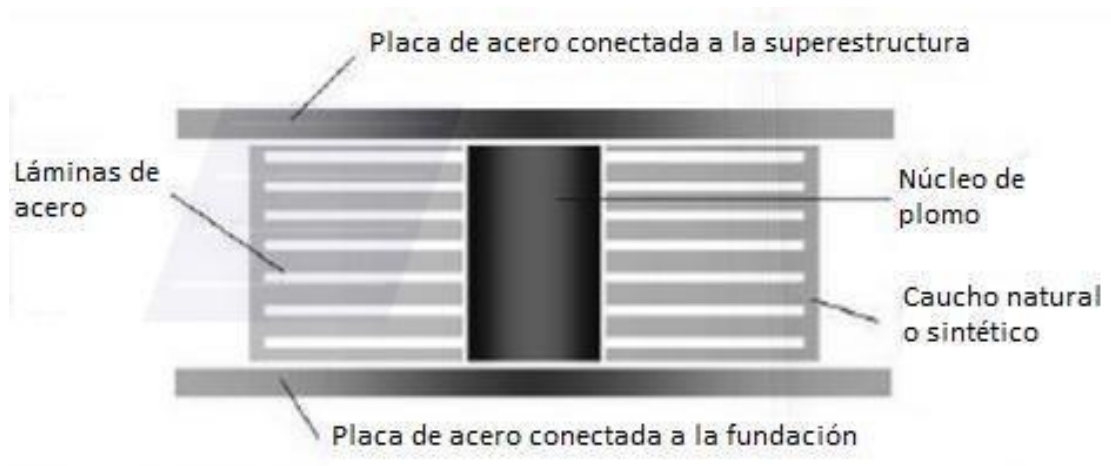


Figura 12 Aislador elastomérico con núcleo de plomo.

Zellat & Kadri (2015), señalan que, en los dispositivos de aislamiento sísmico con núcleo de plomo, son un "... conjunto de láminas de elastómero y de acero alternadas, unidas unas con otras alrededor de un centro de plomo" (figura 12).

Aisladores de tipo pendulares (FPS)

Pertencen a los dispositivos que disipan energía por fricción entre superficies. Se denominan FPS por sus siglas en inglés "*Friction Pendulum System*". Son dispositivos que consiguen el efecto de aislamiento a través de un mecanismo deslizante unido a un efecto pendular. El FPS consiste en un deslizador articulado (Slider) que se mueve sobre una superficie de acero inoxidable, que tiene la característica de ser esférica cóncava, ante un movimiento sísmico se producirá un desplazamiento del "slider" a lo largo de esta superficie

disipando energía por fricción y a la vez como el desplazamiento se produce sobre una superficie curva hace que la misma carga vertical genere una componente tangencial que es la responsable de centrar el sistema (figura 13).



Figura 13 Aislador de tipo pendular.

Análisis estático

Denominado análisis de “fuerzas estáticas equivalentes” este tipo de análisis consiste en las demandas sísmicas, esfuerzos laterales que ejercen en el centro de masa según la Norma Técnica E.030 para diseño sismorresistente y Norma Técnica E.031 para estructuras con aislamiento sísmico.

Análisis por espectro

Este tipo de estudio está relacionado con los modos de vibración de la edificación y la aceleración espectral. De ello el nombre del análisis modal espectral con este tipo de análisis se puede diseñar todo tipo de estructura, para realizar este análisis se debe tener en cuenta los modos de vibración que depende de las tipologías de la rigidez y masas.

Análisis tiempo historia de sismos

Es un análisis de una estructura teniendo como aceleración los registros sísmicos de evento sísmico sucedidos, los registros de aceleración se encuentran escalados para emparejar la aceleración a la curva de un espectro que servirá como base para el escalamiento.

Dispositivos de Aislamiento sísmico

Componentes estructurales altamente flexibles en sentido horizontal y muy rígidos verticalmente, permitiendo altas deformaciones horizontalmente durante la presencia de sollicitaciones sísmicas.

Diagramas de histéresis del dispositivo antisísmico

Los diagramas de histéresis son gráficas esfuerzo – deformación. Cada dispositivo antisísmico tiene diferentes diagramas de histéresis.

Desempeño sísmico

Es el desempeño de una edificación frente a una fuerza sísmica, está relacionada de muchos factores como masa, rigidez, amortiguamiento etc. toda edificación sometida a fuerzas sísmicas generan una respuesta ya sea lineal elástica o no lineal, esto también depende de la configuración estructural, altura y el sistema constructivo una edificación rígida de muros estructurales tiende a oponer mayor resistencia al desplazamiento laterales por ende las derivas disminuyen a comparación de una edificación aporticado que es más flexible y es más vulnerable a los desplazamientos y fallas estructurales generándose rotulas plásticas en los elementos estructurales.

Factores de uso

Son parámetros considerados para determinar el uso de la edificación para ello es necesario saber la categoría de la edificación. La Norma técnica E.030 diseño sismorresistente, considera cuatro categorías dentro de ello están las categorías A, B, C, y D.

Aceleración de Entrepiso

La aceleración entre piso ocurre cuando la energía sísmica ingresa a la estructura. Una edificación con aisladores sísmicos experimenta una aceleración baja porque el dispositivo adiciona amortiguamiento a la estructura y ello se puede apreciar en el espectro de pseudoaceleracion.

Periodo y Masa Participativa

El periodo y la masa participativa está relacionada con el análisis modal ya que este tipo de análisis es ver justamente como tiende a vibrar una estructura ya sea con un grado de libertar o varios grados de libertad.

Deformación lateral angular de entrepiso

La deformación lateral angular se conoce también como deriva o drift, y es un indicador adimensional de las deformaciones en una estructura, se visualizan como resultado de un análisis sísmico, en vista que se busca que los desplazamientos laterales de una edificación se mantengan dentro de los parámetros establecidos, esto varía de acuerdo a cada país. En la Norma técnica E.030 diseño sismorresistente, se establece que la deriva objetiva para un diseño con base fija es de 0.007.

Desplazamiento máximo - D_M

Es el desplazamiento lateral máximo de la estructura con aislamiento, en el centro de masa del sistema de aislamiento sísmico. Este desplazamiento no incluye el desplazamiento de tipo rotacional generado por la torsión natural y accidental de la estructura. Según la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, se calcula con los límites inferior y superior de las propiedades nominales del sistema de aislamiento sísmico.

Desplazamiento total Máximo D_{TM}

Es el desplazamiento lateral máximo que incluye los desplazamientos generados por la torsión natural y accidental del sistema; su utilización permite definir las características geométricas del dispositivo antisísmico; diámetro y altura. El desplazamiento total máximo se calcula para los límites inferior y superior de las propiedades nominales del sistema de aislamiento sísmico.

Rigidez efectiva nominal

Se define como la rigidez del sistema calculado con una carga promedio. Se determina mediante la relación fuerza – desplazamiento de un ensayo experimental del dispositivo, de acuerdo a la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, para ello se utiliza el promedio de tres ciclos del ensayo de los prototipos.

Amortiguamiento efectivo nominal

Es el amortiguamiento viscoso equivalente correspondiente a la energía disipada en la respuesta cíclica del sistema de aislamiento sísmico, determinado con la rigidez nominal. Se presenta como una fracción del amortiguamiento crítico. Igualmente se determina con el promedio de tres ciclos del ensayo de los prototipos según la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico.

Factores modificatorios de las propiedades nominales

Son factores de amplificación y reducción de las propiedades nominales de un dispositivo de aislamiento sísmico. Estas variaciones se deben a condiciones externas al cálculo y modelo matemático, las unidades de aislamiento pueden variar sus propiedades por efectos climáticos o medioambientales, ensayo de los dispositivos y otros factores como el *scragging* y contaminación.

Aislamiento sísmico

Sistema que permite desacoplar la sub estructura de la súper estructura mediante dispositivos (aisladores sísmicos) los cuales tienen características con alta flexibilidad lateral que permiten que las distorsiones de entrepiso, así como las aceleraciones sean reducidas logrando disminuir los daños a la estructura.

Subestructura

Se le llama así, a la estructura que se encuentran por encima de los elementos de aislamiento (aisladores sísmicos). Descansa en una losa maciza, dados de concreto y vigas que conforman un diafragma de gran rigidez.

Interfaz de aislación

Es el nivel de aislamiento, donde se encuentran los dispositivos de aislamiento, se caracteriza por su alta flexibilidad en su dirección lateral y su alta rigidez en la dirección vertical. Su ubicación puede ser en diversos lugares, puede estar a nivel del terreno, en el sótano, e incluso por encima del primer nivel, dependiendo de la configuración estructural que se adopte.

Disipación de energía

Es la capacidad de un material de disminuir las fuerzas sísmicas o cualquier otra fuerza. El aislamiento sísmico en la basa tiene como principal mecanismo de disipación de energía, la deformación y el desplazamiento.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Hipótesis general

- Hi: La implementación de un sistema de aislamiento sísmico mejora el comportamiento estructural dinámico de una edificación de cuatro niveles de base fija, variando los costos por debajo del 10%.

- Ho: La implementación de un sistema de aislamiento sísmico no mejora el comportamiento estructural dinámico de una edificación de cuatro niveles de base fija, variando los costos por encima del 10%.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Las características físicas - mecánicas del dispositivo de aislamiento sísmico de una edificación de cuatro niveles, son las propiedades nominales, determinadas con el desplazamiento estático calculado con la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico.

- El periodo de una edificación de cuatro niveles con base aislada se incrementa significativamente en comparación a la edificación con base fija.

- La deformación angular permisible de una edificación de cuatro niveles con base fija disminuye significativamente en comparación a la edificación con base aislada.

- La aceleración de entre piso de una edificación de cuatro niveles con base fija no varía significativamente en comparación a la edificación con base aislada.

- El costo de construcción e inversión de una edificación de cuatro niveles con base aislada se incrementa en un porcentaje menor al 10% en comparación al costo de la edificación con base aislada.

3.2. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, definiremos las variables de la investigación:

variable independiente:

i) rigidez, ii) aceleración sísmica.

variable dependiente:

i) Deformación, ii) Periodo, iii) Aceleración entre piso.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para la actividad científica se pone en práctica principalmente dos cosas: i) reconocemos y observamos inicialmente el terreno donde se ejecutará la ampliación de los servicios prestados por el Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Moran, ii) utilizamos nuestra mente con el fin de analizar el proyecto de inversión pública, elaborado por la unidad formuladora de proyectos del Gobierno Regional de Tumbes, donde se observa que la edificación propuesta cuenta con un sistema estructural convencional sismorresistente en muros de concreto reforzado y pórticos de concreto, bajo el criterio de la norma que no exige el uso de aisladores sísmicos en estructuras esenciales.

Por ende, se ha utilizado el método analítico, que facilito el análisis del problema en sus componentes, realizando en la presente investigación una propuesta estructural con aislamiento sísmico para la edificación.

3.4. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo al problema de investigación y el objetivo, se ha definido que el estudio es de tipo aplicada, Tamayo (2004, p. 43), menciona que “depende de sus descubrimientos y aportes teóricos, y busca confrontar la teoría con la realidad. Se refiere a resultados inmediatos y se interesa en el perfeccionamiento de los individuos implicados en el proceso de investigación”.

El tipo de investigación es aplicada, se caracteriza también por ser empírica y práctica, busca soluciones inmediatas a los problemas que surgen en la sociedad. En este caso el estudio se ajusta a un estudio aplicado, en vista que se realiza la búsqueda de una solución al

comportamiento estructural de una edificación de tipo esencial, proponiendo un cambio de tipo tecnológico, mediante la aplicación o utilización de los conocimientos teóricos sobre el aislamiento. El uso de los resultados de la investigación, pueden ayudar a realizar propuestas técnicas en las edificaciones esenciales, con mayor criterio, tanto en el aspecto estructural como en la viabilidad económica.

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación realizada es un esquema que permite estructurar una secuencia de pasos o procesos para llegar a demostrar la hipótesis.

Este diseño utiliza dos modelos estructurales de estudio de una edificación, para luego evaluar mediante un estudio comparativo, la variación en el comportamiento estructural de la edificación, y su variación en costos.

Por ende, en la edificación convencional (con base fija), varía respecto al diseño estructural de la edificación incorporando un sistema de aislamiento sísmico (base aislada), ya que se verá afectado el comportamiento estructural y el costo final del proyecto.

Los análisis se realizan en una única oportunidad con las normas peruanas: Norma Técnica E.030, Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, vigentes al presente periodo 2022.

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1. Población

La población de investigación, se ha definido como el conjunto de edificaciones de tipo esenciales, categorizadas en el Ministerio de Salud (MINSA) como “Centros de Salud”. Las características estructurales de estas edificaciones, deben ser la simetría en planta, en altura, estructuras sin la presencia de irregularidades de ningún tipo según la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico.

A nivel nacional existen según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2550 Centros de Salud al 2019 (tabla 8).

Tabla 8. Poblacion de Centros de Salud en el pais, Instituto Nacional de Estadistica e Informatica (INEI, 2019).

B. ESTABLECIMIENTOS DEL SECTOR SALUD

INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR SALUD, SEGÙN DEPARTAMENTO, 2016-2019

Año	2019
Tipo de establecimiento	
Hospitales	604
Centros de salud	2 550
Puestos de salud	8 710
Instituto de Salud especializado	18
Consultorios y de otros profesionales de la salud	2019
Centro odontologico	806

3.6.2. Muestra

se ha seleccionado como muestra para el estudio, el Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Morán del Distrito de Tumbes, Provincia y Departamento de Tumbes.

Localización Geográfica y Política de la edificación

El Centro de Salud se localiza en el distrito de Tumbes (figura 14), uno de los seis distritos que conforman la Provincia de Tumbes, en la Región Tumbes. En coordenadas cartesianas se localiza en Latitud Sur de 3°3'4"00", con Longitud Oeste de 80°27'00".

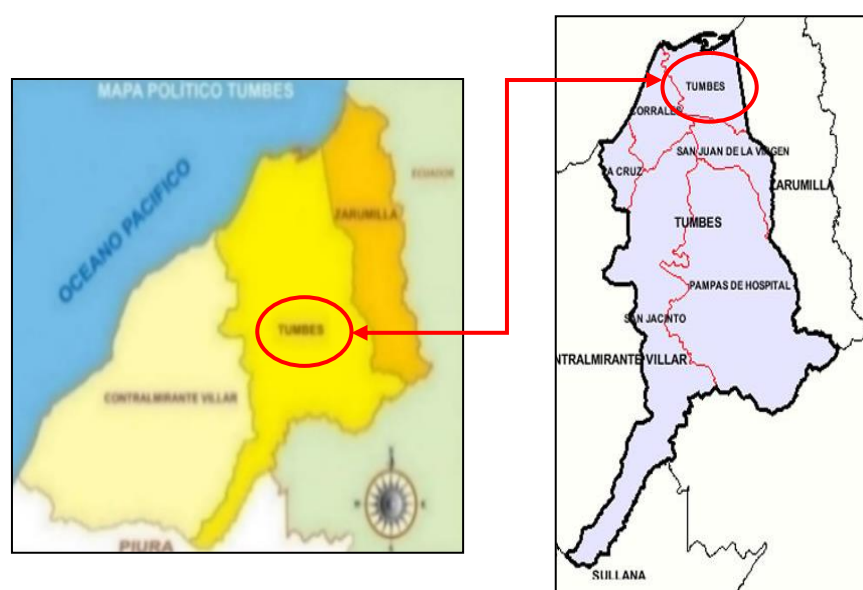


Figura 14. Localizacion del distrito de Tumbes, Centro de Salud Andrés Araujo Moran.

Ubicación de la edificación

El terreno para la ampliación del Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Morán pertenece a la Red de Salud de Tumbes y se encuentra dentro de la unidad ejecutora (UE 940) Red de Salud Tumbes, se encuentra ubicado en la Urbanización Lisnhert Tudela Mz X Lote 01, en el Distrito Tumbes, Provincia Tumbes, Departamento Tumbes (figura 15).



Figura 3. Localización del distrito de Tumbes.

Descripción de la edificación

La edificación con base fija, planteada por la unidad formuladora de proyectos, cuenta con cuatro niveles, dentro de los cuales se distribuye las diversas Unidades de Prestación de Servicios de Salud (UPSS).

La edificación con base aislada está compuesta por dispositivos de aislamiento sísmico de tipo elastomérico con núcleo de plomo en su base, con la finalidad de brindar funcionalidad continua a la edificación después de un evento sísmico, es preciso indicar que, tanto para la edificación con base fija y con base aislada, ambas cuentan con cuatro niveles, dentro de los cuales se distribuye las diversas Unidades de Prestación de Servicios de Salud (UPSS).

El primer nivel está dedicado a la atención de Emergencia, Servicios Generales, Consulta Externa, Centro Obstétrico, Farmacia, Cadena de Frio, Toma de Muestras y Laboratorio para la UPSS de Emergencias y Consulta Externa (figura 16).



Figura 46. Planta arquitectónica de la edificación, nivel 01.

En el segundo nivel del centro de Salud; se tiene Servicios de Consulta Externa, Unidad de Prestación de Servicios de Salud (UPSS) de Centro Quirúrgico, Unidad de Prestación de Servicios de Salud (UPSS) de Central de Esterilización, Unidad de Prestación de Servicios de Salud (UPSS) de Patología Clínica, Unidad de Prestación de Servicios de Salud (UPSS) de Ayuda al Diagnostico en las cuales se tiene Salas de Mamografía, Ecografía Gral. /Obstétrica, Radiología y otros (figura 17).

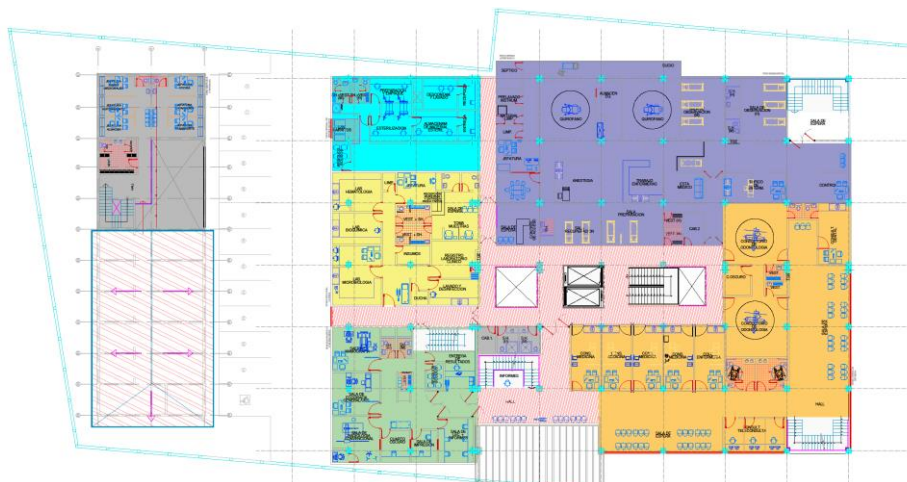


Figura 57. Planta arquitectónica de la edificación, nivel 02.

En el tercer nivel se ubica consulta externa, consultorios de cirugía, nutrición, pediatría, consejerías, VIH y Tuberculosis. En este nivel se presenta la UPSS servicios como Cocina, Cámaras frigoríficas, Lavanderías, Gestión de la Información, Administración y la UPSS de Rehabilitación (figura 18).



Figura 68. Planta arquitectónica de la edificación, nivel 03.

En el cuarto nivel se ubica la Unidad de Prestación de Servicios de Salud (UPSS) de Internamiento de personal médico y enfermeros, presenta además un auditorio con foyer y otros servicios diferenciados. En este nivel se encuentra la UPSS de Residencia médica y La UPSS materno (figura 19).

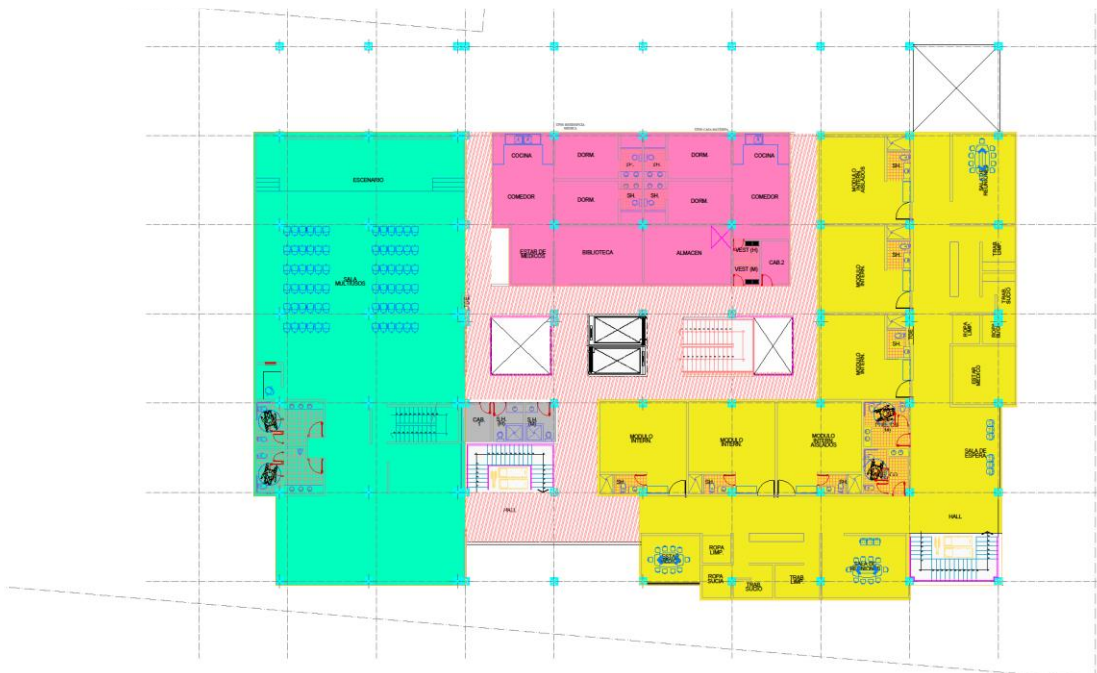


Figura 7. Planta arquitectónica de la edificación, nivel 04.

3.7. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO

Las actividades realizadas, se dividieron en varias fases, que se describen a continuación:

3.7.1. Recolección de información

Se obtuvo información del proyecto de inversión pública, la misma que, fue proyectada por la unidad formuladora de proyectos del Gobierno Regional de Tumbes.

3.7.2. Calculo estructural de la edificación

- Se realizó el análisis de la edificación propuesta en el proyecto de inversión pública
- se determinó el sistema estructural utilizado
- se seleccionó, el material utilizado, peso específico, resistencia del concreto equivalente a $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.
- En esta fase se procedió a determinar la dimensiones, características y propiedades, los componentes estructurales, se definió a demás las cargas, la aceleración de acuerdo a zona y suelo.

3.7.2.1 Edificación con base fija

La edificación fue proyectada, con un sistema convencional sismorresistente en muros de concreto reforzado y pórticos de concreto, bajo el criterio de la norma que no exige el uso de aislamiento sísmico en estructuras esenciales de menor categoría al de hospital.

3.7.2.2 Edificación con base aislada

Se planteó un supuesto hipotético mediante el cual se establece que se puede mejorar el comportamiento estructural con el uso de aislamiento sísmico, sin alterar excesivamente el costo de la estructura.

3.7.2.2.1 Características geométricas del dispositivo de aislamiento sísmico

Se seleccionó como dispositivo de aislamiento sísmico, el aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB), compuesto de un conjunto de: láminas de acero, núcleo de plomo, caucho natural o sintético, placa de acero conectada a la superestructura con placa de acero conectada a la fundación.

Para obtener las características geométricas (altura, diámetro) del dispositivo, previamente se calculó el desplazamiento traslacional máximo D_M , el desplazamiento total máximo D_{TM} , el peso de la edificación, la rigidez, entre otros.

Se consideró un desplazamiento de tipo hipotético, calculando con la ecuación de la Norma Técnica E.031,

$$D_M = \frac{S_{aM} \cdot T_M^2}{4\pi^2 B_M} \quad (15)$$

que proporciona el desplazamiento traslacional máximo para un sismo máximo. En esta ecuación:

S_{aM} : Pseudo aceleración del espectro elástico para un sismo máximo considerado (SMC) en mm/s^2

T_M : Periodo efectivo de la estructura con aislamiento sísmico.

B_M : Factor de amortiguamiento para el amortiguamiento efectivo del dispositivo, calculado para el límite superior e inferior de las propiedades nominales del aislador.

Para la Pseudo aceleración S_{aM} se recurrió a la ecuación:

$$S_{aM} = 1.5 * Z * C * S * g \quad (16)$$

Donde:

S_{aM} : Pseudo aceleración para la zona sísmica.

$Z = 0.45$ (Aceleración sísmica para zona 3)

$T = 0.47\text{s}$ (Periodo de la estructura con base fija, obtenida del modelado)

$C = 2.5$ donde $0.2 T_p < T < T_L$, además $T_p = 1.0\text{ s}$ y $T_L = 1.6\text{ s}$

$T_M = 3.0\text{ s}$ (Se propuso como periodo objetivo elevando cinco veces el periodo con base fija $T = 0.47\text{ s}$ más de cinco veces)

$S = 1.10$ (Tabla N°3 “Factor de Suelo S” de la norma E.030)

$B_M = 1.35$ (15% de amortiguamiento crítico del dispositivo)

Reemplazando valores en la ecuación de desplazamiento se tiene:

Con el resultado obtenido se determinó el desplazamiento total máximo, que incorpora los desplazamientos torsionales al desplazamiento máximo mediante la ecuación:

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left[\frac{y}{P_T^2} \right] \cdot \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (17)$$

De las dimensiones del proyecto arquitectónico se obtuvo la siguiente información:

D_{TM} : Desplazamiento total máximo

D_M : 0.3134 m

y : 24.00 m Distancia del centro de rigidez al punto más alejado de la estructura

e : 2.40 m (Excentricidad, equivalente al 5% del lado mayor de la edificación).

b : 36.00 m Lado menor de la edificación

d : 48.00 m Lado mayor de la edificación

P_T^2 : Razón entre el periodo traslacional efectivo de la estructura y el periodo rotacional de la edificación. La norma técnica E031 menciona que no requiere ser menor que la unidad, se consideró 1.15.

El Peso de la edificación del Centro de Salud se determinó mediante la combinación establecida en la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, definida como “Carga promedio” igual a:

$$\text{Carga promedio} = 1.0CM + 0.5CV. \quad (18)$$

Peso que descansa sobre los dispositivos de aislamiento. El peso total incluyendo los dados de concreto, losa maciza y vigas se dividieron entre el número “N” de aisladores utilizados.

Se determinó el peso sísmico de la edificación considerando los elementos estructurales predimensionados requeridos por el nivel de aislamiento, determinando mediante el software Etabs (ver sección 3.7.3).

Para el cálculo de la rigidez del dispositivo en la dirección horizontal del dispositivo antisísmico se utilizó la ecuación de rigidez que relaciona la masa de la estructura, el periodo de la estructura y su rigidez que se deriva de la Ley de Hooke:

$$K_h = P_{Umax} * \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \quad (19)$$

donde:

K_h : Rigidez del dispositivo en la dirección horizontal

P_{Umax} : Carga axial sobre el dispositivo

T_M : Periodo efectivo de la estructura con aislamiento sísmico.

La rigidez inicial se determinó reemplazando el peso promedio de la estructura, y haciendo uso de la ecuación de rigidez, masa y periodo:

$$K_{eff} = K = P_{PROMEDIO} * \left(\frac{2\pi}{T_M} \right)^2 \quad (20)$$

donde:

K, K_{eff} : Rigidez promedio del dispositivo en la dirección horizontal.

P_{Umax} : 142.53 Ton (Peso promedio sobre dispositivo).

T_M : 3.0 s. (Se propuso como periodo objetivo elevando cinco veces el periodo con base fija $T = 0.47$ s más de cinco veces)

Hallando la rigidez del sistema en kilonewtons:

$$K_H = (n)K_h \quad (21)$$

La altura de caucho H_r se calculó con la relación

$$H_r = \frac{D_{TM}}{\gamma_D} = \frac{D_{TM}}{H_r} \quad (22)$$

donde la “deformación por corte” γ_D satisface la condición:

$$\gamma_D = \leq 2.5 \quad (23)$$

Se eligió $\gamma_D = 2$.

Para determinar el área y luego el diámetro del dispositivo se utilizó la ecuación de rigidez promedio K .

$$K_{eff} = K = \frac{G \cdot A}{H_r} \quad (24)$$

Con $A = \pi r^2$: Área del dispositivo sometida a compresión axial.

Se tomó el módulo de corte para dispositivos estándar que equivale a $G = 0.4 \text{ kN/mm}^2$ (Caucho blando, proveedores tensa y FIP).

3.7.2.2.2 Características físicas-mecánicas del dispositivo de aislamiento antisísmico

Para obtener las características físicas – mecánicas del dispositivo, previamente se calculó la fuerza característica Q , la rigidez post fluencia K_2 , la rigidez efectiva K_{eff} , el desplazamiento de fluencia D_y , entre otros.

La fuerza característica Q está en función al área de la sección transversal del núcleo de plomo a utilizar, calculado con la siguiente ecuación,

$$Q = A_{LEAD} * G_{LEAD} \quad (25)$$

Dónde:

Q : Fuerza característica

$A_{LEAD} : \pi * (d^2)/4 \text{ m}^2$ (Área transversal del núcleo de plomo)

$G_{LEAD} : (85 - 115) \text{ kg/cm}^2$ (Tensión de fluencia del plomo)

se realizaron varios procesos iterativos, determinando que el diámetro del núcleo del plomo que mejora la rigidez del dispositivo, es 15 cm.

Para el área transversal del núcleo de plomo se recurrió a la ecuación:

$$A_{LEAD} : \pi * (d^2)/4 \text{ m}^2 \quad (26)$$

La tensión de fluencia del plomo considerado es G_{LEAD} equivalente a 85 kg/cm^2 para dispositivos LRB, lo cual permitirá lograr el periodo efectivo deseado de la estructura con aislamiento.

Para el cálculo de la rigidez post fluencia $K_2 = K_D$, se determina únicamente en función a las características y área transversal del núcleo de plomo, igual a:

$$K_2 = \frac{G * A}{H_r} \quad (27)$$

Donde:

K_2 : Rigidez post fluencia en kN/mm

G : 0.4 N/mm^2 (Módulo de corte para caucho blando)

A : Área transversal del núcleo del plomo (área del caucho menos el área del plomo)

H_r : 0.183 m.

Para calcular el área del caucho se realizaron varios procesos iterativos, determinando que el diámetro del núcleo del plomo que mejora la rigidez del dispositivo, es 15 cm.

Para el área transversal del núcleo de plomo se recurrió a la ecuación:

$$A = \frac{((D_e)^2 - (D_e)^2) * \pi}{4} \quad (28)$$

La rigidez efectiva K_{eff} inicial se determinó reemplazando la fuerza característica Q, el Desplazamiento máximo total del dispositivo, y Rigidez post fluencia:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D_{MT}} \quad (29)$$

Para el cálculo del desplazamiento de fluencia D_y , la definiremos mediante la fuerza característica Q dividida por la diferencia de la rigidez inicial y rigidez post fluencia:

$$D_y = \frac{Q}{(K_1 - K_2)} \quad (30)$$

Dónde:

Q : Fuerza característica

K_2 : rigidez post fluencia

K_1 : se asume que es equivalente a 10 veces la rigidez post fluencia

Con el resultado obtenido del desplazamiento máximo total del dispositivo, fuerza característica Q, y desplazamiento de fluencia, se determinó la energía disipada, mediante la siguiente ecuación:

$$E_D = 4Q (D_{MT} - D_y) \quad (31)$$

Dónde:

E_D : Energía disipada por ciclo histèretico en KN.m

En Constantinou et. al, (2007, p. 22), se menciona que el amortiguamiento efectivo de un dispositivo está definido por la siguiente ecuación:

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D_{MT}^2} \quad (32)$$

Dónde:

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo del dispositivo.

E_D : Energía disipada por ciclo histéretico.

K_{eff} : Rigidez efectiva del dispositivo.

D_M^2 : Desplazamiento máximo elevado al cuadrado.

Para el cálculo de la rigidez inicial o elástica K_1 es equivalente a la fuerza característica requerida para lograr un desplazamiento de fluencia inicial, más la rigidez post fluencia del dispositivo, como se aprecia en la ecuación,

$$K_1 = \frac{Q}{D_y} + K_2 \quad (33)$$

La fuerza de fluencia F_y es igual a la fuerza característica Q más el producto de la rigidez post fluencia K_2 que multiplica al desplazamiento de fluencia D_y . Por tanto, se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_y = Q + (K_2 * D_y) \quad (34)$$

El ratio de rigidez, se determina mediante la relación de rigidez post fluencia y rigidez inicial o elástica, se tiene que:

$$\frac{K_2}{K_1} \quad (35)$$

La Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, en el Artículo 20, ítem 20.2 señala que el periodo efectivo de la estructura con aislamiento sísmico es igual a T_M y se determina con la siguiente ecuación:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{K_M g}} \quad (36)$$

Dónde:

T_M : Periodo del edificio con aislamiento

P : 8979 *Ton* (Peso o Carga promedio según la E.030 en kN)

K_M : 61.74 *kN/mm* (Rigidez efectiva del sistema en kN/mm)

g : 9806 *mm/s²* (Aceleración de la gravedad)

Con el periodo real del Centro de Salud calculado, se determina la frecuencia angular del sistema, que servirá para determinar el amortiguamiento efectivo. La frecuencia angular está dada por la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_M} \quad (37)$$

El amortiguamiento efectivo del sistema se calcula teniendo en cuenta la frecuencia angular de la estructura mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{E_D}{2\pi * D_M^2 * \omega} \quad (38)$$

Dónde:

C : Amortiguamiento efectivo del aislador

E_D : 198.87 *kN.m* (Energía disipada por ciclo histéretico)

D_M : 0.366 *m* (Desplazamiento máximo del sistema)

ω : 2.6243 *rad/seg* (frecuencia angular)

3.7.3. Modelamiento estructural de la edificación con base fija y base aislada

La edificación original cuenta con tres bloques estructurales, que se procedieron a modelar en el software ETABS, obteniendo como resultado un bloque único con base fija y un bloque único con base aislada, previo a ello, se deberá contar con la siguiente información:

3.7.3.1. Parámetros para el modelamiento estructural para ambas edificaciones

El Centro de Salud se encuentra en zona de peligro sísmico “Z=4” con suelo blando “S3”. El área de planta de la estructura que llevará aislamiento sísmico es $A= 1728 \text{ m}^2$

- La longitud mayor de la planta arquitectónica tiene $L_A = 48.00 \text{ m}$, mientras que la longitud menor tiene $L_B = 36.00 \text{ m}$ sin considerar los voladizos de las plantas superiores.
- La estructura cuenta con una altura de 19.80m incluyendo la caja del montacargas, tiene cuatro plantas con aligerados de 0.20m (tabla 9).

Tabla 9 Niveles y altura del centro de Salud.

Centro de Salud	Altura (m)	Acumulado (M)
Caja de Montacargas	3	3.00
Nivel 04	4.2	16.8
Nivel 03	4.2	12.6
Nivel 02	4.2	8.4
Nivel 01	4.2	4.2
Nivel de Base	1.2	
Interfaz de aislamiento	0.35	
Dado de Concreto	1.2	
Altura de la Superestructura		19.8

El proyecto arquitectónico se ha definido con los siguientes parámetros para determinar la fuerza sísmica y la pseudoaceleración: zona Sísmica Z: 0.45g de aceleración sísmica. Uso del proyecto arquitectónico factor $U=1.00$ y la clasificación para los estratos para el tipo de suelo es S3 o blando, por tanto, se consideró como periodos $T_p=1.0 \text{ s}$ (periodo corto) y periodo $T_L=1.6$ (periodo largo).

Respecto al coeficiente sísmico utilizado se usó las ecuaciones del Artículo 14 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, que establece la siguiente relación:

$$0.2 \quad T_p < T \rightarrow C = 2.5 \quad (39)$$

3.7.3.1.1. Definición del material del modelamiento

El Centro de Salud utiliza pórticos de concreto, con una resistencia convencional, debido a que el pre dimensionamiento y las secciones de los elementos estructurales son proporcionales a la resistencia utilizada. Por tanto, se utilizó la siguiente configuración:

- Resistencia a la Compresión Concreto: $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Compresión Albañilería: $f'_m=140 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia del acero : $f'_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad del Concreto : $E_c= 2824.95 \text{ kg/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson : $\mu= 0.20$
- Peso específico del Concreto Armado: $\gamma_{CA}=2400 \text{ kg/cm}^3$

3.7.3.1.2. Material de la estructura en el ETABS V.18

En la ventana de “*Material Property*” del software de análisis se procedió a determinar el tipo de concreto propuesto para el proyecto arquitectónico, ingresando los datos definidos para el material como resistencia del concreto, módulo de elasticidad del concreto, módulo de Poisson’s, peso del concreto.

Se debe señalar que el módulo de elasticidad fue calculado con la ecuación de la norma ACI 318, considerando la resistencia del concreto, como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$E_o = 15100 \sqrt{f'_c} \quad (43)$$

El software solicita el ingreso del módulo de elasticidad en unidades de kg/mm^2 , por ende se hizo la conversión de centímetros a milímetros:

$$E_o = 151 \sqrt{210} \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$
$$E_o = 2188.20 \text{ kg/mm}^2$$

3.7.3.2. Criterios de modelamiento para ambas edificaciones de base fija y base aislada

3.7.3.2.1. Diafragma Rígido.

En el modelamiento se requiere determinar los desplazamientos traslacionales del nivel de base, además se requiere determinar la deformación lateral angular de los entrepisos. Para

lograr estos objetivos se ha utilizado el criterio de diafragma rígido, el cual considera que los elementos horizontales como vigas y losas, tienen alta rigidez en la dirección horizontal, por lo que se asume que son indeformables en la dirección paralela a su plano (figura 20).

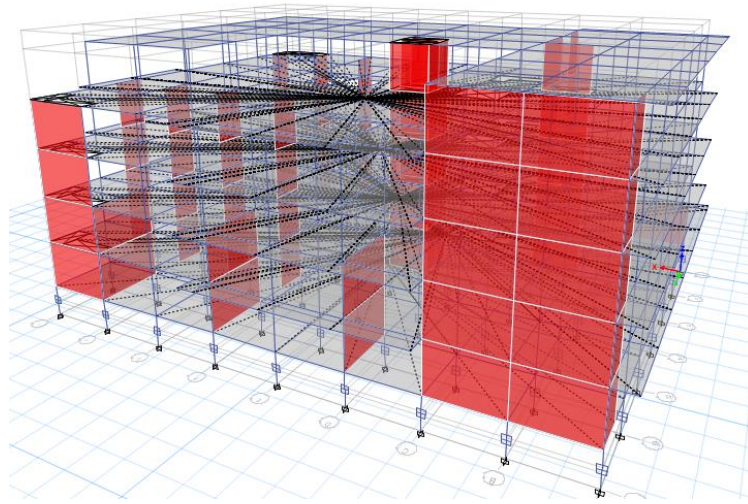


Figura 20 Diafragma rígido del bloque único en cada nivel.

El resultado de la aplicación de este criterio es un desplazamiento uniforme en la dirección horizontal. Se ha considerado un diafragma por cada nivel.

3.7.3.2.2. Pesos unitarios para cargas estructurales y vivas

Las cargas propias o estructurales, cargas impuestas y cargas vivas se definieron en función a la norma E.020 del RNE que se establece en la sección 6.1 y Anexo 01 de la norma, los pesos con los que se trabajara en la presente investigación (tabla 10).

Tabla 10 Cargas estructurales y Sobrecargas

Cargas	Peso unitario
Peso del concreto y acero	2400 kg/m ³
Muros y tabiquería en ladrillo u otro	150 kg/m ²
Acabados en pisos	100 kg/m ²
Peso del ladrillo en Aligerado	50 kg/m ²
Carga de techos metálicos	100 kg/m ²
Uso como edificio esencial (Carga viva)	400 kg/m ²

3.7.3.2.3. Participación de masa en el análisis y casos modales

De acuerdo a la Norma técnica E.030 diseño sismorresistente, en el análisis de cualquier edificación, se tiene que obtener resultados de desplazamientos y deformaciones con la participación del 90% de la masa como mínimo. Además, se tuvo en cuenta que el análisis

requiere de tres casos modales de vibración por cada nivel de la estructura, por lo cual, en el análisis, se consideró el uso de 12 casos modales, teniendo en cuenta que la edificación cuenta con 4 niveles, de esta manera se aseguró un alto porcentaje de participación de la masa en el análisis, la configuración del software con este criterio (figura 21).

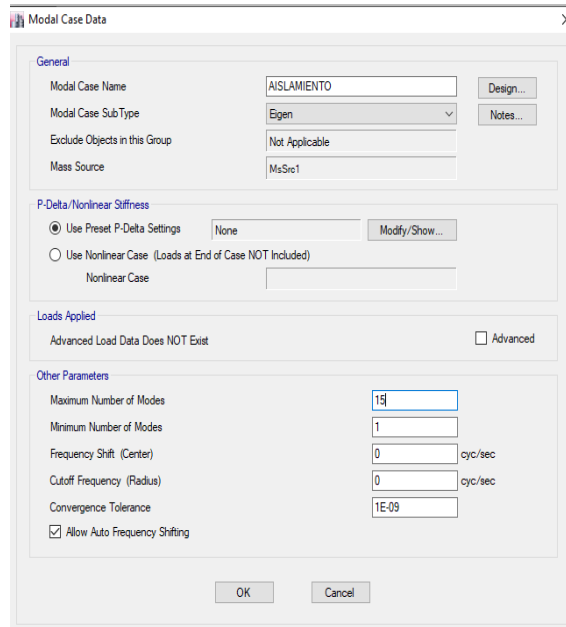


Figura 8 Casos Modales de análisis.

3.7.3.2.4. Respuesta sísmica mediante CQC

En la norma técnica E.030, se establece que la respuesta hallada para cada modo de vibración debe ser mediante el método de combinación cuadrática completa (CQC), que es una opción que sea configurado cuando se generó los casos de sismos dinámicos, (véase figura 22).

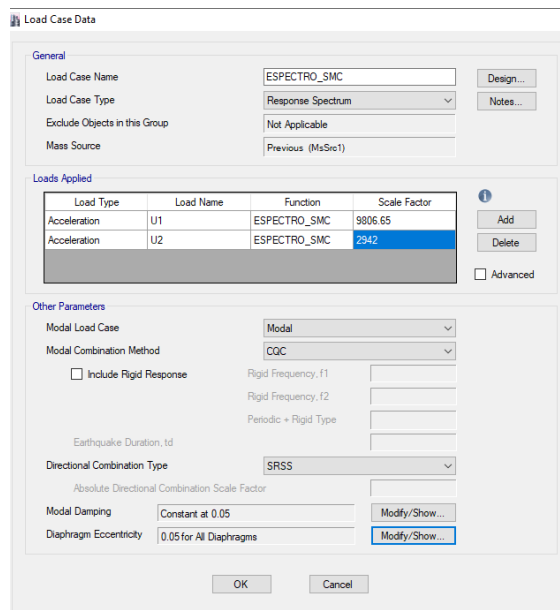


Figura 9 Casos Modales de análisis, respuesta sísmica.

3.7.3.2.5. Criterio de restricción al desplazamiento en la base

Para restringir el desplazamiento de los elementos en la base se requiere del empotramiento de los elementos estructurales que conectan con el suelo. Se aplicó este criterio a los elementos como muros y columnas que se encuentran en el sótano (figura 23). En el caso del ascensor se aplicó el criterio de dos empotramientos, permitiendo en el análisis que estos muros que conforman el ascensor tengan desplazamiento lateral conjunto con la estructura principal.

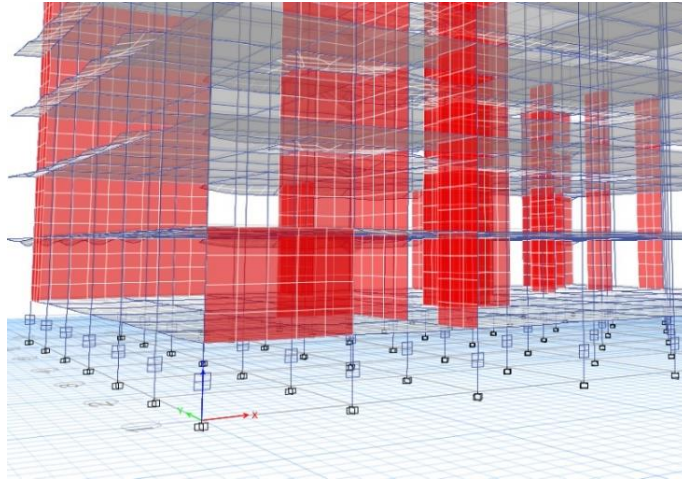


Figura 23 Casos Modales de análisis.

3.7.3.2.6. Incorporación de brazo rígido

Se consideró además la incorporación de brazo rígido en el modelamiento estructural (End Length Offsets), de forma automática para columnas y vigas. En el caso de muros estructurales y elementos shell (losas) se aplicó la propiedad de Auto Edge Constraints de forma automática pues esto permite la conexión automática de losas y muros en el modelamiento estructural, (figura 24).

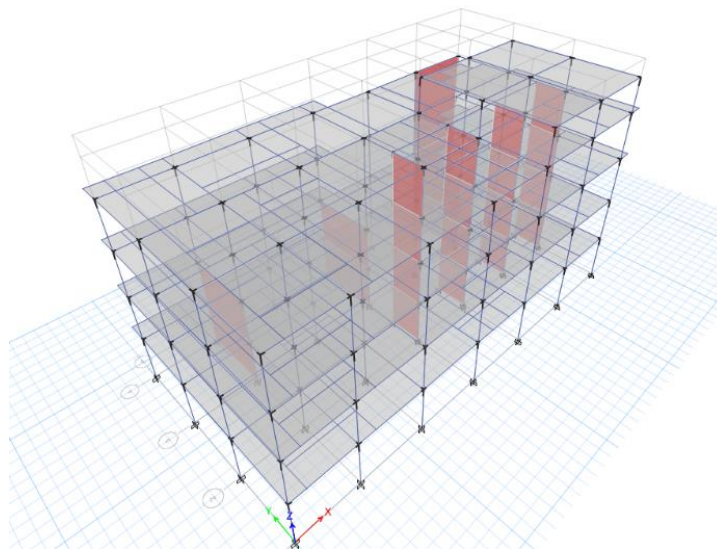


Figura 10 Incorporación de brazo rígido en el modelo.

3.7.3.2.7. Modelamiento de los dispositivos de tipo link

Los dispositivos se modelaron siguiendo los criterios de un modelo teórico con tres grados de libertad (Axial U1, horizontal X – U2 y horizontal Y – U3), ingresando las propiedades verticales, las propiedades horizontales o mecánicas de rigidez, amortiguamiento, fuerza de fluencia (figura 25). En el criterio de análisis, se consideró un análisis de tipo no lineal, con un espectro generado de acuerdo a la norma E.031 Aislamiento Sísmico para un sismo máximo considerado (SMC).

Identification	
Property Name	DISPOSITIVO_PLOMO
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	0.98146 kN/mm
Effective Damping	0.18021 kN-s/mm

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.2 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	5.7932 kN/mm
Yield Strength	163.54 kN
Post Yield Stiffness Ratio	0.097

Figura 11 Generación de elementos link.

3.7.3.3. Edificación con base fija

se realizó el modelamiento estructural por cada bloque (tres bloques estructurales), posteriormente se realiza una propuesta en conjunto (uniendo los tres bloques).

3.7.3.4. Edificación con base aislada

se realizó el modelamiento estructural con aislamiento sísmico de la propuesta en conjunto.

- se procedió a incorporar las cargas
- se definió la forma de cálculo de masas, a través de la norma Técnica E.030 y norma Técnica E.031.
- se procedió al análisis de la estructura por espectro de pseudoaceleraciones para un Sismo Máximo Considerado “SMC”.

- Se determino los resultados (derivadas, desplazamientos, periodos).

3.7.4. Análisis tiempo historia

Se realizo un procedimiento de análisis complementario para las estructuras con aislamiento sísmico.

Mediante este procedimiento se determina: i) aceleraciones, ii) deformación angular y iii) desplazamiento en la edificación, así mismo, este análisis, se realiza con la finalidad de comprobar los desplazamientos de la estructura con los dispositivos de aislamiento sísmico, frente a eventos sísmicos naturales o sintéticos.

3.7.5. Resultados y conclusión

Se procedió a realizar el análisis estructural de la edificación considerando los indicadores propuestos, deformación lateral, periodo, aceleración, clasificando la información en tablas, y así efectuar las principales conclusiones de la investigación.

3.7.6. Fase de discusión de resultados

Se realizó la contrastación de resultados con las hipótesis propuestas. Realizando una discusión sobre los resultados obtenidos.

3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para la información, se utilizó como técnica la observación estructurada a través del registro sistemático, confiable y válido de bibliografías concerniente al diseño y análisis de edificaciones con aislamiento sísmico.

A continuación, se muestran las técnicas e instrumentos utilizadas en el presente estudio:

Técnicas

- Análisis iterativo de las propiedades de los dispositivos de aislamiento sísmico.
- Análisis modal espectral de la edificación con base fija.
- Análisis modal espectral para un SMC de la edificación con base aislada.
- Análisis por tiempo historia de la edificación con base aislada.

Instrumentos

- Norma Técnica E.030.
- Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico.
- Norma técnica E.020.
- Norma ASCE 7/16.

CAPITULO IV

CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ASPECTOS ESTRUCTURALES COMUNES A LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA

En la propuesta estructural de la edificación, se considera el uso de pórticos de concreto y muros de concreto reforzado.

En el Centro de Salud, se ha seleccionado las columnas céntricas que soportan mayor carga estática, por tanto, se verifica el pre dimensionamiento para las columnas:

4.1.1 Columnas

Para el predimensionamiento se ha seleccionado las columnas céntricas y columnas perimetrales, en vista que soportan mayores cargas estáticas. La resistencia del material considerado es $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ teniendo en cuenta que la edificación está proyectada para 4 niveles.

Columna céntrica

Dónde:

$P_{(\text{servicio})}$: Peso* Área Tributaria* N° de Pisos

A : $6.0 * 6.0 = 36.00 \text{ m}^2$ (área tributaria)

P : 1.5 ton/m^2 (peso)

N : 4 (número de pisos)

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (resistencia del material)

Reemplazando los valores:

$$A_{col} = \frac{36 \text{ m}^2 * 1.5 \text{ ton/m}^2 * 4}{0.45 (210 \text{ kg/cm}^2)} \quad (44)$$

$$A_{col} = 2133 \text{ cm}^2 > 1000 \text{ cm}^2$$

$$A_{col} = 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2500 \text{ cm}^2.$$

Dados de concreto

Los datos de concreto que la estructura utilizará han sido propuestos con una sección de área transversal de $1.20 \text{ m} \times 1.20 \text{ m}$. para cubrir la sección transversal del dispositivo incluyendo las chapas metálicas para el empotramiento de los dispositivos. Se ha

considerado las características geométricas del predimensionamiento, por lo que, estos elementos de empotramiento tendrán las siguientes dimensiones:

$$h = 0.90 \text{ m (altura del dado de concreto)}$$

$$A_{\text{dado de concreto}} = 1.2 \text{ m} * 1.2 \text{ m}$$

4.1.2 Elementos horizontales

Se procedió a realizar el pre dimensionamiento de los elementos horizontales como las vigas peraltadas, losas aligeradas y losas macizas, considerando las longitudes entre soportes verticales.

4.1.2.1. Predimensionamiento de losas aligeradas

Se calculó a través de la longitud o luz entre columnas, mediante la siguiente ecuación:

$$h_{L.Alig} = \frac{L}{25} \quad (45)$$

donde:

$$L = 6.00$$

Por tanto:

$$h_{L.Alig} = \frac{5.5}{25} = 0.22 \text{ m}$$

Se propone por tanto una aligerado de espesor:

$$h_{L.Alig} = 0.25 \text{ m}$$

Para el diafragma rígido se utilizó una losa maciza con espesor de 30 centímetros, en vista que el diafragma rígido o nivel de base se convierte en la cimentación de la superestructura.

$$h_{L.Maciza} = 0.30 \text{ m}$$

4.1.2.2. Predimensionamiento de vigas peraltadas en los aligerados

$$h = \frac{L}{10} ; b = \frac{h}{2} \quad (46)$$

Donde:

$$L = 5.5 \text{ m}$$

Por tanto:

$$h = \frac{5.5}{10} = 0.55 \text{ m} = 0.60 \text{ m}$$

Además:

$$b = \frac{0.60}{2} = 0.30 \text{ m}$$

Por tanto, redondeando

$$h = 0.60 \text{ m} \quad y \quad b = 0.30 \text{ m}$$

4.1.2.3. Predimensionamiento Vigas peraltadas en la losa maciza del nivel base (dispositivo)

$$h = \frac{L}{10} * 1.5 ; b = \frac{h}{2} * 1.3 \quad (45)$$

Donde:

$$L = 5.5 \text{ m}$$

Por tanto:

$$h = \frac{5.5}{10} = 0.55 * 1.5 \text{ m} = 0.82 \cong 0.9 \text{ m}$$

Además:

$$b = 0.45 \text{ m} (* 1.3) = 0.585 \cong 0.60 \text{ cm}$$

Por tanto, redondeando

$$h = 0.90 \text{ m} \quad y \quad b = 0.60 \text{ m}$$

4.2. EDIFICACIÓN CON BASE FIJA

4.2.1. Modelamiento estructural de los bloques 01, 02, 03 y bloque único

En las figuras 26, 27, 28, 29, se presenta el modelamiento estructural del centro de salud inicialmente se hizo para los bloques por separado respetando las secciones estructurales de columnas, vigas y muros de concreto. Se consideró además las cargas, la pseudoaceleración desarrollado para la Zona 4 (Tumbes) y el tipo de suelo S3.

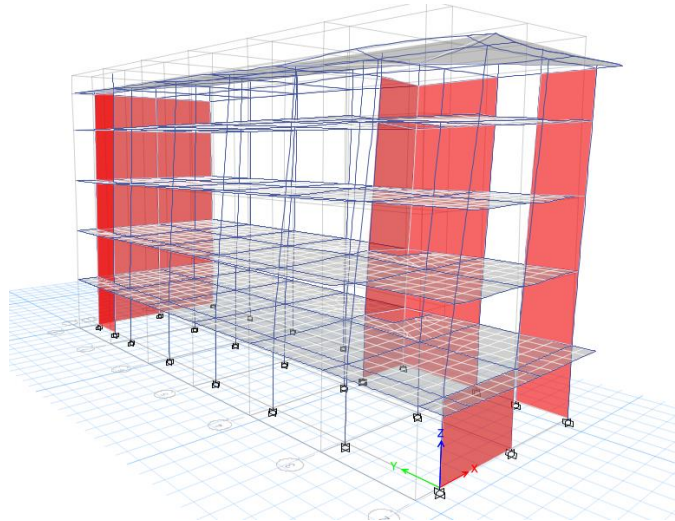


Figura 26 Modelamiento estructural del Bloque 01, software ETABS.

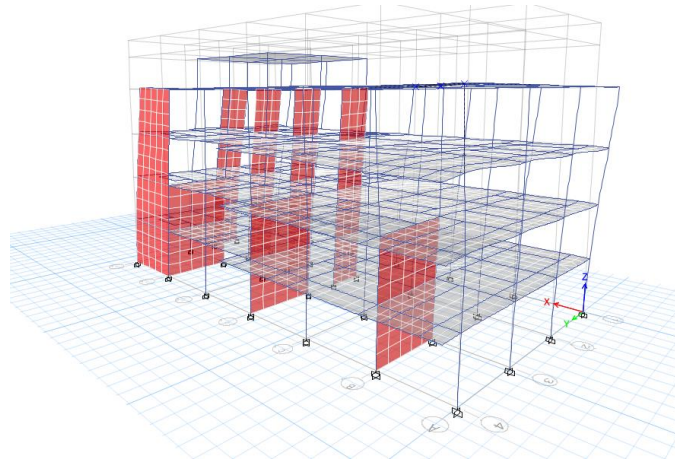


Figura 27 Modelamiento estructural del Bloque 02, software ETABS.

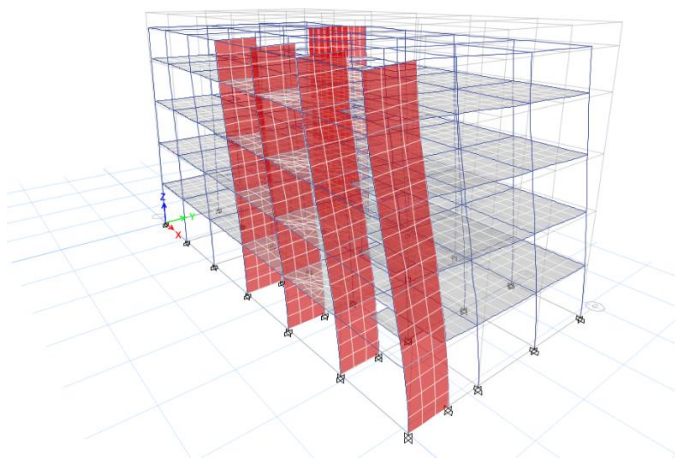


Figura 28 Modelamiento estructural del Bloque 03, software ETABS.

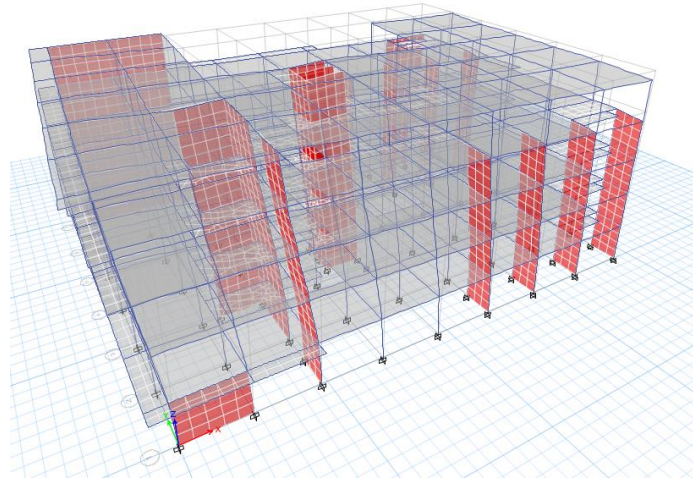


Figura 29 Modelamiento estructural del Bloque único, software ETABS.

4.3. EDIFICACIÓN CON BASE AISLADA

4.3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL DISPOSITIVO, AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)

Desplazamiento para un sismo máximo considerado D_M

Con la ecuación del Artículo 20 “Desplazamientos laterales considerados para el diseño” de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico:

$$D_M = \frac{S_{aM} \cdot T_M^2}{4\pi^2 B_M} \quad (15)$$

Y la ecuación

$$S_{aM} = 1.5 * Z * C * S. g \quad (16)$$

se obtuvo

$$D_M = \frac{(1.5 * 0.45 * 2.5 * 1.10) * (3.0)^2}{4\pi^2 * 1.35} = 0.3134 \text{ m.}$$

Desplazamiento total para un sismo máximo D_{TM}

Con el resultado anterior, se determinó el desplazamiento total máximo (que incorpora los desplazamientos torsionales al desplazamiento máximo mediante la ecuación del Artículo 20, Ítem 20.3 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico):

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left[\frac{y}{P_T^2} \right] \cdot \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (17)$$

El valor de desplazamiento total es:

$$D_{TM} = 0.3134 \text{ m} \left[1 + \left[\frac{24.00}{1.15} \right] \cdot \left(\frac{12 (2.40)}{36.00^2 + 48.00^2} \right) \right]$$

$$D_{TM} = 0.3658 \text{ m}$$

Peso de la edificación

El peso sísmico de la edificación, considerando los elementos estructurales predimensionados requeridos por el nivel de aislamiento, obtenido mediante el software Etabs se presenta en la tabla 11.

Tabla 11. Peso sísmico de la edificación

Nivel	UX	UY	Peso
	Kg	kg	Ton
Nivel5	537101.21	537101.21	537.101
Nivel4	1419940.54	1419940.54	1419.941
Nivel3	1444331.36	1444331.36	1444.331
Nivel2	1467283.58	1467283.58	1467.284
Nivel1	1508479.18	1508479.18	1508.479
Nivel de Aislamiento	2602052.12	2602052.12	2602.052
Dispositivos de Aislamiento	146386.8	146386.8	
Pedestales	146386.8	146386.8	
Base	130636.8	130636.8	
Peso sobre la interfaz de aislamiento			8979.19
Numero de Dispositivos N			63
Peso sobre cada dispositivo (P_{Umax})			142.53

Donde

UX: Dirección X

UY: Dirección Y

Rigidez horizontal del dispositivo

Con la ecuación que relaciona la rigidez horizontal K_h con la carga axial sobre el dispositivo P_{Umax} y el período de la edificación aislada T_M :

$$K_h = P_{Umax} * \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \quad (19)$$

Y la ecuación para la rigidez promedio K del dispositivo en la dirección horizontal:

$$K = P_{PROMEDIO} * \left(\frac{2\pi}{T_M} \right)^2 \quad (20)$$

se obtuvo el valor de la rigidez promedio K

$$K = 142.53 \text{ ton} * \left(\frac{2\pi}{3.0s} \right)^2$$

$$K = 142.53 \left(\frac{9.806}{9806} \right) kN/mm * \left(\frac{2\pi}{3.0s} \right)^2$$

$$K = 0.625 \text{ kN/mm}$$

y la rigidez horizontal K_h

$$K_H = 39.388 \text{ kN/mm} \quad (21)$$

Valor que se incrementó con la incorporación del n núcleo de plomo pero que inicialmente se utilizó para determinar un diámetro aproximado del dispositivo.

Altura de caucho del dispositivo

El valor de la altura de caucho H_r es

$$H_r = \frac{D_{TM}}{\gamma_D} = \frac{0.366m}{2} \quad (22)$$

$$H_r = 0.183 \text{ m}$$

Diámetro del dispositivo

El área del dispositivo es

$$A = \frac{H_r * K_{eff}}{G} \quad (24)$$

$$A = \frac{183 \text{ mm} * 0.625 \text{ kN/mm}}{0.4 \text{ N/mm}^2}$$

$$A = \frac{183 \text{ mm} * 0.625 \text{ kN/mm}}{0.4 (0.001 \text{ kN}) / (0.001m)^2}$$

$$A = 0.28586 \text{ m}^2$$

y el diámetro

$$d = 2 \left\{ \sqrt{\frac{A}{\pi}} \right\} = 2 \left\{ \sqrt{\frac{0.28586}{\pi}} \right\}$$

$$d = 0.6033 \text{ m} = 0.60 \text{ m}$$

4.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DEL DISPOSITIVO ANTISÍSMICO

Fuerza característica Q

Se tiene que la fuerza característica Q es equivalente a:

$$Q = A_{LEAD} * G_{LEAD} \quad (25)$$

Y la ecuación

$$A_{LEAD} : \pi * (d^2)/4 \text{ m}^2 \quad (26)$$

$$A_{LEAD} : \pi * ((0.15\text{m})^2)/4 \text{ m}^2$$

$$A_{LEAD} : 0.01767 \text{ m}^2$$

Se obtuvo

$$Q = 0.01767 \text{ m}^2 * 85 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q = 0.01767 \text{ m}^2 * 85 (0.001)(9.8\text{kN})/(0.01\text{m})^2 = 147.19 \text{ kN}$$

Rigidez post fluencia $K_2 = K_D$

Se tiene que la rigidez post fluencia es equivalente a:

$$K_2 = \frac{G * A}{H_r} \quad (27)$$

Hallando el área "A" se obtiene:

$$A = \frac{((D_e)^2 - (D_e)^2) * \pi}{4} \quad (28)$$

$$A = \frac{((0.60\text{m})^2 - (0.15\text{m})^2) * \pi}{4}$$

$$A = 0.26507188 \text{ m}^2 .$$

Se obtuvo

$$K_2 = \frac{0.4 \text{ N/mm}^2 * 0.26507188 \text{ m}^2}{183 \text{ mm}}$$

$$K_2 = \frac{0.4 (0.001 \text{ kN})/\text{mm}^2 * 0.26507188 (1000\text{mm})^2}{183 \text{ mm}}$$

$$K_2 = 0.5793 \text{ kN/mm}.$$

Cálculo de la rigidez efectiva K_{eff}

Se calcula mediante la ecuación de (Naeim & Kelly, 1999), y verificado por (Constantinou et. al, 2007, p. 22).

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D_{MT}} \quad (29)$$

Se obtuvo

$$K_{eff} = 0.5793 \frac{kN}{mm} + \frac{147.19 kN}{366 mm}$$
$$K_{eff} = 0.981458 kN/mm$$

Cálculo del desplazamiento de fluencia D_y

Se define mediante la fuerza característica Q dividida por la diferencia de la rigidez inicial y rigidez post fluencia. La rigidez inicial o elástica K_1 se asume que es equivalente a 10 veces la rigidez post fluencia, en vista que no se puede calcular experimentalmente ni matemáticamente, dado que a un desplazamiento de fluencia $D_y = 0$ la rigidez no es calculable.

$$D_y = \frac{Q}{(K_1 - K_2)} \quad (30)$$

Y la ecuación

$$K_1 = 10 K_2$$

$$K_1 = 10 \left(0.5793 \frac{kN}{mm} \right)$$

$$K_1 = 5.793 \frac{kN}{mm}$$

Se obtuvo

$$D_y = \frac{147.19 kN}{\left(5.793 \frac{kN}{mm} - 0.5793 \frac{kN}{mm} \right)}$$

$$D_y = 28.23 mm$$

Energía disipada en cada ciclo por el dispositivo

La energía disipada por ciclo histéretico se calcula mediante:

$$E_D = 4Q (D_{MT} - D_y) \quad (31)$$

Se obtuvo

$$E_D = 4(147.19 \text{ kN})(0.366 \text{ m} - 0.02823 \text{ m})$$

$$E_D = 198.87 \text{ kN.m}$$

Amortiguamiento efectivo del dispositivo

Con el resultado anterior, se determinó la energía disipada, en Constantinou et. al, (2007, p. 22), está definido por la siguiente ecuación:

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D_{MT}^2} \quad (32)$$

Se obtuvo

$$\beta_{eff} = \frac{198.87 \text{ kN.m}}{2\pi(0.981458 \text{ kN/mm})(0.366 \text{ m})^2}$$

$$\beta_{eff} = \frac{198.87 \text{ kN.m}}{2\pi\left(\left(\frac{0.981458}{0.001}\right) \text{ kN/m}\right)(0.366 \text{ m})^2}$$

$$\beta_{eff} = 0.2407 \text{ (\%)}$$

Y calculando el factor de amortiguamiento,

$$B = \left(\frac{\beta_{eff}}{0.05}\right)^{0.3} \quad (37)$$

Se obtuvo

$$B = \left(\frac{0.2407}{0.05}\right)^{0.3}$$

$$B = 1.6$$

Rigidez elástica K_1

La rigidez inicial elástica K_1 es equivalente a:

$$K_1 = \frac{Q}{D_y} + K_2 \quad (33)$$

Se obtuvo

$$K_1 = \frac{147.19 \text{ kN}}{28.23 \text{ mm}} + 0.5793 \text{ kN/mm}$$

$$K_1 = 5.7932 \text{ kN/mm}$$

Fuerza de fluencia F_y

se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_y = Q + (K_2 * D_y) \quad (34)$$

Se obtuvo

$$F_y = 147.19 \text{ kN} + (0.5793 \text{ kN/mm} * 28.23 \text{ mm})$$

$$F_y = 163.54 \text{ kN}$$

El ratio de rigidez $\frac{K_2}{K_1}$

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{0.5793 \text{ kN/mm}}{5.7932 \text{ kN/m}} = 0.09 \cong 0.1 \quad (35)$$

Periodo T_M y frecuencia angular de la estructura aislada

se determina con la siguiente ecuación:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{K_M g}} \quad (36)$$

Y la ecuación

$$K_M = 61.74 \text{ kN/mm} / 9.8 \cong 6.30 \text{ ton. mm}$$

Se obtuvo

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{8979 \text{ ton}/(9806 \text{ mm}/\text{s}^2)}{6.30 \text{ ton. mm}}}$$

$$T_M = 2.394 \text{ s}$$

La frecuencia angular está dada por la siguiente ecuación

$$\omega = \frac{2\pi}{T_M} \quad (37)$$

Se obtuvo

$$\omega = \frac{2\pi}{2.3942}$$

$$\omega = 2.6243 \text{ rad/seg}$$

Amortiguamiento efectivo del aislador

El amortiguamiento efectivo del aislador es

$$C = \frac{E_D}{2\pi * D_M^2 * \omega} \quad (38)$$

Se obtuvo

$$C = \frac{198.87 \text{ kN.m}}{\pi * (0.366\text{m})^2 * 2.6222 \text{ rad/seg}}$$

$$C = 180.21 \text{ kN} \cdot \frac{\text{seg}}{\text{m}}$$

$$C = 0.18021 \text{ kN} \cdot \frac{\text{seg}}{\text{mm}}$$

Como se muestra en tabla 12, las características físicas - mecánicas de los dispositivos elastomericos con núcleo de plomo utilizados en la estructura son:

Tabla 12 características físicas – mecánicas de los dispositivos.

Características	Unidades	Dispositivo con Núcleo de Plomo
Rigidez efectiva K_{eff}	kN/mm	0.9814
Rigidez inicial K_e	kN/mm	5.7932
Rigidez post fluencia k_d	kN/mm	0.5793
Relación r.inic/r. post	<i>Ratio</i>	0.097
Fuerza Característica Q	kN	147.19
Fuerza de fluencia	kN	163.54
Energía disipada	$kN.m$	198.87
Amortiguamiento efectivo C	$kN.seg/mm$	0.18021

Se realizo el pre dimensionamiento para las columnas, elementos horizontales (losas aligeradas, vigas peraltadas), así como la clasificación y agrupamiento según los dispositivos a utilizar.

La fuerza característica Q está en función al área de la sección transversal del núcleo de plomo a utilizar, en vista que el esfuerzo de fluencia del plomo (tensión de fluencia) oscila entre $85 \text{ kg/cm}^2 - 115 \text{ kg/cm}^2$.

El plomo inicialmente presenta un nivel alto de rigidez, sin embargo, cuando la deformación lateral supera el 6.7% de la deformación angular, la rigidez del dispositivo dependerá de las propiedades del caucho, esto implica que se tenga una diferencia alta entre rigidez efectiva y rigidez post fluencia. De lo mencionado, se obtuvo que la fuerza característica Q es equivalente a 147.19 KN. Como se mencionó, al entrar en desplazamiento el dispositivo, se

pierde la rigidez inicial aportada por el núcleo de plomo, por tanto, la rigidez post fluencia se determina únicamente en función a las características y área transversal del núcleo de plomo.

Teóricamente la energía disipada por ciclo es equivalente al área que genera la curva histéretico en cada ciclo de disipación de energía. La energía disipada en cada ciclo del dispositivo, se determinó mediante la ecuación de Constantinou et. al, (2007, p. 22), que relaciona la fuerza característica (Q), con los desplazamientos máximos y desplazamiento de fluencia. Teóricamente la energía disipada por ciclo es equivalente al área que genera la curva histéretico en cada ciclo de disipación de energía, en un modelo de aproximación bilineal del comportamiento de la ley hysteretica, Zellat & Kadri (2015), como se muestra en la (figura 30).

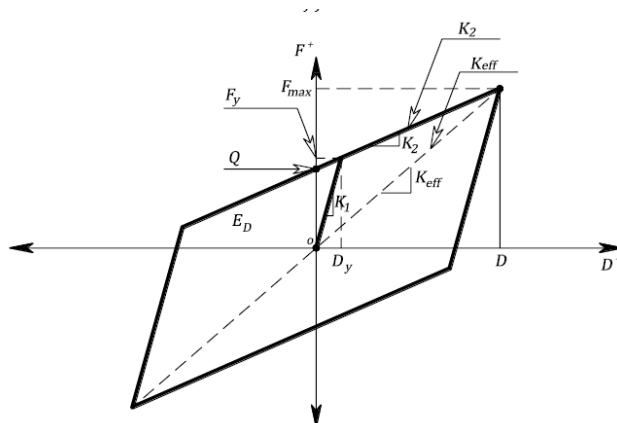


Figura 30 Curva Fuerza – deformación.

La rigidez inicial o elástica es equivalente a la fuerza característica requerida para lograr un desplazamiento de fluencia inicial, más la rigidez post fluencia del dispositivo.

El amortiguamiento efectivo del sistema se calculó teniendo en cuenta la frecuencia angular de la estructura correspondientes a la energía disipada.

4.3.3. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL BLOQUE ÚNICO CON AISLADORES SÍSMICOS

El modelamiento estructural del centro de salud inicialmente se hizo para los bloques por separado, respetando las secciones estructurales de columnas, vigas y muros de concreto reforzado (figura 31).

Se consideró además las cargas, la pseudoaceleración desarrollado para la Zona 4 (Tumbes) y el tipo de suelo S3.

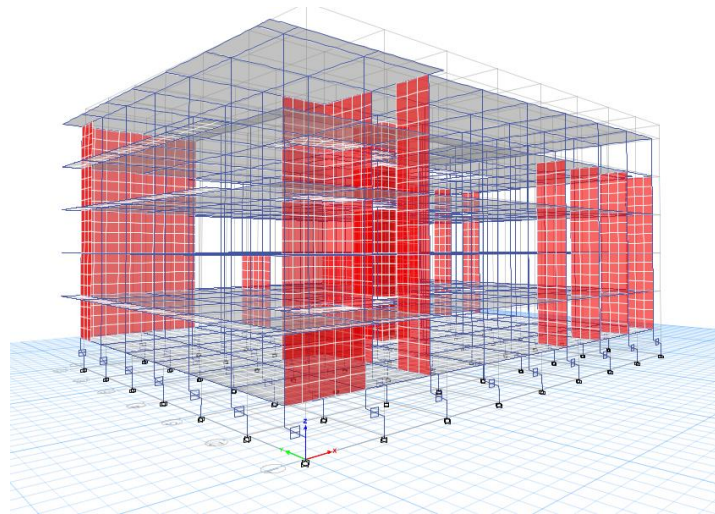


Figura 31 Modelamiento estructural del Bloque Único con aisladores sísmicos.

4.4. VARIACIÓN DE PERIODO DE LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA

Tabla 1 Edificación con base fija, bloque 01.

Periodos y Frecuencias					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		Sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	0.597	1.676	10.53	110.8812
Modal	2	0.437	2.29	14.391	207.1
Modal	3	0.22	4.551	28.597	817.7896
Modal	4	0.16	6.261	39.3383	1547.4988
Modal	5	0.137	7.322	46.0061	2116.5576
Modal	6	0.117	8.517	53.514	2863.7483
Modal	7	0.093	10.696	67.207	4516.7847
Modal	8	0.086	11.612	72.9608	5323.2781
Modal	9	0.082	12.158	76.389	5835.274
Modal	10	0.078	12.802	80.439	6470.4362
Modal	11	0.07	14.197	89.1996	7956.5658
Modal	12	0.067	15.023	94.3943	8910.2871

Tabla 14 Edificación con base fija, bloque 02.

Periodos y Frecuencias					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		Sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	0.59	1.694	10.6435	113.2847
Modal	2	0.441	2.267	14.2412	202.8127
Modal	3	0.394	2.541	15.9648	254.8759
Modal	4	0.195	5.123	32.1894	1036.155
Modal	5	0.14	7.12	44.7362	2001.324
Modal	6	0.128	7.843	49.2786	2428.376
Modal	7	0.121	8.256	51.8767	2691.187
Modal	8	0.109	9.209	57.8588	3347.6461
Modal	9	0.102	9.805	61.6093	3795.7118
Modal	10	0.094	10.65	66.916	4477.7562
Modal	11	0.089	11.275	70.8454	5019.0705
Modal	12	0.076	13.147	82.6054	6823.6441

Tabla 15 Edificación con base fija, bloque 03.

Periodos y Frecuencias					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		Sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	0.553	1.809	11.3679	129.2287
Modal	2	0.443	2.26	14.1979	201.5807
Modal	3	0.364	2.747	17.2578	297.8304
Modal	4	0.146	6.857	43.0862	1856.4207
Modal	5	0.115	8.697	54.6464	2986.2268
Modal	6	0.095	10.534	66.1884	4380.9084
Modal	7	0.082	12.133	76.236	5811.9331
Modal	8	0.082	12.223	76.7997	5898.1963
Modal	9	0.079	12.697	79.7745	6363.9675
Modal	10	0.077	12.956	81.4025	6626.3656
Modal	11	0.077	13.008	81.733	6680.2894
Modal	12	0.074	13.517	84.9281	7212.7789

Tabla 2 Edificación con base fija, bloque único.

Periodos y Frecuencias					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		Sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	0.47	2.128	13.3686	178.7187
Modal	2	0.373	2.683	16.8607	284.2838
Modal	3	0.292	3.426	21.5252	463.3334
Modal	4	0.178	5.627	35.3542	1249.9169
Modal	5	0.171	5.843	36.7147	1347.9676
Modal	6	0.168	5.942	37.3347	1393.8823
Modal	7	0.166	6.013	37.7785	1427.2135
Modal	8	0.164	6.084	38.2259	1461.2175
Modal	9	0.162	6.163	38.7215	1499.353
Modal	10	0.155	6.434	40.426	1634.2616
Modal	11	0.152	6.566	41.2568	1702.122
Modal	12	0.151	6.63	41.6582	1735.4027

Tabla 17 Edificación con base aislada, bloque único.

Periodos y Frecuencias					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		Sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	2.462	0.406	2.5518	6.5116
Modal	2	2.456	0.407	2.5582	6.5442
Modal	3	2.301	0.435	2.7301	7.4534
Modal	4	0.392	2.553	16.0419	257.3437
Modal	5	0.326	3.067	19.2682	371.2633
Modal	6	0.281	3.555	22.3391	499.0345
Modal	7	0.178	5.623	35.3286	1248.1095
Modal	8	0.171	5.848	36.746	1350.2698
Modal	9	0.168	5.939	37.3189	1392.7018
Modal	10	0.166	6.04	37.9492	1440.1405
Modal	11	0.164	6.096	38.3021	1467.0504
Modal	12	0.162	6.167	38.7463	1501.2736

Para la edificación con base fija, se obtuvo periodos de 0.597 seg. (tabla 13), 0.59 seg. (tabla 14), 0.553 seg. (tabla 15), 0.47 seg. (tabla 16), sin embargo, el periodo de la edificación con base aislada es de 2.462 seg. (tabla 17), pudiendo observar que el periodo de la edificación con base aislada incrementa significativamente en comparación a la edificación con base fija.

4.5. DEFORMACIÓN ANGULAR PERMISIBLE DE LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA.

Tabla 18 Derivas de la edificación con base fija, bloque 01.

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - XX - 0.75R												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	Mm	Rad	M	m	m	mm	Mm		E030	
Nivel_04	Sismo_Dinamico_XX Max	62.317	16.084	0.003543	7.4739	20.3473	16.8	4200	20.562	0.0049	0.007	OK
Nivel_03	Sismo_Dinamico_XX Max	41.755	11.714	0.002366	7.5307	20.425	12.6	4200	21.034	0.0050	0.007	OK
Nivel_02	Sismo_Dinamico_XX Max	20.721	6.954	0.001147	7.5307	20.425	8.4	4200	16.726	0.0040	0.007	OK
Nivel_01	Sismo_Dinamico_XX Max	3.995	2.575	0.000176	7.3879	19.4789	4.2	4200	3.995	0.0010	0.007	OK

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - YY - 0.75R												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	Mm	Rad	M	m	m	mm	Mm		E030	
Nivel_04	Sismo_Dinamico_YY Max	19.879	50.752	0.001133	7.4739	20.3473	16.8	4200	13.708	0.0033	0.007	OK
Nivel_03	Sismo_Dinamico_YY Max	13.321	37.044	0.000759	7.5307	20.425	12.6	4200	14.95	0.0036	0.007	OK
Nivel_02	Sismo_Dinamico_YY Max	6.633	22.094	0.000371	7.5307	20.425	8.4	4200	13.755	0.0033	0.007	OK
Nivel_01	Sismo_Dinamico_YY Max	1.285	8.339	0.000063	7.3879	19.4789	4.2	4200	8.339	0.0020	0.007	OK

Tabla 19 Derivas de la edificación con base fija, bloque 02.

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - XX - 0.75R												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	mm	Rad	M	m	m	mm	Mm		E030	
Story4	Sismo_Dinamico_XX Max	80.124	41.043	0.004218	17.6549	9.18	16.8	4200	22.038	0.0052	0.007	OK
Story3	Sismo_Dinamico_XX Max	58.086	25.489	0.002743	17.5335	9.1856	12.6	4200	25.704	0.0061	0.007	OK
Story2	Sismo_Dinamico_XX Max	32.382	8.288	0.001033	17.1662	9.2683	8.4	4200	19.205	0.0046	0.007	OK
Story1	Sismo_Dinamico_XX Max	13.177	3.027	0.000398	17.1679	9.2879	4.2	4200	13.177	0.0031	0.007	OK

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - YY - 0.75R												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	mm	Rad	M	m	m	mm	mm		E030	
Story4	Sismo_Dinamico_YY Max	37.388	46.902	0.002954	17.6549	9.18	16.8	4200	18.918	0.0045	0.007	OK
Story3	Sismo_Dinamico_YY Max	27.39	27.984	0.0019	17.5335	9.1856	12.6	4200	18.8	0.0045	0.007	OK
Story2	Sismo_Dinamico_YY Max	16.021	9.184	0.000775	17.1662	9.2683	8.4	4200	5.882	0.0014	0.007	OK
Story1	Sismo_Dinamico_YY Max	6.649	3.302	0.000281	17.1679	9.2879	4.2	4200	3.302	0.0008	0.007	OK

Tabla 20 Derivas de la edificación con base fija, bloque 03.

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - XX - 0.75R												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificacion
		mm	Mm	Rad	M	m	m	mm	Mm		E030	
Story4	Sismo_Dinamico_XX Max	66.289	30.269	0.00347	17.9544	8.6876	16.8	4200	18.436	0.0044	0.007	OK
Story3	Sismo_Dinamico_XX Max	47.853	21.464	0.002567	17.8975	8.7203	12.6	4200	19.866	0.0047	0.007	OK
Story2	Sismo_Dinamico_XX Max	27.987	12.239	0.00154	17.8975	8.7203	8.4	4200	17.81	0.0042	0.007	OK
Story1	Sismo_Dinamico_XX Max	10.177	4.203	0.00058	17.8975	8.7203	4.2	4200	10.177	0.0024	0.007	OK

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - YY - 0.75R												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificacion
		mm	mm	Rad	M	m	m	mm	Mm		E030	
Story4	Sismo_Dinamico_YY Max	33.54	51.548	0.002149	17.9544	8.6876	16.8	4200	14.707	0.0035	0.007	OK
Story3	Sismo_Dinamico_YY Max	24.231	36.841	0.00156	17.8975	8.7203	12.6	4200	15.555	0.0037	0.007	OK
Story2	Sismo_Dinamico_YY Max	14.208	21.286	0.000914	17.8975	8.7203	8.4	4200	13.706	0.0033	0.007	OK
Story1	Sismo_Dinamico_YY Max	5.231	7.58	0.000334	17.8975	8.7203	4.2	4200	7.58	0.0018	0.007	OK

Tabla 21 Derivas de la edificación con base fija, bloque único.

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - XX - 0.75R													
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Point	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	Mm	Rad		m	m	m	Mm	Mm		E030	
Story4	Sismo_Dinamico_XX Max	57.946	17.989	0.002635	1	23.3007	18.3083	16.8	4200	17.61	0.0042	0.007	OK
Story3	Sismo_Dinamico_XX Max	40.336	12.462	0.001833	7	23.4144	18.4525	12.6	4200	18.092	0.0043	0.007	OK
Story2	Sismo_Dinamico_XX Max	22.244	7.03	0.000985	8	23.1456	18.4025	8.4	4200	15.165	0.0036	0.007	OK
Story1	Sismo_Dinamico_XX Max	7.079	2.636	0.000313	14	22.7467	18.0603	4.2	4200	7.079	0.0017	0.007	OK

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA - YY - 0.75R													
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Point	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	Mm	Rad		m	m	m	mm	Mm		E030	
Story4	Sismo_Dinamico_YY Max	21.033	56.581	0.001069	1	23.3007	18.3083	16.8	4200	18.194	0.0043	0.007	OK
Story3	Sismo_Dinamico_YY Max	14.468	38.387	0.000745	7	23.4144	18.4525	12.6	4200	18.336	0.0044	0.007	OK
Story2	Sismo_Dinamico_YY Max	7.852	20.051	0.000412	8	23.1456	18.4025	8.4	4200	12.672	0.0030	0.007	OK
Story1	Sismo_Dinamico_YY Max	2.44	7.379	0.000139	14	22.7467	18.0603	4.2	4200	7.379	0.0018	0.007	OK

Tabla 22 Derivas de la edificación con base aislada, bloque único.

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA XX - SMC - Sa=1.85												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		Mm	Mm	rad	M	m	m	Mm	Mm		E031	
Story4	ESPECTRO_SMC_XX Max	520.482	156.876	0.00274	23.2988	18.3114	19.55	4200	4.513	0.0011	0.0035	OK
Story3	ESPECTRO_SMC_XX Max	515.969	155.417	0.002719	23.4125	18.4556	15.35	4200	5.444	0.0013	0.0035	OK
Story2	ESPECTRO_SMC_XX Max	510.525	154.696	0.002704	23.1437	18.4056	11.15	4200	6.315	0.0015	0.0035	OK
Story1	ESPECTRO_SMC_XX Max	504.21	154.287	0.002696	22.7449	18.0634	6.95	4200	5.167	0.0012	0.0035	OK
Nivel de Aislamiento	ESPECTRO_SMC_XX Max	499.043	150.185	0.00269	24.0014	18.0248	2.75					

DESPLAZAMIENTOS EN EL CENTRO DE MASA XX – SISMO MÀXIMO CONSODERADO - Sa=1.85												
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	X	Y	Z	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		Mm	Mm	rad	M	m	m	Mm	Mm		E031	
Story4	ESPECTRO_SMC_YY Max	156.438	519.808	0.004642	23.2988	18.3114	19.55	4200	4.362	0.0010	0.0035	OK
Story3	ESPECTRO_SMC_YY Max	155.465	515.446	0.004607	23.4125	18.4556	15.35	4200	3.5	0.0008	0.0035	OK
Story2	ESPECTRO_SMC_YY Max	153.818	511.946	0.004565	23.1437	18.4056	11.15	4200	2.948	0.0007	0.0035	OK
Story1	ESPECTRO_SMC_YY Max	151.3	508.998	0.004517	22.7449	18.0634	6.95	4200	8.391	0.0020	0.0035	OK
Nivel de Aislamiento	ESPECTRO_SMC_YY Max	149.76	500.607	0.00447	24.0014	18.0248	2.75					

Como se muestra en la tabla 21, se verifica que, para la edificación de base fija (bloque único), la máxima deriva en dirección al eje X es 4.300‰ (nivel 3) y para la edificación con base aislada la máxima deriva en dirección al eje X es de 1.500 ‰ (nivel 2) véase tabla 22, así mismo, para la edificación de base fija, la máxima deriva en dirección al eje Y es 4.400‰ (nivel 3) y para la edificación con base aislada la máxima deriva en dirección al eje Y es 2.000 ‰ (nivel 1).

La deformación angular permisible o deriva máxima de la edificación con base fija no excede los límites de la normativa, encontrándose por debajo del 7.00‰, teniendo como resultado una edificación considerablemente rígida. Así mismo la deformación angular permisible o deriva máxima de la edificación con base aislada no excediendo los límites de la normativa, encontrándose por debajo del 3.500‰

Como se detalla líneas arriba la deformación angular permisible o deriva máxima de la edificación con base aislada disminuye significativamente en comparación a la edificación con base fija.

4.6. ACELERACIONES DE ENTREPISO DE LAS EDIFICACIONES DE BASE FIJA Y BASE AISLADA.

Tabla 23 Aceleraciones de entrepiso de la edificación con base fija, bloque 01.

Aceleraciones de Entrepiso – XX					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	G
Nivel_04	ESPECTRO_XX Max	2387.72	881.46	657.7	0.2435
Nivel_03	ESPECTRO_XX Max	1652.52	631.9	593.86	0.1685
Nivel_02	ESPECTRO_XX Max	1074.9	470.86	470.61	0.1096
Nivel_01	ESPECTRO_XX Max	421.49	246.77	309.21	0.0430

Aceleraciones de Entrepiso – YY					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	g
Nivel_04	ESPECTRO_YY Max	842.2	1800.58	384.34	0.1836
Nivel_03	ESPECTRO_YY Max	672.44	1361.46	384.99	0.1388
Nivel_02	ESPECTRO_YY Max	605.23	986.02	305.14	0.1006
Nivel_01	ESPECTRO_YY Max	189.98	513.63	313.58	0.0524

Tabla 24 Aceleraciones de entrepiso de la edificación con base fija, bloque 02

Aceleraciones de Entrepiso – XX					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	g
Story4	ESPECTRO_XX Max	2118.35	2618.16	523.61	0.2160
Story3	ESPECTRO_XX Max	1554.01	1817.27	464.08	0.1585
Story2	ESPECTRO_XX Max	1147.68	1065.89	419.13	0.1170
Story1	ESPECTRO_XX Max	773.84	460.33	349.14	0.0789

Aceleraciones de Entrepiso – YY					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	g
Story4	ESPECTRO_YY Max	1388.62	2314.3	553.63	0.2360
Story3	ESPECTRO_YY Max	971.28	1613.92	447.24	0.1646
Story2	ESPECTRO_YY Max	791.23	1125.05	429.37	0.1147
Story1	ESPECTRO_YY Max	550.1	553.37	401.76	0.0564

Tabla 25 Aceleraciones de entrepiso de la edificación con base fija, bloque 03.

Aceleraciones de Entrepiso – XX					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	G
Story4	ESPECTRO_XX Max	2030.76	2033.52	418.66	0.2071
Story3	ESPECTRO_XX Max	1512.41	1521.28	373.34	0.1542
Story2	ESPECTRO_XX Max	1218.61	1211	250.61	0.1243
Story1	ESPECTRO_XX Max	709.49	624.85	243.45	0.0724

Aceleraciones de Entrepiso – YY					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	G
Story4	ESPECTRO_YY Max	1095.9	2247.5	409.25	0.2292
Story3	ESPECTRO_YY Max	764.05	1630.89	356.71	0.1663
Story2	ESPECTRO_YY Max	500.11	1241.43	254.2	0.1266
Story1	ESPECTRO_YY Max	283.68	699.52	248.64	0.0713

Tabla 36 Aceleraciones de entrepiso de la edificación con base fija, bloque único.

Aceleraciones de Entrepiso – XX					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	G
Story4	ESPECTRO_XX Max	1941.02	1761.79	597.94	0.1979
Story3	ESPECTRO_XX Max	1366.06	1230.56	571.73	0.1393
Story2	ESPECTRO_XX Max	754.65	712.01	487.89	0.0770
Story1	ESPECTRO_XX Max	281.15	257.07	311.11	0.0287

Aceleraciones de Entrepiso – YY					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	G
Story4	ESPECTRO_YY Max	662.36	1959.92	375.69	0.1999
Story3	ESPECTRO_YY Max	449.06	1282.43	409.81	0.1308
Story2	ESPECTRO_YY Max	243.76	717.49	362.54	0.0732
Story1	ESPECTRO_YY Max	91.07	276.02	266.52	0.0281

Tabla 4 Aceleraciones de entrepiso de la edificación con base aislada, bloque único.

Aceleraciones de Entrepiso – XX					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	g
Story4	ESPECTRO_SMC_XX Max	2258.59	723.67	176.72	0.2303
Story3	ESPECTRO_SMC_XX Max	2195.93	679.21	177.34	0.2239
Story2	ESPECTRO_SMC_XX Max	2155.89	661.98	171.51	0.2199
Story1	ESPECTRO_SMC_XX Max	2141.14	669.02	154.69	0.2183
Nivel de Aislamiento	ESPECTRO_SMC_XX Max	2137.25	681.84	110.46	0.2180
Dispositivos de Aislamiento	ESPECTRO_SMC_XX Max	2135.31	685.56	87.22	0.2178
Pedestales	ESPECTRO_SMC_XX Max	0.4	0.13	2.95	

Aceleraciones de Entrepiso – YY					
Story	Load Case/Combo	UX	UY	UZ	Aceleración
		mm/sec ²	mm/sec ²	mm/sec ²	g
Story4	ESPECTRO_SMC_YY Max	698.41	2259.17	141.65	0.2304
Story3	ESPECTRO_SMC_YY Max	676.41	2227.09	147.89	0.2271
Story2	ESPECTRO_SMC_YY Max	663.49	2202.2	139.25	0.2246
Story1	ESPECTRO_SMC_YY Max	662.24	2189.81	126.83	0.2233
Nivel de Aislamiento	ESPECTRO_SMC_YY Max	659.86	2180.82	81.38	0.2224
Dispositivos de Aislamiento	ESPECTRO_SMC_YY Max	659.52	2177.54	63.09	0.2221
Pedestales	ESPECTRO_SMC_YY Max	0.12	0.41	2.13	

Para la edificación con base fija en la dirección X, refleja una aceleración de entrepiso, equivalente a 0.1979 g. (véase tabla 26); mientras que, para la edificación con base aislada refleja una aceleración de entrepiso, equivalente a 0.2303 g. (véase tabla 27).

4.7. VARIACIÓN DE COSTOS DE LAS EDIFICACIONES CON BASE FIJA Y BASE AISLADA

Tabla 28 Costos por grupo genérico de la edificación con base fija, Proyecto de Inversión Pública, Centro de Salud Andrés Araujo Moran

RESUMEN DE COSTOS POR GRUPO GENERICO		
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO
1	TRABAJO PREVIOS	S/. 79,452.79
2	ESTRUCTURAS	S/. 5,792,080.52
3	ARQUITECTURA	S/. 9,859,162.74
4	INSTALACIONES ELECTRICAS	S/. 4,233,781.00
5	INSTALACIONES SANITARIAS	S/. 275,572.46
6	INTALACIONES ESPECIALES	S/. 1,742,435.84
COSTO DIRECTO INFRAESTRUCTURA		S/. 21,982,485.35
GASTOS GENERALES	10%	S/. 2,198,248.54
UTILIDAD	10%	S/. 2,198,248.54
SUB TOTAL		S/. 26,378,982.43
IGV	18%	S/. 4,748,216.84
COSTO TOTAL DE INFRAESTRUCTURA		S/. 31,127,199.27

Tabla 5 Costos por grupo genérico de la edificación con base aislada

RESUMEN DE COSTOS POR GRUPO GENERICO		
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO
1	TRABAJO PREVIOS	S/. 79,452.79
2	ESTRUCTURAS	S/. 8,309,402.82
3	ARQUITECTURA	S/. 9,859,162.74
4	INSTALACIONES ELECTRICAS	S/. 4,233,781.00
5	INSTALACIONES SANITARIAS	S/. 275,572.46
6	INTALACIONES ESPECIALES	S/. 1,742,435.84
COSTO DIRECTO INFRAESTRUCTURA		S/. 24,499,807.65
GASTOS GENERALES	10%	S/. 2,449,980.77
UTILIDAD	10%	S/. 2,449,980.77
SUB TOTAL		S/. 29,399,769.19
IGV	18%	S/. 5,291,958.45
COSTO TOTAL DE INFRAESTRUCTURA		S/. 34,691,727.64

Tabla 6 Costos a precios de mercado y costos a precios social de la edificación, con base fija,
Proyecto de Inversión Pública, Centro de Salud Andrés Araujo Moran.

DESCRIPCIÓN	TOTAL, COSTO MERCADO	COSTO SOCIAL
A. INTANGIBLES	S/. 9,453,218.00	S/. 8,791,492.74
a) Gestión del Proyecto	S/. 230,632.00	S/. 214,487.76
a.1) Programa de Promoción y Sensibilización de los Servicios de Salud	S/. 197,532.00	S/. 183,704.76
a.2) Saneamiento	S/. 33,100.00	S/. 30,783.00
b) Expediente Técnico	S/. 3,694,536.00	S/. 3,435,918.48
b.1) Expediente Técnico Infraestructura	S/. 2,995,290.00	S/. 2,785,619.70
b.2) Expediente Técnico Equipamiento	S/. 679,650.00	S/. 632,074.50
b.3) Expediente Capacitación	S/. 19,596.00	S/. 18,224.28
c) Supervisión	S/. 5,085,070.00	S/. 4,729,115.10
d) Liquidación	S/. 442,980.00	S/. 411,971.40
B. INVERSIÓN FIJA	S/. 45,290,175.06	S/. 38,417,511.80
Acción N°01: Construcción de centro de salud con camas de internamiento	S/. 31,127,199.26	S/. 26,378,982.37
COSTO DIRECTO	S/. 21,982,485.35	
Gastos Generales (10%)	S/. 2,198,248.54	
Utilidades (10%)	S/. 2,198,248.54	
SUB TOTAL	S/. 26,378,982.42	
IGV 18%	S/. 4,748,216.84	
Acción N° 02: Implementación de equipos	S/. 12,531,577.03	S/. 10,651,840.47
COSTO DIRECTO	S/. 10,619,980.53	
IGV 18%	S/. 1,911,596.50	
Acción N° 03: Programa de Gestión Hospitalaria	S/. 201,780.00	S/. 171,513.00
COSTO DIRECTO	S/. 171,000.00	
IGV 18%	S/. 30,780.00	
Acción N° 04: Programa de capacitación al personal asistencial y administrativo	S/. 1,068,125.77	S/. 907,906.91
COSTO DIRECTO	S/. 905,191.33	
IGV 18%	S/. 162,934.44	
Acción N° 05: Mitigación Ambiental	S/. 361,493.00	S/. 307,269.05
COSTO DIRECTO	S/. 278,500.00	
Utilidades (10%)	S/. 27,850.00	
SUB TOTAL	S/. 306,350.00	
IGV 18%	S/. 55,143.00	
COSTO TOTAL GENERAL	S/. 54,743,393.06	S/. 47,288,141.54

Tabla 31 Costos a precios de mercado y costos a precios social de la edificación, con base aislada

DESCRIPCIÓN	TOTAL, COSTO MERCADO	COSTO SOCIAL
A. INTANGIBLES	S/. 9,453,218.00	S/. 8,791,492.74
a) Gestión del Proyecto	S/. 230,632.00	S/. 214,487.76
a.1) Programa de Promoción y Sensibilización de los Servicios de Salud	S/. 197,532.00	S/. 183,704.76
a.2) Saneamiento	S/. 33,100.00	S/. 30,783.00
b) Expediente Técnico	S/. 3,694,536.00	S/. 3,435,918.48
b.1) Expediente Técnico Infraestructura	S/. 2,995,290.00	S/. 2,785,619.70
b.2) Expediente Técnico Equipamiento	S/. 679,650.00	S/. 632,074.50
b.3) Expediente Capacitación	S/. 19,596.00	S/. 18,224.28
c) Supervisión	S/. 5,085,070.00	S/. 4,729,115.10
d) Liquidación	S/. 442,980.00	S/. 411,971.40
B. INVERSIÓN FIJA	S/. 48,854,703.44	S/. 41,438,298.61
Acción N°01: Construcción de centro de salud con camas de internamiento	S/. 34,691,727.64	S/. 29,399,769.19
COSTO DIRECTO	S/. 24,499,807.65	
Gastos Generales (10%)	S/. 2,449,980.77	
Utilidades (10%)	S/. 2,449,980.77	
SUB TOTAL	S/. 29,399,769.19	
IGV 18%	S/. 5,291,958.45	
Acción N° 02: Implementación de equipos	S/. 12,531,577.03	S/. 10,651,840.47
COSTO DIRECTO	S/. 10,619,980.53	
IGV 18%	S/. 1,911,596.50	
Acción N° 03: Programa de Gestión Hospitalaria	S/. 201,780.00	S/. 171,513.00
COSTO DIRECTO	S/. 171,000.00	
IGV 18%	S/. 30,780.00	
Acción N° 04: Programa de capacitación al personal asistencial y administrativo	S/. 1,068,125.77	S/. 907,906.91
COSTO DIRECTO	S/. 905,191.33	
IGV 18%	S/. 162,934.44	
Acción N° 05: Mitigación Ambiental	S/. 361,493.00	S/. 307,269.05
COSTO DIRECTO	S/. 278,500.00	
Utilidades (10%)	S/. 27,850.00	
SUB TOTAL	S/. 306,350.00	
IGV 18%	S/. 55,143.00	
COSTO TOTAL GENERAL	S/. 58,307,921.43	S/. 50,229,791.35

Para el análisis del aspecto económico del uso de aislamiento sísmico se ha considerado como primer caso, el análisis de costos totales por grupo genérico, para la ejecución de la edificación utilizados en el proyecto de inversión pública original, dentro de los cuales se incluye la metodología de determinación del costo total a precios unitarios, incluyendo gastos generales, utilidad e IGV.

Como se muestra en la tabla 28, el costo de construcción de la edificación con base fija, asciende a la suma de treinta y un millón ciento veintisiete mil ciento noventa y nueve y 27/100 soles (S/31,127,199.27).

Así mismo en la tabla 29, se determinó que, el costo de construcción de la edificación con base aislada se incrementa a la suma de treinta y cuatro millones seiscientos noventa y un mil setecientos veintisiete y 64/100 soles (S/34,691,727.64).

La variación del costo total de la edificación con base fija, se ve afectado por la implementación del sistema de aislamiento sísmico en el nivel de base, con los nuevos elementos pre dimensionados que se procedieron a incorporar, siendo la losa maciza, los dados de concreto y acero los elementos de concreto reforzado con mayor incidencia, además de los aisladores con núcleo de plomo, cuyo costo en la empresa proveedora Ingeniería antisísmica (CDV) es de \$8000.00 ocho mil dólares (se consideró una tasa de cambio de 3.8), por unidad incluyendo la certificación correspondiente y gastos por asesorías.

Desde un punto de vista de la gestión de proyectos, una estructura esencial debe proteger los equipos, al recurso humano, al medio ambiente y debe incorporar gastos previos para los estudios que parten desde la factibilidad del proyecto de inversión pública hasta su materialización en un expediente técnico, como se muestra en la tabla 30, se considera los costos a precios de mercado y precio social. Ambos contienen todos los gastos generales adicionales que permitirán la ejecución de la edificación, desde la gestión del proyecto de inversión pública, que incluye costos por elaboración del expediente técnico hasta la supervisión y liquidación del proyecto. Dentro de los costos directos, se incluye la construcción en todas las especialidades del Centro de Salud (Estructuras, Arquitectura e Instalaciones), la implementación de los equipos hospitalarios y programas posteriores de gestión en temas de gestión, capacitación y ambiental.

Cómo se muestran en las tablas 30 y 31, se determinó que la variación porcentual es equivalente a un 6.113% del costo a precios de mercado de la edificación con base fija en comparación al costo a precio de mercado de la edificación con base aislada, así mismo la variación porcentual es equivalente a un 6.014% del costo a precio social de la edificación con base fija en comparación al costo a precio social de la edificación con base aislada.

4.8. ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

El análisis tiempo historia es un procedimiento de análisis complementario para las estructuras con aislamiento sísmico, permite comprobar la estructura con aislamiento sísmico con registros sísmicos naturales o sintéticos, mediante este procedimiento se determina aceleraciones, deformación angular y desplazamiento en la estructura. Para el procedimiento se requiere de registros sísmicos escalados el espectro sísmico para un Sismo Máximo Considerado (SMC).

4.8.1. Procedimiento de escalamiento

El procedimiento de escalamiento de un evento sísmico empieza generando el espectro con un rango de escalamiento, que permitirá emparejar las aceleraciones del evento sísmico con la ordenada espectral, dentro del rango para sismos compatibles.

Con los factores modificatorios, se determinó los siguientes periodos para la estructura con las propiedades modificatorias mínimas y la estructura con las propiedades mínimas de los dispositivos, requeridos para determinar los rangos de escalamiento (tabla 32). Obteniendo los siguientes periodos para las estructuras.

Tabla 32 Periodos con los factores modificatorios

Case	Modo	Máximo Periodo sec	Mínimo Periodo Sec
Modal	1	2.17	2.745
Modal	2	2.165	2.737
Modal	3	2.028	2.565
Modal	4	0.39	0.393
Modal	5	0.325	0.327
Modal	6	0.28	0.282
Modal	7	0.178	0.178
Modal	8	0.171	0.171
Modal	9	0.168	0.168
Modal	10	0.166	0.166
Modal	11	0.164	0.164
Modal	12	0.162	0.162

Con los periodos se determinó el rango de escalamiento, según lo mencionado en el Art. 15 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico. Por ende, los rangos son:

$$0.2 T_M = 0.2 (2.17 T) = 0.434 T \text{ (Para el valor mínimo de escalamiento).}$$

$$1.25 T_M = 1.25 (2.745 T) = 3.431 T \text{ (Para el valor máximo de escalamiento).}$$

Con estos valores se procedió a determinar el espectro objetivo y rango de escalamiento, (figura 32).



Figura 32. Rango de escalamiento para el escalamiento.

El escalamiento se realizó con el software Seismo Match, logrando el emparejamiento de las aceleraciones sísmicas con la ordenada espectral, en el rango de escalamiento.

4.8.2. Incorporación y métodos de análisis

El escalamiento se realizó con el software Seismo Match 2016, logrando el emparejamiento de las aceleraciones sísmicas con la ordenada espectral generada para un Sismo Máximo Considerado (SMC), se realizó en el rango de escalamiento, la carga de los eventos sísmicos escalados para el análisis (figura 33).

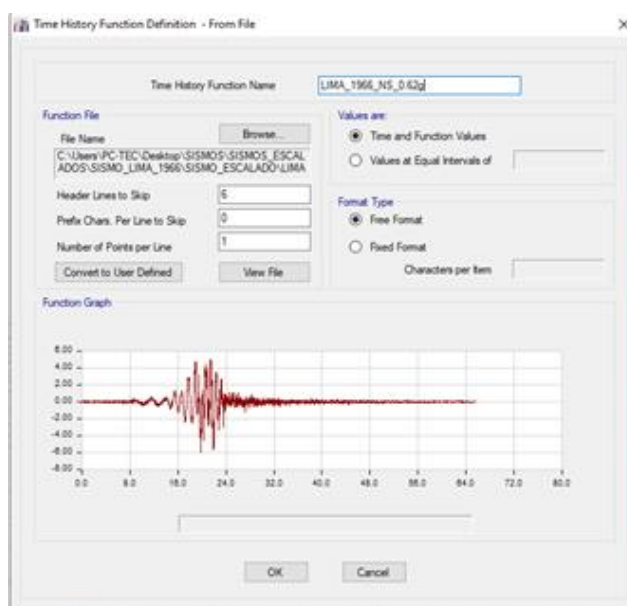


Figura 33: Incorporación de sismos escalados para el Análisis tiempo historia.

Para el análisis de tiempo historia, cada componente sísmico se comprueba en las dos direcciones de la estructura, generando cuatro casos de carga.

Desplazamientos, deformaciones y aceleración

Se obtuvo 15 cuadros, donde se aprecia la deformación lateral y su comprobación con la norma E.031 con un valor de deformación lateral angular de 0.005 para el análisis de estructuras mediante el procedimiento tiempo historia.

Sismo de Lima de 1966

En los resultados del ATH de la estructura con el sismo de Lima de 1966, se obtuvo los siguientes desplazamientos en el nivel de base para los cuatro casos de análisis, verificando que para una aceleración de 0.86g en la dirección EW y 0.62 en la dirección NS los desplazamientos oscilan entre los 45cm y 50 cm (tabla 33).

Tabla 33 Desplazamientos para el sismo de Lima 1966

Desplazamientos en el nivel de Base				
Story	Lima 1966 EW		Lima 1966 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	485.347	471.661	530.677	526.845
Story3	479.364	468.293	524.538	519.705
Story2	472.74	464.835	517.636	512.163
Story1	465.842	461.228	510.29	505.287
Nivel de Aislamiento	459.476	456.473	503.542	497.757

Respecto a las derivas, se obtuvo que las deformaciones laterales, no superaron el límite establecido en la norma, e incluso se encuentran por debajo del 0.0025 establecido por la norma Hazus para funcionalidad continua (tabla 34).

Tabla 7 Derivas para el sismo de Lima 1966

Deformación lateral permisible				
Story	Lima 1966 EW		Lima 1966 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.0014	0.0008	0.0015	0.0017
Story3	0.0016	0.0008	0.0016	0.0018
Story2	0.0016	0.0009	0.0017	0.0016
Story1	0.0015	0.0011	0.0016	0.0018

En lo que concierne a las aceleraciones, los resultados de aceleración muestran que hay una disminución en un rango que va del 17% al 57% de la aceleración del suelo y la aceleración que pasa al primer nivel de aislamiento (tabla 35).

Tabla 8 Aceleración para el sismo de Lima 1966

Aceleración de entrepiso en Unidades de "g"				
Story	Lima 1966 EW		Lima 1966 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.418	0.351	0.513	0.398
Story3	0.317	0.277	0.328	0.314
Story2	0.219	0.248	0.255	0.261
Story1	0.244	0.274	0.343	0.295
Nivel de Aislamiento	0.297	0.293	0.422	0.340
Dispositivos de Aislamiento	0.307	0.305	0.437	0.353
Pedestales	0.689	0.689	0.507	0.507
% Disminución	57%	58%	17%	33%

Sismo de Ancash de 1970

En los resultados del ATH de la estructura con el sismo de Ancash de 1970, se obtuvo los siguientes desplazamientos en el nivel de base para los cuatro casos de análisis, verificando que para aceleraciones de 0.58g en la dirección EW y 0.50 en la dirección NS los resultados se entre los 34 cm y 38 cm (tabla 36).

Tabla 9 Desplazamientos para el sismo de Ancash 1970

Desplazamientos en el nivel de Base				
Story	Ancash 1970 EW		Ancash 1970 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	400.863	402.496	358.467	362.45
Story3	394.076	398.665	352.424	356.951
Story2	386.658	394.424	345.837	351.119
Story1	379.104	390.312	339.167	345.883
Nivel de Aislamiento	372.715	385.757	333.356	340.462

Respecto a las derivas, se obtuvo que las deformaciones laterales, no superaron el límite establecido en la norma para un ATH y se encuentran por debajo del 0.0025 establecido en los criterios Hazus para funcionalidad continua (tabla 37).

Tabla 10 Derivas para el sismo de Ancash 1970

Deformación lateral permisible				
Story	Ancash 1970 EW		Ancash 1970 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.0016	0.0009	0.0014	0.0013
Story3	0.0018	0.0010	0.0016	0.0014
Story2	0.0018	0.0010	0.0016	0.0012
Story1	0.0015	0.0011	0.0014	0.0013

En lo que concierne a las aceleraciones, los resultados de aceleración muestran que hay una disminución entre un 37% a 47% de la aceleración del suelo y la aceleración que llega al primer nivel de aislamiento (tabla 38).

Tabla 11 Aceleración para el sismo de Ancash 1970

Aceleración de entrepiso en Unidades de "g"				
Story	Ancash 1970EW		Ancash 1970 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.358	0.331	0.473	0.360
Story3	0.247	0.243	0.269	0.248
Story2	0.197	0.193	0.199	0.207
Story1	0.254	0.237	0.278	0.257
Nivel de Aislamiento	0.286	0.288	0.356	0.298
Dispositivos de Aislamiento	0.292	0.303	0.371	0.322
Pedestales	0.500	0.500	0.562	0.562
% Disminución	43%	42%	37%	47%

Sismo de Lima de 1974

En los resultados del ATH de la estructura con el sismo de Lima de 1974 que se dio frente a las costas de Huacho, se obtuvo los siguientes desplazamientos en el nivel de base para los cuatro casos de análisis, verificando que para una aceleración de 0.68g en la dirección EW y 0.61 en la dirección NS, se obtuvieron desplazamientos que oscilan entre los 42 cm y 45 cm.

Tabla 12 Desplazamientos para el sismo de Lima 1974

Desplazamientos en el nivel de Base				
Story	Lima 1974 EW		Lima 1974 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	474.185	466.921	452.257	450.386
Story3	469.045	461.799	447.24	443.67
Story2	463.273	456.42	441.618	436.544
Story1	457.099	451.312	435.622	430.107
Nivel de Aislamiento	451.223	445.595	429.991	423.486

Respecto a las derivas, se obtuvo que las deformaciones laterales, no superaron el límite establecido en la norma, e incluso se encuentran por debajo del 0.0025 establecido por la norma Hazus para funcionalidad continua (tabla 40).

Tabla 13 Derivas para el sismo de Lima 1974

Deformación lateral permisible				
Story	Lima 1974 EW		Lima 1974 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.0012	0.0012	0.0012	0.0016
Story3	0.0014	0.0013	0.0013	0.0017
Story2	0.0015	0.0012	0.0014	0.0015
Story1	0.0014	0.0014	0.0013	0.0016

En lo que concierne a las aceleraciones, los resultados de aceleración muestran que hay una disminución en un rango que va del 27% al 42% de la aceleración del suelo y la aceleración que pasa al primer nivel de aislamiento (tabla 41).

Tabla 14 Aceleración para el sismo de Lima 1970

Aceleración de entepiso en Unidades de "g"				
Story	Lima 1966 EW		Lima 1966 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.418	0.441	0.404	0.413
Story3	0.312	0.325	0.277	0.272
Story2	0.226	0.244	0.216	0.230
Story1	0.316	0.279	0.288	0.265
Nivel de Aislamiento	0.379	0.311	0.339	0.322
Dispositivos de Aislamiento	0.391	0.321	0.348	0.343
Pedestales	0.532	0.532	0.463	0.463
% Disminución	29%	42%	27%	30%

Sismo de Arequipa de 2001

En los resultados del ATH de la estructura con el sismo de Arequipa de 2001, se obtuvo los siguientes desplazamientos en el nivel de base para los cuatro casos de análisis, verificando que para aceleraciones de 0.59g en la dirección EW y 0.67 en la dirección NS los desplazamientos obtenidos oscilan entre los 30 cm y 44 cm (tabla 42).

Tabla 15 Desplazamientos para el sismo de Arequipa 2001

Desplazamientos en el nivel de Base				
Story	Arequipa 2001 EW		Arequipa 2001 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	471.015	456.541	323.638	319.159
Story3	464.327	453.21	318.116	315.358
Story2	457.004	449.477	312.047	311.546
Story1	449.41	445.767	305.832	308.063
Nivel de Aislamiento	442.582	441.302	300.515	303.137

Respecto a las derivas, se obtuvo que las deformaciones laterales, no superaron el límite establecido en la norma, e incluso se encuentran por debajo del 0.0025 establecido por la norma Hazus para funcionalidad continua (tabla 43).

Tabla 16 Derivas para el sismo de Arequipa 2001.

Deformación lateral permisible				
Story	Arequipa 2001 EW		Arequipa 2001 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.0016	0.0008	0.0013	0.0009
Story3	0.0017	0.0009	0.0014	0.0009
Story2	0.0018	0.0009	0.0015	0.0008
Story1	0.0016	0.0011	0.0013	0.0012

En lo que concierne a las aceleraciones, los resultados de aceleración muestran que hay una disminución en un rango que va del 30% al 41% de la aceleración del suelo y la aceleración que ingresa al primer nivel de aislamiento (tabla 44).

Tabla 17 Aceleración para el sismo de Arequipa 2001.

Aceleración de entrepiso en Unidades de "g"				
Story	Arequipa 2001 EW		Arequipa 2001 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.389	0.374	0.447	0.346
Story3	0.285	0.283	0.319	0.301
Story2	0.206	0.209	0.268	0.278
Story1	0.307	0.259	0.309	0.308
Nivel de Aislamiento	0.366	0.312	0.380	0.330
Dispositivos de Aislamiento	0.377	0.333	0.393	0.336
Pedestales	0.524	0.524	0.560	0.560
% Disminución	30%	40%	32%	41%

Sismo de Ica de 2007

En los resultados del ATH de la estructura con el sismo de Ica del 2007, se obtuvo los siguientes desplazamientos en el nivel de base para los cuatro casos de análisis, verificando que para

aceleraciones de 0.69g en la dirección EW y 0.68 en la dirección NS, los resultados de desplazamiento en el nivel de base oscilan entre los 29 cm y 34 cm (tabla 45).

Tabla 18 Desplazamientos para el sismo de Ica 2007.

Desplazamientos en el nivel de Base				
Story	Ica 2007 EW		Ica 2007 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	360.765	359.715	312.573	307.553
Story3	356.603	354.164	307.378	304.214
Story2	351.932	348.317	301.822	300.791
Story1	346.964	343.068	296.16	297.603
Nivel de Aislamiento	342.377	337.515	291.239	293.125

Respecto a las derivas, se obtuvo que las deformaciones laterales, no superaron el límite establecido en la norma, e incluso se encuentran por debajo del 0.0025 establecido por la norma Hazus para funcionalidad continua (tabla 46).

Tabla 19 Derivas para el sismo de Ica 2007.

Deformación lateral permisible				
Story	Ica 2007 EW		Ica 2007 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.0010	0.0013	0.0012	0.0008
Story3	0.0011	0.0014	0.0013	0.0008
Story2	0.0012	0.0012	0.0013	0.0008
Story1	0.0011	0.0013	0.0012	0.0011

En lo que concierne a las aceleraciones, los resultados de aceleración muestran que hay una disminución en un rango que va del 30% al 41% de la aceleración del suelo y la aceleración que pasa al primer nivel de aislamiento (tabla 47).

Tabla 20 Aceleración para el sismo de Ica 2007.

Aceleración de entrepiso en Unidades de "g"				
Story	Ica 2007 EW		Ica 2007 NS	
	XX	YY	XX	YY
Story4	0.389	0.374	0.447	0.346
Story3	0.285	0.283	0.319	0.301
Story2	0.206	0.209	0.268	0.278
Story1	0.307	0.259	0.309	0.308
Nivel de Aislamiento	0.366	0.312	0.380	0.330
Dispositivos de Aislamiento	0.377	0.333	0.393	0.336
Pedestales	0.524	0.524	0.560	0.560
% Disminución	30%	40%	32%	41%

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- 5.1.1** El diseño de aislamiento sísmico se inicia con una nueva propuesta o alternativa al diseño original con criterio sismorresistente, determinando la carga promedio que soportará el dispositivo antisísmico. Estos aspectos permiten determinar un dispositivo antisísmico para un desplazamiento máximo establecido en la norma E.031. Teniendo presente que las propiedades del caucho tal como el módulo de corte, son propiedades de tipo experimentales que se obtienen de la literatura o de estudios previos. La determinación de manera estática los desplazamientos en la base, el amortiguamiento, el periodo objetivo, facilitan el diseño para el análisis estructural.
- 5.1.2** Para el caso de los desplazamientos en la edificación con aislamiento sísmico, se aprecia un desplazamiento que supera al desplazamiento calculado con la ecuación estática. Sin embargo, la pseudoaceleración que se llegó a definir para la zona 04 en un suelo blando S3 es prácticamente la mayor pseudoaceleración que se llegaría a presentar en la zona mencionada, siendo el caso más desfavorable. ¿¿¿???
- 5.1.3** Los periodos en los tres bloques estructurales, así como el periodo en el bloque único, se pudo determinar que, mediante el sistema de aislamiento sísmico, existe una variación que supera en cinco veces al periodo de la estructura con base fija, obteniéndose un periodo de $T = 2.462$, lo que mejora el comportamiento estructural de la edificación, en vista que llega a una zona de menor aceleración en el espectro.
- 5.1.4** Las derivas laterales se encuentran por debajo del 2‰, lo cual es un indicador de un comportamiento con deformación casi nula, encontrándose por debajo del valor de 3.5‰ establecidos en la normativa E.031, resultado que favorece al comportamiento sísmico al estar por debajo del 2.5‰ (criterio Hazus), incluso influyendo favorablemente respecto a los de costos de reparación después de un evento sísmico.

- 5.1.5** Las aceleraciones de entrepiso, a diferencia de los bloques aislados 01, 02, 03 y el bloque único con base fija, presenta una menor aceleración por la propia simetría de la estructura. Sin embargo, la edificación con aislamiento sísmico presenta incluso menor aceleración, lo cual es un indicador de un mejor comportamiento sísmico de la estructura.
- 5.1.6** La variación de costos con respecto al costo original de la infraestructura, equivalente a 9 % hace viable la implementación de un sistema de aislamiento sísmico en estructuras medianas como los centros de salud.

5.2 RECOMENDACIONES

- 5.2.1** Las edificaciones definidas en la Norma Técnica E.030 diseño sismorresistente, como esenciales de categoría inferior a los Hospitales tipo I y tipo II, se consideren para su diseño estructural aislamiento sísmico, debido a su importancia como centro de atención y de los servicios de las Unidades de Prestación de Servicios de Salud (UPSS) que presta, se consideran de alto valor para la población por ende deben tener un funcionamiento continuo en caso de un evento sísmico. La tecnología del aislamiento sísmico y sus beneficios han sido demostrados en el presente estudio, por ende, este tipo de edificaciones no deberían quedar fuera del rango de estructuras obligatorias con uso de aislamiento sísmico.
- 5.2.2** Los modos de vibración de las estructuras con aislamiento sísmico tengan sus periodos de tipo traslacionales, lo cual implica que la estructura con aislamiento sísmico no rotara en su base. Para ello, se puede utilizar un tipo de dispositivo único, o dispositivos de mayor rigidez en los bordes.
- 5.2.3** Las edificaciones propuestas con aislamiento sísmico deberán seguir los criterios del diseño sismorresistente, para la superestructura. Como se apreció en el desarrollo de la investigación el uso de la misma configuración estructural puede ayudar al comportamiento estructural de la edificación, en vista que se demuestra que toda la estructura se comporta como un bloque rígido, de baja deformación angular.

5.2.4 Las derivas bastante bajas obtenidas, demuestran que el uso de aislamiento sísmico en la base en edificaciones de poca altura es altamente eficiente, por ende, su aplicación podría ampliarse a edificaciones de tipo educativas, instituciones como centros financieros, informáticos, etc. con el objetivo de lograr la funcionalidad continua de la estructura e incrementar la seguridad de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CIT (2011) Corporación de Desarrollo Tecnológico. Protección Sísmica de Estructuras. Santiago de Chile: Trama Impresores S.A.

Constantinou et. al, (2007). “*Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading*”. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. New York, USA.

E.030 (2018). “*Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*”. (Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE). Decreto Supremo N° 355-2018-Vivienda. Lima-Perú.

E.031 (2019). “*Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico*”. (Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE). Decreto Supremo N° 030-2019-Vivienda. Lima-Perú.

Hernández et. al, (2014). *Metodología de la Investigación*. 6ta Edición. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. México.

Kamrava (2015). “*Seismic isolators and their types*”. (Artículo). Department of Environment and Civil engineering . Shiraz University of Technology. Shiraz, Irán.

Lancu et. al, (2012). “*Modelling and Characterization of Hybrid- Based Earthquake Isolation Systems*”. (Artículo). Researchgate. Bucharest, Romania.

Lashgari (2014). “*Comparative Study of base-Isolated and Fixed-base buildings using a damage/cost approach*”. (Tesis). The College of Engineering at the University of Nebraska. Lincoln, Nebraska- USA.

Madera et. al, (2019). “*Matrix and reinforcement materials for low-cost building isolators: an overview of results from experimental test and numerical simulations* ”. Universidad del Valle. Santiago de Calí, Colombia.

Mayes & Naeim (2000). “*Design of Structures with Seismic Isolation*”. (Artículo). Los Ángeles, California.

Muñoz et. al, (2019). “*Applicatibility Study of a Low Cost Seismic isolator prototype using recycled rubber*”. (Artículo) Lima-Perú.

Naeim & Kelly, (1999). “*Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*” Editorial John Wiley & Sons, Inc. Berkeley, California.

Piscal & López (2017). “*Comparación de códigos de asilamiento sísmico a nivel mundial. Implicaciones para Colombia*”. (Artículo). VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Universidad del Norte, Colombia.

Stojadinovic, (s/f). “*Technical Considerations for Seismic Isolation of Nuclear Facility Structures*”. Universidad de Berkeley, USA.

Tamayo (2004). El proceso de la investigación científica. Editorial Limusa.

Usta (2021). “*Investigation of a Base-Isolator System’s Effects on the Seismic Behavior of a Historical Structure*”. University of Applied Science. Ispart, Turquía.

Wamanrao & Madhuri, (2015). “*Sustainability of Structure Using Base Isolation Technique for Seismic Protection*”. (Artículo). International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Pune, India.

Zellat & Kadri (2015). “*Influence of seismic isolation system on bridge responses*”. (Artículo). Lima-Perú.

ANEXOS

ANEXO A

ESPECTROS SD - SMC

Espectro R=8	
R=8	
T	Sa
0.00	0.1547
0.05	0.1547
0.10	0.1547
0.15	0.1547
0.20	0.1547
0.25	0.1547
0.30	0.1547
0.35	0.1547
0.40	0.1547
0.45	0.1547
0.50	0.1547
0.55	0.1547
0.60	0.1547
0.65	0.1547
0.70	0.1547
0.75	0.1547
0.80	0.1547
0.85	0.1547
0.90	0.1547
0.95	0.1547
1.00	0.1547
1.05	0.1473
1.10	0.1406
1.15	0.1345
1.20	0.1289
1.25	0.1238
1.30	0.1190
1.35	0.1146
1.40	0.1105
1.45	0.1067
1.50	0.1031
1.55	0.0998
1.60	0.0967
1.65	0.0909
1.70	0.0856
1.75	0.0808

Espectro - SD	
R=1	
T	SD R1
0.00	1.2375
0.05	1.2375
0.10	1.2375
0.15	1.2375
0.20	1.2375
0.25	1.2375
0.30	1.2375
0.35	1.2375
0.40	1.2375
0.45	1.2375
0.50	1.2375
0.55	1.2375
0.60	1.2375
0.65	1.2375
0.70	1.2375
0.75	1.2375
0.80	1.2375
0.85	1.2375
0.90	1.2375
0.95	1.2375
1.00	1.2375
1.05	1.17857143
1.10	1.125
1.15	1.07608696
1.20	1.03125
1.25	0.99
1.30	0.95192308
1.35	0.91666667
1.40	0.88392857
1.45	0.85344828
1.50	0.825
1.55	0.7983871
1.60	0.7734375
1.65	0.72727273
1.70	0.68512111
1.75	0.64653061

Espectro - SMC	
R=1	
T	SMC R1
0.00	1.85625
0.05	1.85625
0.10	1.85625
0.15	1.85625
0.20	1.85625
0.25	1.85625
0.30	1.85625
0.35	1.85625
0.40	1.85625
0.45	1.85625
0.50	1.85625
0.55	1.85625
0.60	1.85625
0.65	1.85625
0.70	1.85625
0.75	1.85625
0.80	1.85625
0.85	1.85625
0.90	1.85625
0.95	1.85625
1.00	1.85625
1.05	1.76785714
1.10	1.6875
1.15	1.61413043
1.20	1.546875
1.25	1.485
1.30	1.42788462
1.35	1.375
1.40	1.32589286
1.45	1.28017241
1.50	1.2375
1.55	1.19758065
1.60	1.16015625
1.65	1.09090909
1.70	1.02768166
1.75	0.96979592

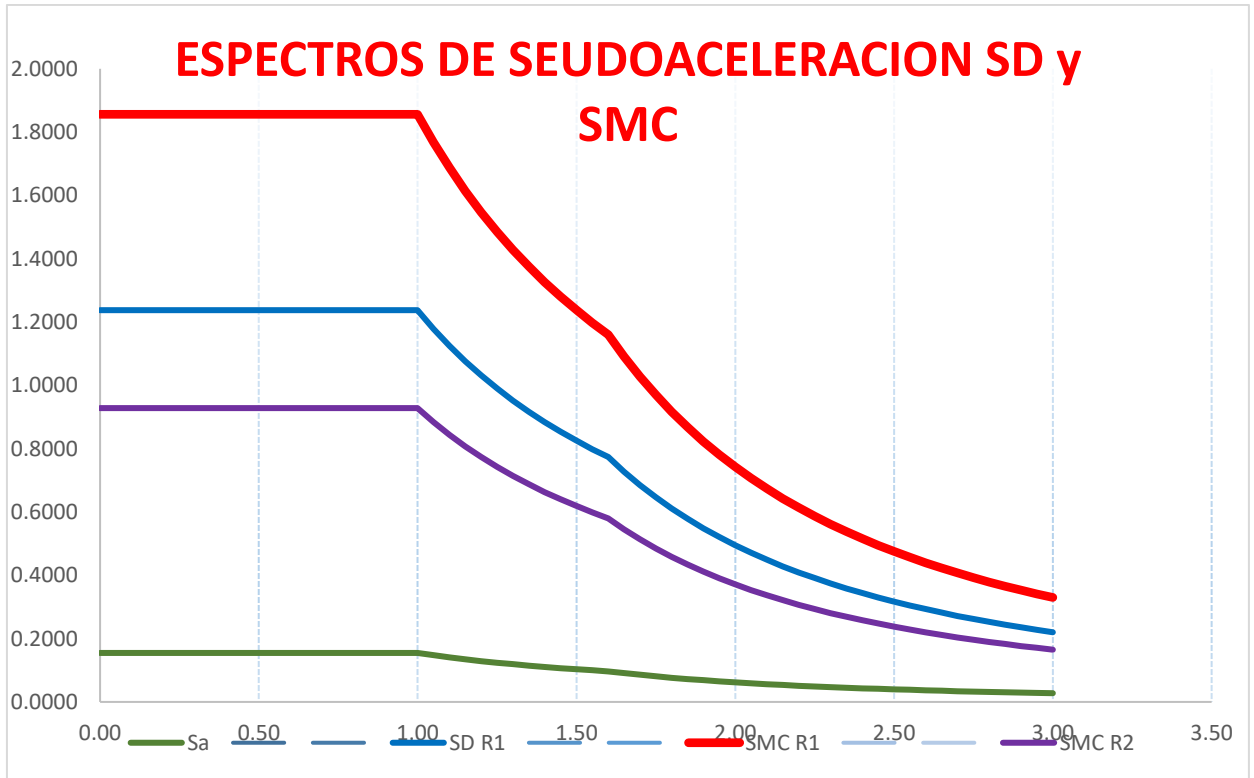
1.80	0.0764
1.85	0.0723
1.90	0.0686
1.95	0.0651
2.00	0.0619
2.05	0.0589
2.10	0.0561
2.15	0.0535
2.20	0.0511
2.25	0.0489
2.30	0.0468
2.35	0.0448
2.40	0.0430
2.45	0.0412
2.50	0.0396
2.55	0.0381
2.60	0.0366
2.65	0.0352
2.70	0.0340
2.75	0.0327
2.80	0.0316
2.85	0.0305
2.90	0.0294
2.95	0.0284
3.00	0.0275

1.80	0.61111111
1.85	0.57852447
1.90	0.54847645
1.95	0.52071006
2.00	0.495
2.05	0.47114813
2.10	0.44897959
2.15	0.42833964
2.20	0.40909091
2.25	0.39111111
2.30	0.37429112
2.35	0.35853327
2.40	0.34375
2.45	0.32986256
2.50	0.3168
2.55	0.30449827
2.60	0.29289941
2.65	0.28195087
2.70	0.27160494
2.75	0.26181818
2.80	0.25255102
2.85	0.24376731
2.90	0.23543401
2.95	0.22752083
3.00	0.22

1.80	0.91666667
1.85	0.86778671
1.90	0.82271468
1.95	0.78106509
2.00	0.7425
2.05	0.70672219
2.10	0.67346939
2.15	0.64250946
2.20	0.61363636
2.25	0.58666667
2.30	0.56143667
2.35	0.53779991
2.40	0.515625
2.45	0.49479384
2.50	0.4752
2.55	0.4567474
2.60	0.43934911
2.65	0.42292631
2.70	0.40740741
2.75	0.39272727
2.80	0.37882653
2.85	0.36565097
2.90	0.35315101
2.95	0.34128124
3.00	0.33

ANEXO B

SEUDOACELERACIÓN SD – SMC



ANEXO 03: DEFORMACIONES DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL SMC -XX

TABLE: Link Deformations										
Story	Link	Unique Name	Link Element	Load Case/Combo	U1	U2	U3	R1	R2	R3
					m	mm	mm	rad	rad	rad
Dispositivos de Aislamiento	K1	K1	K1	ESPECTRO_SM C_XX Max	3.404	435.454	164.632	0.002068	0.000947	0.002056
Dispositivos de Aislamiento	K2	K2	K2	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.388	434.489	162.622	0.002068	0.000814	0.002742
Dispositivos de Aislamiento	K3	K3	K3	ESPECTRO_SM C_XX Max	3.112	436.244	154.258	0.002068	0.000954	0.001489
Dispositivos de Aislamiento	K4	K4	K4	ESPECTRO_SM C_XX Max	1.125	436.509	143.954	0.002068	0.000587	0.001296
Dispositivos de Aislamiento	K5	K5	K5	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.165	436.327	133.323	0.002068	0.000636	0.001427
Dispositivos de Aislamiento	K6	K6	K6	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.099	436.251	122.868	0.002068	0.000599	0.001481
Dispositivos de Aislamiento	K7	K7	K7	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.295	436.216	132.833	0.002068	0.00055	0.001507
Dispositivos de Aislamiento	K8	K8	K8	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.339	436.204	142.735	0.002068	0.000596	0.001515
Dispositivos de Aislamiento	K9	K9	K9	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.482	436.438	152.681	0.002068	0.000648	0.001348
Dispositivos de Aislamiento	K10	K10	K10	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.599	426.182	165.344	0.002068	0.000455	0.0022
Dispositivos de Aislamiento	K12	K12	K12	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.037	427.796	154.798	0.002068	0.000606	0.001048
Dispositivos de Aislamiento	K13	K13	K13	ESPECTRO_SM C_XX Max	1.446	427.363	144.427	0.002068	0.000251	0.001357
Dispositivos de Aislamiento	K14	K14	K14	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.193	427.904	133.794	0.002068	0.000306	0.00197
Dispositivos de Aislamiento	K15	K15	K15	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.026	427.607	123.342	0.002068	0.00026	0.001182
Dispositivos de Aislamiento	K16	K16	K16	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.202	427.623	133.346	0.002068	0.000182	0.00117
Dispositivos de Aislamiento	K17	K17	K17	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.245	427.572	143.274	0.002068	0.000196	0.001207
Dispositivos de Aislamiento	K18	K18	K18	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.251	427.815	153.235	0.002068	0.000216	0.001033
Dispositivos de Aislamiento	K19	K19	K19	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.719	426.153	163.134	0.002068	0.000326	0.00222
Dispositivos de Aislamiento	K20	K20	K20	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.436	417.234	165.208	0.002068	0.00055	0.002125
Dispositivos de Aislamiento	K21	K21	K21	ESPECTRO_SM C_XX Max	2.266	420.73	154.742	0.002068	0.000434	0.002471
Dispositivos de Aislamiento	K22	K22	K22	ESPECTRO_SM C_XX Max	1.009	417.757	144.221	0.002068	0.000486	0.001759
Dispositivos de Aislamiento	K23	K23	K23	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.227	419.469	133.826	0.002068	0.00073	0.001566
Dispositivos de Aislamiento	K24	K24	K24	ESPECTRO_SM C_XX Max	0.818	418.124	123.67	0.002068	0.000567	0.001493

Dispositivos de Aislamiento	K2			ESPECTRO_SM	0.1	418.	133.	0.002	0.000	0.000
	5	K25	K25	C_XX Max	36	899	147	068	339	934
Dispositivos de Aislamiento	K2			ESPECTRO_SM	0.0	418.	143.	0.002	0.000	0.001
	6	K26	K26	C_XX Max	1	579	044	068	36	163
Dispositivos de Aislamiento	K2			ESPECTRO_SM	0.0	418.	152.	0.002	0.000	0.000
	7	K27	K27	C_XX Max	54	854	998	068	386	967
Dispositivos de Aislamiento	K2			ESPECTRO_SM	0.4	417.	162.	0.002	0.000	0.002
	8	K28	K28	C_XX Max	06	221	858	068	511	134
Dispositivos de Aislamiento	K2			ESPECTRO_SM	0.3	408.	165.	0.002	0.000	0.002
	9	K29	K29	C_XX Max	85	278	235	068	526	067
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.1	410.	154.	0.002	0.000	0.000
	0	K30	K30	C_XX Max	56	008	867	068	387	831
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.1	409.	144.	0.002	0.000	0.001
	1	K31	K31	C_XX Max	14	45	377	068	27	232
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	1.6	411.	133.	0.002	0.000	0.000
	2	K32	K32	C_XX Max	74	212	656	068	516	151
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	1.2	409.	123.	0.002	0.000	0.001
	3	K33	K33	C_XX Max	01	053	133	068	581	55
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.1	409.	133.	0.002	0.000	0.000
	4	K34	K34	C_XX Max	98	979	184	068	306	845
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.0	409.	143.	0.002	0.000	0.001
	5	K35	K35	C_XX Max	66	604	124	068	302	113
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.1	409.	153.	0.002	0.000	0.000
	6	K36	K36	C_XX Max	41	866	085	068	32	926
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.3	408.	162.	0.002	0.000	0.002
	7	K37	K37	C_XX Max	19	276	921	068	456	07
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.3	419.	165.	0.002	0.000	0.002
	8	K38	K38	C_XX Max	19	572	192	068	547	077
Dispositivos de Aislamiento	K3			ESPECTRO_SM	0.0	421.	154.	0.002	0.000	0.000
	9	K39	K39	C_XX Max	78	197	76	068	42	914
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.0	420.	144.	0.002	0.000	0.001
	0	K40	K40	C_XX Max	22	915	244	068	372	116
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.0	421.	133.	0.002	0.000	0.001
	1	K41	K41	C_XX Max	86	065	876	068	271	009
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.0	420.	123.	0.002	0.000	0.001
	2	K42	K42	C_XX Max	3	885	366	068	253	138
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.3	420.	133.	0.002	0.000	0.001
	3	K43	K43	C_XX Max	38	989	073	068	377	063
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.2	420.	142.	0.002	0.000	0.001
	4	K44	K44	C_XX Max	85	956	943	068	442	087
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.6	421.	152.	0.002	0.000	0.000
	5	K45	K45	C_XX Max	77	142	942	068	441	954
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.2	419.	162.	0.002	0.000	0.002
	6	K46	K46	C_XX Max	85	591	84	068	603	062
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	1.0	430.	165.	0.002	0.000	0.002
	7	K47	K47	C_XX Max	02	964	719	068	788	043
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.0	432.	154.	0.002	0.000	0.001
	8	K48	K48	C_XX Max	64	276	876	068	342	105
Dispositivos de Aislamiento	K4			ESPECTRO_SM	0.3	432.	144.	0.002	0.000	0.001
	9	K49	K49	C_XX Max	03	294	256	068	432	093
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	0.8	432.	133.	0.002	0.000	0.001
	0	K50	K50	C_XX Max	38	308	738	068	34	082
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	0.0	432.	123.	0.002	0.000	0.001
	1	K51	K51	C_XX Max	83	373	296	068	293	036
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	0.4	432.	133.	0.002	0.000	0.001
	2	K52	K52	C_XX Max	22	208	283	068	227	154

Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	0.1	432.	143.	0.002	0.000	0.000
	3	K53	K53	C_XX Max	45	48	305	068	183	959
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	1.5	432.	153.	0.002	0.000	0.001
	4	K54	K54	C_XX Max	65	352	202	068	312	05
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	0.6	430.	163.	0.002	0.000	0.002
	5	K55	K55	C_XX Max	87	736	183	068	293	207
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	4.6	443.	164.	0.002	0.000	0.001
	6	K56	K56	C_XX Max	57	104	787	068	841	481
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	0.2	443.	154.	0.002	0.000	0.001
	7	K57	K57	C_XX Max	57	01	254	068	787	549
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	4.3	444.	143.	0.002	0.000	0.000
	8	K58	K58	C_XX Max	06	029	713	068	894	819
Dispositivos de Aislamiento	K5			ESPECTRO_SM	0.8	443.	133.	0.002	0.000	0.001
	9	K59	K59	C_XX Max	5	611	527	068	504	118
Dispositivos de Aislamiento	K6			ESPECTRO_SM	0.1	443.	122.	0.002	0.000	0.001
	0	K60	K60	C_XX Max	89	246	89	068	583	38
Dispositivos de Aislamiento	K6			ESPECTRO_SM		443.	132.	0.002	0.000	0.001
	1	K61	K61	C_XX Max	0.9	203	984	068	441	41
Dispositivos de Aislamiento	K6			ESPECTRO_SM	0.2	443.	142.	0.002	0.000	0.001
	2	K62	K62	C_XX Max	15	492	61	068	677	204
Dispositivos de Aislamiento	K6			ESPECTRO_SM	1.4	443.	152.	0.002	0.000	0.001
	3	K63	K63	C_XX Max	61	241	8	068	593	385
Dispositivos de Aislamiento	K6			ESPECTRO_SM	3.5	443.	162.	0.002	0.001	0.001
	4	K64	K64	C_XX Max	23	034	26	068	081	533

ANEXO 04: DEFORMACIONES DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL SMC -YY.

TABLE: Link Deformations										
Story	Link	Unique Name	Link Element	Load Case/Combo	U1	U2	U3	R1	R2	R3
					m	mm	mm	rad	rad	rad
Dispositivos de Aislamiento	K1	K1	K1	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.227	163.365	467.466	0.003274	0.002703	0.000809
Dispositivos de Aislamiento	K2	K2	K2	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.919	163.01	460.653	0.003274	0.001911	0.001027
Dispositivos de Aislamiento	K3	K3	K3	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.456	163.668	453.213	0.003274	0.002277	0.000577
Dispositivos de Aislamiento	K4	K4	K4	ESPECTRO_SM C_YY Max	2.244	163.764	439.18	0.003274	0.001744	0.000488
Dispositivos de Aislamiento	K5	K5	K5	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.467	163.708	424.116	0.003274	0.002012	0.000539
Dispositivos de Aislamiento	K6	K6	K6	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.324	163.668	409.545	0.003274	0.001991	0.000565
Dispositivos de Aislamiento	K7	K7	K7	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.921	163.657	422.482	0.003274	0.001754	0.00057
Dispositivos de Aislamiento	K8	K8	K8	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.949	163.653	435.157	0.003274	0.001776	0.000568
Dispositivos de Aislamiento	K9	K9	K9	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.972	163.742	447.929	0.003274	0.001794	0.000506
Dispositivos de Aislamiento	K10	K10	K10	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.241	149.374	469.512	0.003274	0.001241	0.000771
Dispositivos de Aislamiento	K12	K12	K12	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.018	149.926	454.787	0.003274	0.001154	0.0004
Dispositivos de Aislamiento	K13	K13	K13	ESPECTRO_SM C_YY Max	2.157	149.784	440.622	0.003274	0.000713	0.000484
Dispositivos de Aislamiento	K14	K14	K14	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.126	149.98	425.609	0.003274	0.000946	0.00035
Dispositivos de Aislamiento	K15	K15	K15	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.083	149.87	411.126	0.003274	0.000861	0.000418
Dispositivos de Aislamiento	K16	K16	K16	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.635	149.872	424.128	0.003274	0.000576	0.000415
Dispositivos de Aislamiento	K17	K17	K17	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.681	149.853	436.812	0.003274	0.000592	0.00043
Dispositivos de Aislamiento	K18	K18	K18	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.683	149.939	449.564	0.003274	0.000622	0.000369
Dispositivos de Aislamiento	K19	K19	K19	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.703	149.361	462.118	0.003274	0.000858	0.000789

Dispositivos de Aislamiento	K 2 0	K20	K20	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 44	135. 776	469. 112	0.003 274	0.001 526	0.000 71
Dispositivos de Aislamiento	K 2 1	K21	K21	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.3 83	137. 003	454. 64	0.003 274	0.001 252	0.000 891
Dispositivos de Aislamiento	K 2 2	K22	K22	ESPECTRO_SM C_YY Max	2.7 66	135. 919	439. 989	0.003 274	0.001 169	0.000 733
Dispositivos de Aislamiento	K 2 3	K23	K23	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 85	136. 488	425. 712	0.003 274	0.000 894	0.000 731
Dispositivos de Aislamiento	K 2 4	K24	K24	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.3 51	136. 088	412. 119	0.003 274	0.000 302	0.000 593
Dispositivos de Aislamiento	K 2 5	K25	K25	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 03	136. 331	423. 5	0.003 274	0.001 025	0.000 31
Dispositivos de Aislamiento	K 2 6	K26	K26	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.0 31	136. 222	436. 109	0.003 274	0.001 095	0.000 384
Dispositivos de Aislamiento	K 2 7	K27	K27	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.0 29	136. 312	448. 869	0.003 274	0.001 12	0.000 319
Dispositivos de Aislamiento	K 2 8	K28	K28	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 36	135. 775	461. 334	0.003 274	0.001 418	0.000 704
Dispositivos de Aislamiento	K 2 9	K29	K29	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 22	122. 49	469. 189	0.003 274	0.001 471	0.000 634
Dispositivos de Aislamiento	K 3 0	K30	K30	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 44	123. 019	455. 035	0.003 274	0.000 97	0.000 268
Dispositivos de Aislamiento	K 3 1	K31	K31	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.2 72	122. 844	440. 476	0.003 274	0.000 817	0.000 392
Dispositivos de Aislamiento	K 3 2	K32	K32	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.7 58	123. 41	425. 164	0.003 274	0.001 268	0.000 387
Dispositivos de Aislamiento	K 3 3	K33	K33	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.0 66	122. 746	410. 374	0.003 274	0.001 455	0.000 577
Dispositivos de Aislamiento	K 3 4	K34	K34	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 14	123. 007	423. 597	0.003 274	0.000 955	0.000 259
Dispositivos de Aislamiento	K 3 5	K35	K35	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 56	122. 887	436. 354	0.003 274	0.000 92	0.000 339
Dispositivos de Aislamiento	K 3 6	K36	K36	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 8	122. 967	449. 13	0.003 274	0.000 933	0.000 282
Dispositivos de Aislamiento	K 3 7	K37	K37	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 63	122. 49	461. 517	0.003 274	0.001 288	0.000 633

Dispositivos de Aislamiento	K 3 8	K38	K38	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.0 99	136. 437	469. 086	0.003 274	0.001 545	0.000 665
Dispositivos de Aislamiento	K 3 9	K39	K39	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.0 26	136. 959	454. 698	0.003 274	0.001 21	0.000 292
Dispositivos de Aislamiento	K 4 0	K40	K40	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.0 5	136. 872	440. 066	0.003 274	0.001 11	0.000 359
Dispositivos de Aislamiento	K 4 1	K41	K41	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.0 97	136. 908	425. 873	0.003 274	0.000 758	0.000 336
Dispositivos de Aislamiento	K 4 2	K42	K42	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.0 51	136. 861	411. 186	0.003 274	0.000 832	0.000 375
Dispositivos de Aislamiento	K 4 3	K43	K43	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.0 68	136. 891	423. 253	0.003 274	0.001 202	0.000 343
Dispositivos de Aislamiento	K 4 4	K44	K44	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.7 38	136. 876	435. 795	0.003 274	0.001 32	0.000 352
Dispositivos de Aislamiento	K 4 5	K45	K45	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.1 98	136. 941	448. 705	0.003 274	0.001 238	0.000 306
Dispositivos de Aislamiento	K 4 6	K46	K46	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.6 68	136. 44	461. 271	0.003 274	0.001 467	0.000 663
Dispositivos de Aislamiento	K 4 7	K47	K47	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.0 49	150. 701	470. 358	0.003 274	0.000 677	0.000 712
Dispositivos de Aislamiento	K 4 8	K48	K48	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.1 14	151. 145	455. 03	0.003 274	0.000 973	0.000 403
Dispositivos de Aislamiento	K 4 9	K49	K49	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.2	151. 182	440. 157	0.003 274	0.001 047	0.000 407
Dispositivos de Aislamiento	K 5 0	K50	K50	ESPECTRO_SM C_YY Max	2.2 01	151. 174	425. 443	0.003 274	0.001 065	0.000 373
Dispositivos de Aislamiento	K 5 1	K51	K51	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.2 67	151. 181	410. 973	0.003 274	0.000 97	0.000 382
Dispositivos de Aislamiento	K 5 2	K52	K52	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.3 46	151. 144	423. 924	0.003 274	0.000 721	0.000 401
Dispositivos de Aislamiento	K 5 3	K53	K53	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.4 3	151. 222	436. 912	0.003 274	0.000 521	0.000 343
Dispositivos de Aislamiento	K 5 4	K54	K54	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.8 14	151. 194	449. 511	0.003 274	0.000 663	0.000 359
Dispositivos de Aislamiento	K 5 5	K55	K55	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.6 16	150. 656	462. 21	0.003 274	0.000 793	0.000 781

Dispositivos de Aislamiento	K 5 6	K56	K56	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.6 98	165. 541	467. 967	0.003 274	0.002 348	0.000 558
Dispositivos de Aislamiento	K 5 7	K57	K57	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.7 08	165. 533	453. 209	0.003 274	0.002 275	0.000 557
Dispositivos de Aislamiento	K 5 8	K58	K58	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.7 58	165. 89	438. 563	0.003 274	0.002 189	0.000 304
Dispositivos de Aislamiento	K 5 9	K59	K59	ESPECTRO_SM C_YY Max	2.6 19	165. 728	424. 764	0.003 274	0.001 551	0.000 417
Dispositivos de Aislamiento	K 6 0	K60	K60	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.5 93	165. 614	409. 62	0.003 274	0.001 938	0.000 5
Dispositivos de Aislamiento	K 6 1	K61	K61	ESPECTRO_SM C_YY Max	2.8 47	165. 583	422. 969	0.003 274	0.001 405	0.000 52
Dispositivos de Aislamiento	K 6 2	K62	K62	ESPECTRO_SM C_YY Max	0.5 66	165. 696	434. 78	0.003 274	0.002 045	0.000 451
Dispositivos de Aislamiento	K 6 3	K63	K63	ESPECTRO_SM C_YY Max	2.3 98	165. 627	448. 262	0.003 274	0.001 556	0.000 529
Dispositivos de Aislamiento	K 6 4	K64	K64	ESPECTRO_SM C_YY Max	1.9 75	165. 5	459. 543	0.003 274	0.002 703	0.000 651

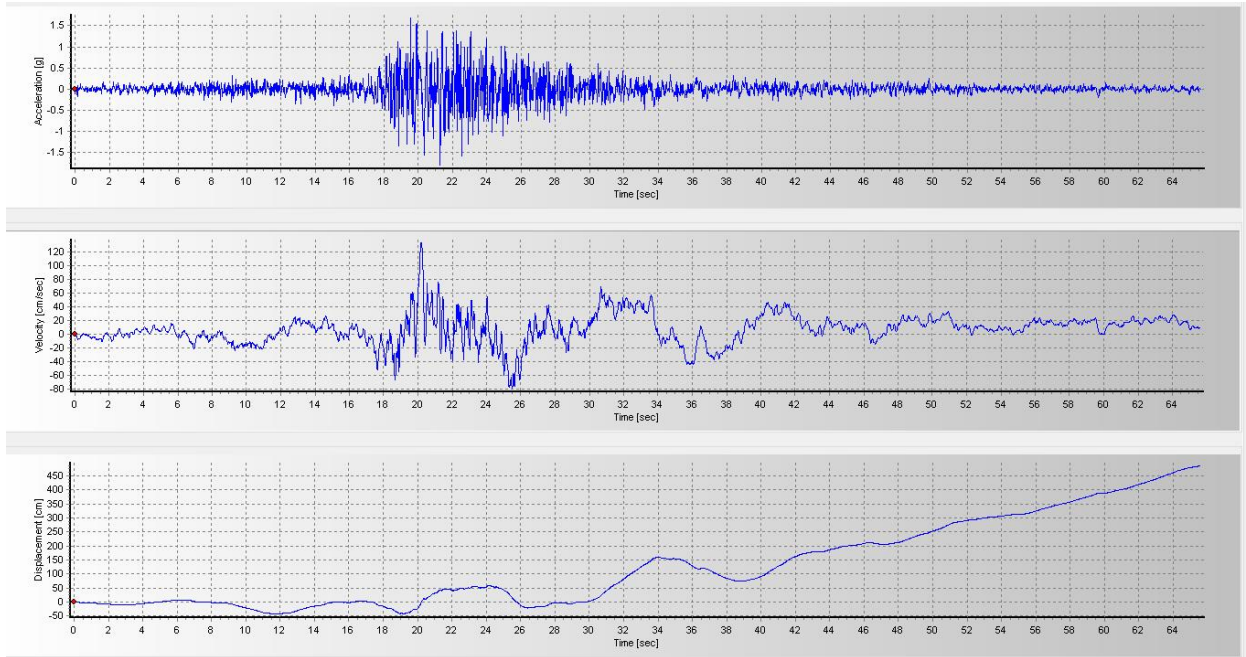
ANEXO 05: CUADROS DE FACTORES MODIFICATORIOS DE PROPIEDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS. FUENTE NORMA E031)

VALORES MÁXIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN MÍNIMO PARA FABRICANTES CALIFICADOS							
VALOR MÁXIMO PARA:	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	<i>u o Qd</i>	<i>u o Qd</i>	<i>K</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>
Factor Mínimo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ($\lambda_{ae,min}$)	1	1	1	1	1	1	1
Factor Mínimo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, <i>scragging</i> ($\lambda_{tvs,min}$)	0.95	0.95	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
Factor Mínimo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ($\lambda_{fab,min}$)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior: $\lambda_{min} = [1 - 0.75(\lambda_{ae,min} - 1)] * \lambda_{tvs,min} * \lambda_{fab,min}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

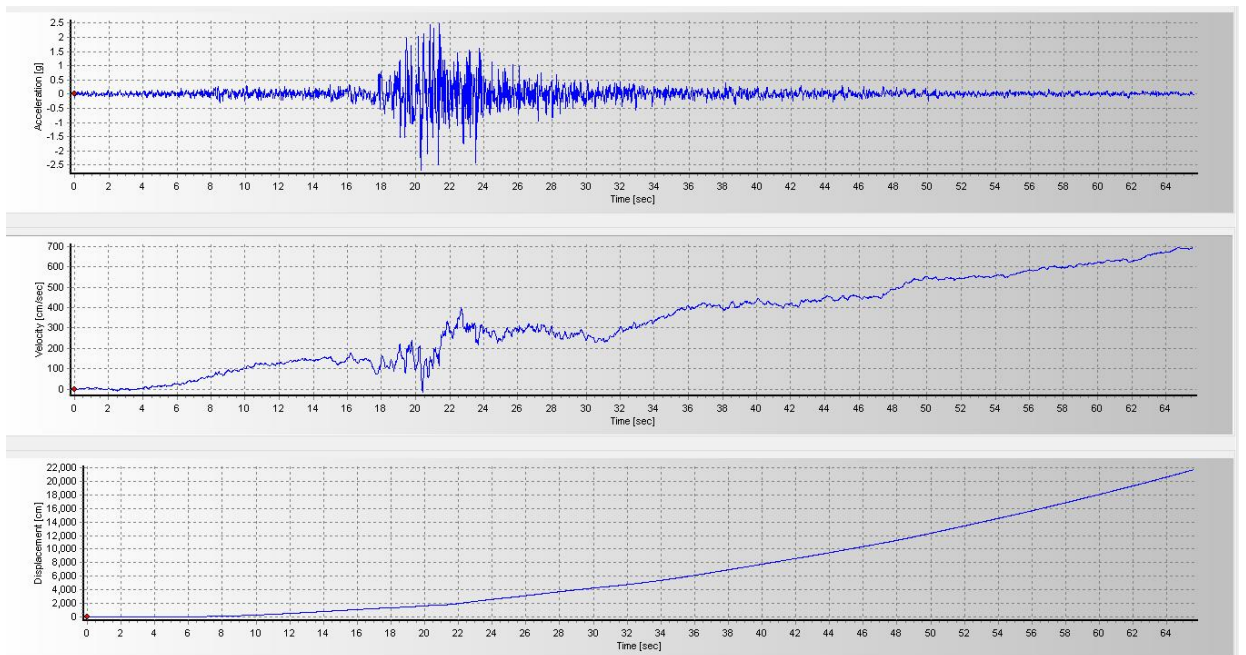
VALORES MÍNIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN MÁXIMO PARA FABRICANTES CALIFICADOS							
VALOR MÍNIMO PARA:	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	<i>u o Qd</i>	<i>u o Qd</i>	<i>K</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>
Factor Máximo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ($\lambda_{ae,max}$)	1.21	1.65	1	1	1	1.2	1.2
Factor Máximo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, <i>scragging</i> ($\lambda_{tvs,max}$)	1.2	1.3	1.03	1.03	1.3	1.5	1.3
Factor Máximo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ($\lambda_{fab,max}$)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Factor de Modificación Máximo Límite Superior: $\lambda_{max} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,max} - 1)] * \lambda_{tvs,max} * \lambda_{fab,max}$	1.6	2.25	1.3	1.3	1.5	2	1.7

ANEXO 06: COMPONENTES SÍSMICOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

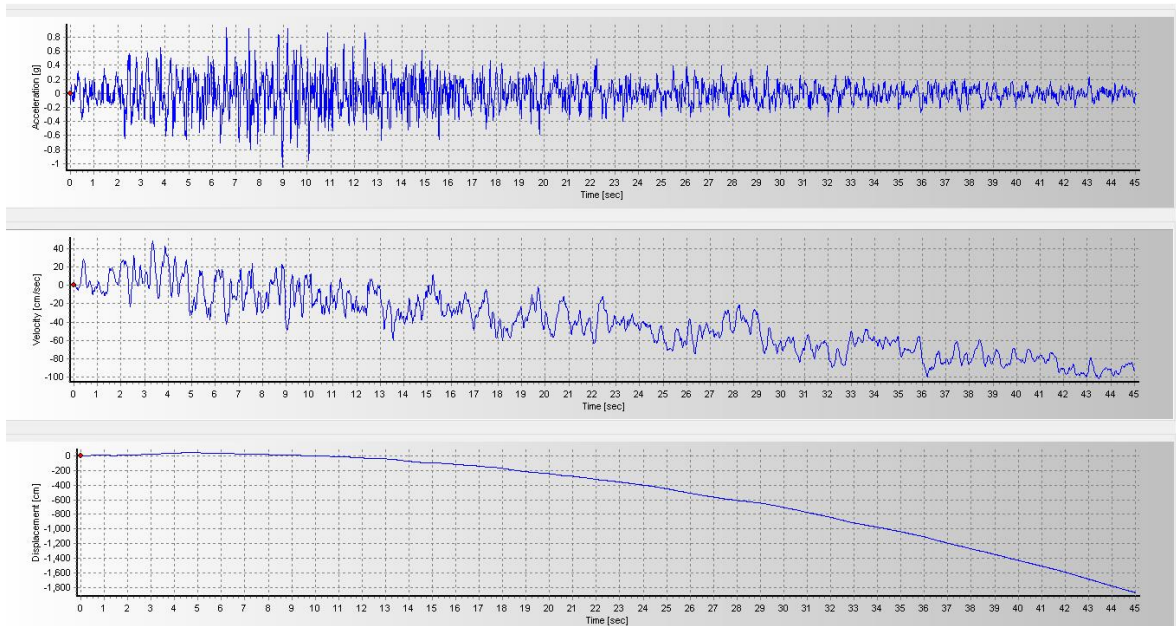
Sismo Lima 1966 -EW.



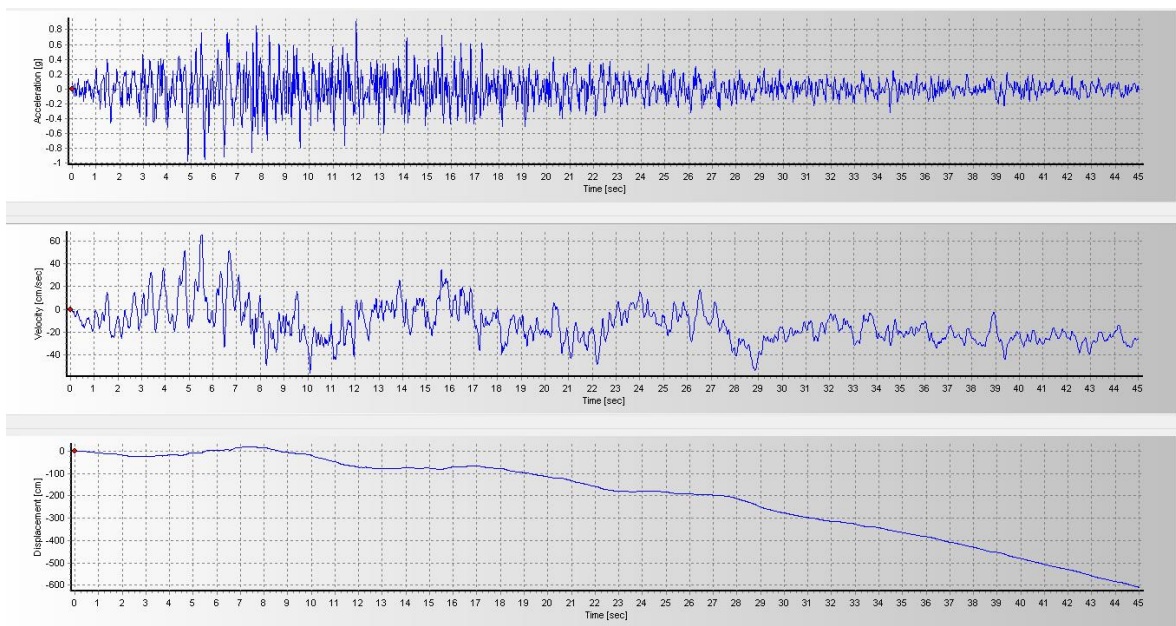
Sismo Lima 1966 - NS



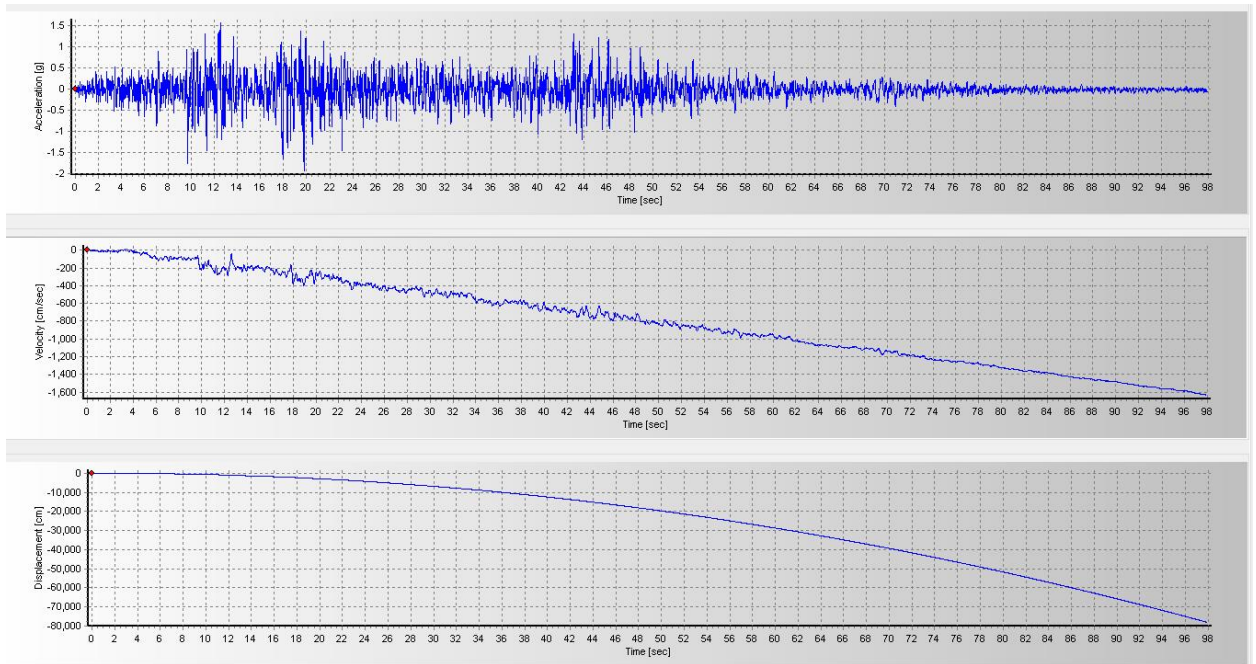
Sismo Ancash 1970 –EW



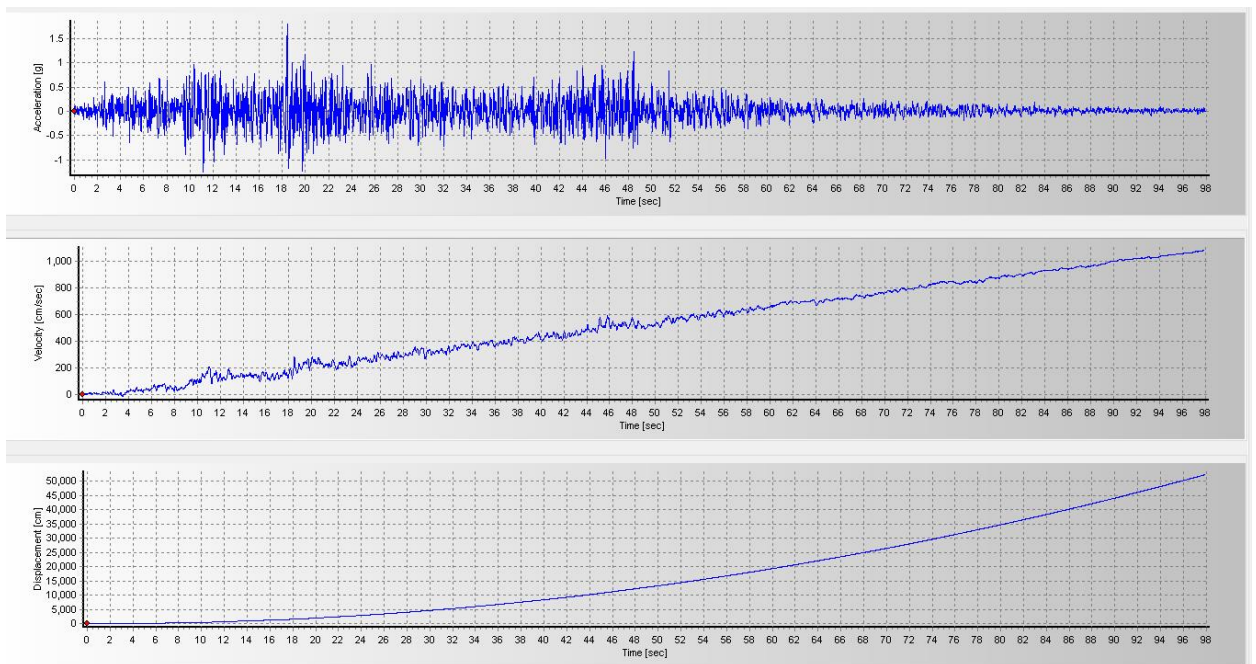
Sismo Ancash 1970 –NS



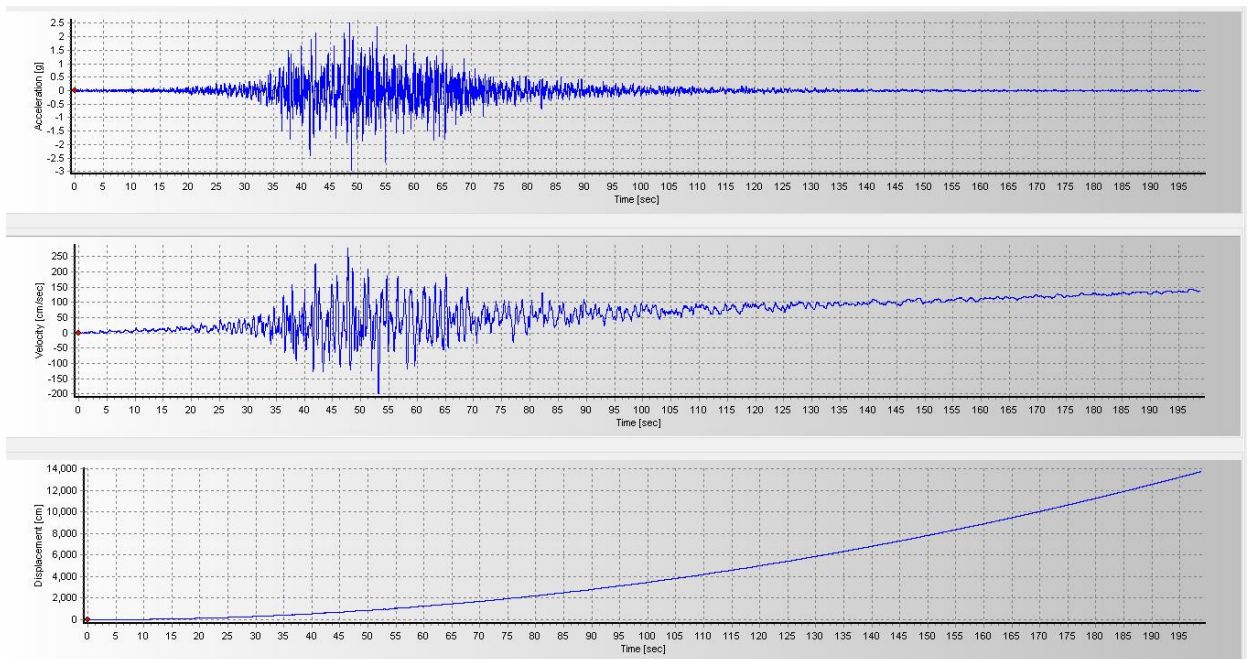
Sismo Lima 1974 – EW



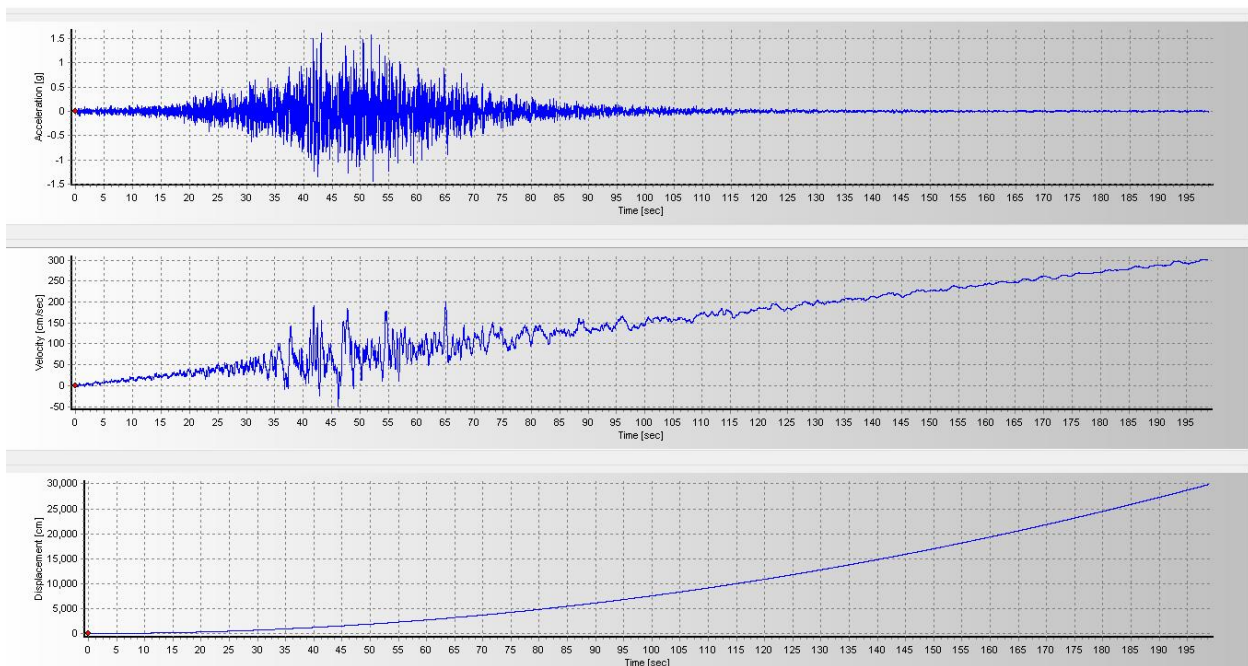
Sismo Lima 1974 – NS



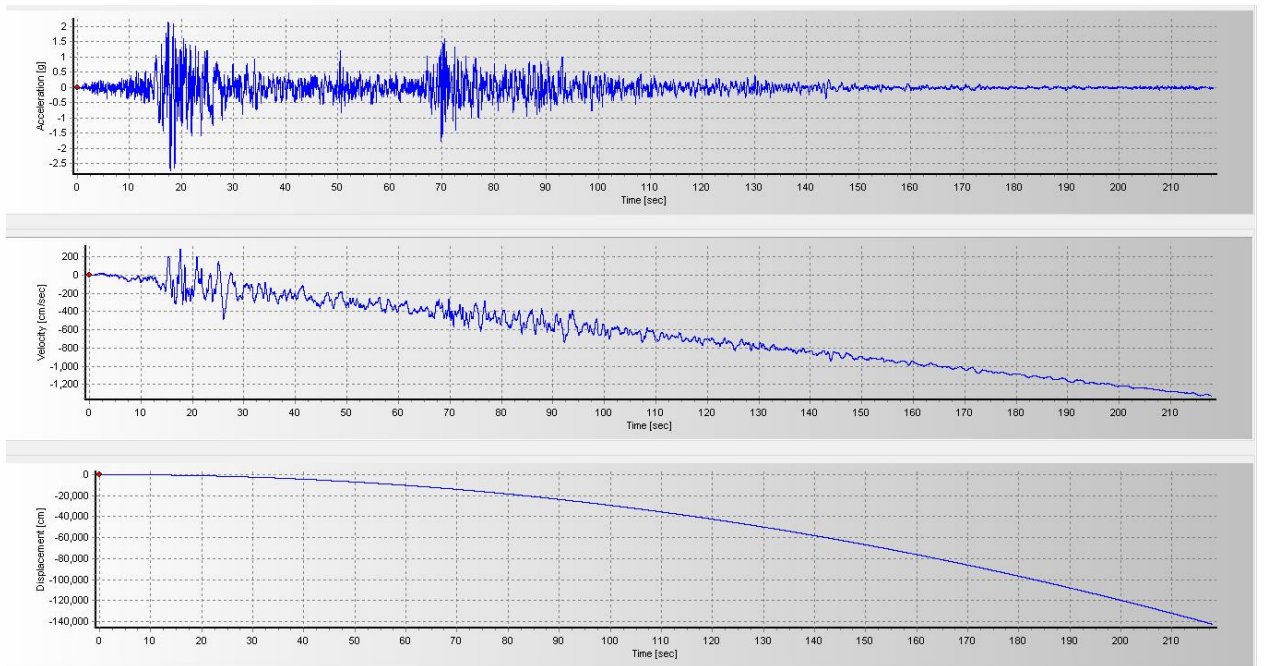
Sismo Arequipa 2001 – EW



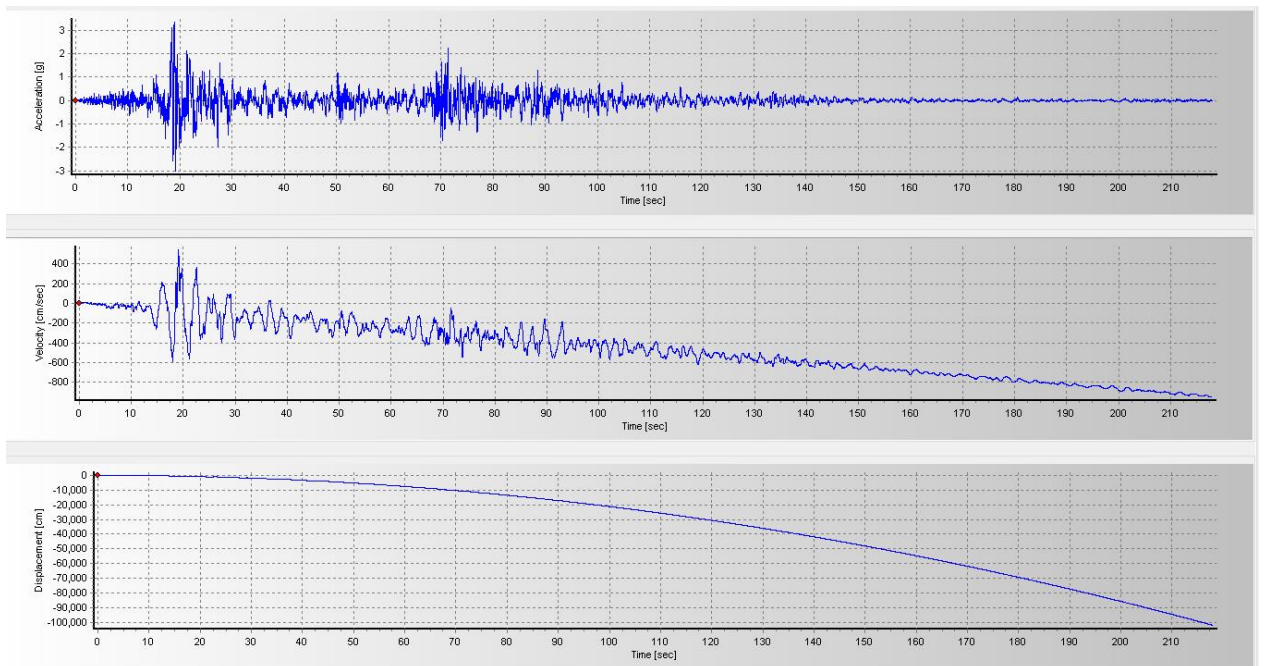
Sismo Arequipa 2001 – NS



Sismo Ica 2007 – EW



Sismo Ica 2007 – NS



ANEXO 07: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

SISMO DE LIMA 1966

SISMO LIMA 1966 0.82g - 0.62g

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1966 - EW - XX

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsion	Norma	Verificacion
		mm	mm	rad	mm	mm		E031	
Story4	LIMA_1966_EW_XX Max	485.347	140.171	0.000482	4200	5.983	0.0014	0.005	OK
Story3	LIMA_1966_EW_XX Max	479.364	139.409	0.000342	4200	6.624	0.0016	0.005	OK
Story2	LIMA_1966_EW_XX Max	472.74	138.582	0.000245	4200	6.898	0.0016	0.005	OK
Story1	LIMA_1966_EW_XX Max	465.842	137.855	0.00023	4200	6.366	0.0015	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1966_EW_XX Max	459.476	136.964	0.00026					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1966 - EW - YY

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsion	Norma	Verificacion
		mm	mm	rad	mm	mm		E031	
Story4	LIMA_1966_EW_YY Max	143.905	471.661	0.000682	4200	3.368	0.0008	0.005	OK
Story3	LIMA_1966_EW_YY Max	142.531	468.293	0.000673	4200	3.458	0.0008	0.005	OK
Story2	LIMA_1966_EW_YY Max	140.941	464.835	0.000665	4200	3.607	0.0009	0.005	OK
Story1	LIMA_1966_EW_YY Max	139.202	461.228	0.000651	4200	4.755	0.0011	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1966_EW_YY Max	137.755	456.473	0.000634					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1966 - NS - XX

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1966 - NS - XX									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplazam iento Relativo	Distors ion	Nor ma	Verifica cion
		mm	mm	rad	mm	mm		E03 1	
Story4	LIMA_1966_NS _XX Max	530.6 77	158.0 1	0.000 698	420 0	6.139	0.0015	0.00 5	OK
Story3	LIMA_1966_NS _XX Max	524.5 38	155.8 63	0.000 573	420 0	6.902	0.0016	0.00 5	OK
Story2	LIMA_1966_NS _XX Max	517.6 36	153.7 25	0.000 451	420 0	7.346	0.0017	0.00 5	OK
Story1	LIMA_1966_NS _XX Max	510.2 9	152.0 78	0.000 482	420 0	6.748	0.0016	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1966_NS _XX Max	503. 542	149.6 17	0.000 524					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1966 - NS - YY

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1966 - NS - YY									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplazam iento Relativo	Distors ion	Nor ma	Verifica cion
		mm	mm	rad	mm	mm		E03 1	
Story4	LIMA_1966_NS _YY Max	159.3 06	526.8 45	0.001 167	420 0	7.14	0.0017	0.00 5	OK
Story3	LIMA_1966_NS _YY Max	157.0 59	519.7 05	0.001 144	420 0	7.542	0.0018	0.00 5	OK
Story2	LIMA_1966_NS _YY Max	154.6 39	512.1 63	0.001 135	420 0	6.876	0.0016	0.00 5	OK
Story1	LIMA_1966_NS _YY Max	152.2 76	505.2 87	0.001 133	420 0	7.53	0.0018	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1966_NS _YY Max	150.4 26	497. 757	0.001 134					

Anexo 08: Resultados del análisis tiempo historia para el Sismo de Ancash 1970

SISMO ANCASH 1970

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE ANCASH 1970 - EW - XX

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsion	Norma	Verificacion
		mm	mm	rad	Mm	mm		E031	
Story4	ANCASH_1970_E W_XX Max	400. 863	117. 147	0.000 475	420 0	6.787	0.0016	0.00 5	OK
Story3	ANCASH_1970_E W_XX Max	394. 076	116. 383	0.000 324	420 0	7.418	0.0018	0.00 5	OK
Story2	ANCASH_1970_E W_XX Max	386. 658	115. 596	0.000 243	420 0	7.554	0.0018	0.00 5	OK
Story1	ANCASH_1970_E W_XX Max	379. 104	115. 123	0.000 291	420 0	6.389	0.0015	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	ANCASH_1970_E W_XX Max	372. 715	113. 945	0.000 339					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE ANCASH 1970 - EW - YY

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsion	Norma	Verificacion
		mm	mm	rad	mm	mm		E031	
Story4	ANCASH_1970_E W_YY Max	121. 835	402. 496	0.000 6	420 0	3.831	0.0009	0.00 5	OK
Story3	ANCASH_1970_E W_YY Max	120. 327	398. 665	0.000 576	420 0	4.241	0.0010	0.00 5	OK
Story2	ANCASH_1970_E W_YY Max	118. 684	394. 424	0.000 556	420 0	4.112	0.0010	0.00 5	OK
Story1	ANCASH_1970_E W_YY Max	117. 049	390. 312	0.000 544	420 0	4.555	0.0011	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	ANCASH_1970_E W_YY Max	115. 689	385. 757	0.000 533					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE ANCASH 1970 - NS - XX

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplaza miento Relativo	Distor sion	Nor ma	Verifica cion
		mm	mm	rad	mm	mm		E03 1	
Story4	ANCASH_1970_N S_XX Max	358. 467	109. 178	0.000 334	420 0	6.043	0.0014	0.00 5	OK
Story3	ANCASH_1970_N S_XX Max	352. 424	107. 362	0.000 27	420 0	6.587	0.0016	0.00 5	OK
Story2	ANCASH_1970_N S_XX Max	345. 837	105. 499	0.000 254	420 0	6.67	0.0016	0.00 5	OK
Story1	ANCASH_1970_N S_XX Max	339. 167	104. 115	0.000 313	420 0	5.811	0.0014	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	ANCASH_1970_N S_XX Max	333. 356	102. 437	0.000 354					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE ANCASH 1970 - NS - YY

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplaza miento Relativo	Distor sion	Nor ma	Verifica cion
		mm	mm	rad	mm	mm		E03 1	
Story4	ANCASH_1970_N S_YY Max	110. 24	362. 45	0.000 918	420 0	5.499	0.0013	0.00 5	OK
Story3	ANCASH_1970_N S_YY Max	108. 249	356. 951	0.000 894	420 0	5.832	0.0014	0.00 5	OK
Story2	ANCASH_1970_N S_YY Max	106. 157	351. 119	0.000 867	420 0	5.236	0.0012	0.00 5	OK
Story1	ANCASH_1970_N S_YY Max	104. 198	345. 883	0.000 837	420 0	5.421	0.0013	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	ANCASH_1970_N S_YY Max	102. 675	340. 462	0.000 809					

ANEXO 09: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA PARA EL SISMO DE LIMA 1974.

SISMO LIMA 1974 - 0.68g -0.61g									
DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1974 - EW – XX									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	mm	Rad	mm	mm		E031	
Story4	LIMA_1974_EW_XX Max	474.185	141.016	0.000583	4200	5.14	0.0012	0.005	OK
Story3	LIMA_1974_EW_XX Max	469.045	139.348	0.000451	4200	5.772	0.0014	0.005	OK
Story2	LIMA_1974_EW_XX Max	463.273	137.671	0.000345	4200	6.174	0.0015	0.005	OK
Story1	LIMA_1974_EW_XX Max	457.099	136.277	0.000441	4200	5.876	0.0014	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1974_EW_XX Max	451.223	134.889	0.000534					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1974 - EW – YY									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma	Verificación
		mm	mm	Rad	mm	mm		E031	
Story4	LIMA_1974_EW_YY Max	140.752	466.921	0.000825	4200	5.122	0.0012	0.005	OK
Story3	LIMA_1974_EW_YY Max	139.049	461.799	0.000798	4200	5.379	0.0013	0.005	OK
Story2	LIMA_1974_EW_YY Max	137.224	456.42	0.00077	4200	5.108	0.0012	0.005	OK
Story1	LIMA_1974_EW_YY Max	135.371	451.312	0.000744	4200	5.717	0.0014	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1974_EW_YY Max	133.866	445.595	0.00072					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1974 - NS - XX

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplazam iento Relativo	Distors ion	Nor ma	Verifica cion
		mm	mm	Rad	mm	mm		E03 1	
Story4	LIMA_1974_NS _XX Max	452. 257	133.2 87	0.000 544	420 0	5.017	0.0012	0.00 5	OK
Story3	LIMA_1974_NS _XX Max	447. 24	131.3 34	0.000 423	420 0	5.622	0.0013	0.00 5	OK
Story2	LIMA_1974_NS _XX Max	441. 618	129.3 4	0.000 334	420 0	5.996	0.0014	0.00 5	OK
Story1	LIMA_1974_NS _XX Max	435. 622	127.7 44	0.000 361	420 0	5.631	0.0013	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1974_NS _XX Max	429. 991	125.8 87	0.000 387					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE LIMA 1974 - NS - YY

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplazam iento Relativo	Distors ion	Nor ma	Verifica cion
		mm	mm	rad	mm	mm		E03 1	
Story4	LIMA_1974_NS _YY Max	136. 297	450.3 86	0.000 839	420 0	6.716	0.0016	0.00 5	OK
Story3	LIMA_1974_NS _YY Max	134. 156	443.6 7	0.000 812	420 0	7.126	0.0017	0.00 5	OK
Story2	LIMA_1974_NS _YY Max	131. 928	436.5 44	0.000 784	420 0	6.437	0.0015	0.00 5	OK
Story1	LIMA_1974_NS _YY Max	129. 853	430.1 07	0.000 755	420 0	6.621	0.0016	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	LIMA_1974_NS _YY Max	128. 205	423. 486	0.000 726					

ANEXO 10: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA PARA EL SISMO DE AREQUIPA 2001

SISMO AREQUIPA 2001									
DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE AREQUIPA 2001 - EW - XX									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorción	Norma	Verificación
		mm	mm	rad	mm	mm		E031	
Story4	AREQUIPA_2001_E W_XX Max	471.015	135.002	0.000443	4200	6.688	0.0016	0.005	OK
Story3	AREQUIPA_2001_E W_XX Max	464.327	134.321	0.000347	4200	7.323	0.0017	0.005	OK
Story2	AREQUIPA_2001_E W_XX Max	457.004	133.541	0.000267	4200	7.594	0.0018	0.005	OK
Story1	AREQUIPA_2001_E W_XX Max	449.41	133.024	0.00035	4200	6.828	0.0016	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	AREQUIPA_2001_E W_XX Max	442.582	131.994	0.000405					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE AREQUIPA 2001 - EW - YY									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorción	Norma	Verificación
		mm	mm	rad	mm	mm		E031	
Story4	AREQUIPA_2001_E W_YY Max	139.143	456.541	0.000924	4200	3.331	0.0008	0.005	OK
Story3	AREQUIPA_2001_E W_YY Max	137.619	453.21	0.000905	4200	3.733	0.0009	0.005	OK
Story2	AREQUIPA_2001_E W_YY Max	135.978	449.477	0.000884	4200	3.71	0.0009	0.005	OK
Story1	AREQUIPA_2001_E W_YY Max	134.272	445.767	0.000861	4200	4.465	0.0011	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	AREQUIPA_2001_E W_YY Max	132.817	441.302	0.000842					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE AREQUIPA 2001 - NS - XX

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorción	Norma	Verificación
		mm	mm	rad	mm	mm		E03 1	
Story4	AREQUIPA_2001_NS_XX Max	323.638	93.727	0.000519	4200	5.522	0.0013	0.005	OK
Story3	AREQUIPA_2001_NS_XX Max	318.116	92.686	0.000439	4200	6.069	0.0014	0.005	OK
Story2	AREQUIPA_2001_NS_XX Max	312.047	91.69	0.000387	4200	6.215	0.0015	0.005	OK
Story1	AREQUIPA_2001_NS_XX Max	305.832	91.048	0.000425	4200	5.317	0.0013	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	AREQUIPA_2001_NS_XX Max	300.515	89.676	0.00047					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE AREQUIPA 2001 - NS - YY

Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altura	Desplazamiento Relativo	Distorción	Norma	Verificación
		mm	mm	rad	mm	mm		E03 1	
Story4	AREQUIPA_2001_NS_YY Max	97.307	319.159	0.001383	4200	3.801	0.0009	0.005	OK
Story3	AREQUIPA_2001_NS_YY Max	95.975	315.358	0.001345	4200	3.812	0.0009	0.005	OK
Story2	AREQUIPA_2001_NS_YY Max	94.405	311.546	0.001307	4200	3.483	0.0008	0.005	OK
Story1	AREQUIPA_2001_NS_YY Max	92.688	308.063	0.00129	4200	4.926	0.0012	0.005	OK
Nivel de Aislamiento	AREQUIPA_2001_NS_YY Max	91.475	303.137	0.001288					

ANEXO 11: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA PARA EL SISMO DE ICA 2007.

SISMO ICA 2007									
DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE ICA 2007 - EW - XX									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplazam iento Relativo	Distors ión	Nor ma	Verifica ción
		mm	mm	Rad	mm	mm		E03 1	
Story4	ICA_2007_EW_XX Max	360.7 65	105.7 1	0.000 535	420 0	4.162	0.0010	0.00 5	OK
Story3	ICA_2007_EW_XX Max	356.6 03	104.1 27	0.000 391	420 0	4.671	0.0011	0.00 5	OK
Story2	ICA_2007_EW_XX Max	351.9 32	102.4 92	0.000 288	420 0	4.968	0.0012	0.00 5	OK
Story1	ICA_2007_EW_XX Max	346.9 64	101.1 91	0.000 376	420 0	4.587	0.0011	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	ICA_2007_EW_XX Max	342.3 77	99.68	0.000 435					

DESPLAZAMIENTOS PARA EL SISMO DE ICA 2007 - EW – YY									
Story	Load Case/Combo	UX	UY	RZ	Altu ra	Desplazam iento Relativo	Distors ión	Nor ma	Verifica ción
		mm	mm	Rad	mm	mm		E03 1	
Story4	ICA_2007_EW_YY Max	108.8 09	359.7 15	0.000 801	420 0	5.551	0.0013	0.00 5	OK
Story3	ICA_2007_EW_YY Max	107.0 29	354.1 64	0.000 772	420 0	5.847	0.0014	0.00 5	OK
Story2	ICA_2007_EW_YY Max	105.1 36	348.3 17	0.000 74	420 0	5.249	0.0012	0.00 5	OK
Story1	ICA_2007_EW_YY Max	103.3 34	343.0 68	0.000 709	420 0	5.553	0.0013	0.00 5	OK
Nivel de Aislamiento	ICA_2007_EW_YY Max	101.9 39	337.5 15	0.000 686					

ANEXO 12: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PARTIDA	DESCRIPCION	U	Nº	MEDIDAS				PRECIO UNITARIO	PARCIAL
			VECES	LAR/AR/VOL	ANCHO	ALTO			
01	IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE AISLAMIENTO								
01.01	LOSA MACIZA	m3	1	0.30	36.00	48.00	518.40	S/487.49	S/252,714.82
01.02	ACERO EN LOSA MACIZA	Kg	1				37324.80	S/4.74	S/176,919.55
01.03	DADOS CAPITELES	m3	63	1.20	1.20	0.90	81.65	S/487.49	S/39,802.58
01.04	ACERO EN DADOS CAPITELES	Kg	1				9797.76	S/4.74	S/46,441.38
01.05	DADOS PEDESTALES	m3	63	1.20	1.20	0.90	81.65	S/487.49	S/39,802.58
01.06	ACERO EN DADOS PEDESTALES	Kg	1				9797.76	S/4.74	S/46,441.38
01.07	DISPOSITIVOS (T/C 3.8) Incluido Ensayo	Unidad	63	-	-	-	63.00	S/30,400.00	S/1,915,200.00
									S/2,517,322.30

ANEXO 13: COSTOS POR DISPOSITIVO



7) COSTOS REFERENCIALES

➤ Costos directos de construcción de superestructura.

Inversión adicional para la implementación del Sistema de aislamiento:

PARTIDA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNID	P.UNITARIO	P.PARCIAL	C.TOTAL
	ADICIONALES EN EDIF. AISLADA					
1.00	SISTEMA AISLAMIENTO					
1.1	Aisladores sísmicos					
1.1.1	Tipo LRB-A	1	Und.	8,000.00		
1.2	Deslizadores sísmicos					
1.2.1	Tipo SL-01	1	Und.	7,500.00		