

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Evaluación del comportamiento sísmico del Hospital Hipólito Unanue usando estructura de base fija y aisladores LRB y TPF

Por:

Bach. Joel Antony Maquera Poma

Asesor:

Ing. Roberto Roland Yoctun Rios

Lima, diciembre del 2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

Ing. Roberto Roland Yoctun Rios, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL HOSPITAL HIPÓLITO UNANUE
USANDO ESTRUCTURA DE BASE FIJA Y AISLADORES LRB Y TPF"
constituye la memoria que presenta el Bachiller Joel Antony Maquera Poma para
aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la
Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del
autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, a los veintisiete días
del mes de diciembre del año dos mil diecinueve.


Ing. Roberto Roland Yoctun Rios

Evaluación del comportamiento sísmico del Hospital Hipólito Unanue
usando estructura de base fija y aisladores LRB y TPF

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

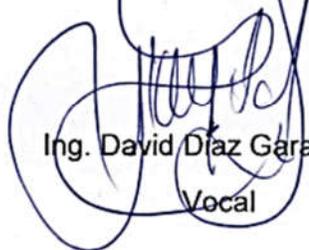
JURADO CALIFICADOR



Mg. Sergio Omar Valladares Castillo
Presidente



Mg. Leonel Chahuares Paucar
Secretario



Ing. David Díaz Garamendi
Vocal



Ing. Reymundo Jaulis Palomino
Vocal



Ing. Roberto Roland Yoctun Rios
Asesor

Lima, Ñaña, 27 de diciembre de 2019

Dedicatoria

A mis queridos padres Simona y Paulino, por el apoyo incondicional, agradecido a ellos por cumplir el sueño de Ingeniero Civil Unionista.

Agradecimiento

Mi agradecimiento a Dios, sustentador de mi vida que con paciencia y misericordia me conduce por la vida.

A la casa de estudios de la Universidad Peruana Unión por la formación y la educación aprendida en ella y también a los docentes por los conocimientos brindados.

A mi familia por apoyarme en todas las metas trazadas en mi vida estudiantil y en mi vida espiritual.

Al Ing. Roberto Roland Yoctun Rios, por su orientación, asesoramiento en las observaciones y recomendaciones realizadas en la ejecución de la tesis.

Al Dr. Genner Villarreal Castro, Dr. Roberto Aguiar Falconí y Dr. Michael Constantinou, por el aporte de sus investigaciones los cuales han sido fundamentales en la presente tesis.

A todas las personas que pusieron una gota de su tiempo y han permitido que pueda realizar la investigación.

Índice general

Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiv
Símbolos	xv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
Capítulo I	18
El problema	18
1.1 Situación Problemática	18
1.2 Planteamiento del problema	19
1.2.1 Problema General	19
1.2.2 Problemas Específicos	19
1.3 Justificación del problema	19
1.3.1 Social	20
1.3.2 Económico	20
1.3.3 Análisis técnico-económico	20
1.4 Objetivos	22
1.4.1 Objetivo General	22
1.4.2 Objetivos Específicos	22
Capítulo II	23
Marco Teórico	23
2.1 Antecedentes	23
2.1.1 Antecedentes Nacionales	23
2.1.2 Antecedentes Internacionales	25
2.2 Aislamiento sísmico	27
2.3 Tipos de Sistemas de Aislamiento Sísmico	28
2.3.1 Aisladores de goma (RB)	28
2.3.2 Aisladores de goma con núcleo de plomo (LRB)	28
2.3.3 Aisladores de fricción simple	32
2.3.4 Aisladores de triple péndulo de fricción (TPF)	33
2.3.4.1 Fases del aislador de triple péndulo de fricción	34
2.3.4.2 Coeficiente de fricción	36

2.3.5	Efecto del aislamiento sísmico.....	37
2.4	Respuesta sísmica de las estructuras	39
2.4.1	Cortante basal.....	39
2.4.2	Distorsión de entepiso	40
2.4.3	Desplazamientos laterales	42
2.4.4	Aceleraciones	43
2.5	Límites de la respuesta sísmica	43
2.6	Espectro de diseño según el proyecto de aislamiento sísmico en el Perú 44	
2.6.1	Consideraciones generales para diseño de aislamiento sísmico.....	45
2.6.1.1	Determinación de propiedades de sistema de aislador	45
2.6.2	Desplazamiento de Diseño	45
2.6.3	Rigidez, Periodo y Fuerza Cortante de Diseño	46
Capítulo III.....		47
Materiales y método		47
3.1	Diseño de la investigación	47
3.1.1	Tipo.....	48
3.1.2	Alcance	48
3.1.3	Metodología	49
3.2	Delimitación geográfica y temporal	50
3.3	Población y muestreo	50
3.4	Plan de recolección de datos	50
3.4.1	Procedimiento para el desarrollo de la investigación	50
3.4.2	Descripción de la estructura.....	51
3.4.3	Cargas en la estructura.....	53
3.4.3.1	Carga Muerta	53
3.4.3.2	Carga Viva	53
3.4.3.3	Carga de Sismo	53
3.4.4	Modelo matemático de la estructura del Hospital Hipólito Unanue	61
3.4.5	Parámetros de rigidez y amortiguamiento.....	64
3.4.5.1	Parámetros para el aislador LRB	64
3.4.5.2	Parámetros para el aislador TPF	66
3.4.6	Geometría de los aisladores sísmicos a diseñar.....	67
Capítulo IV.....		68
Resultado y discusión		68
4.1	Presentación de resultados.....	68

4.2	Estructura de base fija	68
4.2.1	Máximos desplazamientos.....	69
4.2.2	Máximas distorsiones entre piso.....	70
4.2.3	Máximas fuerzas cortantes	72
4.2.4	Máximas aceleraciones.....	73
4.3	Estructura de base con aislador.....	75
4.3.1	Estructura aislada con el aislador de goma con núcleo de plomo (LRB) 75	
4.3.1.1	Modos y periodos.....	75
4.3.1.2	Máximos desplazamientos.....	75
4.3.1.3	Máximas distorsiones	77
4.3.1.4	Máximas fuerzas cortantes en la base.....	79
4.3.1.5	Máximas aceleraciones en los diafragmas	80
4.3.2	Estructura aislada con el aislador de triple péndulo de fricción (TPF) ..	81
4.3.2.1	Modos y periodos.....	81
4.3.2.2	Máximos desplazamientos.....	82
4.3.2.3	Máximas distorsiones	83
4.3.2.4	Máximas fuerzas en la base	85
4.3.2.5	Máximas aceleraciones en los diafragmas	86
4.4	Comparación de la respuesta sísmica	87
4.4.1	Máximos desplazamientos.....	88
4.4.2	Máximas distorsiones	88
4.4.3	Máximas fuerzas cortantes en la base.....	90
4.4.4	Máximas aceleraciones.....	92
	Capítulo V.....	94
	Conclusiones y recomendaciones.....	94
5.1	Conclusiones	94
5.2	Recomendaciones	95
	Bibliografía	96
	Anexos	99

Índice de tablas

Tabla 1.1 Análisis comparativo de aisladores	22
Tabla 2.1 Límites de distorsiones	41
Tabla 2.2 Tabla de distorsiones de entrepiso (HAZUS 2015).....	42
Tabla 2.3 Parámetros de la aceleración (Hanus - MH 2.1)	43
Tabla 3.1 Elementos de la estructura para ser modelado.....	52
Tabla 3.2 Factores de zona	53
Tabla 3.3 Categoría de las edificaciones.	54
Tabla 3.4 Factor de suelo S	54
Tabla 3.5 Periodos T_p y T_I	54
Tabla 3.6 Límites de para la distorsión de entre piso.....	55
Tabla 3.7 Registro de aceleraciones sísmicas.....	59
Tabla 3.8 Cuadro de propiedades a utilizar en el modelo	61
Tabla 4.1 Formas de modo, periodo y razones de participación en cada modo ...	69
Tabla 4.2 Máximos Desplazamientos	69
Tabla 4.3 Máximas distorsiones laterales	71
Tabla 4.4 Fuerza Cortante "X"	72
Tabla 4.5 Fuerza Cortante "Y"	72
Tabla 4.6 Máximas aceleraciones en el diafragma en X.....	73
Tabla 4.7 Máximas aceleraciones en el diafragma en Y.....	74
Tabla 4.8 Modos, formas y periodos del aislador LRB.....	75
Tabla 4.9 Máximos desplazamientos en X (cm)	76
Tabla 4.10 Máximos desplazamientos en Y (cm)	77
Tabla 4.11 Máximas distorsiones X	78
Tabla 4.12 Máximas distorsiones Y	78
Tabla 4.13 Fuerzas Cortante con aislador LRB	79
Tabla 4.14 Fuerzas Cortante con aislador LRB	79
Tabla 4.15 Máximas aceleraciones en X	80
Tabla 4.16 Máximas aceleraciones en Y	80
Tabla 4.17 Modos, formas y periodos del aislador TPF	82
Tabla 4.18 Máximos desplazamientos en Y (cm)	82
Tabla 4.19 Máximos desplazamientos en Y (cm)	82
Tabla 4.20 Máximas distorsiones laterales X.....	84
Tabla 4.21 Máximas distorsiones laterales Y.....	84
Tabla 4.22 Fuerzas Cortante con aislador TPF en X.....	85

Tabla 4.23 Fuerzas Cortante con aislador TPF en Y	85
Tabla 4.24 Máximas aceleraciones en X	86
Tabla 4.25 Máximas aceleraciones en Y	86
Tabla 4.26 Máximos desplazamientos para los tres casos de investigación	88
Tabla 4.27 Máximas distorsiones para los tres casos de investigación	89
Tabla 4.28 Máximas fuerzas cortantes en la base para los tres casos de investigación.....	90
Tabla 4.29 Máximas aceleraciones para los tres casos de investigación	93

Índice de figuras

Figura 1.1	Características típicas del aislador de núcleo de plomo.....	21
Figura 2.1	Diferencia entre estructuras con aislamiento sísmico y base fija.	27
Figura 2.2	Comportamiento sísmico de una estructura aislada.....	27
Figura 2.3	Corte seccional de un aislador de goma (Rubber Bearing).	28
Figura 2.4	Corte seccional de un aislador de goma con núcleo de plomo.	29
Figura 2.5	Curva de comportamiento de una barra de plomo.	29
Figura 2.6	Aislador de goma sometido a un conjunto de fuerzas externas típicas.	30
Figura 2.7	Comportamiento cíclico de los aisladores de goma con núcleo de plomo.	31
Figura 2.8	Modelamiento del comportamiento cíclico de goma y sus características.	31
Figura 2.9	Aisladores típicos de fricción simple.....	32
Figura 2.10	Corte seccional de un aislador típico de fricción simple.	32
Figura 2.11	Aislador de triple péndulo friccional.	33
Figura 2.12	Características típicas del aislador de triple péndulo de fricción.	33
Figura 2.13	Curva histerética del aislador triple péndulo de fricción.....	34
Figura 2.14	Regímenes del comportamiento cíclico de un aislador TPF.....	36
Figura 2.15	Real relación de \dot{u} (velocidad de desplazamiento) vs μ (coeficiente de fricción).....	37
Figura 2.16	Efecto del aislamiento sísmico en el desplazamiento espectral.	38
Figura 2.17	Efecto del aislamiento sísmico en la aceleración espectral.	38
Figura 2.18	Efecto del aislamiento sísmico en estructuras visto en un espacio ADRS.	39
Figura 2.19	Distorsión de entrepiso.....	41
Figura 2.20	Desplazamiento total máximo	42
Figura 2.21	Espectro de diseño.....	44
Figura 2.22	Periodo y Amortiguamiento de diseño.....	46
Figura 3.1	Vista en planta de los sectores del hospital.....	51
Figura 3.2	Vista planta del hospital con los sectores de la investigación.	52
Figura 3.3	Espectro para estructura de base fija.....	56
Figura 3.4	Espectro para estructura aislada.....	57
Figura 3.5	Aceleraciones de Arequipa 2001 E-W y N-S.....	58
Figura 3.6	Aceleraciones de Tacna 2010 E-W y N-S.	58
Figura 3.7	Aceleraciones de Ica 2007 E-W y N-S	58

Figura 3.8	Registros de aceleración	60
Figura 3.9	Definición de materiales	61
Figura 3.10	Modelo matemático de una estructura base fija	62
Figura 3.11	Modelo matemático para análisis con aisladores	62
Figura 3.12	Distribución de los aisladores.....	63
Figura 3.13	Rigidez vertical U1 (Z) y Amortiguamiento efectivo	64
Figura 3.14	Rigidez y amortiguamiento para direcciones U2 (X) y U3 (Y)	65
Figura 3.15	Curva histerética del aislador LRB	65
Figura 3.16	Rigidez vertical U1 (Z) y Amortiguamiento efectivo - TPF	66
Figura 3.17	Rigidez y amortiguamiento para direcciones U2 (X) y U3 (Y) – TPF	66
Figura 3.18	Curva histerética del aislador TPF.....	67
Figura 3.19	Dibujo de los aisladores de LRB y TPF	67
Figura 4.1.	Modelo tridimensional de la estructura.....	68
Figura 4.2	Máximos desplazamientos debido al sismo X	70
Figura 4.3	Máximos desplazamientos debido al sismo Y	70
Figura 4.4	Máximas distorsiones en X.....	71
Figura 4.5	Máximas distorsiones en Y.....	71
Figura 4.6	Fuerza Cortante X en la Base Fija.....	73
Figura 4.7	Fuerza Cortante Y en la Base Fija.....	73
Figura 4.8	Gráfico de aceleraciones en diafragma X.....	74
Figura 4.9	Gráfico de aceleraciones en diafragma Y.....	75
Figura 4.10	Gráficos de desplazamientos en X.....	76
Figura 4.11	Gráficos de desplazamientos en Y	77
Figura 4.12	Gráficos de distorsiones de entrepiso	78
Figura 4.13	Gráficos de distorsiones de entrepiso	79
Figura 4.14	Gráfico de Máximas aceleraciones en X	81
Figura 4.15	Gráfico de Máximas aceleraciones en Y	81
Figura 4.16	Gráficos de desplazamientos en X.....	83
Figura 4.17	Gráficos de desplazamientos en Y	83
Figura 4.18	Gráfico de distorsiones en X	84
Figura 4.19	Gráfico de distorsiones en Y	85
Figura 4.20	Gráfico de máximas aceleraciones en X	87
Figura 4.21	Gráfico de máximas aceleraciones en Y	87
Figura 4.22	Distorsión en X de los tres casos de la investigación	90
Figura 4.23	Distorsión en Y de los tres casos de la investigación	90

Figura 4.24 Incremento de fuerza cortante en X	91
Figura 4.25 Incremento de fuerza cortante en Y	92

Índice de anexos

Anexo A Propiedades geométricas y mecánicas de los aisladores elastoméricos Brigstone	99
Anexo B Propiedades mecánicas del aislador de triple péndulo de fricción.....	111
Anexo C Estudios de zonificación	125

Símbolos

LRB	:	Goma con núcleo de plomo
TFP	:	Triple péndulo de fricción
SENCICO	:	Servicio Nacional para la Construcción
ASCE	:	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles
NTP	:	Norma Técnica Peruana
NCH	:	Norma Chilena
RNE	:	Reglamento Nacional de Edificaciones

Resumen

En la presente tesis, se realizó el comportamiento sísmico de la estructura del Hospital Hipólito Unanue de Tacna, en donde se consideraron tres casos específicos como análisis, siendo el primero con estructura de base fija, el segundo con el aislador de goma con núcleo de plomo (LRB) y el tercero con el aislador de triple péndulo de fricción (TPF). Los análisis realizados se modelaron en el software ETABS por un análisis tiempo historia no lineal en los casos de análisis con aisladores y en el caso de base fija por un análisis dinámico espectral. En los cuales se buscaron resultados de máximas fuerzas en la base, desplazamientos y distorsiones entre piso. Para estos análisis se usaron registros sísmicos de Ica 2007, Arequipa 2011 y Tacna 2010.

Los resultados obtenidos nos muestran una mejor respuesta con el aislador triple péndulo de fricción (TPF) en los cuales se tuvieron valores inferiores a 0.0015 en las distorsiones. En el caso del dispositivo de goma con núcleo de plomo (LRB) sus distorsiones fueron inferiores a 0.0035. Con estos valores obtenidos estamos cumpliendo lo que indica la norma E031 "Proyecto de aislamiento sísmico" que dice que para el caso de aislamiento sísmico la distorsión máxima es de 0.0035. Estos resultados se pueden notar que se tiene una mejor respuesta sísmica con el aislador TPF ya que cuando la estructura es de base fija sus resultados no cumplen con la norma E030 "Diseño Sismorresistente". Siendo el aislador Triple péndulo de fricción (TPF) quien tendrá un mejor comportamiento sísmico.

Palabras claves: aislador TPF, aislador LRB, comportamiento sísmico, distorsiones.

Abstract

In this thesis, the seismic behavior of the structure of the Hospital Hipólito Unanue de Tacna was performed, where three specific cases were considered as analysis, the first being with a fixed base structure, the second with the rubber insulator with lead core (LRB) and the third with the triple friction pendulum insulator (TPF). The analyzes performed were modeled in the Etabs software by a nonlinear history time analysis in the cases of analysis with insulators and in the case of fixed base by a dynamic spectral analysis. In which results of maximum forces at the base, displacements and distortions between floors were sought. For these analyzes, seismic records of Ica 2007, Arequipa 2011 and Tacna 2010 were used.

The results obtained show us a better response with the triple friction pendulum insulator (TPF) in which values were lower than 0.0015 in the drifts. In the case of the rubber device with lead core (LRB) its drifts were less than 0.0035. With these obtained values, we are complying with what E031 "Seismic isolation project" indicates that in the case of seismic isolation, the maximum drift is 0.0035. These results can be noted that there is a better seismic response with the TPF insulator since when the structure is fixed base its results do not comply with the E030 "Seismic Resistant Design" standard. Being the triple friction pendulum (TPF) insulator who will have a better seismic behavior.

Keywords: TPF isolator, LRB isolator, seismic behavior, drifts.

Capítulo I

El problema

1.1 Situación Problemática

En los últimos años y de acuerdo a numerosas experiencias internacionales, como los sismos ocurridos en Chile en el 2010 y Ecuador en el 2016, se ha podido observar que los sismos tienen un efecto devastador en la economía de los países afectados, no sólo en los instantes en los que actúa el fenómeno, sino también en las consecuencias de este. Como el paro de la producción, viviendas inhabitables, la gran cantidad de heridos, víctimas mortales y en numerosas ocasiones la continuidad de servicios vitales, como el servicio médico, se ven interrumpidos. Como es evidente, esto representa un problema social importante.

La interrupción de los servicios médicos resulta un problema alarmante, ya que, de acuerdo a las experiencias internacionales, mencionadas líneas arriba, la cantidad de personas que requieren de estos servicios post evento sísmico es en general muy elevada. Tal es el caso del sismo de Armenia, ocurrido el 7 de diciembre de 1988, muy cerca de la ciudad de Spitak, en el que oficialmente perdieron la vida 28 000 personas, mientras que el total de heridos y personas que perdieron su hogar bordean las cifras de 130 000 y 500 000 personas, y en general es posible observar cifras tan alarmantes por todo el mundo (V. Vertero 1998).

Como se puede ver de las cifras mencionadas, en todos los casos resulta inaceptable la interrupción de los servicios médicos después de la ocurrencia de un sismo; por tanto, resulta una necesidad imperativa que los diseños de estas edificaciones tengan un desempeño sísmico adecuado. De acuerdo con el Dr. Victor Zayas, inventor del péndulo de triple fricción, las edificaciones hospitalarias deben tener funcionalidad continua, luego de ser sometida a la acción del máximo sismo considerado, es decir, estas deben ser capaces de mantenerse brindando la totalidad de sus funciones, no sólo frente a los sismos de diseño dados por la norma vigente, con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años (475 años de periodo de retorno), sino que estos deben permanecer operativos frente a eventos muy raros, específicamente eventos con 2% de probabilidad de excedencia en 50 años (2000

años de periodo de retorno), de manera tal que se pueda garantizar la continuidad de los servicios médicos aun en el caso de eventos extremos.

En el Perú se ve la obligación de usar estos dispositivos en zonas muy sísmicas. El hospital Hipólito Unanue está ubicado en un departamento sísmico como es el departamento de Tacna este pertenece a una zona 4. Este hospital tiene que seguir su funcionamiento luego que ocurra un sismo, al ser un factor de uso importante A1 según lo indica el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones).

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el comportamiento sísmico del hospital Hipólito Unanue con base fija y con sistemas de aislación LRB y TPF?

1.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Qué características exhibe el comportamiento estructural del hospital Hipólito Unanue, con un sistema estructural de base fija?
2. ¿Cuál es la respuesta sísmica del Hospital Hipólito Unanue diseñada usando sistemas de aislamiento de base aislada tipo LRB?
3. ¿Cuál es la respuesta sísmica del Hospital Hipólito Unanue diseñada usando sistemas de aislamiento de base aislada tipo TPF?

1.3 Justificación del problema

De acuerdo con Hernández Sampieri (2014), son las razones y motivaciones que mueven al investigador con la finalidad de resolver algún problema en el campo en el que se investiga. Estas razones pueden caer dentro de algunas de los siguientes tipos:

1.3.1 Social

La presente investigación tiene como finalidad asegurar la funcionalidad continua de los hospitales construidos dentro del territorio nacional, es decir, busca lograr diseño que garantice que un hospital no verá afectada la pérdida del servicio esencial en caso se presente un sismo consecuente con el establecido en la norma E030.

1.3.2 Económico

Al asegurar un mejor comportamiento estructural frente a la acción de un sismo de gran magnitud (sismos con un periodo de retorno de 475 años), se disminuyen notablemente los posibles daños estructurales, además, debido a que la técnica del aislamiento sísmico puede disminuir las aceleraciones de entrepiso, es posible disminuir notablemente los posibles daños en el contenido, y esto, al ser aplicados a estructuras hospitalarias, en el que es posible encontrar equipos médicos de gran valor, resulta en una disminución importante de los costos de reposición post-sismo.

1.3.3 Análisis técnico-económico

Existe una gran variedad de sistemas de aislamiento sísmico disponibles en el mercado peruano, entre las más importantes se tienen a los aisladores de goma con núcleo de plomo, y los de fricción, dentro de los que destacan, los aisladores de triple péndulo de fricción. En este punto resulta de gran importancia aclarar que las especificaciones técnicas de un aislador específico, dependen del tipo de edificación y el suelo, entre otras variables importantes, por lo que no se pueden hablar de generalizaciones. Sin embargo, con la finalidad de tener una idea de las características más comunes de este tipo de dispositivos. En la siguiente figura 1.1 se ve las características de los aisladores de núcleo de plomo.

Diámetro Aislador, D _i (in)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D _{max} (in)	Capacidad Carga Axial, P _{max} (kips)
	Rigidez Producida, K _d (k/in)	Resistencia Característica, Q _d (kips)	Rigidez a la Compresión, K _v (k/in)		
12.0	1-5	0-15	>250	6	100
14.0	1-7	0-15	>500	6	150
16.0	2-9	0-25	>500	8	200
18.0	2-11	0-25	>500	10	250
20.5	2-13	0-40	>1,000	12	300
22.5	3-16	0-40	>3,000	14	400
25.5	3-20	0-50	>4,000	16	600
27.5	3-24	0-50	>4,500	18	700
29.5	3-27	0-60	>5,000	18	800
31.5	4-30	0-60	>6,000	20	900
33.5	4-35	0-80	>7,000	22	1,100
35.5	4-35	0-80	>8,000	22	1,300
37.5	4-35	0-110	>10,000	24	1,500
39.5	5-36	0-110	>11,000	26	1,700
41.5	5-36	0-130	>12,000	28	1,900
45.5	6-37	0-150	>16,000	30	3,100
49.5	7-38	0-170	>21,000	32	4,600
53.5	8-40	0-200	>29,000	34	6,200
57.1	9-41	0-230	>30,000	36	7,500
61.0	10-42	0-230	>37,000	36	9,000

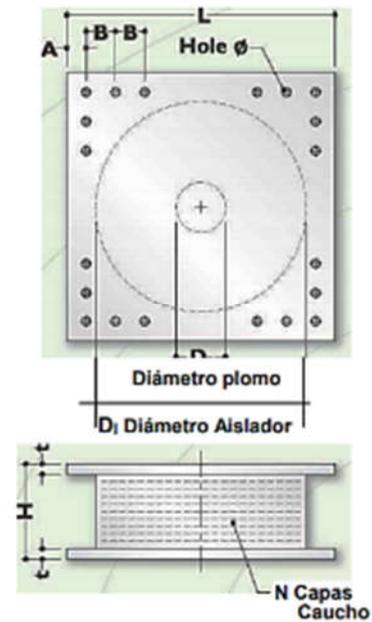


Figura 1.1 Características típicas del aislador de núcleo de plomo
Fuente: Dynamic Engineering System (DYS)

Como se mencionó antes, las características de un aislador sísmico dependerán del diseño obtenido por el ingeniero especialista, es decir, el fabricante se limitará a cumplir con la fabricación de dispositivos de aislación que cumplan las exigencias requeridas, por tanto, los costos de fabricación también se verán influenciadas por estas variables, por lo que no se puede hablar de costos. Sin embargo, es posible hablar de costos típicos, con fines de poder dar al lector un costo aproximado del uso de los sistemas de aislamiento sísmico.

El costo de un aislador de goma con núcleo de plomo esta alrededor 30 a 50 dólares por m² (Dynamic Isolation System), mientras que un aislador de triple péndulo de fricción tiene un costo aproximado de 80 dólares el m². De acuerdo a estas cifras, es posible obtener estructuras aisladas con menores costos, además de menores dimensiones, si se usan los aisladores sísmicos de triple ficción. Sin embargo, se recuerda que los números mostrados en esta sección son promedios.

Tabla 1.1 Análisis comparativo de aisladores

Aislador de goma con núcleo de plomo (LRB)	Aislador de triple péndulo de fricción (TPF)
Este dispositivo usa caucho natural para la fabricación de la goma del aislador.	Es dispositivo usa superficies metálicas, para la fabricación del aislador
Usa un núcleo de plomo para incrementar la capacidad de disipación de energía.	Usa tres péndulos de fricción para incrementar la capacidad de desplazamiento y disipación de energía.
Su comportamiento es esencialmente bilineal.	Su comportamiento depende del nivel de desplazamientos, de acuerdo con Constantinou y Fenz, tienen cinco regímenes de trabajo.
Su comportamiento está basado en la flexibilidad de la goma y la capacidad de disipación del núcleo de plomo.	Su comportamiento está basado en la fricción de las superficies metálicas.

Fuente: Elaboración propia

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Comparar las respuestas sísmicas del hospital Hipólito Unanue, obtenidas al usar sistemas de base fija, aisladores de goma con núcleo de plomo (LRB) y aisladores de triple péndulo de fricción (TPF).

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el comportamiento sísmico del Hospital Hipólito Unanue, al usar un sistema estructural de base fija. (Sin aislación).
2. Establecer la respuesta sísmica del Hospital Hipólito Unanue, con un sistema de aislamiento de base tipo LRB.
3. Establecer la respuesta sísmica del Hospital Hipólito Unanue, con un sistema de aislamiento de base tipo TPF.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Castro (2017) en su tesis titulada “Análisis y diseño de edificios con aisladores sísmicos de péndulo friccional doble y triple” realizó un trabajo de recolección y sistematización de información relativa a las características y al comportamiento sísmico de los dispositivos de aislación conocidos como péndulos de fricción doble y triple, y sus aplicaciones al diseño de estructuras con aislamiento en la base. Para esto se realizaron una serie de estudio del comportamiento de mecánico de tales aisladores, mediante modelos físicos e históricos. Además, se realizó el diseño de una estructura de concreto armado usando aisladores de péndulo de fricción doble y triple, posteriormente se compararon. Los resultados muestran que el péndulo de triple fricción resultó ser mucho más efectivo que el péndulo doble, ya que es posible alcanzar los mismos niveles de desempeño sísmico usando aisladores de triple péndulo de fricción que son la mitad del tamaño de los aisladores de doble péndulo de fricción.

Hernández & Scaletti (2016) en su tesis titulada “Comportamiento sísmico de edificios aislados en la base en distintas etapas del proceso constructivo” realizaron un estudio sobre el comportamiento sísmico de estructuras aisladas. El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta sísmica de estructuras con aislamiento sísmico a medida que se va construyendo, ya que, como es sabido, la práctica actual del diseño sísmico implica el diseño de la estructura ya finalizada. Sin embargo, la construcción es un proceso gradual que, en algunos casos, puede tomar varios años, en los que la estructura puede verse sujeta a la acción de un sismo. Surge entonces la duda de si un sistema de aislamiento, diseñada para unas cargas que consideran la estructura completa, se comportará adecuadamente al estar incompleta, ya que las masas que se encuentran presentes en el momento del sismo son de muchos ordenes menores a los proyectados, lo que provoca, adicionalmente, menores razones de aislación. El estudio encontró que, efectivamente, el sistema de

aislamiento sísmico no funcionaría adecuadamente frente a la acción de un sismo, si este no se encuentra terminado, por lo que se recomienda tener en cuenta esa eventualidad en el diseño, en especial en estructuras emplazadas cerca a algún tipo de falla.

Mamani (2016) en su tesis titulada “Respuesta sísmica de tanques de almacenamiento de agua con sistema de aislamiento en la base” propone el uso de aisladores de goma con núcleo de plomo como una técnica que permite la reducción de las fuerzas de corte en estructuras de almacenamiento de agua. Para esto, el autor asumió que el comportamiento sísmico de la superestructura fue lineal, y que el comportamiento del sistema de aislamiento fue bilineal. Los resultados encontrados muestran que es posible usar aisladores de goma con núcleo de plomo como una alternativa eficiente en la reducción de la demanda sísmica sobre estructuras de almacenamiento de agua, y que se observaron reducciones del cortante basal inducido de hasta el 70%.

Hernández, Fernández & Dávila (2015) en su tesis titulada “Análisis estructural de un edificio aislado sísmicamente y de su sistema de aislamiento” presentaron un trabajo de investigación en el que se hace una revisión de los métodos de diseño vigentes para el caso de aisladores sísmicos de goma con núcleo de plomo (LRB). Para esto se estudiaron una serie de métodos de diseño propuestos en los reglamentos de construcción más conocidos, tales como el ASCE 7-10 y la norma chilena de diseño de aislamiento (NCH 257). Los resultados se presentaron y aplicaron al diseño de una estructura de concreto armado de cuatro niveles y su sistema de aislación. Encontrándose además que ante la acción de sismos con un nivel de peligro de 5% de excedencia en un periodo de 50 años, tanto los niveles de distorsión lateral como los de aceleración de entrepiso, disminuyeron sus valores al ser comparados con las correspondientes estructuras de base fija.

Korswagen & Arias & Huaranga (2012) en su tesis titulada “Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú”: realizaron un estudio sobre el uso del aislamiento sísmico en el Perú, como una técnica que permite la mejora del comportamiento sísmico de estructuras de concreto armado. Para esto realizaron una búsqueda bibliográfica tomando como principal fuente diferentes normativas, en

especial, la normativa americana el ASCE 7-10. Además, con la información recopilada se planteó la implementación de estas en el análisis y diseño de una estructura de concreto armado de base fija. Los resultados mostraron que en general las estructuras de base fija tienen un comportamiento sísmico superior frente a estructuras de base fija. Se encontraron también una disminución notable de las distorsiones y aceleraciones de entrepiso.

Leyton (2017) en su tesis titulada “Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas en el Perú”: realizó un estudio descriptivo de los sistemas de aislamiento más comunes en la actualidad, prestando especial énfasis en el uso de aisladores sísmico de goma con núcleo de plomo (LRB). El estudio tuvo como objetivo poner al alcance de la comunidad de ingenieros del Perú las técnicas de análisis y diseño desarrolladas en los estados unidos y presentados en normativas internacionales como el ASCE 7-10. Finalmente, se aplicaron estos criterios en el análisis y diseño de una estructura de concreto armado de cuatro niveles. Se diseñaron, tanto la superestructura como el sistema de aislamiento. Los resultados del análisis tiempo historia no lineal muestran que la estructura de base aislada es capaz de desarrollar menores niveles de distorsiones de entrepiso, así como de menores valores de aceleración de entrepiso.

2.1.2 Antecedentes Internacionales

En la actualidad la investigación sobre los sistemas de aislamiento sísmico está bastante avanzada, en especial en países como los Estados Unidos de Norteamérica, Japón, Nueva Zelanda, Chile, entre otros. Sin embargo, garantizar la funcionalidad continua de estructuras, por su importancia, es concepto relativamente reciente, en especial en el aislamiento sísmico, a continuación, se exponen algunas de las investigaciones más recientes en este campo.

Tsiavos, Schkatter & Markic (2017) en su investigación titulada “Experimental and analytical investigation of the inelastic behavior of structures isolated using friction pendulum bearings”, llevaron a cabo un estudio analítico y experimental sobre el comportamiento no lineal de estructuras con aislamiento sísmico. Este estudio, incorporaba la posibilidad de incursiones no lineales de la super-estructura, un

aspecto poco estudiado debido a la suposición preestablecida de que la superestructura de este tipo de estructuras permanece siempre lineal. El objetivo de este estudio fue determinar si existían demandas de ductilidad en la superestructura, si estas estaban aisladas sísmicamente. Hecho que iría contra la funcionalidad continua de manera flagrante. El estudio encontró que las estructuras diseñadas con los actuales reglamentos, los dedicados al aislamiento sísmico, tales como ASCE 07, EUROCODIGO y NCH 275, producen superestructuras que pueden incursionar en el rango no lineal, ante la acción de sismos muy raros, periodos de retorno de 2750 años; yendo todo esto contra los preceptos de garantizar la continuidad de servicios y evitar las pérdidas de contenido, los que justificarían un incremento notable de los costos, de hasta el 10% en la construcción de estructuras.

Tsiavos, Mackie & Vassiliou (2016) en su investigación titulada “Dynamics of inelastic base-isolated structures subjected to recorded ground motions”: estudiaron las incursiones en el rango no lineal de estructuras, específicamente el comportamiento no lineal de la superestructura sísmicamente aislada. Para esto realizaron un estudio analítico basado en la solución de las ecuaciones del movimiento. El comportamiento no lineal de los aisladores sísmicos fue representado mediante el modelo de Bouc-Wen, mientras que el comportamiento de la superestructura se consideró bilineal. El estudio encontró que ante sismos de gran magnitud es posible que las estructuras aisladas, específicamente la superestructura basada en pórticos de concreto armado, incursionen en el rango no lineal, lo que provocaría grandes incrementos de distorsión de entrepiso, lo que iría en contra de la funcionalidad continua.

Tena (2015) en su investigación titulada “Factores de amplificación de los desplazamientos de sistemas de aislamiento sísmico por efectos bidireccionales”: presentó un estudio que tenía como objetivo principal el estudio del estado del arte de los sistemas con aislamiento sísmico y los sistemas de disipación de energía. En este trabajo se exponen las ventajas del uso de los sistemas de aislamiento sísmico, y los tipos existentes, tales como aisladores de goma (Rubber Bearing), aisladores de goma con alto amortiguamiento (High Rubber Bearing), aisladores de goma con núcleo de plomo (High Rubber Bearing), aisladores de fricción simple, doble y triple.

2.2 Aislamiento sísmico

El aislamiento sísmico es un proceso mediante el cual es posible disminuir notablemente la interacción horizontal de la estructura con el suelo, esto se logra usualmente colocando una interfaz entre la superestructura y la cimentación. Tal interfaz, es llamada a menudo sistema de aislamiento sísmico y en la actualidad existe una gran variedad de dispositivos diseñados con este fin (Skinner 1998 y Kelly, 2002).

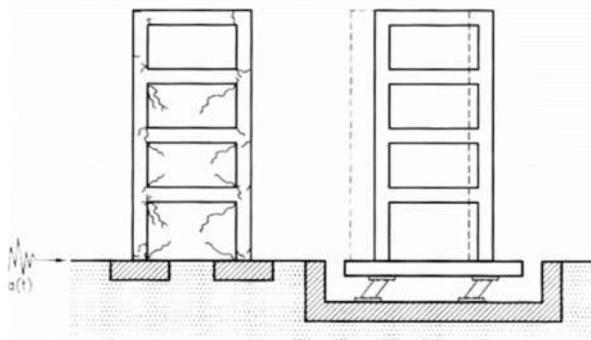


Figura 2.1 Diferencia entre estructuras con aislamiento sísmico y base fija.

En la se figura 2.1 muestra, de manera gráfica, las diferencias en las respuestas sísmicas de dos edificaciones, la primera de base fija (convencional) y la segunda con base aislada. Como puede verse, cuando el efecto del sismo, traducido como aceleración horizontal del terreno, llega a una estructura, la energía ingresada por el sismo a la estructura es absorbida de manera directa por el sistema resistente, es decir, columnas, placas y vigas; mientras que, en el caso de una estructura aislada en la base, el efecto del sismo se concentra únicamente en el sistema de aislamiento sísmico, esto es claro, debido a la gran flexibilidad exhibida por este sistema.

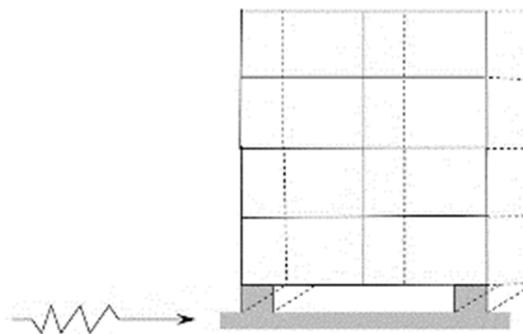


Figura 2.2 Comportamiento sísmico de una estructura aislada

Es importante notar que, si el objetivo del aislamiento es proteger a la estructura, la mayor parte de la energía debe ser absorbida por el sistema de aislamiento, es decir la relación de rigidez debe ser tal que la rigidez de la porción superior al sistema de aislamiento, al que de ahora en adelante le llamaremos superestructura, debe ser mucho mayor a la rigidez del sistema de aislamiento. Este hecho provocará que el movimiento de la estructura se dé como el de un cuerpo rígido moviéndose sobre una base muy flexible como se muestra en la figura 2.2.

2.3 Tipos de Sistemas de Aislamiento Sísmico

2.3.1 Aisladores de goma (RB)

Son un tipo de aisladores hechos con base en caucho, que se muestra en la figura 2.3 un corte seccional de un aislador de goma típico, en el que podemos observar sus componentes más frecuentes, tales como, las placas de acero y cubierta de neopreno.

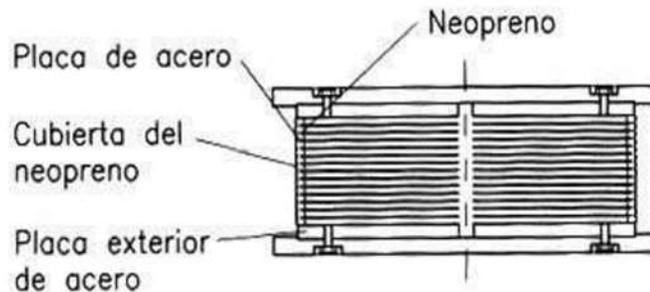


Figura 2.3 Corte seccional de un aislador de goma (Rubber Bearing).

2.3.2 Aisladores de goma con núcleo de plomo (LRB)

Los aisladores de goma con núcleo de plomo, son esencialmente aisladores de goma a los que se les agrega un núcleo de plomo, tal como se muestra en la figura 2.4. Es importante entender que el caucho es un material elástico, es decir, que es un material capaz de recuperar todas las deformaciones impuestas por una carga externa.

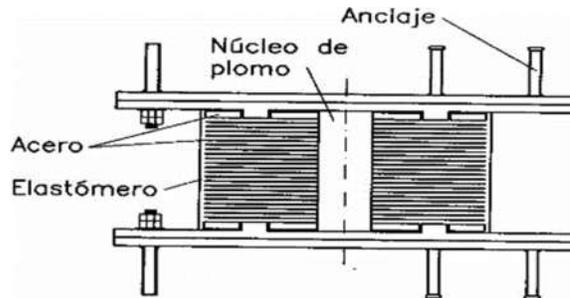


Figura 2.4 Corte seccional de un aislador de goma con núcleo de plomo.

Este hecho no implica que existe linealidad en el comportamiento mecánico del caucho, de hecho, se sabe que el caucho es un material con un comportamiento altamente no lineal, es decir, que la relación entre las fuerzas aplicadas y los desplazamientos obtenidos no son magnitudes proporcionales.

En cuanto al plomo, se puede decir que este material metálico es bastante dúctil, entendiéndose este como la capacidad de algunos materiales para deformarse más allá del límite de fluencia, sin pérdida notable de resistencia. En la figura 2.5 se muestra una curva de histéresis característica de una barra de plomo. En este punto resulta importante aclarar que el gráfico mostrado hace referencia a una muestra específica, sin embargo, es útil para ilustrar que el plomo es un material que forma grandes lazos de histéresis y que por tanto permite la disipación de gran cantidad de energía.

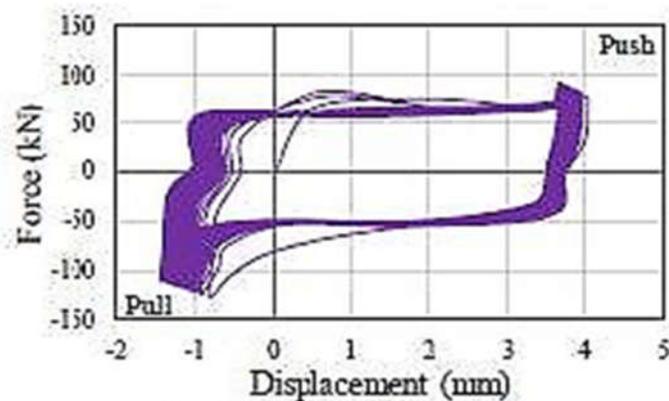


Figura 2.5 Curva de comportamiento de una barra de plomo.
Fuente: Tena (2015)

La ventaja de combinar estos dos materiales, es que permite incrementar notablemente el esfuerzo de fluencia del dispositivo, al ser comparados con aisladores de goma convencionales, por lo que en la práctica permiten disipar mayor cantidad de energía.

Con la finalidad de entender el comportamiento cíclico de estos dispositivos, las diferentes normativas, como la del ASCE 7-10, señalan que los dispositivos deben ser sometidos a determinados niveles de carga axial, como se muestra en la figura 2.6, posteriormente este debe ser sometido a una fuerza lateral creciente en una dirección, hasta alcanzar algún nivel de desplazamiento objetivo, y posteriormente, el nivel de carga debe disminuirse gradualmente hasta alcanzar el mismo nivel de desplazamiento en dirección contraria. Finalmente, se grafica los resultados de las fuerzas laterales y los desplazamientos, dando origen a un gráfico denominado ciclos de histéresis.

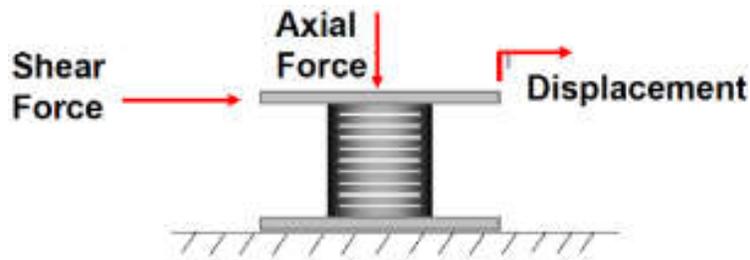


Figura 2.6 Aislador de goma sometido a un conjunto de fuerzas externas típicas.

Fuente: Symans (2015)

En la figura 2.7 se muestra el comportamiento fuerzas contra desplazamiento de aislador típico de goma, considerando dos variedades de este, la goma con bajo amortiguamiento, alto amortiguamiento y goma con núcleo de plomo. Los resultados son evidentes, pues se nota con toda claridad que el comportamiento cíclico del aislador de goma con núcleo de plomo es muy superior a los aisladores de goma, ya sean estas gomas de alto o bajo amortiguamiento (Symans, 2015).

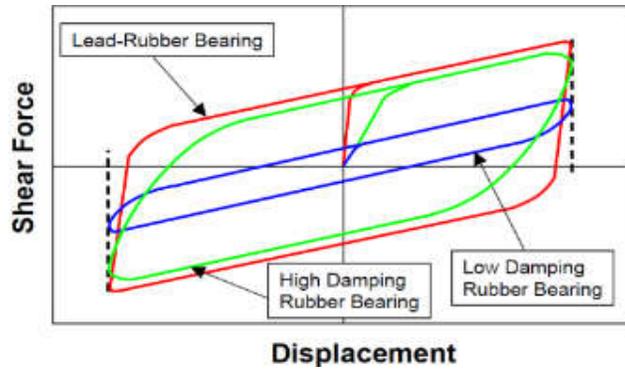


Figura 2.7 Comportamiento cíclico de los aisladores de goma con núcleo de plomo.

Fuente: Symans (2015)

El hecho de que un dispositivo de aislamiento disipe mayor energía siempre resulta benéfico para la estructura, ya que esto permitirá reducir la respuesta sísmica en aceleración con mayor efectividad, además de lograr menores demandas de desplazamiento en la base de la estructura.

Finalmente, se debe decir que, aunque el comportamiento cíclico de un aislador de goma con núcleo de plomo no sigue estrictamente una forma bilineal, a menudo resulta útil y práctico su modelamiento mediante un modelo bilineal (Symans, 2015), tal como se muestra en la figura 2.8.

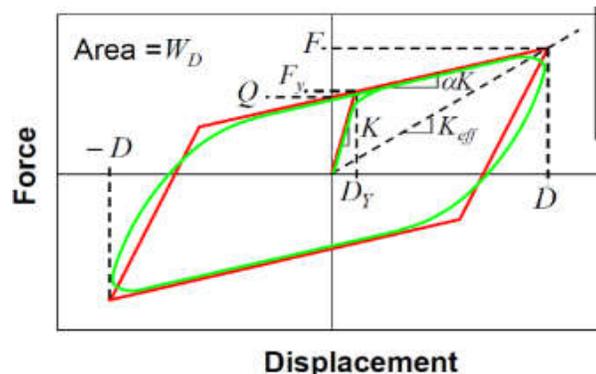


Figura 2.8 Modelamiento del comportamiento cíclico de goma y sus características.

Fuente: Symans (2015)

En este sentido conviene tener en cuenta que un modelo bilineal del aislador de goma con núcleo de plomo requiere de la definición de dos pendientes, denominadas como rigidez elástica y post-fluencia. Además, a menudo la pendiente post-fluencia se expresa como una fracción de la rigidez elástica.

2.3.3 Aisladores de fricción simple

Los aisladores de fricción basan su funcionamiento en el coeficiente de rozamiento dinámico existente entre las superficies de contacto, como concreto-acero, concreto-concreto, o acero-acero. Además, debido a que las fuerzas tangenciales, debidas ala rozamiento, dependen de los niveles de carga axial, en general se puede decir que las cargas axiales juegan un papel importante en este tipo de dispositivos.

Aunque en realidad bastaría con que las superficies fueran planas, como el dispositivo mostrado en la figura 2.9, existen algunas otras disposiciones que, además de la fricción, aprovechan la geometría cóncava presente en las superficies de contacto.

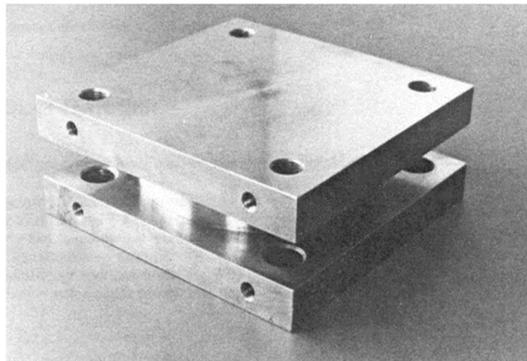


Figura 2.9 Aisladores típicos de fricción simple.
Fuente: Symans (2015)

En la figura 2.10 se muestran las partes más importantes de las que se encuentran compuestos este tipo de dispositivos, podemos citar brevemente algunos de ellos como la placa de conexión, placa cóncava, etc.

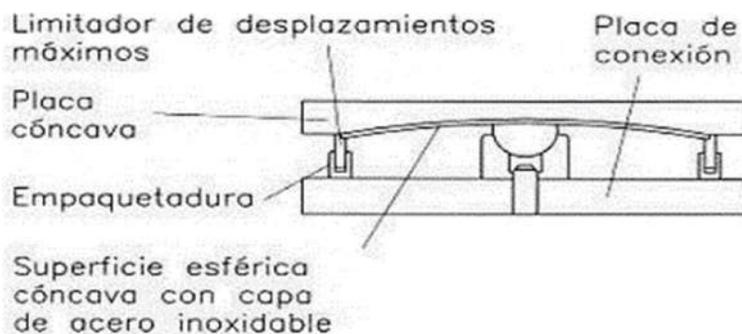


Figura 2.10 Corte seccional de un aislador típico de fricción simple.

2.3.4 Aisladores de triple péndulo de fricción (TPF)

Los aisladores de triple fricción son unos dispositivos que están compuestas de superficies cóncavas, como las mostradas en la figura 2.11.

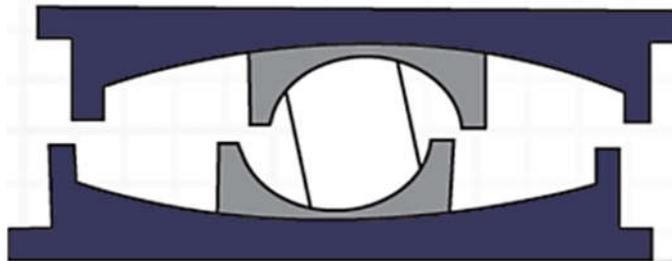


Figura 2.11 Aislador de triple péndulo friccional.
Fuente: Earthquake Protection Systems.

La ventaja de este tipo de dispositivos radica en que existen tres superficies con valores diferentes del coeficiente de fricción, los que le permiten a este tipo de sistemas incrementar su rigidez a medida que se incrementan los desplazamientos de demanda, tal como se muestra en la figura 2.13.

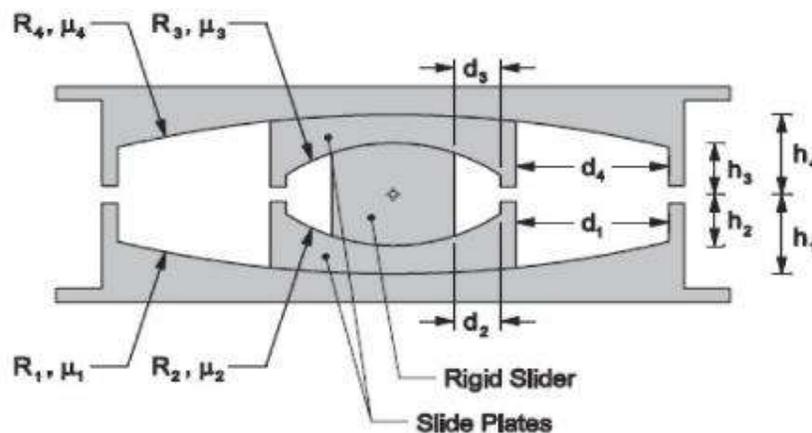


Figura 2.12 Características típicas del aislador de triple péndulo de fricción.
Fuente: Aguiar (2014)

Conviene aclarar que a diferencia de los aisladores de goma o de fricción simple, los aisladores de triple péndulo de fricción no poseen un comportamiento bilineal, a excepción de bajos niveles de desplazamientos, conocido usualmente como el régimen uno de operación, como se puede observar en la figura 2.13.

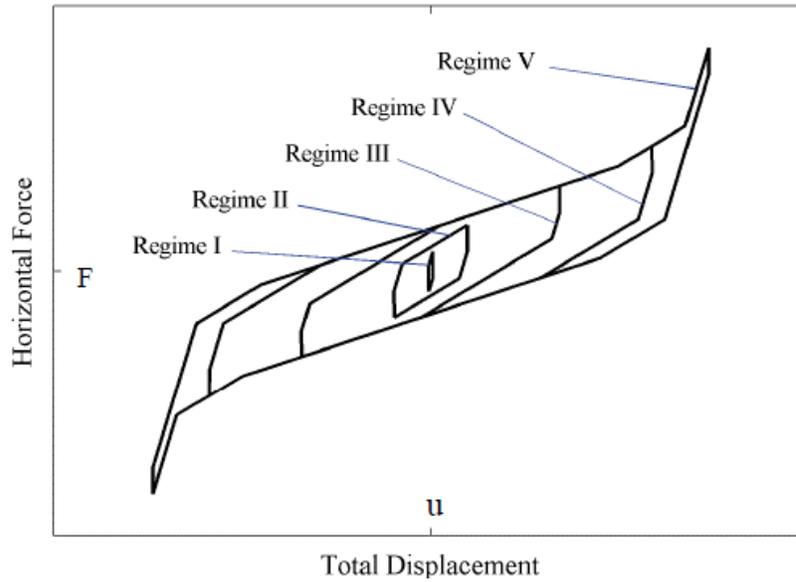


Figura 2.13 Curva histerética del aislador triple péndulo de fricción.
Fuente: Constantinou (2015)

2.3.4.1 Fases del aislador de triple péndulo de fricción

El primer régimen (I), es un estado en el cual los niveles de fuerza lateral provocan el movimiento relativo entre las superficies dos y tres, es decir, entre las superficies interiores más pequeñas del dispositivo, tal como se puede apreciar en el resumen presentado por Fenz y Constantinou (2015).

$$F = \frac{W}{R_{eff2} + R_{eff3}} u + \frac{F_{f2} R_{eff2} + F_{f3} R_{eff3}}{R_{eff2} + R_{eff3}}$$

$$u = u^* = (u_1 - u_2) R_{eff2} + (u_1 - u_3) R_{eff3}$$

El segundo régimen (II), aparece cuando los niveles de fuerza cortante logran que el desplazamiento relativo entre las superficies mencionadas anteriormente se detiene en la superficie dos, esto dá comienzo al movimiento relativo en la superficie uno y continua con el movimiento en la superficie tres.

$$F = \frac{W}{R_{eff1} + R_{eff3}} u + \frac{F_{f1} (R_{eff1} - R_{eff2}) + F_{f2} R_{eff2} + F_{f3} R_{eff3}}{R_{eff1} + R_{eff3}}$$

$$u = u^{**} = u^* + (u_4 - u_1)(R_{eff1} + R_{eff3})$$

El tercer régimen (III) del comportamiento da inicio cuando el movimiento relativo en la superficie tres cesa y da inicio del deslizamiento en la superficie cuatro. En este momento todo el movimiento relativo entre la parte superior e inferior del dispositivo se debe a las superficies uno y cuatro.

$$F = \frac{W}{R_{eff1} + R_{eff4}} u + \frac{F_{f1} (R_{eff1} - R_{eff2}) + F_{f2} R_{eff2} + F_{f3} R_{eff3} + F_{f4} (R_{eff4} - R_{eff3})}{R_{eff1} + R_{eff4}}$$

$$F = F_{dr1} = \frac{W}{R_{eff1}} d_1^* + F_{f1}$$

$$u = u_{dr1} = u^{**} + d_1^* \left(1 + \frac{R_{eff4}}{R_{eff1}} \right) - (u_4 - u_1)(R_{eff1} + R_{eff4})$$

El cuarto régimen (IV) de funcionamiento del dispositivo da inicio cuando el límite de desplazamiento permitido por la superficie uno es alcanzado, en ese momento aun el movimiento relativo en la superficie tres es inexistente, mientras que el movimiento sigue desarrollándose debido al movimiento en las superficies dos y cuatro.

$$F = \frac{W}{R_{eff2} + R_{eff4}} (u - u_{dr1}) + \frac{W}{R_{eff1}} d_1^* + F_{f1}$$

$$F = F_{dr4} = \frac{W}{R_{eff4}} d_4^* + F_{f4}$$

$$u = u_{dr4} = u_{dr1} + \left[\left(u_4 + \frac{d_4^*}{R_{eff4}} \right) - \left(u_1 + \frac{d_1^*}{R_{eff1}} \right) \right] (R_{eff2} + R_{eff4})$$

El quinto régimen (V) del comportamiento de un aislador de triple péndulo de fricción se establece cuando los límites de desplazamiento tanto de la superficie cuatro como de la primera superficie son alcanzados, mientras que el deslizamiento ocurre en las superficies dos y tres. Es interesante hacer notar que debido a que los límites de máximo desplazamiento, tanto en la superficie uno como en la superficie cuatro, han sido alcanzados, los niveles de fuerza lateral requerido para alcanzar mayores niveles de desplazamiento se incrementan de manera notable

$$F = \frac{W}{R_{eff2} + R_{eff3}} (u - u_{dr4}) + \frac{W}{R_{eff4}} d_4^* + F_{f4}$$

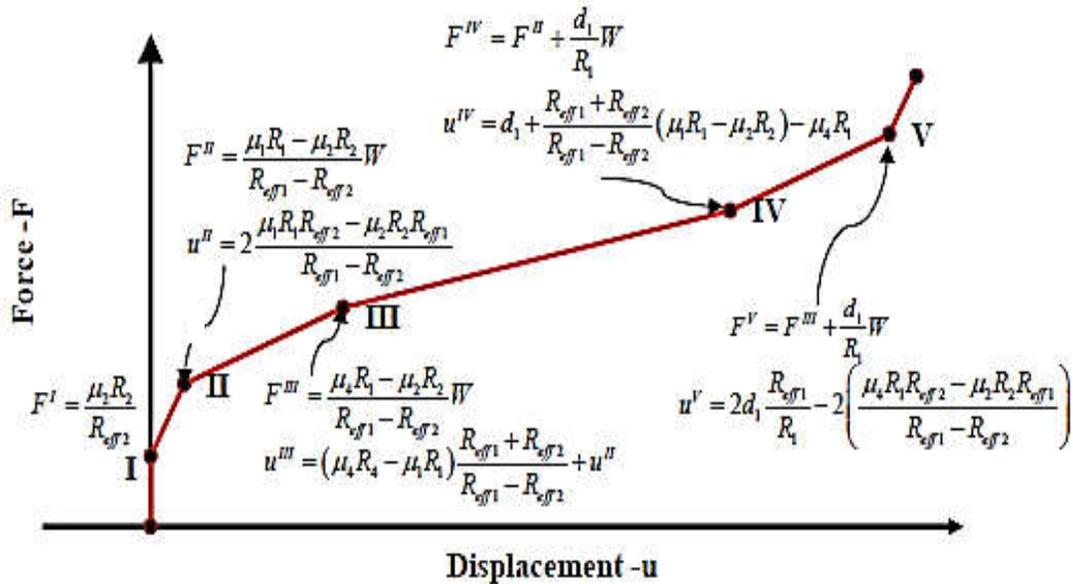


Figura 2.14 Regímenes del comportamiento cíclico de un aislador TPF.
Fuente: Fenz y Constantinou (2014)

Esta es otra de las características importantes de los aisladores de triple péndulo de fricción, ya que de darse el caso de que un determinado sismo exceda los niveles de desplazamiento previstos en el diseño, el dispositivo presentado requerirá de niveles de fuerza lateral crecientes para lograr los mismos niveles de desplazamiento, como se muestra la figura 2.14.

2.3.4.2 Coeficiente de fricción

El aislador de triple péndulo de fricción (TPF), tiene un coeficiente de fricción. Este coeficiente está influenciado por factor como los materiales (acero, componentes del acero, etc), cargas verticales (presión en la superficie de deslizamiento), la velocidad de aplicación de la carga lateral, ya que los niveles de fuerza cortante lateral dependen directamente de este parámetro y también de la temperatura del cojinete. Se puede establecer que el coeficiente de rozamiento es en general una magnitud variable, ya que depende fuertemente de la velocidad de aplicación de la carga, como se puede apreciar en la figura 2.15.

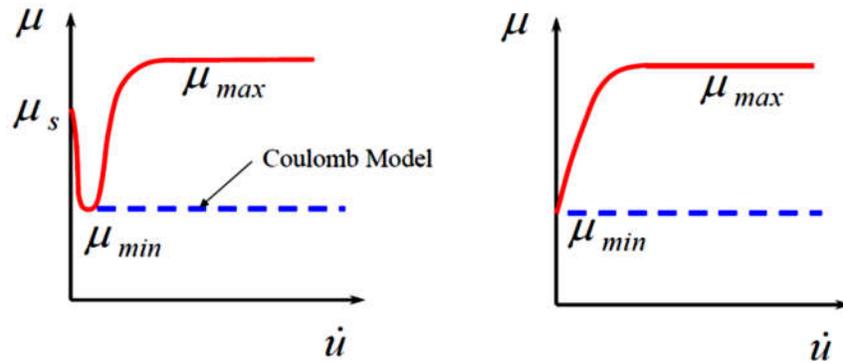


Figura 2.15 Real relación de \dot{u} (velocidad de desplazamiento) vs μ (coeficiente de fricción)
Fuente: Fenz y Constantinou (2015)

De este grafico se puede ver que a medida que la velocidad de aplicación de carga se incrementa el coeficiente de fricción, desde el conocido coeficiente de rozamiento estático, hasta un valor mínimo a cierto nivel de velocidad de aplicación de la carga. Si la velocidad de aplicación de carga sigue aumentando, se podrá observar que este parámetro sigue incrementándose hasta alcanzar un valor casi constante, al que usualmente se le denomina μ_{max} .

Resulta interesante ver que el modelo encontrado experimentalmente dista bastante de las predicciones hechas por el modelo de Coulomb, el que establece que, para velocidades suficientemente grandes, el coeficiente de rozamiento es en general pequeño al ser comparado con el coeficiente de rozamiento estático, este coeficiente de rozamiento es constante y es denominado $\mu_s = \mu_{min}$.

En la práctica de la ingeniería, es inusual utilizar esta curva de comportamiento, sino que se recurre al uso del modelo simplificado mostrado en la misma figura. Como se puede ver este modelo solo considera el coeficiente de rozamiento mínimo o coeficiente de velocidades moderadas y el coeficiente de rozamiento máximo o de grandes velocidades.

2.3.5 Efecto del aislamiento sísmico

Tal como se puede apreciar en la figura 2.17. Es importante notar además que, debido al incremento de la flexibilidad de una estructura, esta tiende a incrementar los desplazamientos espectrales, como se observa en la figura 2.16.

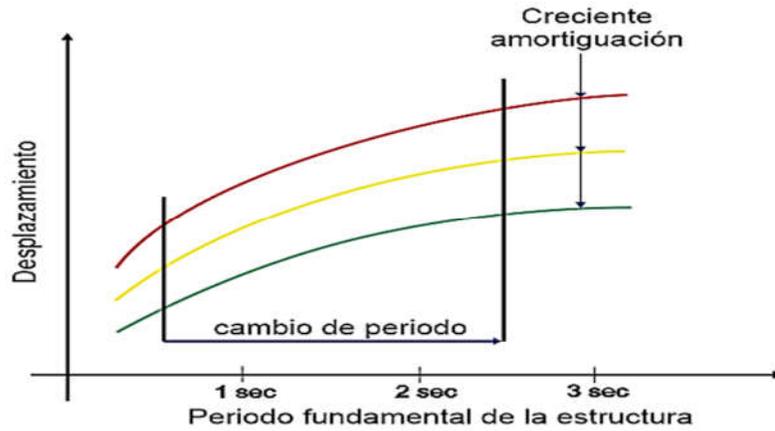


Figura 2.16 Efecto del aislamiento sísmico en el desplazamiento espectral.
Fuente: Dynamic Engineering Systems.

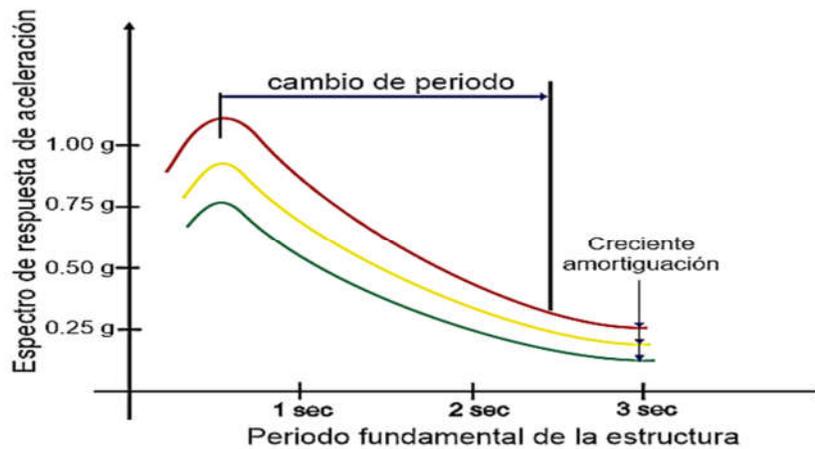


Figura 2.17 Efecto del aislamiento sísmico en la aceleración espectral.
Fuente: Dynamic Engineering Systems

Otra manera de poder ver el efecto que tiene el aislamiento sísmico es llevando la respuesta sísmica a un espacio ADRS (Attack Decay Sustain Release), es decir un espacio en el que las componentes del eje horizontal son los desplazamientos espectrales, mientras que en el eje vertical se muestran las aceleraciones espectrales.

De acuerdo con Symans (2015), cuando una estructura se aísla sísmicamente en la base, disminuyen tanto la aceleración espectral como los desplazamientos espectrales, con consiguiente incremento de los periodos, como se puede apreciar en la figura 2.18.

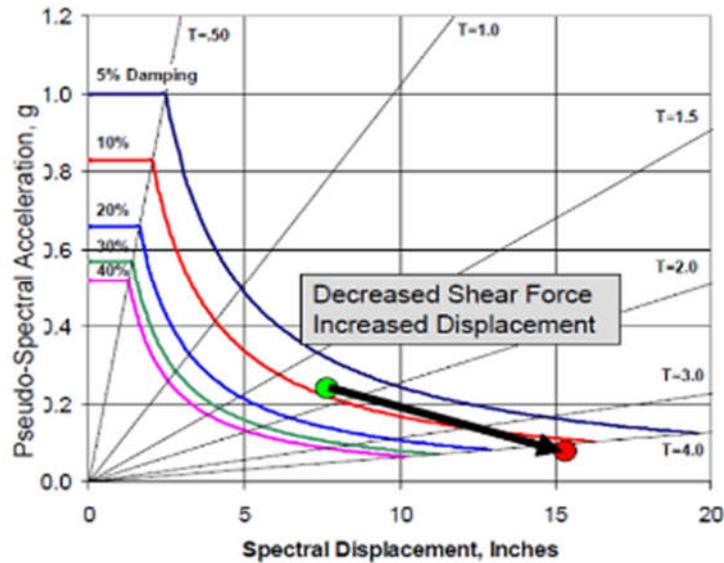


Figura 2.18 Efecto del aislamiento sísmico en estructuras visto en un espacio ADRS.
Fuente: Symans (2013)

2.4 Respuesta sísmica de las estructuras

La respuesta sísmica se da cuando una estructura está sometida a cargas horizontales como son los movimientos del suelo que son los causantes mayores del daño de la estructura cuando ocurre un sismo. Las estructuras deben resistir estos movimientos horizontales y se debe diseñar estructuras que resistan estos movimientos (cortante en la base de la estructura) y su desplazamiento en el nivel superior nos dará la rigidez de esta estructura según indica Skinner (1998).

El reglamento nacional de edificaciones en su norma E030 "Diseño Sismorresistente" nos ayuda a verificar las respuestas sísmicas de la estructura (cortante basal, distorsión de entre piso, desplazamiento laterales y aceleraciones entre piso)

2.4.1 Cortante basal

La cortante basal es la fuerza que se da en toda la estructura. Esta fuerza se da como máxima en la base y es esta fuerza cortante que tiene que resistir todos los elementos estructurales (muros, vigas, columnas, placas, etc). La norma E030 menciona que la fuerza de corte no debe ser menor que el 80% cuando es una

estructura regular y no menor al 90% cuando es una estructura irregular. Estas fuerzas se calculan mediante la siguiente fórmula.

$$F_b = \frac{ZUCS}{R} W_{estructura} \quad (1)$$

Donde F_b es la fuerza en la base de estructura, S_a es la aceleración espectral y $W_{estructura}$ es el peso de la estructura. Para el cálculo de la aceleración de la gravedad se usó la siguiente fórmula, Z es la zona en donde será ubicada el edificio, U es el factor de importancia de la estructura, C es el factor de amplificación sísmica, S es el suelo acuerdo a la relación de la zona a ubicarse, R es el coeficiente de reducción sísmica y g la aceleración de la gravedad. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016).

Se tiene consideraciones también para realizar el cálculo de fuerza cuando está sometido a un dispositivo de aislamiento sea el caso de aislador de goma con núcleo de plomo (LRB) o aislador de triple péndulo de fricción (TPF) que son los casos en estudio. La cortante mínima para estos dispositivos se da con la siguiente ecuación.

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a} \quad (2)$$

Donde V_{st} es la fuerza cortante en la base que están por encima del nivel de base y R_a es el coeficiente de reducción que para sistemas de aislamiento debe ser menor 1 y no mayor que 2.

2.4.2 Distorsión de entrepiso

La distorsión es una deformación relativa de piso, esta deformación es de suma importancia ya que nos brinda deformaciones en cada piso, cuando la estructura este sometido a una fuerza lateral. En la figura 2.19 se muestra las distorsiones o desplazamientos que se puede dar en cada piso de la estructura.

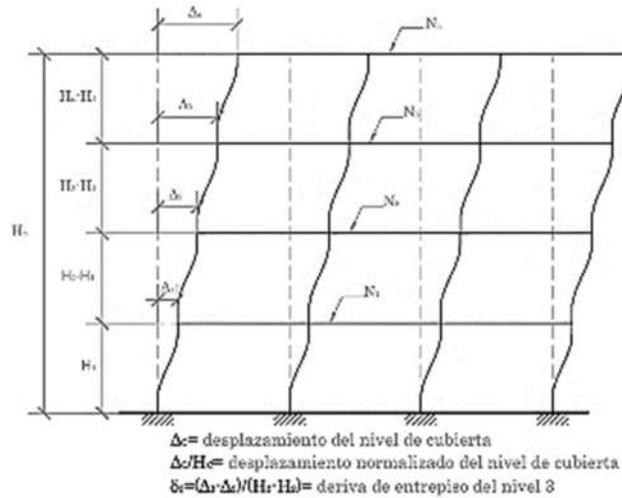


Figura 2.19 Distorsión de entrepiso

Fuente: Barbat (2011)

Para estas distorsiones la norma E030 "Diseño Sismorresistente" nos da ciertos límites que debemos cumplir para que la estructura pueda resistir cuando ocurra un sismo. Estos límites lo mostraremos en la siguiente tabla 2.1 que nos indica que para estructuras de concreto armado el límite como distorsión máxima de entrepiso es de 0.007.

Tabla 2.1 Límites de distorsiones

Material Predominante	Δ/h_i
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: RNE – E030

Las investigaciones atribuyen que la principal causa del daño de una estructura se ve en el análisis de las distorsiones de entrepiso, los cuales nos dan límites que debemos seguir para que la estructura cumpla su adecuado funcionamiento luego que ocurra un sismo severo (Zayas, 2014). Según la investigación de sistemas de protección sísmicas recomiendan el uso de HAZUS – MH 2.1, esta proporciona tablas considerando el tipo de edificación, según la altura y el daño que se puede dar.

En la tabla 2.2 nos muestra las distorsiones que puede darse que como límite de distorsión que tenemos para un edificio mediano C2M es de 0.33%.

Tabla 2.2 Tabla de distorsiones de entrepiso (HAZUS 2015)

Type	Building Properties		Interstory Drift at Threshold of Damage State			
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
C2L	240	180	0.0050	0.0125	0.0375	0.1000
C2M	600	450	0.0033	0.0083	0.0250	0.0667
C2H	1440	846	0.0025	0.0063	0.0188	0.0500

Según el proyecto de norma aislamiento sísmico nos menciona que las distorsiones como máximo son de 0.35% (0.0035), estas distorsiones se verificarán los resultados por encima del dispositivo de aislamiento sísmico.

El objetivo del desempeño sísmico, las normas de construcción internacionales y nacionales es brindar seguridad a los ocupantes con sismos de diseño. El código acepta que pueden producirse daños en la estructura del edificio (componentes arquitectónicos, fachadas, equipos mecánicos, eléctricos, tuberías, todos los componentes del edificio) y que estos daños ocasionados no pueden repararse económicamente.

2.4.3 Desplazamientos laterales

El desplazamiento lateral es la medida que integra la respuesta sísmica del edificio, también llamado desplazamiento máximo. Este viene a ser el desplazamiento del ultimo nivel del piso de la estructura como se muestra en figura 2.20.

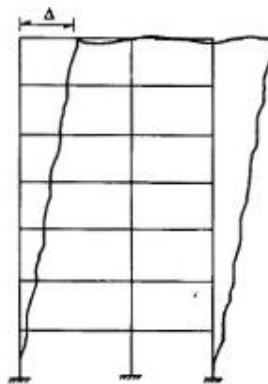


Figura 2.20 Desplazamiento total máximo
Fuente: Bazán y Meli (2002)

En la norma peruana se calculan los desplazamientos multiplicando por 0.75R si la estructura es regular, al transformar se tendrá respuestas sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares el reglamento indica que se multiplicarán por R a los resultados obtenidos del análisis elástico (Reglamento Nacional de edificaciones E030).

2.4.4 Aceleraciones

Aslanis & Miranda (2005), usan una metodología similar a HAZUS (2015), donde establece límites para distorsiones y aceleraciones. En la siguiente tabla 2.3 indica que el valor máximo de aceleración es de 0.25g para mantener un daño leve según (Hazus – MH 2.1 (2015)).

Tabla 2.3 Parámetros de la aceleración (Hazus - MH 2.1)

Design Level	Peak Floor Acceleration (Amax,ds) – Acceleration-Sensitive Componets/Contents (g)			
	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Special High-Code	0.45	0.90	1.80	3.60
High-Code	0.30	0.60	1.20	2.40
Moderate-Code	0.25	0.50	1.00	2.00
Low-Code	0.20	0.40	0.80	1.60
Pre-Code	0.20	0.40	0.80	1.60

2.5 Límites de la respuesta sísmica

Sabiendo la importancia que tiene un hospital al ser una edificación esencial (A1), se busca que el edificio no tenga daño estructural. Es decir, que busca la funcionalidad continua de la estructura, luego que ocurra un sismo severo. Basado en la metodología de HAZUS se decidió utilizar los siguientes límites para edificios con aislamiento sísmico.

- ✓ Aceleración Máxima de entrepiso < 0.25g
- ✓ Deriva máxima de entrepiso < 3.5 ‰
- ✓ Factor de reducción de la estructura (R=1), para verificación de la aceleración

2.6 Espectro de diseño según el proyecto de aislamiento sísmico en el Perú

El espectro de diseño se construye para sismo máximos posibles y no debe ser menor que el indicado en según la figura 2.21.

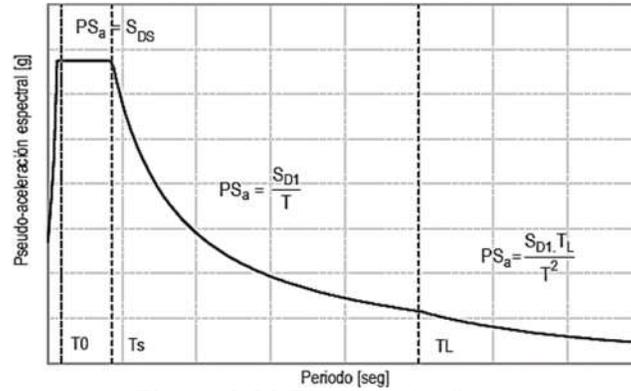


Figura 2.21 Espectro de diseño
Fuente: RNE E030

La norma propuesta menciona: las aceleraciones para el sismo de diseño deben emplear las indicaciones E030. Primero verificar el periodo fundamental de la estructura y para verificar la aceleración espectral para SMC (Sismo máximo considerado).

$$S_{aM} = 1.5 * Z * C * S * g$$

Donde Z y C son parámetros puestos en la norma E030 y el parámetro C está definido por la siguiente ecuación.

$$T > 0.2 T_p \quad C = 1 + 7.5 * \left(\frac{T}{T_p}\right) \quad (3)$$

$$0.2 T_p < T < T_p \quad C = 2.5 \quad (4)$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T}{T_p}\right) \quad (5)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T}\right) \quad (6)$$

2.6.1 Consideraciones generales para diseño de aislamiento sísmico

2.6.1.1 Determinación de propiedades de sistema de aislador

Se propone un periodo de vibración objetivo T_D de la estructura de diseño y el periodo de vibración máximo probable T_M . El periodo de diseño esta entre 2 y 5 segundos y el periodo de vibración máximo está considerado por la siguiente ecuación.

$$T_M = \alpha * T_D \quad (7)$$

Luego de definir los periodos T_D y T_M , se determinar la rigidez efectiva mínima ecuación (8) y rigidez máxima (9).

$$K_{Dmin} = \frac{4 * \pi^2 * W}{T_D^2 * g} \quad (8)$$

$$K_{Dmin} = \frac{4 * \pi^2 * W}{T_M^2 * g} \quad (9)$$

Para el cálculo del peso de estructura se usa el 100% del PP: peso propio más el 100% de CM: carga muerta, más el 50% CV=carga viva y la carga de sismo CS.

$$W = PP + CM + \%CV + CS \quad (10)$$

2.6.2 Desplazamiento de Diseño

El desplazamiento de diseño está determinado por una aceleración espectral y el amortiguamiento efectivo.

$$D_D = \left(\frac{g * S_{D1} * T_{min}}{4 * \pi^2 * B_{min}} \right)$$

$$D_M = \left(\frac{g * S_{M1} * T_{max}}{4 * \pi^2 * B_{max}} \right)$$

Donde:

g : aceleración de la gravedad

S_{D1} : aceleración para sismo cortos 0.2 seg

S_{M1} : aceleración para sismo largos 1 seg

B_{min} ; B_{max} : coeficiente de reducción de desplazamiento (amortiguamiento β)

T_{min} ; T_{max} : son los periodos objetivos que se quiere logra conseguir.

2.6.3 Rigidez, Periodo y Fuerza Cortante de Diseño

La rigidez efectiva es la fuerza cortante y el desplazamiento de diseño. Esta rigidez efectiva de los aisladores tiende a varias de acuerdo a la temperatura, velocidad, presión vertical, desgaste, vejez, carga y descarga, etc (Constantinou, 1991). Estos aisladores tienen una rigidez máxima (K_{Dmax}) y una rigidez mínima (K_{Dmin}) esto se verifica en la figura 2.22. En dicha también se visualiza los periodos que se logra tener en la estructura.

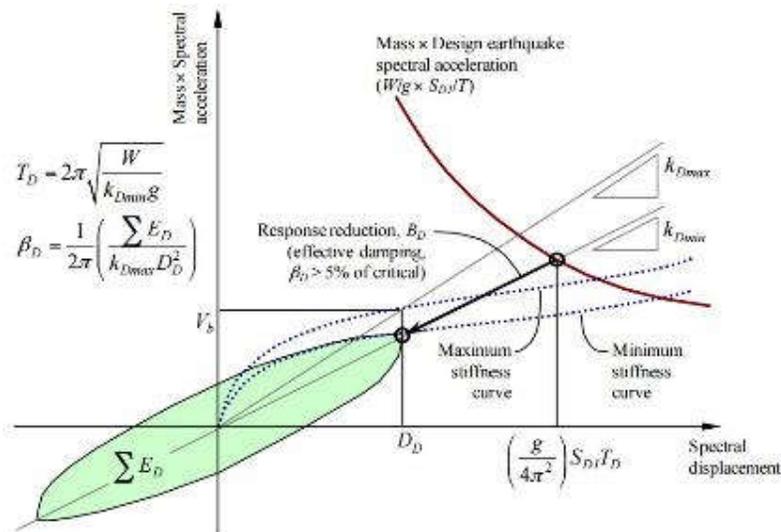


Figura 2.22 Periodo y Amortiguamiento de diseño

Fuente: FEMA (2009)

Capítulo III

Materiales y método

3.1 Diseño de la investigación

Este trabajo tiene como objetivo la determinación del comportamiento sísmico de estructuras de base aislada, con dispositivos LRB (Aislador goma con núcleo de plomo) y TPF (Triple péndulo de fricción). Además, pretende determinar qué sistema tiene un comportamiento superior frente a los otros dos, por lo que se ha decidido realizar un análisis comparativo entre los tres sistemas.

El desarrollo de esta investigación se realizará usando un software de análisis estructural que sea capaz de reproducir el comportamiento estructural, tanto del sistema de aislación como el de la superestructura. En el caso específico del sistema de aislación, se debe tener presente que el comportamiento sísmico de este es típicamente no lineal, es decir, que la proporcionalidad existente entre las fuerzas aplicadas y los desplazamientos no es permanente durante el movimiento, específicamente arriba de un límite elástico, el que a menudo es un valor muy pequeño. En el caso de la superestructura, su comportamiento puede ser considerado estrictamente lineal, ya que el diseño del sistema de aislamiento puede hacerse de tal forma que la demanda este siempre por debajo del límite elástico.

De acuerdo con lo comentado, se usarán los elementos Link, para representar el comportamiento cíclico de los aisladores LRB (Aislador de goma con núcleo de plomo) y TPF (Triple péndulo de fricción), a los que se les asignarán los modelos de

comportamiento LRB (Aislador con núcleo de plomo) y TPF (Triple péndulo de fricción), que son elementos característicos del software de análisis no lineal ETABS. A continuación, se presenta una secuencia de los pasos necesarios para poder cumplir con los objetivos del presente trabajo de investigación.

3.1.1 Tipo

De acuerdo con Borja (2010), las investigaciones científicas de acuerdo a la finalidad que persiguen, se clasifican en, Investigaciones básicas o puras, investigaciones aplicadas e investigaciones tecnológicas.

Dentro de los tipos de investigaciones mencionados, es importante mencionar que una investigación aplicada es aquella en la que, se busca resolver un problema práctico de alguna disciplina, como los acontecidos en la práctica de la ingeniería civil (Borja, 2010), las ideas mencionadas resultan compatibles con lo mencionado por Martínez (2012), ya que según este, la investigación aplicada es aquella en la que se proponen métodos y técnicas orientadas a la resolución de un problema específico, anotando sobre este último tipo que debido a la naturaleza de las investigaciones realizadas, las conclusiones obtenidas son de aplicación limitada y no se pueden generalizar.

La investigación tiene como finalidad la mejora del comportamiento sísmico de hospitales usando aisladores sísmicos de aisladores con núcleo de plomo y triple péndulo de fricción, más aún, el trabajo pretende encontrar los métodos que permitirían encontrar la funcionalidad continua, es decir, la investigación propuesta tiene como objetivo, resolver una de las consecuencias más funestas de los sismos, la interrupción de los servicios médicos, por tanto debido a sus características y los conceptos planteados anteriormente, la investigación puede clasificarse como una investigación aplicada.

3.1.2 Alcance

De acuerdo con Arbayza (2014), existen diferentes formas de clasificación de una investigación científica, si se tiene en cuenta los alcances o el nivel de esta, tenemos la investigación exploratoria, descriptiva, correlacional, explicativa o causal,

documental, experimental, transversal y longitudinal. Con respecto a lo anterior, Hernández Sampieri (2014), menciona que, de acuerdo al alcance de la investigación, esta puede ser calificada como exploratoria, correlacional y explicativa. De los enfoques presentados por estos dos autores, es importante mencionar que, el alcance se determinará de acuerdo con los objetivos del proyecto de investigación.

De acuerdo con lo mencionado y a las características en el presente trabajo de investigación, la investigación será explicativa, ya que busca establecer las relaciones entre el uso del aislamiento sísmico, intentando explicar además los mecanismos de este fenómeno.

3.1.3 Metodología

Esta investigación evalúa las características estructurales que definen al hospital Hipólito Unanue de Tacna. Esta primera parte nos permite determinar las características dinámicas de la edificación de base aislada, en especial el periodo de vibración. El siguiente paso, será la determinación de las nuevas características dinámicas de la edificación, esta se hará, en función de la demanda sísmica característica de la zona de estudio, para esto se pueden estudiar los espectros de diseño dados por la norma técnica peruana (E030, 2018) o los espectros de peligro uniforme, los que se pueden determinar para la zona de interés, usando el aplicativo web del servicio nacional para la construcción (SENCICO).

Una vez determinadas las características dinámicas deseadas, se deben determinar las propiedades de los aisladores de triple péndulo de fricción, y la estructuración adecuada para el caso de estudio. Al realizar dicha estructuración se obtendrán desplazamientos y distorsiones de entre piso, los que deberán ser inferiores a ciertos límites, ya que en un hospital es muy importante que la estructura no presente daños importantes. Lo anterior está en armonía con las nuevas disposiciones dadas por la norma E030 (2018), la que califica a un hospital como el analizado como una edificación importante de la categoría A1.

Lo importante para el hospital analizado es mantener la funcionalidad continua para un sismo con un periodo de retorno de 2500 años. Cuando ocurra dicho sismo

la estructura del hospital no tiene que sufrir daños, como colapsos de columnas o fallas de vigas, etc.

3.2 Delimitación geográfica y temporal

La investigación se realizó con el uso del edificio del Hospital Hipólito Unanue, ubicado en la ciudad de Tacna que se encuentra a altitud de 562 m.s.n.m.

3.3 Población y muestreo

La investigación tiene la forma de muestra no probabilístico por conveniencia y se tomó como muestra la arquitectura durante la ejecución del Hospital Hipólito Unanue de la ciudad de Tacna.

3.4 Plan de recolección de datos

3.4.1 Procedimiento para el desarrollo de la investigación

- Descripción de la estructura.
- Características dinámicas de la estructura de base fija.
- Determinación del periodo objetivo.
- Respuesta sísmica de la estructura de base fija.
- Respuesta sísmica de la estructura de base aislada con dispositivos LRB (Aislador de goma con núcleo de plomo).
- Respuesta sísmica de la estructura aislada con dispositivos TPF (Triple péndulo de fricción).
- Comparación de los desplazamientos máximos de los tres sistemas.
- Comparación de las máximas distorsiones laterales en los tres sistemas.
- Comparación de las fuerzas base en los tres sistemas estructurales.

3.4.2 Descripción de la estructura

Esta infraestructura en la cual se realizó la investigación consta de 6 pisos en la siguiente Figura 3.2 se muestra la vista en planta del hospital a diseñar la investigación y los planos de arquitectura serán anexados.

La infraestructura de este hospital la cual está ubicado en la ciudad de Tacna consta de 6 sectores (Figura 3.1) los cuales utilizarán aislamiento sísmico.

Para este estudio se usa los sectores 1, 2, 3 y 4. Los sectores 5 y 6 no se analizó porque tiene otros fines y solo son de dos niveles. Se recopila la información con permiso del Director Ejecutivo del Hospital el cual me brinda el permiso para realizar esta investigación.

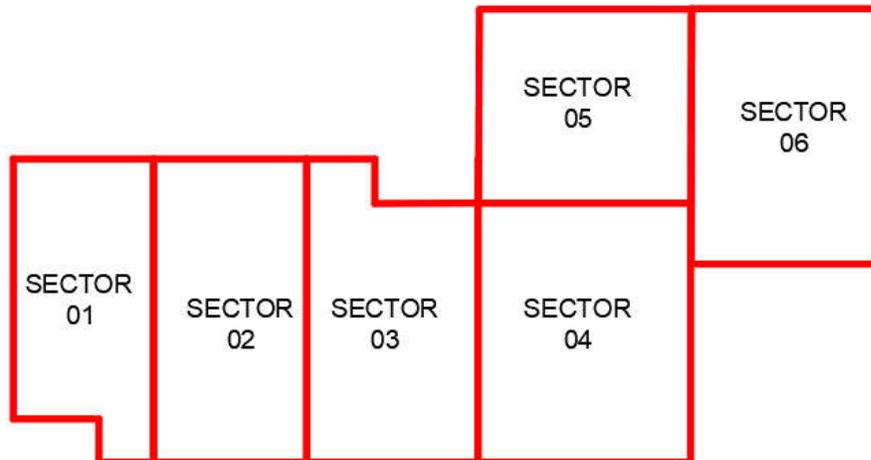


Figura 3.1 Vista en planta de los sectores del hospital.
Fuente: Elaboración propia.

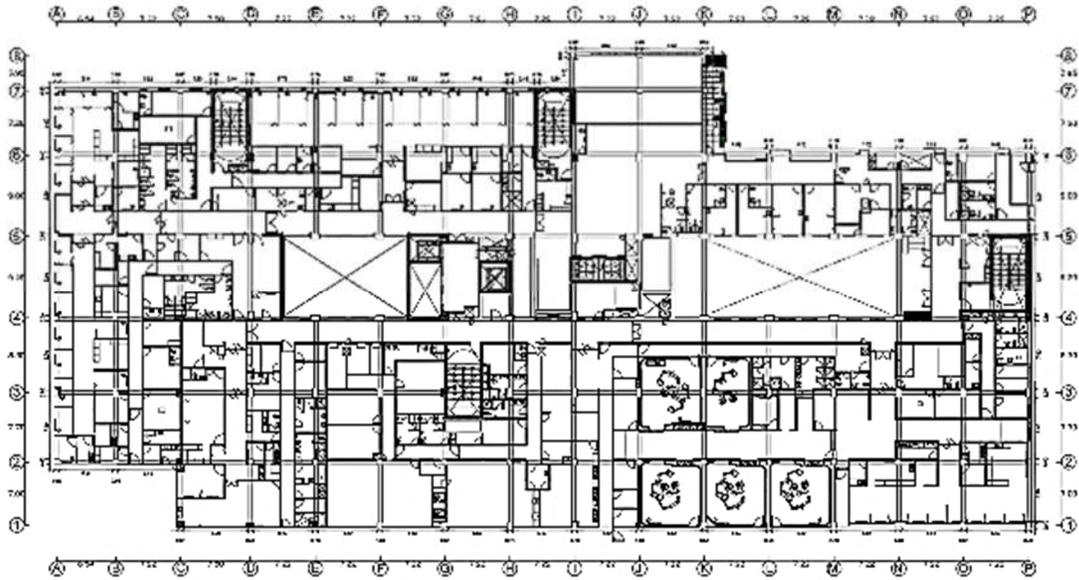


Figura 3.2 Vista planta del hospital con los sectores de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

La estructura consta de 6 niveles que está formada por columnas (C 60x60 cm², C 100x60 cm², C 100x50 cm², C 50x50 cm²), vigas (V 40x70 cm²), vigas para el aislamiento sísmico de (V 40x90 cm²) y losa maciza de (E= 20 cm) entre los entrepisos de concreto armado. Este sector también tiene escaleras la cual se optó para el diseño estructural de este modelo numérico como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Elementos de la estructura para ser modelado

Niveles	Propiedades geométricas	Cantidad	Carga Muerta	Carga Viva
01	C 60x60	57	300 kgf/m ²	250 kgf/m ²
	C 100x60	56		
	V 40x70	228		
	LM = 20 cm	74		
02	C 60x60	57	300 kgf/m ²	250 kgf/m ²
	C 100x60	56		
	V 40x70	228		
	LM = 20 cm	74		
03	C 60x60	40	300 kgf/m ²	250 kgf/m ²
	C 100x60	52		
	V 40x70	150		
	LM = 20 cm	74		
04	C 50x50	11	300 kgf/m ²	250 kgf/m ²
	C 100x50	48		
	V 40x70	106		
05	LM = 20 cm	35	300 kgf/m ²	250 kgf/m ²
	C 50x50	11		
	C 100x50	48		

	V 40x70	106		
	LM = 20 cm	35		
	C 50x50	11		
06	C 100x50	48	150 kgf/m ²	125 kgf/m ²
	V 40x70	106		
	LM = 20 cm	35		

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Cargas en la estructura

Las cargas usadas para esta estructura son todas aquellas que se usa en un diseño de edificación, estas pueden ser: cargas muertas, cargas vivas y cargas de sismo. Todas estas cargas se encuentran en el reglamento nacional de edificaciones E020.

3.4.3.1 Carga Muerta

Se consideró una carga muerta, esta es el peso de los materiales y incluyendo el peso propio que serán permanentes o con una variación en su magnitud.

La carga muerta a considerar para esta edificación es de $CM=300 \text{ kgf/m}^2$ que consta desde el piso 1 al piso 5 y la carga muerta para el techo es de $CM=150 \text{ kgf/m}^2$ dicha carga pertenece al piso 6.

3.4.3.2 Carga Viva

La carga viva es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, etc. En esta investigación tenemos salas de operación, laboratorios y zonas de servicio $CV=300 \text{ kgf/m}^2$.

3.4.3.3 Carga de Sismo

El factor de zona se interpreta como una aceleración máxima del terreno. (E030). En la siguiente Tabla 3.2 se ve los factores de zona los cuales son tomados de acuerdo al departamento donde se ejecutará el proyecto.

Tabla 3.2 Factores de zona

Factor de zona	
ZONA 1	0.10
ZONA 2	0.25
ZONA 3	0.35

Los factores de donde se sacaron el valor del factor de uso se dan en la siguiente tabla 3.3 que fue sacado del Reglamento Nacional de Edificaciones (E 030) para esta investigación se tomó el A1 lo cuál es para hospitales.

Tabla 3.3 Categoría de las edificaciones.

Categoría	Descripción	U
	A1: Sector salud (públicos y privados)	1.5
A	A2: Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajero, estaciones de bomberos, cuarteles fuerzas armadas, colegios, universidades, tecnológicos, etc. Toda edificación que deba servir de refugio luego de un desastre.	1.5
B	Cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses, establecimiento penitenciario	1.3
C	Viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones.	1

En la siguiente tabla se muestra los parámetros del suelo que servirán para poder obtener los valores de S_1 y T_P .

Tabla 3.4 Factor de suelo S

	Z1	Z2	Z3	Z4
S0	0.8	0.8	0.8	0.8
S1	1	1	1	1
S2	1.6	1.2	1.15	1.05
S3	2	1.4	1.2	1.1
S4	0	0	0	0

Tabla 3.5 Periodos T_p y T_l

	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
T_P (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

El factor de reducción R se da en la siguiente tabla 3.6 la cual al verificar el modelo tomamos el valor R de pórticos, esto será para la estructura de base fija, porque para el sistema de aislamiento sísmicos el factor de reducción es 1.

Tabla 3.6 Coeficiente de reducción

Sistema estructural	Coeficiente de Reducción
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos	8
Pórticos Intermedios resistentes a Momentos	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos	4
Pórticos Especiales Concéntrica Arriostrados	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o Confinada	3
Madera	7

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g \quad (1)$$

Z: Factor zona

U: Factor uso

S: Factor de suelo

R: Coeficiente de reducción

g: gravedad

Luego de realizar el espectro de diseño que está conformado por la siguiente formula (1) se muestra los límites que, para la distorsión de entrepiso, las cuales especifica en el RNE E030.

Tabla 3.7 Límites de para la distorsión de entre piso

Material Predominante	Δ/hi
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005
---------------------------------------------------------------	-------

3.4.3.3.1 Parámetros sísmicos para la estructura de base fija.

Factor de Zona Sísmica (Zona 4)	Z=0.45 g
Factor de uso de educación	U=1.5
Factor del suelo	S ₁ =1.0
Periodo que define la plataforma del factor “C”	T _P =0.4
Periodo que define el inicio de la zona del factor “C” con deslizamiento constante	T _L =2.5
Factor de reducción para la base fija	R=8*1*0.9=7.2

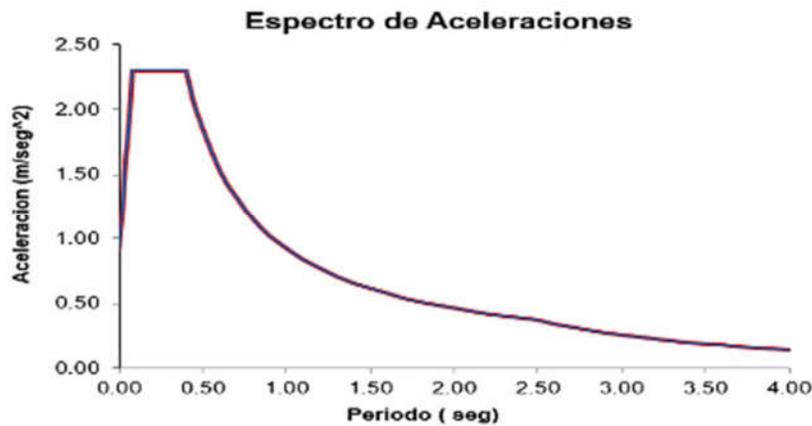


Figura 3.3 Espectro para estructura de base fija
Fuente: Elaboración Propia

3.4.3.3.2 Parámetros sísmicos para la estructura aislada.

Factor de Zona Sísmica (Zona 4)	Z=0.45 g
Factor de uso de educación	U=1.5
Factor del suelo	S ₁ =1.0
Periodo que define la plataforma del factor “C”	T _P =0.4

Periodo que define el inicio de la zona del factor “C” con deslizamiento

constante

$$T_L=2.5$$

Factor de reducción para la base fija

$$R=1$$

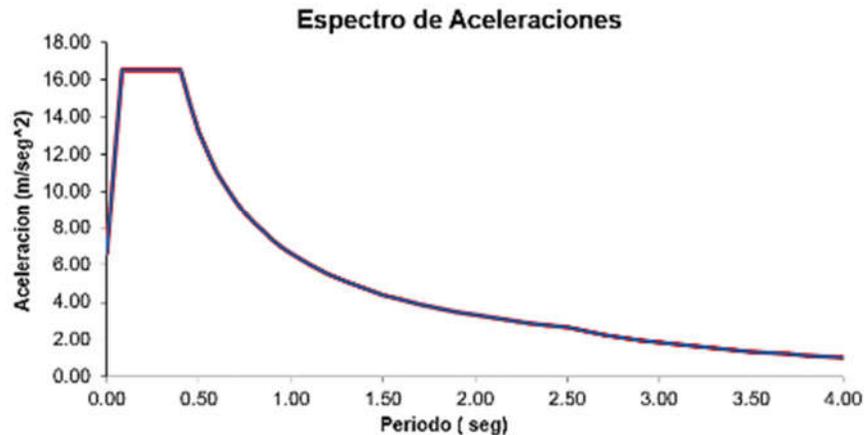


Figura 3.4 Espectro para estructura aislada
Fuente: Elaboración Propia

Aceleración para periodos cortos 0.2 seg.

$$S_s=1.6869 \text{ g}$$

Aceleración para periodos largos 1.0 seg.

$$S_1=0.6748 \text{ g}$$

Los registros de aceleraciones son obtenidos del Instituto Geofísico del Perú de su página web (www.igp.gob.pe), al obtener estos registros se realizan la corrección de línea base. Esta corrección se realizó con el software Seimosignal, luego se usa el software Seismomatch para escalar de acuerdo al espectro de respuesta objetivo. Los sismos escalados se muestran en la siguientes figuras: Figura 3.5, Figura 3.6 y Figura 3.7 son aceleraciones escalado con $R=1$

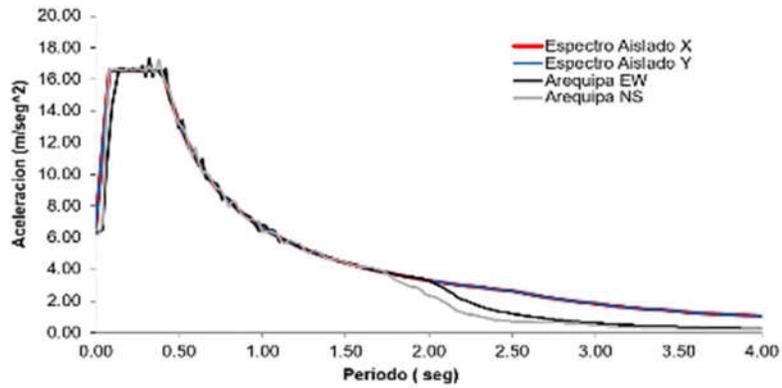


Figura 3.5 Aceleraciones de Arequipa 2001 E-W y N-S.

Fuente: Elaboración Propia

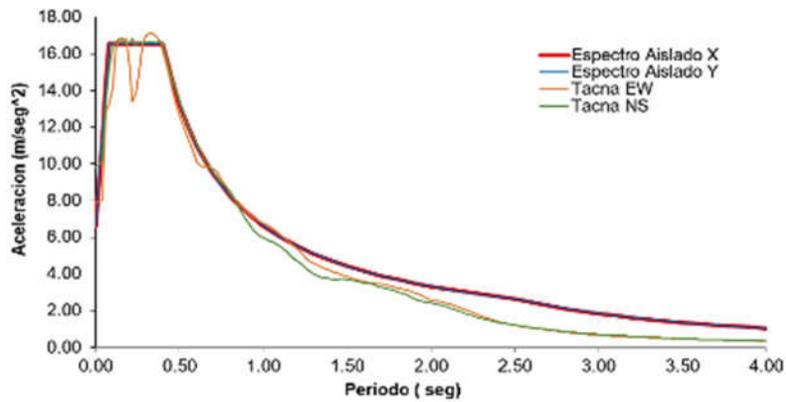


Figura 3.6 Aceleraciones de Tacna 2010 E-W y N-S.

Fuente: Elaboración Propia

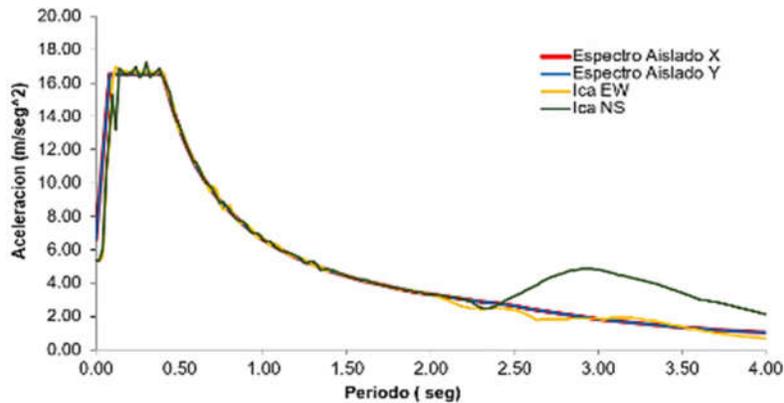


Figura 3.7 Aceleraciones de Ica 2007 E-W y N-S

Fuente: Elaboración Propia

Se presentan los 3 registros de aceleración que serán usados para el analisis time history. que se muestra en la siguiente Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Registro de aceleraciones sísmicas.

Estación	Escala	Fecha	Localización de Estación	Magnitud	Máxima aceleración (cm/s ²)	
					E-W	N-S
Universidad Jorge Basadre Grohmann	TAC001	05 mayo del 2010	Jorge Basadre Grohmann University	6.5 ML	-154.00	-190.00
UNICA	ICA002	15 agosto del 2007	San Luis Gonzaga University	7.0 ML	-272.82	333.66
UNAS	AQP001	07 julio del 2001	San Agustín University	6.5 MB	-123.21	-120.52

Fuente: Elaboración propia

*ML=Magnitud local

*MB=Magnitud de onda corporal

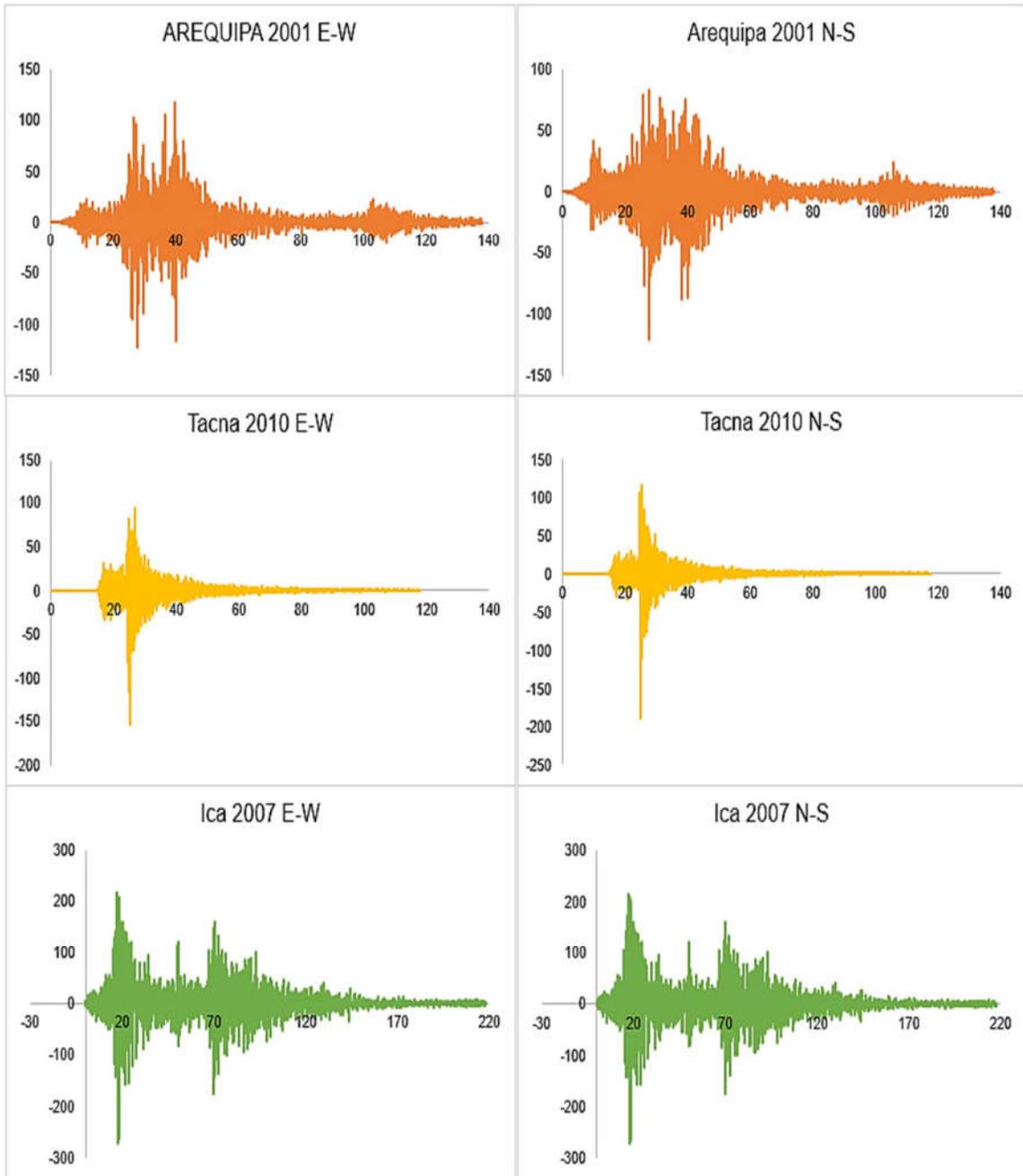


Figura 3.8 Registros de aceleración

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.4 Modelo matemático de la estructura del Hospital Hipólito Unanue

Se ingreso al software Etabs la propiedad de materiales una resistencia de concreto de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y una fluencia del acero de $Fy=4200 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 3.9 Cuadro de propiedades a utilizar en el modelo

	CONCRETO
Nombre del material	$F'c=210 \text{ kg/cm}^2$
Peso Específico	2400 kg/m^3
Módulo de elasticidad	$Ec = 15100 * \sqrt{210}$ $Ec = 218819.79 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de corte	$Gc = \frac{Ec}{2(y + 1)}$ $Gc=911748.75 \text{ tonf/m}^2$
Módulo de Poisson	0.2
	ACERO
Nombre del material	$F'y=4200 \text{ kg/cm}^2$
Peso Específico	7850 kg/m^3
Módulo de elasticidad	$21000000 \text{ Tonf/m}^2$

Fuente: Elaboración propia

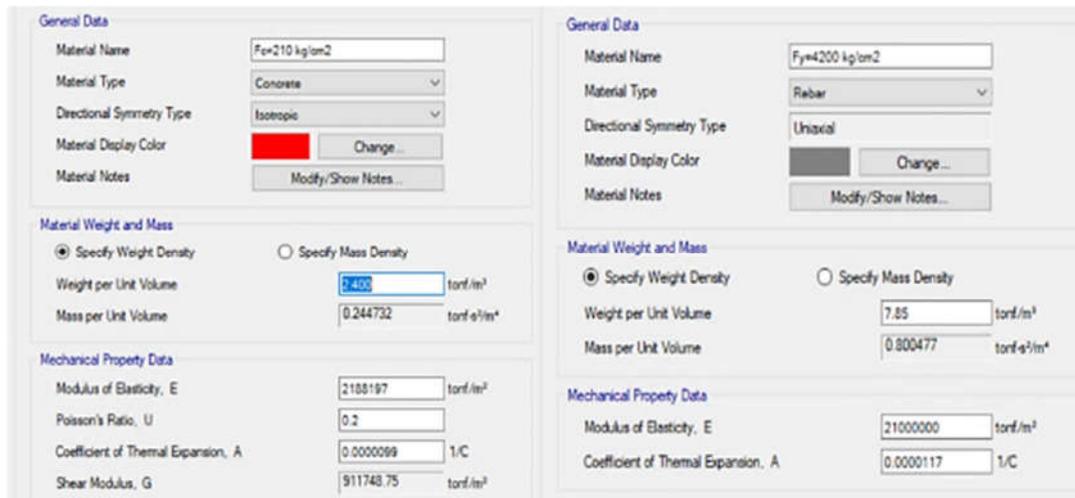


Figura 3.9 Definición de materiales

Fuente: Software de análisis y diseño Etabs

A continuación, se muestra en la Figura 3.10 el modelo matemático a diseñar una estructura de base fija.

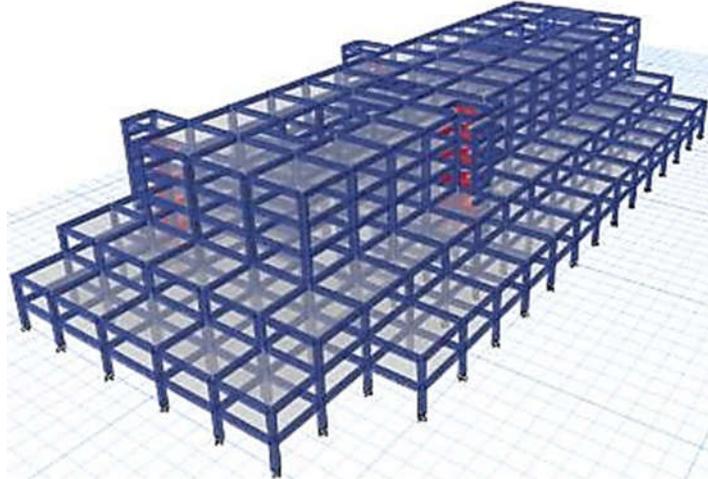


Figura 3.10 Modelo matemático de una estructura base fija
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3.11 se muestra el modelo matemático a diseñar la estructura con aisladores sísmicos también cabe recordar que se pone un piso técnico en el cual se pondrán los aisladores sísmicos, este piso técnico está conformado por vigas de V sys 40x90 cm² como se muestra en dicha figura.

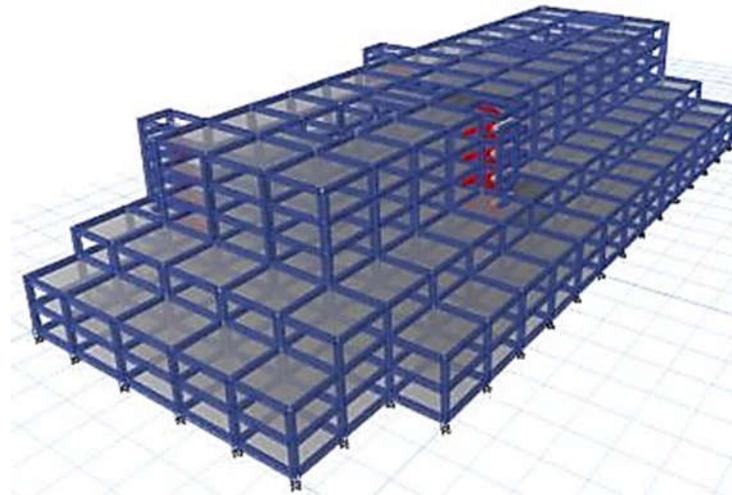


Figura 3.11 Modelo matemático para análisis con aisladores
Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño se tuvieron en los 2 primeros modos sean traslacionales y el 3er modo sea en rotación.

Para este diseño con aisladores se pusieron 115 aisladores en la base, estos aisladores están colocados en cada columna acompañado de vigas esto se encuentra en el piso técnico como se muestra en la figura 3.12.

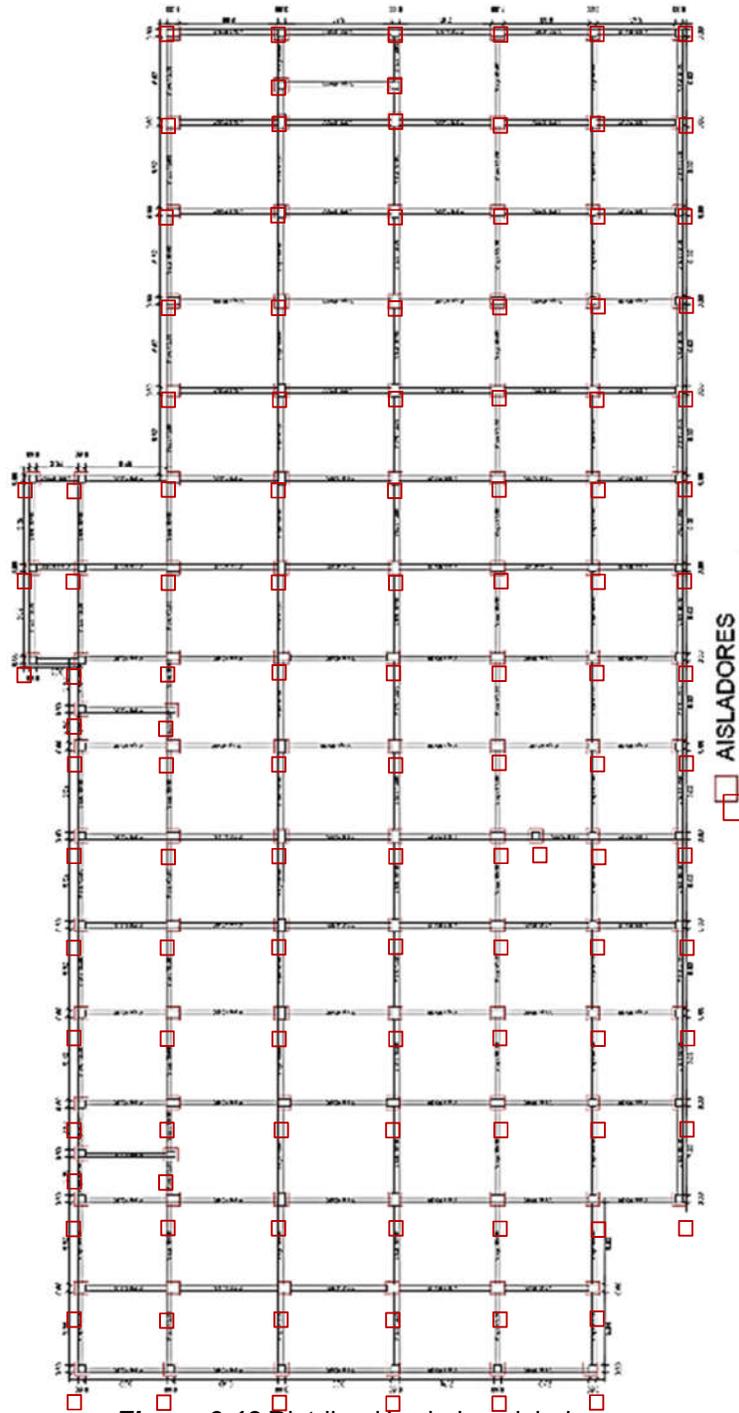


Figura 3.12 Distribución de los aisladores.

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Parámetros de rigidez y amortiguamiento

Se realizó un cálculo que se presenta en A 1. Diseño del aislador de caucho con núcleo de plomo. y A 2 Diseño del aislador de triple péndulo de fricción. Estos cálculos dan resultados que son ingresado al software Etabs. En las presentes figuras se muestran los parámetros de diseños de los aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) que están en la figura 3.13 y figura 3.14. También se muestra los parámetros del aislador de triple péndulo de fricción (TPF) y estas se muestran en la Figura 3.16 y Figura 3.17.

3.4.5.1 Parámetros para el aislador LRB

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	LRB
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	4215878.921 kN/m
Effective Damping	197.045 kN-s/m

Figura 3.13 Rigidez vertical U1 (Z) y Amortiguamiento efectivo
Fuente: Software de Etabs

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	LRB
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	1608.477 kN/m
Effective Damping	197.045 kN-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	14019.156 kN/m
Yield Strength	156.724 kN
Post Yield Stiffness Ratio	0.077

Figura 3.14 Rigidez y amortiguamiento para direcciones U2 (X) y U3 (Y)
Fuente: Software de Etabs

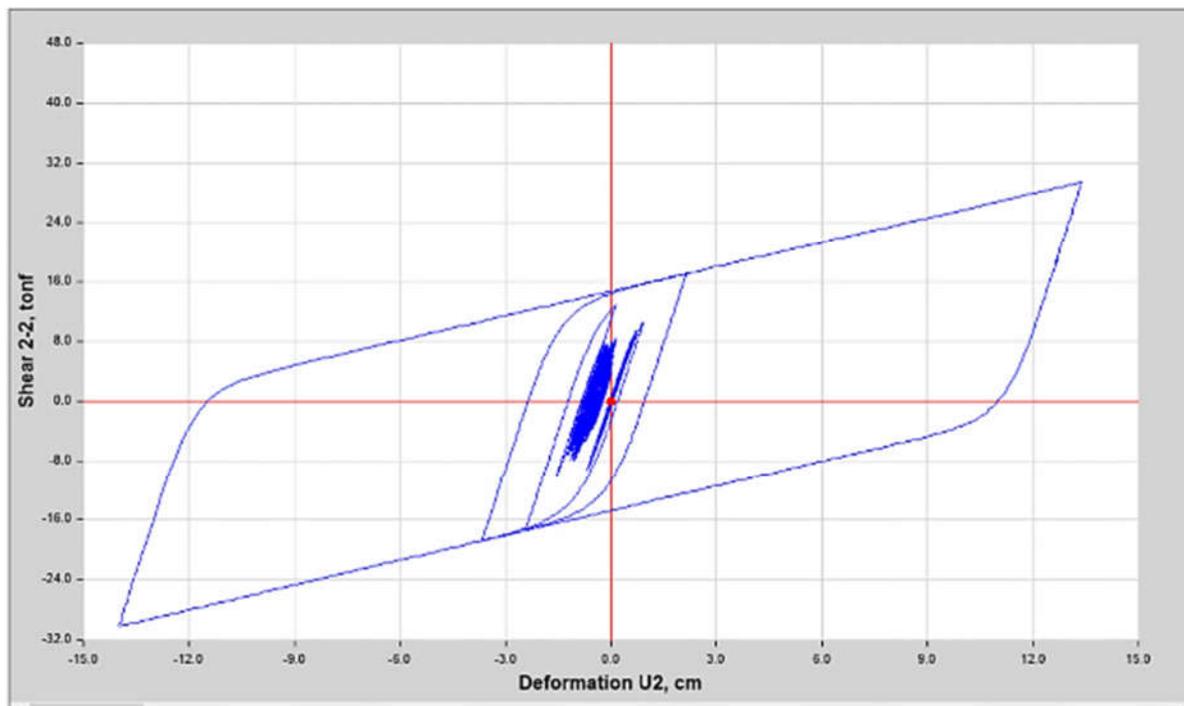


Figura 3.15 Curva histerética del aislador LRB
Fuente: Software de Etabs

3.4.5.2 Parámetros para el aislador TPF

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	FPT
Direction	U1
Type	Triple Pendulum Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	2473557.42 tonf/m
Effective Damping	27.1 tonf-s/m

Nonlinear Properties	
Stiffness	2473557.42 tonf/m
Damping Coefficient	27.1 tonf-s/m

Figura 3.16 Rigidez vertical U1 (Z) y Amortiguamiento efectivo - TPF
Fuente: Software de Etabs

Link/Support Directional Properties

Identification			
Property Name	FPT	Type	Triple Pendulum Isolator
Direction	U2; U3	NonLinear	Yes

Linear Properties			
Effective Stiffness - U2	191.804 tonf/m	Effective Stiffness -U3	191.804 tonf/m
Effective Damping - U2	27.1 tonf-s/m	Effective Damping -U3	27.1 tonf-s/m

Shear Deformation Location			
Distance from End-J - U2	0 m	Distance from End-J - U3	0 m

Height and Symmetry of Sliding Surfaces			
Height for Outer Surfaces	0 m	<input type="checkbox"/>	Outer Bottom Surface is Symmetric to Outer Top Surface
Height for Inner Surfaces	0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	Inner Bottom Surface is Symmetric to Inner Top Surface

Nonlinear Properties for Directions U2 and U3					
	Outer Top	Outer Bottom	Inner Top	Inner Bottom	
Stiffness	1630.033	1222.525	407.508	407.508	tonf/m
Friction Coefficient, Slow	0.03	0.06	0.02	0.02	
Friction Coefficient, Fast	0.16	0.12	0.04	0.04	
Rate Parameter	0	0	0	0	sec/m
Radius of Sliding Surface	2.121	2.121	0.216	0.216	m
Stop Distance	0.3392	0.3392	0.0259	0.0259	m

Figura 3.17 Rigidez y amortiguamiento para direcciones U2 (X) y U3 (Y) – TPF
Fuente: Software de Etabs

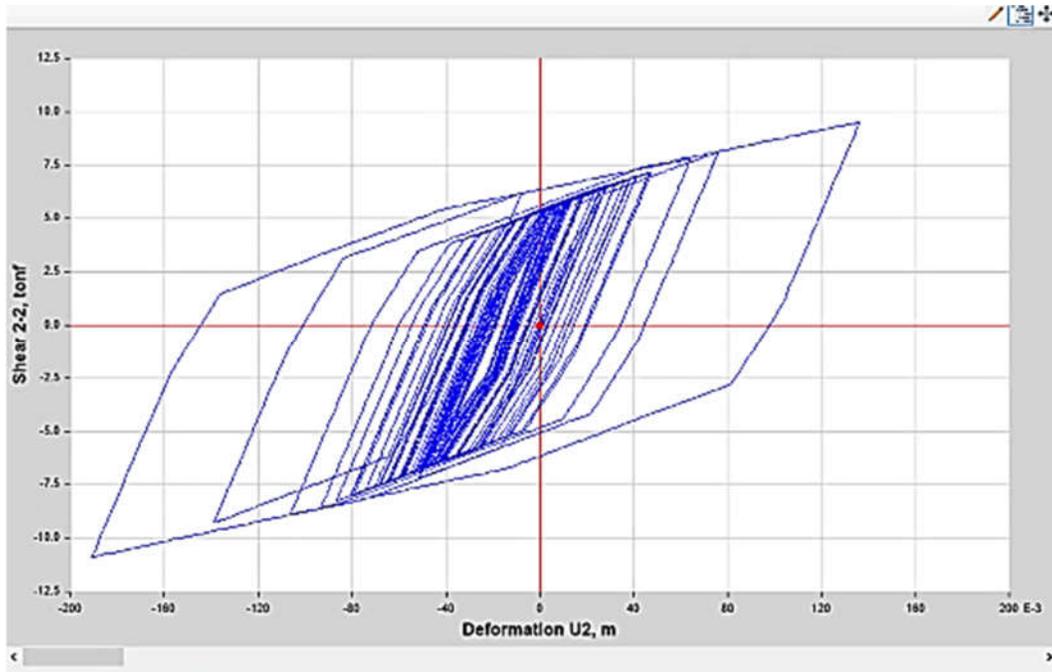


Figura 3.18 Curva histerética del aislador TPF
Fuente: Software de Etabs

3.4.6 Geometría de los aisladores sísmicos a diseñar

En la siguiente imagen se muestra los aisladores utilizados para este modelo matemático. Como se ve en la Figura 3.19 estos dos aisladores son los casos a utilizar para esta investigación.

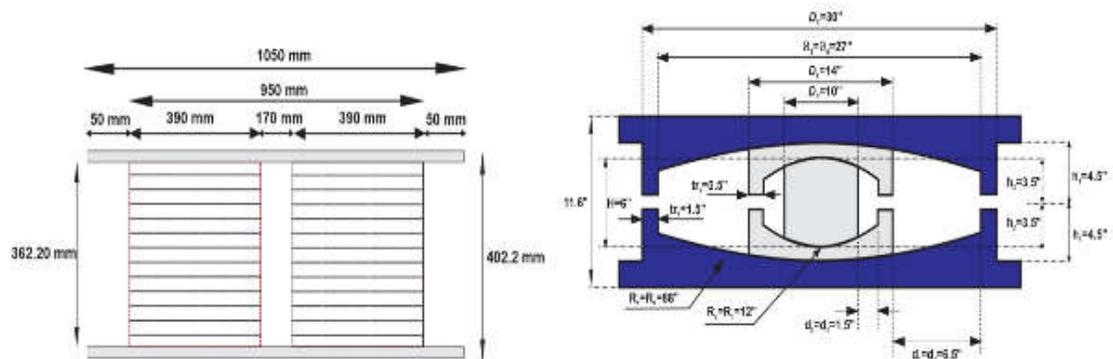


Figura 3.19 Dibujo de los aisladores de LRB y TPF
Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IV

Resultado y discusión

4.1 Presentación de resultados

Con la finalidad de poder determinar la efectividad de cada uno de los sistemas estructurales estudiados, se realiza el modelamiento de manera separada cada uno de los sistemas estructurales contemplados en esta investigación. En este sentido, el presente capítulo tiene tres partes específicas, siendo la primera, la correspondiente a las estructuras de base fija, la segunda sección se ocupará de las estructuras de base aislada usando aisladores de goma con núcleo de plomo (LRB), y finalmente, la última sección ocupará de la evaluación de las respuestas sísmicas de una estructura de base aislada, usando aislador triple péndulo de fricción (TPF).

4.2 Estructura de base fija

Como parte del programa planteado, en esta sección se muestran los periodos los cuales se obtuvieron al modelar la estructura de base fija la cual se ve en la figura 4.1.

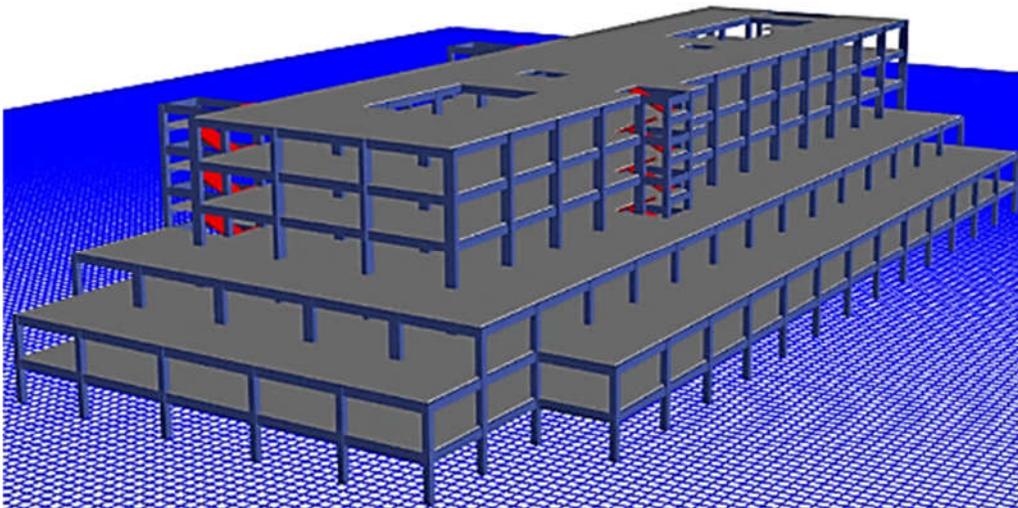


Figura 4.1. Modelo tridimensional de la estructura.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1 se ven los 3 primeros periodos de la estructura de base fija siendo el primer periodo 0.883 seg, el segundo periodo 0.827 seg y el tercer periodo 0.755 seg. También se puede ver que el primer modo es traslacional en Y, el segundo modo es traslacional en X y el tercer modo es rotacional en Z.

Tabla 4.1 Formas de modo, periodo y razones de participación en cada modo

Modo	Periodo (seg)	Ux	Uy	Uz	Sum Ux	Sum Uy	Sum Uz	Rx	Ry	Rz	Sum Rx	Sum Ry	Sum Rz
1	0.883	0.001	0.623	0.000	0.001	0.623	0.000	0.296	0.001	0.090	0.296	0.001	0.090
2	0.827	0.728	0.003	0.000	0.729	0.625	0.000	0.001	0.279	0.004	0.297	0.280	0.094
3	0.755	0.003	0.076	0.000	0.732	0.701	0.000	0.018	0.000	0.571	0.315	0.280	0.665

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Máximos desplazamientos

También se obtuvo resultados de máximos desplazamientos. Siendo en el nivel 6 el máximo desplazamiento de 0.1525 m en la dirección X. A su vez nos muestra resultados en la dirección Y la cuál como máximo desplazamiento tenemos en el nivel 6 el cual da un resultado de 0.1563 m. En la tabla 4.2 se ve el cuadro de estos desplazamientos.

Tabla 4.2 Máximos Desplazamientos

Nivel	SISMO X		SISMO Y	
	X-Dir (m)	Y-Dir (m)	X-Dir (m)	Y-Dir (m)
6	0.1525	0.0474	0.0463	0.1563
5	0.1379	0.0416	0.0419	0.1374
4	0.1134	0.0334	0.0345	0.1101
3	0.0828	0.0232	0.0251	0.0765
2	0.0515	0.0140	0.0157	0.0461
1	0.0211	0.0055	0.0064	0.0179

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2 y figura 4.3 se ve los desplazamientos máximos obtenidos, como se observa como máximo desplazamiento en X es de 0.1525m y el máximo desplazamiento en Y es de 0.1563m.

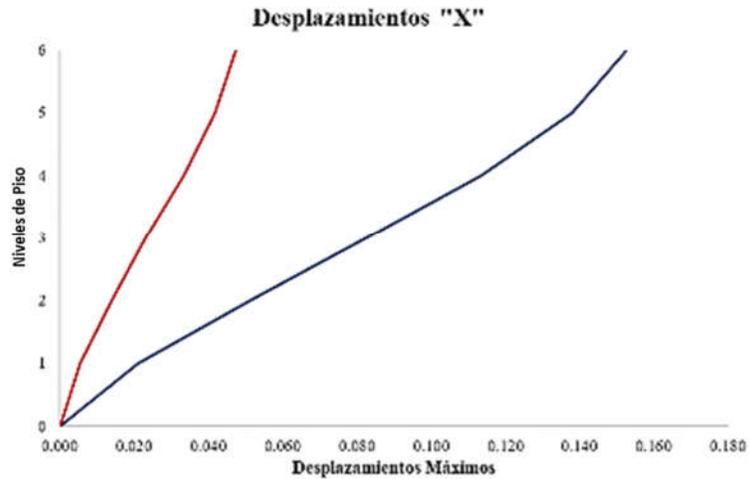


Figura 4.2 Máximos desplazamientos debido al sismo X
Fuente: Elaboración fuente propia

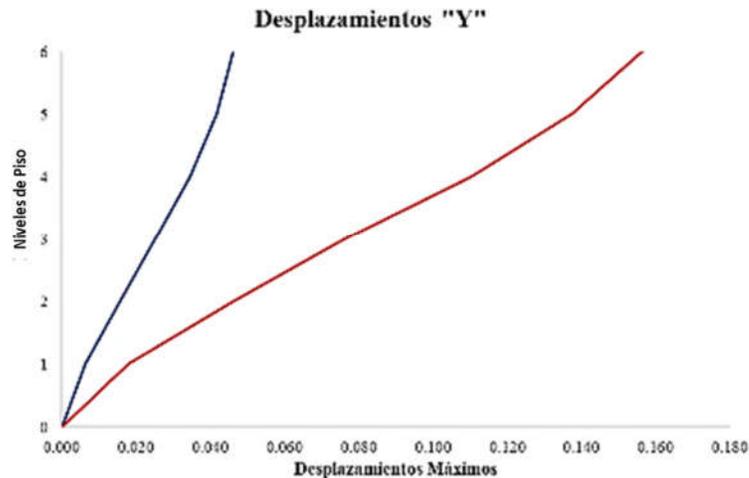


Figura 4.3 Máximos desplazamientos debido al sismo Y
Fuente: Elaboración fuente propia

4.2.2 Máximas distorsiones entre piso

También se tiene los resultados de máximas distorsiones de entrepiso, según el reglamento nacional de edificaciones E030 menciona que la máxima distorsión de entre piso es 0.007. Ahora veremos que en la tabla 4.3 tiene como máxima deriva en X es 0.0100 y la deriva en Y como máximo es de 0.0142. Estos resultados de la tabla 4.3 no cumplen lo que indica el reglamento nacional de edificaciones.

Tabla 4.3 Máximas distorsiones laterales

Nivel	SISMO X		SISMO Y	
	Drift X	Drift Y	Drift X	Drift Y
6	0.0054	0.0034	0.0024	0.0082
5	0.0085	0.0046	0.0036	0.0120
4	0.0100	0.0049	0.0041	0.0142
3	0.0095	0.0044	0.0039	0.0139
2	0.0092	0.0041	0.0039	0.0122
1	0.0062	0.0026	0.0025	0.0074

Fuente: Elaboración fuente propia

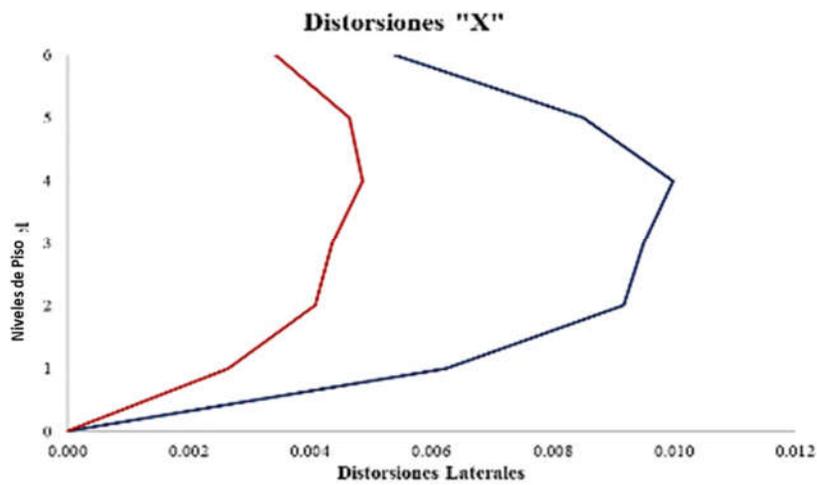


Figura 4.4 Máximas distorsiones en X
Fuente: Elaboración fuente propia

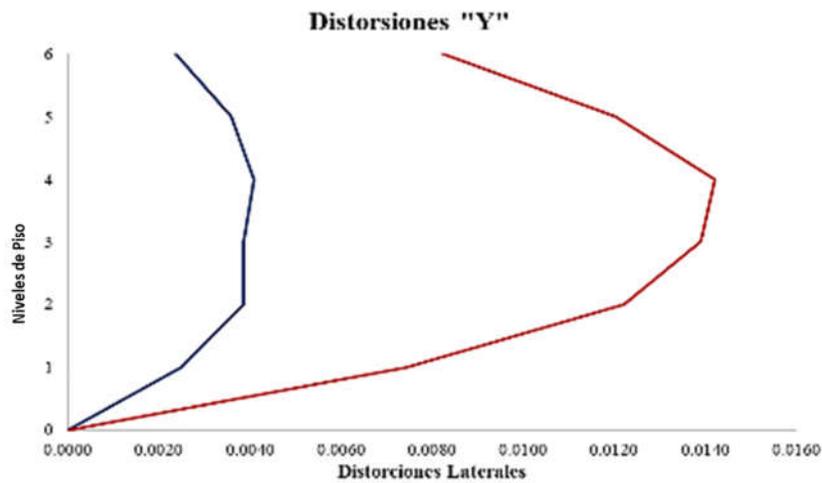


Figura 4.5 Máximas distorsiones en Y
Fuente: Elaboración fuente propia

En la figura 4.4 y figura 4.5 se muestran mejor los resultados de la tabla 4.3 esto es para poder verificar y dar como hecho que la estructura de base fija no cumple con el reglamento nacional de edificaciones. Que para este caso será hará el uso de sistemas de protección sísmica al ser una estructura de primordial importancia (A1).

4.2.3 Máximas fuerzas cortantes

Como se observa en la tabla 4.4 las fuerzas cortantes en la base, del modelo de base fija en X es de 2234.06 Tonf en el primer nivel y en la tabla 4.5 nos un resultado de fuerza cortante en dirección Y de 2020.380 Tonf.

Tabla 4.4 Fuerza Cortante "X"

Nivel	Altura (m)	Vx (tonf)	Vy (tonf)
6	21.00	540.56	168.69
5	17.50	992.70	286.92
4	14.00	1280.43	348.95
3	10.50	1595.70	420.66
2	7.00	1978.86	535.81
1	3.50	2234.06	617.57

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.5 Fuerza Cortante "Y"

Nivel	Altura (m)	Vx (tonf)	Vy (tonf)
6	21.00	166.18	545.74
5	17.50	304.22	932.00
4	14.00	389.66	1145.34
3	10.50	482.18	1389.30
2	7.00	600.65	1758.23
1	3.50	680.60	2020.38

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.6 y la figura 4.7 se ven gráficamente los resultados de la fuerza cortante en la base. Estas fuerzas nos sirven para saber con cuanto de carga llega a la base de la estructura.

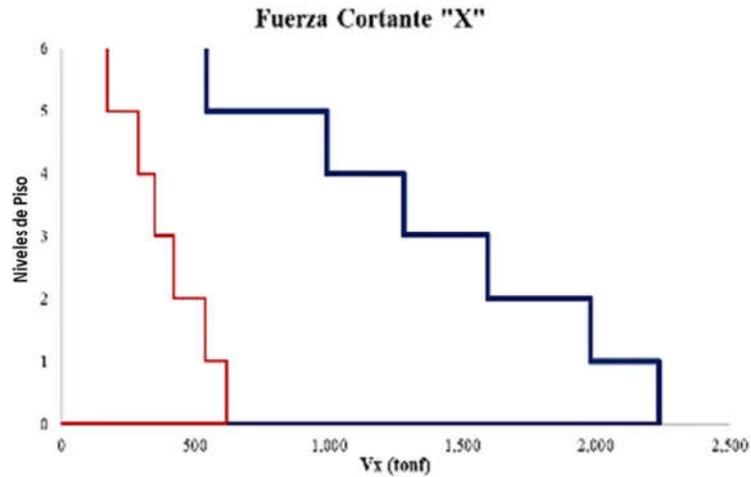


Figura 4.6 Fuerza Cortante X en la Base Fija
Fuente: Elaboración Propia

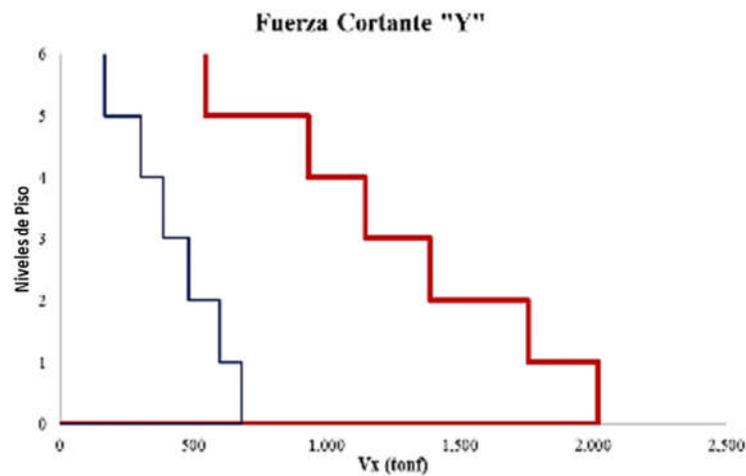


Figura 4.7 Fuerza Cortante Y en la Base Fija
Fuente: Elaboración Propia

4.2.4 Máximas aceleraciones

El resultado de la tabla 4.6 son las máximas aceleraciones en dirección X, la cual en el nivel 6 tenemos un valor de 2.433 m/s^2

Tabla 4.6 Máximas aceleraciones en el diafragma en X

Nivel	$U_x \text{ (m/s}^2\text{)}$	$U_y \text{ (m/s}^2\text{)}$	$U_z \text{ (m/s}^2\text{)}$
6	2.4333	1.0041	0.1640
5	1.7757	0.4968	0.1509
4	1.5323	0.4283	0.1264
3	1.5044	0.6604	0.0949
2	1.3965	0.6365	0.0697
1	1.0122	0.3559	0.0643

Fuente: Elaboración Propia

La figura 4.8 se ve la aceleración en la dirección X la cuál esta de color azul donde también se visualiza la forma que tendrá está.

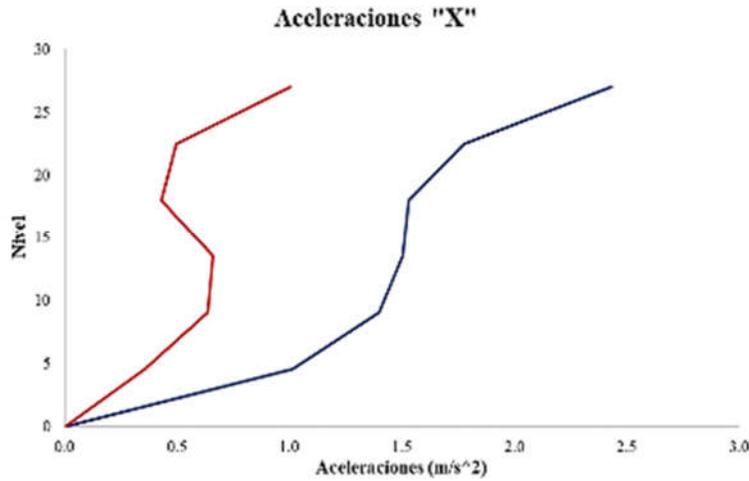


Figura 4.8 Gráfico de aceleraciones en diafragma X
Fuente: Elaboración Propia

En esta tabla 4.7 se tiene como máxima aceleración en la dirección Y de 2.7432 m/s² este resultado se muestra en el sexto nivel de la estructura.

La figura 4.9 muestra los resultados de la tabla 4.7, en esta figura se visualiza mejor la deformación de los niveles de la estructura, la dirección Y se ve de color rojo.

Tabla 4.7 Máximas aceleraciones en el diafragma en Y

Nivel	Ux (m/s ²)	Uy (m/s ²)	Uz (m/s ²)
6	0.5270	2.7432	0.3809
5	0.4252	1.9726	0.2844
4	0.3216	1.7200	0.2581
3	0.2880	1.6606	0.2046
2	0.2753	1.5121	0.1805
1	0.1615	1.0661	0.1651

Fuente: Elaboración Propia

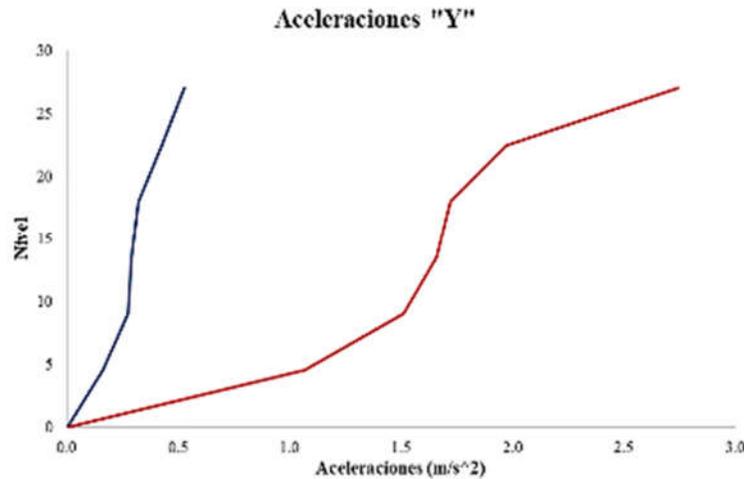


Figura 4.9 Gráfico de aceleraciones en diafragma Y
Fuente: Elaboración Propia

4.3 Estructura de base con aislador

4.3.1 Estructura aislada con el aislador de goma con núcleo de plomo (LRB)

4.3.1.1 Modos y periodos

Los modos y periodos se obtienen de acuerdo a un periodo objetivo planteado como diseño de este tipo de aislador. Como observamos en la tabla 4.8 teniendo el primer modo traslacional en Y el cual tiene un periodo de 2.675 seg. y el segundo periodo traslacional en X es de 2.653 seg. y el tercer periodo es rotacional obteniendo un resultado de 2.287 seg. Estos son los periodos y traslaciones de una estructura diseñada con el aislador LRB.

Tabla 4.8 Modos, formas y periodos del aislador LRB

Modo	Periodo (seg)	Ux	Uy	Uz	Sum Ux	Sum Uy	Sum Uz	Rx	Ry	Rz	Sum Rx	Sum Ry	Sum Rz
1	2.675	0.135	0.830	0.000	0.135	0.830	0.000	0.005	0.001	0.032	0.005	0.001	0.032
2	2.653	0.849	0.146	0.000	0.984	0.975	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.004	0.035
3	2.287	0.014	0.021	0.000	0.997	0.997	0.000	0.005	0.002	0.965	0.010	0.005	1.000

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2 Máximos desplazamientos

En esta tabla 4.9 se puede ver el resultado de los máximos desplazamientos analizados por los registros sísmicos ya mencionados (Tacna 2010, Arequipa 2001 y Ica 2007). En la dirección X con el registro sísmico de Arequipa tenemos un desplazamiento máximo de 16.8467 cm. En el caso de Ica se tiene un desplazamiento

máximo de 17.3292 cm esto ocurre en el sexto nivel, como último con el registro sísmico de Tacna se tiene un desplazamiento máximo de 17.4553 cm en su último nivel.

Esto se puede ver mejor en la figura 4.10 ya que, con estos tres registros sísmicos mencionados, se tiene como mayor desplazamiento con el registro sísmico de Tacna.

Tabla 4.9 Máximos desplazamientos en X (cm)

Nivel	Arequipa Sismo X (cm)	Ica Sismo X (cm)	Tacna Sismo X (cm)
6	16.8467	17.3292	17.4553
5	16.5915	17.0980	17.1477
4	16.1301	16.6747	16.5827
3	15.5071	16.0970	15.7901
2	14.8533	15.5141	14.8698
1	14.1697	14.8753	13.8943
Piso Técnico	13.5805	14.3181	13.4588
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración propia

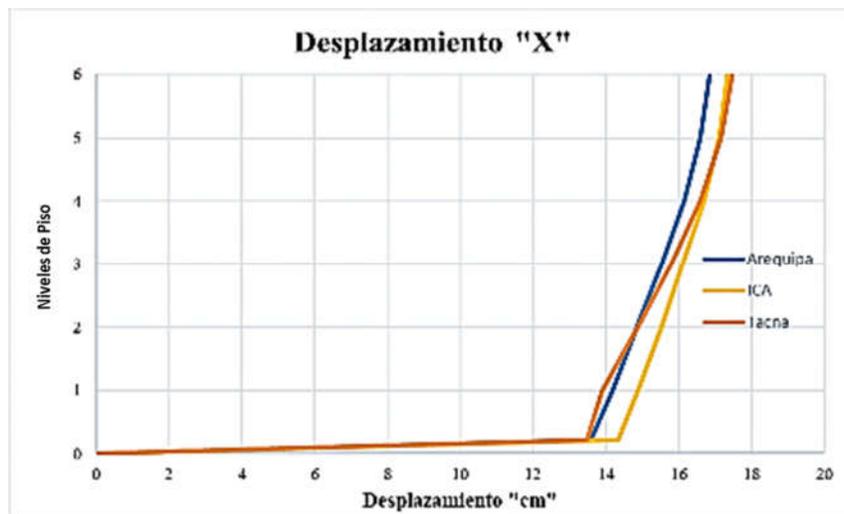


Figura 4.10 Gráficos de desplazamientos en X
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10 nos muestra los máximos desplazamientos en la dirección Y, también se puede decir que en Ica tenemos el máximo desplazamiento el cual es 64.5131 cm, siguiendo con Arequipa tenemos un valor de 16.9662 cm y con Tacna obtenemos un resultado de 13.5673 cm.

Tabla 4.10 Máximos desplazamientos en Y (cm)

Nivel	Arequipa Sismo Y (cm)	Ica Sismo Y (cm)	Tacna Sismo Y (cm)
6	16.9662	64.5131	13.5673
5	16.5815	63.8611	13.2558
4	15.9433	62.8280	12.7465
3	15.1514	61.4963	12.0656
2	14.3414	59.9960	11.5241
1	13.3808	58.4676	11.4359
Piso Técnico	12.4252	57.0643	11.4317
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.11 se ve que con el registro sísmico de Ica da un desplazamiento máximo, los otros dos registros son menores al de Ica.

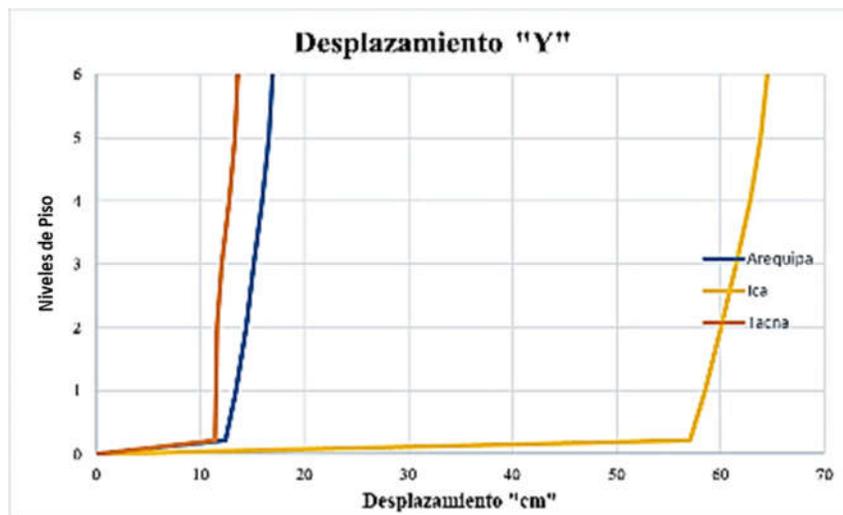


Figura 4.11 Gráficos de desplazamientos en Y

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3 Máximas distorsiones

Las máximas distorsiones de entre piso se da en el piso 1 y esto es con el sismo de Ica 2007 teniendo un resultado de 3.7/1000 este resultado es para dirección en X como se observa en la tabla 4.11. En la dirección Y se ve en la tabla 4.12 se tiene un resultado de 6.1/1000 siendo este sismo el más severo como se ve el registro sísmico en la figura 3.8.

Tabla 4.11 Máximas distorsiones X

Nivel	Arequipa Drift (X)	Ica Drift (X)	Tacna Drift (X)
6	0.0010	0.0011	0.0009
5	0.0018	0.0020	0.0016
4	0.0025	0.0027	0.0023
3	0.0029	0.0032	0.0027
2	0.0034	0.0037	0.0031
1	0.0034	0.0037	0.0031
Piso Técnico	0.1355	0.1426	0.1346
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia

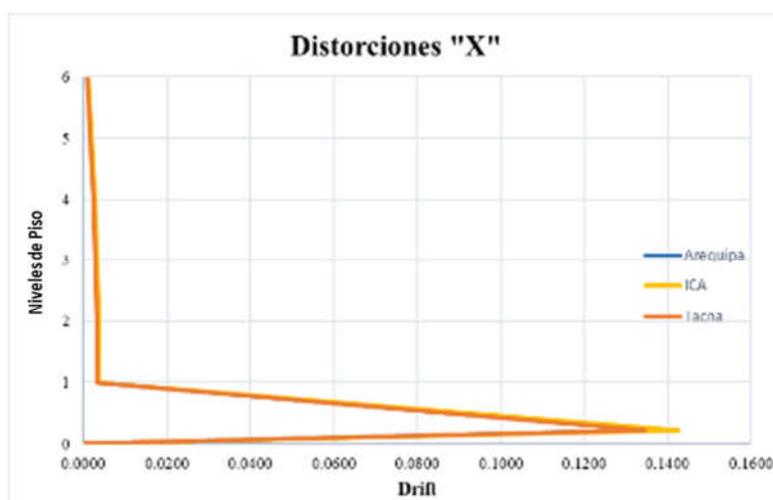


Figura 4.12 Gráficos de distorsiones de entrepiso

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.12 Máximas distorsiones Y

Nivel	Arequipa Drift (Y)	Ica Drift (Y)	Tacna Drift (Y)
6	0.0013	0.0023	0.0012
5	0.0021	0.0037	0.0020
4	0.0028	0.0049	0.0027
3	0.0033	0.0059	0.0032
2	0.0036	0.0063	0.0035
1	0.0035	0.0061	0.0034
Piso Técnico	0.1243	0.1143	0.1143
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia

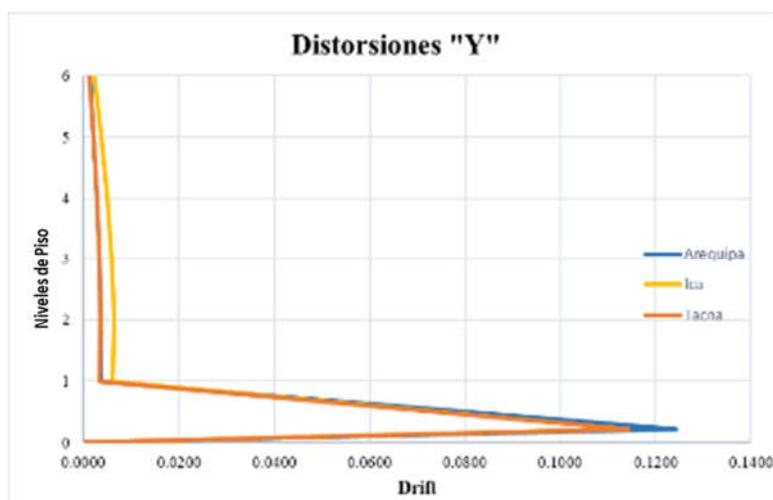


Figura 4.13 Gráficos de distorsiones de entrepiso

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.4 Máximas fuerzas cortantes en la base

Las fuerzas máximas obtenidas en la base se tendrían el piso técnico en donde se pondrá estos dispositivos. La fuerza máxima en X nos da con el sismo de Arequipa obteniendo una fuerza de 3802.72 Tonf y en la dirección Y nos da con el sismo de Ica obteniendo una fuerza en su base de 7205.37 Tonf. Todo esto nos muestra en la tabla 4.13 y tabla 4.14.

Tabla 4.13 Fuerzas Cortante con aislador LRB

	Arequipa	Ica	Tacna
	Fuerza X (Tonf)	Fuerza X (Tonf)	Fuerza X (Tonf)
BASE	3802.7202	3462.8051	3475.2265

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.14 Fuerzas Cortante con aislador LRB

	Arequipa	Ica	Tacna
	Fuerza Y (Tonf)	Fuerza Y (Tonf)	Fuerza Y (Tonf)
BASE	3796.5088	7208.3709	2870.2809

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.5 Máximas aceleraciones en los diafragmas

Las máximas aceleraciones en los sismo analizados por un tiempo historia nos da como resultado que en el departamento de Ica tenemos una máxima aceleración de 540.78 cm/s² en la dirección Ux esta aceleración se da en la base de la estructura con el aislador de goma con núcleo de plomo (LRB) y en la dirección Uy se tiene como resultado en el departamento de Arequipa como respuesta de 629.47 cm/s² eso se puede ver en la tabla 4.15 y tabla 4.16.

Tabla 4.15 Máximas aceleraciones en X

Nivel	Arequipa Ux (cm/s ²)	Ica Ux (cm/s ²)	Tacna Ux (cm/s ²)
6	352.8080	421.6850	232.9600
5	318.2220	359.7770	204.3390
4	255.4480	268.8550	154.4030
3	167.0360	156.2950	111.6410
2	126.9180	119.4320	113.8810
1	226.1100	299.2160	118.7560
Piso Técnico	406.1060	540.7840	176.0960
0	629.4690	524.3720	477.1910

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.16 Máximas aceleraciones en Y

Nivel	Arequipa Uy (cm/s ²)	Ica Uy (cm/s ²)	Tacna Uy (cm/s ²)
6	404.0490	413.6870	278.1950
5	342.7310	395.7080	232.6280
4	255.2210	364.7660	163.3130
3	172.3190	325.2090	106.5460
2	130.2520	279.8490	102.4040
1	288.3070	333.4990	135.2800
Piso Técnico	465.1300	401.6630	245.1690
0	629.4690	460.4150	390.4970

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.14 y figura 4.15 nos muestra que con el registro sísmico de Arequipa se tendrá un mayor resultado en la base.

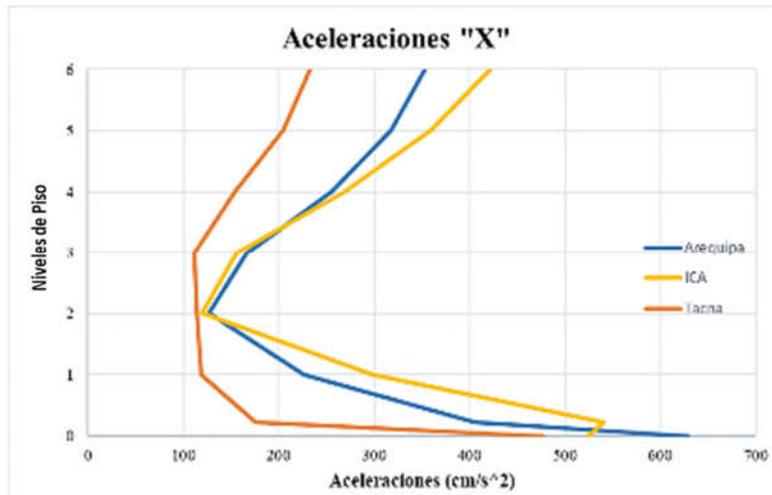


Figura 4.14 Gráfico de Máximas aceleraciones en X
Fuente: Elaboración Propia

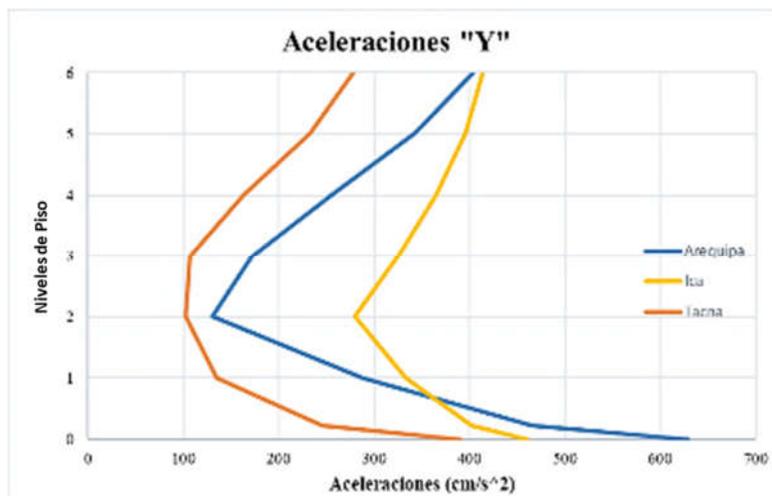


Figura 4.15 Gráfico de Máximas aceleraciones en Y
Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Estructura aislada con el aislador de triple péndulo de fricción (TPF)

4.3.2.1 Modos y periodos

En este caso con los aisladores de triple péndulo se tiene periodos de: el primer periodo es de 2.463 seg y su traslación es en Y, el segundo periodo es 2.446 seg, la traslación de este periodo es en X y el tercer periodo rotacional es de 2.113 seg.

Tabla 4.17 Modos, formas y periodos del aislador TPF

Modo	Periodo (seg)	Ux	Uy	Uz	Sum Ux	Sum Uy	Sum Uz	Rx	Ry	Rz	Sum Rx	Sum Ry	Sum Rz
1	2.463	0.213	0.747	0.000	0.213	0.747	0.000	0.005	0.001	0.036	0.005	0.001	0.036
2	2.446	0.770	0.226	0.000	0.983	0.974	0.000	0.001	0.003	0.001	0.005	0.004	0.037
3	2.113	0.014	0.023	0.000	0.997	0.996	0.000	0.005	0.002	0.963	0.010	0.006	1.000

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2 Máximos desplazamientos

Estos desplazamientos máximos obtenidos como resultado del modelo matemático del hospital Hipólito Unanue de Tacna, tiene un desplazamiento mayor con el sismo de Ica 2007 siendo este un desplazamiento de 20.96 cm. No solo se tiene en la dirección X sino también se tiene en la dirección Y, el cuál es el resultado de 27.72 cm, estos resultados están en la tabla 4.18 y tabla 4.19.

Tabla 4.18 Máximos desplazamientos en Y (cm)

Nivel	Arequipa Sismo X (cm)	Ica Sismo X (cm)	Tacna Sismo X (cm)
6	18.7982	20.9630	17.0106
5	18.6505	20.8061	16.8643
4	18.3737	20.5181	16.5907
3	17.9754	20.1040	16.1973
2	17.6059	19.6532	15.8116
1	17.0788	19.1085	15.2909
Piso Técnico	16.6814	18.6976	14.8987
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.19 Máximos desplazamientos en Y (cm)

Nivel	Arequipa Sismo Y (cm)	Ica Sismo Y (cm)	Tacna Sismo Y (cm)
6	20.7101	27.7176	14.4295
5	20.4018	27.4370	14.2364
4	19.9084	26.9789	13.9186
3	19.2697	26.3709	13.4971
2	18.5719	25.6462	12.9891
1	17.9805	24.9141	12.4674
Piso Técnico	17.5778	24.4280	12.1210
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.16 y figura 4.17 nos muestra desplazamientos máximos con el sismo de Ica 2007, tanto en ambas direcciones.

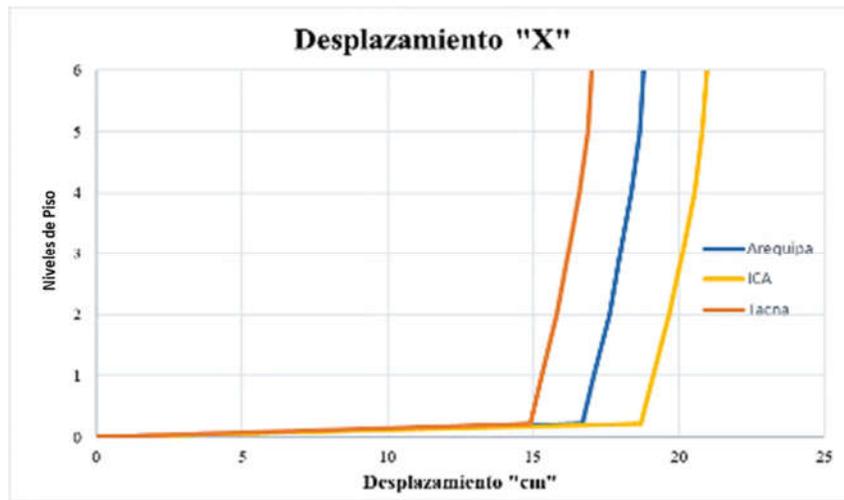


Figura 4.16 Gráficos de desplazamientos en X
Fuente: Elaboración propia

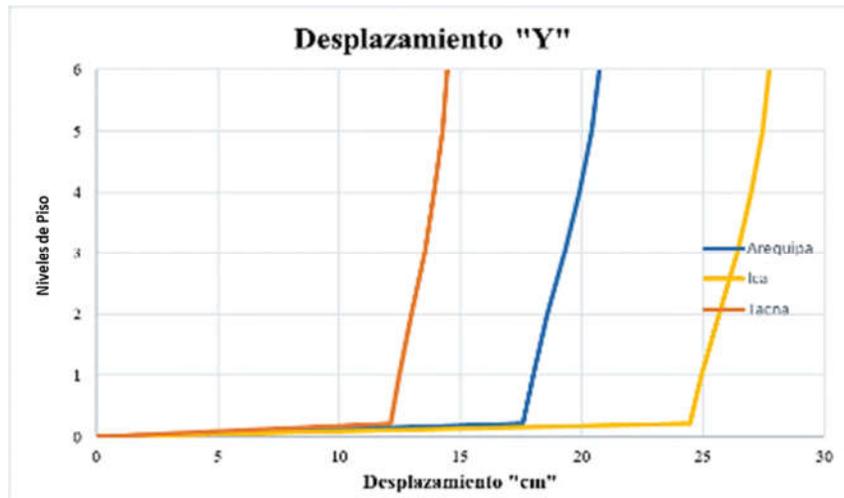


Figura 4.17 Gráficos de desplazamientos en Y
Fuente: Elaboración propia

4.3.2.3 Máximas distorsiones

Las máximas distorsiones obtenidas con este dispositivo son en X de 2/1000 esto sucede en el piso 2 de la superestructura, con el sismo de Ica 2007. Al verificar el resultado con las máximas distorsiones en el eje Y se tiene un resultado de 2.8/1000

esto ocurre con el sismo de Arequipa, estos resultados se ven en la tabla 4.20 y tabla 4.21.

Tabla 4.20 Máximas distorsiones laterales X

Nivel	Arequipa Drift (X)	Ica Drift (X)	Tacna Drift (X)
6	0.0005	0.0006	0.0005
5	0.0009	0.0011	0.0008
4	0.0013	0.0015	0.0012
3	0.0015	0.0018	0.0014
2	0.0017	0.0020	0.0015
1	0.0013	0.0015	0.0011
Piso Técnico	0.3315	0.3732	0.2963
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia

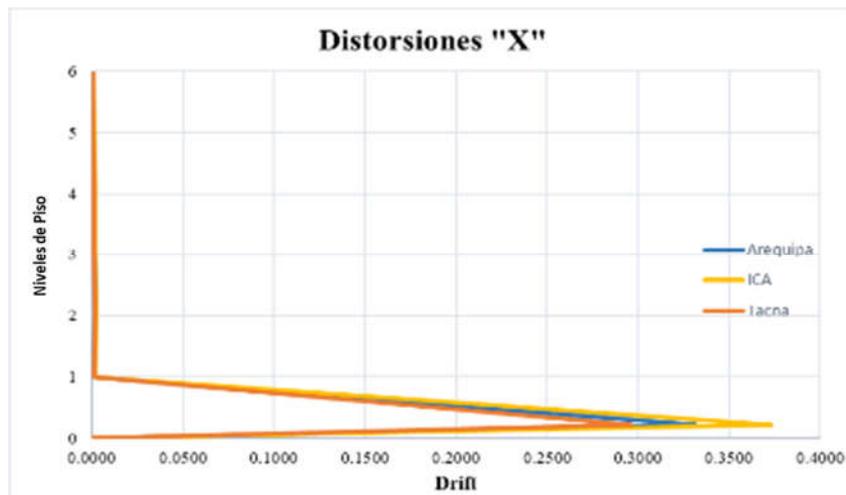


Figura 4.18 Gráfico de distorsiones en X

Fuente: Elaboración Propia

Como se ve en la figura 4.18 y figura 4.19 en la base del piso técnico se ve un desplazamiento mayor que es donde se colocará el aislador y absorberá la máxima energía, cuando ocurra un sismo.

Tabla 4.21 Máximas distorsiones laterales Y

Nivel	Arequipa Drift (Y)	Ica Drift (Y)	Tacna Drift (Y)
6	0.0011	0.0008	0.0006
5	0.0018	0.0014	0.0009
4	0.0024	0.0018	0.0012

3	0.0028	0.0022	0.0015
2	0.0028	0.0022	0.0015
1	0.0019	0.0015	0.0010
Piso Técnico	0.3516	0.4886	0.2424
0	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia

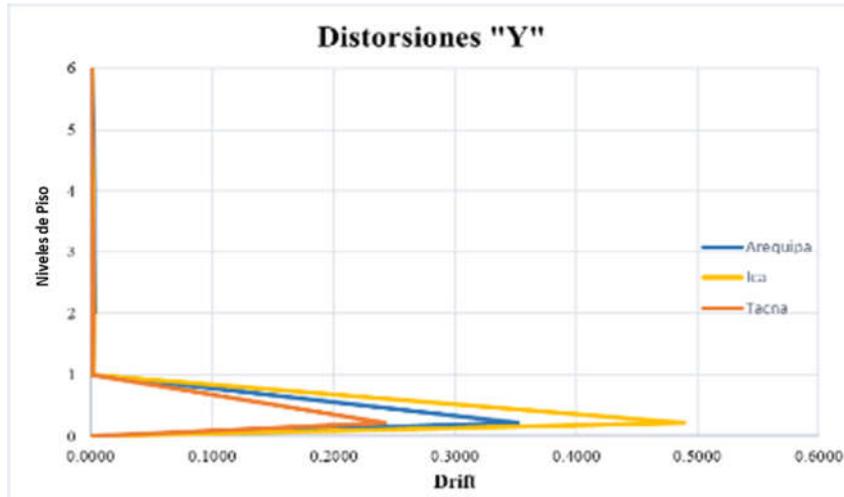


Figura 4.19 Gráfico de distorsiones en Y

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.4 Máximas fuerzas en la base

El resultado de las fuerzas en la base en dirección de X nos resulta con el sismo de Ica siendo de 3128.22 Tonf siendo esta la fuerza máxima de base obtenida.

En la dirección Y se tiene una fuerza en la base máxima de 3432.89 Tonf esta fuerza nos da con el registro sísmico del departamento de Ica.

Tabla 4.22 Fuerzas Cortante con aislador TPF en X

	Arequipa	Ica	Tacna
	Fuerza X (Tonf)	Fuerza X (Tonf)	Fuerza X (Tonf)
BASE	2986.3639	3128.2219	3248.4892

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.23 Fuerzas Cortante con aislador TPF en Y

	Arequipa	Ica	Tacna
	Fuerza Y (Tonf)	Fuerza Y (Tonf)	Fuerza Y (Tonf)
BASE	2892.9902	3432.8923	2545.4911

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.5 Máximas aceleraciones en los diafragmas

La máxima aceleración obtenida con los registros sísmicos utilizados nos da el resultado como aceleración máxima de 629.47 cm/s² esto nos da resultado en la base de la estructura diseñada con el aislador de triple péndulo de fricción, también se obtiene resultado en la dirección Y como aceleración máxima de 419.82 cm/s² este resultado nos da con el registro sísmico de Arequipa. Estos resultados los vemos en la tabla 4.24 y tabla 4.25.

Tabla 4.24 Máximas aceleraciones en X

Nivel	Arequipa Ux (cm/s ²)	Ica Ux (cm/s ²)	Tacna Ux (cm/s ²)
6	175.1510	158.0260	143.6940
5	153.4280	145.9460	136.4440
4	121.7430	125.6010	123.4790
3	106.5710	111.2060	108.8140
2	102.5300	102.4800	109.0430
1	115.2690	109.1310	114.3940
Piso Técnico	143.5210	121.1780	118.4750
0	629.4690	524.3720	477.1910

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.25 Máximas aceleraciones en Y

Nivel	Arequipa Uy (cm/s ²)	Ica Uy (cm/s ²)	Tacna Uy (cm/s ²)
6	155.6430	109.3720	108.1050
5	144.7160	107.0650	105.3540
4	122.2850	113.8510	100.6970
3	105.7120	111.2040	93.3050
2	102.1570	116.1240	87.5450
1	111.8960	124.3510	79.7610
Piso Técnico	119.7770	121.9480	75.6240
0	419.8160	365.8850	390.4970

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.20 y figura 4.21 muestra un resultado mayor con el registro sísmico de Arequipa el cual está en la imagen de color azul.

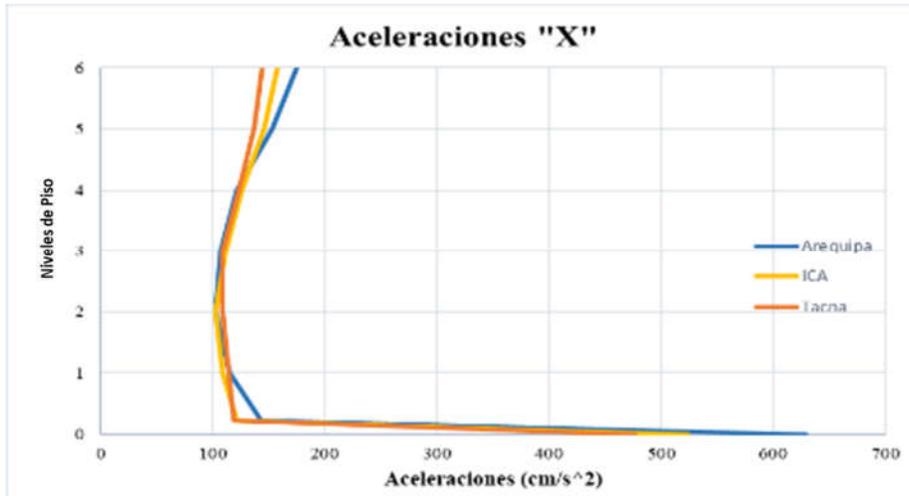


Figura 4.20 Gráfico de máximas aceleraciones en X
Fuente: Elaboración Propia

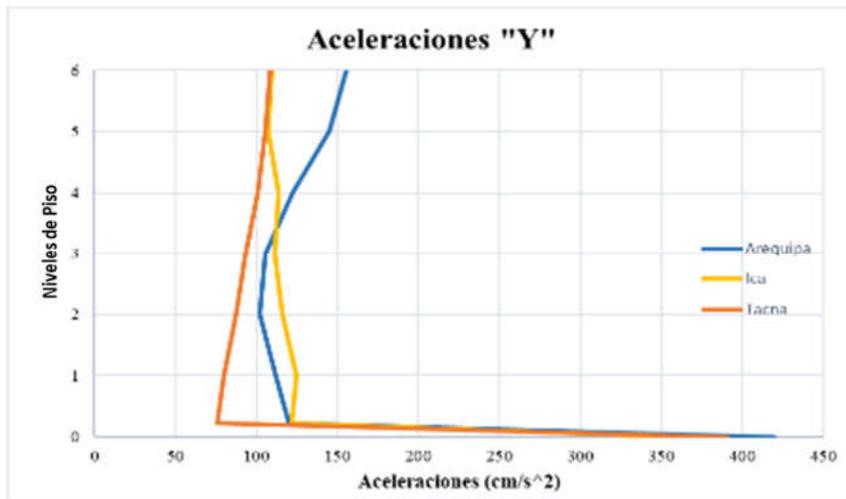


Figura 4.21 Gráfico de máximas aceleraciones en Y
Fuente: Elaboración Propia

4.4 Comparación de la respuesta sísmica

Luego de realizar los ensayos con el software Etabs y presentar los resultados, se hace el comparativo de los tres casos: sistema de base fija, sistema de con aislamiento goma con núcleo de plomo (**LRB**) y triple péndulo de fricción (**TPF**). Según el “Proyecto de aislamiento sísmico” (E-031) 2018 en el artículo 23 menciona que la máxima deriva en la estructura por encima del nivel de base no debe exceder de 0.0035. Hazus (2015) dice que las distorsiones máximas de un edificio mediano (C2M) es de 0.0033, también hace mención que la aceleración máxima es de 0.25g.

4.4.1 Máximos desplazamientos

En la tabla 4.26 se ven los máximos desplazamientos de los tres casos de investigación. En la base fija no se tiene un desplazamiento en su base, como es el caso de los dispositivos de aislamiento sísmico. El dispositivo LRB tiene un desplazamiento en su base, esta base viene a ser el piso técnico puesto en el modelo matemático ensayado. Este dispositivo tiene un desplazamiento en X de 13.46 cm y en su dirección Y es 14.90 cm. En cuanto al otro aislador TPF tienen desplazamientos en X de 14.90cm y en Y de 12.12cm.

Tabla 4.26 Máximos desplazamientos para los tres casos de investigación

Nivel	Base Fija	Base Fija	LRB	LRB	TPF	TPF
	Sismo X (cm)	Sismo Y (cm)	Sismo X (cm)	Sismo Y (cm)	Sismo X (cm)	Sismo Y (cm)
6	15.2513	15.6284	17.4553	13.5673	17.0106	14.4295
5	13.7862	13.7365	17.1477	13.2558	16.8643	14.2364
4	11.3397	11.0088	16.5827	12.7465	16.5907	13.9186
3	8.2757	7.6478	15.7901	12.0656	16.1973	13.4971
2	5.1530	4.6063	14.8698	11.5241	15.8116	12.9891
1	2.1077	1.7885	13.8943	11.4359	15.2909	12.4674
Piso Técnico	-	-	13.4588	11.4317	14.8987	12.1210
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Elaboración: Fuente Propia

4.4.2 Máximas distorsiones

Las máximas distorsiones de los tres casos se ven la tabla 4.27, viendo la figura 4.22 se muestra el límite de las distorsiones máximas según el reglamento nacional de edificaciones E030 la cual menciona que la distorsión máxima es 0.007.

El modelo de base fija no logra cumplir sus distorsiones porque tenemos distorsiones máximas en la dirección X de 0.010 y en la dirección Y obtenemos valores máximos de 0.014. En el caso de los aislamientos tenemos que cumplir derivas máximas de 0.0035 que esto lo indica en el proyecto de aislamiento E031. El dispositivo LRB nos muestra resultados de 0.0031 en la dirección X, esta respuesta cumple con los indica el proyecto de aislamiento sísmico(E031). En la dirección Y tenemos una distorsión máxima de 0.0035.

Con el dispositivo de TPF las distorsiones máximas en X y Y, se tienen como respuesta de 0.0015 está da en el nivel del piso 2 y 0.0015 que da resultado en los niveles del piso 2 y piso 3. El aislador de triple péndulo de fricción (TPF) tiene un mejor comportamiento para este modelo matemático.

También al verificar con lo que hace mención HAZUS el aislador TPF cumple con las distorsiones máximas, que como máxima distorsión dice que es de 0.0033.

Tabla 4.27 Máximas distorsiones para los tres casos de investigación

Nivel	Base Fija	Base Fija	LRB	LRB	TPF	TPF
	Drift (X)	Drift (Y)	Drift (X)	Drift (Y)	Drift (X)	Drift (Y)
6	0.0054	0.0082	0.0009	0.0012	0.0005	0.0006
5	0.0085	0.0120	0.0016	0.0020	0.0008	0.0009
4	0.0100	0.0142	0.0023	0.0027	0.0012	0.0012
3	0.0095	0.0139	0.0027	0.0032	0.0014	0.0015
2	0.0092	0.0122	0.0031	0.0035	0.0015	0.0015
1	0.0062	0.0074	0.0031	0.0034	0.0011	0.0010
Piso Técnico	0.0000	0.0000	0.1346	0.1143	0.2963	0.2424
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Elaboración: Fuente Propia

En la figura 4.22 y figura 4.23 se logra ver mejor los resultados de la tabla 4.27, como vemos el límite de la norma e030 el cual es 0.007 no cumple el sistema de estructura de base fija. Con los casos de aisladores tanto el aislador LRB y aislador TPF cumple con lo que hace mención la norma límite e031. Sólo en la dirección Y nos con el aislador LRB nos da un resultado límite.

Según Hazus (2015), con los aisladores deberíamos tener resultados menores a 0.0033 esto no ocurre con el aislador LRB en dirección Y y en dirección X cumple porque se tiene un resultado de 0.0031. En el caso del aislador TPF se tiene un resultado favorable ya que en ambas direcciones las distorsiones máximas son de 0.0015.

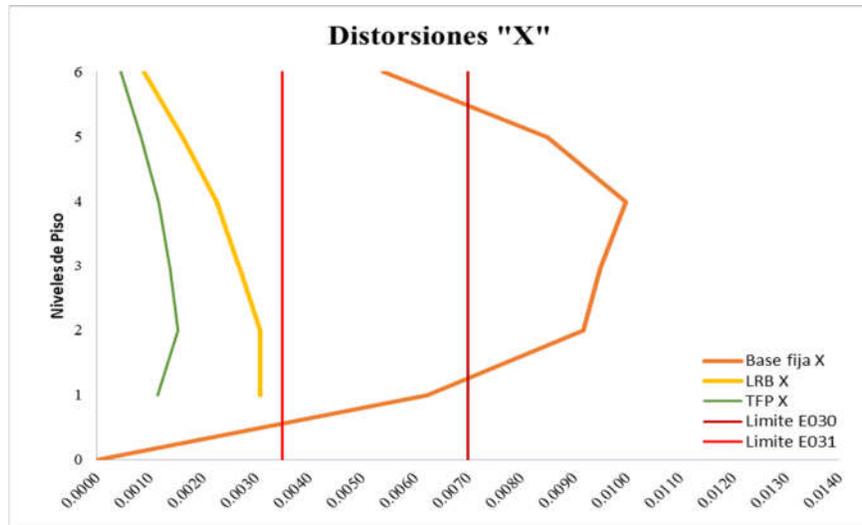


Figura 4.22 Distorsión en X de los tres casos de la investigación
Fuente: Propia

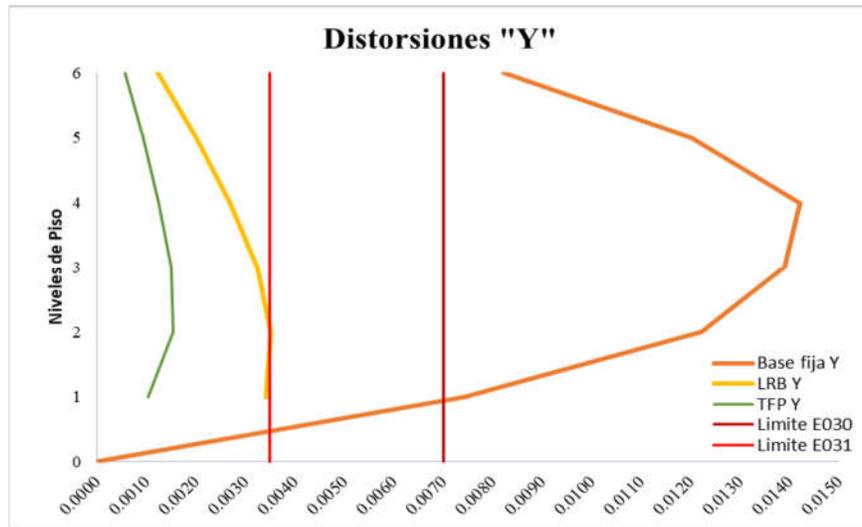


Figura 4.23 Distorsión en Y de los tres casos de la investigación
Fuente: Propia

4.4.3 Máximas fuerzas cortantes en la base

Tabla 4.28 Máximas fuerzas cortantes en la base para los tres casos de investigación

	Base Fija Fuerza X (Tonf)	Base Fija Fuerza Y (Tonf)	LRB Fuerza X (Tonf)	LRB Fuerza Y (Tonf)	TPF Fuerza X (Tonf)	TPF Fuerza Y (Tonf)
BASE	2234.06	2020.38	3475.23	2870.28	3248.49	2545.49

Elaboración: Fuente Propia

En la tabla 4.28 se tiene el resultado de las fuerzas cortantes máximas para los casos de los aisladores. La estructura de base fija al utilizar el aislador LRB sufre un incremento en la fuerza cortante el cual da un 56% más que la base fija. En el caso del aislador de triple péndulo fricción se tiene un 45% más que la base empotrada, estos resultados se tienen en la fuerza cortante en X. En su dirección Y haciendo el comparativo se tiene con el aislador LRB un incremento de 42% y en el caso de triple péndulo se tiene un incremento de 26% con la estructura base fija.

En la figura 4.24 tenemos una fuerza cortante en X con el aislador LRB de 3475.23 tonf el cuál es mayor que la estructura de base fija que es de 2234.06 tonf. El aislador de triple péndulo de fricción (TPF) tiene un valor intermedio que resulta el 145% más que la estructura de base fija y el aislador LRB.

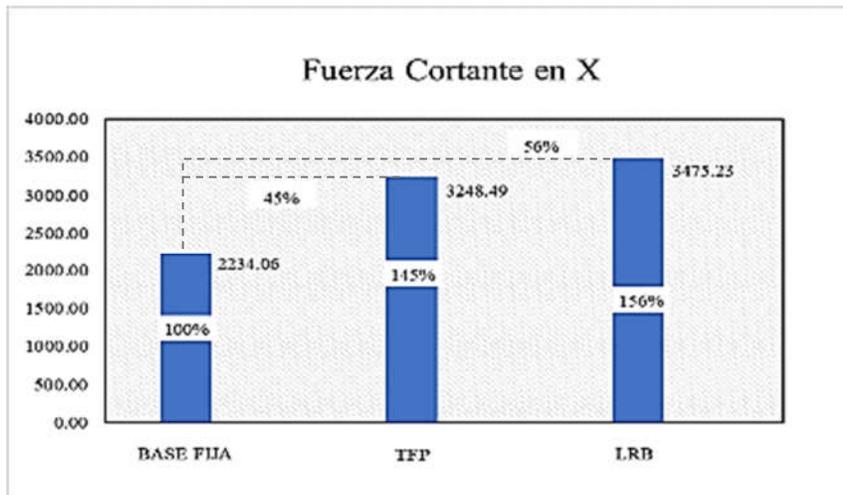


Figura 4.24 Incremento de fuerza cortante en X
Fuente: Elaboración Propia

En la dirección Y la fuerza cortante máxima es de 2870.28 tonf esto se da con el aislador LRB. Como fuerza cortante media tenemos al aislador TPF el cuál es de 2545.49 tonf, en el caso de la estructura de base fija la fuerza cortante máxima es de 2020.38 tonf.

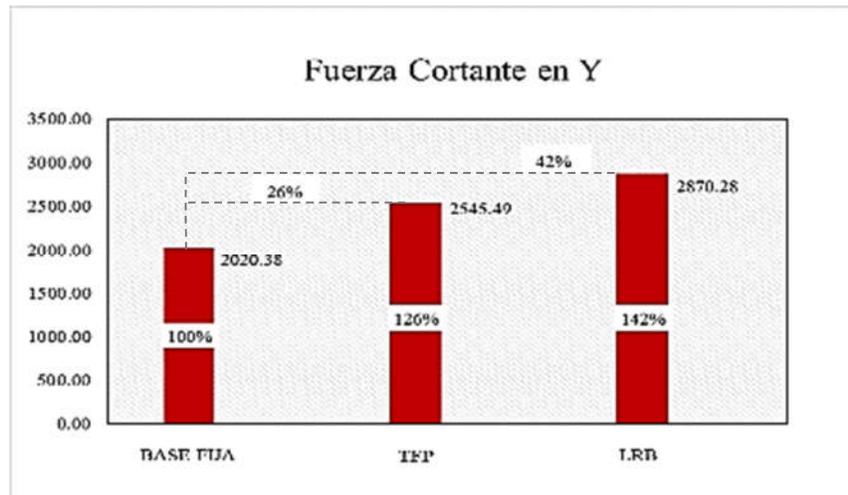


Figura 4.25 Incremento de fuerza cortante en Y

Fuente: Elaboración Propia

4.4.4 Máximas aceleraciones

En la tabla 4.29 se muestran los valores de las aceleraciones máximas en la estructura tanto de base fija, con aislador LRB y aislador TPF.

La norma Hazus (2015) hace mención que para estos dispositivos se tendrá valores inferiores a $0.25g = 245.25 \text{ cm/s}^2$. Como verificamos en el caso de base fija se tiene un resultado superior a $0.25g$ y para los aisladores LRB y TPF se tuvieron valores inferiores a $0.25g$

También vemos los valores de los aisladores de triple péndulo de fricción en dirección U_x es de 143.69 cm/s^2 y en la dirección U_y 108.11 cm/s^2 estos resultados son del sexto nivel. Como vemos en la base donde se ponen los aisladores se tiene una aceleración máxima de 118 cm/s^2 en la dirección X y en la dirección Y se tiene un valor valor de 75.62 cm/s^2 . En el caso del aislador de goma con núcleo de plomo (LRB) se tiene resultados máximos de 232.96 cm/s^2 este resultado es en la dirección X, en la dirección Y nos da un resultado de aceleración máxima de 278.20 cm/s^2 .

Por lo tanto, con el aislador TPF da un mejor comportamiento.

Tabla 4.29 Máximas aceleraciones para los tres casos de investigación

Nivel	Base Fija Ux (cm/s²)	Base Fija Uy (cm/s²)	LRB Ux (cm/s²)	LRB Uy (cm/s²)	TPF Ux (cm/s²)	TPF Uy (cm/s²)
6	243.3300	274.3200	232.9600	278.1950	143.6940	108.1050
5	177.5700	197.2600	204.3390	232.6280	136.4440	105.3540
4	153.2300	172.0000	154.4030	163.3130	123.4790	100.6970
3	150.4400	166.0600	111.6410	106.5460	108.8140	93.3050
2	139.6500	151.2100	113.8810	102.4040	109.0430	87.5450
1	101.2200	106.6100	118.7560	135.2800	114.3940	79.7610
Piso Técnico	0.0000	0.0000	176.0960	245.1690	118.4750	75.6240
0	0.0000	0.0000	477.1910	390.4970	477.1910	390.4970

Elaboración: Fuente Propia

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

La respuesta sísmica de la estructura de base fija: las distorsiones de entrepiso que se tiene fueron valores mayores a lo que nos indica el Reglamento Nacional de Edificaciones (norma E030), este hace mención que debemos tener valores inferiores a 0.007. La distorsión en dirección X es 0.010 y en Y de 0.014. La fuerza cortante en la base del sistema de estructura de base fija fue menor que los dispositivos con aislamiento sísmico el cual da como resultado de 2234.06 tonf en dirección X y en la otra dirección nos da un resultado de 2020.38 tonf. También se tuvo valores de máximos desplazamientos de 15.25 cm en sismo en X y el desplazamiento máximo que se obtuvo con el sismo Y fue de 15.62 cm. Por lo tanto, la respuesta sísmica con este sistema no cumple con lo que indica el reglamento, al no cumplir las distorsiones, porque tenemos resultados superiores a 0.007.

La respuesta sísmica con el aislador LRB: en este caso de sistema de protección sísmica se tuvieron distorsiones menores 0.0035 lo que indica el proyecto de aislamiento (E031). La distorsión máxima obtenida en la dirección X fue de 0.0031, mientras que en su dirección Y fue de 0.0035. Según Hazus (2015) dice que la distorsión máxima es de 0.0033. A lo que indica Hazus (2015) no cumple la distorsión en la dirección Y. La aceleración según Hazus (2015) nos dice que tendremos valores menores a 0.25g. Esto si cumple con la estructura con aislador LRB porque tenemos valores menores a 245.25 cm/s². La fuerza cortante en su base tiene un incremento en 56% más que la estructura de base fija en dirección X y en la dirección Y tiene un incremento de 42% más que la estructura de base fija. Los desplazamientos máximos con el sismo en X son de 17.45cm y con el sismo en Y es de 13.57cm. Por lo tanto, como verificamos distorsiones inferiores a 0.0035 según el proyecto de aislamiento sísmico, llegamos a la conclusión de que la respuesta sísmica con este dispositivo cumple con lo que indica la norma de aislamiento sísmico.

La respuesta sísmica con el aislador TPF: se tiene distorsiones máximas de 0.0015 en ambas direcciones. Las aceleraciones máximas son inferiores a 0.25g. La

fuerza cortante en dirección X es de 3248.49 tonf y en la dirección Y es de 2545.49 tonf. Por lo tanto, las distorsiones cumplen con lo que dice el proyecto de aislamiento, también cumple con lo que indica Hazus (2015). Con esto se llega a la conclusión que se tiene una mejor respuesta sísmica con este dispositivo.

Al comparar los tres casos se concluye que con el aislador de triple péndulo de fricción TPF se la respuesta sísmica más óptima.

5.2 Recomendaciones

El diseño de una estructura siempre debe considerar el comportamiento sísmico esperado o deseado, en función del uso de la estructura analizada. En el caso concreto de hospitales es imprescindible que esas estructuras funcionen adecuadamente, tanto durante el sismo, como después del sismo. Este hecho hace que el uso de sistemas de protección sísmica, específicamente aisladores sísmicos, sea un componente fundamental en el diseño y construcción de estas estructuras. Al ser estructuras de factor de uso importante A1.

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tesis, tanto los aisladores de goma (LRB) como los aisladores de triple péndulo de fricción (TPF) logran un desempeño sísmico adecuado en el caso de hospitales, por lo que se recomienda usar el que arroje menores costos de instalación y mantenimiento.

En el momento de diseñar se debe verificar las variaciones de las propiedades de los aisladores tanto como el envejecimiento, corrosión, desgastes, etc.

Al realizar el modelamiento de estos sistemas, se tiene que coincidir el centro de masa con el centro de rigidez de la estructura.

Bibliografía

- Dávila Pablo O., & Pérez Malpartida A. (2013). Influencia del agrietamiento en la respuesta sísmica de edificios peruanos de muros de concreto armado. Lima: PUCP.
- Daniel M. Fenz, & Michael C. Constantinou (2015). Modeling Triple Friction Pendulum Bearings for Response-History Analysis. New York: Earthquake Engineering Practice.
- Hernández Morales, H. (2016). Comportamiento sísmico de edificios aislados en la base en distintas etapas del proceso constructivo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería: UNI.
- Hernandez Morales, & Fernandez-Davila, V. (2015). Análisis estructural de un edificio aislado sísmicamente y de su sistema de aislamiento. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería: UNI.
- Marshall Kelly, James. (2012). Earthquake-Resistant Design with Rubber. London: Springer.
- Korswagen Eguren, Arias Ricse & Huaranga Huamaní (2012). Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú: PUCP.
- Kumar Manish, Whittaker Andrew & Constantinou Michael (2013). Mechanical properties of elastomeric seismic isolation bearing for analysis under extreme loadings. 22th Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology. San Francisco.
- Leyton Bradley, M. (2017). Implementacion de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas en el Perú. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú: PUCP.
- Luk Malca & Luque Curilla (2011). Influencia del Agrietamiento en la respuesta sísmica de edificios aporricados peruanos. Lima: PUCP.
- Mamani Yana (2016). Respuesta sísmica de tanques de almacenamiento de agua con sistema de aislamiento en la base. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería: UNI.

- Piqué del Pozo & Burgos Namuche (2008). Effective Rigidity of Reinforced Concrete Elements in Seismic Analysis and Design. World Conference on Earthquake Engineering. China.
- Rivera Vargas, Terron Herrera & Arce León (2014). Estimacion de la rigidez para el analisis sismico en estructuras de concreto armado. Jalisco: Sociedad Mexicana de Ingenieria Estructural.
- Ruiz Castro (2017). Analisis y diseño de edificios con aisladores sismicos de pendulo friccional doble y triple. Lima: Pootificia Universidad Catolica del Perú.
- Skinner Ivan, Robinson William & McVerry G. H. (1993). An introduction to Seismic Isolation. England: Jhon Wiley & Sons.
- Symans, M. (2013). Seismic protective systems: seismic isolation. New York: Federal Emergency Management Agency: FEMA.
- Tena Colunga, A. (2015). State of the art and state of the practice for energy dissipation and seismic isolation of structures in mexico. 10th World Conference on Seismic Isolationo Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Istambul, Turkey.
- Tena Colunga & Pérez Osornio (2015). Factores de ampificación de los desplazamientos de sistemas de aislamiento sismico por efectos bidireccionales. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sismica, 67-87.
- Tsiavos A., Mackie K., & Vassilou, M. (2016). Dynamics of inelastic base-isolated structures subjected to recorded ground motions. Bull Earthquake Eng.
- Tsiavos A., Schlatter Markic T., & Stojadinovic, B. (2017). Experimental and analytical investigation of the inelastic behavior of structures isolated using friction pendulum bearings. X international Conference on Structural Dynamics, EURODYN 2017, (págs. 465-70).
- Vidovic Damir, Grandic Davor & Sculac Paulo (2012). Effective Stiffness for Structural Analysis of Buildings in Earthquakes. Zabljak: 4th International Conference Civil Engineering-Science and Practice.

- Zayas Victor, Low Stanley & Mahin Stephen. (1987). The FPS Earthquake Resisting System Experimental Report. Berkeley California; Springfield Va.: Earthquake Engineering Research Center.
- Zayas Victor, Low Stanley & Mahin Stephen (1990). A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation. *Earthquake Spectra*, 6(2), 317–333.
- RNE/E-030 (2018) Norma Técnica de Edificación - Diseño sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- ASCE/SEI 7-16. (2017). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Virginia.
- E-031 (2018) Norma Técnica Peruana Proyecto de aislamiento sísmico. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Chopra, A. K. (2009). DYNAMICS OF STRUCTURES Theory and Applications to Earthquake Engineering. (W. J. Hall, Ed.) California: Electronic Publishing Services, Inc.
- Hazus, M. (2015). Earthquake Loss Estimation Methodology. Technical and User's Manual, Federal Emergency Management Agency Mitigation Division, Department of Homeland Security, Washington, D.C
- Bazán, E., & Meli, R. (2002). Diseño Sísmico de Edificios. Mexico: Editorial Limusa de Noriega Editores.

Anexos

Anexo A Propiedades geométricas y mecánicas de los aisladores elastoméricos Bridstone

Soporte con Nucleo de Plomo (LRB)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport
MVBR-0447 Acquired in February 2012

Dimension del Producto

Item	Description
Shape & dimensions of each part	Diameter Exterior : D_o (mm)
	Diameter nucleo plomo : D_i (mm)
	Effective plane area : A_e ($\times 10^2 \text{mm}^2$)
	Espesor de cada capa de goma : t_r (mm)
	Número de Capa de caucho : n
	Espesor Total caucho : $H = n \times t_r$ (mm)
	1er factor de forma $S_1 = D_o / (4 \times t_r)$
	2do factor de forma $S_2 = D_o / (n \times t_r)$
	Diameter de brida : D_r (mm)
	Espesor de brida: edge/bentar : t_r/t_n (mm)
	Conexion perno PCD : PCD (mm)
	Diameter perno conexion x qty : d_p (mm) x qty
	Talla de perno (assumption) : M ($d_p - 3$)
	Espesor de lamina de acero ref. : t_s (mm)
	Altura Total : H_t (mm)
Peso Total 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

Material de Caucho

Rubber code
(standard temperature 20°C standard strain $\gamma = 100\%$)

Rubber code	Shear modulus G_{90} (N/mm ²)
G4	0.385

Combination of rubber materials (weight ratio %)

Rubber designation	Natural rubber Synthetic rubber	Reinforcement agent, Filler	Vulcanization agent and others
Rubber layers (G0.4)	60 and above	10 and above	25 and below
Cover rubber	40 and above	15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Bulk modulus E_v (N/mm ²)	Young's modulus correction factor according to hardness
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251			
Inner rubber	17 and above	600 and above	37 \pm 5	0.8 \pm 0.2	2,20	1176	0.85
Cover rubber	12 and above	600 and above	-	-			

Material acero

Each steel part

	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Flange plate *1	SS400 (JIS G 3101)
Connecting plate *1	SS400 (JIS G 3101)
Lead plug	Pb (JIS H 2105 special)

*1 : Optionally SM490 (JIS G 3106).

Anti-rust treatment of flange plate

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 μ m x 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 μ m x 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 μ m x 1 coat
Total film thickness	170 μ m and above

*1: Standard color is gray.

*2: Others anti-rust treatment of flange plate than painting are also available. Please contact us for more details.

● Propiedades por Corte

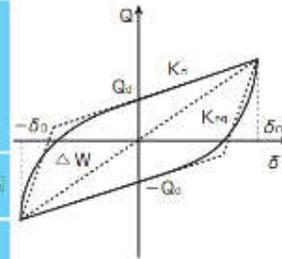
■ Rigidez Equivalente por Corte K_{eq} , Relacion de amortiguamiento equivalente H_{eq} ,

Rigidez inicial K_1 , Rigidez post-yield K_2 , característica de resistencia Q_d

Propiedades por corte de LRB depende de la amplitud del esfuerzo de corte.

La dependencia por esfuerzo de corte de cada propiedad se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

Rigidez Post-yield : $K_2 = K_1 + C_{21} \cdot (K_1 - K_2)$	
Rigidez corte por lamina de caucho : $K_1 = G_c \cdot A_c / H$	
Rigidez Adicional a corte por nucleo plomo : $K_2 = \alpha_p \cdot A_p / H$	
Donde, C_{21} : k post-yield factor de correccion debido a la dependencia por esfuerzo	
G_c : shear modulus of rubber 0.385N/mm ²	C_{21} : $0.773 \cdot \gamma^{-0.42} [\gamma < 0.25]$
γ : esfuerzo de corte	$\gamma^{-0.25} [0.25 \leq \gamma < 1.0]$
α_p : modulo de corte aparente en el plano 0.583N/mm ²	$\gamma^{-0.17} [1.0 \leq \gamma < 2.5]$
Característica de Resistencia : $Q_d = C_{41} \cdot \sigma_{pk} \cdot A_p$	$2.036 \cdot \gamma^{0.17} [\gamma \leq 0.1]$
Donde, C_{41} : factor de correccion a la característica por dependencia resistencia	$1.106 \cdot \gamma^{0.62} [0.1 < \gamma < 0.5]$
σ_{pk} : esfuerzo de corte en la cedencia del plomo 7.967N/mm ²	$1 [0.5 \leq \gamma]$
Rigidez Inicial : $K_1 = \beta \cdot K_2$	
Donde : β : Ratio por rigidez inicial en post-yield cual esta entre 10 -- 15. (recommended value: 13)	
Rigidez Equivalente corte K_{eq}	Relacion Amortiguamiento Equivalente
$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma \cdot H} + K_2$	$H_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \cdot \pi \cdot \frac{Q_d}{(\beta - 1) K_2}}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot H)^2}$



■ Temperature dependency

Each shear property is corrected to the value at standard temperature of 20°C by following equations.
(Applicable: $-20 \leq T \leq 40^\circ\text{C}$) (T: Temperature during inspection)

- Temperature correction equation : K_i (corrected value at 20°C) = $K_i (T^\circ\text{C}) / (1.052 - 2.955 \times 10^{-3} T + 1.895 \times 10^{-5} T^2)$
- Q_d (corrected value at 20°C) = $Q_d (T^\circ\text{C}) / (1.192 - 1.007 \times 10^{-3} T + 2.722 \times 10^{-5} T^2)$

- Standard value of temperature dependency Standard temperature (20°C)**1

Properties values	-10°C	0°C	30°C	40°C
Post-yield stiffness K_2	10%	6%	-3%	-5%
Characteristic strength Q_d	36%	23%	-11%	-21%

*1 : 20% variation is considered in the rate of change

■ Performance variation

La velocidad de cambio de las causas principales (variación de fabricación, el envejecimiento, de cambio de temperatura), que afectan a las propiedades de corte se muestra a continuación.

Rubber materials	GO.4		
Properties	Post-yield stiffness K_2	Characteristic strength Q_d	
Manufacturing variation **2	Within $\pm 10\%$	Within $\pm 10\%$	
Aging **3	Within +10%	-	
Ambient temperature variation 20°C \pm 20°C	(+) side	Within +6%	Within +23%
	(-) side	Within -5%	Within -21%
Total	(+) side	Within +26%	Within +33%
	(-) side	Within -15%	Within -31%

**2 : The variation of each product (standard value) shall be within $\pm 20\%$ and variation of all (per project) products (total of standard values) shall be within $\pm 10\%$. However, if the total units of products is less than 8 units per project, the variation (total of standard values) shall be within $\pm 15\%$.

(Reference: For compressive stiffness K_v , variation of each product (standard value) shall be within $\pm 20\%$.)

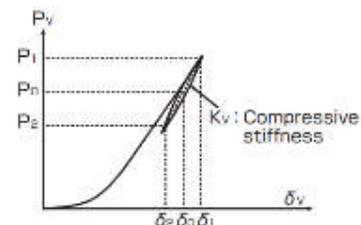
**3 : Predicted rate of change after 60 years at 20°C standard temperature. (20% variation is considered in the rate of change)

● Propiedades a Compresion

■ Compressive stiffness K_v

- Rigidez a Compresion K_v se determinara con la siguiente ecuacion:

$K_v = \alpha_v \cdot E_c \cdot \frac{A}{H}$	$E_c = \frac{E(1+2 \times S_1^3)}{1+E(1+2 \times S_1^3)/E_c}$	A : Laminated rubber plane area
		A _c : Effective plane area
		A _v : Lead plug plane area
		A = A _v + A _c
		α_v : Young's modulus correction factor = 1.23
		*Compared to MVBR-0380, α_v has been revised from 1.30 to 1.23.



LH-Series (Total Rubber Thickness 200mm)

LH090G4					LH090G4					LH100G4					LH103G4				
C	B	A	G	H	C	B	A	G	H	C	B	A	G	H	C	B	A	G	H
900					950					1000					1100				
160	170	180	190	200	170	180	190	200	210	180	190	200	210	220	200	210	220	230	240
6161	6135	6107	6078	6049	6661	6634	6605	6574	6542	7800	7570	7540	7508	7474	9189	9157	9123	9086	9051
6.0					6.4					6.7					7.4				
33					31					30					27				
198					198					201					200				
37.5					37.1					37.3					37.2				
4.55					4.79					4.98					5.51				
1250					1300					1400					1500				
28/36					28/36					28/36					30/38				
1100					1150					1250					1350				
φ33×12					φ33×12					φ39×12					φ39×12				
M30					M30					M36					M36				
4.4					4.4					4.4					4.4				
410.8					402.4					403.6					390.2				
15.1	15.2	15.3	15.4	15.4	16.2	16.3	16.4	16.5	16.6	18.0	18.1	18.2	18.3	18.4	21.0	21.0	21.1	21.2	21.3
(65.6)					(73.6)					(80.4)					(89.4)				
(0.00,60.0)					(0.00,60.0)					(0.00,60.0)					(0.00,60.0)				
(0.43,60.0)					(0.98,60.0)					(1.40,60.0)					(2.01,60.0)				
(4.00,13.7)					(4.00,18.3)					(4.00,22.2)					(4.00,30.9)				
3600					4210					4610					5600				
13.0 ^{+2.0} _{-3.0}					13.0 ^{-2.0} _{-3.0}					15.0 ^{+2.0} _{-5.0}					15.0 ^{-0.0} _{-5.0}				
8000	7960	7930	7890	7850	8920	8880	8850	8810	8760	11400	11400	11300	11300	11200	13800	13700	13700	13600	13600
1.0					1.0					1.0					1.0				
16.3	16.4	16.4	16.4	16.5	18.2	18.2	18.2	18.3	18.3	19.9	19.9	20.0	20.0	20.0	24.2	24.3	24.3	24.3	24.4
1.26	1.26	1.26	1.27	1.27	1.40	1.40	1.40	1.41	1.41	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54	1.86	1.87	1.87	1.87	1.88
160	181	203	226	250	181	203	226	250	276	203	226	250	276	303	250	276	303	331	360
2.07	2.17	2.29	2.41	2.53	2.31	2.42	2.54	2.67	2.80	2.54	2.66	2.78	2.91	3.05	3.12	3.25	3.38	3.53	3.68
0.236	0.251	0.266	0.279	0.291	0.238	0.252	0.266	0.278	0.290	0.239	0.253	0.266	0.278	0.289	0.242	0.254	0.266	0.277	0.287

It will NOT be able to supply our LRB(Lead Rubber Bearing) to B countries as China, Taiwan, Korea, Philippines, Malaysia, New Zealand, USA and Italy.

A 1. Diseño del aislador de caucho con núcleo de plomo.

DISEÑO DE AISLADOR LRB

$$\begin{aligned} S_{D1} &:= 1.5 \cdot 0.45 \cdot 2.5 \text{ s} \cdot 1 = 1.688 \text{ s} \\ S_{M1} &:= 1.5 \cdot 0.45 \cdot 1 \text{ s} \cdot 1 = 0.675 \text{ s} \\ W &:= 30353.45 \text{ tonnef} = 297665.66 \text{ kN} \\ W_g &:= 24309.17 \text{ tonnef} = 238391.52 \text{ kN} \\ d &:= 115.42 \text{ m} \\ b &:= 51.75 \text{ m} \\ e_{\text{real}} &:= 1 \text{ m} \\ e_{\text{accidental}} &:= 5.77 \text{ m} \\ P_T &:= 1.31 \\ \beta_{\text{eff},\text{min}} &:= 20\% \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{eff},\text{max}} := 25\%$$

$$B_{\text{min}} := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{\text{eff},\text{min}} \cdot 100)} = 1.54$$

$$B_{\text{max}} := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{\text{eff},\text{max}} \cdot 100)} = 1.68$$

$$T_{\text{min}} := 2.5 \text{ s} \quad \lambda_{\text{min}} := 0.8$$

$$T_{\text{max}} := 1.5 \text{ s} \quad \lambda_{\text{max}} := 1.8$$

1. Cálculo de desplazamientos máximos

$$D_{M,\text{min}} := \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_{\text{min}}}{4 \cdot \pi^2 \cdot B_{\text{min}}} = 272.92 \text{ mm} \quad D_{M,\text{max}} := \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_{\text{max}}}{4 \cdot \pi^2 \cdot B_{\text{max}}} = 149.72 \text{ mm}$$

2. Cálculo de desplazamientos máximos total

$$y := \frac{d}{2} = 57.71 \text{ m} \quad e := e_{\text{real}} + e_{\text{accidental}} = 6.77 \text{ m}$$

$$D_{TM,\text{min}} := D_{M,\text{min}} \cdot \left(1 + \left(\frac{y}{P_T} \right) \cdot \left(\frac{12 \cdot e}{b^2 + d^2} \right) \right) = 319.52 \text{ mm}$$

$$D_{TM,\text{max}} := D_{M,\text{max}} \cdot \left(1 + \left(\frac{y}{P_T} \right) \cdot \left(\frac{12 \cdot e}{b^2 + d^2} \right) \right) = 175.28 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{TM,\text{min}}}{D_{M,\text{min}}} = 1.17 \quad \text{ok} \quad \frac{D_{TM,\text{max}}}{D_{M,\text{max}}} = 1.17 \quad \text{ok}$$

3. Cálculo del diámetro del aislador

$$\phi_{\text{aislador}} := 1.25 \cdot D_{TM,\text{min}} = 399.397 \text{ mm}$$

4. Seleccionar el aislador a utilizar

Datos del aislador de la marca BRIDGESTONE LH095G4 / C

$n_{\text{aisladores}} := 115$	Cantidad de aisladores en donde se apoyara la estructura
$G_{c,g} := 0.385 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Módulo de corte de la goma al 100% de la deformación por corte
$t_r := 6.4 \text{ mm}$	Espesor de una capa de goma
$n_r := 31$	Número de capas de goma
$h_r := 198 \text{ mm}$	Altura total de la goma
$H := 402.4 \text{ mm}$	Altura total del aislador incluyendo calces de acero
$\alpha_p := 0.583 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Módulo aparente de corte del plomo
$W_{\text{aislador}} := 16.2 \text{ kN}$	Peso del aislador
$A_r := 686100 \text{ mm}^2$	Área efectivo en el plano
$D_g := 950 \text{ mm}$	Diámetro exterior del plomo

$D_i := 170 \text{ mm}$	Diámetro interior del plomo
$A_p := \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} = 22698.01 \text{ mm}^2$	Área efectiva del núcleo de plomo
$\sigma_{pb} := 7.967 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo
$E := 2.20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Módulo de Young
$E_v := 1176 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Módulo volumétrico
$k := 0.85$	Factor de corrección de módulo de Young por rugosidad
$\alpha_v := 1.23$	Factor de corrección de módulo de Young
$B := 13$	Relación de rigidez inicial a la rigidez post-fluencia
$S1 := \frac{D_o}{4 \cdot t_r} = 37.1$	Primer factor de forma $S_1 = \frac{D_o}{4 \cdot t_r}$
$S2 := \frac{D_o}{n_r \cdot t_r} = 4.79$	Primer factor de forma $S_2 = \frac{D_o}{n_r \cdot t_r}$

5. Cálculo de la deformación por corte

$$\gamma_{DM,min} := \frac{D_{M,min}}{h_r} = 1.38 \quad \gamma_{DM,max} := \frac{D_{M,max}}{h_r} = 0.76$$

6. Cálculo del esfuerzo de corte en fluencia del Núcleo de plomo modificado

$$\sigma_{pbm,min} := \sigma_{pb} \cdot \lambda_{min} = 6.37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{pbm,max} := \sigma_{pb} \cdot \lambda_{max} = 14.34 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

7. Cálculo del factor de corrección a la rigidez Post-fluencia

$$C_{kd} = \begin{cases} 0.779 \cdot \gamma^{-0.45} & (\gamma < 0.25) \\ \gamma^{-0.25} & (0.25 \leq \gamma < 1) \\ \gamma^{0.12} & (1 \leq \gamma < 2.5) \end{cases} \quad C_{kd,min} := \gamma_{DM,min}^{-0.12} = 0.96$$

$$C_{kd,max} := \gamma_{DM,max}^{-1.25} = 1.07$$

8. Factor de corrección a la resistencia característica

$$C_{Qd} = \begin{cases} 2.036 \gamma^{0.41} & (\gamma \leq 0.1) \\ 1.106 \gamma^{0.145} & (0.1 < \gamma < 0.5) \\ 1 & (0.5 \leq \gamma) \end{cases} \quad C_{Qd,min} := 1$$

$$C_{Qd,max} := 1$$

9. Rigidez al corte de la goma laminada

$$K_{r,min} := G_{eq} \cdot \frac{A_r}{h_r} \cdot \lambda_{min} = 1067.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad K_{r,max} := G_{eq} \cdot \frac{A_r}{h_r} \cdot \lambda_{max} = 2401.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

10. Rigidez al corte de la goma laminada

$$K_{p,min} := \alpha_p \cdot \frac{A_p}{h_r} \cdot \lambda_{min} = 53.47 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad K_{p,max} := \alpha_p \cdot \frac{A_p}{h_r} \cdot \lambda_{max} = 120.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

11. Rigidez Post-fluencia

$$K_{d,min} := C_{kd,min} \cdot (K_{r,min} + K_{p,min}) = 1078.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{d,max} := C_{kd,max} \cdot (K_{r,max} + K_{p,max}) = 2704.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

12. Aporte a la rigidez Post-fluencia

$$K_{2,totol,min} := K_{d,min} \cdot n_{aisladores} = 124015.57 \frac{kN}{m}$$

$$K_{2,totol,max} := K_{d,max} \cdot n_{aisladores} = 310977.77 \frac{kN}{m}$$

13. Resistencia característica

$$Q_{d,min} := C_{Qd,min} \cdot \sigma_{pbm,min} \cdot A_p = 144.67 \text{ kN}$$

$$Q_{d,max} := C_{Qd,max} \cdot \sigma_{pbm,max} \cdot A_p = 325.5 \text{ kN}$$

14. Resistencia característica total

$$Q_{d,totol,min} := Q_{d,min} \cdot n_{aisladores} = 16636.82 \text{ kN}$$

$$Q_{d,totol,max} := Q_{d,max} \cdot n_{aisladores} = 37132.85 \text{ kN}$$

15. Rigidez equivalente al Corte

$$K_{eq,min} := \frac{Q_{d,min}}{\gamma_{DM,min} \cdot h_r} + K_{d,min} = 1608.18 \frac{kN}{m}$$

$$K_{eq,max} := \frac{Q_{d,max}}{\gamma_{DM,max} \cdot h_r} + K_{d,max} = 4878.24 \frac{kN}{m}$$

16. Rigidez a la rigidez efectiva total

$$K_{eq,totol,min} := K_{eq,min} \cdot n_{aisladores} = 184974.88 \frac{kN}{m}$$

$$K_{eq,totol,max} := K_{eq,max} \cdot n_{aisladores} = 560997.83 \frac{kN}{m}$$

17. Rigidez inicial

$$K_{1,min} := B \cdot K_{d,min} = 14019.15 \frac{kN}{m} \quad K_{1,max} := B \cdot K_{d,max} = 35154.01 \frac{kN}{m}$$

18. Rigidez inicial total

$$K_{1,totol,min} := K_{1,min} \cdot n_{aisladores} = 1612202.4 \frac{kN}{m}$$

$$K_{1,totol,max} := K_{1,max} \cdot n_{aisladores} = 4042710.98 \frac{kN}{m}$$

19. Relación de amortiguamiento equivalente

$$H_{eq,min} := \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_{d,min} \cdot \left(\gamma_{DM,min} \cdot h_r - \frac{Q_{d,min}}{(B-1) \cdot K_{d,min}} \right)}{K_{eq,min} \cdot (\gamma_{DM,min} \cdot h_r)^2} = 0.201$$

$$\beta_{min} := H_{eq,min} = 0.201$$

$$H_{eq,max} := \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_{d,max} \cdot \left(\gamma_{DM,max} \cdot h_r - \frac{Q_{d,max}}{(B-1) \cdot K_{d,max}} \right)}{K_{eq,max} \cdot (\gamma_{DM,max} \cdot h_r)^2} = 0.265$$

$$\beta_{max} := H_{eq,max} = 0.265$$

20. Energía por ciclo

$$\Delta W_{\min} := \beta_{\min} \cdot 2 \cdot \pi \cdot K_{eq,\min} \cdot D_{M,\min}^2 = 151460.24 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$\Delta W_{\max} := \beta_{\max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot K_{eq,\max} \cdot D_{M,\max}^2 = 181876.03 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

21. Aporte de la energía total por ciclo

$$\Delta W_{\text{total},\min} := \Delta W_{\min} \cdot n_{\text{aisladores}} = 17417927.31 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$\Delta W_{\text{total},\max} := \Delta W_{\max} \cdot n_{\text{aisladores}} = 20915743.23 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

22. Desplazamiento de fluencia

$$D_{y,\min} := \frac{Q_{d,\min}}{K_{1,\min} - K_{d,\min}} = 11.18 \text{ mm}$$

$$D_{y,\max} := \frac{Q_{d,\max}}{K_{1,\max} - K_{d,\max}} = 10.03 \text{ mm}$$

23. Fuerza de fluencia

$$F_{y,\min} := Q_{d,\min} + K_{d,\min} \cdot D_{y,\min} = 156.72 \text{ kN}$$

$$F_{y,\max} := Q_{d,\max} + K_{d,\max} \cdot D_{y,\max} = 352.63 \text{ kN}$$

24. Fuerza en el asiento de apoyo

$$F_{op,\min} := Q_{d,\min} + K_{d,\min} \cdot D_{M,\min} = 438.98 \text{ kN}$$

$$F_{op,\max} := Q_{d,\max} + K_{d,\max} \cdot D_{M,\max} = 730.37 \text{ kN}$$

25. Factor "B" amortiguamiento equivalente

$$B_{\min} := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{\min} \cdot 100)} = 1.54$$

$$B_{\max} := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{\max} \cdot 100)} = 1.72$$

26. Módulo de compresión efectivo

$$E_c := \frac{E \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S1^2)}{1 + \frac{E \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S1^2)}{E_\infty}} = 957.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

27. Rigidez a compresión vertical

$$K_c := \alpha_v \cdot E_c \cdot \frac{A_r + A_p}{h_p} = 4215878.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

28. Aporte a la rigidez a compresión vertical total

$$K_{v,\text{total}} := K_c \cdot n_{\text{aisladores}} = 484826073.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

29. Masa por cada aislador

$$M_a := \frac{W}{g \cdot n_{\text{aisladores}}} = 263.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \text{s}^2$$

30. Periodo efectivo del sistema de aislación

$$T_{\text{aislador.min}} := 2 \pi \sqrt{\frac{M_o}{K_{eq.min}}} = 2.55 \text{ s}$$

$$T_{\text{aislador.max}} := 2 \pi \sqrt{\frac{M_o}{K_{eq.max}}} = 1.46 \text{ s}$$

31. Amortiguamiento

$$\text{Amortiguamiento}_{\text{min}} := 2 \cdot \left((H_{eq.min} - 0.05) \cdot \sqrt{K_{eq.min} \cdot M_u} \right) = 197.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \text{s}$$

$$\text{Amortiguamiento}_{\text{max}} := 2 \cdot \left((H_{eq.max} - 0.05) \cdot \sqrt{K_{eq.max} \cdot M_u} \right) = 487.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \text{s}$$

32. Cálculo aceleración espectral

$$S_{a.min} := \frac{S_{M1}}{B_{min} \cdot T_{\text{aislador.min}}} = 0.17 \text{ g}$$

$$S_{a.max} := \frac{S_{M1}}{B_{max} \cdot T_{\text{aislador.max}}} = 0.27 \text{ g}$$

33. Cálculo desplazamiento espectral

$$S_{d.min} := \frac{g \cdot S_{a.min} \cdot T_{\text{aislador.min}}^2}{4 \cdot \pi^2} = 277.21 \text{ mm}$$

$$S_{d.max} := \frac{g \cdot S_{a.max} \cdot T_{\text{aislador.max}}^2}{4 \cdot \pi^2} = 142.37 \text{ mm}$$

TIPO DE AISLADOR LRB (BRIDGESTONE LH095G4 - C)

	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
Número total de aisladores:	$n_{\text{aisladores}} = 115$	
Peso:	$W_{\text{aislador}} = 16.2 \text{ kN}$	
Masa:	$W_{\text{aislador}} = 1.65 \text{ tonnef}$	
Rigidez Efectiva (U2,U3):	$K_{eq.min} = 1608.477 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$K_{eq.max} = 4878.242 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Amortiguamiento Efectivo (U2,U3):	$\text{Amortiguamiento}_{\text{min}} = 197.045 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \text{s}$	$\text{Amortiguamiento}_{\text{max}} = 487.277 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \text{s}$
Rigidez (U2,U3):	$K_{1.min} = 14019.151 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$K_{1.max} = 35154.009 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Resistencia a la fluencia (U2,U3):	$F_{g.min} = 156.724 \text{ kN}$	$F_{g.max} = 352.628 \text{ kN}$
Relación de la rigidez post fluencia (U2,U3):	$\frac{K_{d.min}}{K_{1.min}} = 0.077$	$\frac{K_{d.max}}{K_{1.max}} = 0.077$
Rigidez Efectiva Vertical (U1):	$K_v = 4215878.897 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	

TRAVIS Ultimate 10.0.2 - IRO, TPCNA

File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help

3-D View: Mode Shape (Modal) - Mode 1 - Period 2.675

Modal Participating Mass Ratios

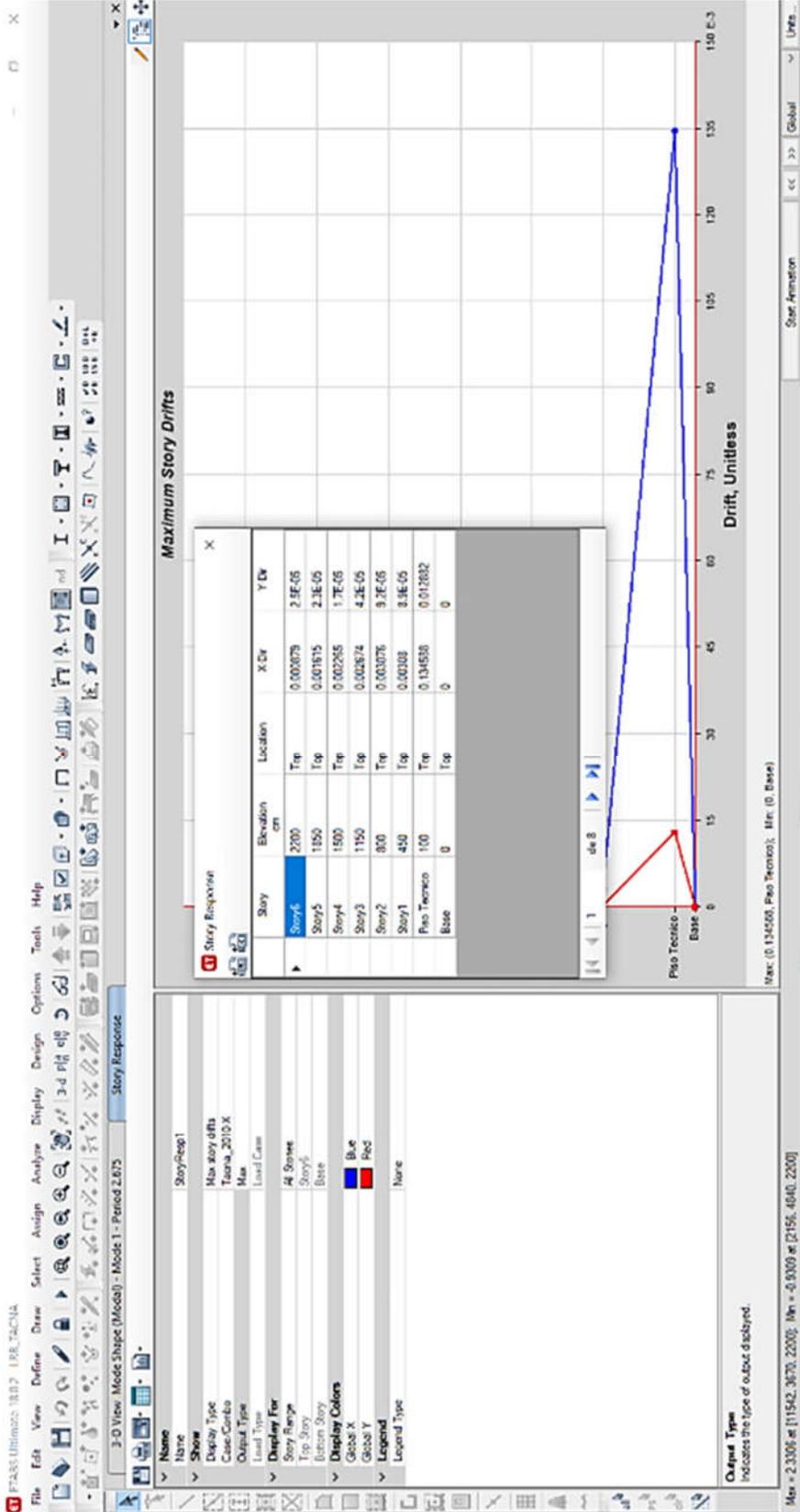
File Edit Format-Filter-Sort Select Options

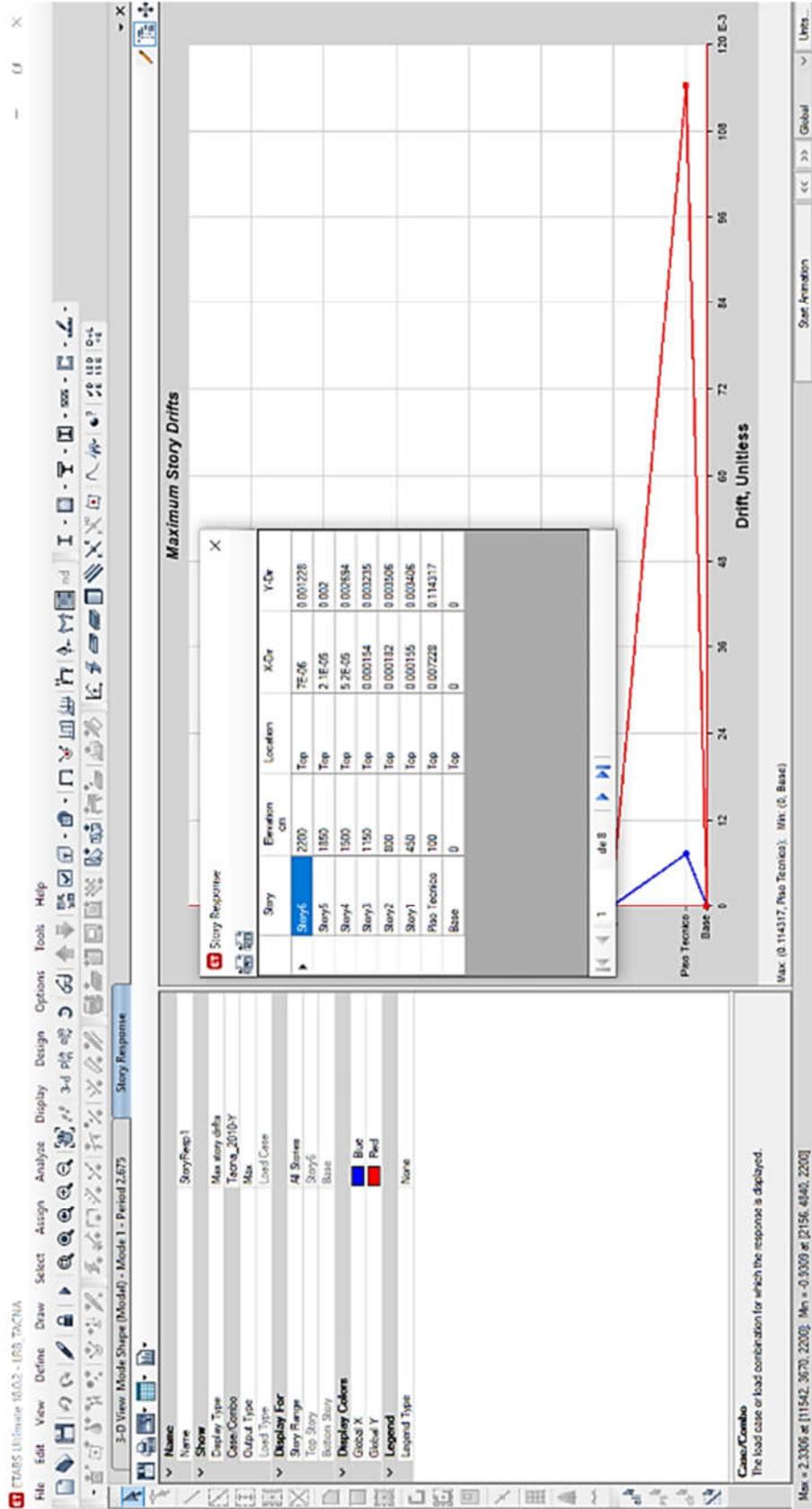
Units: As listed

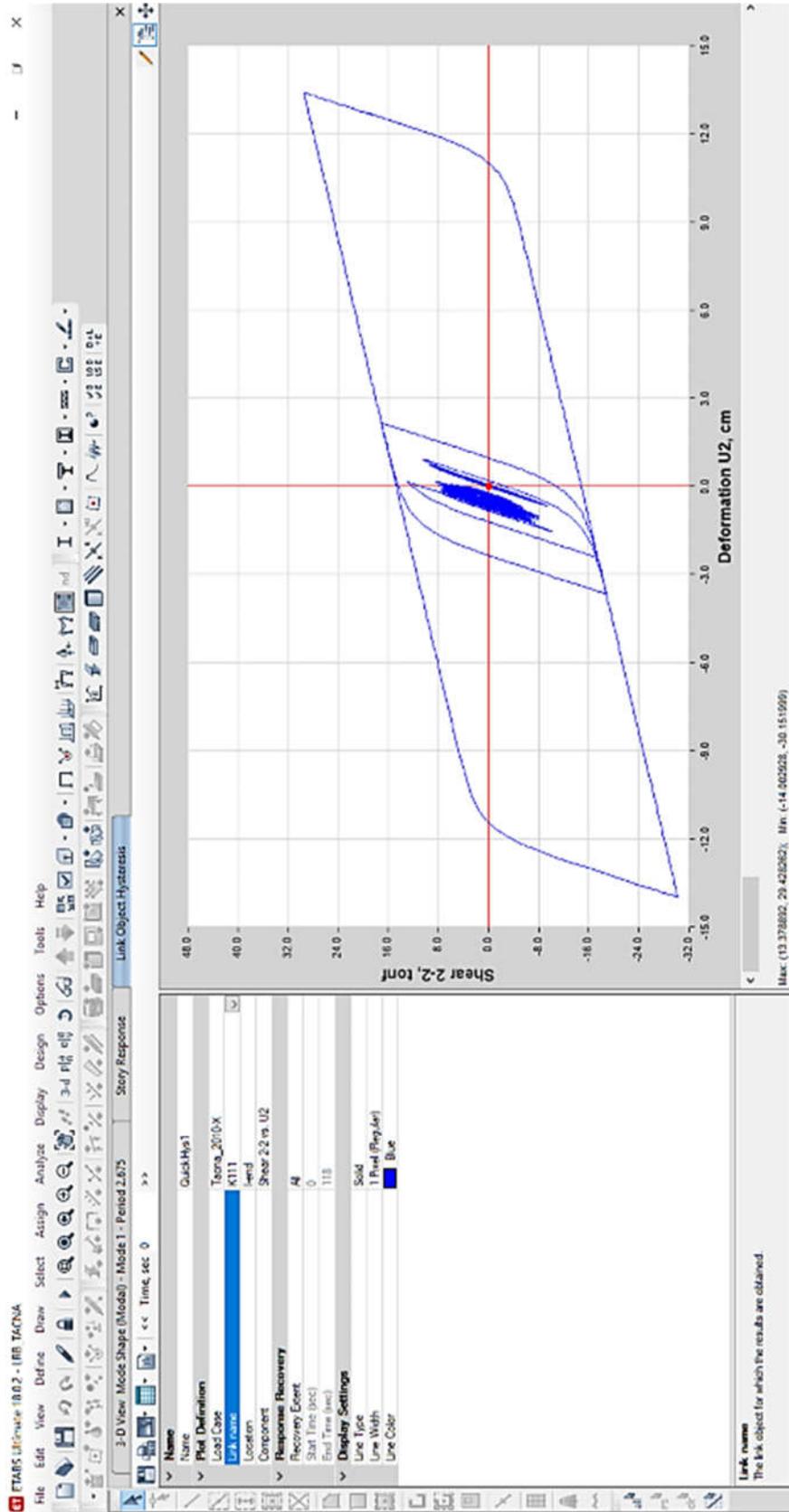
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	2.675	0.1347	0.0208	0	0.1347	0.0208	0	0.0049	0.0308	0.0323	0.0049	0.0008	0.0323
Modal	2	2.653	0.0491	0.1455	0	0.0491	0.1455	0	0.0004	0.0028	0.0028	0.0004	0.0036	0.0151
Modal	3	2.287	0.0136	0.0214	0	0.0136	0.0214	0	0.0049	0.0316	0.0049	0.0101	0.0054	1
Modal	4	0.494	1.032E-26	0.0323	0	0.0323	0	0	0.9712	0.0003	3.21E-25	0.9813	0.0007	1
Modal	5	0.482	0.0026	5.42E-07	0	0.0026	0	0	0.0002	0.8705	0	0.8815	0.9762	1
Modal	6	0.024	0	0	0	0	0	0	0.002	1.42E-02	0	0.002	0.9064	1
Modal	7	0.016	0	0	0	0	0	0	0.0032	2.36E-05	0	0.0032	0.9762	1
Modal	8	n.205	0	0	0	0	0	0	0.0006	0.0138	0	0.0006	0.9861	1

Record: << < | > >> of 100

Add Tables... Done







Diseño de aislador TPF

Anexo B Propiedades mecánicas del aislador de triple péndulo de fricción.

Radio de Curvatura, mm (in)	Diámetro de Superficie Concava, mm (in)
1555 (61)	356 (14)
	457 (18)
	559 (22)
	787 (31)
	914 (36)
2235 (88)	686 (27)
	787 (31)
	914 (36)
	991 (39)
	1041 (41)
	1118 (44)
	1168 (46)
	1295 (51)
1422 (56)	
3048 (120)	686 (27)
	1422 (56)
3962 (156)	1600 (63)
	1778 (70)
	2692 (106)
	3150 (124)
6045 (238)	1981 (78)
	2388 (94)
	2692 (106)
	3327 (131)
	3632 (143)

A 2 Diseño del aislador de triple péndulo de fricción.

Nomenclatura estándar

TPF 8827/14-12/10-6

Propiedades Geométricas

$$\begin{array}{llll} R_1 := 88 & R_2 := 12 & R_3 := R_2 & R_4 := R_1 \\ h_1 := 4.5 & h_2 := 3.5 & h_3 := h_2 & h_4 := h_1 \\ d_1 := 6.5 & d_2 := 1.5 & d_3 := d_2 & d_4 := d_1 \end{array}$$

Radio efectivo:

$$R_{1eff} := R_1 - h_1 = 83.5 \qquad R_{4eff} := R_{1eff}$$

$$R_{2eff} := R_2 - h_2 = 8.5 \qquad R_{3eff} := R_{2eff}$$

Capacidad de desplazamiento actual:

$$d_{1a} := \frac{d_1 \cdot R_{1eff}}{R_1} = 6.168 \qquad d_{4a} := d_{1a}$$

$$d_{2a} := \frac{d_2 \cdot R_{2eff}}{R_2} = 1.063 \qquad d_{3a} := d_{2a}$$

Parámetros de Fricción

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$\begin{array}{l} u_{L1} := 3\% \\ u_{L2} := 1\% \\ u_{L3} := 1\% \\ u_{L4} := 6\% \end{array}$$

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$\begin{array}{l} u_{U1} := 6\% \\ u_{U2} := 2\% \\ u_{U3} := 2\% \\ u_{U4} := 8\% \end{array}$$

Fuerzas de Fricción

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$F_{f1L} := u_{L1} \cdot W = 0.03 W$$

$$F_{f2L} := u_{L2} \cdot W = 0.01 W$$

$$F_{f3L} := u_{L3} \cdot W = 0.01 W$$

$$F_{f4L} := u_{L4} \cdot W = 0.06 W$$

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$F_{f1U} := u_{U1} \cdot W = 0.06 W$$

$$F_{f2U} := u_{U2} \cdot W = 0.02 W$$

$$F_{f3U} := u_{U3} \cdot W = 0.02 W$$

$$F_{f4U} := u_{U4} \cdot W = 0.08 W$$

Límite Superior(UPPER BOUND):

FASE 1

$$u_{1aU} := (u_{U1} - u_{U2}) \cdot R_{2eff} + (u_{U1} - u_{U3}) \cdot R_{3eff} = 0.68$$

$$F_{U1} := \frac{W}{R_{2eff} + R_{3eff}} \cdot u_{1aU} + \frac{F_{f2U} \cdot R_{2eff} + F_{f3U} \cdot R_{3eff}}{R_{2eff} + R_{3eff}} = 0.06 \text{ W}$$

FASE 2

$$u_{2aU} := u_{1aU} + (u_{U4} - u_{U1}) \cdot (R_{1eff} + R_{3eff}) = 2.52$$

$$F_{U2} := \frac{W}{R_{1eff} + R_{3eff}} \cdot u_{2aU} + \frac{F_{f1U} \cdot (R_{1eff} - R_{2eff}) + F_{f2U} \cdot R_{2eff} + F_{f3U} \cdot R_{3eff}}{R_{1eff} + R_{3eff}} = 0.08 \text{ W}$$

FASE 3

$$u_{dr1U} := u_{2aU} + d_{1a} \cdot \left(1 + \frac{R_{4eff}}{R_{1eff}}\right) - (u_{U4} - u_{U1}) \cdot (R_{1eff} + R_{3eff}) = 11.515$$

$$F_{U3} := \frac{W}{R_{1eff} + R_{4eff}} \cdot u_{dr1U} + \frac{F_{f1U} \cdot (R_{1eff} - R_{2eff}) + F_{f2U} \cdot R_{2eff} + F_{f3U} \cdot R_{3eff} + F_{f4U} \cdot (R_{4eff} - R_{3eff})}{R_{1eff} + R_{4eff}}$$
$$F_{U3} = 0.134 \text{ W}$$

FASE 4

$$u_{dr4U} := u_{dr1U} + \left(\left(\frac{d_{1a}}{R_{4eff}} + u_{U4} \right) - \left(\frac{d_{1a}}{R_{1eff}} + u_{U1} \right) \right) \cdot (R_{2eff} + R_{4eff}) = 13.355$$

$$F_{U4} := \frac{W}{R_{2eff} + R_{4eff}} \cdot (u_{dr4U} - u_{dr1U}) + \frac{W}{R_{1eff}} \cdot d_{1a} + F_{f1U} = 0.154 \text{ W}$$

FASE 5

$$F_{U5} := \frac{W}{R_{2eff} + R_{3eff}} \cdot (u_{dr4U} - u_{dr1U}) + \frac{W}{R_{1eff}} \cdot u_{dr4U} + F_{f4U} = 0.348 \text{ W}$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

FASE 1

$$u_{1a} := (u_{L1} - u_{L2}) \cdot R_{2eff} + (u_{L1} - u_{L3}) \cdot R_{3eff} = 0.34$$

$$F_{L1} := \frac{W}{R_{2eff} + R_{3eff}} \cdot u_{1a} + \frac{F_{f2L} \cdot R_{2eff} + F_{f3L} \cdot R_{3eff}}{R_{2eff} + R_{3eff}} = 0.03 \text{ W}$$

FASE 2

$$u_{2a} := u_{1a} + (u_{L4} - u_{L1}) \cdot (R_{1c\text{eff}} + R_{3c\text{eff}}) = 3.1$$

$$F_{L2} := \frac{W}{R_{1c\text{eff}} + R_{3c\text{eff}}} \cdot u_{2a} + \frac{F_{f1L} \cdot (R_{1c\text{eff}} - R_{2c\text{eff}}) + F_{f2L} \cdot R_{2c\text{eff}} + F_{f3L} \cdot R_{3c\text{eff}}}{R_{1c\text{eff}} + R_{3c\text{eff}}} = 0.06 \text{ W}$$

FASE 3

$$u_{dr1} := u_{2a} + d_{1a} \cdot \left(1 + \frac{R_{1c\text{eff}}}{R_{1c\text{eff}}}\right) - (u_{L4} - u_{L1}) \cdot (R_{1c\text{eff}} + R_{1c\text{eff}}) = 10.425$$

$$F_{L3} := \frac{W}{R_{1c\text{eff}} + R_{4c\text{eff}}} \cdot u_{dr1} + \frac{F_{f1L} \cdot (R_{1c\text{eff}} - R_{2c\text{eff}}) + F_{f2L} \cdot R_{2c\text{eff}} + F_{f3L} \cdot R_{3c\text{eff}} + F_{f4L} \cdot (R_{1c\text{eff}} - R_{3c\text{eff}})}{R_{1c\text{eff}} + R_{4c\text{eff}}}$$

$$F_{L3} = 0.104 \text{ W}$$

FASE 4

$$u_{dr4} := u_{dr1} + \left(\left(\frac{d_{4a}}{R_{1c\text{eff}}} + u_{L4} \right) - \left(\frac{d_{1a}}{R_{1c\text{eff}}} + u_{L1} \right) \right) \cdot (R_{2c\text{eff}} + R_{4c\text{eff}}) = 13.185$$

$$F_{L4} := \frac{W}{R_{2c\text{eff}} + R_{4c\text{eff}}} \cdot (u_{dr4} - u_{dr1}) + \frac{W}{R_{1c\text{eff}}} \cdot d_{1a} + F_{f1L} = 0.134 \text{ W}$$

FASE 5

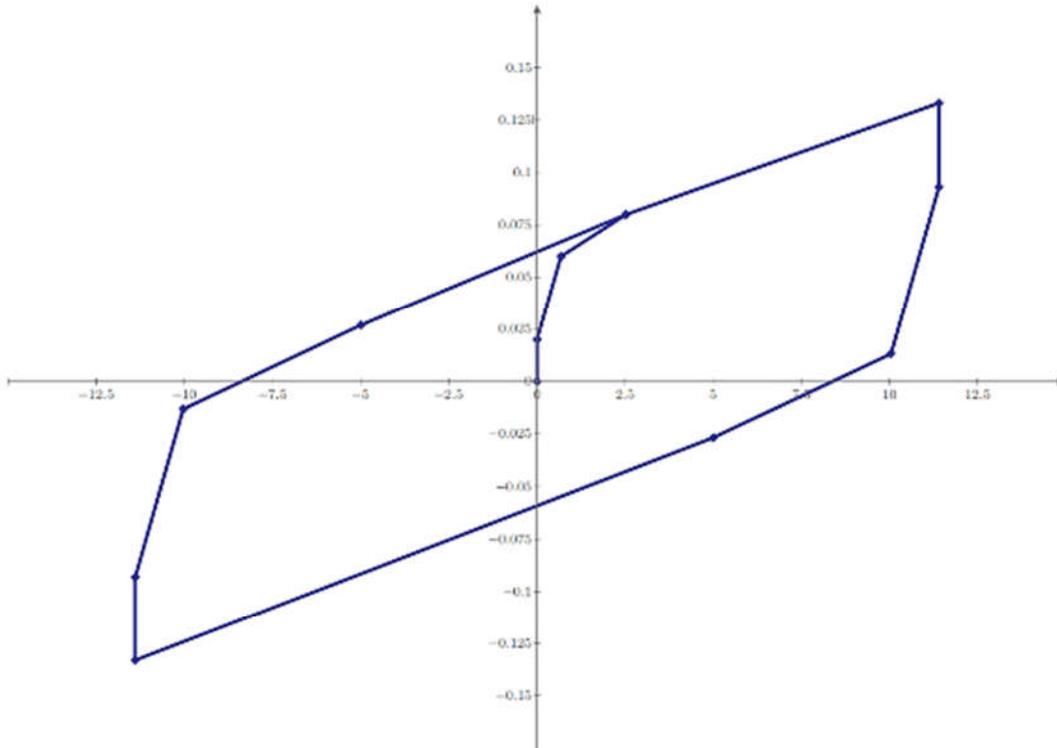
$$F_{L5} := \frac{W}{R_{2c\text{eff}} + R_{3c\text{eff}}} \cdot (u_{dr4} - u_{dr1}) + \frac{W}{R_{4c\text{eff}}} \cdot u_{dr4} + F_{f4L} = 0.38 \text{ W}$$

$$D_M := 11.40$$

$$XX1 := \frac{2 F_{f1U} - 2 F_{f2U}}{W} \cdot (R_{2c\text{eff}} + R_{3c\text{eff}}) = 1.36$$

$$F_{U3DM} := \frac{W}{R_{1c\text{eff}} + R_{4c\text{eff}}} \cdot D_M + \frac{F_{f1U} \cdot (R_{1c\text{eff}} - R_{2c\text{eff}}) + F_{f2U} \cdot R_{2c\text{eff}} + F_{f3U} \cdot R_{3c\text{eff}} + F_{f4U} \cdot (R_{1c\text{eff}} - R_{3c\text{eff}})}{R_{1c\text{eff}} + R_{4c\text{eff}}}$$

$$F_{U3DM} = 0.1332 \text{ W}$$



Cálculo de Desplazamiento Máximo DM

Para propiedades UPPER BOUND

Asumimos el valor de desplazamiento inicial

desplazamiento
inicial tomado
como valor.

$$D_M := 10.5 \quad \text{in} \quad S_{M1} := 0.675 \quad g := 386.22 \frac{\text{in}}{\text{s}^2}$$

Calculamos la Cortante V_M $V_M := 0.1278 \text{ W}$

Calculamos la Rigidez Efectiva K_M $K_M := \frac{V_M}{D_M} = 0.0122 \text{ W}$

Calculamos Periodo efectivo T_M $T_M := 2 \pi \cdot \sqrt{\frac{W}{K_M \cdot g}} = 2.898$

Calculamos Amortiguamiento Efectivo β_M $E_M := 2.3620 \text{ W}$

$$\beta_M := \frac{E_M}{2 \cdot \pi \cdot K_M \cdot D_M^2} = 0.28$$

Factor de reducción de la amortiguación B_M $B_M := \left(\frac{\beta_M}{0.05} \right)^{0.3} = 1.677$

Desplazamiento máximo D_M $D_M := \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_M}{4 \pi^2 \cdot B_M} = 11.412$

Para propiedades UPPER BOUND

$$D_M := 11.40 \text{ in} \quad S_{M1} = 0.675 \quad g := 386.22 \frac{\text{in}}{\text{s}^2}$$

Calculamos la Cortante V_M $V_M := 0.1332 \cdot W$

Calculamos la Rigidez Efectiva K_M $K_M := \frac{V_M}{D_M} = 0.01167 W$

Calculamos Periodo efectivo T_M $T_M := 2 \pi \cdot \sqrt{\frac{W}{K_M \cdot g}} = 2.959$

Calculamos Amortiguamiento Efectivo β_M $E_M := 2.5840 W$

$$\beta_M := \frac{E_M}{2 \cdot \pi \cdot K_M \cdot D_M^2} = 0.271$$

Factor de reducción de la amortiguación B_M $B_M := \left(\frac{\beta_M}{0.05} \right)^{0.3} = 1.661$

Para propiedades LOWER BOUND

$$D_{ML} := 13.13 \text{ in} \quad S_{M1} = 0.675 \quad g := 386.22 \frac{\text{in}}{\text{s}^2}$$

$$V_{ML} := 0.1333 \cdot W \quad K_{ML} := \frac{V_{ML}}{D_{ML}} = 0.01015 W$$

$$T_{ML} := 2 \pi \cdot \sqrt{\frac{W}{K_{ML} \cdot g}} = 2.898 \quad E_{ML} := 1.7721 W$$

$$\beta_{ML} := \frac{E_{ML}}{2 \cdot \pi \cdot K_{ML} \cdot D_{ML}^2} = 0.161 \quad B_{ML} := \left(\frac{\beta_{ML}}{0.05} \right)^{0.3} = 1.421$$

$$D_{ML} := \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_{ML}}{4 \pi^2 \cdot B_{ML}} = 13.471$$

Desplazamiento y Cortante Basal de Diseño

Desplazamiento Máximo $D_M = 11.4$ $D_{ML} = 13.13$

Desplazamiento Total Máximo $D_{TM} := 1.5 \cdot D_M = 17.1$ $D_{TML} := 1.5 D_{ML} = 19.695$

Desplazamiento máximo $D_{M'}$ $D_{M''} := \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_{M'}}{4 \pi^2 \cdot B_{M'}} = 11.768$

AISLADOR TPF 8827/14-12/10-6

1. Propiedades del aislador TPF
- 1.1 Propiedades Geométricas

$$\begin{array}{llll}
 R_1 := 88 \text{ in} & R_2 := 12 \text{ in} & R_3 := R_2 & R_4 := R_1 \\
 h_1 := 4.5 \text{ in} & h_2 := 3.5 \text{ in} & h_3 := h_2 & h_4 := h_1 \\
 d_1 := 6.5 \text{ in} & d_2 := 1.5 \text{ in} & d_3 := d_2 & d_4 := d_1
 \end{array}$$

-Radio Efectivo

$$\begin{array}{ll}
 R_{1eff} := R_1 - h_1 = 2.121 \text{ m} & R_{4eff} := R_{1eff} \\
 R_{2eff} := R_2 - h_2 = 0.216 \text{ m} & R_{3eff} := R_{2eff}
 \end{array}$$

-Capacidad de desplazamiento actual

$$\begin{array}{ll}
 d_{1a} := \frac{d_1 \cdot R_{1eff}}{R_1} = 0.157 \text{ m} & d_{1a} := d_{1a} \\
 d_{2a} := \frac{d_2 \cdot R_{2eff}}{R_2} = 0.027 \text{ m} & d_{3a} := d_{2a}
 \end{array}$$

- 1.2 Parámetros de Fricción

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$\begin{array}{l}
 u_{L1} := 3\% \\
 u_{L2} := 1\% \\
 u_{L3} := 1\% \\
 u_{L4} := 6\%
 \end{array}$$

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$\begin{array}{l}
 u_{U1} := 6\% \\
 u_{U2} := 2\% \\
 u_{U3} := 2\% \\
 u_{U4} := 8\%
 \end{array}$$

- 1.3 Información del Proyecto

$$\begin{array}{l}
 W := 30353.45 \text{ tonnef} \\
 W_S := 24309.17 \text{ tonnef} \\
 N_{aisladores} := 115
 \end{array}$$

Peso de la estructura total
 Peso de la estructura sin base
 Cantidad de Aisladores

$$W_i := \frac{W}{N_{aisladores}} = 263.943 \text{ tonnef}$$

Masa para cada aislador

$$\begin{array}{ll}
 D_M := 11.40 \text{ in} & \text{Desplazamiento máximo UPPER BOUND} \\
 D_{ML} := 13.13 \text{ in} & \text{Desplazamiento máximo LOWER BOUND}
 \end{array}$$

2. Cálculo de propiedades (LINK/SUPPORT)
- 2.1 Propiedades Principales
- 2.1.1 Inercia Rotacional

Consideraremos que la superficie de contacto con el deslizador rígido como diámetro del aislador D_a con una altura total del aislador h_T y asumiendo un modulo de elasticidad E_a para cada aislador.

Entonces tenemos:

$$D_s := 14 \text{ in} \quad t_{r2} := 0.5 \text{ in} \quad h_T := 11.5 \text{ in} \quad d_2 := 1.5 \text{ in}$$

$$D_a := D_s - 2 \cdot d_2 - 2 \cdot t_{r2} = 0.254 \text{ m} \quad E_a := 2 \cdot 10^7 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Área de la Sección Transversal:

$$A_a := \frac{\pi \cdot D_a^2}{4} = 0.051 \text{ m}^2$$

Fuerza en el desplazamiento cero dividida por la carga normal μ

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$\mu_{UB} := u_{U1} - \left((u_{U1} - u_{U2}) \cdot \frac{R_{2eff}}{R_{1eff}} \right) = 0.074$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$\mu_{LB} := u_{L1} - \left((u_{L1} - u_{L2}) \cdot \frac{R_{2eff}}{R_{1eff}} \right) = 0.055$$

Inercia Rotacional (Rotational Inertia)

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$K_{eff,UB} := \frac{W_i}{R_{1eff}} + \frac{\mu_{UB} \cdot W_i}{D_M} = 191.804 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$K_{eff,LB} := \frac{W_i}{R_{1eff}} + \frac{\mu_{LB} \cdot W_i}{D_{ML}} = 167.906 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Masa Aislador

Consideramos que la masa es igual a UPPER BOUND y LOWER BOUND

$$D_{M1} := \frac{D_M}{m} = 0.29$$

$$D_p := 2 \cdot D_{M1} = 0.5791 \quad \text{Correlación tamaño/peso del aislador}$$

$$W_{ai} := \frac{1}{2.2046} \left(0.241 \cdot (3.2808 \cdot D_p)^2 - 0.0564 \cdot (3.2808 \cdot D_p) \right) = 0.346 \text{ tonf}$$

$$M := \frac{W_{ai}}{9.8067} = 0.0353 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \cdot \text{s}^2$$

PROPIEDADES DIRECCIONALES "U1"

Rigidez Efectiva (Effective stiffness)

$$R_E := \frac{A_a \cdot E_a}{h_T} = 3469411.017 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

$$R_V := 2473557.32 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Amortiguamiento efectivo (Effective damping)

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$\beta_{UB} := 27.10\%$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$\beta_{LB} := 16.10\%$$

PROPIEDADES DIRECCIONALES "U2;U3"

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$K_{eff,UB} = 191.804 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$K_{eff,LB} = 167.906 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

DETERMINACIONES DE LAS PROPIEDADES NO LINEALES

Desplazamiento de fluencia

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$D_Y := (u_{U4} - u_{U2}) \cdot R_{2eff} = 0.01295 \text{ m}$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$D_{YL} := (u_{L4} - u_{L2}) \cdot R_{2eff} = 0.0108 \text{ m}$$

Rigidez de la superficie exterior superior (Stiffness of outer surface)

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$\frac{u_{U4} \cdot W_i}{D_Y} = 1630.033 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$\frac{u_{L4} \cdot W_i}{D_{YL}} = 1467.029 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Rigidez de la superficie exterior inferior (Stiffness of outer surface)

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$\frac{u_{U1} \cdot W_i}{D_Y} = 1222.525 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$\frac{u_{L1} \cdot W_i}{D_{YL}} = 733.515 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Rigidez de la superficie interior (Stiffness of inner surface)

Límite Superior(UPPER BOUND):

$$\frac{u_{U2} \cdot W_i}{D_Y} = 407.508 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Límite Inferior (LOWER BOUND):

$$\frac{u_{L2} \cdot W_i}{D_{YL}} = 244.505 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Coefficiente de Fricción Lento (Friction co. Slaw)

	Límite Superior (UPPER BOUND)	Límite Inferior (LOWER BOUND)
superficie exterior superior:	$u_{U4} = 0.08$	$u_{L4} = 0.06$
superficie exterior inferior:	$u_{U1} = 0.06$	$u_{L1} = 0.03$
superficie interior:	$u_{U2} = 0.02$	$u_{L2} = 0.01$

Coefficiente de Fricción Rapido (Friction co. Fast)

	Límite Superior (UPPER BOUND)	Límite Inferior (LOWER BOUND)
superficie exterior superior:	$2 \cdot u_{U4} = 0.16$	$2 \cdot u_{L4} = 0.12$
superficie exterior inferior:	$2 \cdot u_{U1} = 0.12$	$2 \cdot u_{L1} = 0.06$
superficie interior:	$2 \cdot u_{U2} = 0.04$	$2 \cdot u_{L2} = 0.02$

Radio de superficie deslizante: (igual par Upper Bound y Lower Bound)

superficie exterior superior:	$R_{4eff} = 2.121 \text{ m}$
superficie exterior inferior:	$R_{1eff} = 2.121 \text{ m}$
superficie interior:	$R_{2eff} = 0.216 \text{ m}$

Distancia Parada (Stop Distance)	(UPPER BOUND)	(LOWER BOUND)
superficie exterior superior:	$2 \cdot D_Y + 2 \cdot d_{1a} = 0.3392 \text{ m}$	$2 \cdot D_{YL} + 2 \cdot d_{1a} = 0.3349 \text{ m}$
superficie exterior inferior:	$2 \cdot D_Y + 2 \cdot d_{1a} = 0.3392 \text{ m}$	$2 \cdot D_{YL} + 2 \cdot d_{1a} = 0.3349 \text{ m}$
superficie interior:	$2 \cdot D_Y = 0.02591 \text{ m}$	$2 \cdot D_{YL} = 0.02159 \text{ m}$

STARS Ultimate 10.6.2 - FFT TACNA

File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help

3-D View Mode Shape (Modal) - Mode 1 - Period 2.463 Story Response Link Object Hysteresis

Modal Participating Mass Ratios

Case	Mode	Period SEC	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	2.463	0.2133	0.7474	0	0.2133	0.7474	0	0.0047	0.0012	0.0356	0.0047	0.0012	0.0356
Modal	2	2.446	0.7695	0.2281	0	0.8325	0.9725	0	0.0007	0.0325	0.0011	0.0024	0.0337	0.0307
Modal	3	2.113	0.014	0.0227	0	0.9969	0.9961	0	0.005	0.0016	0.9932	0.0124	0.0056	1
Modal	4	0.517	2.509E-06	0.0019	0	0.9969	1	0	0.9785	0.0008	4.429E-05	0.9968	0.0002	1
Modal	5	0.479	0.0031	1.437E-06	0	1	1	0	0.0004	0.9773	1.039E-08	0.9873	0.9834	1
Modal	6	0.313	0	0	0	1	1	0	0.0006	1.000E-05	0	0.9993	0.9994	1

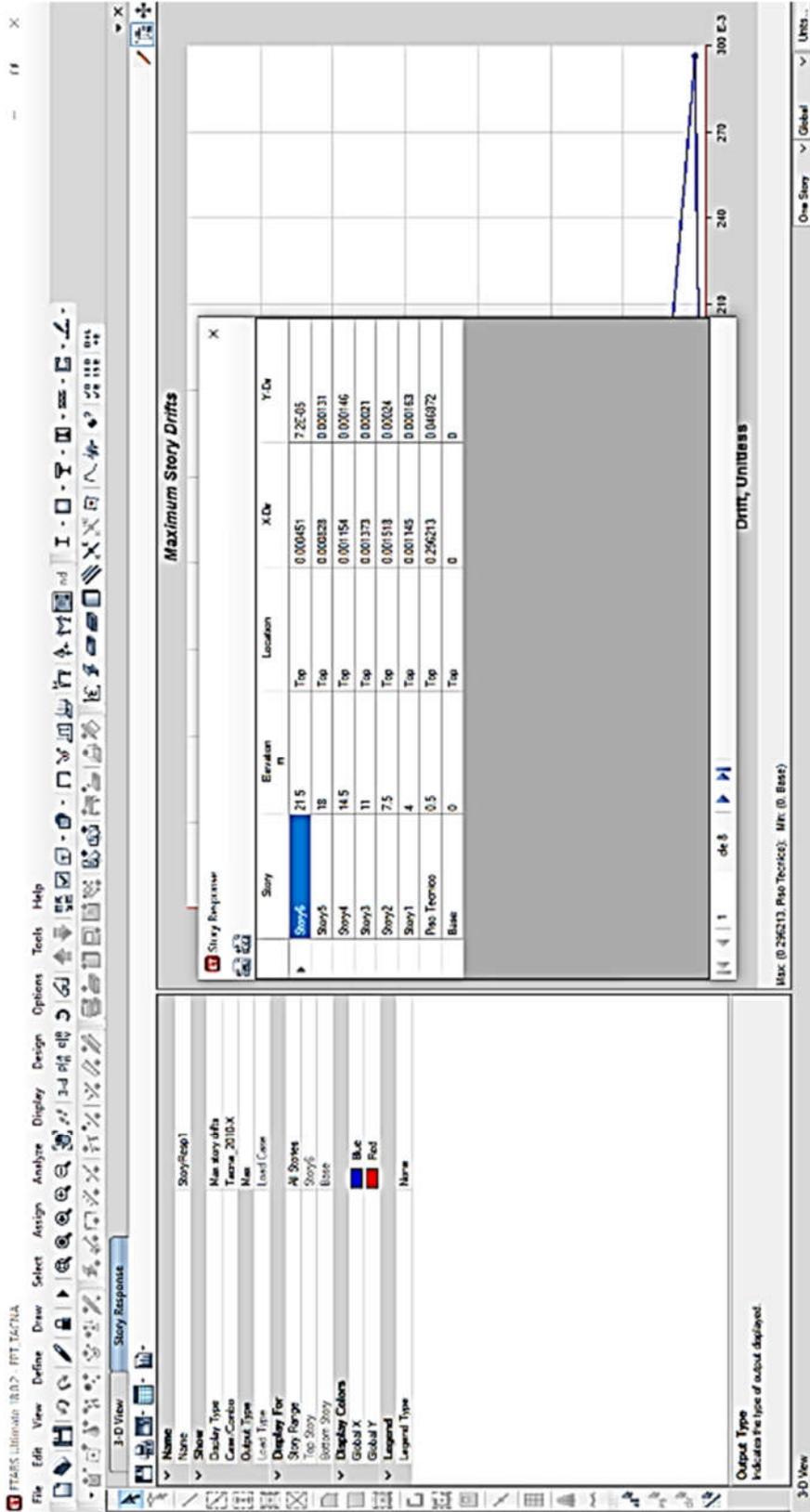
Record: << < 1 > >> of 100

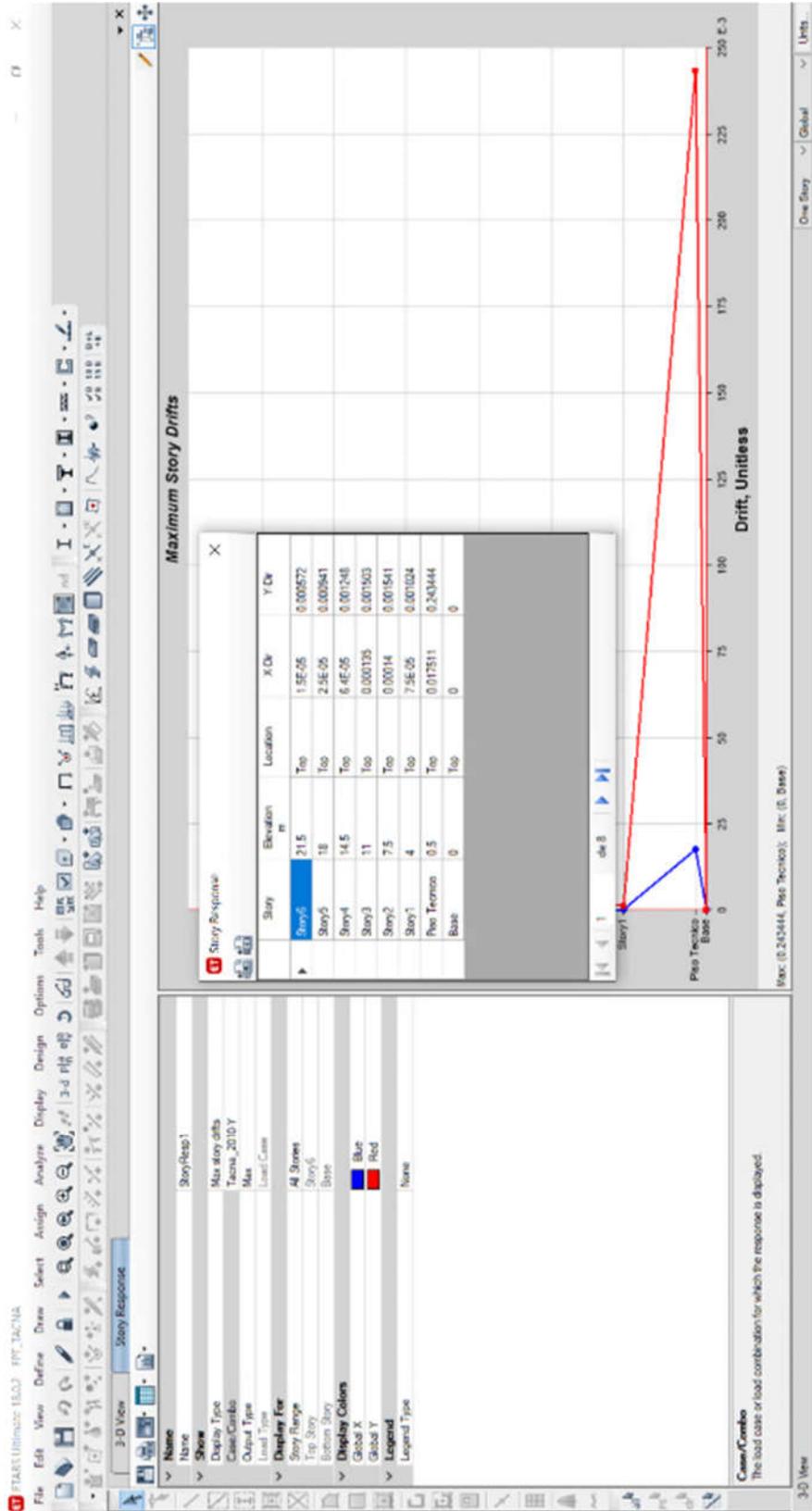
Modal Participating Mass Ratios

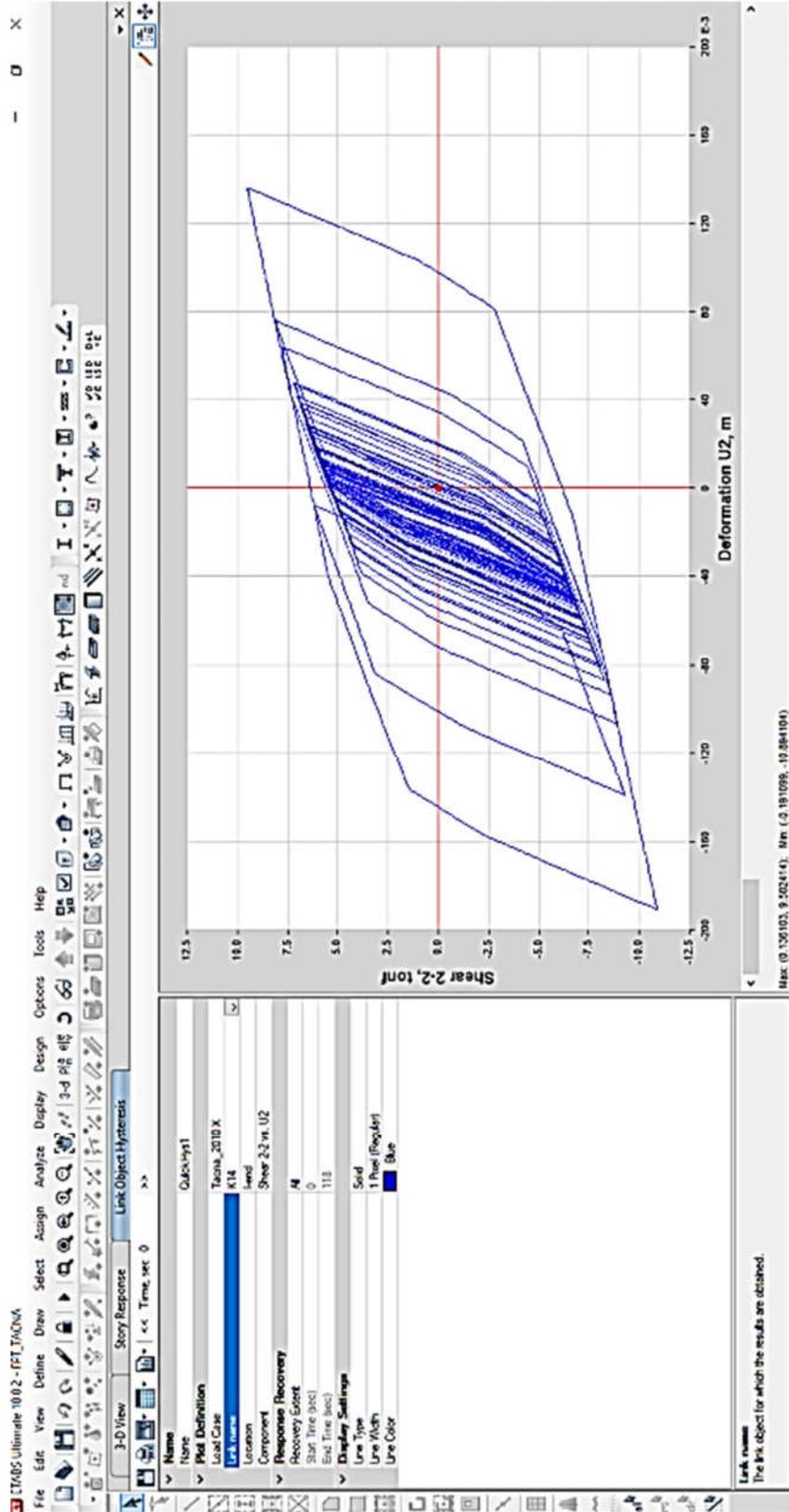
File Edit Format-Filter-Sort Select Options Filter

Start Animation Global << >> Units...

Done







Anexo C Estudios de zonificación

A 3. Estudios de suelos para poder realizar la presente investigación.

GOBIERNO REGIONAL DE TACNA SEDE CENTRAL
LICITACIÓN PÚBLICA N° 001-2015-GOB.REG.TACNA



263

8.2. CLASIFICACIÓN SÍSMICA.

Actualmente las categorías del suelo usados en códigos de edificaciones para diseño sísmico son generalmente basados en los datos obtenidos de velocidades de las ondas que se propagan superficialmente (V_s), de ensayos SPT para suelos granulares y de ensayos de corte directo en condiciones no drenadas (S_u) para suelos cohesivos.

De acuerdo con la normativa actual, (E.30-20106), los suelos se clasifican en 5 grupos diferentes que están en función del valor promedio en los 30 m situados bajo la cota final de cimentación, obtenido a partir de las velocidades (V_s), ensayos SPT o ensayos de corte directo no drenado (S_u).

Perfil	\bar{V}_s	N_{60}	S_u
S_5	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

Fig 16 Cuadro de clasificación según E.30-2016.

En nuestro caso para determinar la clasificación sísmica de la zona se ha partido de los resultados obtenidos en los ensayos SPT realizados en los sondeos, asumiéndose para llegar a los 30.0 m de profundidad se mantiene el nivel B, paquete detrítico grueso.

Así, en nuestro caso, el valor promedio de los ensayos SPT se sitúa en >50 por lo que de acuerdo a la norma E.30-2016, las características del terreno se ajustan mejor a la clasificación del suelo tipo S1, por lo tanto los parámetros sísmicos del suelo son los siguientes:

Factor de zona	Z=0.45 g
Perfil del suelo tipo	S1
Período predominante	$T_p=0.4s$
Factor de amplificación del suelo	S=1.0
Factor de uso. Edificio principal	Con aislamiento sísmico
Factor de uso Edificios auxiliares	1.3-1.0*
Factor de uso Edificios provisionales	En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

*En función de su uso

CONSORCIO HOSPITAL TACNA

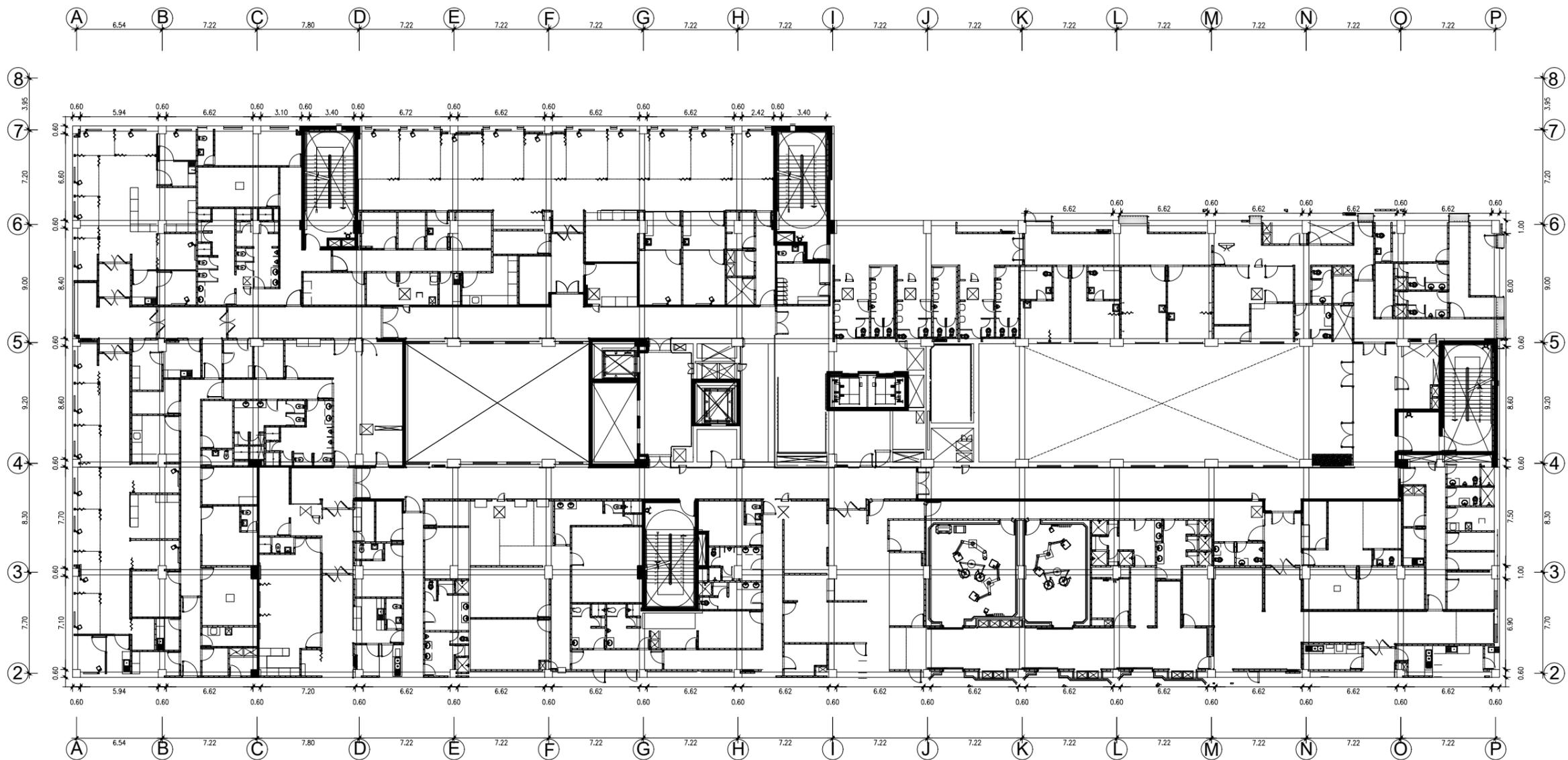
Ing. Elio Alarcón Farfán
Especialista en Suelos

CONSORCIO HOSPITAL TACNA

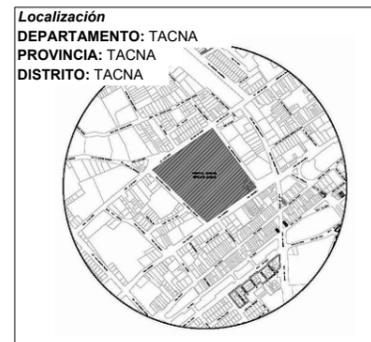
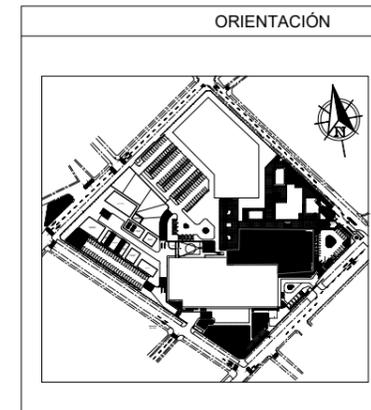
Arq. Guillermo A. Turza Arevalo
JEFE DE SUPERVISIÓN DE EXP. DE OBRA

NILSSON MORI SANCHEZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 175217

Planos



PLANO PISO 03
Escala 1:25



Proyecto
MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE SALUD DEL HOSPITAL HIPOLITO UNANUE, DE TACNA

Título de plano
ARQUITECTURA

Fase de proyecto
PROYECTO

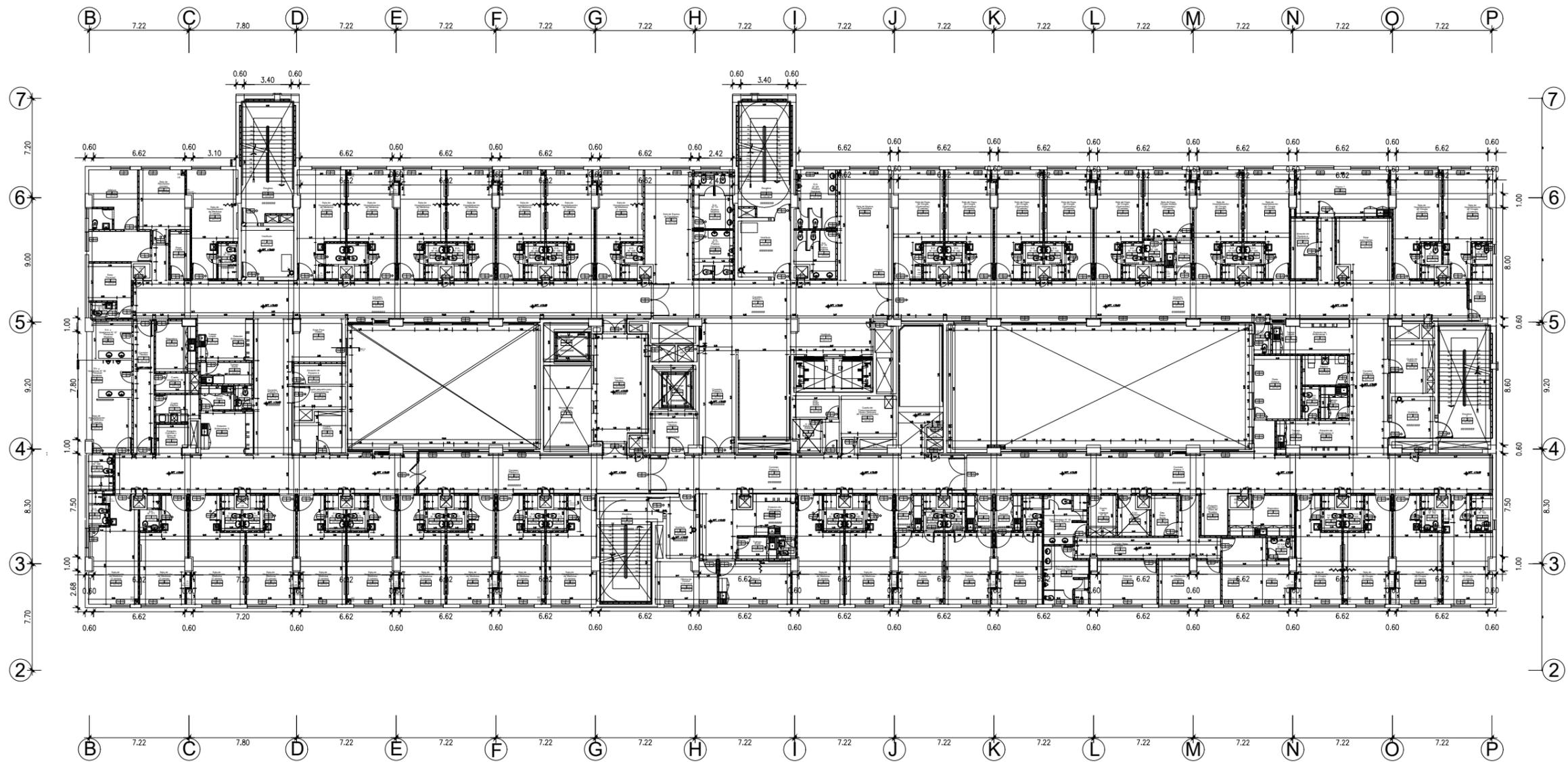
Número de plano

Fecha
NOVIEMBRE 2017

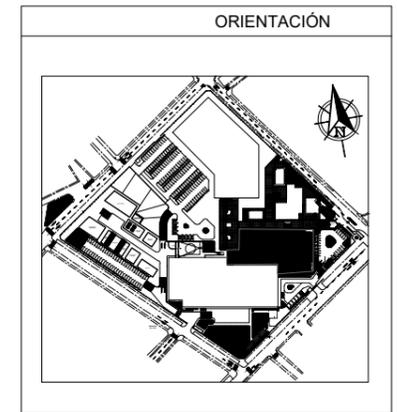
Escala

JEFE DE PROYECTO
Cesar Urteaga Araujo CIP: 16522

ESPECIALISTA
Eduardo Dextre Morimoto CAP: 2839



PLANO PISO 04,05 y 06
Escala 1:25



Proyecto
**MEJORAMIENTO DE LOS
SERVICIOS DE SALUD DEL
HOSPITAL HIPOLITO UNANUE,
DE TACNA**

Título de plano
ARQUITECTURA

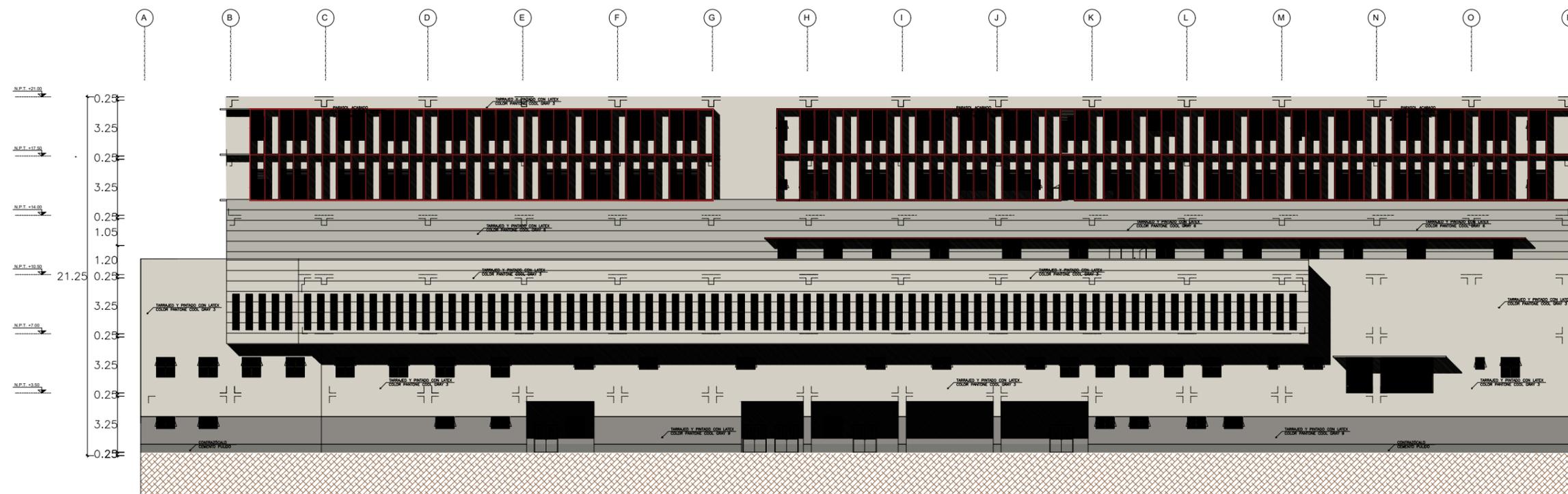
Fase de proyecto
PROYECTO

Número de plano

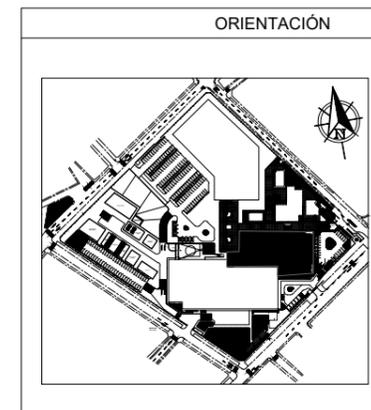
Fecha	NOVIEMBRE 2017	Escala
-------	----------------	--------

JEFE DE PROYECTO
Cesar Urteaga Araujo CIP: 16522

ESPECIALISTA
Eduardo Dextre Morimoto CAP: 2839



PLANO DE CORTE
Escala 1:25



Localización
DEPARTAMENTO: TACNA
PROVINCIA: TACNA
DISTRITO: TACNA



Proyecto
**MEJORAMIENTO DE LOS
SERVICIOS DE SALUD DEL
HOSPITAL HIPOLITO UNANUE,
DE TACNA**

Título de plano
ARQUITECTURA

Fase de proyecto
PROYECTO

Número de plano

Fecha
NOVIEMBRE 2017

Escala

JEFE DE PROYECTO
Cesar Urteaga Araujo CIP: 16522

ESPECIALISTA
Eduardo Dextre Morimoto CAP: 2839

