



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL DE UNA EDIFICACIÓN
CONVENCIONAL Y OTRA CON AISLADORES SÍSMICOS A NIVEL
INTERMEDIO DE LA ESTRUCTURA EN LA CIUDAD DE TACNA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH. JHESSENIA EVELING HUANCA CHAMBILLA

BACH. MARIENELA ASTRID MELÉNDEZ LIMACHE

TACNA- PERÚ

2016

***DEDICATORIA
Y AGRADECIMIENTOS***

AGRADECIMIENTOS

NOS GUSTARÍA QUE ESTAS LÍNEAS SIRVIERAN PARA EXPRESAR NUESTROS MÁS PROFUNDOS Y SINCEROS AGRADECIMIENTOS:

EN PRIMER LUGAR A DIOS, PORQUE CADA DÍA DE NUESTRAS VIDAS NOS BRINDÓ FORTALEZA Y FE PARA SEGUIR ADELANTE Y ALCANZAR DÍA A DÍA CADA META TRAZADA A LO LARGO DE NUESTRA VIDA.

ASÍ MISMO A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE CON SU APOYO HAN COLABORADO EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO, EN ESPECIAL A NUESTRO DOCENTE EL ING. WILBER MENDOZA QUE COLABORÓ EN LA REALIZACIÓN DE LA TESIS, POR LA MOTIVACIÓN Y EL APOYO RECIBIDO DURANTE EL DESARROLLO DE LA MISMA.

AGRADECEMOS A NUESTROS DOCENTES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL, POR HABERNOS BRINDADO LOS CONOCIMIENTOS Y CONSEJOS PARA APLICARLOS EN NUESTRA VIDA PROFESIONAL.

UN AGRADECIMIENTO MUY ESPECIAL MERECE LA COMPRENSIÓN, PACIENCIA Y EL ÁNIMO RECIBIDOS DE NUESTROS FAMILIARES Y AMIGOS, A TODOS ELLOS, MUCHAS GRACIAS.

DEDICATORIA

DEDICO ESTE PROYECTO DE TESIS A DIOS POR HABERME PERMITIDO CONTINUAR, MOSTRÁNDOME EL CAMINO CORRECTO, LE DOY LAS GRACIAS POR ILUMINAR CADA UNO DE MIS PASOS, A MIS PADRES EN ESPECIAL A MI MADRE POR SER UN EJEMPLO PARA MÍ, QUIEN A LO LARGO DE MI VIDA HA VELADO POR MI BIENESTAR Y EDUCACIÓN SIENDO MI APOYO EN TODO MOMENTO, A MI HERMANA, PORQUE HA ESTADO CONMIGO A CADA PASO QUE DOY, CUIDÁNDOME Y DÁNDOME FORTALEZA PARA CONTINUAR. MUCHAS GRACIAS POR CONFIAR EN MÍ, PORQUE A LARGO DE MI VIDA ME HAN BRINDADO SU COMPAÑÍA Y APOYO EN TODO MOMENTO.

MARIENELA ASTRID MELENDEZ LIMACHE

DEDICO LA PRESENTE TESIS, EN PRIMER LUGAR A DIOS, POR HABERME GUIADO POR EL CAMINO INDICADO, POR SIEMPRE ESTAR PRESENTE EN MI VIDA Y DARME LA FUERZA NECESARIA PARA NO DECAER EN EL CAMINO Y CUMPLIR CON LOS OBJETIVOS TRAZADOS, POR ESTAR PRESENTE EN MIS ACIERTOS Y MOMENTOS DIFÍCILES QUE ME ENSEÑARON A VALORARLO CADA DÍA MÁS, ASÍ MISMO AGRADECER A MIS PADRES, Y MENCIÓN APARTE A MI MADRE POR ESTAR PRESENTE EN TODAS LAS ETAPAS DE MI VIDA, POR SER UNA GUÍA Y EJEMPLO A SEGUIR, QUIEN SIEMPRE ME DEMOSTRÓ SU AMOR INCONDICIONAL Y APOYO. A MIS HERMANOS QUE HAN ESTADO A MI LADO APOYÁNDOME EN TODO MOMENTO.

JHESSENIA EVELING HUANCA CHAMBILLA

RESUMEN

Para cumplir con los objetivos y fines del presente trabajo de titulación, se debe utilizar una metodología que permita entregar en forma clara los fundamentos que sustentaran las conclusiones. Se trata de la evaluación del análisis plano en eje B-B de una estructura cuyo sistema es de pórtico de concreto armado, en la zona costera del Perú. Esta investigación comprende una comparación de una estructura convencional con otra aislada a nivel intermedio para ver si realmente es conveniente estructuralmente aplicar el sistema de aislación. Para lograr evaluar el proyecto, se enfoca el presente trabajo en cuatro grandes partes.

La primera consiste en realizar el análisis sismorresistente de la estructura convencional, este análisis se realizara utilizando el programa computacional Matlab tomando como referencia el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) enfocándonos en su comportamiento dinámico ante un sismo.

El segundo estudio a realizar es el análisis sismorresistente de la estructura que presenta aislación a nivel intermedio, proceso que se realizara utilizando el programa computacional Matlab tomando como referencia la norma ASCE 7-10, para la obtención de resultados de la estructura aislada.

El tercer estudio a realizar es el de diseñar el sistema de aislamiento a nivel intermedio. El sistema escogido es: aislador elastomérico convencional (HDR), que se escogió debido a su mayor aplicación y ventajas en estructuras.

Por último, se realizara el análisis comparativo de la estructura convencional y la estructura aislada con el fin de determinar el más adecuado según los resultados

obtenidos en su análisis independiente, con el fin de verificar los resultados obtenidos anteriormente en cada análisis.

Se pretende que el presente de trabajo de investigación sea una herramienta útil en el conocimiento y estudio de la aislación a nivel intermedio, una ayuda a la interpretación de la norma sísmica sobre estos dispositivos.

SUMMARY

To meet the objectives and purposes of this work degree, use a methodology to deliver clearly the fundamentals that underpin the conclusions. It is up assessment analysis axis B-B of a structure whose system is reinforced concrete porch in the coastal area of Peru. This research includes a comparison of a conventional structure with another isolated intermediate level to see if it is structurally suitable to apply insulation system. To achieve assess the project, this work focuses four main parts.

The first is to do the seismic analysis of the conventional structure, this analysis was performed using the computer program Matlab reference to the National Building Regulations (RNE) focusing on dynamic behavior in an earthquake.

The second study to be performed is the seismic analysis of the structure having isolation at the intermediate level, a process that will be made using the Matlab computer program with reference to ASCE 7-10 standard for obtaining results of the isolated structure.

The third study to do is to design the insulation system at the intermediate level. The system chosen is conventional elastomeric isolator (HDR), which was chosen due to its greater application and advantages structures.

Finally, comparative analysis of the conventional structure and the structure isolated in order to determine the most appropriate according to the results obtained in independent analysis, in order to verify the results obtained previously in each analysis was performed.

It is intended that the present research is a useful tool in understanding and study of the insulation at the intermediate level, an aid to the interpretation of seismic standard on these devices.

ÍNDICE

INDICE DE FIGURA.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE ECUACIONES.....	VII
CAPITULO I:.....	1
DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO.....	1
1.1 INTRODUCCION.....	2
1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.....	4
1.5. ALCANCES.....	5
1.6. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	6
CAPITULO II:.....	8
MARCO TEORICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES.....	9
2.2. ACCIONES SISMICAS.....	11
2.3. SISMICIDAD.....	13
2.4. AISLACION SÍSMICA.....	14
2.5. HISTORIA Y DESARROLLO DE LOS AISLADORES.....	17
2.5.1. EDIFICIOS AISLADOS EN EL MUNDO.....	19
2.6. HISTORIA Y DESARROLLO DE AISLADORES EN EL PERÚ.....	25
2.7. TIPO Y COMPORTAMIENTO DE LOS AISLADORES.....	32
2.7.1. AISLADORES ELASTOMERICOS CON NUCLEO DE PLOMO (LRB).....	34
2.7.2. AISLADORES DE PENDULO FRICCIONAL.....	35
2.7.3. AISLADORES ELASTOMERICO CONVENCIONAL.....	37
2.7.3.1. AISLADORES ELASTOMERICO DE BAJO AMORTIGUAMIENTO.....	38
2.7.3.2. AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO MORTIGUAMIENTO.....	39
2.8. CONSIDERACIONES GENERALES.....	40
2.8.1. PERIODO FUNDAMENTAL.....	40
2.8.2. AMORTIGUAMIENTO.....	40

2.8.3. DUCTILIDAD	40
2.8.4. RESISTENCIA Y RIGIDEZ.....	40
2.8.5. DISTRIBUCION DE LAS FUERZAS DE INERCIA	41
2.8.6. CENTRO DE MASA	41
2.8.7. CENTRO DE RIGIDEZ.....	41
2.9. ANALISIS DINAMICO MODAL	42
2.9.1. ESTRUCTURA CONVENCIONAL	42
2.9.2. ESTRUCTURA AISLADA	46
2.10. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA AISLADO	49
2.11. NORMA TECNICA E030 DISEÑO SISMORRESISTENTE 2016	50
2.12. NORMA CHILENA NCH 2745	59
CAPITULO III:	61
MODELO ESTRUCTURAL CONVENCIONAL DE 5 PISOS CON SÓTANOS	61
3.1. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA REGULAR.....	62
3.2. ANALISIS SISMICO DE UNA ESTRUCTURA CONVENCIONAL DE 5 PISOS CON 2 SÓTANOS	63
3.2.1. RESOLUCION ESTRUCTURA CONVENCIONAL	63
CAPITULO IV:	71
MODELO ESTRUCTURAL CON AISLADORES SISMICOS EN PISOS INTERMEDIOS	71
4.1. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA REGULAR.....	72
4.2. ANALISIS SISMICO DE UNA ESTRUCTURA CONVENCIONAL CON AISLADORES ELASTOMERICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDRB)	73
4.2.1. RESOLUCION ESTRUCTURA CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO.....	75
CAPITULO V:	87
NORMA AISLAMIENTO SISMICO EN PISOS INTERMEDIOS	87
5.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	88
5.2. FILOSOFIA DE DISEÑO.....	88
5.3. PROCEDIMIENTO DE ANALISIS	91
5.4. APLICACIONES GENERALES DE NORMATIVAS INTERNACIONALES	92
CAPITULO VI:	95
AISLAMIENTO EN NIVEL INTERMEDIO DEL MODELO ESTRUCTURAL.....	95
6.1. CONDICIONES DE DISEÑO PARA AISLACION EN NIVEL INTERMEDIO.....	96

6.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AISLACION EN NIVEL INTERMEDIO	97
6.2.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL AISLADOR	97
6.3. DISEÑO DEL AISLADOR	101
CAPITULO VII:	103
ANALISIS COMPARATIVO Y DISCUSION DE RESULTADOS	103
7.1. RESULTADOS DEL ANALISIS DINAMICO PARA LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL	104
7.2. RESULTADOS DEL ANALISIS DINAMICO PARA LA ESTRUCTURA AISLADA	105
7.3. COMPARACION ENTRE DESPLAZAMIENTOS	106
7.4. COMPARACION ENTRE DERIVAS O DISTORSIONES	107
7.5. ANALISIS SEGÚN	109
CAPITULO VIII:	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
8.1. CONCLUSIONES	111
8.2. RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFIA	115
ANEXOS	117
ANEXO 1	118
ANEXO 2	122
ANEXO 3	125
ANEXO 4	128

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPARACION DE UNA ESTRUCTURA DE BASE FIJA Y OTRA CON BASE AISLADA.....	16
FIGURA 2: ESCUELA PESTALOSSI, MACEDONIA	19
FIGURA 3: LAW AND JUSTICE CENTER	20
FIGURA 4: CONDOMINIO ANDALUCIA.....	20
FIGURA 5: UBICACIÓN DE AISLADORES	21
FIGURA 6: VIADUCTO MARGA-MARGA.....	21
FIGURA 7: HOSPITAL DE LA UNIVERSIDAD DE KYORIN	22
FIGURA 8: CLINICA SAN CARLOS DE APOQUINDO	23
FIGURA 9: THE M.L. KING/C.R. DREW DIAGNOSTICS TRAUMA CENTER	23
FIGURA 10: EDIFICIO SAN ANGUSTIN DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA.....	24
FIGURA 11: HOSPITAL MILITAR 2002. UNIVERSIDAD DE CHILE	24
FIGURA 12: EDIFICIO ATLANTIK OCEAN TOWER.....	25
FIGURA 13: EDIFICIO PROYECTO UTEC (NUEVO CAMPUS).....	26
FIGURA 14: NUEVA SEDE GRAÑA Y MONTERO	27
FIGURA 15: CENTRO DE INFORMACION E INVESTIGACION DE LA FIC-UNI.	27
FIGURA 16: EDIFICIO MULTIFAMILIAR MADRE.....	28
FIGURA 17: BIBLIOTECA –CAFETERIA DEL CAMPUS VILLA DE LA UPC	29
FIGURA 18: HOSPITAL BELLAVISTA.....	30
FIGURA 19: AISLADOR ELASTOMERICO CON NUCLEO DE PLOMO (LRB)	30
FIGURA 20: CONSTRUCCION DE HOSPITAL SANTA GEMA DE YURIMAGUAS	31
FIGURA 21: HOSPITAL SANTA GEMA DE YURIMAGUAS.	31
FIGURA 22: DISTRIBUCION DE LOS AISLADORES DE ACUERDO A SU POSICION.....	32
FIGURA 23: PERIODO NATURAL CON AISLACION Y SIN AISLACION	33
FIGURA 24: AISLADOR ELASTOMETRICO TIPO LRB	35
FIGURA 25: AISLADOR ELASTOMETRICO TIPO FPS	37
FIGURA 26: CORTE DE UN AISLADOR ELASTOMETRICO DE BAJO AMORTIGUAMIENTO	39
FIGURA 27: ESTRUCTURAL CONVENCIONAL.....	42

FIGURA 28: ESTRUCTURAL CON AISLACION	46
FIGURA 29: EFECTOS DE LA AISLACION EN EL COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UNA ESTRUCTURA.....	49
FIGURA 30: DISTRIBUCION DE ZONAS SISMICAS DEL PERU	50
FIGURA 31: ESTRUCTURA CONVENCIONAL.....	62
FIGURA 32: ESPECTRO DE PSEUDOACELERACION.....	68
FIGURA 33: ESTRUCTURA C. CON AISLADORES A NIVEL INTERMEDIO.....	73
FIGURA 34: ESQUEMA DE UN AISLADOR ELASTOMERO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO.....	74
FIGURA 35: GEOMETRIA DE LA SUPERESTRUCTURA PARA LA ESTRUCTURA.....	76
FIGURA 36: GEOMETRIA DE LA SUBERESTRUCTURA PARA LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL.....	79
FIGURA 37: ESPECTRO DE PSEUDOACELERACION	83
FIGURA 38: VALORES DEL SDI PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELOS PERTENECIENTES A LA ZONA 4 DEL PERU.....	93
FIGURA 39: RELACION ENTRE FUERZAS CORTANTES EN CADA PISO	106
FIGURA 40: DESPLAZAMIENTOS: ESTRUCTURA CONVENCIONAL	107
FIGURA 41: DESPLAZAMIENTOS: ESTRUCTURA AISLADA	107
FIGURA 42: RELACION DE DERIVAS EN CADA PISO	109

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: SISMOS EN EL PERU	12
TABLA 1.1: TERREMOTOS MAS DESTRUCTIVOS EN EL MUNDO DESDE 1900.....	14
TABLA 2: FACTORES DE ZONA	51
TABLA 3: FACTOR DE SUELO	52
TABLA 4: PERIODO TP Y TI	52
TABLA 5: SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	53
TABLA 6: CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR U	56
TABLA 7: LIMITES PARA LA DISTORSION DEL ENTREPISO	58
TABLA 8: FACTORES DE PARTICIPACION MODAL Y ACELERACIONES PARA LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL	68
TABLA 9: FUERZAS MAXIMAS ESPERADAS Y FUERZAS CORTANTES EN CADA NIVEL.....	69
TABLA 10: DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL	70
TABLA 11: FACTORES DE PARTICIPACION MODAL Y ACELERACIONES ESPECTRALES PARA LA ESTRUCTURA REGULAR CON AISLADORES ALASTOMERICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO.....	83
TABLA 12: FUERZAS MAXIMAS ESPERADAS Y FUERZAS CORTANTES EN CADA NIVEL.....	84
TABLA 13: DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONALCON AISLADORES ELASTOMERICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO.....	86
TABLA 14: COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO ($\beta_D - \beta_M$).....	94
TABLA 15: RESULTADOS PARA EL DISEÑO CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO	102
TABLA 16: FUERZAS CORTANTES, MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS, PERIODO FUNDAMENTAL Y DERIVAS OBTENIDAS DEL ANALISIS DINAMICO PARA LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL	104
TABLA 17: FUERZAS CORTANTES, MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS, PERIODO FUNDAMENTAL Y DERIVAS OBTENIDAS DEL ANALISIS DINAMICO PARA LA ESTRUCTURA AISLADA	105
TABLA 18: LIMITES DE DISTORSION DE ENTREPISO	108

INDICE DE ECUACIONES

ECUACION 1:	43
ECUACION 2:.....	43
ECUACION 3:.....	43
ECUACION 4:.....	43
ECUACION 5:.....	43
ECUACION 6:.....	44
ECUACION 7:.....	44
ECUACION 8:.....	44
ECUACION 9:.....	44
ECUACION 10:.....	44
ECUACION 11:.....	45
ECUACION 12:.....	45
ECUACION 13:.....	45
ECUACION 14:.....	47
ECUACION 15:	94
ECUACION 16:.....	94
ECUACION 17:.....	94
ECUACION 18:.....	94
ECUACION 19:.....	98
ECUACION 20:.....	98
ECUACION 21:.....	99
ECUACION 22:.....	99
ECUACION 23:.....	99
ECUACION 24:.....	99
ECUACION 25:.....	99
ECUACION 26:.....	99
ECUACION 27:.....	99
ECUACION 28:.....	100
ECUACION 29:.....	100
ECUACION 30:.....	100

ECUACION 31:.....	100
ECUACION 32:.....	100
ECUACION 33:.....	100
ECUACION 34:.....	100

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra ubicada en una zona altamente sísmica, por tal motivo toda edificación construida debe diseñarse para que pueda resistir los sismos que pueden originarse en nuestro país.

La ingeniería sismorresistente busca salvaguardar la vida de las personas y con ello contribuir a la mejora en la construcción de edificaciones logrando obtener un mejor comportamiento sísmico lo que disminuye en gran medida los daños a la estructura, así mismo reducir la construcción informal que hoy en día abunda en nuestro país, motivo por el cual las edificaciones son altamente vulnerables por no considerar los parámetros sísmicos en su proceso constructivo.

Cabe indicar que para edificaciones esenciales, cuya función no debe interrumpirse inmediatamente después de un sismo severo, como son establecimientos de salud, estaciones de bomberos, estaciones policiales e instituciones que pueden servir de refugio después de un sismo, se debe asegurar su funcionamiento, aunque estas puedan resultar ser muy costosas, por ende se plantea considerar el uso de un sistema de aislación, para mejorar el comportamiento sismorresistente y reducir daños a la misma asegurando la continuidad de sus funciones.

Para tal caso se plantea un análisis comparativo entre una edificación construida convencionalmente frente a una edificación implementada con un sistema de aislación y con ello ver si es realmente conveniente el uso de aisladores en la ciudad de Tacna de acuerdo a los resultados que se obtendrán.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sur del Perú, concretamente la región Tacna, es considerada una de las zonas altamente sísmicas, debido a que se encuentra situada en el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde la actividad sísmica principal es el resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

Tacna está caracterizada por ser una de las zonas más sensibles del país ante cualquier actividad sísmica, lo que genera que el riesgo de movimiento sísmico sea inminente para esta región, es bien conocido ya que la región de Tacna no ha sido epicentro de un sismo de gran magnitud desde ya hace mucho tiempo, producto del cual se encuentra en un denominado “Silencio Sísmico” desde hace más de 100 años.

Tacna, es una de las regiones de más alto índice de actividad sísmica en el Perú, considerando ello está expuesto a un riesgo latente, el problema está en que no se crea una conciencia sísmica, a pesar de las innumerables advertencias que se viene dando no solo en nuestro país, actualmente en el Perú es muy poco difundido la aplicación de nuevas técnicas sísmicas, como el uso de aisladores sísmicos en una edificación, los aisladores sísmicos cumplen la función de aminorar en gran medida de los daños en una estructura que suponen la continuidad de su funcionamiento y la preservación de la vida humana, el hecho de que su aplicación sea mínima en nuestro país genera una gran desventaja para nuestro país y el desarrollo del mismo.

La aislación sísmica es una nueva técnica antisísmica que permite disminuir los desplazamientos ocasionados por una actividad sísmica, bajo el concepto de independizar la estructura del movimiento que se propaga por el suelo, reduciendo claramente los daños de una estructura a comparación de una no

aislada. Los aisladores sísmicos pueden colocarse en la base de la cimentación cuando la estructura no ha sido construida aun o en pisos intermedios, este último cuando la edificación contenga sótanos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento sismorresistente más eficiente, entre una edificación convencional de 5 niveles con 2 sótanos y otra incorporada con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la estructura en la ciudad de Tacna, según la última norma E.030 de Diseño Sismorresistente (2016).

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis sismorresistente de una edificación convencional de 5 niveles con 2 sótanos.
- Realizar el análisis sismorresistente de una edificación de 5 niveles con 2 sótanos incluyendo aisladores sísmicos a nivel intermedio.
- Realizar un análisis comparativo del comportamiento sismorresistente de una edificación convencional de 5 niveles con 2 sótanos y otra incorporando aisladores sísmicos a nivel intermedio.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La actividad sísmica en el sur del Perú tiene un amplio desarrollo a lo largo del tiempo, su origen se encuentra ligada con las condiciones tectónicas regionales y locales que presenta el terreno de la zona, así mismo de la construcción

informal que persiste en todo el país que no se rige bajo parámetros sísmicos, es por ello que se tiene la necesidad de incluir dispositivos en las edificaciones de hoy en día, de manera que permitan mejorar el comportamiento de una estructura asegurando la continuidad de sus funciones y reduciendo los daños que se generan como consecuencia de un movimiento sísmico. Con la inclusión de aisladores a la estructura se busca aumentar la seguridad de los ocupantes de la edificación y garantizar el funcionamiento óptimo de las estructuras después de los sismos con el incremento de la resistencia lateral y la disminución de la energía de entrada.

El presente proyecto tiene por finalidad contribuir a la difusión de una nueva técnica en construcciones seguras en el Perú con la incorporación de aisladores sísmicos en una estructura que mejore significativamente el comportamiento sísmorresistente ante un sismo.

1.5 ALCANCES

A partir de los objetivos planteados tanto generales como específicos, se pretende lograr los siguientes alcances:

- Proporcionar información sobre las características y aplicación de los aisladores sísmicos en estructuras que lo requieran, de modo tal que impulse el interés en el estudio de los mismos y su aplicación en estructuras.
- Fomentar el conocimiento y con ello el incremento del uso de aisladores sísmicos en edificaciones en todo el Perú, por la diversidad de tipos de suelos y su aplicación en suelos donde se tenga una respuesta beneficiosa.

1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados, se debe aplicar una metodología que otorgue los fundamentos que sustente debidamente las conclusiones. Como se basa de un análisis de edificios convencionales y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio en una edificación de 5 niveles con 2 sótanos en la ciudad de Tacna, lo que se quiere determinar si es verdaderamente necesario incorporar aisladores sísmicos a una edificación de tal modo que mejore su comportamiento sismorresistente respecto a la misma estructura en forma convencional, todo esto respaldado por un análisis sismorresistente el cual muestre si existen beneficios en el nuevo diseño justificando la implementación del nuevo sistema.

Para lograr nuestros objetivos propuestos con anterioridad, se ha optado por seccionarlo por fases que a continuación se explicaran:

En primer lugar; realizar el análisis sismorresistente de la estructura convencional mediante cálculos manuales con el apoyo del Programa Matlab tomando como referencia el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) enfocándonos en su comportamiento dinámico ante un sismo.

En segundo lugar; realizar el análisis sismorresistente de la estructura convencional que se encuentra aislada sísmicamente, dentro de la cual se tiene para su análisis el aislador Elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) que se escogió debido a su difusión y buena respuesta en estructuras, proceso que se realizara manualmente con el apoyo del Programa Matlab para la obtención de resultados del edificio aislado.

En tercer lugar; realizar el diseño del aislador Elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) con el fin de determinar sus características y medidas necesarias, para posteriormente se pueda calcular los valores y ver el beneficio del mismo.

Por último, se realizara el análisis comparativo de la estructura convencional y la estructura aislada para determinar el sistema más apropiado según los resultados obtenidos en su análisis independiente, para tal caso se harán uso del programa MATLAB, para verificar los resultados obtenidos anteriormente en cada análisis.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

- Tesis elaborada por los **ING. CASTILLO SAGBAY, JUAN GREGORIO Y PAZMIÑO TERÁN, MARÍA BELÉN**. “**ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA REGULAR E IRREGULAR CON AISLADORES EN PISOS INTERMEDIOS, DISEÑO DE AISLADORES DE ACUERDO AL ASCE 7-10 Y TORSION EN UNA ESTRUCTURA DE UN PISO. UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS. SANGOLQUÍ - ECUADOR**”, 2014. Donde se concluye en estructuras ubicadas en zonas de alto peligro sísmico, es recomendable utilizar dispositivos que disipen la energía liberada ante un evento de esta índole, como aisladores elastoméricos o FPS.

Las estructuras con sistema de aislación, se diseñan para eventos sísmicos con probabilidad de excedencia del 2% en 50 años, es decir un periodo de retorno de 2475 años, según el código ASCE 2010. Dicho sismo denominado MCE se utiliza para determinar los efectos en cuanto a desplazamientos, aceleraciones, derivas y fuerzas en los aisladores.

- Tesis elaborada por los **ING. KORSWAGEN EGUREN, PAUL ALEXANDER, ARIAS RICSE, JULIO CÉSAR Y HUARINGA HUAMANI, PAMELA GRACE**. “**ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SISMICOS EN EL PERÚ**” **PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU. LIMA – PERÚ**, 2012. Donde se concluye que la aislación sísmica de edificaciones en el Perú resulta beneficiosa en la mayoría de los casos, debido a que las frecuencias predominantes de los sismos son altas, lo que implica que

estructuras con periodos altos, como es el caso de las estructuras con aislación, no amplifican las aceleraciones. No obstante, la frecuencia de vibración de los suelos debe tenerse en cuenta, por lo que los suelos del tipo S3, por lo general con frecuencias bajas de amplificación, resultan indeseables. La eficiencia del diseño se logra cuando las fuerzas finales son como máximo iguales a las que se obtendrían con un diseño sin aislación, con la diferencia, de que el diseño aislado no se espera daños por comportamiento inelástico de la estructura.

- Tesis elaborada por los **ING. CARMONA RAMIREZ, PEDRO Y ROSAS FETTA, ANGELLO JESÚS. “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DINÁMICO DEL DISEÑO NORMATIVO SISMO-RESISTENTE DE UN SISTEMA DUAL FRENTE AL MODELO CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR) DE UN SISTEMA APORTICADO, DEL EDIFICIO DE OFICINAS SCHELL DE SEIS PISOS UBICADO EN LA PROVINCIA DE LIMA – PERÚ”.** UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. LIMA-PERU. Donde se concluye que en el sistema aislado ocurren menores desplazamientos horizontales relativos de entrepiso, lo cual ayudará a un mejor comportamiento de la estructura.

Al utilizar los aisladores de base, se obtienen mayores periodos de la estructura, por lo tanto, menores aceleraciones y como consecuencia las fuerzas sísmicas disminuirán. Lo cual contribuirá a menores demandas de diseño.

2.2 ACCIONES SÍSMICAS

La acción de los sismos sobre los edificios y el comportamiento de éstos frente a un evento sísmico son complejos. Aunque se ha adelantado mucho al respecto, especialmente en algunos países, aún queda mucho por estudiar y experimentar. En los últimos 10 años en ciudades importantes a nivel mundial se han dado sismos catastróficos que han provocado la muerte de más de 100,000 personas. En la mayoría de los casos las fallas se han debido a problemas de mala calidad de los materiales utilizados en la construcción, ausencia o deficiencias en el diseño estructural o composición arquitectónica inadecuada.

Contando con poco conocimiento y el deseo de aumentar la seguridad sísmica, muchas veces las obras se han encarecido exageradamente y hasta se han sobredimensionado elementos que con su excesivo peso contribuyen al derrumbe de la estructura.

Por lo tanto, para evitar que los terremotos lleguen a ser catastróficos, es necesario disminuir la vulnerabilidad de las construcciones, lo que se logra mediante el desarrollo, actualización permanente y aplicación efectiva de reglamentos para construcciones sismorresistentes.¹

¹ Aislación Sísmica de un Edificio (Análisis Comparativo del Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional), Leidy Baneza Núñez García. (2014) Pág. 02

Tabla N° 01: Sismos en el Perú

N°	AÑO	LUGAR	DESCRIPCIÓN
1	1868	Arica	Ocasionó fuerte destrucción en Arica, Tacna, Moquegua, Ilo, Torata, Iquique y Arequipa, con magnitud de 8.6 en escala de Richter
2	1922	Arequipa	Fue sentido fuertemente en Chala, Acarí, Puquio, Palpa, Ica.
3	1928	Puno	Destruyó Ayapata, y Tatu Ollachea.
4	1958	Arequipa	Por efectos del sismo, se desprendieron enormes bloques de rocas tanto del volcán Misti como de los cerros circunvecinos, con magnitud de 6.2 en escala Richter.
5	1966	Lima y Callo	Se sintió en todo el Norte Chico y algunas localidades del Sur. Afectó numerosas poblaciones del interior.
6	1970	Piura y Tumbes	Se sintió en Ecuador donde hubo muertes y daños materiales, con magnitud de 7.2 en escala Richter.
7	1979	Arequipa	Ocasionó muertes y muchos heridos. Produjo severos daños en las localidades de Chuquibamba y pueblos del valle de Majes, con magnitud de 6.2 en escala Richter.
8	1986	Cusco	Terremoto en Cusco destruyo casi todo, con magnitud de 5.8 en escala de Richter.
9	1991	Amazonas	Afectó San Martín, Amazonas y La Libertad, con magnitud de 6.2 en escala Richter.
10	1996	Nazca	Produjo un violento Terremoto en el Sur del país provincias de Ica, Pisco, Nazca y Palpa en el departamento de Ica, con magnitud de 6.4 en escala de Richter.
11	2001	Arequipa, Moquegua y Tacna	Tuvo características importantes entre las que se destaca la complejidad de su registro y ocurrencia.
12	2007	Pisco	Tsunami en Pisco, originado por un sismo con epicentro en el mar a 60 km al oeste de Pisco, de 7.9 escala Richter. Inundo la localidad de Lagunillas .Causo 3 muertos y muchos daños materiales.

Fuente: Elaboración Propia

2.3 SISMICIDAD

La sismicidad es la cuantificación de sismos producidos en un lugar determinado. Una zona dada puede presentar alta o baja sismicidad debido a la ubicación en donde se encuentre y con ello se verifica con qué frecuencia ocurren los sismos en ese lugar. Un estudio de sismicidad muestra un mapa con los epicentros y la cantidad de sismos que se producen en algún período determinado.² El Perú se encuentra en una zona de choque entre dos placas tectónicas, la placa de Nazca y la placa Sudamericana, estas chocan entre sí y una se ubica debajo de otra, originando en la superficie terrestre, una gran cantidad de sismos, esto debido a que las placas se expanden todo el tiempo, entonces cada vez la placa de Nazca se mete más debajo de la Sudamericana y al friccionarse generan grandes cantidades de energía, las cuales mediante movimientos sísmicos ya sea de baja, mediana y alta magnitud son liberadas en la superficie terrestre.

La Tabla N° 1.1 muestra un registro de los terremotos más destructivos en el mundo, así como el epicentro y la fecha en las que originaron.

² Tesis: Diseño Estructural de una Edificación con Disipadores de Energía y Análisis Comparativo Sísmico entre el edificio convencional y el edificio con Disipadores de Energía para un Sismo Severo, Cano H., Zumaeta E.(2012) Pág. 09

Tabla N° 1.1: Terremotos más destructivos en el mundo desde 1900.

N°	UBICACIÓN	FECHA	MAGNITUD (RICHTER)
1	Valdivia, Chile	22/05/1960	9.5
2	Prince William Sound, Alaska	28/03/1964	9.2
3	Costa Oeste de Sumatra Norte	26/12/2004	9.1
4	Costa Este de Honshu, Japon	11/03/2011	9.0
5	Kamchatka, Rusia	04/11/1952	9.0
6	Maule, Chile	27/02/2010	8.8
7	Costa de Ecuador	31/01/1906	8.8
8	Islas Rata, Alaska	04/02/1965	8.7
9	Sumatra Norte, Indonesia	28/03/2005	8.6
10	Assam, Tibet	15/08/1950	8.6
11	Islas Andreanof, Alaska	09/03/1957	8.6
12	Sumatra Sur, Indonesia	12/09/2007	8.5
13	Mar de Banda, Indonesia	01/02/1938	8.5
14	Kamchatka, Rusia	03/02/1923	8.5
15	Frintera Chile-Argentina	11/11/1922	8.5
16	Islas Kuril	13/10/1963	8.5

Fuente: Elaboración Propia

2.4 AISLACIÓN SÍSMICA

El principio de la aislación sísmica se basa en la premisa de que es posible separar una estructura de movimientos que el suelo transmite con la introducción de elementos flexibles entre la estructura y el suelo con la finalidad de modificar la respuesta del edificio, permitiéndose la habitabilidad y operatividad del edificio sin ningún impedimento por no presentarse daños mayores, esto favorece en gran medida a las edificaciones que requieren su funcionamiento después de eventos telúricos como es el caso de los hospitales, centros de comunicación, o industrias donde el equipo al interior del edificio supera el precio de la estructura.

Manzur afirma:

El aislamiento sísmico no solo mejora el nivel de seguridad de las personas y las estructuras, sino también protege la inversión, lo que lleva dentro y asegura la continuidad de operación. Existen diversos tipos de aisladores elastoméricos (con o sin núcleo de plomo), dependiendo del diseño estructural y las solicitaciones sísmicas del proyecto. Incluso edificios de 15 o 20 pisos pueden usar aisladores sísmicos de acuerdo a la relación que guardan con su base, afirmó Víctor Manzur, de Weir Minerals Perú.³

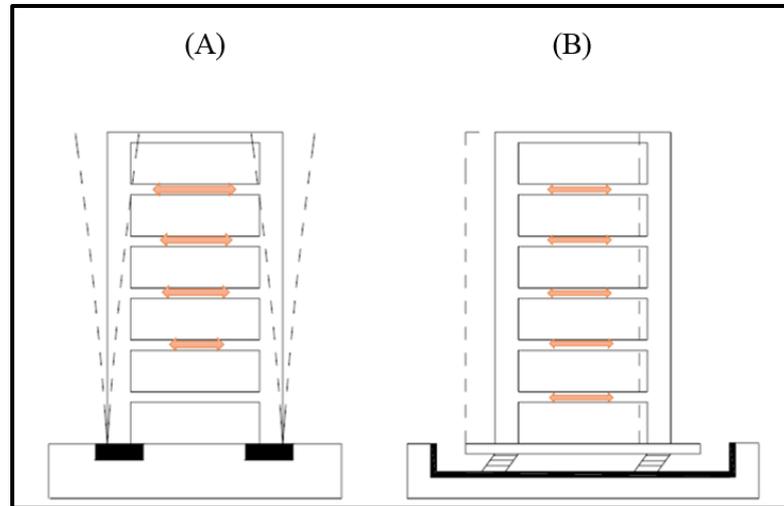
La implementación del aislamiento resulta ser de gran utilidad en países como el Perú por encontrarse en una zona de alta actividad sísmica con el peligro latente de sucumbir ante un terremoto mayor a los 8 grados en la escala de Richter. Se ha demostrado el excelente comportamiento que puede lograr una estructura con aislamiento sísmico en la preservación de la vida como de la protección de estructuras al estar sometidas a movimientos sísmicos de moderada a severos magnitud.

Es recomendable el aislamiento en estructuras rígidas y en las que no haya una relación elevada altura-anchura, puesto que se puede generar momentos de vuelco además de disminuir la variación del periodo de vibración.⁴

³ http://constructivo.com/cn/suscriptor/pdfart/131209104636_BIBLIOTECA.pdf

⁴ Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del Edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la Provincia de Lima – Perú, Carmona P., Rosas A. (2015) Pág. 10

Figura N° 01: Comparación de una estructura de base fija y otra con base aislada



Fuente: Elaboración Propia

En el grafico se muestra el edificio A y edificio B

(a) Edificación sin aislamiento basal

(b) Edificación con aislamiento basal

La aislación basal hoy en día es considerada un diseño estratégico que está dirigido a reducir la cantidad de energía de entrada a las fundaciones de una estructura.

Dicha estrategia logra su efectividad mediante los siguientes mecanismos:⁵

1) A través de la reducción de la respuesta sísmica como una consecuencia al corrimiento del periodo fundamental de la estructura.

2) A través de una limitación de las fuerzas transmitidas a la fundación. Una alta capacidad de amortiguamiento de los aisladores permite controlar y reducir los desplazamientos relativos.

⁵ Aguiar, R., Almazán J. L., Dechent P., Suárez V. (2008) Aisladores de Base Elastoméricos y FPS. CIENCI ESPE: Centro de Investigaciones Científicas.- Escuela Politécnica del Ejército.

2.5 HISTORIA Y DESARROLLO DE LOS AISLADORES ⁶

Con el paso del tiempo y la evolución de técnicas de aislamiento sísmico, se han ido creando diferentes tipos de aisladores que van perfeccionándose, la incorporación de aisladores en diferentes edificaciones en todo el mundo viene incrementándose de forma vertiginosa debido a resultados que han demostrado el buen comportamiento que tienen ante un movimiento sísmico.

En el año 1909 J.A. Calantarients del Reino Unido le escribió una carta al Director del servicio sismológico de Chile, en donde indicaba que una edificación de uso esencial puede construirse con normalidad en un país denominado “ sísmico” si es que existiera una junta entre la base de la edificación y el suelo, y que éste debiera estar relleno de un material fino, logrando sin ninguna dificultad que pueda deslizarse durante un movimiento sísmico; ya que con ello las fuerzas horizontales que se transmiten a la estructura producto del sismo lograrían disminuirse y por ende no presente daños que puedan provocar un posible colapso.

En el último siglo se han buscado diversos mecanismos que sirvan para aislar a la estructura del suelo con el fin de disminuir las fuerzas que son transmitidas por el suelo a la edificación con el objetivo de preservar la vida humana y reducir los daños provocados por movimientos sísmicos. En el año 1969 se construyó el primer edificio aislado con bloques de caucho, la escuela Pestalozzi de tres pisos hecha de concreto en Skopje, (Macedonia).

⁶ Análisis y Diseño de Estructuras con Aisladores Sísmicos en el Perú, Korswagen P, Arias J, Huaranga P. (2012) Pág. 03-04

Casi finalizando la década de los 70, se habían construido unos pocos edificios aislados en Japón. Hasta el año 1985 sólo tres proyectos habían sido completados. Entre los años 1985 y 1994, durante el boom de la economía japonesa, el número de edificios aislados empezó a incrementarse a razón de 10 edificios por año. En 1978 se construyó un viaducto de Toe-toe en North Island, en Nueva Zelanda. Fue la primera estructura con aisladores sísmicos hechos con capas intercaladas de caucho y acero con un núcleo de plomo en el centro para que ayude a disipar la energía. Este tipo de aisladores llamados LRB (Lead Rubber Bearing) son de amplio uso actualmente.

Un pequeño número de edificios aislados fueron construidos en Nueva Zelanda e Italia principalmente por ser muy importantes. En 1981 se terminó el primer edificio aislado con LRB: Edificio William Clayton en Wellington, Nueva Zelanda.

El primer edificio aislado en los Estados Unidos es Foothills Communities Law and Justice Center (FCLJC) ubicado en el Rancho Cucamonga, Los Ángeles, hecho con aisladores elaborados con caucho de alto amortiguamiento natural.

Finalmente, hay que destacar el gran número de edificios con aislamiento de base realizados en el mundo desde el año 1982, ya que a partir de este momento comienza el proceso de implementación experimental de este sistema.

Proceso que a su término, trajo como efecto el incremento considerable en la cantidad de edificios con aislamiento sísmico, sin embargo, no sería hasta los terremotos de Kobe (Japón - 1995) y Northridge (EE.UU. - 1994) donde se podría observar el eficiente desempeño del aislamiento basal en campo y ante eventos sísmicos reales con considerable magnitud, lo que desencadenó una

verdadera revolución en la implementación de este sistema sismorresistente al punto de que la cantidad de edificios con aislación basal creció exponencialmente.

2.5.1 EDIFICIOS AISLADOS EN EL MUNDO

- **Escuela Pestalozzi, Macedonia⁷**

En el año 1969 se construyó el primer edificio aislado con bloques de caucho, la escuela Pestalozzi de tres pisos hecha de concreto en Skopje, (Macedonia).

Figura N° 02: Escuela Pestalozzi, Macedonia



Fuente: <https://www.flickr.com/photos/84288284@N02/15041285846/> - Diciembre 2015

- **Law and justice center⁸**

El primer edificio aislado en los Estados Unidos es Foothills Communities Law and Justice Center (FCLJC) ubicado en el Rancho Cucamonga, Los Ángeles, hecho con aisladores elaborados con caucho de alto amortiguamiento natural.

⁷ Análisis y Diseño de Estructuras con Aisladores Sísmicos en el Perú, Korswagen P, Arias J, Huaranga P. (2012) Pág. 04

⁸ Análisis y Diseño de Estructuras con Aisladores Sísmicos en el Perú, Korswagen P, Arias J, Huaranga P. (2012) Pág. 04

Figura N°03: Law and justice center, Los Angeles

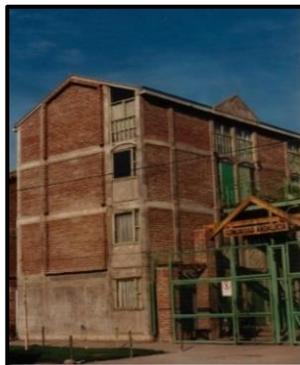


Fuente: Fuente: Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos de Estructuras Simples Utilizando Aislamiento Sísmico en Diferentes Condiciones de Suelo. Pág.31

- **Condominio Andalucía**

Es el primer edificio construido con aislación sísmica basal en Chile fue diseñado y construido en 1992, el edificio consta de una estructura de 4 niveles sostenido en su base por 8 aisladores, para esta edificación se empleó el aislador de goma de amortiguamiento medio (MDB).

Figura N° 04: Comunidad Andalucía



Fuente: <http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/Andalucia.html>

- **Viaducto Marga-Marga**

Es la primera obra de infraestructura vial construida en Chile, que se encuentra aislada sísmicamente. El Viaducto Marga-Marga tiene una longitud de 383

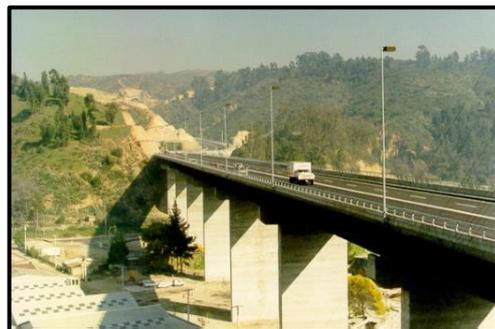
metros y un sistema estructural formado por vigas metálicas. Contiene en su estructura 36 aisladores sísmicos que sirven de apoyo donde descansan las vigas metálicas, empleando aisladores de goma de alto amortiguamiento.

Figura N° 05: *Ubicación de aisladores*



Fuente: <http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/marga.html>

Figura N° 06: *Viaducto Marga-Marga*



Fuente: <http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/marga.html>

- **Hospital de la Universidad de Kyorin**⁹

El hospital se encuentra ubicado en la ciudad de Mitaka. Su sistema de aislamiento incluye 83 aisladores LRB o apoyos de Goma con núcleo de Plomo

⁹ Análisis sísmico de una estructura regular e irregular con aisladores en pisos intermedios, diseño de aisladores de acuerdo al ASCE 7-10 y torsión en una estructura de un piso, Castillo J.G., Pazmiño M.B. (2014) Pág. 17

y 10 aisladores elastoméricos sin núcleo de plomo. Otra de las bondades que presentan los sistemas de aislamiento es que se evita la paralización post – sismo, aspecto de vital importancia sobre todo en edificios cuya función así lo demanda, como son hospitales, estaciones de bomberos, etc.

Figura N° 07: Hospital de la Universidad de Kyorin



Fuente: Análisis sísmico de una estructura regular e irregular con aisladores en pisos intermedios, diseño de aisladores de acuerdo al ASCE 7-10 y torsión en una estructura de un piso. Pág. 17

- **Clínica San Carlos de Apoquindo**

La edificación se encuentra en la ciudad de Santiago de Chile, siendo el primer hospital aislado sísmicamente en ese país, proyecto que fue desarrollado en la Universidad Católica de Chile y realizada su construcción en el año 2000. Consiste de una edificación de 6 niveles, para lo cual se han incorporado 30 aisladores de alta amortiguamiento (HDR) y 22 apoyos elastoméricos con núcleo de plomo (LRB).

Figura 08: Clínica San Carlos de Apoquindo



Fuente: Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). Pág. 18

- **The M. L. King/C. R. Drew Diagnostics Trauma Center¹⁰**

Es un edificio que consta de 5 niveles, estos se encuentran apoyados en 70 aisladores de caucho de alto amortiguamiento natural y 12 apoyos deslizantes.

Figura 09: The M. L. King/C. R. Drew Diagnostics Trauma Center



Fuente: Análisis Comparativo de un Edificio Fijo en la Base vs un Edificio Aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos. Pág.22

- **Edificio San Agustín de la Pontificia Universidad Católica de Chile**

En el año 2002 se construyó la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica, esta estructura de 5 niveles, en su estructura contiene 53 aisladores en

¹⁰ Análisis Comparativo de un Edificio Fijo en la Base vs un Edificio Aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos, Valerio J.J. (2015) Pág. 22

su totalidad, de donde 25 aisladores de alto amortiguamiento (HDR), 17 LRB y 11 dispositivos deslizantes friccionales.

Figura N° 10: Edificio San Agustín de la Pontificia Universidad Católica

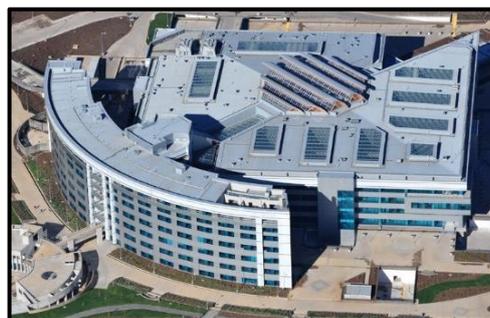


Fuente: Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). Pág. 19

- **Hospital Militar 2002. Universidad de Chile**

Construido durante el año 2004, con la superficie más extensa aislada (50.000 m²), el edificio contiene 164 aisladores, de ellos 114 MDB y 50 LRB.

Figura N° 11: Hospital Militar 2002. Universidad de Chile.



Fuente: Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional).

En Latinoamérica el País que cuenta con mayor cantidad de estructuras con aisladores de base es Chile, donde ya se tienen más de treinta estructuras con aisladores, la mayor parte de ellas son elastoméricos.

2.6 HISTORIA Y DESARROLLO DE AISLADORES EN EL PERÚ

Es de vital importancia para nuestro país, la aplicación de sistemas de protección sísmica tal es el caso de aislación sísmica en las edificaciones, ya que estas mejoran el nivel de seguridad y la propia estructura, a su vez permiten la continuidad de las funciones por las cuales fue construida.

Si bien el Perú es un país altamente sísmico, el termino aislación sísmica es relativamente nuevo en nuestro país, afortunadamente esta técnica viene siendo incluida satisfactoriamente en algunos edificios en nuestro país.

- **Edificio Atlantik Ocean Tower**

Un edificio diseñado para albergar, en sus 15 pisos, más de 160 departamentos que contará con un sistema de aislamiento sísmico y que permitirá que los futuros vecinos no se vean afectados frente a la ocurrencia de esta clase de episodios.

Figura N° 12: Edificio Atlantik Ocean Tower



Fuente: Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos de Estructuras Simples

Utilizando Aislamiento Sísmico en Diferentes Condiciones de Suelo. Pág.41

- **Edificio Proyecto UTEC (Nuevo Campus) – BARRANCO¹¹**

Es un edificio de 12 niveles con 2 sótanos, la estructura se encuentra ubicada en el distrito de Barranco, en la ciudad de Lima cuenta con una altura de 49 m, el cual fue provista de un sistema de protección sísmica, compuesta por 145 aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y 4 deslizadores ubicados sobre el primer sótano y en zonas estratégicas.

Con la incorporación de estos dispositivos de aislación se logró mitigar el efecto de las irregularidades propias de las superestructura, simplificando y haciendo predominantes los modos de vibración traslacionales en la dirección longitudinal y transversal del edificio reduciendo considerablemente los modos torsionales, por otro lado, se disminuyeron también notablemente las derivas de entrepiso.

Figura N° 13: Edificio Proyecto UTEC (Nuevo Campus)



Fuente: <http://cdvperu.com/aisladores-dis/>

- **Nueva Sede Graña y Montero**

El proyecto corporativo G y M, consiste en la construcción de un edificio de oficinas, el cual consta de 4 sótanos, 7 pisos y una azotea, cuenta con un área techada de 17233 m², así mismo este edificio optara por la inclusión de

¹¹ Cueva B, Sagastegui S., Sánchez S. (s.f.) Formas Recomendadas para Construir-Diseño Antisísmico. Recuperado de http://www.academia.edu/12302993/DISIPADORES_AISLADORES_SISMICOS.

aisladores sísmicos de tipo: AISLADORES ELASTOMERICOS CON NUCLEO DE PLOMO (LRB).

Figura N° 14: Nueva Sede Graña y Montero



Fuente: <http://cdvperu.com/aisladores-dis/>

- **Centro de Información e Investigación de la FIC-UNI**

La Facultad de Ingeniería Civil de la UNI construyó su moderno Centro de Información sobre aisladores sísmicos. Esta edificación comprende la inclusión de 20 aisladores que pesan 800 kilogramos, utilizando una grúa telescópica que los coloca en cada pilar, para sostenerlos mediante cuatro pernos, los aisladores son de tipo: AISLADORES ELASTOMERICOS CON NUCLEO DE PLOMO (LRB).

Figura N° 15: Centro de Información e Investigación de la FIC-UNI



Fuente: <http://cdvperu.com/aisladores-dis/>

- **Edificio Multifamiliar Madre**

Consiste en la construcción de un edificio de viviendas multifamiliares, comprende un área total de 1200 m², incluyendo 33 aisladores de tipo: AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR), con la finalidad de soportar el peso del edificio y los desplazamientos horizontales en caso de sismo. Estos mecanismos se colocan en la base de la estructura con el objetivo de aislarla del movimiento del suelo en caso de sismo.

Figura N° 16: Edificio Multifamiliar Madre



Fuente: Plenium Inmobiliaria JJC

- **Biblioteca – Cafetería del Campus Villa de la UPC¹²**

El proyecto consta de una edificación de 3 niveles, sin la instalación de placas lo que la hace mucho más ligera que otras de su clase, además presenta un área techada en el primer piso es de 1,679 m², del segundo de 1,370.02 m² y del tercero, 691.66 m², lo cual suma un total de 3,740.68 m².

¹² Constructivo (s.f) Estructura con Aislamiento Sísmico. Recuperado de http://constructivo.com/cn/suscriptor/pdfart/131209104636_BIBLIOTECA.pdf

La Biblioteca – Cafetería consta de la instalación de los 41 elementos (26 aisladores de caucho natural de alto amortiguamiento de 60 cm y 15 deslizadores friccionales de 60 cm de diámetro y recorrido ± 25 cm), cuya finalidad de estos sistemas es hacer posible que las edificaciones puedan continuar operando post terremoto y que sigan siendo seguras, porque hay muchas estructuras que no colapsarán pero dejarán de operar como resultado de los efectos de un evento telúrico, lo que no sucederá con un edificio acondicionado con aislamiento sísmico debido a la reducción de las aceleraciones y a la ampliación del periodo de transmisión de energía en alrededor de 3 a 3.5 segundos.

Figura N° 17: Biblioteca – Cafetería del Campus Villa de la UPC



Fuente: www.constructivo.com

- **Hospital Bellavista**

El futuro hospital costará 79'049,243.05 nuevos soles, distribuidos en 3'233,147.32 de nuevos soles destinados al nosocomio de contingencia, que se construirá en los próximos 120 días calendarios. Mientras el hospital de Bellavista tendrá una inversión de 75'816,095.73 de nuevos soles y se ejecutará en 570 días calendarios. En la Ciudad de los Cuatro Pisos se beneficiarán 27,797 personas. Este hospital incluirá en su construcción aisladores de tipo AISLADORES ELASTOMERICOS CON NUCLEO DE PLOMO (LRB).

Figura N° 18: Hospital Bellavista



Fuente: <http://cdvperu.com/aisladores-dis/>

Figura N° 19: Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)



Fuente: <http://cdvperu.com/aisladores-dis/>

Se muestra el aislador de tipo LRB que se emplea en la construcción del hospital.

- **Hospital II-1 Santa Gema de Yurimaguas¹³**

El Hospital Santa Gema en Yurimaguas es el primer edificio en la selva que contará con aisladores sísmicos. Posee una distribución de espacios a través de bloques que, en algunos casos, comparten la cimentación y un uso de corredores que permite un correcto funcionamiento del hospital sin interferencias.

¹³(2015) Hospital Santa Gema en Yurimaguas: Aisladores sísmicos en la selva. Construcción y Vivienda - - Revista Proyecta. Recuperado de http://www.construccionyvivienda.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=335:aisladores-sismicos-en-la-selva

El Hospital Santa Gema de Yurimaguas se divide en 12 bloques. Algunos bloques comparten la cimentación para evitar juntas mayores entre estructuras.

Por ejemplo los bloques 2 y 3 comparten la cimentación al igual que el 5,6 y 7.

La edificación cuenta en total con 13 deslizadores, ubicados principalmente en la zona de escaleras y pits de ascensores, así como 28 aisladores elastoméricos situados, casi todos, debajo de cada columna de los siete bloques, los bloques aislados serán 1, 2, 3, 4 de dos pisos y los bloques 5, 6 y 7 de cuatro pisos.

Figura N° 20: Construcción de Hospital Santa Gema de Yurimaguas



Fuente: <http://cdvperu.com/aisladores-dis/>

Figura N° 21: Hospital Santa Gema de Yurimaguas



Fuente: www.construccionyvivienda.com/aisladores-sismicos-en-la-selva

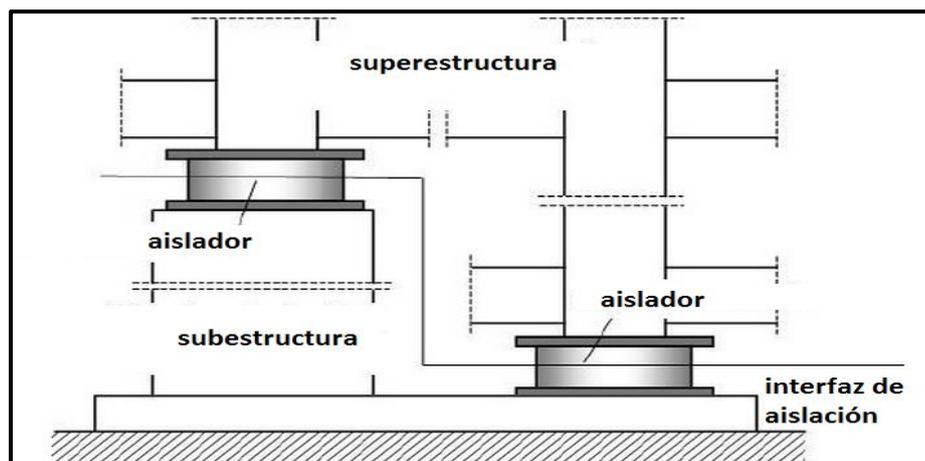
2.7 TIPO Y COMPORTAMIENTO DE LOS AISLADORES

La incorporación de aisladores sísmicos es considerada hoy en día un diseño estratégico que tiene la finalidad de reducir en gran medida la energía que es introducida a la estructura por medio del suelo debido a un movimiento sísmico, entonces la inclusión de aisladores le proporciona a la estructura flexibilidad horizontal y rigidez vertical, disminuyendo la amplificación de la aceleración sísmica ya que esta se comporta como un solo bloque, cosa contraria sucede con las edificaciones convencionales ya que estas amplifican la aceleración sísmica en pisos altos provocando daños serios en la edificación.

Al incorporar aisladores sísmicos se logra:

- a) Reducir la respuesta sísmica, debido al periodo fundamental.
- b) Reducir los desplazamientos relativos, por la capacidad de amortiguamiento de aisladores y reducción de las fuerzas que se transmiten a la estructura.
- c) Minimizar daños a la edificación y preservar la vida humana.

Figura N°22: Distribución de los aisladores de acuerdo a su posición

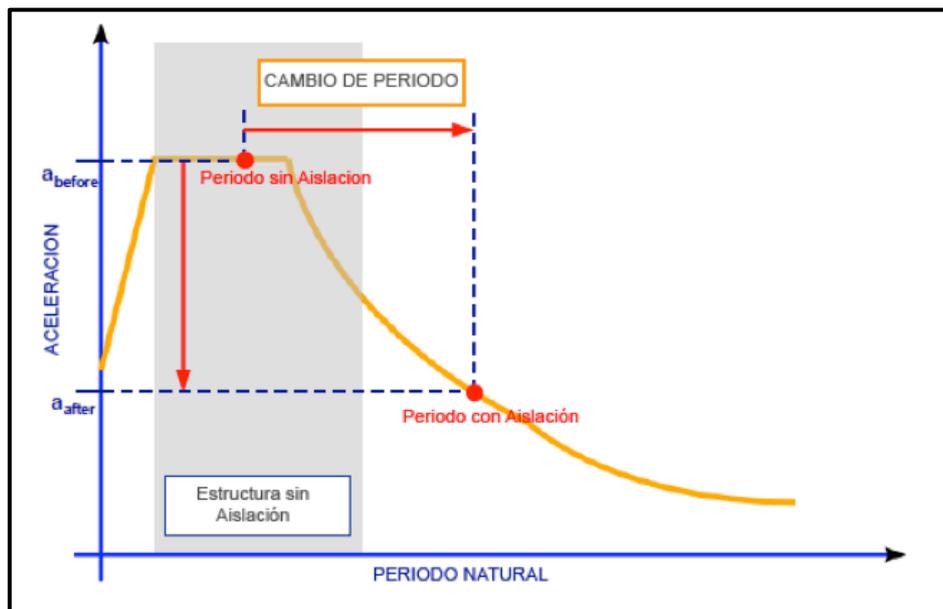


Fuente: Guía de Diseño Sísmico de Aisladores Elastoméricos y de Fricción para la República de Nicaragua, Meza R., Sánchez E. (2010) Pág. 14

Para comprenderlo aún más, definiremos los siguientes conceptos:¹⁴

- Unidad de Aislamiento: Es un elemento estructural muy flexible en la dirección horizontal y sumamente rígido en la dirección vertical que permite grandes deformaciones bajo carga sísmica.
- Interfaz de Aislamiento: Es el límite imaginario que existe entre la parte superior de la estructura, la cual está aislada, y la inferior que se mueve rígidamente con el terreno.
- Sistema de Aislamiento: Es el conjunto sistemas estructurales que incluye a: todas las unidades de aislamiento y sistemas de restricción de desplazamientos.

Figura N°23: Periodo natural con aislación y sin aislación



Fuente: <http://www.tecnoav.cl/4-aisladores-sismicos-y-disipadores-sismicos/>

¹⁴ Guía de Diseño Sísmico de Aisladores Elastoméricos y de Fricción para la Republica de Nicaragua, Meza R., Sánchez E. (2010) Pág. 15

En el presente trabajo se detallará los sistemas de protección sísmica más empleados:

- a) Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo (LRB)
- b) Aisladores Elastoméricos de Péndulo Friccional (FPS)
- c) Aisladores Elastoméricos Convencionales
 - c.1) Aislador Elastomérico de Bajo Amortiguamiento (LDR)
 - c.2) Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento (HDR)

2.7.1. AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo son uno de los más empleados en la actualidad, estos tipos de aisladores se encuentran formados por láminas de caucho natural intercaladas con placas de acero, las cuales son vulcanizadas entre sí y poseen, a diferencia de los dispositivos SI, un núcleo de plomo que aumenta su capacidad de amortiguamiento. Debido a los componentes con los que está elaborado tiene un mayor desplazamiento horizontal y una alta rigidez vertical.¹⁵

La adición del núcleo de plomo proporciona una capacidad adicional para disipar energía y como consecuencia la rigidez lateral disminuye además reduce los desplazamientos para pequeños sismos y fuerzas de viento.

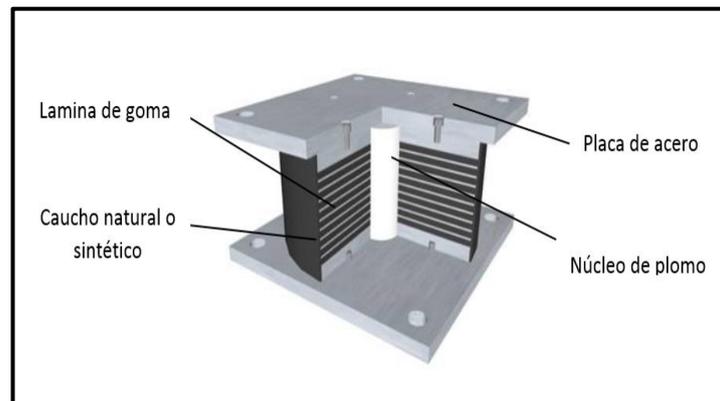
El amortiguamiento que se logra con la inclusión de los aisladores con núcleo de plomo se encuentra entre 25 al 30%. Estos dispositivos son fabricados a medida para cada proyecto, de acuerdo a la rigidez horizontal, rigidez vertical,

¹⁵ Sísmica. Recuperado de: <http://www.sismica.cl/?portfolio=aisladores-elastomericos-con-nucleo-de-plomo-lrb>

desplazamiento, capacidad de carga y capacidad de amortiguamiento requerida.¹⁶

Durante la acción sísmica, el aislador se deforma lateralmente debido a la flexibilidad que poseen, el núcleo de plomo fluye, incidiendo en deformaciones plásticas y desvaneciendo energía en forma de calor, luego de terminada la acción sísmica, la goma que tiene el aislador regresa a su posición original, mientras tanto el núcleo de plomo recristaliza y es así como el aislador esta nuevamente preparado para soportar una nueva acción sísmica realizando el mismo procedimiento. La figura N°24 muestra las partes componentes de un aislador elastomérico de tipo LRB.¹⁷

Figura N°24: Aislador elastomérico tipo LRB



Fuente: Elaboración Propia

2.7.2. AISLADORES DE PÉNDULO FRICCIONAL

Este tipo de aisladores son de menor costo, menor altura y más rápida fabricación que otros aisladores elastoméricos. Adicionalmente eliminan la

¹⁶ Análisis Y Diseño de un Edificio con Aisladores Sísmicos, Modelamiento en Etabs, Mullo C. (2014) Pág.16-17

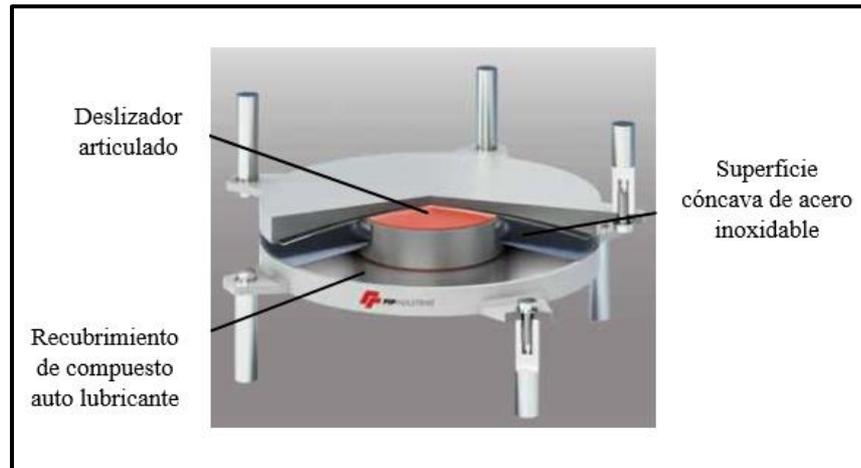
¹⁷ Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción (2012) Protección Sísmica de Estructuras – Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía (n°29) Santiago de Chile (Pág. 25)

torsión accidental de la estructura, mejorando la respuesta de la estructura frente a un sismo. El péndulo friccional opera con dos superficies cóncavas de acero inoxidable y un elemento lenticular, que se deslizan entre sí. La curvatura de las superficies (el radio equivalente) determina la rigidez equivalente del dispositivo.

Los péndulos friccionales, FPS, cuentan con un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava que se encuentra cubierta con material compuesto de poca fricción. Mientras que la parte del apoyo articulado que está en contacto con la superficie esférica, está rodeada por una película de un material compuesto de baja fricción; a diferencia de los apoyos deslizantes planos, cuentan con la característica y ventaja de ser autocentrantes. Luego de un movimiento sísmico, la estructura regresa a su posición inicial gracias a la geometría de la superficie y a la fuerza inducida por la gravedad. Cabe señalar que este tipo de aisladores de FPS basa su funcionamiento en el principio del péndulo donde se percibe que el periodo de dicha estructura resulta ser independiente de la masa que la estructura soporta, una virtud sobre los demás aisladores ya que no se involucran tantos factores lo que facilita la selección de un determinado aislador.¹⁸

¹⁸ Aislación Sísmica de un Edificio (Análisis Comparativo del Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional), Núñez García Leidy Baneza (2014) Pág. 21-22

Figura N°25: Aislador elastomerico tipo FPS



Fuente: Elaboración Propia

2.7.3. AISLADOR ELASTOMÉRICO CONVENCIONAL

Los aisladores elastoméricos han ido evolucionando desde su creación para poder cumplir una mejor labor de acuerdo a los requerimientos deseados, llegando a la configuración actual la cual entrega la seguridad de que tendrá un buen desempeño.

El comportamiento de los aisladores elastoméricos depende de su amplitud de deformación a la que son sometidos y, en menor grado, de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento.

Básicamente estos aisladores son apoyos elastoméricos laminados está formado por un conjunto de láminas planas de goma intercaladas con placas planas de acero adheridas a la goma, mediante un proceso en el cual se aplica al conjunto presión a temperatura muy alta, la goma se vulcaniza y el elemento adquiere su propiedad elástica.

En la mayoría de los diseños de aisladores elastoméricos se utiliza la geometría de un cilindro, ya que con esto las propiedades del aislador no se ven afectadas por la dirección de la carga horizontal aplicada, repartiéndose los esfuerzos uniformemente.¹⁹

2.7.3.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE BAJO AMORTIGUAMIENTO (LDRB)

Los aisladores elastoméricos de caucho natural de bajo amortiguamiento han sido usados ampliamente alrededor del mundo en conjunción con dispositivos de amortiguamiento adicionales debido a su simpleza dentro de los aisladores elastoméricos.

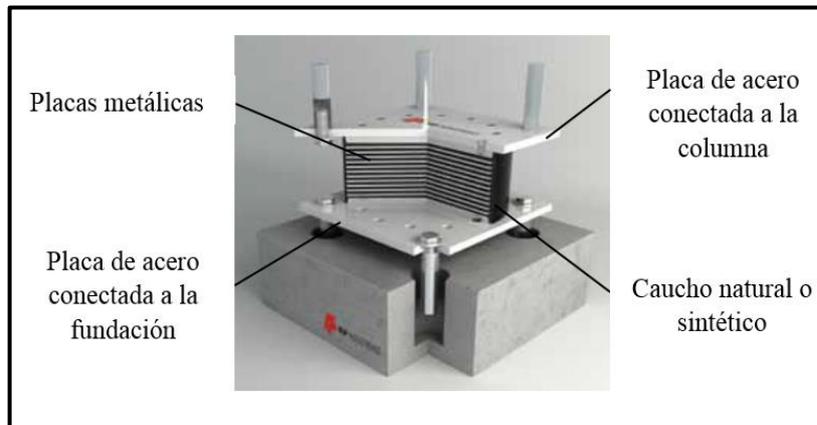
Consisten en aisladores que utiliza goma natural con un punto bajo de amortiguación de entre 2 a 5% como máximo, poseen las mismas características mencionadas en el punto anterior con la salvedad que se utiliza una goma de baja capacidad de amortiguación, las láminas de acero impiden las expansiones laterales de la goma y proveen de alta rigidez vertical, pero no tienen efecto sobre la rigidez horizontal del aislador que es controlada por el bajo módulo al esfuerzo de corte que posee el elastómero.

Debido al bajo porcentaje de amortiguamiento que presentan, por lo general son empleados en conjunto con disipadores de energía que proporcionen la amortiguación adicional al sistema.

¹⁹ Análisis Y Diseño de un Edificio con Aisladores Sísmicos, Modelamiento en Etabs, Mullo C. (2014) Pág.14

Figura N°26: Corte de un aislador elastomérico de bajo amortiguamiento

(LDRB)



Fuente: Elaboración Propia

2.7.3.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDRB)

El aislador elastomérico de alto amortiguamiento tiene la misma disposición mencionada en el punto anterior de ir intercalando láminas de goma con delgadas capas de acero, pero en este caso se utiliza una goma que además de entregar la flexibilidad y rigidez requerida, se diferencia de los elastómeros comunes porque posee como propiedad natural un alto amortiguamiento, logrado a través de agregar sustancias químicas al compuesto.

Estos aisladores están compuestos de materiales especiales o el caucho lleva aditivos como carbón en polvo, aceites, resinas, polímeros u otros elementos que le dan al caucho propiedades especiales como mayor amortiguamiento y mejores propiedades ante altas deformaciones.²⁰

El amortiguamiento que logra este tipo de aisladores se encuentra entre el 10 a 20%, por lo tanto no es necesario el uso de amortiguadores adicionales.

²⁰ Aislación Sísmica de un Edificio (Análisis Comparativo del Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional), Núñez García Leidy Baneza (2014) Pág. 18-19

2.8 CONSIDERACIONES GENERALES²¹

2.8.1 PERIODO FUNDAMENTAL

El periodo fundamental se define como el tiempo que requiere una estructura para culminar el primer movimiento producto de una fuerza sísmica aplicada.

2.8.2 AMORTIGUAMIENTO

En las estructuras, el amortiguamiento es generado por las fricciones internas de los elementos, apoyos, elementos no estructurales, etc., todos estos disipan la energía sísmica, al ser el amortiguamiento una característica estructural influye en la respuesta sísmica, porque decrece el movimiento oscilatorio, se expresa normalmente como una fracción del amortiguamiento crítico, donde el movimiento resultante en vez de ser oscilatorio decrece exponencialmente con el tiempo hasta hacerse cero.

2.8.3 DUCTILIDAD

Es la propiedad que tiene una estructura para sufrir deformaciones considerables producto de una carga constante sin padecer daños considerables, dicha capacidad es vital cuando se trata de soportar fuerzas sísmicas ocasionados por un movimiento sísmico ya que proporciona una propiedad extra de amortiguamiento lo que se busca en estructuras para evitar colapsos del mismo.

2.8.4 RESISTENCIA Y RIGIDEZ

La resistencia y la rigidez, son los dos aspectos más importantes del diseño sísmico. El diseño por resistencia, busca que las dimensiones de los elementos

²¹ Análisis Y Diseño de un Edificio con Aisladores Sísmicos, Modelamiento en Etabs, Mullo C. (2014) Pág.26-27-28

garanticen la integridad de la estructura sometida a todas las combinaciones de carga posibles. Y la rigidez relaciona la deformación de la estructura con las cargas aplicadas, este parámetro asegura que la estructura cumpla con las funciones impuestas.

La rigidez lateral, se refiere a la distorsión horizontal de piso a piso y previene así, que la estructura se salga del alineamiento vertical más allá de una cantidad máxima, ya especificada.

2.8.5 DISTRIBUCION DE LAS FUERZAS DE INERCIA

Las fuerzas de inercia que se generan sobre una estructura son función de la masa, rigidez y amortiguamiento; pero conocer el punto de aplicación de la fuerza es primordial, ya que éstas se pueden amplificar. Para cuantificar la amplificación de la fuerza, se hace una simplificación de la distribución de las fuerzas, determinando la ubicación de las resultantes en cada piso a nivel de losa.

2.8.6 CENTRO DE MASA

Se define al Centro de Masa C.M., como el lugar geométrico en el cual se considera concentrada toda la masa. En una estructura completamente regular con distribución de cargas simétricas el C.M. coincide con el Centro de Gravedad C.G. de la planta. (Aguar R. 2008)

2.8.7 CENTRO DE RIGIDEZ

El centro de rigidez de una estructura es el lugar geométrico donde al aplicar las fuerzas sísmicas, la estructura solamente se desplaza y no rota.

En estructuras de dos o más pisos, el centro de rigidez define el punto donde debe aplicarse la fuerza sísmica para que un nivel no rote con respecto al nivel anterior. (Aguiar R. 2008)

2.9 ANALISIS DINAMICO MODAL²²

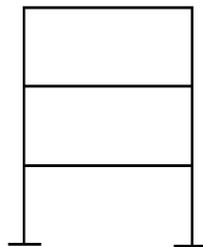
El análisis modal espectral o método de la respuesta espectral es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural.

Para poder realizar el análisis modal espectral de una estructura aislada es necesaria la generación de un espectro de pseudo aceleraciones.

Para poder calcular los desplazamientos y derivas de las estructuras a realizar se seguirán los siguientes pasos de acuerdo al grafico mostrado a continuación:

2.9.1 ESTRUCTURA CONVENCIONAL

Figura N° 27: Estructural regular convencional



Paso 01: Calcular la matriz de Masa:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

²² Análisis y Diseño de una Estructura Hospitalaria con Aisladores Sísmicos en la Ciudad de Arequipa, Muñoz Guerra Joseph Jonathan (2013) Pág. 46

Paso 02: Calcular la matriz de Rigidez:

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

Paso 03: Tanto la matriz Masa como la matriz Rigidez deben reemplazarse en la ecuación característica:

$$[K - M\lambda] \phi = 0 \dots\dots \text{Ecuación 01}$$

Paso 04: De la Ecuación N° 01 se calcularán las frecuencias angulares y los periodos de vibración con las fórmulas que se detallan a continuación:

$$W_n = \sqrt{\lambda} \dots\dots \text{Ecuación 02}$$

$$T = \frac{2\pi}{W_n} \dots\dots \text{Ecuación 03}$$

Paso 05: Calcular los modos de vibración con la expresión siguiente:

$$[k - W_n^2 \times M] \begin{bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots \text{Ecuación 04}$$

Donde:

ϕ : Modos de vibración

W_n^2 : Frecuencia Angular

k : Matriz de Rigidez

M : Matriz de Masa

Paso 06: Calcular el Factor de Participación con la siguiente ecuación:

$$FP = \frac{\phi^T * M * J}{\phi^T * M * \phi} \dots\dots \text{Ecuación 05}$$

Donde:

ϕ^T : Matriz Transpuesta de los Modos de vibración

M : Matriz Masa

J : Matriz de Vector unitario

\emptyset : Matriz de Modos de vibración

Paso 07: Determinar la aceleración espectral:

$$Ad = Sa = \frac{Z.U.C.S.g}{R} \dots\dots \text{Ecuación 06}$$

Donde:

Z es el factor de zona, el valor se determina de acuerdo a la zona en donde se construirá la edificación.

U es el factor de Uso y se categoriza de acuerdo al uso que se le dará a la edificación.

C (Factor de amplificación sísmica) se define por las siguientes ecuaciones:

$$T < T_r \quad C = 2.5 \dots\dots \text{Ecuación 07}$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \dots\dots \text{Ecuación 08}$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) \dots\dots \text{Ecuación 09}$$

So: Factor de amplificación del suelo

R: Factor de reducción según el tipo de sistema estructural

Paso 08: Calcular las fuerzas sísmicas (P_i) con la siguiente ecuación:

$$P = FP * Ad * M * \emptyset \dots\dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

FP: Factor de participación

Ad: Aceleración espectral

M: Matriz Masa

\emptyset : Matriz de modo

Paso 09: Calcular las fuerzas máximas esperadas con la ecuación mostrada a continuación:

$$Pm = 0.25 \sum_{i=1}^N |P_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^N P_i^2} \dots\dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Pi: Fuerzas máximas para cada modo

N: Número de pisos

Paso 10: Luego se procederá a calcular las fuerzas cortantes de entrepiso.

Paso 11: Una vez calculada la ecuación 05 y 06, se procede a calcular los desplazamientos de cada piso (U) con la ecuación mostrada a continuación:

$$U = FP * \emptyset * \frac{Ad}{\omega^2} \dots\dots \text{Ecuación 12}$$

Paso 12: Para el cálculo de los máximos desplazamientos relativos se empleará el criterio de combinación modal de la Normativa Sísmica de Perú (2016), bajo la siguiente expresión:

$$\Delta = r = 0.25 \sum_{i=1}^N |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^N r_i^2} \dots\dots \text{Ecuación 13}$$

Dónde: r es un cierto valor de respuesta que se desea obtener.

Paso 13: Se calculara las distorsiones o derivas multiplicándola por 0.75R los resultados obtenidos en la ecuación 12 y posteriormente serán comparadas con

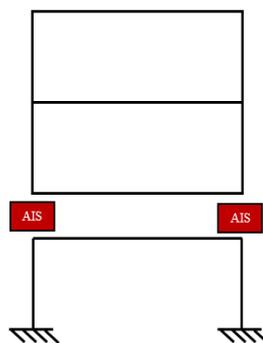
la norma que muestra los valores máximos posibles para cada tipo de sistema estructural mediante la tabla N°07 de la Norma E030 Diseño Sismorresistente.

2.9.2 ESTRUCTURA AISLADA

No necesariamente los aisladores tienen que estar ubicados sobre la cimentación, pueden encontrarse en pisos intermedios. En este caso se tienen tres componentes del sistema que se denomina: subestructura que corresponde a los pisos que se hallan bajo los aisladores; aislación que es la interface entre la superestructura y la subestructura; superestructura que se halla sobre el sistema de aislación.²³ Para el análisis sísmico plano, se considera el siguiente caso de estudio: Se considera un valor de reducción de fuerzas sísmicas $R=2$ y factor de uso $U=1$, aplicando el método de Combinación modal.

Para calcular los desplazamientos de la estructura con aislación se seguirán los siguientes pasos que se describen a continuación:

Figura N° 28: Estructural regular con aislación



Fuente: Elaboración Propia

²³ Aguiar, R., Almazán J. L., Dechent P., Suárez V. (2008) Aisladores de Base Elastoméricos y FPS. CIENCI ESPE: Centro de Investigaciones Científicas.- Escuela Politécnica del Ejército.

Con la finalidad de obtener la matriz total, se tendrá que analizar las matrices por separado, primero la matriz de la superestructura, que se encuentra por encima de los aisladores y la subestructura que se encuentra por debajo de los aisladores y luego estas se unirán en una sola matriz total calculando posteriormente las distorsiones.

Paso 01: Calcular la rigidez del aislador con la ecuación que se muestra a continuación:²⁴

$$k_b = m_t * \left(\frac{2\pi}{T_o}\right)^2 \dots\dots \text{Ecuación 14}$$

Dónde:

m_t : Masa total que gravita sobre el aislador

T_o : Período objetivo del aislador sísmico.

Para el análisis sísmico en dos dimensiones se tienen las siguientes matrices: de masa **Maa** obtenida del análisis de la energía cinética, de rigidez **Kaa**.

$$M_{aa} = \begin{bmatrix} m^{(s)} & m^{(s)}r^{(s)} & m^{(s)}r^{(s)}r^{(b)\text{t}} \\ r^{(s)\text{t}}m^{(s)} & r^{(s)\text{t}}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)} & (r^{(s)\text{t}}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)})r^{(b)\text{t}} \\ r^{(b)}r^{(s)\text{t}}m^{(s)} & r^{(b)}(r^{(s)\text{t}}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)}) & r^{(b)}(r^{(s)\text{t}}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)})r^{(b)\text{t}} + m^{(i)} \end{bmatrix}$$

$$K_{aa} = \begin{bmatrix} KL^{(s)} & 0 & 0 \\ 0 & K^{(b)} & 0 \\ 0 & 0 & KL^{(i)} \end{bmatrix}$$

Dónde: $m^{(s)}$ es la matriz de masa de la superestructura; $m^{(i)}$ es la matriz de masa de la subestructura; $m^{(b)}$ es la matriz de masa del sistema de aislación; $r^{(s)}$ es la matriz de incidencia de la superestructura; $r^{(i)}$ es la matriz de incidencia de la subestructura; $r^{(b)}$ es la matriz de incidencia del sistema de

²⁴ Aguiar Falconí Roberto (2008). Análisis Modal Plano. En Análisis Sísmico de Edificios. (Pág. 137-139). Quito Ecuador (1era Edición)

aislación; $\mathbf{KL}(s)$ es la matriz de rigidez lateral de la superestructura; $\mathbf{KL}(i)$ es la matriz de rigidez lateral de la subestructura; $\mathbf{K}(b)$ es la rigidez del sistema de aislación. (Aguilar Falconí, Dinámica de estructuras, 2012).

Para la estructura analizada en este apartado, las matrices antes mencionadas se obtienen al desarrollar la superestructura y subestructura con base empotrada y tienen la forma que se muestra a continuación.

$$m^{(s)} = \begin{bmatrix} m1^s & 0 \\ 0 & m2^s \end{bmatrix}$$

$$m^{(b)} = [mb]$$

$$m^{(i)} = [m1 \quad 0]$$

$$r^{(s)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$r^{(b)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

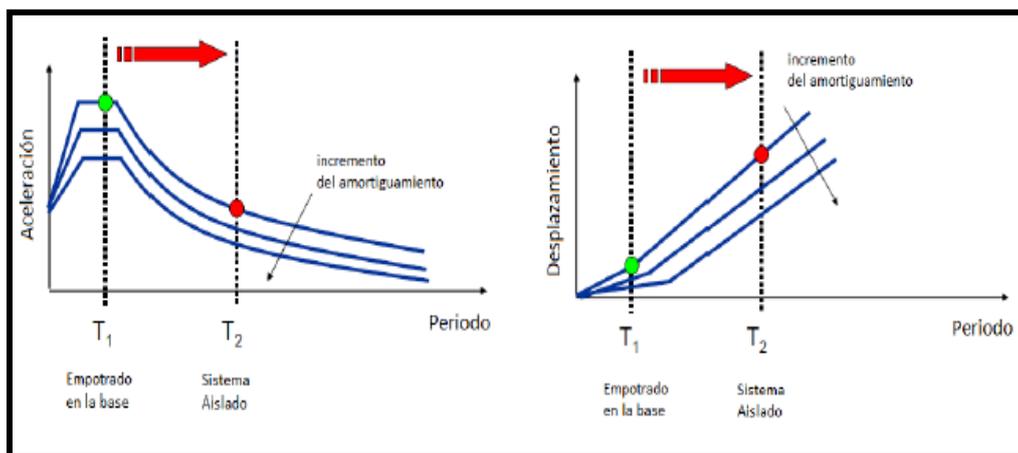
$$r^{(i)} = [1]$$

Una vez obtenidas las matrices tanto de rigidez como de masas, se procederá a aplicar a la ecuación 01 (ecuación característica) donde se armará la matriz consolidada de la estructura aislada, uniendo la matriz de superestructura, matriz del sistema de aislación y la matriz de subestructura, una vez obtenida la matriz se seguirá con el mismo procedimiento que el de una estructura convencional hasta el cálculo de distorsiones o derivas. Cabe precisar que el valor cambiante para el sistema de aislación será el de factor de reducción siendo para el sistema aislado un $R=2$, según precisa la norma chilena que se detallará posteriormente.

2.10 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA AISLADO

Las fuerzas sísmicas se reducirán debido a que se flexibiliza la estructura horizontalmente. Se puede apreciar con facilidad esta propiedad, pues la inclusión de los aisladores permite modificar el periodo de vibración. En la figura se muestra el motivo por el cual, cuando la estructura se vuelve más flexible, la aceleración espectral en el edificio disminuye y también las fuerzas sísmicas sobre la estructura. Otra característica a resaltar en una estructura aislada es que los desplazamientos totales se incrementan debido a que la base es menos rígida. Es indispensable controlar este parámetro pues excesivos desplazamientos relativos de entrepiso ocasionan daños en elementos estructurales y no estructurales. En la figura se observa el incremento del amortiguamiento permite limitar este desplazamiento.²⁵

Figura N° 29: Efectos de la aislación en el comportamiento dinámico de una estructura.



Fuente: Cámara Chilena de la Construcción

²⁵ Análisis Comparativo de un Edificio Tradicional y con Aisladores Sísmicos de 6 Pisos, en la Ciudad de Tacna, Chocano G., Cañi W. (2016) Pág.34

2.11 NORMA TÉCNICA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE 2016²⁶

La Norma Técnica E030 Diseño Sismorresistente tiene como base:

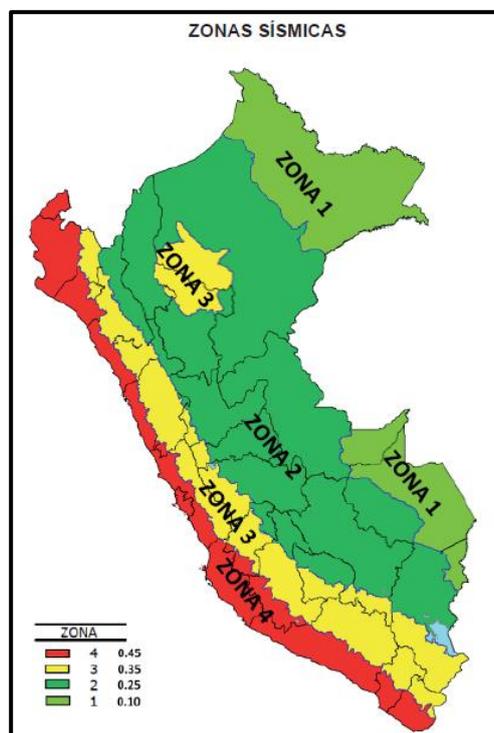
- 1) Evitar pérdida de vidas humanas.
- 2) Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- 3) Minimizar los daños a la propiedad.

PARAMETROS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

- **Zonificación**

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura.

Figura N°30: Distribución de zonas sísmicas del Perú



Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

²⁶ NORMA TÉCNICA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

Tabla N° 02: Factores de Zona

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

- **Perfiles de Suelo**

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

a. Perfil Tipo S0: Roca Dura

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte V_S mayor que 1500 m/s.

b. Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte V_S , entre 500 m/s y 1500 m/s.

c. Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_S , entre 180 m/s y 500 m/s,

d. Perfil Tipo S3: Suelos Blandos

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_S , menor o igual a 180 m/s,

e. Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente

desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio.

- **Parámetros de Sitio (S , TP y TL)**

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las Tablas N° 3 y N° 4.

Tabla N° 03: Factor de Suelo

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA \ SUELO	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z_3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z_2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z_1	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

Tabla N° 04: Periodo T_p y T_L

Tabla N° 4 PERÍODOS " T_p " Y " T_L "				
	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

- **Factor de Amplificación Sísmica (C)**

Se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$T < T_r \quad C = 2.5$$

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

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$$

- **Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_0)**

Los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 5.

Cuando en la dirección de análisis, la edificación presente más de un sistema estructural, se tomará el menor coeficiente R_0 que corresponda.

Tabla N° 05: Sistemas Estructurales

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

Para estructuras regulares son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades. En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1,0.

Donde el valor de I_a o I_p son irregularidades en altura y planta, como se muestra a continuación.

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_r
<p>Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.</p>	0,75
<p>Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p>Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Se considera que existe irregularidad extrema en la rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,6 veces el correspondiente valor del entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,4 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.</p>	0,50
<p>Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p>Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	0,90
<p>Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	0,90
<p>Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 %</p>	0,80

Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Factor de Irregularidad / I_p
<p>Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (A_{max}), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (A_{cm}).</p> <p>Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,75
<p>Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (A_{cm}), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (A_{cm}).</p> <p>Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,60
<p>Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	0,90
<p>Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma.</p> <p>También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	0,85
<p>Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.</p>	0,90

Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

- **Coefficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R)**

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determinará como el producto del coeficiente R_0 determinado a partir de la Tabla N° 05 y de los factores I_a , I_p

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

- **Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)**

El factor de uso (U), se usará según la clasificación que se haga. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se podrá considerar $U = 1$.

Tabla N° 06: Categoría de las edificaciones y factor U

CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR “U”		
CATEGORIA	DESCRIPCION	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos de salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el ministerio de salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurre severos tales como: <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Todas aquellas Edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, 	1.5

	fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes	1.00
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

ACELERACIÓN ESPECTRAL

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudoaceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot g}{R}$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales.

Criterios de Combinación

Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima esperada (r) tanto para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

$$r = 0.25 \sum_{i=1}^N |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^N r_i^2}$$

- **REQUISITOS DE RIGIDEZ, RESISTENCIA Y DUCTILIDAD**

Determinación de Desplazamientos Laterales

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por $0,75 R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el numeral 5.1, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 07.

Tabla N° 07: Límites para la Distorsión del Entrepiso

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
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: Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente

2.12 NORMA CHILENA NCH2745

En vista de que la Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente no detalla la utilización de sistemas de aislamiento sísmico en una edificación, es decir, como se modifica respecto a una estructura convencional.

Cabe precisar que, respecto a valores de parámetros en la Norma Peruana indica lo siguiente:

Para el factor uso, el valor a emplear en estructuras aisladas es $U=1$, para todo tipo de estructura, sin diferenciar el uso al que está destinado. Siendo solo ese el factor que se proporciona para estructuras aisladas, se necesita de más valores para realizar el análisis, por lo cual se ha optado por hacer uso de la Norma Chilena NCh2745 que se encuentra más implementada para realizar tanto el análisis como el diseño de edificios con aislación sísmica, de esta norma se ha empleado el valor de:

Factor de Reducción: El valor empleado en esta norma es el de $R=2$ para estructuras aisladas.

Cuando se trata de estructuras construidas convencionalmente el valor de factor de reducción es mucho mayor, que para estructuras aisladas esto debido a que: Como la estructura aislada presenta un mayor periodo respecto a una estructura convencional las demandas de elementos estructurales disminuyen.

Así mismo el amortiguamiento de la estructura se incrementa debido a la ductilidad propia del sistema estructural.²⁷

El factor de reducción R es menor en comparación al que se emplea en la estructura convencional, debido a que las grandes demandas de ductibilidad

²⁷ Análisis y Diseño de una Estructura Hospitalaria con Aisladores Sísmicos en la Ciudad de Arequipa, Muñoz Guerra Joseph Jonathan (2013) Pág. 39

pueden significar daño en componentes estructurales y no estructurales, así el requerimiento de un valor reducido de R obedece a al control de daños para la estructura aislada.

CAPÍTULO III

MODELO ESTRUCTURAL

CONVENCIONAL DE 5 PISOS CON 2 SÓTANOS

MODELO ESTRUCTURAL CONVENCIONAL DE 5 PISOS CON SÓTANO

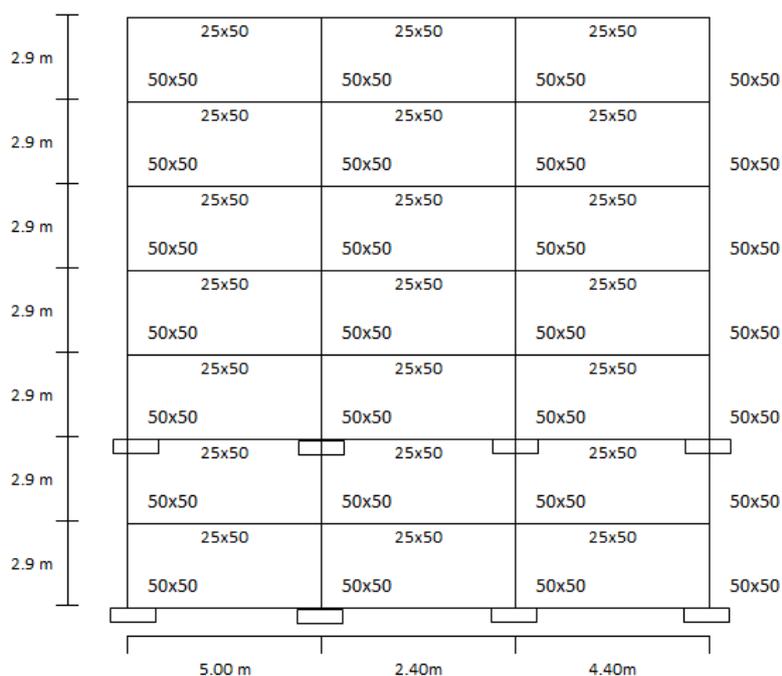
PLANO - ANALISIS EN EL EJE B-B

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA REGULAR

Se presenta el análisis sísmico plano de una estructura convencional de 5 pisos con dos sótanos, que es sometida ante la acción sísmica estipulada en el espectro de la Norma Peruana RNE, empleando para su solución el método computacional Matlab.

La estructura mostrada en la Figura 31 se halla ubicada en la ciudad de Tacna. La carga vertical con la cual se realiza el análisis sísmico son de 1.58 T/m^2 y 1.20 T/m^2 para el primer y segundo sótano, mientras que en los pisos normales es de 1.20 T/m^2 y en el último piso una carga de 1.03 T/m^2 . Todas las columnas son de $50/50$ y vigas son de $25/50 \text{ cm}$. El módulo de elasticidad del hormigón es de 2173706.5 T/m^2 .

Figura 31: Estructura convencional.



Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis sísmico plano, se considera el siguiente caso de estudio:

- Análisis sísmico en el sentido X, considerando un valor de reducción de fuerzas sísmicas $R=8$.

3.2 ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA CONVENCIONAL DE 5 PISOS CON SÓTANO

3.2.1 RESOLUCIÓN ESTRUCTURA CONVENCIONAL

- **Propiedades de la estructura convencional**

Matriz de rigidez

Mediante el uso del programa computacional Matlab, se obtienen los resultados.

Módulo de elasticidad:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 15000\sqrt{f'c} = 2173706.5 \text{ tn/m}^2$$

Sección de los elementos:

$$b \text{ viga} = 0.25 \text{ m}$$

$$h \text{ viga} = 0.50 \text{ m}$$

$$N1 = 4$$

$$b \text{ columna} = 0.50 \text{ m}$$

$$h \text{ columna} = 0.50 \text{ m}$$

Inercia:

$$I1 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I2 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I3 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I4 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

Longitud:

$$Lsótano 1 = 290 \text{ cm}$$

$$Lsótano 2 = 290 \text{ cm}$$

$$L1 = 290 \text{ cm}$$

$$L2 = 290 \text{ cm}$$

$$L3 = 290 \text{ cm}$$

$$L4 = 290 \text{ cm}$$

$$L5 = 290 \text{ cm}$$

Rigidez:

$$K \text{ sótano 1} = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L1} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K \text{ sótano 2} = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L2} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 1 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L3} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 2 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L4} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 3 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L5} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 4 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L6} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 5 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L7} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

Pesos de los pisos:

$$M = \frac{W}{g}$$

$$W \text{ sótano 1} = 60.75 \text{ tn}$$

$$W \text{ sótano 2} = 46.82 \text{ tn}$$

$$W1 = 46.82 \text{ tn}$$

$$W2 = 46.82 \text{ tn}$$

$$W3 = 46.82 \text{ tn}$$

$$W4 = 46.82 \text{ tn}$$

$$W5 = 40.33 \text{ tn}$$

$$M \text{ sótano 1} = 6.30 \text{ tn.s/m}$$

$$M \text{ sótano 2} = 4.77 \text{ tn.s/m}$$

$$M1 = 4.77 \text{ tn.s/m}$$

$$M2 = 4.77 \text{ tn.s/m}$$

$$M3 = 4.77 \text{ tn.s/m}$$

$$M4 = 4.77 \text{ tn.s/m}$$

$$M5 = 4.11 \text{ tn.s/m}$$

Matriz de Rigidez lateral:

$$K = \begin{bmatrix} K \text{ sótano 1} + K \text{ sótano 2} & -K \text{ sótano 2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -K \text{ sótano 2} & K \text{ sótano 2} + K \text{ sótano 1} & -K 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -K 1 & K1 + K2 & -K 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -K 2 & K2 + K3 & -K 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -K 3 & K3 + K4 & -K 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -K 4 & K4 + K5 & -K 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -K 5 & K5 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 44492 & -22246 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -22246 & 44492 & -22246 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -22246 & 44492 & -22246 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -22246 & 44492 & -22246 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -22246 & 44492 & -22246 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -22246 & 44492 & -22246 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -22246 & 22246 \end{bmatrix}$$

Matriz de Masas

$$M = \begin{bmatrix} M \text{ sótano 1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M \text{ sótano 2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & M4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & M5 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 6.60 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4.77 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4.77 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4.77 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4.77 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4.77 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4.11 \end{bmatrix}$$

Desarrollo de la estructura convencional

Mediante el uso específicamente del programa **computacional Matlab**, se obtienen los modos de vibración, frecuencias y periodos de la estructura convencional.

lambda =

$$1.0e+04 * \begin{bmatrix} 0.0214 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1684 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4411 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8070 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.1193 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.4945 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.8283 \end{bmatrix}$$

modos =

$$\begin{bmatrix} 0.0521 & -0.1486 & 0.1927 & -0.2383 & 0.1936 & 0.0702 & -0.0219 \\ 0.1010 & -0.2275 & 0.1490 & 0.0584 & -0.2156 & -0.1515 & 0.0676 \\ 0.1440 & -0.1999 & -0.0776 & 0.2240 & 0.0466 & 0.2567 & -0.1867 \\ 0.1807 & -0.1034 & -0.2341 & 0.0199 & 0.2021 & -0.1197 & 0.2571 \\ 0.2094 & 0.0287 & -0.1795 & -0.2170 & -0.1050 & -0.1303 & -0.2604 \\ 0.2291 & 0.1509 & 0.0371 & -0.0958 & -0.1718 & 0.2573 & 0.1957 \\ 0.2387 & 0.2212 & 0.2202 & 0.1836 & 0.1547 & -0.1415 & -0.0800 \end{bmatrix}$$

Frecuencias angulares y Periodos de vibración:

$$T = \begin{bmatrix} 0.4298 \\ 0.1531 \\ 0.0946 \\ 0.0699 \\ 0.0594 \\ 0.0514 \\ 0.0465 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} 14.6172 \\ 41.0391 \\ 66.4140 \\ 89.8349 \\ 105.7981 \\ 122.2510 \\ 135.2152 \end{bmatrix}$$

Los factores de participación modal (FPi) se encuentran con la ecuación mostrada a continuación.

$$FP = \frac{\phi^T * M * J}{\phi^T * M * \phi}$$

Los factores de participación modal son el valor absoluto. Se determinan las aceleraciones espectrales para $R=8$, y la acción sísmica estipulada en el espectro de la Norma Peruana de la construcción RNE, detallado en el Capítulo II del presente proyecto. En la tabla N° 08 se muestra dichos resultados.

Donde los datos extraídos de la norma E.030 (2016), son los siguientes:

- Factor de zona: $Z=0.45$
- Perfil de suelo: Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios
- Parámetros de Sitio (S, TP y TL):
 - Factor de suelo S2=1.05
 - Período de plataforma Tp=0.6
 - Período de inicio de zona Tl=2
- Factor de Amplificación Sísmica:
 - C=2.5
- Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas:
 - R0=8
- Sistema estructural:
 - Irregularidad en altura Ia=1
 - Irregularidad en planta Ip=1

Para estructuras regulares son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades.

- Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas:
 - $R = R0 \cdot Ia \cdot Ip$

$$R = 8 * 1 * 1$$

$$R = 8$$

- Factor de uso:

$$U=1$$

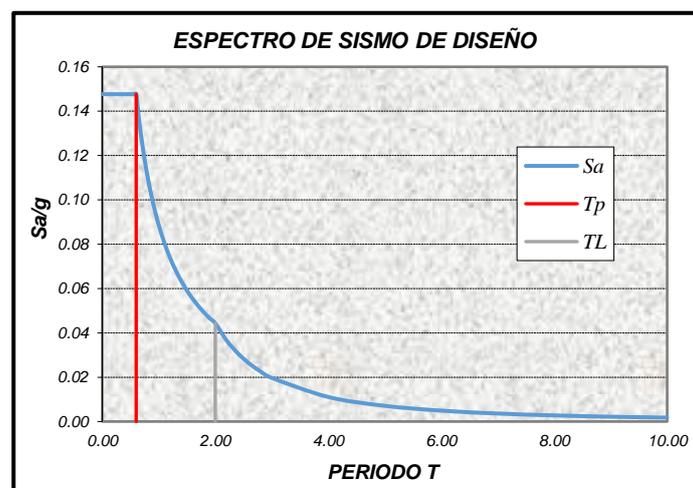
Tabla N° 08: Factores de participación modal y aceleraciones para la estructura convencional.

	1ER	2DO	1ER	2DO	3ER	4TO	5TO
PARAMETRO	SÓTANO	SÓTANO	PISO	PISO	PISO	PISO	PISO
F_{Pi}	5.4206	1.9625	0.9719	0.6569	0.3847	0.1045	0.0266
Ad (m/s²)	2.1728	2.1728	2.1728	2.1728	2.1728	2.1728	2.1728

Fuente: Elaboración Propia

Espectro de Respuesta

Figura 32: Espectro de Pseudoaceleración



Fuente: Elaboración Propia

Las fuerzas sísmicas equivalentes (P_i) se encuentran con la ecuación mostrada a continuación.

$$P = FP * Ad * M * \phi$$

P1 =	3.7946	P2 =	3.9206	P3 =	2.5184	P4 =	2.1050
	7.3637		6.0043		1.9466		-0.5159
	7.7153		3.8777		-0.7452		-1.4545
	9.6802		2.0058		-2.2492		-0.1292
	11.2221		-0.5569		-1.7243		1.4093
	12.2737		-2.9278		0.3560		0.6219
	11.7917		-3.9557		1.9503		-1.0990
P5 =	1.0012	P6 =	0.0987	P7 =	0.0078		
	-1.1152		-0.2130		-0.0242		
	0.1771		0.2653		0.0492		
	0.7686		-0.1236		-0.0677		
	-0.3993		-0.1346		0.0686		
	-0.6532		0.2659		-0.0516		
	0.5423		-0.1348		0.0194		

Las fuerzas máximas esperadas podrán calcularse con ecuación mostrada a continuación.

$$P_{max} = 0.25 \sum_{i=1}^N |P_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^N P_i^2}$$

Una vez calculada las fuerzas máximas esperadas se procederán a calcular las fuerzas cortantes de entrepiso (V_i)

Tabla N° 09: Fuerzas máximas esperadas y Fuerzas cortantes en cada nivel.

PARAMETRO	1ER SÓTANO	2DO SÓTANO	1ER PISO	2DO PISO	3ER PISO	4TO PISO	5TO PISO
Pmax	38.745	33.598	31.475	24.9632	21.1667	18.6297	15.1963
Vi	183.774	145.029	111.431	79.9559	54.9927	33.826	15.1963

Fuente: Elaboración Propia

Los desplazamientos de cada piso (U) se encuentran con la ecuación mostrada a continuación.

$$U = FP * \phi * \frac{Ad}{\omega^2}$$

U1 =	U2 = 1.0e-03 *	U3 = 1.0e-03 *	U4 = 1.0e-04 *
0.0029	0.3762	0.0923	0.4215
0.0056	0.5761	0.0713	-0.1033
0.0079	0.5061	-0.0371	-0.3962
0.0100	0.2618	-0.1121	-0.0352
0.0115	-0.0727	-0.0859	0.3838
0.0126	-0.3821	0.0177	0.1694
0.0132	-0.5599	0.1054	-0.3246
U5 = 1.0e-04 *	U6 = 1.0e-05 *	U7 = 1.0e-06 *	
0.1445	0.1067	0.0694	
-0.1610	-0.2303	-0.2141	
0.0348	0.3901	0.5913	
0.1509	-0.1819	-0.8142	
-0.0784	-0.1980	0.8246	
-0.1283	0.3910	-0.6198	
0.1155	-0.2151	0.2532	

Para la estructura en estudio se utiliza el criterio de combinación modal de la Normativa Sísmica de Perú (2016), como se indica a continuación.

$$\Delta = r = 0.25 \sum_{i=1}^N |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^N r_i^2}$$

Dónde: r es un cierto valor de respuesta que se desea obtener.²⁸ Los resultados, en cuanto a desplazamientos se expresan en la Tabla N° 09.

Tabla N°10: Desplazamientos de la estructura convencional.

PARÁMETRO	1ER	2DO	3ER	4TO	5TO
	PISO	PISO	PISO	PISO	PISO
$\Delta(m)$	0.0081	0.0101	0.0116	0.0127	0.0133
δ	4.8E-03	4.1E-03	3.2E-03	2.46E-03	1.3E-03

Fuente: Elaboración Propia

²⁸ Dinámica de estructuras CEINCI-LAB, Aguilar Falconi (2012).

CAPÍTULO IV

MODELO ESTRUCTURAL CON AISLADORES

SÍSMICOS A NIVEL INTERMEDIOS

MODELO ESTRUCTURAL CON AISLADORES SÍSMICOS A NIVEL INTERMEDIOS / PLANO - ANÁLISIS EN EL EJE B-B

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Los aisladores sísmicos son dispositivos utilizados en estructuras para controlar los desplazamientos ocasionados por la acción de un evento sísmico, reduciendo significativamente los daños en relación a una estructura sin aislación.

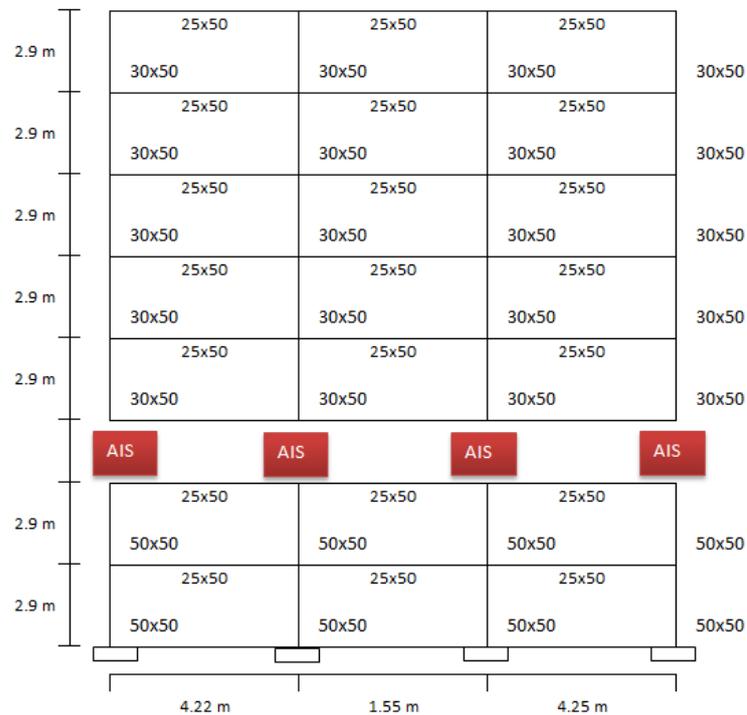
Se presenta el análisis sísmico plano de una estructura de 5 pisos con aisladores sísmicos colocados sobre el segundo sótano, la misma que es sometida ante la acción sísmica estipulada en el espectro de la Normativa Sísmica Peruana (RNE), empleando para su solución el método computacional Matlab.

Se trabaja con solo un tipo de aislador llamado Elastomérico de alto amortiguamiento.

Convencionalmente, estos mecanismos se colocan en la cimentación de las edificaciones, en este caso los aisladores sísmicos se colocaran en pisos intermedios. De esta manera, se separa la parte superior de la estructura de los subsuelos, mediante un sistema de aislación. La parte de la estructura ubicada encima del sistema de aislación se denomina Superestructura, mientras que la que se ubica debajo de dicho sistema se llama subestructura.

La estructura mostrada en la Figura N° 33 se halla ubicada en la ciudad de Tacna. La carga vertical con la cual se realiza el análisis sísmico es de 1.58 T/m^2 y 1.20 T/m^2 para los sótanos, y para los pisos superiores una carga de 1.13 T/m^2 y 1.00 T/m^2 . Las columnas para los sótanos son de 50/50 toda la estructura son de 30/50 y en vigas para toda la estructura son de 25/50cm. El módulo de elasticidad del hormigón es de 2173706.5 tn/m^2 .

Figura N° 33: Estructura C. con aisladores a nivel intermedio



Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis sísmico plano, se considera el siguiente caso de estudio:

Análisis sísmico en el sentido X, considerando un valor de reducción de fuerzas sísmicas $R=2$. Se coloca aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento para un período objetivo de 2.50 segundos.

4.2 ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA CONVENCIONAL CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDRB)

Los aisladores están elaborados de caucho modificado con aditivos (tales como aceites, carbón en polvo, resinas, polímeros u otros elementos que le permiten

alcanzar un mayor amortiguamiento por sí solos) El amortiguamiento de éste tipo de aisladores varía entre el 10 y 20%, como se muestra en la Figura N° 35.²⁹

Figura N° 34: Esquema de un aislador elastómero de alto amortiguamiento



Fuente: Aguiar, Almazán, Dechent, & Suarez, 2008.

Para la estructura analizada en este apartado, las matrices antes mencionadas en el Capítulo II se obtienen al desarrollar la superestructura y subestructura con base empotrada y tienen la forma que se muestra a continuación. Los vectores de incidencia se calculan al realizar deformaciones unitarias en coordenadas relativas.

$$m^{(s)} = \begin{bmatrix} M1^s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M2^s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M3^s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M4^s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M5^s \end{bmatrix}$$

²⁹ Dechent, & Suarez, Aguiar Almazan (2008)

$$m^{(b)} = [Mb]$$

$$m^{(i)} = \begin{bmatrix} M1 & 0 \\ 0 & M2 \end{bmatrix}$$

$$r^{(s)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$r^{(b)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$r^{(i)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

4.2.1 Resolución estructura con aislador elastomérico de alto amortiguamiento.

Propiedades del sistema de aislación

El sistema de aislación tiene un amortiguamiento de 0.15

$$m_t = 25.38 \frac{tn * s^2}{m}$$

$$k^b = 151.6925 \frac{tn}{m}$$

$$m^b = 235.62 \frac{tn * s^2}{m}$$

Superestructura

El modelo de la superestructura que se presenta en la Figura N° 36, es un modelo aproximado que considera que las columnas están empotradas sobre los aisladores.

Figura N° 35: Geometría de la superestructura para la estructura

2.9 m	25x50 30x50	25x50 30x50	25x50 30x50	30x50
2.9 m	25x50 30x50	25x50 30x50	25x50 30x50	30x50
2.9 m	25x50 30x50	25x50 30x50	25x50 30x50	30x50
2.9 m	25x50 30x50	25x50 30x50	25x50 30x50	30x50
2.9 m	25x50 30x50	25x50 30x50	25x50 30x50	30x50

Fuente: Elaboración Propia

Matriz de rigidez

Mediante el uso del programa computacional Matlab, se obtienen los resultados.

Módulo de elasticidad:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 15000\sqrt{f'c} = 2173706.5 \text{ tn/m}^2$$

Sección de los elementos:

$$b \text{ viga} = 0.25 \text{ m}$$

$$h \text{ viga} = 0.50 \text{ m}$$

$$N1 = 4$$

$$b \text{ columna } 1 = 0.30 \text{ m}$$

$$h \text{ columna } 1 = 0.50 \text{ m}$$

Inercia:

$$I1 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I2 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I3 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I4 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

Longitud:

$$L1 = 290 \text{ cm}$$

$$L2 = 290 \text{ cm}$$

$$L3 = 290 \text{ cm}$$

$$L4 = 290 \text{ cm}$$

$$L5 = 290 \text{ cm}$$

Rigidez:

$$K 1 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L1} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 2 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L2} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 3 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L3} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 4 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L4} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K 5 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L5} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

Pesos de los pisos:

$$M = \frac{W}{g}$$

$$W1=44.03 \text{ tn}$$

$$M1=4.49 \text{ tn.s/m}$$

$$W2=44.03 \text{ tn}$$

$$M2=4.49 \text{ tn.s/m}$$

$$W3=44.03 \text{ tn}$$

$$M3=4.49 \text{ tn.s/m}$$

$$W4=44.03 \text{ tn}$$

$$M4=4.49 \text{ tn.s/m}$$

$$W5=38.93 \text{ tn}$$

$$M5=3.97 \text{ tn.s/m}$$

Matriz de Rigidez lateral:

$$K = \begin{bmatrix} K1+K2 & -K2 & 0 & 0 & 0 \\ -K2 & K2+K3 & -K3 & 0 & 0 \\ 0 & -K3 & K3+K4 & -K4 & 0 \\ 0 & 0 & -K4 & K4+K5 & -K5 \\ 0 & 0 & 0 & -K5 & K5 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 44426 & -22246 & 0 & 0 & 0 \\ -22246 & 44426 & -22246 & 0 & 0 \\ 0 & -22246 & 44426 & -22246 & 0 \\ 0 & 0 & -22246 & 44426 & -22246 \\ 0 & 0 & 0 & -22246 & -22246 \end{bmatrix}$$

Matriz de Masas

$$M = \begin{bmatrix} M1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M5 \end{bmatrix}$$

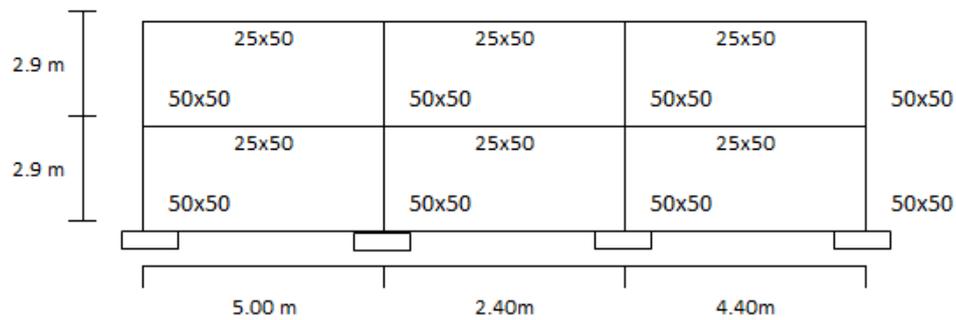
$$M = \begin{bmatrix} 4.49 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4.49 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4.49 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4.49 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.97 \end{bmatrix}$$

Subestructura

La subestructura es igual a la superestructura, en cuanto a propiedades, dimensiones y cargas, por lo que las matrices de rigidez y masa son las que se presentaron en el inciso anterior.

El modelo para el análisis de la subestructura se muestra en la Figura N° 37, para la determinación de la matriz de rigidez $K(i)$.

Figura N° 36: Geometría de la subestructura para la estructura convencional.



Fuente: Elaboración Propia

Las matrices que se expresan a continuación se calculan de manera análoga con el procedimiento indicado.

Matriz de rigidez

Mediante el uso del programa computacional Matlab, se obtienen los resultados.

Módulo de elasticidad:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 15000\sqrt{f'c} = 2173706.5 \text{ tn/m}^2$$

Sección de los elementos:

$$b \text{ viga} = 0.25 \text{ m}$$

$$h \text{ viga} = 0.50 \text{ m}$$

$$N1 = 4$$

$$b \text{ columna} = 0.50 \text{ m}$$

$$h \text{ columna} = 0.50 \text{ m}$$

Inercia:

$$I1 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I2 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I3 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

$$I4 = \frac{B1 * H1^3}{12} + A * D^2$$

Longitud:

$$L1 = 290 \text{ cm}$$

$$L2 = 290 \text{ cm}$$

Rigidez:

$$K \text{ sót } 1 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L_{\text{sót}1}} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

$$K \text{ sót } 2 = \frac{12 * E * (I1 + I2 + I3 + I4)}{L_{\text{sót}2}} = 22246 \text{ tn. f/m}$$

Pesos de los pisos:

$$M = \frac{W}{g}$$

$$W \text{ sótano } 1 = 61.75 \text{ tn}$$

$$M \text{ sótano } 1 = 6.30 \text{ tn.s/m}$$

$$W \text{ sótano } 2 = 46.82 \text{ tn}$$

$$M \text{ sótano } 2 = 4.77 \text{ tn.s/m}$$

Matriz de Rigidez lateral:

$$K = \begin{bmatrix} K_{\text{zot } 1} + K_{\text{zot } 2} & K_{\text{zot } 2} \\ K_{\text{zot } 2} & K_{\text{zot } 2} \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 44492 & -22246 \\ -22246 & 22246 \end{bmatrix}$$

Matriz de Masas:

$$M = \begin{bmatrix} M \text{ zotano } 1 & 0 \\ 0 & M \text{ zotano } 2 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 6.30 & 0 \\ 0 & 4.77 \end{bmatrix}$$


```

lambda =
[ 1.0e+04 *
  0.0009      0      0      0      0      0      0      0
    0      0.1387      0      0      0      0      0      0
    0      0      0.1467      0      0      0      0      0
    0      0      0      0.5106      0      0      0      0
    0      0      0      0      0.9582      0      0      0
    0      0      0      0      0      1.0065      0      0
    0      0      0      0      0      0      1.4886      0
    0      0      0      0      0      0      0      1.8322 ]

modos =
[ 0.0017  -0.0653  0.0167  0.2330  -0.0087  0.3877  -0.4181  -0.2724
  0.0030  -0.1847  0.0511  0.4782  -0.0072  0.4002  -0.0186  0.1795
  0.0040  -0.3243  0.0929  0.4796  0.0015  0.0118  -0.0177  -0.3376
  0.0046  -0.4445  0.1296  0.2356  0.0004  0.0220  -0.4181  0.1139
  0.0050  -0.5112  0.1502  0.0012  -0.0084  0.4098  -0.0009  -0.1577
  0.1869  0.1570  -0.4091  -0.2460  -0.2212  -0.2112  0.1502  0.0793
  0.0020  0.0613  0.2094  0.0022  -0.3375  -0.0072  0.0003  0.0001
  0.0040  0.0989  0.3333  0.0013  0.2247  0.0057  -0.0007  -0.0002 ]

```

En la Tabla N° 11 se muestran los resultados de los factores de participación modal y aceleraciones espectrales.

Los factores de participación modal son el valor absoluto. Se determinan las aceleraciones espectrales para $R=2$, y la acción sísmica estipulada en el espectro de la Norma Peruana de la construcción RNE, detallado en el Capítulo II del presente proyecto.

Datos extraídos de la norma E.030 (2016), son los siguientes:

- Factor de zona: $Z=0.45$
- Perfil de suelo: Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios
- Parámetros de Sitio (S, TP y TL):
 - Factor de suelo $S2=1.05$
 - Período de plataforma $Tp=0.6$
 - Período de inicio de zona $Tl=2$
- Factor de Amplificación Sísmica:

$$C1=2.5$$

$$C2=0.461$$

Datos extraídos de la Norma Chilena NCh2745, son los siguientes:

- Factor de uso:

$$U=1$$

- Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas:

$$R = 2$$

Valor empleado en esta norma es el de $R=2$ para estructuras aisladas.

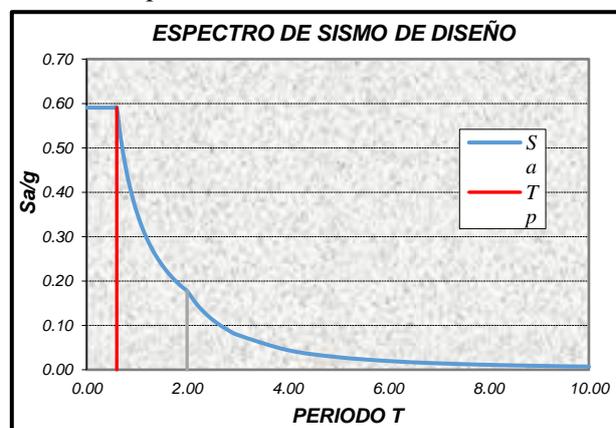
Tabla N° 11: Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para la estructura regular con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.

PARAMETRO	1ER PISO	2DO PISO	3ER PISO	4TO PISO	5TO PISO	AISLADOR	1ER SOTANO	2DO SOTANO
F_{Pi}	14.702	0.037	3.362	1.013	0.809	0.836	0.622	0.329
Ad (m/s²)	0.55	5.794	5.794	5.794	5.794	5.794	5.794	5.794

Fuente: Elaboración Propia.

Espectro de Respuesta:

Figura N° 37: Espectro de Pseudoaceleración



Fuente: Elaboración Propia

Las fuerzas sísmicas equivalentes (P_i) se encuentran con la ecuación mostrada a continuación.

$$P = FP * Ad * M * \phi$$

P1 = 7.0822	P2 = -0.1875	P3 = -5.2432	P4 = -0.3122
7.1312	-0.0701	-2.1941	6.2370
7.1678	0.0672	1.5133	6.2731
7.1919	0.1854	4.7667	-0.2416
6.6418	0.2315	6.0759	-5.9969
41.6883	-0.0058	-1.2765	-0.0665
0.0995	-0.0820	25.2410	0.0789
41.8756	-0.1305	36.6000	-0.0234
P5 = 0.1102	P6 = 4.0158	P7 = 4.4035	P8 = 1.6799
0.0793	4.2925	-2.1469	-2.2475
-0.1070	-4.2666	-2.1616	2.2464
-0.0836	-4.0432	4.4041	-1.6769
0.0955	4.1518	-2.2474	0.6298
0.0254	-0.0239	-0.0085	-0.0019
9.7933	-0.2145	-0.0068	-0.0009
-6.1193	0.1379	0.0051	0.0007

Las fuerzas máximas esperadas podrán calcularse con ecuación mostrada a continuación.

$$P_{max} = 0.25 \sum_{i=1}^N |P_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^N P_i^2}$$

Una vez calculada las fuerzas máximas esperadas se procederán a calcular las fuerzas cortantes de entrepiso (V_i)

Tabla N° 12: Fuerzas máximas esperadas y Fuerzas cortantes en cada nivel.

PARAMETRO	1ER PISO	2DO PISO	3ER PISO	4TO PISO	5TO PISO	AISLADOR	1ER SOTANO	2DO SOTANO
Pmax	17.68	9.772	12.838	4.672	5.338	35.0551	24.1858	43.187
Vi	50.29	32.62	22.848	10.01	5.338	85.35	109.538	152.726

Fuente: Elaboración Propia

Los desplazamientos laterales relativos de cada piso (U) se encuentran con la ecuación mostrada a continuación.

$$U = FP * \phi * \frac{Ad}{\omega^2}$$

U3 =	U4 = 1.0e-03 *	U3 =	U4 = 1.0e-03 *
0.0002	0.2679	0.0002	0.2679
0.0007	0.5498	0.0007	0.5498
0.0012	0.5514	0.0012	0.5514
0.0017	0.2709	0.0017	0.2709
0.0020	0.0013	0.0020	0.0013
-0.0054	-0.2828	-0.0054	-0.2828
0.0028	0.0025	0.0028	0.0025
0.0044	0.0014	0.0044	0.0014
U5 = 1.0e-03 *	U6 = 1.0e-03 *	U7 = 1.0e-03 *	U8 = 1.0e-04 *
0.0042	0.1866	0.1012	0.2840
0.0035	0.1926	0.0045	-0.1872
-0.0007	0.0057	0.0043	0.3519
-0.0002	0.0106	0.1012	-0.1187
0.0041	0.1972	0.0002	0.1644
0.1082	-0.1016	-0.0364	-0.0827
0.1652	-0.0034	-0.0001	-0.0001
-0.1099	0.0028	0.0002	0.0003

El método de superposición modal se fundamenta en el desacoplamiento del sistema de ecuaciones diferenciales, para la estructura en estudio se utiliza el criterio de combinación modal de la Normativa Sísmica de Perú (2016), como se indica a continuación.³⁰

$$\Delta = r = 0.25 \sum_{i=1}^N |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^N r_i^2}$$

³⁰ Dinámica de estructuras CEINCI-LAB, Aguilar Falconi (2012)

Dónde: r es un valor de respuesta que se desea obtener. Para estructuras regulares los desplazamientos laterales se calcularon multiplicándolos por 0.75 R.

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso calculado no deberá exceder a la distorsión 0.007 de CONCRETO ARMADO, según lo indica la Normativa Sísmica Peruana (2016), como se indica a continuación.

Los resultados, en cuanto a desplazamientos se expresan en la Tabla N° 13.

Tabla N° 13: Desplazamientos de la estructura con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.

PARAMETRO	1ER PISO	2DO PISO	3ER PISO	4TO PISO	5TO PISO	AISLADOR
$\Delta(m)$	0.0018	0.0033	0.0044	0.0052	0.0056	0.179
<i>Deriva</i>	9.4E-04	7.72E-04	5.7E-04	3.9E-04	1.9E-04	

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V
NORMA DE AISLAMIENTO SÍSMICO

5.1 ANTECEDENTES GENERALES

En el nuevo proyecto de norma de diseño sismorresistente E. 030 del RNE para sistemas de disipación de energía y sistemas de aislamiento sísmico se ha optado por recomendar el uso de la norma “Minimum Design Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7-10.

Debido a que la aislación en pisos intermedios, como método en nuestro país no es muy aplicada y aun no se ha desarrollado ningún escrito el cual normalice y establezca requerimientos mínimos que respalden los criterios utilizados en este tipo de estructuras.

En este capítulo se presentaran las principales condiciones y características de la norma ASCE/SEI 7-10, capítulo 17 “Seismic design requirements for seismically isolated structures” en conjunto con nuestro proyecto de norma de diseño sismorresistente E 0.30 del RNE y su aplicación a nuestro trabajo en cuanto a la obtención de factores y coeficientes necesarios.

5.2 FILOSOFÍA DE DISEÑO

La filosofía de diseño sismorresistente tradicional consiste en reducir y controlar las fuerzas dinámicas inducidas por sismo severos recurriendo a la ductilidad propia de la estructura, entrando en un rango inelástico en donde se aceptan las plastificaciones parciales de vigas, columnas y sus conexiones con el objetivo de aprovechar la capacidad de disipación de energía disponible en ellos.

En concordancia con tal filosofía se establecen en esta Norma los siguientes principios para el diseño:

La estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio.

La estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables.

Esto quiere decir que un diseño sismorresistente satisfactorio debe asegurar que para un determinado nivel de demanda de ductilidad global, la ductilidad seccional y de los materiales, no sea superada, por tanto la norma de diseño sismorresistente aplica a todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaren dañadas por la acción de los sismos.³¹

Dentro de este concepto es que se aceptan daños en la estructura para conseguir el objetivo de ductilidad deseado, es así como el proyecto de norma de diseño sismorresistente E. 030 del RNE, en sus principios establece que la estructura debe resistir experimentando posibles daños dentro de límites aceptables en los elementos no estructurales en movimientos sísmicos de moderada intensidad, y como fin último evitar el colapso de la estructura y causar daños graves a las personas ante sismos severos.

Por otro lado los requisitos de diseño para estructuras aisladas tienen otro concepto en el cual el objetivo de desempeño es una combinación de la protección a la vida, la reducción de daños de la estructura y sus contenidos, más específicamente:

³¹ Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores M., Flores (2015).

Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio.

Resistir sismos severos sin que exista:

- a) Falla del sistema de aislación.
- b) Daño significativo a los elementos estructurales.
- c) Daño masivo a elementos no estructurales.

Esto se logra gracias a que la estructura aislada se mantiene esencialmente en un rango elástico durante el sismo de diseño, ya que los desplazamientos ocurren en la base de la aislación y no en la parte de la estructura, reduciendo las aceleraciones y corte basal responsables de los daños.

Como uno de los puntos más representativos de esta nueva filosofía, es que se definen dos niveles sísmicos:

Sismo de diseño (SDI): este nivel coincide con el nivel usado comúnmente en el diseño de estructuras convencionales y corresponde al nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene como mínimo el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Sismo máximo posible (SMP): corresponde al nivel máximo del movimiento del suelo que puede ocurrir dentro del esquema geológico conocido, y se considera como el nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene un 10% de probabilidad de excedencia en 100 años.

En general en una estructura convencional no se verifica directamente el no colapso de ésta, sino que se maneja implícitamente a través de la ductilidad; en

cambio en estructuras aisladas se debe verificar su desempeño para el SMP en forma analítica y experimental; esto porque para el sistema de aislación se debe verificar que soporta tanto las deformaciones como cargas correspondientes al SMP sin falla.

Como se puede apreciar el objetivo de desempeño de las estructuras aisladas excede a aquellos de estructuras convencionales en sismos moderados y severos; entregando estructuras que presentan un mejor comportamiento, serviciabilidad y seguridad ante cualquier evento sísmico.³²

5.3 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

La norma establece dos tipos de procedimientos de análisis para las estructuras aisladas, uno es un análisis estático el cual establece valores mínimos de desplazamientos de diseño para el sistema de aislación y se puede utilizar en una limitada clase de estructuras; y un análisis dinámico dentro del cual se encuentran el análisis espectral y el de respuesta en el tiempo, permitiéndose modelos lineales como no lineales.

Este último análisis representa de mejor manera el comportamiento real que una estructura presentaría ante un sismo, se puede utilizar para el diseño de cualquier estructura con aislación sísmica, y se debe utilizar en todos los casos en que la estructura no cumpla con los criterios y requisitos establecidos para el análisis estático y espectral.

El análisis dinámico de respuesta en el tiempo, este es un análisis más completo permitiendo estructuras que presenten irregularidades, sistemas con una razón

³² Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores Mirko, Flores Brayans (2015).

de amortiguamiento modal mayor a 30%, sistemas de aislación que sean dependientes de la velocidad de deformación y levantamiento.

5.4 APLICACIONES GENERALES DE NORMATIVAS INTERNACIONALES

Lo primero en hacer es ver cuál de los tipos de análisis se utilizará, se decidió utilizar el análisis lineal de espectro de respuesta por los casos a analizar, ya que un análisis estático es muy restrictivo y se decidió que un análisis lineal de espectro de respuesta sería mucho más adecuado dado que permite un mayor campo en el que se pueda trabajar y hacer comparaciones entre los casos.

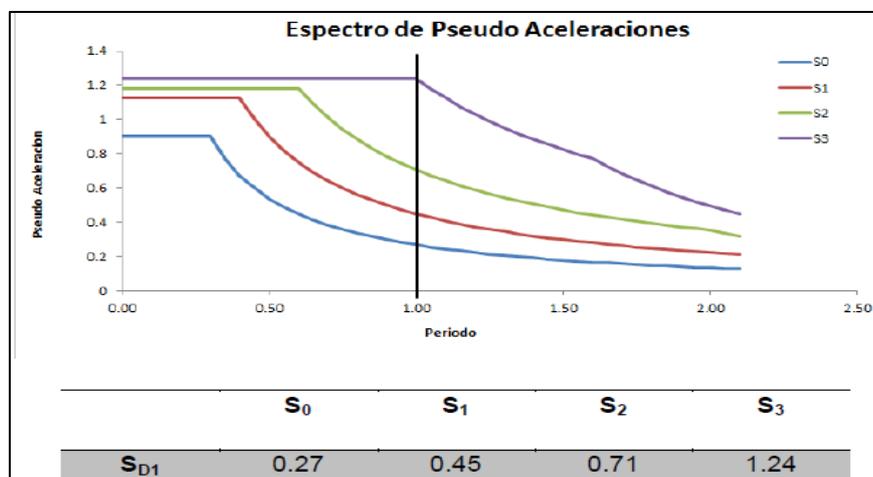
A continuación se definen los coeficientes y factores necesarios para el análisis según la norma ASCE/SEI 7-10 y el proyecto de norma de diseño sismorresistente E 030 del RNE.

Para calcular los desplazamientos de diseño y máximo se hace necesario definir ciertos factores, a continuación se presentan las tablas correspondientes, destacándose el caso correspondiente al presente estudio:

SD1: Parámetro de aceleración en el periodo de 1.0 s del espectro de diseño de respuesta.³³

³³ Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores M., Flores B. (2015).

Figura N° 38: Valores de SD1 para diferentes tipos de suelo pertenecientes a la Zona 4 del Perú



Fuente: Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores M., Flores B. (2015).

Con respecto a la categoría de destino el factor de importancia I se considerará 1.0 indiferentemente sea cual sea el tipo y destino de edificación según la norma ASCE/SEI 7-10.

Falta definir el coeficiente de reducción por amortiguamiento ya sea BD o BM, según corresponda, estos valores tienen directa relación con el amortiguamiento que posee el sistema de aislación, el cual ayuda a limitar los desplazamientos laterales de los aisladores. Como es lógico cada sistema de aislación tiene su propio amortiguamiento, por lo cual tendrán diferentes valores para este coeficiente y como consecuencia para los desplazamientos.³⁴

³⁴ Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores M., Flores B.(2015)

Tabla N° 14: Coeficientes de Amortiguamiento ($\beta_D - \beta_M$)

Amortiguamiento Efectivo ($\beta_D - \beta_M$)	Factor ($\beta_D - \beta_M$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
≥ 50	2.0

Fuente: Elaboración Propia

Con esto se puede calcular el desplazamiento de diseño y el desplazamiento máximo a través de las siguientes expresiones:³⁵

$$D_D = \frac{g * S_{D1} * T_D}{4\pi^2 * B_D} \dots\dots \text{Ecuación 15}$$

$$D_M = \frac{g * S_{M1} * T_M}{4\pi^2 * B_M} \dots\dots \text{Ecuación 16}$$

También se debe calcular el desplazamiento de diseño total y el desplazamiento máximo total en el cual se incluyen los efectos de la torsión tanto natural como accidental, para lo cual se utilizan las siguientes expresiones:

$$D_{TD} = 1.10 * D_D \dots\dots \text{Ecuación 17}$$

$$D_{TM} = 1.10 * D_M \dots\dots \text{Ecuación 18}$$

Estos valores de desplazamientos serán calculados en el siguiente capítulo en donde son necesarios para el diseño de los sistemas de aislación, y otros valores como por ejemplo las fuerzas laterales tanto para el sistema de aislación como de la superestructura serán analizados en el capítulo VI.

³⁵ Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores M., Flores B.(2015)

CAPÍTULO VI

AISLAMIENTO EN NIVEL INTERMEDIO DEL

MODELO ESTRUCTURAL

AISLAMIENTO EN NIVEL INTERMEDIO DEL MODELO ESTRUCTURAL

6.1 CONDICIONES DE DISEÑO PARA AISLACIÓN EN NIVEL INTERMEDIO³⁶

Para mejorar el nivel de protección a la estructura y sus contenidos por medio de un sistema de aislación basal, sin importar cuál sea el sistema de aislación a utilizar, este deberá satisfacer ciertos requerimientos para asegurar un comportamiento efectivo, los cuales son:

- a) Soportar el peso propio y sobrecargas de la estructura con un factor de seguridad adecuado.
- b) Tener una gran flexibilidad horizontal de modo de alargar el período fundamental de vibración de la estructura a una zona de menos aceleración espectral.
- c) Tener una rigidez vertical alta para evitar la amplificación vertical o el balanceo de la estructura.
- d) Proveer de un adecuado nivel de amortiguamiento de modo de reducir la demanda de deformación sobre el sistema de aislación.
- e) Ser capaz de soportar las deformaciones de corte que le serán impuestas por un sismo de gran magnitud.

³⁶ Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores M., Flores B.(2015)

f) El sistema de aislación debe asegurar una vida útil a lo menos igual al de la estructura o proveer de algún sistema que posibilite el recambio de los aisladores.

6.2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AISLACIÓN EN NIVEL INTERMEDIO

En el presente trabajo de tesis, se decidió analizar el sistema de aislación “Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)”, la elección de este se debió principalmente a que presenta una sólida base teórica y ha sido demostrado tanto teórica como experimentalmente su buen comportamiento.

En este capítulo se presenta el proceso de diseño de los aisladores, según lo establecido en la Norma ASCE/SEI 7-10, cabe mencionar que el proceso es iterativo y que el punto de partida dependerá mucho de los datos y características de entrada que se dispongan, siendo lo importante que el sistema de aislación cumpla con los objetivos planteados y con las verificaciones necesarias para asegurar un buen y seguro comportamiento.

6.2.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL AISLADOR ³⁷

Diseño del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

Se presenta el procedimiento paso a paso del diseño de un aislador HDR, a partir de los datos iniciales que se tienen, como se mencionó este proceso es una compilación de la Norma ASCE/SEI 7-10.

a) El número de aisladores que se utilizaran en el sistema de aislación, que se denominará N.

³⁷ Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo, Flores M., Flores B.(2015)

- b) Peso total de la estructura sobre el sistema de aislación: W .
- c) Periodo objetivo deseado TD , de acuerdo a la experiencia y recomendaciones de la bibliografía revisada se decide por $TD = 2,5$ segundos.
- d) Se establece los límites para la deformación de corte directo máximo, γ_s y de la deformación de corte máxima admisible γ_{max} .
- e) Se estima un valor del amortiguamiento, por recomendación de los catálogos por el tipo de sistema de aislación se decide por $\beta D = 10\%$
- f) Se decide la forma de la sección transversal.
- g) Se establece el módulo de corte dependiendo del catálogo del aislador, G .
- h) Se determina el sistema de conexión de los aisladores.

Luego de esto se procede a realizar el proceso iterativo de cálculo para el diseño, el cual se detalla en los siguientes pasos:

Paso 1. Calcular la rigidez horizontal total, del todo el sistema de aislación, y luego de cada aislador en forma independiente, dado por:

$$KHTotal = \left(\frac{2\pi}{Td}\right)^2 * (Mt) \dots\dots \text{Ecuación 19}$$

$$KH = \frac{KHTotal}{N} \dots\dots \text{Ecuación 20}$$

Paso 2. Calcular el desplazamiento de diseño de los aisladores.

Paso 3. Calcular el desplazamiento total de diseño de los aisladores.

Paso 4. Se calcula un valor para la altura total del elastómero H_r , utilizando la deformación lateral por corte y el desplazamiento de diseño, con la siguiente relación:

$$H_r = \frac{D_D}{\gamma_s} \dots\dots \text{Ecuación 21}$$

Paso 5. Se calcula un área del aislador para la altura total del elastómero que esté dentro del algún rango del catálogo con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{K_H * H_r}{G} \dots\dots \text{Ecuación 22}$$

Paso 6. Se calcula el diámetro exterior para el área anterior de la siguiente manera:

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \dots\dots \text{Ecuación 23}$$

Paso 7. Se calcula una nueva área del aislador con un diámetro mayor al calculado para que cumpla con los requerimientos con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{D_e^2 * \pi}{4} \dots\dots \text{Ecuación 24}$$

Paso 8. Se calcula la rigidez horizontal real de cada aislador y la rigidez compuesta real del sistema de aislamiento, dadas por:

$$K_H = \frac{G * A}{H_r} \dots\dots \text{Ecuación 25}$$

$$K_{HTotal} = K_H * N \dots\dots \text{Ecuación 26}$$

Paso 9. Se calcula el período real del sistema de aislamiento, dado por:

$$T_D = 2 \pi \sqrt{\frac{W}{K_{HTotal} * g}} \dots\dots \text{Ecuación 27}$$

Paso 10. Se calcula el desplazamiento de diseño nuevamente con este T_D

Paso 11. Se calcula el nuevo desplazamiento total de diseño.

Paso 12. Se calcula la cortante basal bajo la estructura, dado por:

$$V_b = K_H * D_D \quad \dots\dots \text{Ecuación 28}$$

$$C_b = \frac{V_b}{W} \quad \dots\dots \text{Ecuación 29}$$

Paso 13. Se calcula la cortante basal en la superestructura, dado por:

$$V_s = \frac{K_H * D_D}{R_1} \quad \dots\dots \text{Ecuación 30}$$

$$C_s = \frac{V_s}{W} \quad \dots\dots \text{Ecuación 31}$$

Paso 14. Escogemos un factor de forma S, por recomendación de la bibliografía consultada este valor estará entre el rango de 9-10.

Paso 15. Se calcula el espesor de cada capa de elastómero con la siguiente formula:

$$t = \frac{D_e}{4 * S} \quad \dots\dots \text{Ecuación 32}$$

Paso 16. Se calcula el número de capas a utilizar mediante la siguiente relación:

$$n = \frac{H_r}{t} \quad \dots\dots \text{Ecuación 33}$$

Paso 17. Se escoge un número de capas n de forma que al comprobar el valor de factor de forma S esté en o sobre el rango establecido.

Paso 18. Se escoge un grosor para las capas de acero t_s entre las capas de elastómero, por recomendación de la bibliografía revisada es conveniente usar un valor de $t_s=0.22$ cm.

Paso 19. Se escoge un grosor para las placas de acero superior e inferior de los aisladores t_{ex} , estos están dados en el catálogo del aislador dependiendo del diámetro de este.

Paso 20. Se calcula la altura total del Aislador sumando las alturas calculadas anteriormente.

$$H=H_r + (n - 1) * t_s + 2 * t_{ex} \dots\dots \text{Ecuación 34}$$

Paso 21. Normalmente los compuestos de los aisladores experimentan un incremento del 20% de deformación a cortante y un decremento de amortiguamiento de un 1%, por tal motivo, se repiten los pasos 8, 9, 10, 11 y 12 pero ahora con los nuevos valores de G y βM , pero en esta oportunidad se hallaran los valores máximos.

6.3 DISEÑO DEL AISLADOR

Para nuestro caso, puesto que ya se ha explicado el procedimiento para el diseño del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), se procede a realizar el diseño mediante una hoja de cálculo realizada con el programa computacional Matlab (Nótese en el anexo N-01).

Tabla N° 15: *Tabla de resultados para el diseño con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.*

Propiedad	Simbolo	Valor	Unidad
Peso de la estructura	W_T	253.03	tnf
Deformación de Corte Directo máximo	γ_S	1.50	
Deformación de Corte máxima admisible	γ_{MAX}	4.00	
Módulo de Corte	G	6.00	kg/cm ²
Número total de aisladores	N	4	
Amortiguamiento efectivo	β_D	10%	
		1.2	
Período de Diseño	T_D	2.50	seg
Período Máximo	T_M	2.60	seg
Espesor de cada capa del elastómero	t	1.25	cm
Espesor de la capa de acero	t_s	0.22	cm
Espesor propuesto de las placas de anclaje	t_{ex}	2.50	cm
Esfuerzo de Fluencia del acero	σ_y	250000.00	KN/m ²
Diámetro exterior del elastómero	D_{ex}	50.00	cm ²
Área del aislador	A	1963.50	cm ²
Altura total del aislador	H	20.50	cm ²

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VII
ANÁLISIS COMPARATIVO
Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

ANÁLISIS COMPARATIVO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se mostrarán en resumen los datos más significativos del modelo estructural analizado en los capítulos III y IV de este trabajo de investigación, los cuales son los siguientes:

7.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DINÁMICO PARA LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL

MODELO ESTRUCTURAL CONVENCIONAL

PERÍODO FUNDAMENTAL

PERÍODO FUNDAMENTAL	0.4298
---------------------	--------

Tabla N° 16: Fuerza cortante, Máximo desplazamiento, Período Fundamental

Y derivas obtenidos del análisis dinámico para la estructura convencional.

EDIFICIO CONVENCIONAL				
PISOS	FUERZA CORTANTE	DESP.	ALTURA DE ENTREPISO	DERIVA
5° PISO	15.1963	0.0133	290.00	1.30E-03
4° PISO	33.8260	0.0127	290.00	2.46E-03
3° PISO	54.9927	0.0116	290.00	3.20E-03
2° PISO	79.9559	0.0101	290.00	4.10E-03
1° PISO	111.4315	0.0081	290.00	4.80E-03

Fuente: Elaboración Propia

7.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DINÁMICO PARA LA ESTRUCTURA AISLADA

MODELO ESTRUCTURAL AISLADO

PERÍODO FUNDAMENTAL

PERÍODO FUNDAMENTAL	2.55
---------------------	------

Tabla N° 17: Fuerza cortante, Máximo desplazamiento, Período Fundamental y derivas obtenidos del análisis dinámico para la estructura aislada.

EDIFICIO AISLADO				
PISOS	FUERZA CORTANTE	DESP.	ALTURA DE ENTREPISO	DERIVA
5° PISO	5.3380	0.0056	290.00	1.90E-04
4° PISO	10.0100	0.0052	290.00	3.90E-04
3° PISO	22.8480	0.0044	290.00	5.70E-04
2° PISO	32.6200	0.0033	290.00	7.72E-04
1° PISO	50.2900	0.0018	290.00	9.40E-04
AISLADOR	85.3500	0.1790	290.00	

Fuente: Elaboración Propia

La tabla muestra cuatro ítems en los que se ha dividido cada una de estas, los cuales son: la fuerza cortante que afecta a cada piso, el desplazamiento máximo ocasionado en la estructura por la acción de la fuerza sísmica, la altura de entre piso que tiene la edificación y finalmente las derivas o distorsiones de cada piso. Cabe destacar que la comparación de resultados que se realizaron es solo del nivel que está por encima del aislador hacia el último nivel. (1ER PISO al 5TO PISO)

COMPARACIÓN ENTRE FUERZAS CORTANTES:

Cuando se comparan los valores de las fuerzas cortantes en cada piso, producidas por la acción del sismo, según se muestra en la figura N°39, las fuerzas que actúan en la edificación convencional son ampliamente superiores a las fuerzas que actúan en la edificación aislada. Se puede afirmar que las edificaciones aisladas reciben menor fuerza cortante, porque el aislador disipa la mayor parte de la aceleración que el suelo transmite a la estructura.

Figura N°39: Relación entre fuerzas cortantes en cada piso



Fuente: Elaboración Propia

7.3 COMPARACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTOS

En este aspecto, la estructura aislada presenta una gran ventaja, si bien es cierto en el nivel donde se encuentra el aislador existe un gran desplazamiento, como se puede apreciar en la figura N°41, entre el 1ER PISO y 5TO PISO, existe una mínima diferencia de desplazamiento. Mientras que en la estructura convencional es en donde hay una gran diferencia en cuanto a desplazamientos entre el 1ER PISO y 5TO PISO, tal como se aprecia en la Figura N°40.

Figura N°40: Desplazamientos Estructura convencional



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°41: Desplazamientos Estructura convencional



Fuente: Elaboración Propia

7.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS DERIVAS O DISTORCIONES

Este factor es el que permite determinar si una estructura cumple o no con un adecuado diseño sismorresistente, esto debido a que la norma técnica peruana

no se rige ni por desplazamientos máximos, sino más bien mediante un valor máximo de distorsión o deriva entre dos entrepisos, el cual se encuentra especificado en la tabla de la norma E.030.

Tabla N°18: Límites de distorsión de entrepiso

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado de ductilidad limitada	0,005

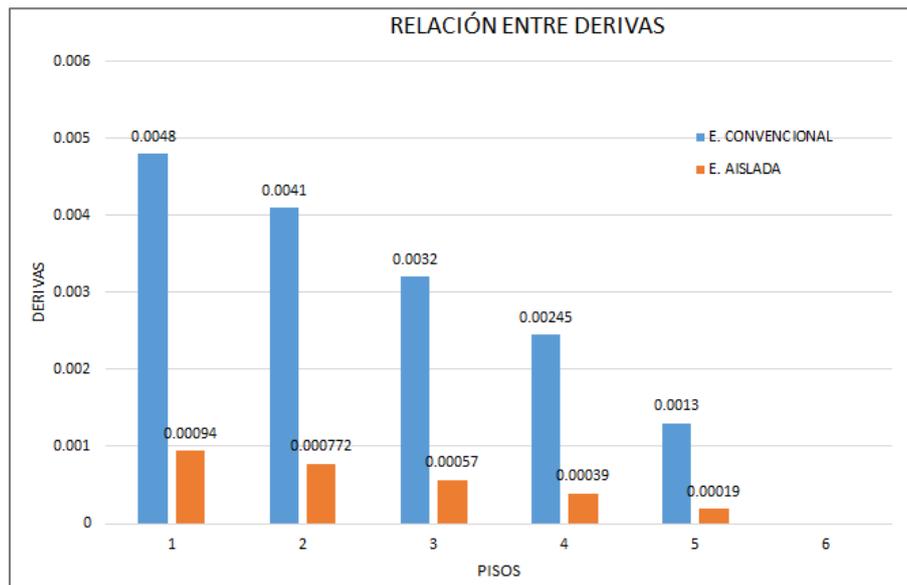
Fuente: Norma E.030.

La estructura en la que se está realizando este análisis esta predominantemente compuesta por concreto armado en el EJE PLANO B-B, por lo tanto, su valor máximo tolerable para las distorsiones de entrepiso es 0.007, sabiendo esto, podemos analizar la Tabla N°14, donde se presenta en la columnas de color azul las distorsiones o derivas de cada entrepiso para la estructura convencional, mientras que los valores para la estructura aislada se muestran en naranja.

Observando claramente que las distorsiones en la estructura aislada son menores y están mucho más alejadas del valor máximo admisible, especificado por la Norma E-0.30.

Finalmente, después de realizar el análisis dinámico modal espectral de cada estructura y de haber comparado los resultados de ambas situaciones, podemos anticipar la conclusión de que una estructura que cuenta con un sistema de aislamiento a nivel intermedio, siempre tendrá un mejor desempeño que una estructura convencional, durante un movimiento sísmico.

Figura N°42: Relación entre derivas en cada piso



Fuente: Elaboración Propia

7.5 ANÁLISIS SEGÚN EL DISEÑO DE LOS AISLADORES

La altura del aislador depende del desplazamiento de diseño, y este depende de la zona y el suelo donde se ubica la estructura. El módulo de corte afecta directamente el desplazamiento de diseño del aislador al igual que su diámetro y periodos, según la cantidad de pisos se utiliza para esta estructura un valor de módulo de corte “G’ igual a 6 kg/cm².

Revisando normativas internacionales como ASCE 7-10 se puede observar que se toma el valor de SD1 (aceleración de diseño) en el periodo de 1 seg., es por esto que se tomó la aceleración en nuestro espectro con este periodo.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el análisis del comportamiento sismorresistente de la estructura de 5 pisos con dos sótano, tanto convencional como el aislado, mediante el software MATLAB; se realizó el análisis comparativo de los valores obtenidos para el comportamiento sísmico de cada estructura, pudiéndose observar que la comparación de resultados solo se realiza de los niveles que están por encima del aislador (1er PISO al 5to PISO).

Respecto a la fuerza cortante en cada piso se puede observar que la máxima fuerza cortante sin aislamiento es de 111.43 Tn, mientras que con aisladores la fuerza cortante más alta tiene como valor 50.29 Tn, es decir, el empleo de aislador redujo la fuerza cortante más alta aproximadamente un 54.86%.

Una situación similar puede observarse en los desplazamientos, donde en la estructura convencional existen grandes desplazamientos; mientras que por otro lado, en la estructura aislada, solamente existe un desplazamiento considerable en el nivel donde se encuentra el aislador y en el resto de pisos, estos valores son mínimos; reflejo de esto es que el mayor desplazamiento de la estructura sin aislación es de 8.1 cm mientras que la estructura aislada es de 1.8 cm.

Respecto al tema más importante del análisis sísmico, las derivas o distorsiones, de la estructura convencional tiene su máxima deriva se encuentra en el primer piso con un valor de 4.8×10^{-3} ; situación similar se experimenta en la estructura aislada donde la máxima deriva se ubica en el mismo nivel pero con una considerable reducción en su valor, 9.4×10^{-4} ; la reducción que se logra incluyendo el aislamiento a nivel intermedio es de 80.42%.

Finalmente, podemos concluir que la estructura de 5 pisos con dos sótanos que presenta aislamiento a nivel intermedio, tiene un mejor comportamiento

estructural ante un sismo en la ciudad de Tacna, que una estructura convencional.

El método de ANALISIS SISMICO MODAL espectral, que se empleó para el análisis dinámico, en combinación con el software MATLAB, nos permitió analizar exitosamente ambas estructuras.

Se concretó adecuadamente con el análisis del comportamiento estructural de un edificio de 5 pisos con dos s convencional y otro aislado, haciendo uso del software MATLAB. También se demostró con este análisis, que se cumple con los parámetros establecidos de la Norma E030, tanto de la estructura que está aislada y de la que no lo está.

El análisis comparativo entre los comportamientos de cada uno de las estructuras, pudo llevarse a cabo conforme a lo planeado, del cual se puede concluir que el desempeño del edificio aislado presenta un mejor comportamiento sismorresistente que una edificación construida convencionalmente.

Según los resultados obtenidos con el diseño normativo sismo-resistente de una edificación convencional y otra con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR), se puede concluir que:

- En el sistema aislado ocurren menores desplazamientos horizontales relativos de entrepiso, lo cual ayudará a un mejor comportamiento de la estructura.
- Con la implementación de aisladores a una edificación convencional se logra establecer mecanismos que mejoren las propiedades sismorresistentes cuyo fin es proteger a las edificaciones ante movimientos sísmicos; asegurando

que estas puedan continuar con su funcionalidad después de un sismo con total normalidad.

8.2 RECOMENDACIONES

Se debe implementar sistemas de aislación en las estructuras esenciales, ya que con este sistema es probable que la edificación tenga una funcionalidad del 100% lo cual es indispensable en situaciones críticas de sismos severos para este tipo de estructuras.

Al emplear la Nueva Norma técnica Peruana de Diseño Sismorresistente 2016, servir de guía para futuros trabajos, así mismo impulsar la implementación de una Norma Peruana que permita con más detalle poder analizar estructuras con aislación sísmica, de modo que se adecue a los parámetros y tipos de suelo que tiene nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

CHOPRA, Anil K. (1995) “Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering”, Segunda Edición, Prentice Hall. New Jersey.

KORSWAGEN, Paul, ARIAS, Julio, HUARINGA, Pamela. (2012) “Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú”. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil. Perú: Pontificia Universidad Católica. Lima, Consulta: 11 de Setiembre.

NÚÑEZ, Leidy. (2014) “Aislación sísmica de un edificio (análisis comparativo del comportamiento y costos con un edificio tradicional)”. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil .Ecuador: Pontificia Universidad Central de Quito.

AGUIAR, Roberto, DECHENT, Peter, SUAREZ, Vinicio. (2008) “Aisladores de base elastoméricos y FPS”, Primera Edición. Quito, Ecuador –CEINCI ESPE

ARRIAGADA, Jaime. (2005) “Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Chile: Universidad Austral de Chile.

FLORES, Mirko, FLORES, Brayans (2015) “Análisis comparativo de comportamiento y costos de estructuras simples utilizando aislamiento sísmico en diferentes condiciones de suelo”. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Perú: Universidad Privada de Tacna.

CARMONA, Pedro, ROSAS, Angello (2015) “Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del Edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la Provincia de Lima – Perú”. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

MUÑOZ GUERRA, Joseph (2013) “Análisis y Diseño de una Estructura Hospitalaria con aisladores sísmicos en la Ciudad de Arequipa” Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Perú: Universidad Católica Santa María.

Corporación de desarrollo tecnológico – Cámara Chilena de la construcción, Protección sísmica de estructuras, 2011.

ASCE/SEI 7-10, Minimum Design Loads for Buildings and other Structures, 2010.

RNE, Proyecto de Norma E. 030 Diseño Sismo resistente, 2016.

ANEXOS

ANEXOS N-01

DISEÑO DE UN AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO

1.1 ESTIMACION DE RIGIDEZ HORIZONTAL TOTAL

$$TD = 2.50 \quad \text{seg}$$

$$Mb = 4.27 \quad \text{tns}^2/\text{m}$$

$$\text{Mt(sobre el aislador)} = 25.38 \quad \text{tns}^2/\text{m}$$

$$KHTotal = \left(\frac{2\pi}{Td}\right)^2 * (Mt) = 160.33 \quad \text{tnf/m}$$

$$KH = \frac{KHTotal}{N} = 40.08 \quad \text{tnf/m}$$

1.2 CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO Y DESPLAZAMIENTO TOTAL DE DISEÑO

$$D_D = \frac{g * S_{D1} * T_D}{4\pi^2 * B_D} = 0.275 \quad \text{m}$$

$$D_{TD} = 1.10 * D_D = 0.302 \quad \text{m}$$

1.3 ESTIMACIÓN DE ALTURA TOTAL DEL ELASTÓMERO REQUERIDO (Hr)

$$Hr = \frac{D_D}{\gamma_s} = 18.326 \quad \text{cm}$$

$$Hr \cong 16.5 \text{ cm} \quad 20.5$$

1.4 CÁLCULO DEL ÁREA DEL AISLADOR PARA EL GROSOR TOTAL DEL ELASTÓMERO REQUERIDO

$$Hr = \frac{D_D}{\gamma_s} = 18.326 \quad \text{cm}$$

$$Hr \cong 16.5 \text{ cm} \quad 20.5$$

1.5 CÁLCULO DEL ÁREA DEL AISLADOR PARA EL GROSOR TOTAL DEL ELASTÓMERO REQUERIDO

$$A = \frac{K_H * Hr}{c} = 1,369.528 \quad \text{cm}^2$$

1.6 CÁLCULO DE DIÁMETRO EXTERIOR DEL AISLADOR

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 46.687 \quad \text{cm}$$

1.7 CÁLCULO REAL SEGÚN VALORES DE CATÁLOGO

Diámetro exterior: $De = 50.000 \quad \text{cm}$

Nueva área del aislador: $A = \frac{D_e^2 * \pi}{4} = 1,963.495 \quad \text{cm}^2$

Cálculo de la rigidez horizontal real de cada aislador:

$$K_H = \frac{G * A}{H_r} = 57.468 \quad \text{tnf/m}$$

Cálculo de la rigidez compuesta real del sistema de aislamiento:

$$K_{HTotal} = K_H * N = 229.873 \quad \text{tnf/m}$$

Cálculo del período real del sistema de aislamiento:

$$T_D = 2 \pi \sqrt{\frac{W}{K_{HTotal} * g}} = 2.600 \quad \text{seg}$$

Cálculo del Desplazamiento de diseño real y Desplazamiento Total de Diseño real:

$$D_{D=\frac{g * S_{D1} * T_D}{4\pi^2 * B_D}} = 0.286 \text{ m}$$

$$D_{TD=1.10 * D_D} = 0.314 \text{ m}$$

ANEXOS N-02

FACTORES DE REDUCCIÓN

2.1 Según Norma técnica: UBC 1997, Capítulo 16

TABLE A-16-E—STRUCTURAL SYSTEMS ABOVE THE ISOLATION INTERFACE¹

BASIC STRUCTURAL SYSTEM ²	LATERAL-FORCE-RESISTING SYSTEM DESCRIPTION	R_f	HEIGHT LIMIT FOR SEISMIC ZONES 3 AND 4
			× 304.8 for mm
1. Bearing wall system	1. Light-framed walls with shear panels	2.0	65
	a. Wood structural panel walls for structures three stories or less	2.0	65
	b. All other light-framed walls		
	2. Shear walls		
	a. Concrete	2.0	160
	b. Masonry	2.0	160
	3. Light steel-framed bearing walls with tension-only bracing	1.6	65
	4. Braced frames where bracing carries gravity load		
	a. Steel	1.6	160
	b. Concrete ³	1.6	—
c. Heavy timber	1.6	65	
2. Building frame system	1. Steel eccentrically braced frame (EBF)	2.0	240
	2. Light-framed walls with shear panels		
	a. Wood structural panel walls for structures three stories or less	2.0	65
	b. All other light-framed walls	2.0	65
	3. Shear walls		
	a. Concrete	2.0	240
	b. Masonry	2.0	160
	4. Ordinary braced frames		
	a. Steel	1.6	160
	b. Concrete ³	1.6	—
c. Heavy timber	1.6	65	
5. Special concentrically braced frames			
a. Steel	2.0	240	
3. Moment-resisting frame system	1. Special moment-resisting frame (SMRF)		
	a. Steel	2.0	N.L.
	b. Concrete	2.0	N.L.
	2. Masonry moment-resisting wall frame (MMRWF)	2.0	160
	3. Concrete intermediate moment-resisting frame (IMRF) ⁴	2.0	—
	4. Ordinary moment-resisting frame (OMRF)		
	a. Steel ⁵	2.0	160
	b. Concrete ⁶	2.0	—
	5. Special truss moment frames of steel (STMF)	2.0	240
	4. Dual systems	1. Shear walls	
a. Concrete with SMRF		2.0	N.L.
b. Concrete with steel OMRF		2.0	160
c. Concrete with IMRF ⁴		2.0	160
d. Masonry with SMRF		2.0	160
e. Masonry with steel OMRF		2.0	160
f. Masonry with concrete IMRF ³		2.0	—
g. Masonry with masonry MMRWF		2.0	160
2. Steel EBF			
a. With steel SMRF ⁷		2.0	N.L.
b. With steel OMRF		2.0	160
3. Ordinary braced frames			
a. Steel with steel SMRF		2.0	N.L.
b. Steel with steel OMRF		2.0	160
c. Concrete with concrete SMRF ³		2.0	—
d. Concrete with concrete IMRF ³		2.0	—
4. Specially concentrically braced frames			
a. Steel with steel SMRF		2.0	N.L.
b. Steel with steel OMRF	2.0	160	
5. Cantilevered column building systems	1. Cantilevered column elements	1.4	35 ⁷
6. Shear wall-frame interaction systems	1. Concrete ⁶	2.0	—
7. Undefined systems	See Sections 1629.6.7 and 1629.9.2		—

2.2 Según Norma técnica: Norma Chilena NCh-2745 2003

Tabla 4 - Factor de reducción para el diseño de la superestructura

Sistemas estructural básico	Descripción de los sistemas resistentes a las fuerzas laterales	R_l	$h_{\text{máx.}}$ ' m ¹⁾
Pórticos	Acero estructural	2,0	35
	Hormigón armado	2,0	35
Muros de corte	Acero estructural	2,0	50
	Hormigón armado	2,0	50
	Albañilería confinada	2,0	15
	Albañilería armada	1,6	12
Sistemas arriostrados	Concéntricos	1,6	35
	Excéntricos	2,0	50
Estructuras en voladizo		1,4	10

1) Estos límites de altura son recomendados; sin embargo, si existen estructuras de mayor altura que no satisfacen este requerimiento de altura, pero cumplen con el código propuesto, ellas se pueden diseñar utilizando aislación sísmica siempre que se realice un análisis dinámico de la estructura y se demuestre que el uso de aislación sísmica no es perjudicial para el comportamiento sísmico de la estructura.

ANEXOS N-03