UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis comparativo del comportamiento sismorresistente (sin y con aislamiento sísmico) del Centro Médico San Conrado, Los Olivos, Lima – Perú 2019

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR

William Jeyson Mendoza Chávez

ASESOR

Manuel Ismael Laurencio luna

Lima, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	WILLIAM JEYSON
Apellidos	MENDOZA CHAVEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	73027537
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	MANUEL ISMAEL
Apellidos	LAURENCIO LUNA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	42362708
Número de Orcid (obligatorio)	0000-0002-5992-0202

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	FELIX GERMAN
Apellidos	DELGADO RAMIREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	22264222

Datos del segundo miembro

Nombres	VICTOR
Apellidos	GARCES DIAZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	32860015

Datos del tercer miembro

Nombres	ALCIBIADES
Apellidos	BANCES MEZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	44127737

Repositorio Institucional

UCSS SISTEMA DE BIBLIOTECAS

Datos de la obra

Materia*	Diseño sismorresistente, aislador sísmico, deriva, aislamiento basal
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: enlace	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Civil
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Civil
Código del programa Consultar el listado: enlace	732016

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA N° 007-2022-UCSS-FI/TPICIV

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
SEDE LIMA

Los Olivos, 24 de junio de 2022

Siendo las 14:00 horas del 24 de junio de 2022, utilizando los recursos para la videoconferencia disponibles en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se dio inicio a la sustentación de la Tesis:

"**Análisis comparativo del comportamiento sismorresistente (sin y con aislamiento sísmico) del Centro Médico San Conrado, Los Olivos, Lima – Perú 2019"**

Por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

MENDOZA CHAVEZ, WILLIAM JEYSON

Ante el Jurado calificador conformado por el:

Dr. DELGADO RAMÍREZ, Félix German	Presidente
Mgtr. GARCÉS DÍAZ, Víctor	Secretario
Ing. BANCES MEZA, Alcibíades	Miembro

Siendo las 15:00 horas, habiendo sustentado y atendido las preguntas realizadas por cada uno de los miembros del jurado; y luego de la respectiva deliberación, el jurado le otorgó la calificación de:

APROBADO

En mérito a la calificación obtenida se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller MENDOZA CHAVEZ, WILLIAM JEYSON el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

En señal de conformidad firmamos,

…… ……

Ing. BANCES MEZA, Alcibíades
Miembro

Mgtr. GARCÉS DÍAZ, Víctor
Secretario

……

Dr. DELGADO RAMÍREZ, Félix German
Presidente

Dedicatoria

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres, Herminio y Reynalda, quienes fueron mi inspiración para la superación de mi vida personal, cimentaron en mí los valores como la responsabilidad y la perseverancia, porque ellos representan la imagen que quiero alcanzar.

Agradecimiento

A Dios por ser la fuente de mi vida, la razón de mi existencia y hacer realidad este sueño de convertirme en Ingeniero Civil.

De manera especial al M.Sc. Laurencio Luna, Manuel Ismael por su asesoría y constante apoyo en la construcción de la presente tesis.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Sedes Sapientiae por los mejores años de mi vida. A mis profesores y compañeros que con su apoyo y enseñanzas me han permitido avanzar en el proceso de mi formación profesional.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento sismorresistente (sin y con aislamiento sísmico) del Centro Médico San Conrado, ubicado en el distrito de Los Olivos; donde se realizó un modelamiento estructural en el software Etabs para obtener los parámetros más relevantes de ambas estructuras como: periodo y frecuencia de vibración natural, derivas y cortantes.

La investigación es de diseño no experimental y de alcance descriptivo con una perspectiva cuantitativa, donde se recolecta datos o valores del desempeño de la edificación del Centro Médico San Conrado.

Finalmente, se observó que la estructura con aisladores sísmicos es la más eficiente porque reduce notablemente la cortante y por ende disminuye las derivas, de esta manera se logra optimizar las medidas de los elementos estructurales y aun así estar acorde con los requerimientos de la normativa E.031.

Palabras claves: diseño sismorresistente, aislador sísmico, deriva, aislamiento basal.

Abstract

The objective of this research study was to analyze the earthquake-resistant behavior (without and with seismic isolation) of the San Conrado Medical Center, located in the Los Olivos district; where a structural modeling was carried out in the Etabs software to obtain the most relevant parameters of both structures such as: period and frequency of natural vibration, drift and shear.

The research is of non-experimental design and of descriptive scope with a quantitative perspective, where data or performance values of the building of the San Conrado Medical Center are collected.

Finally, it was observed that the structure with seismic insulators is the most efficient because it significantly reduces the shear and therefore reduces drifts, in this way it is possible to optimize the measurements of the structural elements and still comply with the requirements of the E. 031.

Keywords: earthquake resistant design, seismic isolator, drift, basal isolation.

Índice general

Dedicatoria ii
Agradecimiento iii
Resumen iv
Abstract v
Prólogo **16**
Capítulo I Planteamiento del Problema 17
1.1. Formulación del problema 17
1.1.1. Problema principal 18
1.1.2. Problemas secundarios 18
1.2. Objetivos de la investigación 18
1.2.1. Objetivo general 18
1.2.2. Objetivos secundarios 19
1.3. Justificación e importancia de la investigación 19
1.4. Delimitación del área de investigación 20
Capítulo II Marco Teórico 21
2.1. Antecedentes internacionales y nacionales 21
2.2. Bases teóricas 25
2.2.1. Riesgo sísmico en el Perú 25
2.2.2. Estructuras con Diseño Sismorresistente (Norma E.030) 25
2.2.3. Estructura con Aislamiento sísmico (Norma E.031) 27
2.2.4. Respuesta de la estructura frente al sismo 32
2.2.5. Desarrollo de un sistema aislado 56
Capítulo III. Hipótesis y variables de investigación 67
3.1. Hipótesis 67
3.1.1. Hipótesis principal 67
3.1.2. Hipótesis secundarias 67
3.1.3. Hipótesis nula 67
3.2. Variables e indicadores 68
3.2.1. Variables principales 68
3.3. Operacionalización de las variables 68
Capitulo IV. Diseño de la Investigación 70
4.1. Diseño de ingeniería 70

4.2. Métodos y técnicas de proyecto 70
4.2.1. Diseño estadístico 70
4.2.2. Población y muestra 71
4.3. Técnicas y herramientas estadísticas 71
4.3.1. Instrumentos para recolectar datos 71
Capítulo V. Descripción de la zona de estudio 73
5.1. Análisis del área de estudio 73
5.1.1. Ubicación, superficie y altitud 73
5.1.2. Geología, Geomorfología y Sismicidad 74
5.1.3. Evaluación geotécnica y geofísica 75
Capítulo VI. Desarrollo de la Investigación 77
6.1. Características de la estructura 77
6.2. Análisis y diseño de aisladores 78
6.2.1. Diseño de los aisladores de alto amortiguamiento HDR 78
6.2.2. Diseño de los aisladores de núcleo de plomo LRB 86
6.3 Análisis estático y dinámico 95
6.3.1. Parámetros sísmicos 95
6.4. Modelamiento computacional 102
6.4.1. Modelamiento de la estructura convencional 102
6.4.2. Modelamiento de la estructura aislada 102
Capítulo VII. Resultados 103
7.1. Comparación de las derivas 113
7.2 Análisis tiempo - historia 115
7.2.1. Verificación de derivas – base fija 115
7.2.2. Verificación de derivas – base aislada 10 % 119
7.2.3. Verificación de derivas – base aislada 30 % 124
7.2.4. Verificación de Cortantes 129

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de Variables (V1) 69

Tabla 2. Operacionalización de variables (V2) 69

Tabla 3. Cuadro de resumen de propiedades físicas aisladores de altoamortiguamiento HDR 80

Tabla 4. Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_A=70cm.....82

Tabla 5. Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_B=90cm.....84

Tabla 6. Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_c=110 cm.....85

Tabla 7. Cuadro de resumen de propiedades físicas con aisladores de núcleo de plomo LRB 89

Tabla 8. Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_A=50cm.....91

Tabla 9. Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del excéntrico D_B=70cm.....93

Tabla 10. Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_c=90 cm.....94

Tabla 11. Cálculo del cortante basal de la estructura usando el análisis estático.....96

Tabla 12. Espectros con diferentes coeficientes de reducción de fuerzas sísmicas (E.0.30) 96

Tabla 13. Espectros con diferentes coeficientes de reducción de fuerzas sísmica (E.031) ..99

Tabla 14. Periodos y frecuencias modales – estructura con base fija.....103

Tabla 15. Periodos modales y frecuencias - Estructura con base aislada - HDR 103

Tabla 16. Periodos modales y frecuencias - Estructura con base aislada - LRB.....104

Tabla 17. Cortante total en los muros del centro de salud.....105

Tabla 18. Cortante total en las columnas del centro de salud.....105

Tabla 19. Porcentaje de cortantes 106

Tabla 20. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección X* .. 106

Tabla 21. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección Y* .. 106

Tabla 22. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X.. 107

Tabla 23. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y.. 107

Tabla 24. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X, con espectro inelástica R=1 107

Tabla 25. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con espectro inelastica R=1 (evaluar desplazamientos) 108

Tabla 26. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X con espectro R=2 (evaluar derivas) 108

Tabla 27. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con respecto R=2 (evaluar derivas*)* 109

Tabla 28. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X, con espectro inelástico R=1 (evaluar desplazamientos) 109

Tabla 29. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con espectro inelástico R=1 (evaluar desplazamientos) 110

Tabla 30. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X, con espectro inelástica R=2 (evaluar derivas) 110

Tabla 31. Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con espectro R=2 (evaluar derivas) 111

Tabla 32. Comparación de derivas - Eje X 113

Tabla 33. Comparación de derivas – Eje Y 114

Tabla 34. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 115

Tabla 35. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 115

Tabla 36. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 115

Tabla 37. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 116

Tabla 38. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW). 116

Tabla 39. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 116

Tabla 40. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 117

Tabla 41. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 117

Tabla 42. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 117

Tabla 43. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 118

Tabla 44. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 118

Tabla 45. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 118

Tabla 46. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 119

Tabla 47. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 119

Tabla 48. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 120

Tabla 49. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 120

Tabla 50. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 121

Tabla 51. Desplazamiento máximo del Centro Medico en la dirección X (NS) 121

Tabla 52. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 122

Tabla 53. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 122

Tabla 54. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 122

Tabla 55. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 123

Tabla 56. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 123

Tabla 57. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 124

Tabla 58. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 124

Tabla 59. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 124

Tabla 60. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 125

Tabla 61. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 125

Tabla 62. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 125

Tabla 63. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 126

Tabla 64. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 126

Tabla 65. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 127

Tabla 66. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW) 127

Tabla 67. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS) 127

Tabla 68. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW) 128

Tabla 69. Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS) 128

Tabla 70. Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección X. 129

Tabla 71. Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección Y. 130

Tabla 72. Metrado nivel 01-cargas estructurales 143

Tabla 73. Metrado nivel 02 al 08 - cargas estructurales 143

Tabla 74. Metrado nivel 01- cargas no estructurales (losa maciza) 143

Tabla 75. Metrado nivel 02-03-04-cargas no estructurales (losa aligeradas) 144

Tabla 76. Metrado techo - cargas no estructurales (losa aligeradas) 144

Tabla 77. Metrado nivel 01 - cargas vivas 144

Tabla 78. Metrado nivel 02 al 08 - cargas vivas 144

Tabla 79. Cuadro de resumen de elementos estructurales 145

Índice de figura

Figura 1. Diferencias de una estructura sin y con aislamiento basal ante un evento sísmico 29

Figura 2. Los dispositivos elastoméricos con bajo amortiguamiento LRD. 31

Figura 3. Dispositivos con alto amortiguamiento (HDR). 32

Figura 4. Edificio de corte..... 33

Figura 5. Asignación de grados de libertad..... 34

Figura 6. Edificio de corte de 2 niveles sometido a cargas externas. 34

Figura 7. Diagrama de cuerpo libre. 35

Figura 8. Edificio de N pisos sometido a cargas externas. 36

Figura 9. Edificio de dos pisos sometido a excitación sísmica. 38

Figura 10. Diagrama de cuerpo libre. 39

Figura 11. Edificio de N pisos sometido a movimiento sísmico en su base. 40

Figura 12. Sistema de solicitaciones equivalentes. 41

Figura 13. Edificio en vibración libre con desplazamientos iniciales..... 42

Figura 14. Modos naturales de vibración de una estructura de dos niveles sin considerar el efecto del amortiguamiento..... 43

Figura 15. Modos naturales de vibración de un edificio de dos pisos con amortiguamiento. 49

Figura 16. Fuerzas laterales equivalentes para el n-ésimo modo de vibración..... 49

Figura 17. Respuesta sísmica de un edificio de tres pisos. 51

Figura 18. Ejemplo de edificio de 5 pisos..... 52

Figura 19. Espectro de respuesta sísmica..... 52

Figura 20. Valores máximos de desplazamiento para los 5 primeros modos de vibración .. 54

Figura 21. Coeficiente e correlación para el método CQC. 56

Figura 22. Cuerpo rígido y aisladores. 57

Figura 23. Modelo idealizado de la masa rígida y sistema de resorte con amortigución. 61

Figura 24. Sistema de múltiples grados de libertad. 61

Figura 25. Modelo de un sistema de múltiples grados de libertad.....62

Figura 26. Ubicación geográfica del distrito de Los Olivos. 73

Figura 27. Flujograma de diseño.....81

Figura 28. Aisladores elastomérico de alto amortiguamiento (HDR). 81

Figura 29. Propiedades mecánicas del modelo bilineal fuerza-deformación de un aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR). 90

Figura 30. Aisladores elastomérico de núcleo de plomo (LRB)..... 90

Figura 31. Propiedades mecánicas del modelo bilineal fuerza-deformación de un aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB). 95

Figura 32. Espectro de respuesta de Pseudo aceleraciones.....101

Figura 33. Espectro de respuesta de Pseudo aceleraciones.....101

Figura 34. Modelamiento estructural del Centro Médico San Conrado 102

Figura 35. Comparación de desplazamiento. 111

Figura 36. Comparación de derivas – Eje X. 113

Figura 37. Comparación de derivas – Eje Y. 114

Figura 38. Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección X. 129

Figura 39. Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección Y. 130

Prólogo

En el estudio se desarrolló el análisis del comportamiento sismorresistente (sin y con aislamiento sísmico) del Centro Médico San Conrado, Los Olivos, Lima. Dicha investigación se ha desarrollado en VII capítulos los cuales se han organizado de la siguiente manera:

El capítulo I está enfocado en el planteamiento del problema, problemas, objetivos, justificación, delimitación de la investigación.

El capítulo II comprende antecedentes nacionales e internacionales, bases teóricas y conceptos de términos básicos.

El capítulo III manifiesta hipótesis principal, hipótesis secundarias y la tabla de operacionalización de la variable.

El capítulo IV contiene nivel o alcance de la investigación, diseño, población o universo investigado, técnica e instrumento para recogida de datos, unidades de investigación y el método de desarrollo de investigación.

El capítulo V presenta la descripción de la zona de estudio, geología, geomorfología, sismicidad y evaluación geotécnica.

El capítulo VI desarrollo de la investigación, características físicas y mecánicas de los aisladores sísmicos.

El capítulo VII expone resultados, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Capítulo I
Planteamiento del problema

1.1. Formulación del problema

En el transcurso de los años, los desastres naturales como los sismos, nos han enseñado que marcan un antes y un después respecto al daño de las edificaciones que habitamos y las pérdidas humanas que originan. Si bien es cierto, en los países Latinoamericanos se presentan muchos movimientos sísmicos de gran escala, que muchos investigadores han intentado encontrar soluciones para lograr mitigar las perdidas ocurridas por estos desastres; con el fin de reducir los daños y posiblemente eliminar la peligrosidad sísmica.

En el Perú está situado en un lugar de gran ocurrencia sísmica, por lo que en eventos sísmicos anteriores se ha observado que la irregularidad e informalidad de las construcciones representa una grave amenaza para su integridad y estabilidad, por ello se propone mejorar el comportamiento en las edificaciones, especialmente cumplir la filosofía de la norma sismorresistente.

El uso de aisladores sísmicos en edificaciones es una técnica que se aplica en la ingeniería estructural para intentar salvaguardar las estructuras y su funcionalidad. En nuestro país ya se han implementado en las nuevas edificaciones esenciales (hospitales, clínicas, centros universitarios, aeropuertos, viviendas) está herramienta importante para toda la población, considerando su empleo, estos dispositivos disminuyen notablemente los efectos producidos por la energía sísmica; además, ayudan a conservar la integridad de los ocupantes dentro y fuera de la edificación.

El diseño de una edificación con aislamiento sísmico tiene como función principal la operatividad y salvaguarda del contenido de la estructura post-sismo, teniendo como prioridad el cumplimiento de todos los criterios de la normativa de diseño estructural. El sistema de aislamiento permite reducir la vibración de la edificación (energía sísmica), como consecuencia, la transmisión de las fuerzas sísmicas es inferior, respecto a una estructura con base fija; es por ello, que hoy en día puede ser usada en diferentes tipos de estructuras de concreto armado.

El análisis sísmico del Centro Médico San Conrado se realizó en el programa Etabs 18, en donde se determinó el desempeño estructural de la edificación. El Etabs 18 es un software de cálculo estructural desarrollado con base a la metodología de elementos

finitos (MEF) que ayuda a la modelación, análisis y diseño del más amplio conjunto de problemas, pórticos y estructuras en general.

El proyecto comprendió el análisis comparativo del comportamiento sismorresistente (sin y con aislamiento sísmico) del Centro Médico San Conrado; ubicado en el distrito de Los Olivos.

El análisis y diseño de la edificación con aislación basal se realizó con dispositivos de tipo elastomérico, que estarán debidamente conectadas entre los dados de concreto; debajo del diafragma rígido y las vigas del diafragma rígido.

Finalmente, se obtuvieron parámetros de riesgo del Centro Médico San Conrado frente a un evento sísmico, en base a estos resultados encontrados, se elaboró fichas de registro para el análisis comparativo y la formulación acertada de las ventajas o desventajas de estos diseños desarrollados en esta investigación.

1.1.1. Problema principal

¿Cuál es el desempeño sismorresistente de la estructura del Centro Médico San Conrado sin y con aislamiento sísmico?

1.1.2. Problemas secundarios

- ¿Cuál es el mayor periodo, frecuencia y deriva de la estructura del Centro Médico San Conrado con base fija?
- ¿Cuál es el mayor periodo, frecuencia y deriva de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con dispositivos elastoméricos de alto amortiguamiento HDR?
- ¿Cuál es el mayor periodo, frecuencia y deriva de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con dispositivos elastoméricos de núcleo de plomo LRB?
- ¿Cuáles son los parámetros de riesgo de la estructura del Centro Médico San Conrado en un probable fenómeno sísmico?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Realizar el análisis comparativo del comportamiento de la estructura del Centro Médico San Conrado sin y con aislamiento sísmico.

1.2.2. Objetivos secundarios

- Determinar el comportamiento sismorresistente, sin aislamiento sísmico de la estructura del Centro Médico San Conrado.

- Determinar el comportamiento sismorresistente, con aislamiento sísmico con dispositivo elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) de la estructura del Centro Médico San Conrado.

- Determinar el comportamiento sismorresistente, con aislamiento sísmico con dispositivos elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) de la estructura del Centro Médico San Conrado.

- Identificar los parámetros de riesgo de la estructura del Centro Médico San Conrado en un probable fenómeno sísmico.

1.3. Justificación e importancia de la investigación

Durante el siglo XX surgió muchas interrogantes sobre el futuro de nuestro país ante un movimiento sísmico de gran escala, porque anteriormente hemos sido golpeados por terremotos que dejaron miles de víctimas mortales y estructuras parcial o totalmente destruidas; sin embargo, a pesar de la catástrofe que nos dejó estos eventos sísmicos, el gobierno peruano escasamente ha implemento políticas de seguridad en la mejora del diseño de viviendas.

Se realizó el análisis de dos modelos estructurales de 8 niveles para analizar el comportamiento sismorresistente del Centro Médico San Conrado, uno con base fija y otro con base aislada, esto permitió tener un panorama global de la importancia del uso de mejores técnicas de aplicación en la ingeniería sísmica frente a eventos sísmicos que llevan a catastróficos sucesos.

Como se ha señalado con anterioridad el uso de aisladores sísmicos es una de las grandes técnicas que se está perfeccionando en los últimos años en la ingeniería estructural; sin embargo, se ha estudiado poco en nuestro país, aunque va en incremento su uso en las construcciones, logrando así reducir la vibración y cortante sísmica de un edificio ante un movimiento sísmico.

Para la aplicación de aisladores sísmicos el principal inconveniente es económico, que limita su uso a gran escala en nuestro país. El análisis comparativo del comportamiento sismorresistente del Centro Médico San Conrado sin y con aislamiento sísmico busca establecer la importancia del uso de aisladores, porque estos concentran la mayor demanda cuando ocurre un fenómeno sísmico al ser edificaciones esenciales.

El proyecto comprendió el análisis comparativo y el comportamiento sismorresistente del Centro Médico San Conrado sin y con aislamiento sísmico, respectivamente. Este análisis y diseño de la estructura se realizó con los criterios de la normativa peruana y la idealización de la estructura se realizará en el software Etabs 18 para obtener datos cercanos y acercar el desempeño sísmico de las edificaciones esenciales a la realidad, de esta manera tener registros para próximas construcciones.

Finalmente, se realizaró un análisis para comparar el comportamiento de la edificación aislada y sin aislar, para obtener derivas, cortantes basales, cargas, periodos y deflexiones de los principales elementos estructurales y una comparación simple valorativa de precios de construcción y post-sismo de refracción. Es de gran importancia señalar que quienes se beneficien con la presente investigación no solo serán aquellas próximas edificaciones a construir, sino muy por lo contrario permitirá que se tenga más antecedentes de estudio sobre el uso y comportamiento de los dispositivos sísmicos en edificaciones.

1.4. Delimitación del área de investigación

La investigación presentada tiene como ámbito geográfico realizarlo en el distrito de Los Olivos, ubicado en la capital de la provincia y departamento de Lima; destinada para la construcción de la ampliación del Centro Médico San Conrado.

El periodo de tiempo para establecer el análisis comparativo del comportamiento sismorresistente del Centro Médico San Conrado sin y con aislamiento sísmico fue de 12 meses; cabe indicar que el fin de este proyecto fue identificar los parámetros de riesgo del Centro Médico San Conrado frente a un evento sísmico, para de esa manera intentar predecir el comportamiento y daño estructural frente a un fenómeno sísmico.

Capitulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes internacionales y nacionales

2.1.1. Antecedentes internacionales

García, E. (1998). En su libro titulado "*Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*" señala que el objetivo principal fue enfocarse en el análisis y diseño de edificaciones ante un fenómeno sísmico de manera explicativa y concisa. Determina que, la acumulación de energía en las fallas geológicas (fallas activas) provocada por la carga de movimiento puede conllevar a deslizamientos permanentes. Casi todos los sismos en el mundo ocurren en las fronteras entre placas; llamados sismos tectónicos y el efecto de los sismos se ve influenciado enormemente por las características locales del pavimento o en la zona dañada. Desde ese entonces, aparecen diversos estudios de amenaza sísmica, para obras de gran importancia, en donde realizan fijar parámetros de diseño (zonificación sísmica) para la elaboración de la estructura.

Oviedo, J., y Duque, M. (2006) en su artículo de investigación titulado "*Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones*". El objetivo principal fue presentar los dispositivos de control de la respuesta sísmica en las estructuras. Determinó que, los habitantes colombianos se encuentran en zona de convergencias de placas tectónicas de tal forma que se exponen a un evento sísmico alto, produciéndose daños de vida y estructuras. Los aisladores se diseñan para minimizar la sensibilidad del modelo, disminuir las frecuencias naturales de vibración y la vulnerabilidad a pulsos largos que suceden para registros cerca al epicentro del sismo. Cabe indicar que a través de los años se han presentado un sin número de eventos sísmicos que afectaron en gran medida a la población y sus estructuras, dejando perdidas inmensurables; sin embargo, la ingeniería ha trabajado en solucionar estos problemas dejando en evidencia la gran importancia del uso de dispositivos en la construcción de estructuras. Concluye que, el empleo de los sistemas no convencionales de control de respuesta sísmica se vuelve más común y crea una técnica fundamental en la edificación moderna. La edificación integrada con un mecanismo de control para la respuesta del sismo no padece ni sufre los daños de una edificación convencional, ya que el valor de reconstrucción y rehabilitación es demasiado grande y, en la mayoría de las edificaciones es necesario su demolición.

Saavedra, M. (2015) en su investigación titulada "*Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados*". El objetivo principal fue señalar que

la aislación es una técnica propia del diseño de alta complejidad sismorresistente para permitir un comportamiento óptimo de la estructura. Determina que, la complejidad de los problemas a los que se involucra el profesional especializado en relación a estas infraestructuras conlleva grandes acciones, ya que como se sabe debido a los desastres naturales ocurridos a lo largo de los años, hace que en la mayoría de casos la única forma de estudio sea por medio de software computacionales. Concluyendo que, el modelo con aislación es una técnica de diseño estructural de gran utilidad, la cual permite tener elementos de apoyo con alta flexibilidad horizontal y baja resistencia al desplazamiento lateral; reduciendo en gran medida la rigidez del sistema estructural convencional.

Villalobos, H., Moroni, Sarrazin, M., y Boroschek, R. (2014) en su artículo de investigación titulado "*Diseño de aisladores sísmicos para un edificio de aulas*". El objetivo principal fue estudiar una alternativa para usar sistemas de aislamiento sísmico formando por apoyos con caucho reforzado y placas de acero, aprovechando el diseño original del edificio en base fija y diseñar los refuerzos que se requieren en la estructura. Determinó que la estructura sismorresistente está constituida básicamente por un sistema de muros orientados según dos direcciones principales, este sistema de muros de rigidez se complementa con losas y vigas de hormigón armado en el tramo central de acceso y vigas metálicas con losas colaborantes en los sectores de aulas y oficinas. Concluyendo que, es factible diseñar el sistema con aislación sísmica para estructuras de aulas, situando la interface de aislación bajo la planta del primer piso, la estructura aislada logra una importante disminución de los esfuerzos sísmicos en su respuesta dinámica, lo cual supondría un respaldo de gran importancia para la investigación.

Valerio, J. (2015), en su investigación titulado "*Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos*". El principal objetivo fue hacer un estudio entre dos estructuras, el primero con base fija y otro con aislación basal con el fin de comparar y establecer que los dispositivos minimizan en gran escala la rigidez en la edificación ante un evento sísmico. Se determinó, que el comportamiento del edificio de base aislado y base fija, presentan menor rigidez del sistema estructural, el cual puede ser ventajoso para la estructura debido a que evita efectos negativos y desplazamientos relativos entre pisos. Concluyó que, el dispositivo más interesante a utilizar es el Roll-N-Cagen (dispositivo sofisticado y de gran importancia en la ingeniería civil que tiene como función principal disipar las vibraciones de energía durante un evento sísmico), ya que reduce a gran escala la deriva

de la estructura, disminuye la aceleración de los pisos superiores, minimiza la cortante en la base e incrementa el desplazamiento de la edificación aumentando significativamente el periodo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Benavente, J., y Traverso, I. (2013) en su investigación titulada "Comparación del Análisis y Diseño de un edificio de concreto armado de siete pisos con y sin aislamiento en la base". Tuvo como objetivo principal comprender el análisis y el diseño estructural de siete pisos. Determinó que, el diseño de la edificación aislada se realizó con dispositivos de caucho y núcleo de plomo ubicados en la interfaz de aislamiento. También señala la importancia del diseño de la edificación bajo los lineamientos de la Normativa Nacional de Edificaciones, señalando que la rigidez de los entrepisos se distribuye de manera equivalente, evitando concentraciones de tracción por un evento sísmico, dañando fácilmente los aisladores. Concluyó que, el resultado es evidente en la reducción de daños ofrecida por el aislamiento siendo de gran beneficio para todo tipo de estructuras, y que el diseño de un edificio con aisladores es viable y seguro para su construcción.

Del Rosario, M. (2018) en su investigación titulado "Desempeño sísmico de aisladores: Estudio de un hospital de concreto armado". El objetivo principal fue señalar el desempeño inelástico de una edificación frente a fenómenos sísmicos al emplear aisladores sísmicos. Determinó que el usar sistemas estructurales de aislación sísmica permite que una estructura permanezca completamente operativa durante y después de un sismo. Además, señaló que el concreto al alcanzar su agotamiento tanto en comprensión como en tracción, se tritura sin ningún aviso previo; ya que es un material con una gran incertidumbre en su comportamiento y existen una gran cantidad de factores que afectan su calidad, la cual es medida a partir de la resistencia a la penetración. Concluyó que, el desempeño de la estructura es ampliamente dúctil en el análisis inelástico pushover (evalúa la capacidad de las estructuras y deformaciones por sismo) indicado en la normativa de concreto armado para analizar con base fija y con aislación sísmica.

Carmona, P., y Rosas, J. (2015) en su investigación titulado "Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico dinámico del diseño normativo sismorresistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento". El objetivo fue hacer un análisis comparativo y un diseño estructural con dispositivos sísmicos (elastómeros de alto amortiguamiento HDR), determinó que, la estructura con

el uso de aisladores no presenta daños mayores, porque en la interfaz de aislación de la edificación se colocaron equipos de alta tecnología que incrementan el desplazamiento ante un evento sísmico, es importante señalar que estos aisladores cooperaron a prevenir perdidas de vida y costo, lo cual indico que a menor desplazamientos de la edificación mejor será su comportamiento; sin embargo, no se podría determinar el porcentaje de daño en una edificación si no fuera después de un fenómeno sísmico. Concluyó que, la construcción de una estructura complementada con un sistema sísmico no experimenta los daños propios de una estructura convencional.

Leyton, M. (2017) en su investigación titulado "Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas". El objetivo principal se enfocó en mostrar la factibilidad técnica - económica de la aislación sísmica (HDR y deslizadores planos PTFE) en una estructura de concreto armado. Determinó que, el criterio del diseño permite bajo índice de daño de la estructura, en relación al uso, importancia y duración de la construcción. En los últimos años se observa que durante la construcción se ha implementado aisladores satisfactoriamente; sin embargo, aún existe un gran número de edificaciones vulnerables, las cuales no son consideradas de gran importancia para justificar una mayor inversión. Es por ello, que se busca que el estado peruano siga invirtiendo en construcciones con el uso de aisladores como prevención para futuros daños. Concluyó que, a pesar de conocer los beneficios que un aislamiento basal permite, y el gran riesgo sísmico al que muchas edificaciones de nuestro país están expuestas; existen aún muchas edificaciones de estructura convencional que necesitan de un estudio previo.

Reyna, A. (2017) en su investigación titulado "Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura", señala que el objetivo principal fue establecer la respuesta sísmica de las estructuras. Determinó que, los dispositivos sísmicos mejoran en gran escala el comportamiento sismorresistente de la estructura dejando en claro que son de gran importancia al decidir construir una edificación. Además, señaló que la mayoría de edificaciones esenciales no resistirían frente a un fenómeno sísmico por lo que el uso de dispositivos ayudaría a disipar energía y minimizar la fuerza sísmica sobre la edificación, priorizando evitar pérdidas de vidas humanas y disminuir los daños estructurales. Concluyó que, para obtener mejoras a grandes escalas ante un evento sísmico la estructura debe tener los aisladores que el profesional especialista escoja para su uso, en beneficio de sus habitantes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Riesgo sísmico en el Perú

..... La presencia de la región conocida como “Cinturón de Fuego del Pacífico”, libera en la tierra más del 80% de la energía acumulada en su interior provocando fenómenos sísmicos y actividades volcánicas en la zona occidental de Sudamérica y por ende el Perú, es parte de esta región. (Tavera, 2014, p.3)

El Perú se encuentra en un lugar de elevada vulnerabilidad sismicidad y se debe principalmente a que en el borde Oeste de América del Sur sucede el impacto de la placa de Nazca y Sudamericana, la primera de poca fuerza ingresa por debajo de la placa Sudamericana, produciendo el proceso de subducción.

Los diferentes organismos del estado están tratando de minimizar los efectos que podrían suscitar exigiendo diferentes normativas y reglamentos a fin de salvaguardar la infraestructura y en especial las pérdidas humanas.

2.2.2. Estructuras con Diseño Sismorresistente (Norma E.030)

El diseño de estructuras con la norma de Diseño Sismorresistente señala los parámetros mínimos que serán utilizadas para diferentes estructuras nuevas, reforzar las existentes y a la reparación que presenten daño producto de un evento sísmico (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2021).

Además, considerar las medidas de prevención post-sismo que podría originarse como consecuencia de la energía sísmica liberada: tsunamis, incendios, deslizamiento de tierras u otras acciones que podrían dañar el diseño de la estructura y que esta fuera del alcance de esta norma.

2.2.2.1. Concepto de Diseño Sismorresistente

El diseño sismorresistente propone analizar y diseñar una estructura con patrón estructural adecuado, con dimensiones adecuadas y materia prima de resistencia suficiente para resistir la energía producida por sismos frecuentes. Es importante señalar que al analizar, diseñar y construir una estructura con todos los parámetros sismorresistente, siempre habrá la posibilidad de que el evento sísmico sea aún más fuerte que los que han sido proyectados; sin embargo, la edificación no debe sufrir el colapso total. No existen estructuras completamente sismorresistentes; pero, la sismorresistencia debe ser una característica o propiedad de toda edificación con el fin de disminuir los daños de la estructura e impedir la pérdida de seres humanos.

2.2.2.2. Componentes del Diseño Sismorresistente

Los componentes para un buen diseño sismorresistente constan de:

- Recomendaciones sobre resistencia: explica dos factores de gran importancia; factores de carga que tiene la finalidad de brindar seguridad ante un incremento en las cargas de servicio y ver que las deformaciones no sean tan grandes producto de estas cargas. Los factores de reducción de capacidad ayudan con las imprecisiones en los cálculos y variaciones en la mecánica del material y en las dimensiones.

- Recomendaciones sobre servicio: el comportamiento de la estructura bajo cargas de servicio es de gran importancia cuando los elementos estructurales (elementos con poco acero en compresión, ayuda a cumplir los requerimientos de resistencia, sin embargo, se origina esfuerzos y deformaciones grandes de baja carga de servicio) se proporcionan en base a la resistencia requerida.

- Recomendaciones sobre ductilidad: se busca que la estructura sea dúctil después que se origina la falla, esto ayuda a que la falla no sea frágil o repentina y permita dar tiempo para una evacuación y sobre todo no se presente desplome total de la edificación ya que esto origina pérdida de vidas humanas. Para lograr esta ductilidad se debe colocar y distribuir correctamente el acero de refuerzo, cumpliendo con la cuantía requerida por la Norma Peruana E.060.

- Recomendaciones sobre rigidez: Si la estructura no es cuadrada, es decir tiene un lado de mayor longitud, la estructura debe ser más rígida en la dimensión más larga, es decir las columnas deben ser perpendicular a la distancia más larga y estar orientadas a la distancia más corta.

2.2.2.3. Criterios para aplicar el Diseño Sismorresistente

Es importante cumplir los siguientes aspectos normativos: simetría (distribuir la rigidez y masas adecuadamente), peso mínimo (en estructuras de niveles altos), uso adecuado de los materiales, de calidad y resistencia correcta; presencia de continuidad estructural en planta y elevación; ductilidad apropiada (facultad de deformación en el rango inelástico, tener en cuenta las características locales, una buena práctica de construcción y supervisión estricta por parte de un profesional en estructuras (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020, p.385).

2.2.2.4. Filosofía de Diseño Sismorresistente

La gran mayoría por no indicar que todas las normas del mundo se relacionan en que los objetivos generales de la construcción sismorresistente deben continuar los siguientes principios: prevención de daños no estructurales para terremotos de poca

intensidad que ocurren en el tiempo de la vida útil de una edificación, prevenir daños propios de la estructura y los no estructurales sean mínimos, y evitar el colapso o daños graves ante un evento sísmico de larga duración.

2.2.2.5. Respuesta de la estructura frente al sismo

La norma del Diseño Sismorresistente señala que se puede realizar dos procedimientos para el diseño como son: análisis estático (fuerzas equivalentes) y un análisis dinámico modal espectral; además se añade el método de análisis dinámico tiempo-historia que es para uso exclusivo de verificación. Además, se deberá señalar que según la normativa técnica de Diseño Sismorresistente los parámetros fundamentales son los valores dados para las cuatro zonas sísmicas definidas en el Perú.

El comportamiento sísmico en las estructuras es óptimo cuando presentan condiciones como: diseño correcto, simetría de la edificación, materiales de construcción adecuados, resistencia adecuada, comportamiento dúctil adecuado, deformación en parámetros permitidos, condiciones locales optimas y por último se debe desarrollar una práctica constructiva e inspección estructural rigurosa. Además, también es importante que cada estructura se clasifique de acuerdo a categorías y coeficiente de importancia (U) que se establece en la Normativa Técnica de Diseño Sismorresistente.

2.2.3. Estructura con Aislamiento sísmico (Norma E.031)

En la norma se observa los principios básicos de analizar y diseñar las edificaciones con sistema de aislación sísmica; además, brinda valores de los ensayos realizados para así poder sustentar el comportamiento de los aisladores en una estructura real en campo. El sistema de aislación debe mostrar las características técnicas del sistema de aislación sísmica, el programa de cálculo, garantía, inspección y mantenimiento que es importante antes de presentar el proyecto, esta información debe ser elaborada por profesionales expertos en el área. Para realizar un diseño con aislamiento sísmico la norma establece que debemos partir de los requisitos establecidos en la Normativa Técnica de Diseño Sismorresistente.

2.2.3.1. Concepto de aislamiento sísmico

El concepto de aislación sísmica fue descrito hace varios años atrás; sin embargo, recientemente se ha establecido la Norma de Diseño, para ser aplicado de forma práctica y esencial. Su uso se ha ido incrementado por el buen comportamiento que desarrollaron las estructuras aisladas ante los fenómenos sísmicos.

En el Perú la mayoría de edificaciones esenciales están expuestas a sufrir graves daños como consecuencia de un sismo; las cuales cobrarían no solo la destrucción o deterioro de estructuras sino también vidas humanas. En la actualidad (2021), la implementación de dispositivos antisísmicos en edificaciones de salud es obligatorio cuando se encuentran en las zonas sísmicas 3 y 4, según la normativa técnica de Diseño sismorresistente E.030.

La aislación de estructuras se basa en implementar la interfaz flexible en el medio del suelo y la edificación de forma que minimice las vibraciones, la cual podría provocar grandes daños (pérdida de vidas humanas, daños en la estructura) y a las que estaría expuesta ante un evento sísmico.

Los dispositivos de aislamiento sísmico tienen por objetivo principal disipar la energía que origina el movimiento sísmico, esto se logra producto de la deformación transversal, el trabajo, la fricción y mínimamente el ruido. Los dispositivos pueden variar de acuerdo con las necesidades del profesional a cargo, sin embargo, en esta investigación se estudiarán lo siguiente dispositivos: dispositivos elastoméricos con caucho de baja amortiguación (LRD), dispositivos elastoméricos de núcleo de plomo (LRB) y dispositivos elastoméricos con caucho de alta amortiguación (HDR).

A partir del año 2000, la aprobación de los ingenieros estructurales ha sido favorable al empleo de mecanismos para proteger sísmicamente las edificaciones. Los mecanismos de aislamiento sísmico, en los últimos años han incrementado su aplicación; ya que, los mecanismos de aislamiento sísmico disminuyen la carga sísmica que se transfiere del suelo a los distintos niveles de la estructura, para así reducir notablemente el esfuerzos y deformaciones de la estructura con aislación basal, logrando minimizar el deterioro de los componentes estructurales y no estructurales.

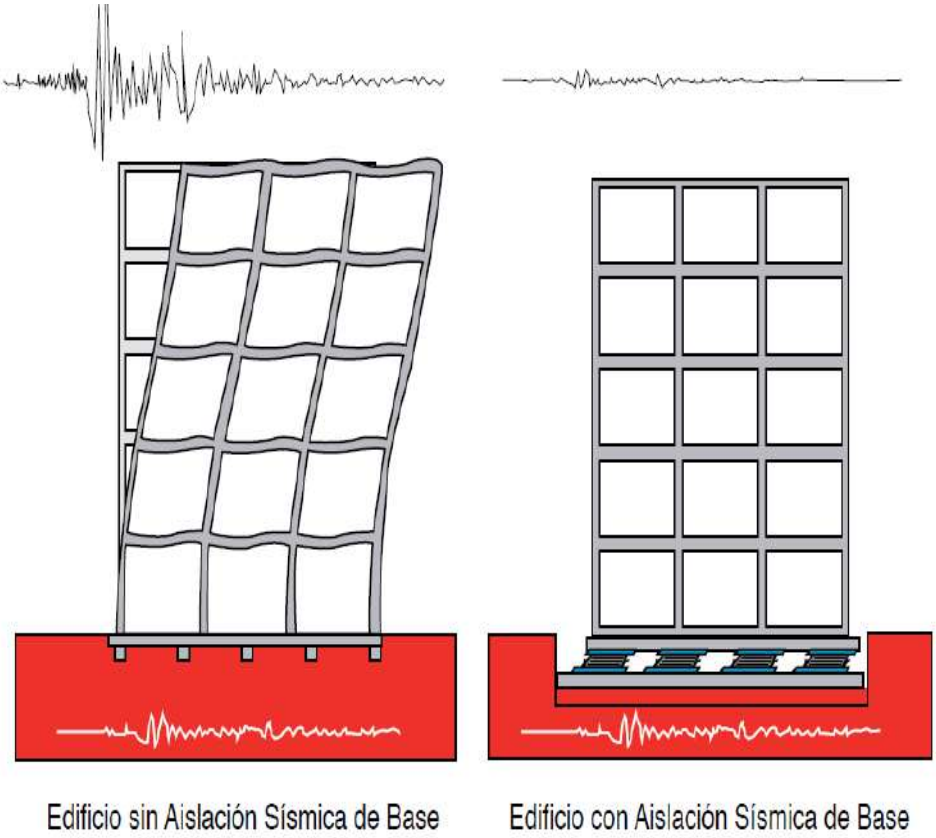


Figura 1. Diferencias de una estructura sin y con aislamiento basal ante un evento sísmico

Fuente: Catálogo FIP, 2018.

El diseño de estructuras aisladas se basa en separar la superestructura (elementos ubicados sobre la interfaz de aislamiento) del desplazamiento del suelo, mediante dispositivos flexibles en la dirección horizontal (aisladores sísmicos), estos dispositivos se ubican entre la superestructura y su fundación o nivel superior de la subestructura. Un caso poco conocido son los aisladores de pisos, que aún está en proceso de investigación. El añadir dispositivos sísmicos minimiza la rigidez del modelo estructural porque el período natural de oscilación en la edificación con base aislada es siempre superior al período de la estructura sin aislación sísmica. Este incremento de periodo ayuda a disipar la energía producida por las ondas sísmicas.

Los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento, alto amortiguamiento y los de núcleo de plomo, se han vuelto comerciales a pesar del elevado costo de fabricación, ya que muestran una gran eficiencia en el ámbito de la construcción; es por ello que son requeridos y su fabricación se va innova en forma constante para que su aplicación sea más eficaz. La finalidad del empleo de aisladores sísmicos es disminuir

la energía producida por la demanda de aceleraciones, velocidades y desplazamiento producto de un proceso sísmico.

2.2.3.2. Componentes de un Sistema de Aislamiento

2.2.3.2.1. Interfaz de aislamiento

Es el lugar implementado para ubicar a los dispositivos mecánicos, en la parte superior se encuentra la superestructura, mientras en la zona inferior se encuentra la subestructura (cimentación), que es el sistema rígido que se mueve junto con el terreno.

2.2.3.2.2. Unidad de aislamiento

El aislador es el dispositivo principal que se encuentra en el interfaz de aislamiento, este dispositivo antisísmico es un elemento estructural, con características muy flexibles que permiten grandes deformaciones horizontales ante un suceso sísmico. Existen diferentes tipos de aisladores sísmicos; sin embargo, para la investigación se centrará en los dispositivos elastoméricos, ya que son los más usados en nuestro país y además son los más comerciales.

2.2.3.2.3. Aproximación bilineal del comportamiento histeréticos de un aislador sísmico.

Energía disipada Eh: Es la carga sísmica perdida en cada ciclo de histéresis correspondiente al desplazamiento de diseño, equivalente al área total de un ciclo de histéresis.

Fuerza de fluencia F_y: Es la carga monótona que origina un ciclo de histéresis para cada dispositivo de estudio.

Fuerza cortante máxima F_{max}: Es la fuerza correspondiente al desplazamiento de diseño.

La fuerza Q: Es la fuerza que representa la resistencia y genera desplazamiento nulo durante el ciclo de carga.

Rigidez: En un modelo de aproximación bilineal de un comportamiento histeréticos de un aislador sísmico se presenta tres tipos de rigidez: rigidez elástica k_1, que es equivalente a la rigidez de descarga de un ciclo de carga, la rigidez post-fluencia k_2 y la rigidez efectiva k_{eff} en cada dispositivo.

2.2.3.3. Criterios para aplicar un sistema de aislamiento sísmico

Lo más importante es cumplir todos los requisitos de la normativa de diseño sismorresistente E.030, el predimensionamiento de los elementos estructurales y no estructurales y las cargas de diseño se obtienen con esta normativa, después se emplear

la normativa técnica de aislamiento sísmico E.031 para obtener las características físicas y mecánicas de los diferentes aisladores elastoméricos. Además, esta normativa de aislamiento sísmico nos brinda los límites de derivas para estructuras aisladas.

2.2.3.4. Filosofía de diseño para estructuras con aislamiento sísmico

La filosofía del sistema de aislación sísmico es similar a la filosofía sismorresistente con la diferencia que con el uso de aisladores sísmicos se espera un mejor comportamiento de la estructura y lo que se busca es tener una operatividad continua después del evento sísmico.

2.2.3.5. Tipos de aislamiento

2.2.3.5.1. Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LRD)

Los dispositivos elastoméricos con baja amortiguación (LRD) son fabricados de caucho natural, sin ningún refuerzo en su estructura, la rigidez vertical es menor en comparación con los otros tipos, este aislador es propenso a fallar por aplastamiento ya que el caucho es dúctil y flexible.

Figura 2. Los dispositivos elastoméricos con bajo amortiguamiento LRD.

Fuente: Catálogo FIP, 2018.

2.2.3.5.2. Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)

Los dispositivos mecánicos con núcleo de plomo (LRB) se diseñan en su mayoría de caucho natural combinado con láminas de acero y con una abertura en el centro donde se coloca el núcleo de plomo.

El plomo es principalmente utilizado por su comportamiento elastoplástico, y por mantener la capacidad de resistencia durante varios ciclos de deformaciones

plásticas; además el plomo incrementa los valores de amortiguamiento, hasta un rango del 25% al 30% del amortiguamiento crítico. (Genatios y Lafuente, 2016, p.56)

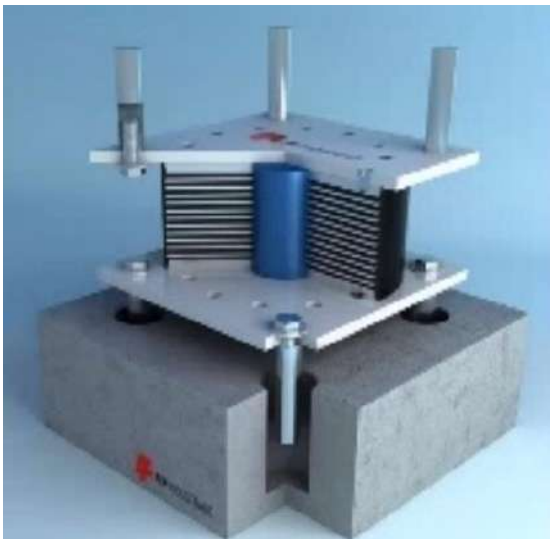


Figura 3. Dispositivos con alto amortiguamiento (HDR).
Fuente: Catálogo FIP, 2018.

2.2.3.5.3. Aisladores elastoméricos de caucho de alto amortiguamiento (HDR)

Estos dispositivos mecánicos de alta amortiguación (HDR) se elaboran con caucho natural con aditivos (carbón, aceites, resinas, polímeros u diferentes elementos que le ayudar a mejorar su rigidez efectiva logrando obtener un mayor porcentaje de amortiguamiento), se complementan con láminas de acero en la sección circular para evitar la comprensión del caucho, en la parte inferior y en la superior se encuentra una lámina de acero para colocar los pernos de unión. Al añadir diferentes aditivos del caucho natural se altera diferentes características físicas y mecánicas, como la extensión a la ruptura y aplastamiento producto del peso de la estructura.

La unión del acero y el caucho mejora la resistencia y notablemente la capacidad para soportar cargas generadas por el propio peso de la edificación, también da estabilidad a los soportes ante cargas laterales.

2.2.4. Respuesta de la estructura frente al sismo

2.2.4.1. Sistemas de varios grados de libertad

2.2.4.1.1. El oscilador viscoelástico de varios grados de libertad

El análisis de vibración en un modelo de diversos grados de libertad de un edificio aporticado, se acepta que los componentes estructurales (vigas, columnas y losas) presentan masa despreciable, enfocándose únicamente en las losas de entrepiso.

Se presenta en los edificios compuestos de losas de piso axialmente rígidas (losa maciza o aligerado), llamado "diafragmas rígidos", donde, la construcción es monolítica

entre las vigas y la losa (es decir el vaciado del concreto para ambos elementos estructurales se realiza en simultáneo), las vigas también serán rígidas axialmente. (San Bartolomé, 2007, p.21)

El modelo diseñado de la estructura de dos pisos (edificación de corte) como se muestra en la figura 4. El modelo de la estructura de corte es ideal para comprender la dinámica de estructuras de varios niveles. (Chopra, 2014, p.302)

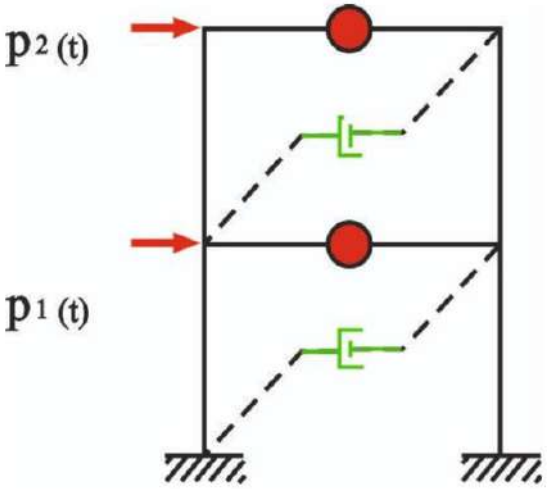


Figura 4. Edificio de corte.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

El procedimiento de condensación estática se usa para quitar del análisis dinámico, los grados de libertad de un modelo a los cuales se les asigna masa cero. Todos los grados de libertad existentes son incluidos en el análisis estático. Se considera un modelo de un marco de dos pisos y dos crujías que se ve en la figura 5, donde si despreciamos las deformaciones axiales en los componentes estructurales, el modelo tiene ocho grados de libertad para la construcción de la matriz de rigidez. (Chopra, 2014, p.369)

En la figura 5, los desplazamientos están señalados como coordenadas de los nudos.

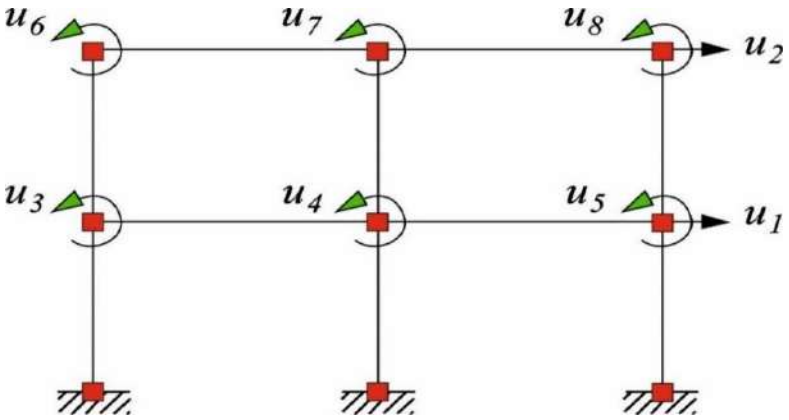


Figura 5. Asignación de grados de libertad.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

2.2.4.1.2. Ecuación del movimiento

El comportamiento de estructuras de corte de varios grados de libertad, es equivalente a un modelo de un grado de libertad, con la particularidad que se define por medio de ecuaciones diferenciales. La figura 6 sintetiza una estructura de dos niveles, donde se observa una fuerza externa en cada piso, que es variable en el tiempo.

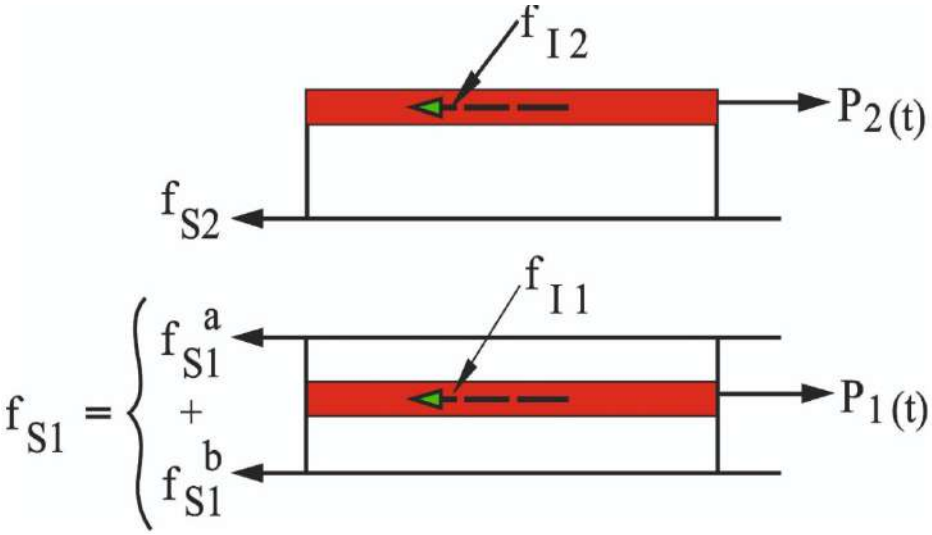


Figura 6. Edificio de corte de 2 niveles sometido a cargas externas.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

La figura 7 muestra un modelo idealizado de las losas rígidas de entrepiso de la estructura de corte; además, se observa movimientos traslacionales en los pisos 1 y 2, representado por las variables $u_{1(t)}$ y $u_{2(t)}$.

.

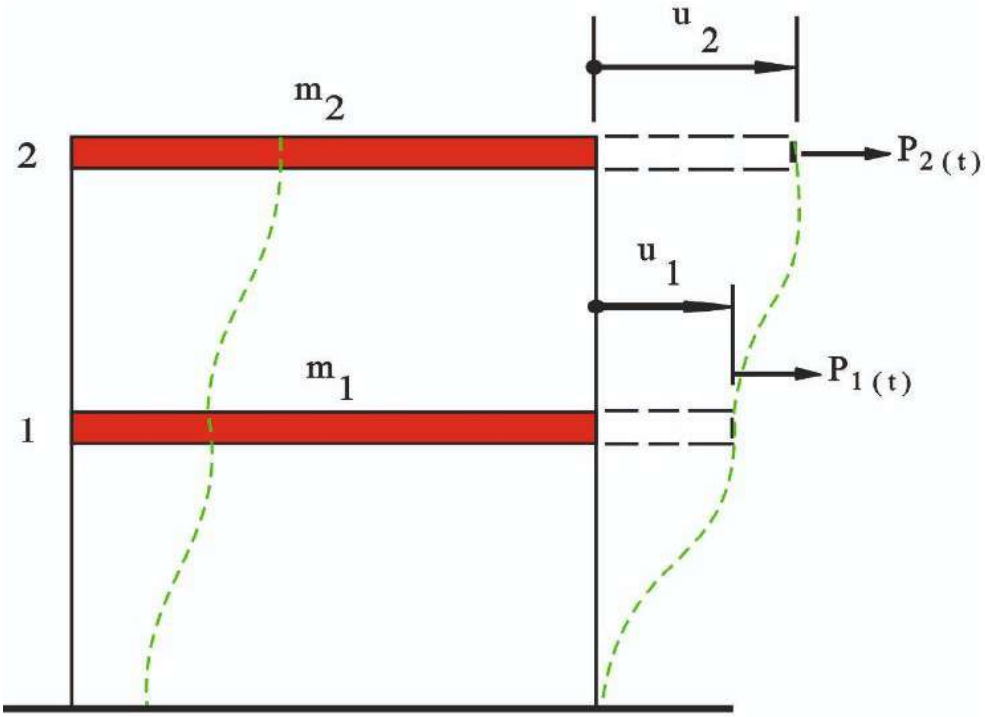


Figura 7. Diagrama de cuerpo libre.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

De las condiciones de equilibrio dinámico mostradas en el modelo idealizado de la figura 7, se tiene:

$f_{I\,1} + f_{I\,1} = p_{1(t)}$ primer nivel (1.a)

$f_{I2} + f_{I2} = p_{2(t)}$ segundo nivel (1.b)

En estructuras linealmente elásticas, los desplazamientos de entrepiso se originan a causa de la fuerza de inercia por medio de la rigidez equivalente. Por esta razón, se forma un sistema de ecuaciones que relacionando las fuerzas elásticas y los desplazamientos de cada nivel:

$f_{S\,1} = f^{a}{}_{S1} + f^{b}{}_{S\,1} = k_1\, u_1 + k_2(u_1 - u_2)$ primer nivel (2.a)

$f_{S2} = k_2(u_2 - u_1)$ segundo nivel (2.b)

Las fuerzas inerciales en el piso 1 y piso 2, son:

$f_{I\,1} = m_1\, \ddot{u}_1$ (3.a)

$f_{I2} = m_2\, \ddot{u}_2$ (3.b)

Se reemplaza en las condiciones de equilibrio dinámico, y obtenemos:

$m_1\, \ddot{u}_1 + k_1\, u_1 + k_2\,(u_1 - u_2) = p_{1(t)}$ (4.a)

$m_2\, \ddot{u}_2 + k_2\,(u_2 - u_1) = p_{2(t)}$ (4.b)

Las expresiones (4.a) y (4.b) en notación matricial, se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_{1(t)} \\ P_{2(t)} \end{Bmatrix}$$

La notación de cada parte de la expresión anterior se muestra continuación:

$$[u] = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad [\ddot{u}] = \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} \quad [P_{(t)}] = \begin{Bmatrix} P_{1(t)} \\ P_{2(t)} \end{Bmatrix}$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \qquad [k] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

Reemplazando, se obtiene la ecuación del movimiento sintetizado:

$$[m]\,[\ddot{u}] + [k]\,[u] = [P_{(t)}] \qquad (5)$$

Se plantea un problema de análisis dinámico con un modelo lineal donde la condición de equilibrio estático es la posición de referencia. El movimiento u(t) y las cargas internas englobadas al sistema, representarían la respuesta dinámica del modelo. Los desplazamientos globales y las cargas se obtienen al sumar los valores estáticos semejantes a la respuesta dinámica. (Chopra, 2014, p.21)

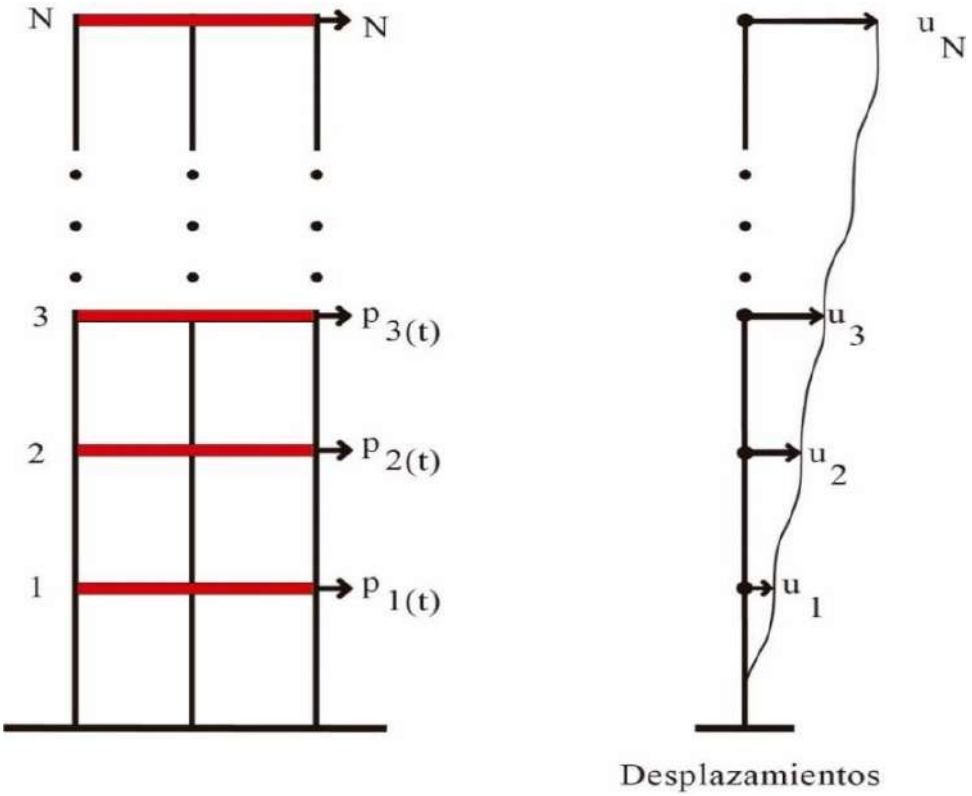


Figura 8. Edificio de N pisos sometido a cargas externas.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

En el caso del análisis de la edificación de N pisos como se ve en la figura 8. Se calculan las componentes matriciales en la ecuación del movimiento de la siguiente manera:

$$[u] = \begin{Bmatrix} \ddot{u}_{1(t)} \\ \ddot{u}_{2(t)} \\ \ddot{u}_{3(t)} \\ \vdots \\ \ddot{u}_{n-1(t)} \\ \ddot{u}_{n(t)} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

$$[P_{(t)}] = \begin{Bmatrix} P_{1(t)} \\ P_{2(t)} \\ P_{3(t)} \\ \vdots \\ P_{n-1(t)} \\ P_{n(t)} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{N-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_N \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

Si la edificación se considera como un conjunto estructural amortiguado, se debe incluir una expresión matricial [c], correspondiente al amortiguamiento viscoso:

$$[c] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & c_{n-1} + c_n & -c_n \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -c_n & c_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

En conclusión, la expresión del movimiento para una estructura de corte de N niveles, con presencia de amortiguación, da la siguiente expresión:

$$[m][\ddot{u}] + [c][\dot{u}] + [k][u] = [P_{(t)}] \quad (11)$$

Donde [c] es la expresión matricial del amortiguamiento viscoso y [ü] es el componente vectorial de la velocidad.

Existen diferentes expresiones matriciales que conforman la ecuación del movimiento, como son: matrices simétricas de masa, rigidez y amortiguamiento. Si las fuerzas externas de la estructura son nulas, pero presentan un desplazamiento sísmico de la base, las expresiones que establecen un comportamiento de las edificaciones se presenta a continuación:

$$u^t_{1(t)} = u_{g(t)} + u_{1(t)} \qquad (12.a)$$

$$u^t_{2(t)} = u_{g(t)} + u_{2(t)} \qquad (12.b)$$

El comportamiento idealizado se observa en la figura 9, donde se muestra el desplazamiento total del primer nivel y segundo nivel.

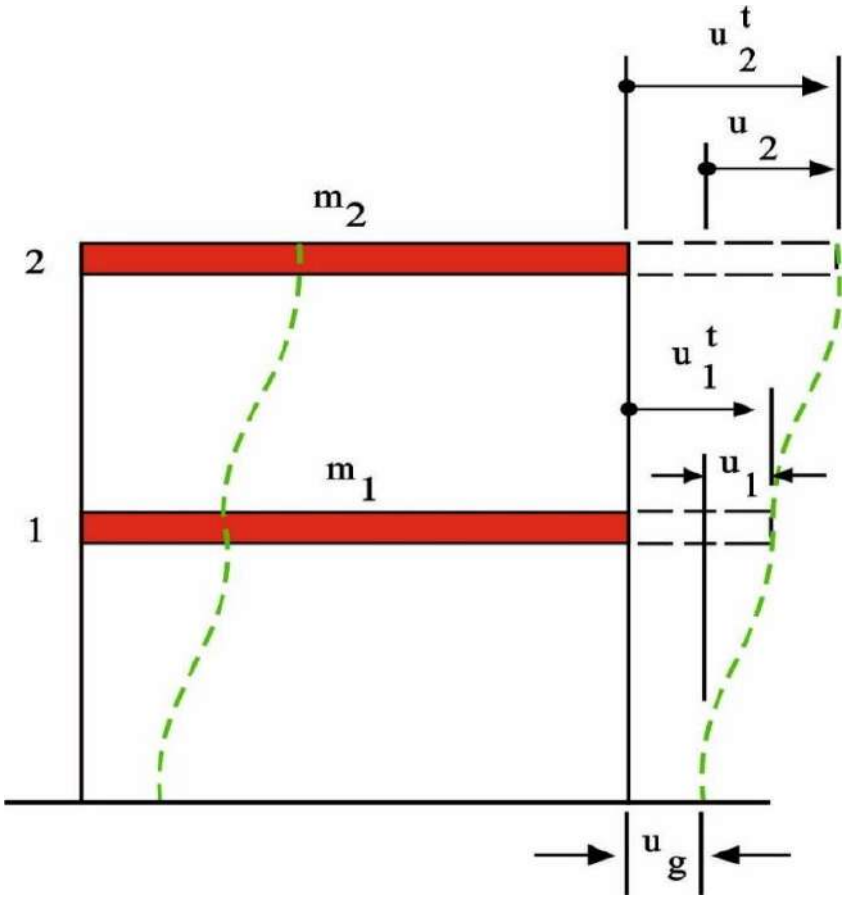


Figura 9. Edificio de dos pisos sometido a excitación sísmica.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

La figura 10 muestra el modelo idealizado de las losas rígidas de cada nivel de la estructura de corte. Esta idealización se encuentra sometida al desplazamiento en la base, donde se puede mostrar las fuerzas de inerciales.

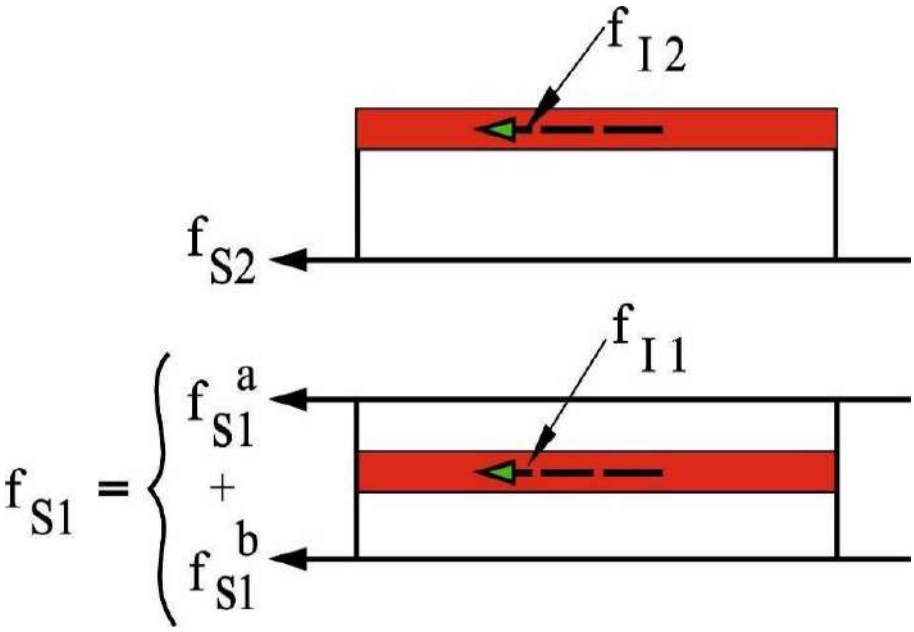


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

Del modelo libre idealizado, mostrado anteriormente en la figura 10. Se obtienen las expresiones de equilibrio dinámico de la siguiente manera:

$$f_{I\,1} + f_{S\,1} = 0 \qquad (13.a)$$

$$f_{I2} + f_{S2} = 0 \qquad (13.b)$$

En consecuencia, de acuerdo a las aceleraciones colocadas, y las masas asumidas m_1 y m_2 se obtienen las siguientes fuerzas de restitución:

$$f_{I\,1} = m_1\, \ddot{u}_1^t \qquad (14.a)$$

$$f_{I2} = m_2\, \ddot{u}_2^t \qquad (14.b)$$

Las expresiones anteriores (14.a) (14.b) se pueden reescribir de la siguiente manera:

$$f_{I\,1} = m_1\, (\ddot{u}_g + \ddot{u}_1) \qquad (15.a)$$

$$f_{I2} = m_2\, (\ddot{u}_g + \ddot{u}_2) \qquad (15.b)$$

Finalmente, las expresiones anteriores obtenidas de las condiciones de equilibrio dinámico se pueden expresar de la siguiente manera:

$$m_1\, \ddot{u}_1 + k_1\, u_1 + k_2\, (u_1 - u_2) = -m_1\, \ddot{u}_{g(t)} \qquad (16.a)$$

$$m_2\, \ddot{u}_2 + k_2\, (u_2 - u_1) = -m_2\, \ddot{u}_{g(t)} \qquad (16.b)$$

Estas ecuaciones se expresan de forma sintetizada de la siguiente manera:

$$[m][\ddot{u}] + [k][u] = -[m]\{1\}[\ddot{u}_{g(t)}] \qquad (17)$$

La ecuación anterior tiene los siguientes componentes: las matrices de masa [m], las matrices de rigidez [k], el vector desplazamiento [u] y el vector aceleración por [ü].

La expresión (17) se puede utilizar en un edificio de corte de N niveles; es decir, para el modelo presentado en la figura 11.

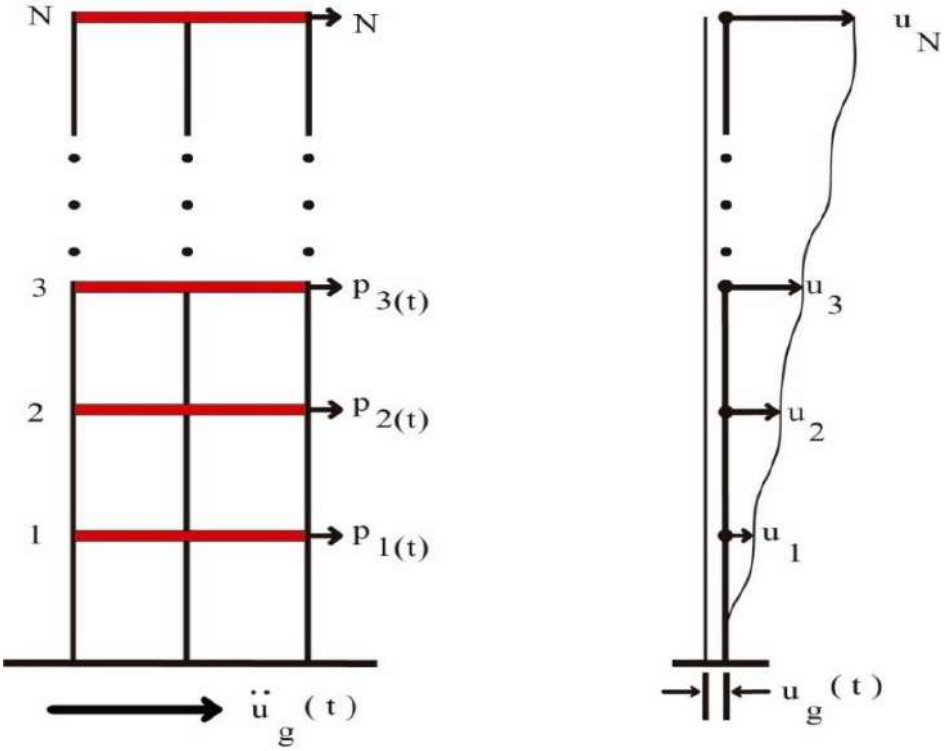


Figura 11. Edificio de N pisos sometido a movimiento sísmico en su base.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

La idealización de la estructura de N niveles, se encuentra comprometido a una alteración sísmica en su base, esto origina un movimiento rígido vibratorio de toda la estructura como un cuerpo rígido donde el movimiento $u_{g(t)}$, muestra la figura deformada vista por $u_{j(t)}$ con valores en j=1,..,N. En conclusión, la ecuación del movimiento queda definido de la siguiente manera:

$$[m][\ddot{u}] + [c][\dot{u}] + [k][u] = -[m]\{1\}[\ddot{u}_{g(t)}] \qquad (18)$$

Donde la alteración sísmica produce una fuerza externa de la siguiente manera:

$$[P]_{efect_{(t)}} = -[m]\{1\}[u_{g(t)}] \qquad (19)$$

En la figura 12 se observa la similitud entre aplicar un comportamiento sísmico con aislación basal de la edificación y un conjunto de cargas efectivas en cada nivel $-m_j\ \ddot{u}_{g(t)}$, en una edificación de corte de N niveles.

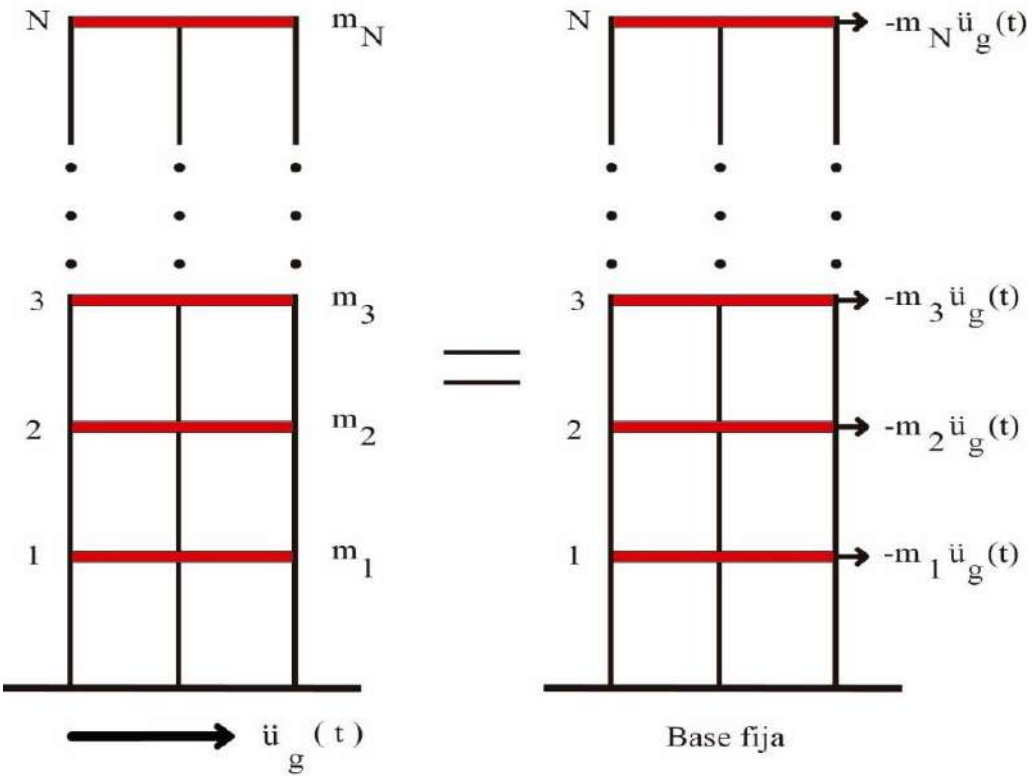


Figura 12. Sistema de solicitaciones equivalentes.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

Finalmente, el desplazamiento total acumulado de todos los pisos, es obtenido sumando el desplazamiento total en la base de la edificación, más el movimiento originado en cada piso por la fuerza efectiva aplicada.

2.2.4.1.3.- Vibraciones libres

2.2.4.1.3.1.- Sistemas no amortiguados

Paz (1992), p.5, en su investigación "Nuestro estudio de dinámica de las estructuras con el análisis de un sistema simple y fundamental, el sistema con un grado de libertad en el cual ignoramos o despreciamos las fuerzas de amortiguación"

La respuesta en una edificación con presencia de vibración libre se describe por medio del componente vectorial desplazamiento $[u_{(t)}]$, y que cambia con el tiempo.

En la figura 13 se observa la vibración libre de un marco idealizado de cortante de dos pisos; además, se indican las rigideces de entrepiso y las masas concentradas en cada piso; la vibración libre inicia debido a las deflexiones mostradas por la curva "a" de la figura 13. (Chopra, 2014, p.404)

El desplazamiento resultante u_j de las dos masas se observa en la figura 14 (d), en función del tiempo transcurrido t_1.

La respuesta del desplazamiento de la idealización de la edificación de dos pisos, donde los valores de $u_{i(t)}$ y $u_{j(t)}$, parten del tiempo t = 0, y una aceleración $\ddot{u}_j = 0$.

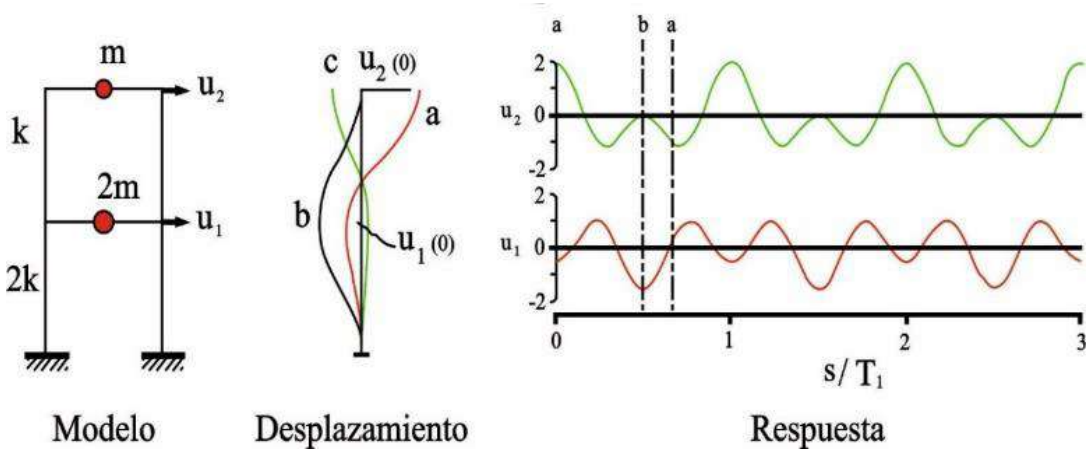
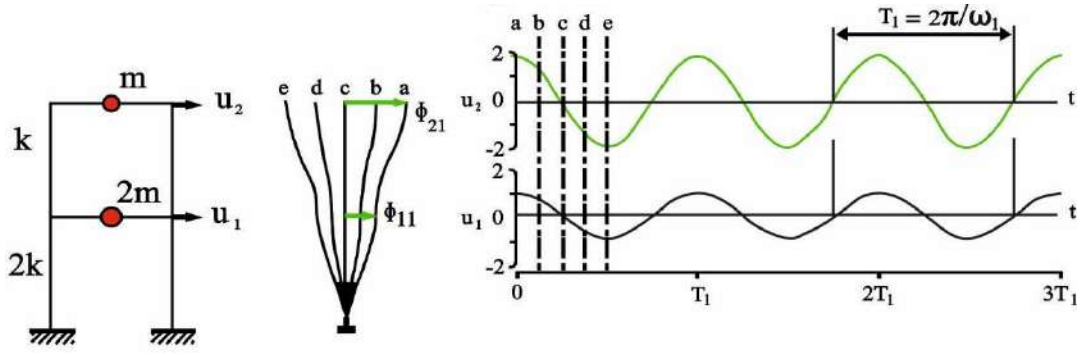


Figura 13. Edificio en vibración libre con desplazamientos iniciales.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

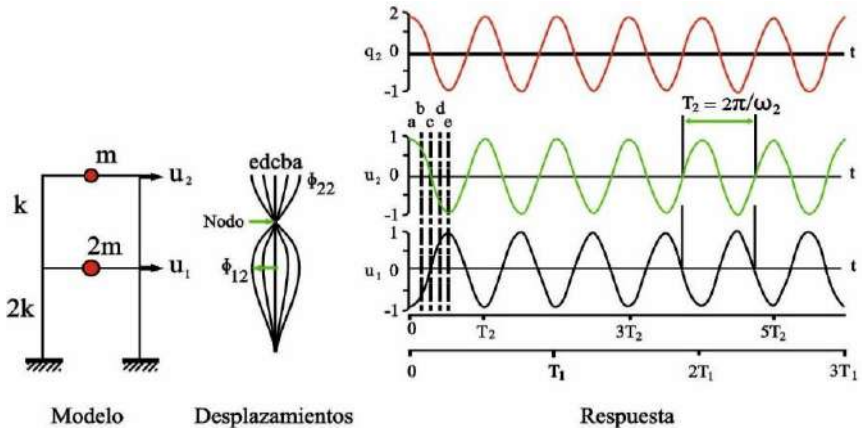
Los diferentes tipos de oscilaciones son conocidos como modos de vibrar naturales $[\phi_n]$. Un modo tiene un periodo natural de vibración T característico que representa en el tiempo necesario para que la edificación logre completar el ciclo de movimiento armónico simple (MAS). La palabra natural se usa para destacar las propiedades naturales de la edificación, que dependen de la masa y rigidez. (Tarque y Loayza, 2003, p.29).

El vector $[\phi_n]$ indica la deformación de la edificación con vibración ante su periodo natural. Se debe considerar un vector $[\phi_n]$ que no define los valores numéricos del desplazamiento de cada nivel. Para reconocer los desplazamientos se identifica la amplitud de onda de los movimientos.

A continuación, en la figura 14 (a) y (b) se presentan dos modos naturales de vibración de la edificación de dos niveles, sin el impacto de amortiguación c.



(a) Primer modo



(b) Segundo modo

Figura 14. Modos naturales de vibración de una estructura de dos niveles sin considerar el efecto del amortiguamiento.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

Los valores de los modos de vibración se agrupan como único valor, donde el movimiento del nivel superior puede estandarizar como un valor total de la masa unitaria. Diferentes parámetros de normalización no influyen en el resultado final de la respuesta dinámica.

Por lo que, el rango de flexibilidad es la fuerza máxima que una edificación puede mantener sin soportar variaciones permanentes.

2.2.4.1.3.2. Sistemas amortiguados

Tarque y Loayza, 2003, p.30. En su investigación. "Los modelos estructurales con amortiguación de varios grados de libertad se están idealizando considerando una amortiguación viscosa. Estos sistemas perturban su posición de equilibrio y presentan un descenso de su amplitud, hasta lograr el equilibrio estático o amplitud cero".

Las expresiones del periodo T_{nD}, las frecuencias cíclicas $\boldsymbol{\omega}_{nD}$ y las frecuencias circulares f_{nD}, de algún modo de vibración cualesquiera, se relacionan de igual manera que el modelo de estructuras sin amortiguación. Es notable la influencia de la

amortiguación para la frecuencia natural y el periodo natural de la edificación; además es equivalente a los modelos de un solo grado de libertad. A continuación, se presentan las expresiones:

$$\omega_{nD} = \omega_n\sqrt{1-\xi_n^2} \qquad T_{nD} = T_n \,/\, \sqrt{1-\xi_n^2}$$

Donde ξ_n se define como el cociente de amortiguamiento de edificaciones de muchos niveles en un determinado modo natural de vibración.

2.2.4.1.4. Modos y frecuencias naturales

2.2.4.1.4.1. Cálculo de los modos y frecuencias naturales de vibración

El desempeño elástico e inelástico en las edificaciones cumple un papel fundamental en la valoración de la respuesta dinámica. La expresión del movimiento definida para la vibración libre es la siguiente:

$$[m]\,[\ddot{u}\,] + [k][u] = [0] \qquad (20)$$

Matemáticamente los modos de vibración $[\phi]$ de un conjunto no amortiguado se expresa:

$$\left[u_{(t)}\right] = q_{n(t)}[\Phi_n] \qquad (21)$$

Calculando la segunda derivada de la ecuación anterior tenemos:

$$\left[\ddot{u}_{(t)}\right] = -\omega_n^2 q_{n(t)}[\Phi_n] \qquad (22)$$

Donde:

$$q_{n(t)} = -\omega_n^2 q_{n(t)} \qquad (23)$$

De las expresiones (21), (22) en (23), tenemos un conjunto de expresiones lineales homogéneas:

$$\left[-\omega_n^2\,[m]\,[\phi_n] + [k]\,[\phi_n]\right] q_{n(t)} = [0] \qquad (24)$$

Donde, la expresión $q_{n(t)}$ se define como la variación del desplazamiento durante un tiempo, y se obtiene de la siguiente manera:

$$q_{n(t)} = A_n \cos\omega_n + B_n\ \mathrm{sen}\omega_n t \qquad (25)$$

Los coeficientes A_n y B_n de la expresión (25) se obtienen con ayuda de condiciones de frontera del sistema.

La expresión (24) muestra dos soluciones, primero se asume $q_{n(t)} = 0$, dando por resultado, $\left[u_{(t)}\right]$=[0]; donde, presenta movimiento en el modelo (solución trivial); mientras que en la segunda solución se asume $[-\omega_n^2\ [m]\ [\phi_n] + [k][\phi_n]]=0$, como resultado se obtiene la siguiente expresión:

$$[k]\,[\phi_n] = \omega_n^2\,[m]\,[\phi_n] \qquad (26)$$

Al iniciar la solución de la expresión anterior, existe un problema de valor

propio, es decir con apoyo de diversos métodos y algoritmos de solución. Como resultado se obtiene la ecuación (26) de la siguiente manera:

$$\left[[k] - \omega_n^2 [m]\right] [\phi_n] = [o] \qquad (27)$$

Ahora esta expresión se desarrolla para varias ecuaciones homogéneas, obteniendo la solución trivial $[\phi_n] = 0$:

$$\det\left[[k] - \omega_n^2 [m]\right] = o \qquad (28)$$

Finalmente, para obtener todas las soluciones se proponen diferentes valores numéricos de frecuencias cíclicas de vibración, siendo referencial el factor ω_n^2. Las expresiones matriciales de masas y rigideces [m] y [k] son simétricas y positivas, entonces los radicales siempre serán reales y positivas. (Chopra, 2014, p.407)

2.2.4.1.4.2. Matrices modales y espectrales

El conjunto de valores propios, frecuencias de vibración natural y los modos de vibración natural, se acoplan en una matriz global. El conjunto vectorial propio se puede representar en una matriz cuadrada, donde las columnas representan modos naturales diferentes de vibración:

$$[\phi_{nn}] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \cdots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \cdots & \phi_{nn} \end{bmatrix} \qquad (29)$$

La matriz [Φ], es denominada matriz modal; mientras que la expresión matricial de valores propios [Ω], se denomina matriz espectral:

$$[\Omega^2] = \begin{bmatrix} \omega_{11}^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \omega_{22}^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \omega_{nn}^2 \end{bmatrix} \qquad (30)$$

El conjunto de valores y vectores característicos debe cumplir con la expresión (26), como se presenta a continuación:

$$[k]\,[\phi_n] = [m]\,[\phi_n]\omega_n^2 \qquad (31)$$

La expresión anterior mostrado es igual a:

$$[k]\,[\phi] = [m]\,[\phi]\,[\Omega^2] \qquad (32)$$

2.2.4.1.4.3. Ortogonalidad de los modos

Paz (1992, p.237), en su investigación. “La ortogonalidad de los modos es una propiedad que conforma la base de uno de los procedimientos más atractivos para desarrollar problemas de varios grados de libertad, que permite transformar matrices simétricas en diagonales, desacoplando en un grupo de N expresiones en N sistemas independientes”. (Paz, 1992, p.237)

La ecuación (31) se multiplica con el término $\left[\phi_r^T\right]$, donde $\boldsymbol{\omega}_n \neq \omega_r$, donde se obtiene:

$$\left[\phi_r^T\right] [k] [\phi_r] = \omega_n^2 \left[\phi_r^T\right] [m] [\phi_n] \quad (33)$$

También la ecuación (31) se multiplica por el término $\left[\phi_r^T\right]$**,** donde se obtiene:

$$\left[\phi_n^T\right] [k][\phi_r] = \omega_n^2 \left[\phi_n^T\right] [m][\phi_r] \quad (34)$$

De estas expresiones (33) y (34), resulta:

$$(\omega_n^2 - \omega_r^2)\left[\phi_n^T\right] [m] [\phi_r] = 0 \qquad (35)$$

La ortogonalización de la matriz $[m]$ es correcta si la expresión (35) muestra valores $(\omega_n^2 - \omega_r^2) \neq 0$.

En general, la ortogonalidad de modos naturales ayuda a definir las expresiones matriciales cuadradas de rigidez y masa como diagonales:

$$k \equiv [\phi^T][k] [\phi] \qquad m \equiv [\phi^T][m] [\phi]$$

Donde los elementos de la diagonal son:

$$k = \left[\phi_n^T\right] [k] [\phi_n] \qquad m_n = \left[\phi_n^T\right] [m] [\phi_n]$$

Estas matrices diagonales de masa y rigidez; y sus elementos diagonales son positivos, y se relacionan con la siguiente expresión:

$$k_n = \omega_n^2 M_n \qquad (36)$$

2.2.4.1.5. Respuesta sísmica

2.2.4.1.5.1. Análisis modal de la respuesta sísmica

La expresión del desplazamiento de estructuras generado por la vibración sísmica en su base, tiene componentes ya desarrollados anteriormente. Se define de la siguiente manera:

$$[m][\ddot{u}] + [c][\ddot{u}] + [k] [u] = - [m] \{1\} \left[\ddot{u}_{g(t)}\right] \qquad (37)$$

La ecuación 37 se expresa matricialmente en N ecuaciones diferenciales

ordinarias que se puede desacoplar en las matrices modales y matrices espectrales. La metodología de solución es parecida al sistema de ecuaciones de un grado de libertad.

Una respuesta modal contiene un solo modo natural de vibración $[\phi_n]$, la frecuencia cíclica ω_n, la frecuencia de vibración natural f_n y un coeficiente de amortiguación ξ_n. Con ayuda del conjunto de expresiones desacopladas, se determina la amplitud de onda de cada modo de vibración natural, y se define con la siguiente expresión:

$$\ddot{q}_n + 2\xi_n\omega_n q_n + \omega_n^2 q_n = -\frac{L_n}{M_n}\,\ddot{u}_{g(t)} \qquad (38)$$

Donde:

$$L_n = \left[\phi_n^T\right][m]\,\{1\}$$

y

$$M_n = \left[\phi_n^T\right][m]\,[\phi_n]$$

La solución de la expresión diferencial (38) se define de la siguiente manera:

$$q_{n(t)} = -\frac{L_n}{M_n}\frac{1}{\omega_{nD}}\int_0^t \ddot{u}_{g(t)}\, e^{[-\xi_n\omega_n(t-\mathcal{T})]}\mathrm{sen}[\omega_{nD}(t-\mathcal{T})]d_{\mathcal{T}} \qquad (39)$$

El n-ésimo modo afecta al desplazamiento $u_{jn(t)}$, dependiendo de la altura, y se calcula con:

$$u_{jn(t)} = q_n(t)\phi_{jn} \qquad (40) \qquad \text{Para } j = 1,2,3,\ldots N$$

Que da como resultado lo siguiente:

$$u_{jn(t)} = -\frac{L_n}{M_n}\frac{\phi_{jn}}{\omega_{nD}}\int_0^t \ddot{u}_g(\mathcal{T})e^{[-\xi_n\omega_n[}\mathrm{sen}[\omega_{nD}(t-\mathcal{T})]d\mathcal{T} \qquad (41)$$

Los diferentes cortantes y momentos, se relacionan con la deformación de una estructura de distintos niveles usando el método de fuerzas laterales equivalentes. Donde podemos adherir cargas externas que son estáticas en función al tipo de desplazamiento $u_{n(t)}$:

$$[f_{n(t)}] = [k]\left[u_{n(t)}\right]$$

La fuerza interna se calcula realizando el análisis estático en la edificación que está sujeta a cargas laterales equivalentes. Para una carga cortante y momentos de la base de una edificación, se presentan las siguientes expresiones:

$$V_{on(t)} = \sum_{j=1}^{N} f_{jn(t)} \qquad (42)$$

$$\sum_{j=1}^{N} h_j f_{jn(t)} \qquad (43)$$

Donde h_j, medida de la altura del j-ésimo nivel hasta la base. Se muestra en la figura 16 las diferentes fuerzas equivalentes laterales del n-ésimo modo de oscilación natural.

$$r_{(t)} = \sum_{n=1}^{N} r_{n(t)}$$

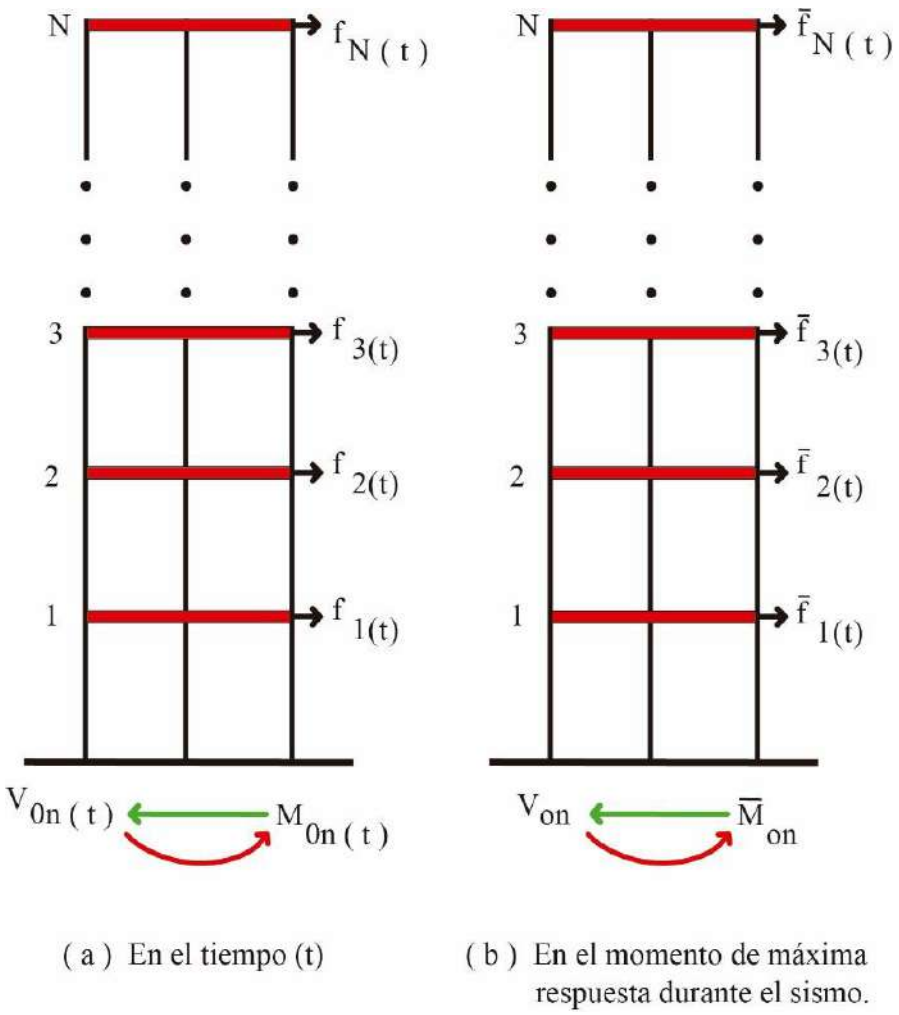


Figura 15. Fuerzas laterales equivalentes para el n-ésimo modo de vibración.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

El desempeño en la edificación frente a un fenómeno sísmico, se calcula por superposición modal y combinación modal. La figura 17 ilustra el proceso.

Para un desplazamiento, una fuerza cortante del j-ésimo nivel y un momento de la base, se usan las expresiones que se presentan a continuación:

$$u_{j(t)} = \sum_{n=1}^{N} u_{jn(t)} \qquad (44.a)$$

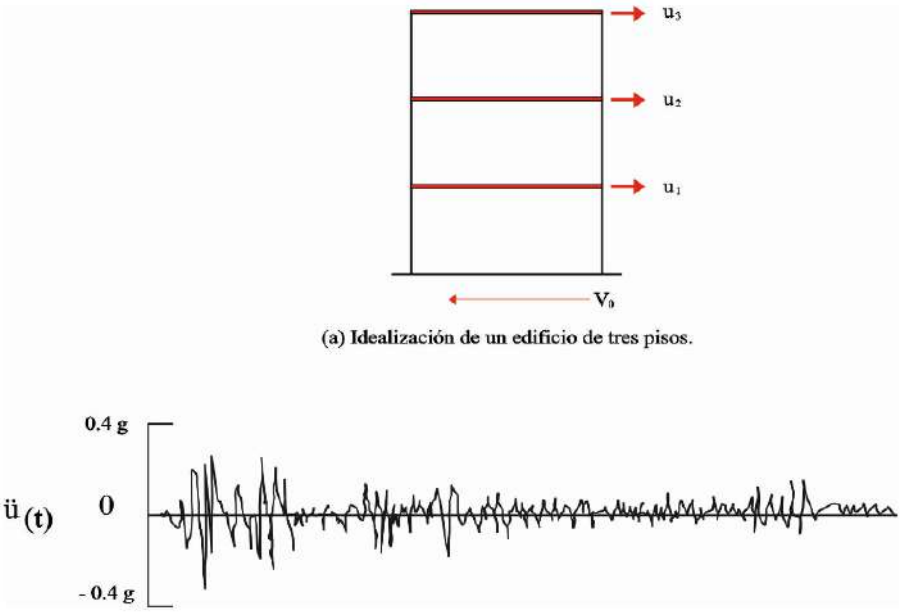
$$f_{j(t)} = \sum_{n=1}^{N} f_{jn(t)} \qquad (44.b)$$

$$V_{0(t)} = \sum_{N=1}^{N} V_{0n(t)} \qquad (44.c)$$

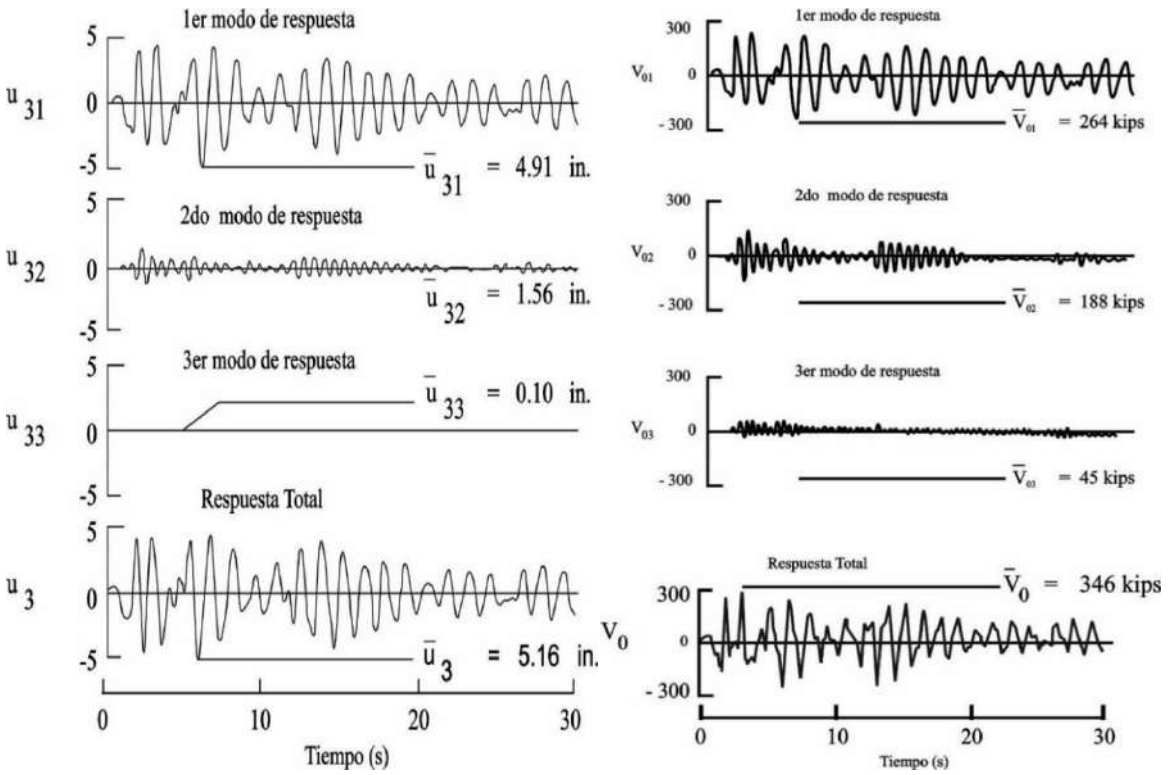
$$M_{0(t)} = \sum_{n=1}^{N} M_{0n(t)} \qquad (44.d)$$

El valor de la respuesta $r_{(t)}$ se obtiene de la unión de toda la contribución de los diferentes modos de vibración natural como se ve en la figura 17, que se calcula como:

$$r_{(t)} = \sum_{n=1}^{N} r_{n(t)} \qquad (45)$$



(a) Idealización de un edificio de tres pisos.



(b) Desplazamiento y fuerza cortante en la base por cada modo y respuesta total.

Figura 16. Respuesta sísmica de un edificio de tres pisos.

Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

2.2.4.1.5.2. Análisis espectral

"Los máximos valores de la respuesta estructural de una edificación durante un desplazamiento sísmico, usualmente es usados para determinar las fuerzas máximas internas de la edificación" (Chopra, 2014, p.230).

La figura 18 muestra una edificación de corte de 5 pisos, que requiere calcular los periodos de cada modo natural. La respuesta máxima del n-ésimo modo de vibración natural se define en términos de S_{dn}, S_{vn} y S_{an}, que son: una respuesta del espectro de desplazamiento, un espectro de la pseudo-velocidad y un espectro de la pseudo-aceleración.

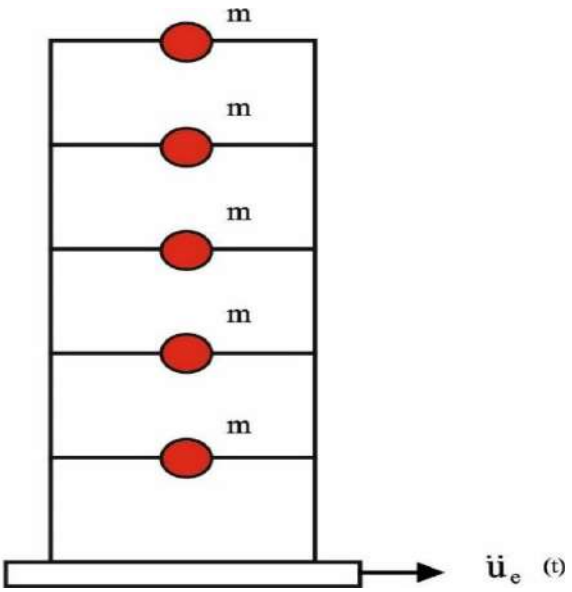


Figura 17. Ejemplo de edificio de 5 pisos.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

Para los requisitos espectrales y para el modo natural de vibración le concierne un periodo de vibración natural T_n y un cociente de amortiguación ξ_n, esto se obtiene a partir de un espectro de respuesta sísmica que se aprecia en la figura 19.

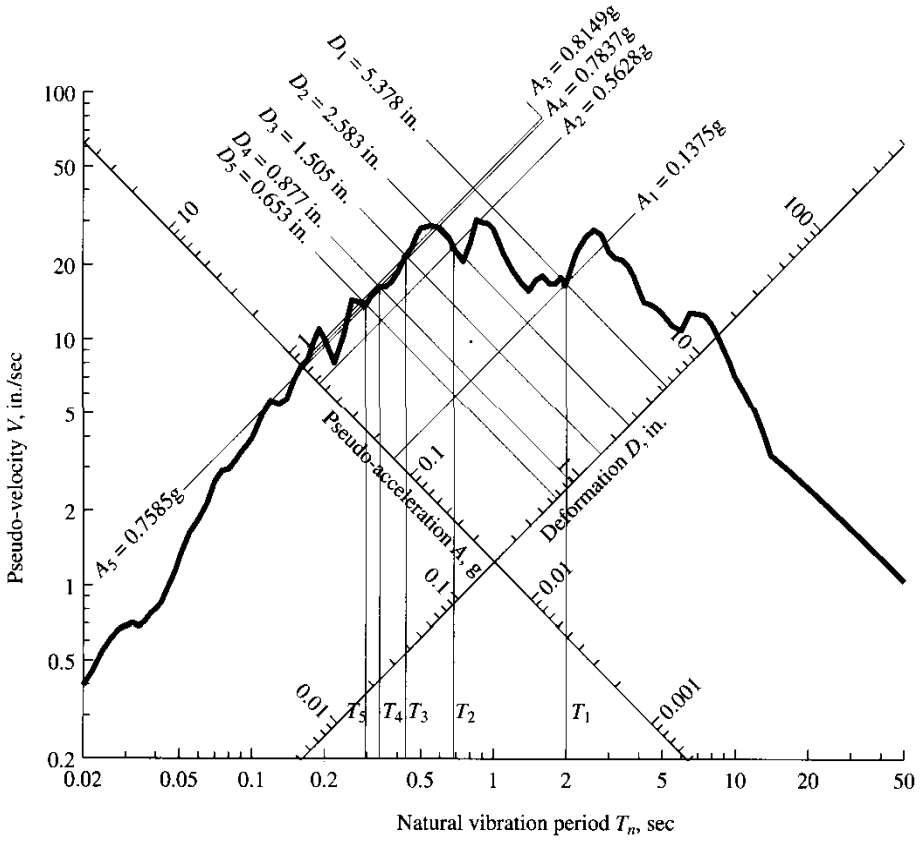


Figura 18. Espectro de respuesta sísmica.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

Para obtener el desplazamiento modal máximo, se usa la siguiente expresión:

$$q_n = \frac{L_n}{M_n} S_{dn} \qquad (46)$$

El desplazamiento máximo en el j-ésimo nivel se obtiene con la siguiente expresión:

$$u_{jn} = \frac{L_n}{M_n} S_{dn} \phi_{jn} \qquad (47)$$

y la deformación máxima en el j-ésimo piso de la siguiente manera:

$$\Delta_{jn} = \frac{L_n}{M_n} S_{dn} (\phi_{jn} - \phi_{j-1,n}) \qquad (48)$$

La fuerza lateral equivalente tiene un valor máximo que se determina como:

$$f_{jn} = \frac{L_n}{M_n} S_{an} m_j \phi_{jn} \qquad (49)$$

El momento basal y el cortante se determinan con las ecuaciones que se presenta a continuación:

$$V_{0n} = \frac{L_n^2}{M_n} S_{an} \qquad (50)$$

$$M_{0n} = \frac{L_n}{M_n} S_{an} \sum_{n=1}^{N} h_j . m_j . \phi_{jn} \qquad (51)$$

Los diferentes valores del espectro S_{dn}, S_{vn} y S_{an}, se relacionan con las siguientes expresiones:

$$S_{an} = \omega_n S_{vn} = \omega_n^2 S_{dn} \qquad (52.a)$$

$$S_{an} = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right) S_{vn} = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right) S_{dn} \qquad (52.b)$$

Los valores numéricos de desplazamiento máximo en los diferentes modos naturales de vibración inicial de una edificación de 5 niveles se muestran en la figura 20, que se obtiene de un espectro de respuesta.

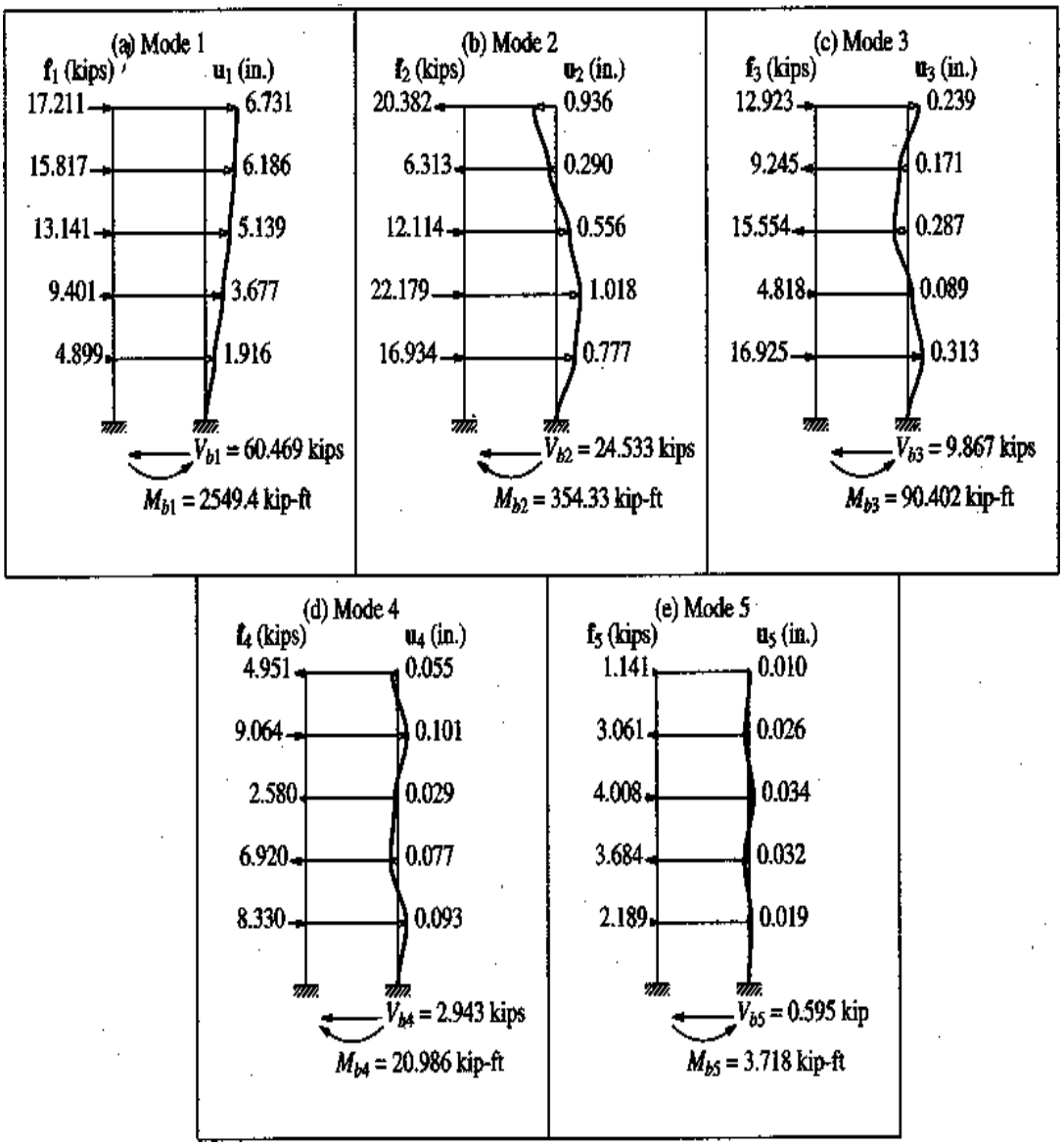


Figura 19. Valores máximos de desplazamiento para los 5 primeros modos de vibración.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

2.2.4.1.5.3. Métodos de combinación espectral de la respuesta modal

La respuesta $r_{(t)}$ de una estructura se define al superponer las contribuciones $r_{n(t)}$ de cada modo de oscilación natural, para el análisis de la fluctuación de las aceleraciones durante un tiempo en una edificación. Sin embargo, para un comportamiento espectral, la respuesta máxima en cada modo de vibración se calcula del espectro de respuesta. (Tarque y Loaiza, 2003, p.42)

Las respuestas máximas de cada modo de vibración no se presentan paralelamente; además, no logran superponerse de forma directa para calcular el valor numérico de respuesta máximo. La combinación espectral modal es igual a la Radical

Cuadrado de la Suma de los Cuadrados (SRSS), que se define con la siguiente expresión:

$$\bar{r} = \sqrt{\sum \bar{r}_n^2} \qquad (53)$$

Donde r estima la respuesta máxima (desplazamiento, fuerza, deformación, cortante y momento) en un determinado piso de la estructura.

La aplicación del método (SRSS) para combinar las respuestas modales generalmente proporciona una estimación aceptable de la máxima respuesta. Sin embargo, cuando algunos de los modos están muy próximos, el método (SRSS) puede resultar en una substancial subestimación o sobreestimación de la respuesta máxima. En particular, se han observado mayores errores en el análisis de estructuras tridimensionales en las cuales los efectos torsionales son significativos. (Paz, M. 1992, p. 280).

A continuación, los valores máximos de desplazamiento horizontal, deriva de entrepiso, cortantes de entrepiso, momento volcante de entrepiso, momento volcante en su base. Se presentan en cada una de las expresiones:

$$u_{j_{max}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (u_{jmod}^{i})^2} \qquad (54.a)$$

$$\Delta_{j_{max}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (\Delta_{jmod}^{i})^2} \qquad (54.b)$$

$$V_{max} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (V_{mod}^{i})^2} \qquad (54.c)$$

$$M_{j_{max}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (M_{jmod}^{i})^2} \qquad (54.d)$$

$$M_{max} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (M_{mod}^{i})^2} \qquad (54.e)$$

Un procedimiento muy importante es el Método de la Combinación Cuadrada Completa (CQC), que simboliza la combinación de la respuesta de los diferentes requisitos modales, con la siguiente expresión:

$$\bar{r} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \sum_{J=1}^{N} (r_i \,.\, r_j \,.\, p_{ij})} \qquad (55)$$

Entonces r_i y r_j son las respuestas máximas modales en la estructura y ρ_{ij} es el parámetro de cociente entre ambos modos. Podemos reordenar la expresión (55) de la siguiente manera:

$$\bar{r} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} r_i^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ i^1 j}}^{N} \sum_{\substack{j=1 \\ j^1 i}}^{N} (r_i \cdot r_j \cdot p_{ij}} \quad (56)$$

El método CQC que se expresa en ecuación (56), asume que existe una interacción modal, mientras que el método SRSS primero afirma que la respuesta de los grados de libertad desacoplado estadísticamente independiente.

Finalmente, cuando la correlación de los modos de vibración es cero se concluye que el procedimiento CQC es idéntico al procedimiento SRSS. En la figura 21 se observa los coeficientes de correlación del método CQC.

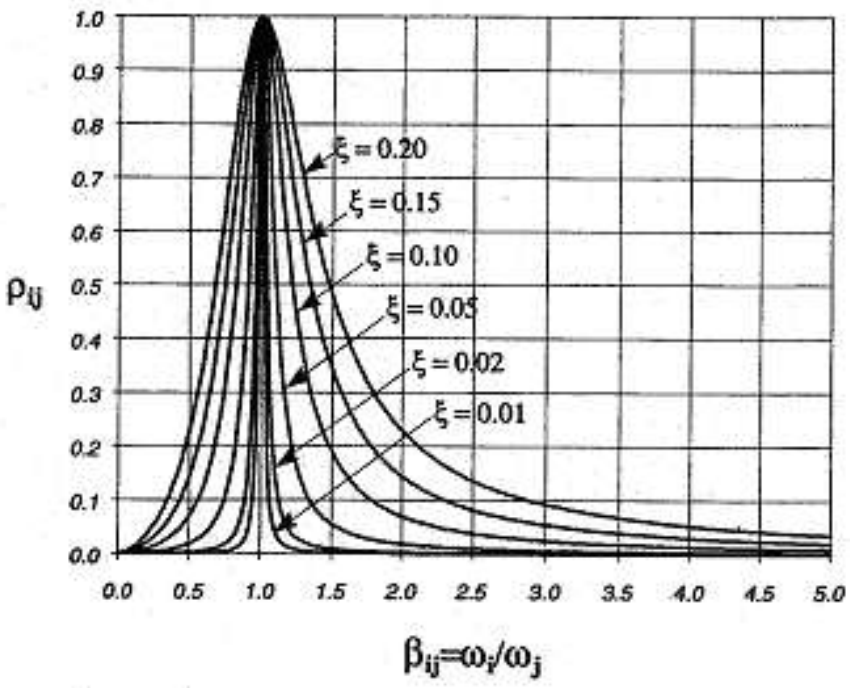


Figura 20. Coeficiente e correlación para el método CQC.
Fuente: García, L. (1998). Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico.

2.2.5. Desarrollo de un sistema aislado

El sistema de aislamiento sísmico de base ha iniciado a tener mayor relevancia a partir del año 2000, consiste en separar un edificio de su cimentación, por medio de dispositivos de caucho y acero. Como resultado se espera que los dispositivos colocados en la interfaz disipen una cantidad de energía sísmica considerable que ayude a reducir el impacto en la respuesta de la estructura. Existen numerosas investigaciones que se centran específicamente en el desarrollo de teorías de sistemas de aislamiento y verificaciones experimentales del comportamiento y durabilidad.

A partir de la aceptación de esta nueva tecnología más de 200 aplicaciones de sistemas de aislamiento de base a edificios y puentes se han realizado en los Estados Unidos, lo que demuestra que esta nueva forma constructiva es capaz de brindar protección sísmica para estructuras con éxito. Ahora el empleo de unidades de aislamiento sísmico de base ha sido ampliamente aceptado como una estrategia útil para el diseño de instalaciones importantes. (Cheng, F. Hongping, J. y Lou Kangyu, 2008).

2.2.5.1. Ecuación de movimiento de sistemas aislados de un grado de libertad

El movimiento de una estructura de edificio aislada sísmicamente se puede expresar mediante la expresión del movimiento de solo un grado de libertad suponiendo que la estructura encima del interfaz de aislación es extremadamente rígida y el movimiento del sistema estructural ocurre principalmente en la base o en el sistema de aislación. Las unidades aislantes generalmente se refieren a cojinetes, mientras que un sistema aislante se presenta como un conjunto de unidades aislantes, que se unen estructuralmente las unidades aislantes, como vigas de acero con fijación final, y conexiones entre unidades aislantes y otros elementos estructurales (Cheng, F. Hongping, J. y Lou Kangyu., 2008).

La teoría lineal se desarrolla idealizando el conjunto como se muestra en la figura 22, que considera a la superestructura como masa rígida unida a un conjunto de dispositivos (conjunto de aislación sísmica) con la rigidez horizontal "k_b" y un amortiguamiento "c_b"

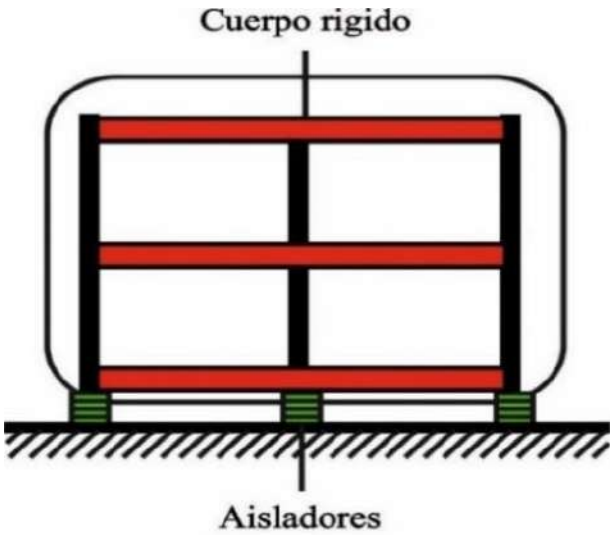


Figura 21. Cuerpo rígido y aisladores.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

Además, también se asume la superestructura como un cuerpo rígido de masa "m" unido a un conjunto de resortes que representa al sistema de aislamiento que consta de una rigidez del aislamiento k_b y un amortiguamiento del aislamiento c_b, lo importante de esta idealización es en el desarrollo matemático porque facilita el planteamiento y la solución de dichas expresiones, este modelo se considera exacta cuando la estructura empotrada o base fija tiene periodo mucho menor que la estructura aislada.

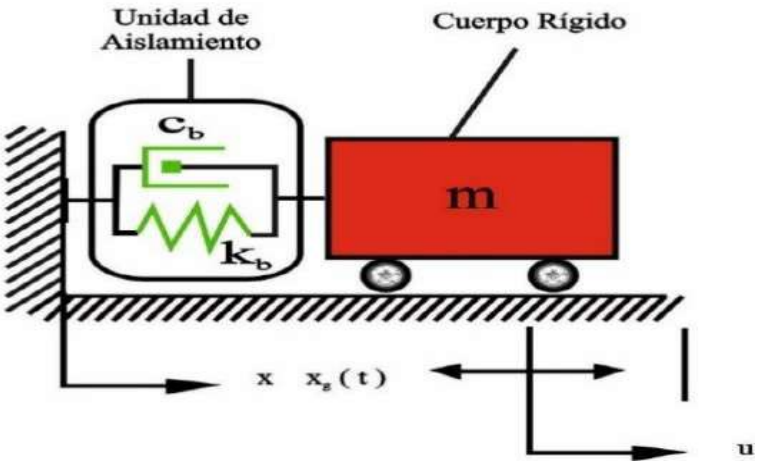


Figura 22. Modelo idealizado de la masa rígida y sistema de resorte con amortigución.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

Cheng, F. Hongping, J. y Lou Kangyu. (2008) afirma: "el desarrollo de la ecuación muestra el comportamiento de este modelo basado en las ecuaciones de equilibro" (p.52).

$$m\ddot{u} + c_b(\dot{u} - \dot{x}_g) + k_b(u - x_g) = 0 \qquad (57)$$

Reemplazamos las ecuaciones que corresponde al desplazamiento relativo para simplificar la ecuación 57.

$$x = u - x_g$$

$$u = x + x_g$$

La rigidez del sistema de aislación se despejará de la ecuación de la frecuencia angular.

$$\omega_b = \sqrt{k_b / m} \quad k_b = \omega_b^2 m$$

De la ecuación de la fracción de amortiguamiento se despeja la ecuación que corresponde a c_b.

$$\beta_b = c_b/2\omega_b m \quad c_b = \beta_b 2\omega_b m$$

De las ecuaciones que corresponden al desplazamiento relativo definidos anteriormente en la ecuación 57, la ecuación del movimiento para un sistema donde

existe movimiento sísmico es:

$$m\ddot{x} + c_b\dot{x} + k_b x = -m\ddot{x}_g \qquad (58)$$

La ecuación 58, es una ecuación diferencial de segundo orden, donde para facilitar la solución multiplicamos por "1/m" y resulta la siguiente ecuación resumida:

$$\ddot{x} + 2\omega_b\beta_b\dot{x} + \omega_{b^2}x = -\ddot{x}_g \qquad (59)$$

El procedimiento de variación de parámetro ayuda a desarrollar esta ecuación diferencial, donde primero se tiene la ecuación de la frecuencia amortiguada:

$$\overline{\omega}_b = \omega_b\sqrt{1-\beta_b^2}$$

La ecuación 59 tiene por solución general lo siguiente:

$$x(t) = c_{1(t)}e^{-\beta_b\omega_b t}\mathrm{sen}\overline{\omega}_b t + c_{2(t)}e^{-\beta_b\omega_b t}\cos\overline{\omega}_b t \qquad (60)$$

$C_{1(t)}$ y $C_{2(t)}$ son definidos para que cumplan los requisitos que se presentan a continuación:

$$\dot{c}_{1(t)}e^{-\beta_b\omega_b t}\mathrm{sen}\overline{\omega}_b t + \dot{c}_{2(t)}e^{-\beta_b\omega_b t}\cos\overline{\omega}_b t = 0 \qquad (61)$$

La ecuación 60, se deriva para encontrar relaciones de $C_{1(t)}$ y $C_{2(t)}$.

$$\dot{c}_{1(t)}e^{-\beta_b\omega_b t}(\overline{\omega}_b\cos\overline{\omega}_b t - \beta_b\omega_b\mathrm{sen}\overline{\omega}_b t) \qquad (62)$$

$$-\dot{c}_{2(t)}e^{-\beta_b\omega_b t}(\omega_b\mathrm{sen}\overline{\omega}_b t + \beta_b\omega_b\cos\overline{\omega}_b t) = 0$$

De las ecuaciones 61 y 62 se obtiene los coeficientes $C_{1(t)}$ y $C_{2(t)}$

$$c_{1(t)} = -\frac{1}{\omega_b}x_{g(t)}e^{\beta_b\omega_b t}\cos\omega_b t \qquad (63)$$

$$\dot{c}_{2(t)} = -\frac{1}{\omega_b}\ddot{x}_{g(t)}e^{\beta_b\omega_b t}\mathrm{sen}\overline{\omega}_b t \qquad (64)$$

Integrando las ecuaciones 63 y 64 resulta $C_{1(t)}$ y $C_{2(t)}$

$$\dot{c}_{1(t)} = -\frac{1}{\overline{\omega}_b}\int_0^t \ddot{x}_g(\tau)e^{\beta_b\omega_b\tau}\cos\overline{\omega}_b\tau d\tau + c_1 \qquad (65)$$

$$\dot{c}_{2(t)} = \frac{1}{\overline{\omega}_b}\int_0^t x_g(\tau)e^{\beta_b\omega_b\tau}\mathrm{sen}\overline{\omega}_b\tau\, d\tau + c_2 \qquad (66)$$

Las constantes $C_{1(t)}$ y $C_{2(t)}$ no dependen del tiempo "t" y al reemplazar las constantes $C_{1(t)}$ y $C_{2(t)}$ en la ecuación 60, el movimiento de la estructura aislada sísmicamente se desarrolla mediante la integración de Duhamel. A continuación, la solución completa:

$$x_{(t)} = e^{-\beta_b \omega_b t}(c_1 \text{sen}\bar{\omega}_b t + c_2 \cos\bar{\omega}_b t) - \frac{1}{\omega_b}\int_0^t x_g(\tau) e^{-\beta_b \omega_b \tau} \text{sen}\bar{\omega}_b (t-\tau)\, d\tau \quad (67)$$

Las condiciones iniciales en un movimiento sísmico son: $C_1 = C_2 = O$, al reemplazar estas condiciones se tiene una ecuación simplificada que se muestra a continuación:

$$x_{(t)} = -\frac{1}{\omega_b}\int_0^t x_g(\tau) e^{-\beta_b \omega_b (t-\tau)} \text{sen}\bar{\omega}_b (t-\tau) d\tau \quad (68)$$

Como es el caso de las estructuras sísmicamente aisladas sin dispositivos amortiguadores, la relación de amortiguamiento, β_b, por lo general no supera el 20% de la amortiguación crítica. En consecuencia, los efectos del término $\sqrt{1-\beta_b^2}$ son insignificantes y es apropiado reemplazar la frecuencia amortiguada, $\bar{\omega}_b$, por la frecuencia angular, ω_b (Cheng, F. Hong Ping, J. y Lou Kangyu., 2008).

La ecuación 68 se reescribe como:

$$x_{(t)} = -\frac{1}{\bar{\omega}_b}\int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\beta_b \omega_b (t-\tau)} \text{sen}\omega_b (t-\tau) d\tau \quad (69)$$

El valor absoluto máximo de la integral de la expresión 69, se expresa como la pseudo – velocidad, y que está definido a continuación:

$$S_V = \left|\int_0^t x_g(\tau) e^{-\beta_b \omega_b (t-\tau)} \text{sen}\omega_b (t-\tau) d\tau\right|_{max} \quad (70)$$

Existe relación entre desplazamiento espectral S_D, y la pseudo - velocidad por medio de la frecuencia natural, como se puede observar en la expresión siguiente:

$$S_V = \omega_b S_D \quad (71)$$

El sistema presenta un cociente de amortiguación β_b, inferior que el 20% de la amortiguación crítica, favorece al determinar un cociente entre las pseudo–aceleraciones S_A, y los desplazamientos espectrales S_D. Se expresa a continuación esta relación:

$$S_A = \omega_b^2 S_D \qquad (72)$$

El movimiento del terreno $\ddot{x}_{g(t)}$, es un valor conocido para este análisis y sirve para relacionar la frecuencia natural ω_b con el coeficiente de amortiguación β_b, y así obtener los valores numéricos de S_D, S_v, S_A respectivos.

2.2.5.2. Ecuación del movimiento para sistemas de aislamiento de varios grados de libertad

De la figura 24 se idealiza una estructura de varios pisos, que consta de un conjunto de dispositivos antisísmicos (Aislamiento sísmico). El desplazamiento en el nivel del techo se define con una variable "n".

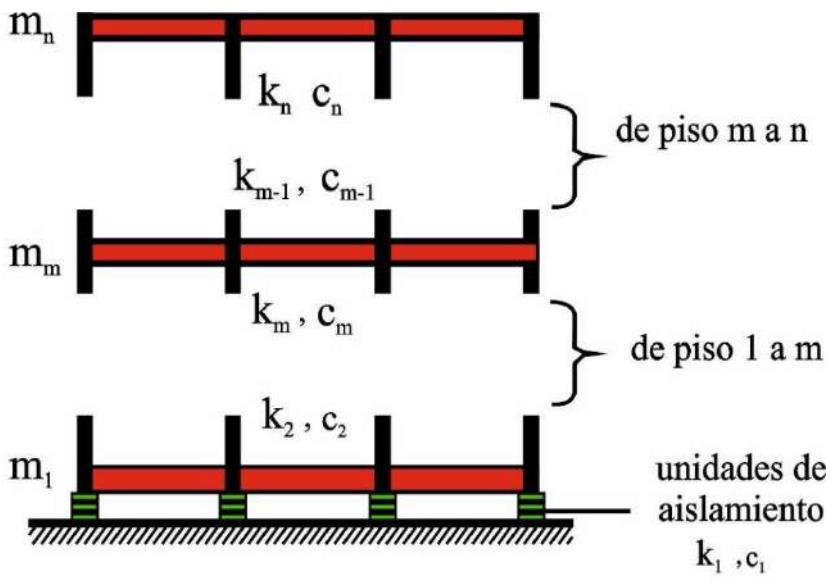


Figura 23. Sistema de múltiples grados de libertad.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

La estructura idealizada de la figura 24 también se presenta como un modelo (masa – resorte) de diferentes grados de libertad (Figura 25). Esta idealización ayuda a obtener las diferentes expresiones para el respectivo análisis posterior.

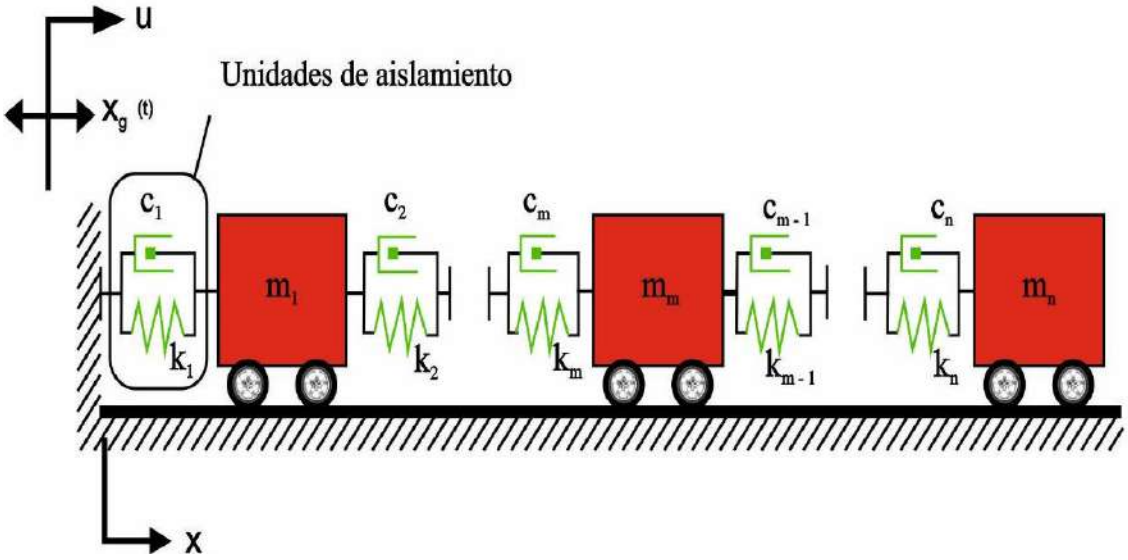


Figura 24. Modelo de un sistema de múltiples grados de libertad.
Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de estructuras.

De las condiciones de equilibro, se obtiene la ecuación que representa el desplazamiento en el nivel de techo:

$$m_n\ddot{u}_n + c_n(\dot{u}_n - \dot{u}_{n-1}) + k_n(u_n - u_{n-1}) = 0 \qquad (73)$$

Entonces:

m_n= Masa de la losa

c_n= Coeficiente de amortiguación entre el techo y el piso abajo del techo

k_n= Rigidez del nivel entre el techo y el nivel inferior del techo

u_n= Desplazamiento en el techo

u_{n-1}= Desplazamiento en el nivel debajo del techo.

La diferencia del desplazamiento u_n y u_{n-1} representa la deriva. Si tomamos otro nivel de la idealización de la figura 25 se obtiene la ecuación del movimiento (en el nivel "m_m", como se presenta a continuación:

$$m_m u_m + c_m(u_m - u_{m-1}) - c_{m+1}(u_{m+1} - u_m) + k_m(u_m \bar{u}_{m-1)} k_{m+1}(u_{m+1} - u_m) = 0 \qquad (74)$$

Donde:

m_m= Masa en el nivel "m"

c_{m+1} = Coeficiente de amortiguación entre el nivel "m+1" y el nivel "m"

c_m = Coeficiente de amortiguación entre el nivel “m” y “m-1”

k_{m+1}= Rigidez de piso entre el nivel “m+1” y el nivel “m”

k_m= Rigidez de piso entre el nivel “m” y “m-1”.

A la loza inferior del primer nivel de la superestructura se le denomina piso 1. Si consideramos el desplazamiento del suelo x_g, la expresión del movimiento se reescribe de la siguiente manera:

$$m_1\ddot{u}_1 + c_1(\dot{u}_1 - \dot{x}_g) - c_2(\dot{u}_2 - \dot{x}_g) + k_1(u_1 - x_g) - k_2(u_2 - u_1) = 0 \qquad (75)$$

Donde:

m_1= Masa en el nivel 1°

c_1= Coeficiente de amortiguamiento del modelo de aislación sísmica

k_1= Rigidez del modelo de aislación sísmica

c_2= Coeficiente de amortiguación entre el nivel 1° y 2°

k_2= Rigidez entre nivel 2° y 1°

u_1= Movimiento en el piso 1°

u_2= Movimiento en el piso 2°

Adicionalmente el movimiento relativo $x_m = u_m - x_g$, se usa para relacionar el movimiento de cada nivel y el desplazamiento del suelo. Entonces, se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$m_n\ddot{x}_n + c_n(\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) - k_n(x_n - x_{n-1}) = -m_n\ddot{x}_g \qquad (76)$$

$$m_m\ddot{x}_m + c_m(\dot{x}_m - \dot{x}_{m-1}) - c_{m+1}(\dot{x}_{m+1} - \dot{x}_m) + k_m(x_m - x_{m-1}) - k_{m+1}(x_{m+1} - x_m) = -m_m\ddot{x}_g \qquad (77)$$

$$m_1\ddot{x}_1 + c_1\dot{x}_1 - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_1x_1 - k_2(x_2 - x_1) = -m_1\ddot{x}_g \qquad (78)$$

Las expresiones de movimiento de múltiples grados de libertad se expresan en notación matricial y escribir simbólicamente de la siguiente manera:

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = -\ddot{x}_g[m]\{1\} \qquad (79)$$

La matriz simétrica de masa $[m]$ definida anteriormente en la ecuación 8. La matriz simétrica de amortiguamiento $[c]$ se define anteriormente en la ecuación 10. La matriz simétrica de rigidez $[k]$ se define anteriormente en la ecuación 9.

"La matriz de vector unitario {1} de dimensión 1xn, $\{x\}$, $\{\dot{x}\}$, $\{\ddot{x}\}$, muestra la matriz del vector del movimiento relativo, matriz del vector de velocidad y la matriz del vector de aceleración de la edificación con aislamiento" (Cheng, Hongping y Kangyu, 2008, p.57).

$$\{x\}^T = \{x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m \ \dots \ x_{n-1} \ x_n\} \qquad (80)$$

$$\{\dot{x}\}^T = \{\dot{x}_1 \ \dot{x}_2 \ \dots \ \dot{x}_m \ \dots \ \dot{x}_{n-1} \ \dot{x}_n\} \qquad (81)$$

$$\{\ddot{x}\}^T = \{\ddot{x}_1 \ \ddot{x}_2 \ \dots \ \ddot{x}_m \ \dots \ \ddot{x}_{n-1} \ \ddot{x}_n\} \qquad (82)$$

Sea el vector de desplazamiento relativo expresado en términos de vector de respuesta generalizada $\{x'\}$. La ecuación 80 se convierte en:

$$\{x\} = [\phi]\{x'\} \qquad (83)$$

Definimos $[\Phi]$ como la matriz modal

$$[\phi] = \begin{bmatrix} \phi_{1,1} & \phi_{1,2} & \cdots & \phi_{1,m} & \cdots & \phi_{1,n-1} & \phi_{1,n} \\ \phi_{2,1} & \phi_{2,2} & \cdots & \phi_{2,m} & \cdots & \phi_{2,n-1} & \phi_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \phi_{m,1} & \phi_{m,2} & \cdots & \phi_{m,m} & \cdots & \phi_{m,n-1} & \phi_{m,m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \phi_{n-1,1} & \phi_{n-1,2} & \cdots & \phi_{n-1,m} & \cdots & \phi_{n-1,n-1} & \phi_{n-1,n} \\ \phi_{n,1} & \phi_{n,2} & \cdots & \phi_{n,m} & \cdots & \phi_{n,n-1} & \phi_{n,n} \end{bmatrix} \quad (84)$$

Derivando la ecuación 83 resulta en

$$\big[[m]\big][\phi]\{x'\} + [c][\phi]\{x'\} + [k][\phi]\{x'\} = -x_g[m]\{1\} \qquad (85)$$

Multiplicar previamente y dividir ambos términos de la ecuación 85 por $[\Phi]^T$ y $[\Phi]^T\ [m]\ [\Phi]$ correspondientemente, la ecuación del movimiento se convierte en:

$$\{\ddot{x}''\} + \frac{[\phi]^T[c][\phi]}{[\phi]^T[m][\phi]}\{x'\} + \frac{[\phi]^T[k][\phi]}{[\phi]^T[m][\phi]}\{x'\} = -\ddot{x}_g \frac{[m]\{1\}[\phi]^T}{[\phi]^T[m][\phi]} \qquad (86)$$

El cociente de amortiguamiento en cada modo se presenta como $\beta_m = \frac{c_m}{2\omega_m m_m}$ para m=1 hasta n. Entonces podemos escribir:

$$\left[\frac{[\phi]^T[c][\phi]}{[\phi]^T[m][\phi]}\right] \begin{bmatrix} 2\omega_1\beta_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 2\omega_2\beta_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\omega_3\beta_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2\beta_{n-1}\omega_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 2\beta_n\omega_n \end{bmatrix} [2\beta_b\omega_b] \quad (87)$$

Donde:

$[2\omega_b\beta_b]$ = Matriz diagonal de dimensiones n x n.

Para simplificar, β y ω se utilizan para presentar β_m y ω_m, respectivamente. Teóricamente, $[\phi]^T[c][\phi]/([\phi]^T[m][\phi])$ no se puede desacoplar en una matriz diagonal $[2\beta\omega]$ ya que la amortiguación del sistema de aislamiento es mayor que la de la edificación sobre la interfaz de aislación. Sin embargo, los efectos de amortiguamiento acoplados, que existen en los componentes fuera de la diagonal de la matriz, $[\phi]^T[c][\phi]/([\phi]^T[m][\phi])$, han demostrado ser pequeños e insignificantes para las diferentes estructuras. Las relaciones de amortiguamiento pueden desacoplarse, como se muestra en la expresión matricial 87, y no perderá la precisión analítica de estudiar el comportamiento de todo el sistema si se añaden dispositivos de amortiguación al sistema de aislamiento, los efectos de amortiguación acoplados no pueden despreciarse y se debe utilizar el análisis modal complejo para encontrar las soluciones.

A continuación, se construye una matriz de rigidez diagonal $[\omega^2]$, definido por las propiedades de la estructura.

$$\left[\frac{[\phi]^T[k][\phi]}{[\phi]^T[m][\phi]}\right] = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \omega_2^2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_3^2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \omega_{n-1^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \omega_n^2 \end{bmatrix} \quad (88)$$

El lado derecho de la expresión 86, define la participación modal Γ, y se define de la siguiente manera:

$$\Gamma = \frac{[M]\,\{1\}\,[\phi]^T}{[\phi]^T[M]\,[\phi]} \quad (89)$$

El factor de participación se puede definir de la siguiente manera:

$$\Gamma = \{\Gamma_1 \dots \Gamma_m \dots \Gamma_n\}^T \quad (90)$$

Donde

Γ_m= m-ésimo modo de participación del factor

Si las expresiones 87, 88 y 89 cumplen con las condiciones de ortogonalidad, la expresión 86 es una ecuación desacoplada y se expresa de la siguiente manera:

$$\{\ddot{x}'_m\} + [2\beta_\omega]\{\dot{x}'\} + [\omega^2]\{x'\} = -\Gamma\ddot{x}_g \quad (91)$$

Esta expresión es para modelos de varios grados de libertad y que sean

desacoplables para cada modo natural de vibración.

$$\{\ddot{x}'_m\} + [2\beta_m\omega_m]\{\dot{x}'\} + [\omega^2]\{\ddot{x}'\} = -\Gamma\ddot{x}_g = -\ddot{x}_g\frac{[m]\{1\}[\phi]^T}{[\phi]^T[m][\phi]} \qquad (92)$$

Donde $[\Phi]_m^T = \{\Phi_{1,m} \dots \Phi_{m,m} \dots \Phi_{n,m}\}$. Utilizando la Integración de Duhamel se calcula la solución de la ecuación 92 para cada nivel de la edificación aislada, A continuación, se presenta la expresión resultante:

$$x'_m(t) = -\frac{1}{\overline{\omega}_m}\Gamma_m\int_0^t x_g(\tau)e^{-\beta_b\omega_b(t-\tau)}\operatorname{sen}\overline{\omega}_m(t-\tau)d\tau \quad m = 1, \dots, n \quad (93)$$

Podemos definir $\overline{\omega}_m = \overline{\omega}_m\sqrt{1-\beta_m^2}$ que es la frecuencia amortiguada del m-ésimo modo de vibración; sin embargo, el factor $\sqrt{1-\beta_m^2}$ es insignificante para todas las estructuras con base aisladas sin dispositivos de amortiguamiento; por lo tanto, la frecuencia natural, ω_m, es similar a la frecuencia amortiguada $\overline{\omega}_m$. Logrando que la expresión 93 se reduzca de la siguiente manera:

$$x'_m(t) = -\frac{1}{\omega_m}\Gamma_m\int_0^t \ddot{x}_g(\tau)e^{-\beta_b\omega_b(t-\tau)}\operatorname{sen}\overline{\omega}_m(t-\tau)d\tau \quad m = 1, \dots, n \quad (94)$$

De esta expresión calculamos la matriz del vector de la respuesta generalizada que se menciona anteriormente como $\{x'\}$, posteriormente el vector del movimiento relativo $\{x\}$, calculado de la expresión 83. El vector correspondiente a la velocidad y de aceleración se define como $\{\dot{x}\}$ y $\{\ddot{x}\}$ respectivamente. A continuación, se presenta las expresiones de la primera y segunda derivada.

$$\{\dot{x}\} = [\phi]\{\dot{x}'\} \qquad (95)$$

$$\{\ddot{x}\} = [\phi]\{\ddot{x}'\} \qquad (96)$$

El procedimiento presentado anteriormente, llamado método de superposición de desplazamiento modal, se utiliza para estructuras de base fija y también ha demostrado su aplicabilidad a la mayoría de las edificaciones con aislación sísmica, que tienen relaciones de amortiguación con unidades aislantes inferiores al 20% del valor crítico (Cheng, F. Hongping, J. y Lou Kangyu., 2008).

Capitulo III

Hipótesis y variables de investigación

3.1. Hipótesis

Hernández, R., Fernández, C. y Bautista, P. (2014) afirma que "Las hipótesis son las guías de una investigación o estudio. Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado" (p.104).

Es importante señalar que en la teoría actual debe enunciar preguntas a manera de propuestas, ya que son respuestas previas a las incógnitas de la investigación. Podemos indicar que día a día nos hacemos preguntas por lo que a menudo elaboramos hipótesis de diferentes cosas que suceden y luego verificamos si son correctas.

3.1.1. Hipótesis principal

El comportamiento sismorresistente de la estructura del Centro Médico San Conrado sin aislamiento símico presentará menor deriva respecto del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico.

3.1.2. Hipótesis secundarias

- El periodo es 30% menor de la estructura del Centro Médico San Conrado sin aislamiento sísmico.
- La frecuencia es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con dispositivos elastoméricos de alto amortiguamiento HDR.
- La deriva es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con dispositivos elastoméricos con núcleo de plomo LRB.
- La fuerza sísmica en cada piso aumenta en forma proporcional a la altura.

3.1.3. Hipótesis nula

- El periodo no es 30% menor de la estructura del Centro Médico San Conrado sin aislamiento sísmico
- La frecuencia no es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con dispositivos elastoméricos con alto amortiguamiento HDR.
- La deriva no es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo LRB.
- La fuerza sísmica en cada piso no aumenta en forma proporcional a la altura.

3.2. Variables e indicadores

Una variable es una característica que puede variar, para ser susceptible a ser medido u observado. (…) La definición de variable se usa en personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, que suelen adquirir varios valores respecto de la variable definida. (…) Las variables adquieren valor para un estudio científico cuando logran una relación con las variables, porque forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas. (Hernández, Fernández y Bautista, 2014, p.105)

3.2.1. Variables principales

Variable Principal 1: Comportamiento sismorresistente sin aislamiento sísmico.

Sub-variables: Características del suelo, Comportamiento de la estructura y Costo post-sismo.

Variable Principal 2: Comportamiento sismorresistente con aislamiento sísmico.

Sub-variables: Características del suelo, comportamiento de la estructura, aisladores sísmicos y costo post-sismo.

3.3. Operacionalización de las variables

Variable Principal 1: Comportamiento sismorresistente sin aislamiento sísmico. Es la capacidad de las obras civiles de resistir un evento sísmico sin ocasionar daños en sus componentes estructurales y no estructurales.

Variable principal 2: Comportamiento sismo resistente con aislamiento sísmico. Es la capacidad de las obras civiles de resistir un evento sísmico sin ocasionar daños en sus componentes estructurales y no estructurales, cuando son diseñadas y/o dotados de dispositivos de aislamiento.

Tabla 1. *Operacionalización de Variables (V1)*

Definición conceptual de la variable principal	Dimensiones de la variable principal (Variables secundarias o subvariables)	Indicadores de la subvariable	Instrumento
V1: Variable independiente Aislamiento sísmico	Características del suelo	Carga última Factor de zona	Ficha 1
Es un sistema que permite mitigar la energía sísmica producida por un fenómeno sísmico.	Aisladores sísmicos	Tipos de aisladores Características del amortiguamiento critico	Ficha 1

Elaboración propia adaptada de varias definiciones.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. *Operacionalización de variables (V2)*

Definición conceptual de la variable principal	Dimensiones de la variable principal (Variables secundarias o subvariables)	Indicadores de la subvariable	Instrumento
V2: Variable dependiente Comportamiento sismorresistente	Características del suelo	Carga última Factor de zona	Ficha 2
Es la capacidad de las obras civiles de resistir un evento sísmico sin ocasionar daños en sus componentes estructurales y no estructurales, cuando son diseñadas y/o dotados de dispositivos de aislamiento.	Comportamiento de la estructura	Periodo Frecuencia Derivas Fuerzas de cada piso Máxima cortante de diseño Máximo momento de diseño	Ficha 2

Elaboración propia adaptada de varias definiciones.
Fuente: Elaboración propia.

Capitulo IV

Diseño de la investigación

4.1. Diseño de ingeniería

Estudio de alcance descriptivo ya que caracteriza y describe las variables al compararlas entre sí.

4.2. Métodos y técnicas de proyecto

4.2.1. Diseño estadístico

La investigación es de campo, de diseño no experimental y de alcance descriptivo con una perspectiva cuantitativa, donde se recolecta datos o valores sobre la edificación a estudiar, del análisis comparativo del comportamiento sismorresistente del Centro Médico San Conrado (sin y con aislamiento sísmico) del distrito de Los Olivos.

"La investigación descriptiva busca especificar propiedades, rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice, y miden de manera independiente los conceptos o variables a los que se refieren y se centran en medir con la mayor precisión posible" (Hernández, Fernández y Bautista, 2016, p.119).

Los estudios descriptivos se presentan en situaciones que generalmente son condiciones naturales, con mayor relevancia ocurren en situaciones no experimentales. Por lo tanto, el estudio tiene una perspectiva cuantitativa, porque es necesario contar con ciertos parámetros de las normas para poder desarrollar el análisis comparativo del comportamiento sismorresistente de la edificación propuesta. Este estudio es de tipo no experimental, de alcance descriptivo transversal porque no se podrán manipular las variables y los datos obtenidos serán a través de la unidad de investigación, además la recolección de datos se realizará en un solo tiempo.

"La investigación no experimental es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables; lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos" (Hernández, Fernández y Bautista, 2016, p.270).

Cabe indicar que en un estudio no experimental no se crea ninguna situación, sino que se muestran situaciones ya palpables, es decir no provocadas intencionalmente. La intención es mostrar las variables y definir su incidencia en un tiempo dado.

4.2.2. Población y muestra

4.2.2.1. Población

La población de estudio está conformada por todos los Centros Médicos de Los Olivos, la muestra está conformada por Centros Médicos de varios pisos y que el Centro Médico San Conrado será nuestra unidad de estudio debido a que reúne características apropiadas para el estudio.

4.3. Técnicas y herramientas estadísticas

4.3.1. Instrumentos para recolectar datos

Observación sistemática y registrada de los planos estructurales de la edificación del Centro Médico, expediente técnico y visita in situ. Además, se realizó la comparación de los resultados del análisis tanto para la edificación sin aislamiento sísmico como para la edificación que presenta aislamiento sísmico.

Instrumento para recolectar la información: Ficha de registro de datos técnicos del Centro Médico San Conrado sin aislamiento sísmico - Anexo 1.

Observación: Inicialmente se procedió a observar de manera sistemática los planos estructurales y expediente técnico del Centro Médico San Conrado, luego se procedió a realizar el llenado detallado de la ficha de registro de datos técnicos (Anexo 1), de los resultados calculados luego de la simulación hecha con el software Etabs 18 para ambas edificaciones, es decir la que está sin aislamiento y la que presenta aislamiento sísmico correspondiente y el tiempo estimado de la recolección de la información será de 12 meses, con todas aquellas rectificaciones pertinentes.

Registro de Información: Posteriormente, el llenado de la ficha de registro se realizó en un tiempo de 7 días donde se consideró las últimas actualizaciones del "Reglamento Nacional de Edificaciones" (RNE). Para nuestra investigación se utilizó con mayor relevancia las normas que se menciona a continuación:

Normativa E.020 Cargas: La normativa señala que las cargas usadas para el diseño de la estructura, deberán tener como principal consideración que la combinación de cargas no debe causar esfuerzos ni deformaciones extremas que dañen la resistencia de los elementos estructurales.

Norma E.030 Diseño Sismorresistente: La normativa señala que las condiciones indispensables para el diseño de una edificación sean de acorde con los requisitos establecidos en esta norma. La filosofía de la norma es fundamental, ya que señala

principios importantes como: evitar pérdidas de vida humanas, lograr la continuidad de los servicios básicos y reducir los daños a la estructura. Cabe señalar que los parámetros de sitio son determinados por la zonificación basada en la distribución espacio, características del comportamiento sísmicos y la acentuación con la longitud epicentral, además que cada zona se asigna un factor Z, interpretándose como la máxima aceleración del terreno con la posibilidad de 10% en ser excedido en 50 años. Además, la clasificación de las edificaciones será de acuerdo a las categorías mencionadas, en este caso la categoría (A) Edificaciones esenciales será el utilizado para el estudio.

Norma E.031 Diseño de Aisladores Sísmicos: La norma determina las indicaciones propias para el análisis, diseño y construcción de estructuras con aislación sísmica y los ensayos que validan el desempeño de los aisladores sísmicos.

Formulación de tipología representativa: Culminando el llenado de las fichas, se procede a la transcripción de los valores obtenidos a hojas de cálculos en la computadora. El software empleado fue el Ms Excel. Además, se dibujaron los planos del centro médico en el software Autocad. Y posteriormente se utilizó el software Etabs 18 para observar el comportamiento sismorresistente del centro médico sin y con aislamiento sísmico, con el fin de observar las concentraciones de esfuerzos obteniendo un diagnostico general del comportamiento sísmico de la estructura.

Capítulo V

Descripción de la zona de estudio

5.1. Análisis del área de estudio

5.1.1. Ubicación, superficie y altitud

La unidad de estudio es el Centro Médico San Conrado y se ubica en la Av. Autopista Canta Callao Mz. C5 – Lt. 22 y 23, Urbanización Pro del distrito de Los Olivos, provincia y departamento de Lima.

Figura 25. Ubicación geográfica del distrito de Los Olivos.
Fuente: Sub Gerencia Infraestructura de la Municipalidad distrital de Los Olivos.

Geográficamente esta zona de estudio se encuentra definida por las siguientes coordenadas UTM:

Este: 273 475.70 m Norte: 8 679 966.65 m

Este: 273 446.79 m Norte: 8 679 997.44 m

Este: 273 438.38 m Norte: 8 679 990.06 m

Este: 273 468.08 m Norte: 8 679 956.62 m

5.1.2. Geología, Geomorfología y Sismicidad

5.1.2.1. Geología

El lugar de estudio se ubica en tierras aluviales, topografía semi plana y variable, como resultado de la descomposición de la masa solida traído por el rio Chillón.

La geología empieza por un fenómeno erosivo fuerte, que se extiende hasta el año actual, aquí prioriza los valles producto del acarreo de material por el río Chillón hasta el desierto costero, creando un cono de deyección, que se ubica en los ríos Chillón, Rímac y Lurín, además existe una potente secuencia de arena, grava y cantos rodados, que son los cimientos de formación de la ciudad de Lima.

Las litologías de estos depósitos contienen sedimentos aluviales, de la edad del cuaternario que contiene gravas, gravillas, arena, limo y arcilla, que se consolidan con los materiales conglomerados.

5.1.2.2. Geomorfología

La geomorfología actual del terreno de estudio es producto de los procesos teutónicos y plutónicos impuestos de la geodinámica, que ha ayudado a modelar el rango morfoestructural del lugar de estudio.

La forma estructural que ha configurado el modelo de la región, es el Anticlinal de Lima y el bloque fallado del dislocamiento de la región; además, la erosión, la incisión por el drenaje del río Chillón y la arena conforman el relieve actual; que inicia en el nivel medio del mar hasta la altitud de 1500 metros, pero con geomorfologías diferentes.

El terreno en estudio se ubica en la zona del plano costero de 10 km. de ancho y de altitud de 0 a 200 m.s.n.m., en esta zona se encuentra la ciudad costera de Lima, que se extiende desde el lado del litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental, que consta de una franja estrecha del terreno, paralelo de la línea costera, sumando una mayor extensión en el valle del Rímac; que compone amplios terrenos, conformado de grava y arena acarreado del transporte y sedimento del río Chillón y por arena obtenida del movimiento eólico de las playas, impulsado por los vientos que recorren con dirección de sureste a noroeste.

5.1.2.3. Sismicidad

La historia de la región, se obtiene de datos del trabajo de Silgado (1978), en la Ciudad de Lima donde se han presenciado grandes fenómenos sísmicos que ocasionaron intensidades tan altas como IX a X en la Escala Modificada de Mercalli, que se observa en la actualidad en el Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú, presentado por Alva Hurtado (1984). El lugar de estudio se ubica en el distrito de Los Olivos, provincia y departamento de Lima. Según la Normativa Técnica E-030 "Diseño Sismorresistente" (2016) este lugar de estudio se ubica en la Zona Sísmica 04, esta zona es la más predominante de ocurrencia de actividad sísmica, y le corresponde un valor de zona Z=0.45. El factor Z es la aceleración máxima esperada durante un periodo de probabilidad sísmica de 50 años. Según la Norma E-030 vigente y con los ensayos geofísicos se deberán tomar estos parámetros de diseño sismorresistente:

Factor de zona	Z = 0.45
Tipo de suelo	S2
Factor de amplificación del suelo	S = 1.05
Periodo que determina la plataforma del factor C	$T_P = 0.6$
Periodo que determina el inicio de la zona del factor C	$T_L=2.0$

5.1.3. Evaluación geotécnica y geofísica

5.1.3.1. Generalidades

La evaluación geotécnica está constituida por ensayos directos cuya información obtenida de campo y posterior interpretación de resultados servirá para caracterizar el suelo de cimentación del proyecto en mención. Los trabajos de campo consistieron en la excavación de dos (02) calicatas y dos (02) sondajes MASW y una (01) línea de refracción sísmica

5.1.3.2. Geotécnica

La exploración de campo demostró que la clase de suelo característico en el lugar de estudio se encuentra constituido por un depósito aluvial conformado por el conglomerado de Lima.

5.1.3.3. Exploración Geofísica

La exploración geofísica fue realizada con el objetivo de encontrar la rigidez del suelo en función de velocidad de transmisión de las ondas S (Vs) y la velocidad de transmisión de las ondas P (Vp) de los suelos por debajo del nivel de terreno, con ayuda de ensayos de refracción sísmica en la superficie, con la medición de ondas P, y ensayos de sondajes MASW para encontrar perfiles de ondas S, y valores que permitan encontrar de manera indirecta los espesores y capacidad de los estratos del suelo en el lugar de estudio hasta una profundidad de 30 m.

Capítulo VI

Desarrollo de la investigación

Se presenta en forma detallada y ordenada el proceso a seguir para comprobar la hipótesis:

6.1. Características de la estructura

La edificación es un conjunto de elementos resistentes que están enlazados entre sí y son capaces de soportar las fuerzas externas, soportarlas internamente y transmitirlas a sus soportes, con el objetivo de conservar su forma.

Es importante señalar que las edificaciones están sometidas a fuerzas externas, cargas muertas, cargas vivas, propio peso de la estructura, fuerza del viento, etc. Las cargas que resisten las edificaciones generan fuerzas internas (tensiones), que tienden a deformarlas y/o romperlas si no tiene una buena ductilidad.

Por ello, la aislación sísmica de base consiste en separar la edificación del suelo mediante un conjunto de dispositivos mecánicos de baja rigidez horizontal que se acopla a la cimentación de esta manera reducir el efecto de los sismos sobre la superestructura, con la capacidad de disminuir notoriamente los daños que produce un evento sísmico en las estructuras.

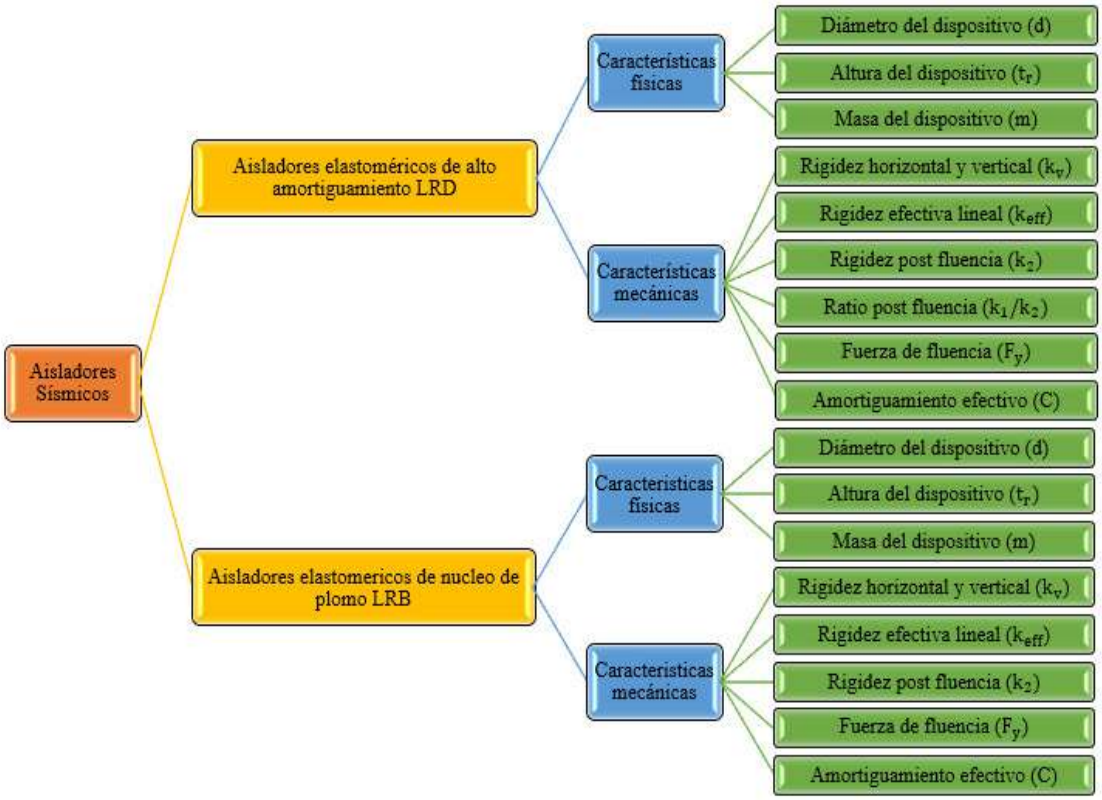


Figura 26. Flujograma de diseño.
Fuente: Elaboración propia.

6.2. Análisis y diseño de aisladores

6.2.1. Diseño de los aisladores de alto amortiguamiento HDR

6.2.1.1. Características de los aisladores de alto amortiguamiento HDR

1. Parámetros iniciales

Z	0,45		Zona sísmica
U	1,00		Factor de importancia con uso de Aisladores Sísmicos
C	2,50		Factor de amplificación sísmica
S	1,05		Suelo intermedio
R	7		Sistema aporticado
A_1	10	m^2	Área efectiva de aplicación para los dispositivos de las esquinas
A_2	17,8	m^2	Área efectiva de aplicación para los dispositivos excéntricos
A_3	28	m^2	Área efectiva de aplicación para los dispositivos centrales

2. Carga viva de la estructura

L	430,02	t	Cargas vivas

3. Carga muerta de la estructura

D	1626,61	t	Cargas muertas

4. Periodo de la estructura

T	0,501	s	Periodo fundamental de vibración

5. Peso de la edificación (Según la E.030)

P	1 841,62	t

6. Carga sísmica horizontal debido a la fuerza cortante

CSH	310,77	t

7. Carga sísmica vertical debido a la fuerza cortante

CSV	576,43	t

8. Carga última

U	3 457,99	t

9. Área del diafragma rígido

A	170	m^2	
U/A	20,34	t/ m^2	Carga por unidad de área

10. Carga en los dispositivos

D_1	203,41	t
D_2	362,07	t
D_3	569,55	t

6.2.1.2. Características físicas de los dispositivos de alto amortiguamiento HDR

1. Parámetros para el dispositivo elastomérico de Alto Amortiguamiento

Z	0,45		Zonas sísmica 4
S_2	1,05		Suelo intermedio
T_M	3,00	s	Periodo objetivo
C	2,50		Coeficiente de ampliación sísmica
β_M	1,20		Dispositivo de alto amortiguamiento HDR (10 %)
b	11,02	m	Lado de la estructura L_1
d	15,41	m	Lado de la estructura L_2
y	7,705	m	Distancia centro de rigidez al punto más lejos de la edificación
e	0,77		Excentricidad
ɣ	1,5		Deformación de corte directa
G	0,8		Módulo de corte (Catalogo TENSA y FIP)

2. Carga última

P_{Umax} 3 457,99 t

3. Espectro elástico de pseudo aceleraciones

S_{aM} 1,772 g

4. Desplazamiento del diseño

D_M 0,337 m

5. Desplazamiento total del diseño

D_{TM} 0,403 m

6. Rigidez horizontal del sistema

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H 21,84 MPa-m

7. Rigidez horizontal por dispositivo

7.1. Dispositivos esquinados

P_{Umax} 203,41 t Carga axial del dispositivo

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H 1,28 MPa-m

7.2. Dispositivos excéntricos

P_{Umax} 362,07 t Carga axial del dispositivo

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H^A 2,29 MPa-m

7.3. Dispositivos céntricos

P_{Umax} 569,55 t Carga axial del dispositivo

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H^A 3,60 MPa-m

8. Determinar la altura de caucho de los dispositivos

t_r 22,44 cm

9. Área requerida para el dispositivo

9.1. Dispositivos esquinados

A 0,36 m^2

9.2. Dispositivos excéntricos

A 0,64 m^2

9.3. Dispositivos céntricos

A 1,01

10. Diámetro requerido para el dispositivo

10.1. Dispositivos esquinados

d 0,68 m

10.2. Dispositivos excéntricos

d 0,90 m

10.3. Dispositivos céntricos

d 1,13 m

Tabla 3.

Cuadro de resumen de propiedades físicas aisladores de altoamortiguamiento HDR.

Cuadro de resumen de propiedades físicas

Dispositivo	Símbolo	Valor	Unidad	Propiedades físicas
Dispositivo esquinado (D_A)	k_h^A	1,28	MPa-m	Rigidez horizontal
	d_A	0,68	m	Diámetro
Dispositivo excéntrico (D_B)	k_h^B	2,29	MPa-m	Rigidez horizontal
	d_B	0,90	m	Diámetro
Dispositivo céntrico (D_C)	k_h^C	3,60	MPa-m	Rigidez horizontal
	d_C	1,13	m	Diámetro

Fuente: Elaboración propia.

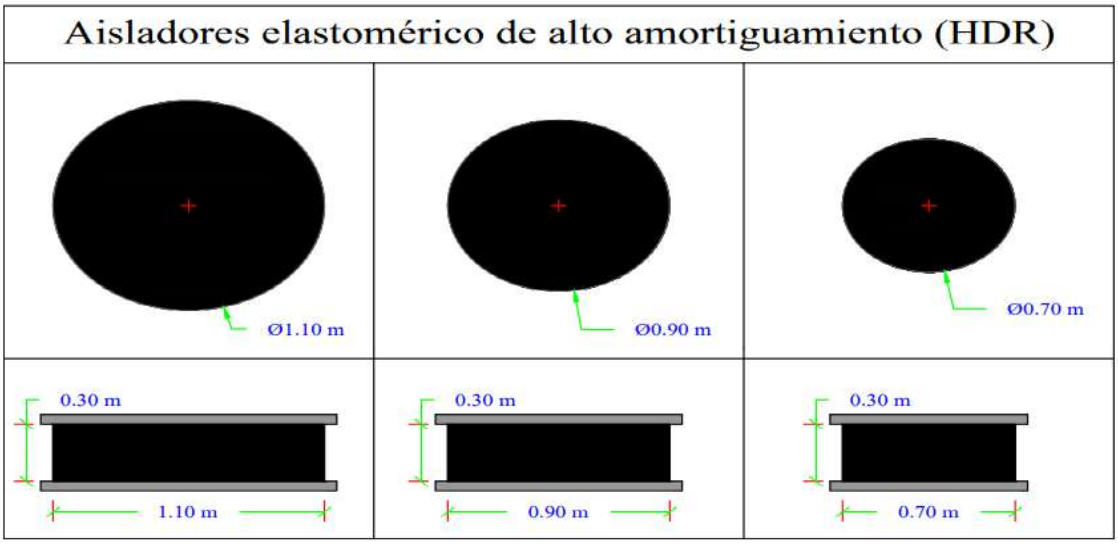


Figura 27. Aisladores elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).
Fuente: Elaboración propia.

6.2.1.3. Características mecánicas con aisladores de alto amortiguamiento HDR

6.2.1.3.1. Características mecánicas del dispositivo Diámetro (70)

1. Rigidez compuesta del sistema

K_H 27,34 kN/mm

K_{H1} 2,79 tn-mm

2. Parámetros del dispositivo

K_{eff}^A	1,28	kN/mm	
D_D	337	mm	Desplazamiento de diseño
B	10 %		Aislador de alto amortiguamiento HDR
Dy	0		Desplazamiento de fluencia (asumimos)
W	3 457,99	tn	Carga última

3. Cálculo de la energía disipada

W_D 91,48 kN/mm

4. Fuerza característica

Q_A 67,94 kN/mm

5. Primera aproximación de la rigidez post-fluencia

K_2A 1 083,03 kN/mm Carga axial del dispositivo

6. Primera aproximación de la rigidez inicial

K_1A 10 830,33 kN/mm Asumimos que K_2 es un 10 % de K_1

7. Desplazamiento de fluencia (iterativo)

D_y^A 0,009385 m

8. Fuerza característica

Q_A 69,89 kN Conociendo el desplazamiento de fluencia

9. Rigidez post-influencia

K_2^A 1 077,24 kN/m

10. Rigidez inicial del dispositivo

K_1^A 8 524,04 kN/m

11. Fuerza de fluencia

F_y^A 80,00 kN

12. Ratio de rigidez

k_2^A/k_1^A 0,126

13. Periodo real de sistema de aislamiento

T_D 2,234 s

14. Frecuencia natural angular

ω 2,812 rad/s

15. Amortiguación efectiva del aislador

C 0,09 kN-s/mm

Tabla 4.

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_A=70cm

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_A=70cm			
Propiedades mecánicas	Símbolo	Dispositivo	Unidad
Rigidez vertical	k_v	2 200	kN/mm
Rigidez efectiva lineal	k_{eff}	1,28	kN/mm
Rigidez inicial	8.52	7,66	kN/mm
Rigidez post fluencia	k_2	1,077	kN/mm
Relación k_1/k_2	k_1/k_2	0,126	ratio
Fuerza de fluencia	F_y	80,00	kN
Energía disipada	W_D	91 475	kN/mm
Amortiguamiento efectivo	C	0,091	kN-s/mm
Masa del dispositivo	M	642	Kg

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.3.2. Características mecánicas del dispositivo Diámetro (90)

1. Rigidez compuesta del sistema

K_H 27,34 kN/mm

K_H1 2,79 tn-mm

2. Parámetros del dispositivo

K_{eff}^A 2,29 kN/mm

D_D 337 mm Desplazamiento de diseño

β	10 %		Aislador de alto amortiguamiento
D_y	0		Desplazamiento de fluencia (asumimos)
W	3 457,99	tn	Carga última

3. Cálculo de la energía disipada

W_D	162,83	kN/m

4. Fuerza característica

Q_A	120,93	kN

5. Primera aproximación de la rigidez post-fluencia

K_2^A	1 927,80	kN/m	Carga axial del dispositivo

6. Primera aproximación de la rigidez inicial

K_1^A	19 277,99	kN/m	Asumimos que K_2 es un 10 % de K_1

7. Desplazamiento de fluencia (iterativo)

D_y^A	0,009385	m

8. Fuerza característica

Q_A	124,40	kN	Conociendo el desplazamiento de fluencia

9. Rigidez post-fluencia

K_2^A	1 917,50	kN/m

10. Rigidez inicial del dispositivo

K_1^A	15 172,79	kN/m

11. Fuerza de fluencia

F_y^A	142,39	kN

12. Ratio de rigidez

k_2^A/k_1^A	0,1

13. Periodo real de sistema de aislamiento

T_D	2,234	s

14. Frecuencia angular

ω	2,812	rad/s

15. Amortiguamiento efectivo del aislador

C	0,16	kN-s/mm

Tabla 5.

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_B=90cm

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_B=90cm			
Propiedades mecánicas	Símbolo	Dispositivo	Unidad
Rigidez vertical	k_v	3 650	kN/mm
Rigidez efectiva lineal	k_{eff}	2,29	kN/mm
Rigidez inicial	k_1	15,17	kN/mm
Rigidez post fluencia	k_2	1,917	kN/mm
Relación k_1/k_2	k_1/k_2	0,126	ratio
Fuerza de fluencia	F_y	142,39	kN
Energía disipada	W_D	162 826	kN/mm
Amortiguamiento efectivo	C	0,163	kN-s/mm
Masa del dispositivo	m	1 078	Kg

Fuente: Elaboración propia.

6.2.1.3.3. Características mecánicas del dispositivo Diámetro (110)

1. Rigidez compuesta del sistema

K_H 27,34 kN/mm

K_H^1 2,79 tn-mm

2. Parámetros del dispositivo

K_{eff}^A 3,60 kN/mm

D_D 337 mm Desplazamiento de diseño

β 10 % Aislador de alto amortiguamiento HDR

D_y 0 Desplazamiento de fluencia (asumimos)

W 3 457,99 tn Carga última

3. Cálculo de la energía disipada

W_D 256,13 kN/m

4. Fuerza característica

Q_A 190.23 kN

5. Primera aproximación de la rigidez post-fluencia

K_2^A 3 032.49 kN/m Carga axial del dispositivo

6. Primera aproximación de la rigidez inicial

K_1^A 30 324,92 kN/m Asumimos que K_2 es un 10% de K_1

7. Desplazamiento de fluencia (iterativo)

D_y^A 0,009385 m

8. Fuerza característica

Q_A 195,68 kN Conociendo el desplazamiento de fluencia

9. Rigidez post-fluencia

K_2^A 3 016,29 kN/m

10. Rigidez inicial del dispositivo

K_1^A 23 867,32 kN/m

11. Fuerza de fluencia

F_y^A 223,99 kN

12. Ratio de rigidez

k_2^A/k_1^A 0,1

13. Periodo real de sistema de aislamiento

T_D 2,234 s

14. Frecuencia angular

ω 2,812 rad/s

15. Amortiguación efectiva del aislador

C 0,26 kN-s/mm

Tabla 6.

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_c=110 cm

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_c=110 cm			
Propiedades mecánicas	Símbolo	Dispositivo	Unidad
Rigidez vertical	k_v	5 267	kN/mm
Rigidez efectiva lineal	k_{eff}	3,60	kN/mm
Rigidez inicial	k_1	23,87	kN/mm
Rigidez post fluencia	k_2	3,016	kN/mm
Relación k_1/k_2	k_1/k_2	0,126	ratio
Fuerza de fluencia	F_y	223,99	kN
Energía disipada	W_D	256 131	kN/mm
Amortiguamiento efectivo	C	0.256	kN*s/mm
Masa del dispositivo	m	1828	Kg

Fuente: Elaboración propia.

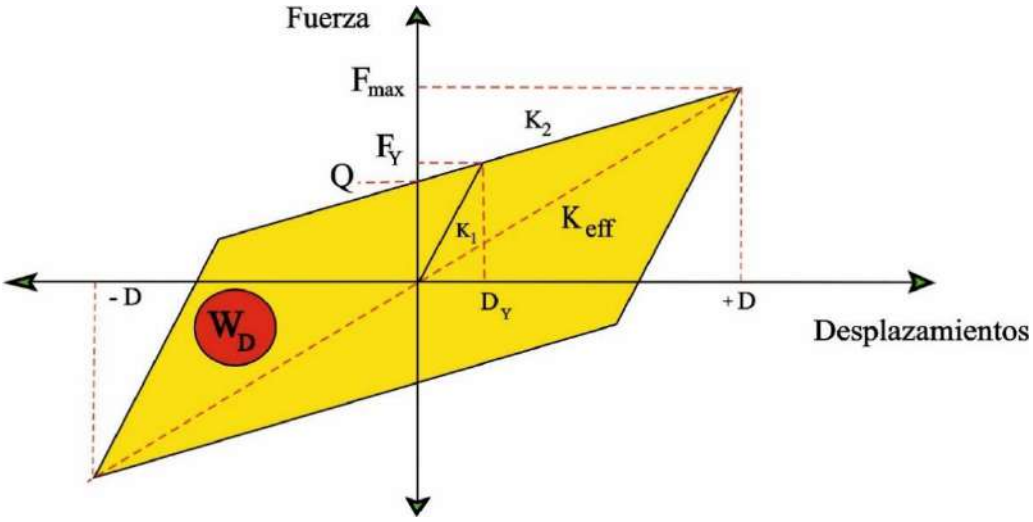


Figura 28. Propiedades mecánicas del modelo bilineal fuerza-deformación de un aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Diseño de los aisladores de núcleo de plomo LRB

6.2.2.1. Características previas de los aisladores de núcleo de plomo LRB

1. Datos de la estructura

Z_4	0,45		Zona sísmica 4
U	1,00		Factor de importancia con uso de aisladores sísmicos
C	2,50		Factor de amplificación sísmica
S	1,05		Suelo intermedio
R	7		Sistema aporticado
A_1	10	m^2	Área efectiva de aplicación para los dispositivos de las esquinas
A_2	17,8	m^2	Área efectiva de aplicación para los dispositivos excéntricos
A_3	28	m^2	Área efectiva de aplicación para los dispositivos centrales

2. Carga viva de la estructura

L	430,02	t	Cargas viva (Etabs)

3. Carga muerta de la estructura

D	1 626,61	t	Cargas muertas (Etabs)

4. Periodo de la estructura

T	0,501	s	Periodo de vibración fundamental

5. Peso de la edificación (Según la E.030)

P	1 841,62	t

6. Carga sísmica horizontal debido a la fuerza cortante

CSH	310,77	t

7. Carga sísmica vertical debido a la fuerza cortante

CSV	576,43	t

8. Carga última

U	3 457,99	t

9. Área del diafragma rígido

A	170	m^2	
U/A	20,34	t/ m^2	Carga por unidad de área

10. Carga en los dispositivos

D_1	203,41	t
D_2	362,07	t
D_3	569,55	t

6.2.2.2. Características físicas de los dispositivos elastoméricos de núcleo de plomo LRB

1. Parámetros para el dispositivo Elastoméricos de Alto Amortiguamiento

Z	0,45		Zonas sísmica 4
S_2	1,05		Suelo intermedio
T_M	3,00	s	Periodo objetivo
C	2,50		Coeficiente de ampliación sísmica
β_M	1,20		Dispositivo de alto amortiguamiento HDR (10%)
b	11,02	m	Lado de la estructura L_1
d	15,41	m	Lado de la estructura L_2
y	7,705	m	Distancia centro de rigidez al punto más lejos de la edificación
e	0,77		Excentricidad
ɣ	1,5		Deformación de corte directa
G	0,9		Módulo de corte (Catalogo TENSA y FIP)

2. Carga última

P_{Umax} 3 457,99 t

3. Espectro elástico de pseudo aceleraciones

S_{aM} 1,772 g

4. Desplazamiento del diseño

D_M 0,238 m

5. Desplazamiento total del diseño

D_{TM} 0,285 m

6. Rigidez horizontal del sistema

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H 21,84 MPa-m

7. Rigidez horizontal por dispositivo

7.1. Dispositivos esquinados

P_{Umax} 203,41 t Carga axial del dispositivo

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H 1,28 MPa-m

7.2. Dispositivos excéntricos

P_{Umax} 362,07 t Carga axial del dispositivo

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H^A 2,29 MPa-m

7.3. Dispositivos céntricos

P_{Umax} 569,55 t Carga axial del dispositivo

T_D 2,5 s Periodo objetivo

K_H^A 3,60 MPa-m

8. Determinar la altura de caucho de los dispositivos

t_r 15,84 cm

9. Área requerida para el dispositivo

9.1. Dispositivos esquinados

A 0,23 m^2

9.2. Dispositivos excéntricos

A 0,40 m^2

9.3. Dispositivos céntricos

A 0,63

10. Diámetro requerido para el dispositivo

10.1. Dispositivos esquinados

d 0,54 m

10.2. Dispositivos excéntricos

d 0,72 m

10.3. Dispositivos céntricos

d 0,90 m

Tabla 7.

Resumen de propiedades físicas con aisladores de núcleo de plomo LRB

Dispositivo	Símbolo	Valor	Unidad	Propiedades físicas
Dispositivo esquinado (D_A)	k_h^A	1,28	MPa-m	Rigidez horizontal
	d_A	0,54	m	Diámetro
Dispositivo excéntrico (D_B)	k_h^B	2,29	MPa-m	Rigidez horizontal
	d_B	0,72	m	Diámetro
Dispositivo céntrico (D_C)	k_h^C	3,60	MPa-m	Rigidez horizontal
	d_C	0,90	m	Diámetro

Fuente: Elaboración propia.

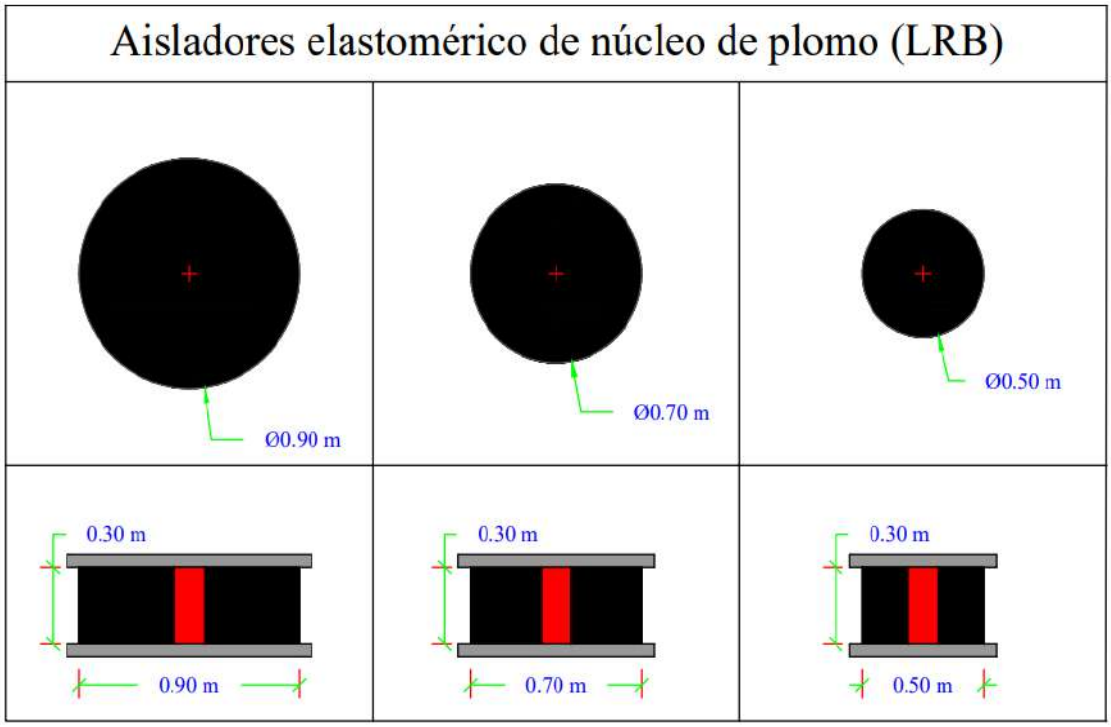


Figura 29. Aisladores elastomérico de núcleo de plomo (LRB).
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.3. Características mecánicas con aisladores de núcleo de plomo LRB

6.2.2.3.1. Características mecánicas del dispositivo esquinado Diámetro (50)

1. Rigidez compuesta del sistema

K_H	27,34	kN/mm	Aisladores elastomérico de núcleo de plomo (LRB).
K_H^1	2,79	Tn-mm	Fuente: Mendoza, W. (2019).

2. Parámetros del dispositivo

K_{eff}^A	1,28	kN/mm	
D_D	238	mm	Desplazamiento de diseño
B	30 %		Aislador de alto amortiguamiento HDR
Dy	0		Desplazamiento de fluencia (asumimos)
W	3 457,99	tn	Carga última

3. Cálculo de la energía disipada

W_D	136,74	kN/mm	

4. Fuerza característica

Q_A	143,87	kN/mm	

5. Primera aproximación de la rigidez post-fluencia

K_2A	679,38	kN/mm	Carga axial del dispositivo

6. Primera aproximación de la rigidez inicial

K_1A 6 793,83 kN/mm Asumimos que K_2 es un 10 % de K_1

7. Desplazamiento de fluencia (iterativo)

D_y^A 0,022363 m

8. Fuerza característica

Q_A 158,81 kN Conociendo el desplazamiento de fluencia

9. Rigidez post-fluencia

K_2^A 616,48 kN/m

10. Rigidez inicial del dispositivo

K_1^A 7 718,11 kN/m

11. Fuerza de fluencia

F_y^A 172,60 kN

12. Ratio de rigidez

k_2^A/k_1^A 0,080

13. Periodo real de sistema de aislamiento

T_D 2,234 s

14. Frecuencia angular

ω 2,812 rad/s

15. Amortiguación efectiva del aislador

C 0,27 kN*s/mm

Tabla 8.

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_A=50 cm

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_A=50 cm			
Propiedades mecánicas	Símbolo	Dispositivo	Unidad
Rigidez vertical	k_v	766	kN/mm
Rigidez efectiva lineal	k_{eff}	1,28	kN/mm
Rigidez inicial	K_1	6,94	kN/mm
Rigidez post fluencia	k_2	0,616	kN/mm
Relación k_1/k_2	k_1/k_2	0,080	ratio
Fuerza de fluencia	F_y	172,60	kN
Energía disipada	W_D	136 738	kN/mm
Amortiguamiento efectivo	C	0,274	kN-s/mm
Masa del dispositivo	M	346	Kg

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.3.2. Características mecánicas del dispositivo Diámetro (70)

1. Rigidez compuesta del sistema

K_H 27,34 kN/mm

K_H1 2,79 Tn-mm

2. Parámetros del dispositivo

K_{eff}^A 2,29 kN/mm

D_D 238 mm Desplazamiento de diseño

β 30 % Aislador de alto amortiguamiento

D_y 0 Desplazamiento de fluencia (asumimos)

W 3 457,99 tn Carga última

3. Cálculo de la energía disipada

W_D 243,39 kN/m

4. Fuerza característica

Q_A 256,08 Kn

5. Primera aproximación de la rigidez post-influencia

K_2^A 1 209,30 kN/m Carga axial del dispositivo

6. Primera aproximación de la rigidez inicial

K_1^A 12 093,02 kN/m Asumimos que K_2 es un 10 % de K_1

7. Desplazamiento de fluencia (iterativo)

D_y^A 0,022363 m

8. Fuerza característica

Q_A 282,69 kN Conociendo el desplazamiento de fluencia

9. Rigidez post-fluencia

K_2^A 1097,33 kN/m

10. Rigidez inicial del dispositivo

K_1^A 13 738,23 kN/m

11. Fuerza de fluencia

F_y^A 307,23 kN

12. Ratio de rigidez

k_2^A/k_1^A 0,1

13. Periodo real de sistema de aislamiento

T_D 2,234 s

14. Frecuencia angular

ω 2,812 rad/s

15. Amortiguamiento efectivo del aislador

C 0,49 kN-s/mm

Tabla 9.

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del excéntrico D_B=70cm

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del excéntrico D_B=70cm			
Propiedades mecánicas	Símbolo	Dispositivo	Unidad
Rigidez vertical	k_v	2 536	kN/mm
Rigidez efectiva lineal	k_{eff}	2,29	kN/mm
Rigidez inicial	k_1	13,74	kN/mm
Rigidez post fluencia	k_2	1,097	kN/mm
Relación k_1/k_2	k_1/k_2	0,080	ratio
Fuerza de fluencia	F_y	307,23	kN
Energía disipada	W_D	243 394	kN/mm
Amortiguamiento efectivo	C	0,488	kN-s/mm
Masa del dispositivo	m	642	Kg

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.3.3. Características mecánicas del dispositivo Diámetro (90)

1. Rigidez compuesta del sistema

K_H 27,34 kN/mm

K_H^1 2,79 t*mm

2. Parámetros del dispositivo

K_{eff}^A 3,60 kN/mm

D_D 238 mm Desplazamiento de diseño

β 30 % Aislador de alto amortiguamiento HDR

D_y 0 Desplazamiento de fluencia (asumimos)

W 3 457,99 t Carga última

3. Cálculo de la energía disipada

W_D 382,87 kN/m

4. Fuerza característica

Q_A 402,83 kN

5. Primera aproximación de la rigidez post-fluencia

K_2^A 1 902,27 kN/m Carga axial del dispositivo

6. Primera aproximación de la rigidez inicial

K_1^A 19 022,72 kN/m Asumimos que K_2 es un 10% de K_1

7. Desplazamiento de fluencia (iterativo)

D_y^A 0,022363 m

8. Fuerza característica

Q_A 444,68 kN Conociendo el desplazamiento de fluencia

9. Rigidez post-fluencia

K_2^A 1 726,14 kN/m

10. Rigidez inicial del dispositivo

$K_1^A t$ 21 610,69 kN/m

11. Fuerza de fluencia

F_y^A 483,28 kN

12. Ratio de rigidez

k_2^A/k_1^A 0,1

13. Periodo real de sistema de aislamiento

T_D 2,234 s

14. Frecuencia angular

ω 2,812 rad/s

15. Amortiguación efectiva del aislador

C 0,77 kN-s/mm

Tabla 10.

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_c=90 cm

Cuadro de resumen de propiedades mecánicas del dispositivo D_c=90 cm			
Propiedades mecánicas	Símbolo	Dispositivo	Unidad
Rigidez vertical	k_v	4 054	kN/mm
Rigidez efectiva lineal	k_{eff}	3,60	kN/mm
Rigidez inicial	k_1	21,61	kN/mm
Rigidez post fluencia	k_2	1,726	kN/mm
Relación k_1/k_2	k_1/k_2	0,080	ratio
Fuerza de fluencia	F_y	483,28	kN
Energía disipada	W_D	382 867	kN/mm
Amortiguamiento efectivo	C	0,768	kN-s/mm
Masa del dispositivo	m	1 078	Kg

Fuente: Elaboración propia.

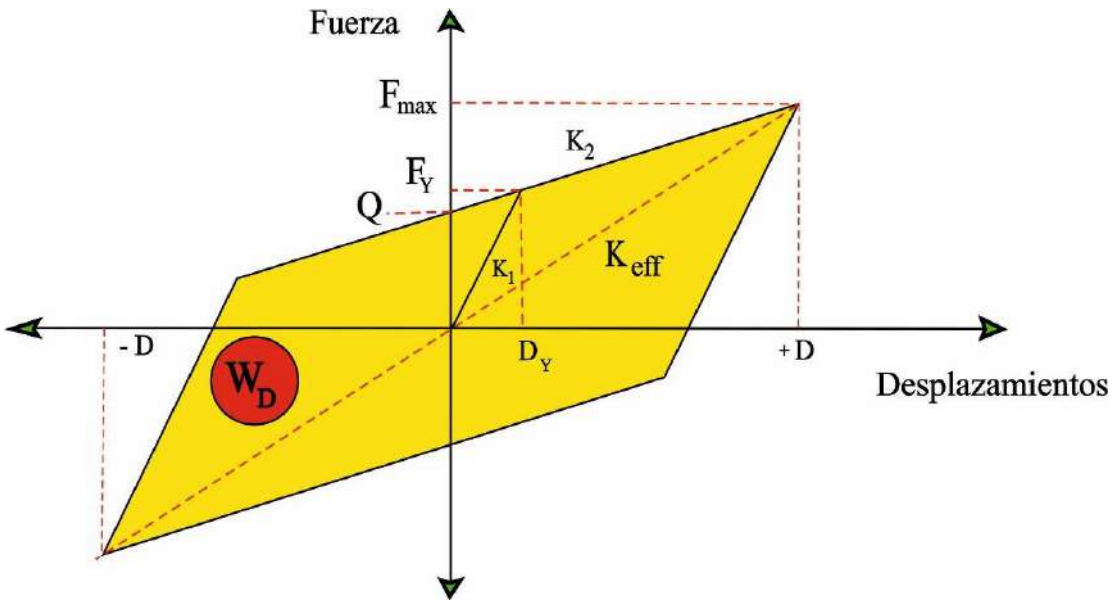


Figura 30. Propiedades mecánicas del modelo bilineal fuerza-deformación de un aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).
Fuente: Elaboración propia.

6.3. Análisis estático y dinámico

6.3.1. Parámetros sísmicos

Z_4=	0,45	Zona sísmico 4
U=	1,50	Uso de la estructura (esencial A1)
C=	2,50	Factor de ampliación sísmica
S=	1,05	Suelo intermedio
R=	7,00	Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas
n =	8	N° pisos
h_n=	24,00	Altura total de edificio
T=	0,516	Periodo fundamental de la estructura
T_P=	0,60	Perfil suelo S_2
T_L=	2,00	Perfil suelo S_2
R_0=	7,00	Sistema estructural dual
I_a=	1,00	No se permite irregularidad en planta y en altura
I_p=	1,00	No se permite irregularidad en planta y en altura

$Z*U*C*S*R^{-1}=$ 0,253

V= 413,05 Cortante basal

K= 1,008

Tabla 11.

Cálculo del cortante basal de la estructura usando el análisis estático

Masa Etabs (tn)	N° Pisos	Masa m_i (tn)	Peso p_i (kN)	Altura h_i (m)	$pi(hi)^k$	α_i	Fuerza F_i	Cortante Basal V_i
13,30	08	13,30	130,387	24,00	3 209,87	0,15	62,02	62,02
21,51	07	21,51	210,907	21,00	4 538,24	0,21	87,69	149,71
21,51	06	21,51	210,907	18,00	3 885,12	0,18	75,07	224,77
21,51	05	21,51	210,907	15,00	3 232,89	0,15	62,46	287,24
21,51	04	21,51	210,907	12,00	2 581,70	0,12	49,88	337,12
21,51	03	21,51	210,907	9,00	1 931,82	0,09	37,33	374,45
21,51	02	21,51	210,907	6,00	1 283,71	0,06	24,80	399,25
21,51	01	24,06	235,962	3,00	714,14	0,03	13,80	413,05
2,56								
166,41	Total		1 631.78		21 377,48		413,05	Correcto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12.

Espectros con diferentes coeficientes de reducción de fuerzas sísmicas (E.0.30)

Periodo (s)	Factor de ampliación sísmica C	Espectro de pseudoaceleración Sa	Espectro R=2	Espectro R=1
0,00	2,500	0,253	0,886	1,772
0,05	2,500	0,253	0,886	1,772
0,10	2,500	0,253	0,886	1,772
0,15	2,500	0,253	0,886	1,772
0,20	2,500	0,253	0,886	1,772
0,25	2,500	0,253	0,886	1,772
0,30	2,500	0,253	0,886	1,772
0,35	2,500	0,253	0,886	1,772
0,40	2,500	0,253	0,886	1,772
0,45	2,500	0,253	0,886	1,772
0,50	2,500	0,253	0,886	1,772
0,55	2,500	0,253	0,886	1,772
0,60	2,500	0,253	0,886	1,772
0,65	2,308	0,234	0,818	1,636
0,70	2,143	0,217	0,759	1,519
0,75	2,000	0,203	0,709	1,418
0,80	1,875	0,190	0,664	1,329
0,85	1,765	0,179	0.625	1,251
0,90	1,667	0,169	0.591	1,181
0,95	1,579	0,160	0,560	1,119

1,00	1,500	0,152	0,532	1,063
1,05	1,429	0,145	0,506	1,013
1,10	1,364	0,138	0,483	0,966
1,15	1,304	0,132	0,462	0,924
1,20	1,250	0,127	0,443	0,886
1,25	1,200	0,122	0,425	0,851
1,30	1,154	0,117	0,409	0,818
1,35	1,111	0,113	0,394	0,788
1,40	1,071	0,108	0,380	0,759
1,45	1,034	0,105	0,367	0,733
1,50	1,000	0,101	0,354	0,709
1,55	0,968	0,098	0,343	0,686
1,60	0,938	0,095	0,332	0,664
1,65	0,909	0,092	0,322	0,644
1,70	0,882	0,089	0,313	0,625
1,75	0,857	0,087	0,304	0,608
1,80	0,833	0,084	0.295	0,591
1,85	0,811	0,082	0,287	0,575
1.90	0,789	0,080	0,280	0,560
1.95	0,769	0,078	0,273	0,545
2,00	0,750	0,076	0,266	0,532
2,05	0,714	0,072	0,253	0,506
2,10	0,680	0,069	0,241	0,482
2,15	0,649	0,066	0,230	0,460
2,20	0,620	0,063	0,220	0,439
2,25	0,593	0,060	0,210	0,420
2,30	0,567	0,057	0,201	0,402
2,35	0,543	0,055	0,193	0,385
2,40	0,521	0,053	0,185	0,369
2,45	0,500	0,051	0,177	0,354
2,50	0,480	0,049	0,170	0,340
2,55	0,461	0,047	0,163	0,327
2,60	0,444	0,045	0,157	0,315
2,65	0,427	0,043	0,151	0,303
2,70	0,412	0,042	0,146	0,292
2,75	0,397	0,040	0,141	0,281
2,80	0,383	0,039	0,136	0,271
2,85	0,369	0,037	0,131	0,262
2,90	0,357	0,036	0,126	0,253
2,95	0,345	0,035	0,122	0,244
3,00	0,333	0,034	0,118	0,236

Fuente: Elaboración propia.

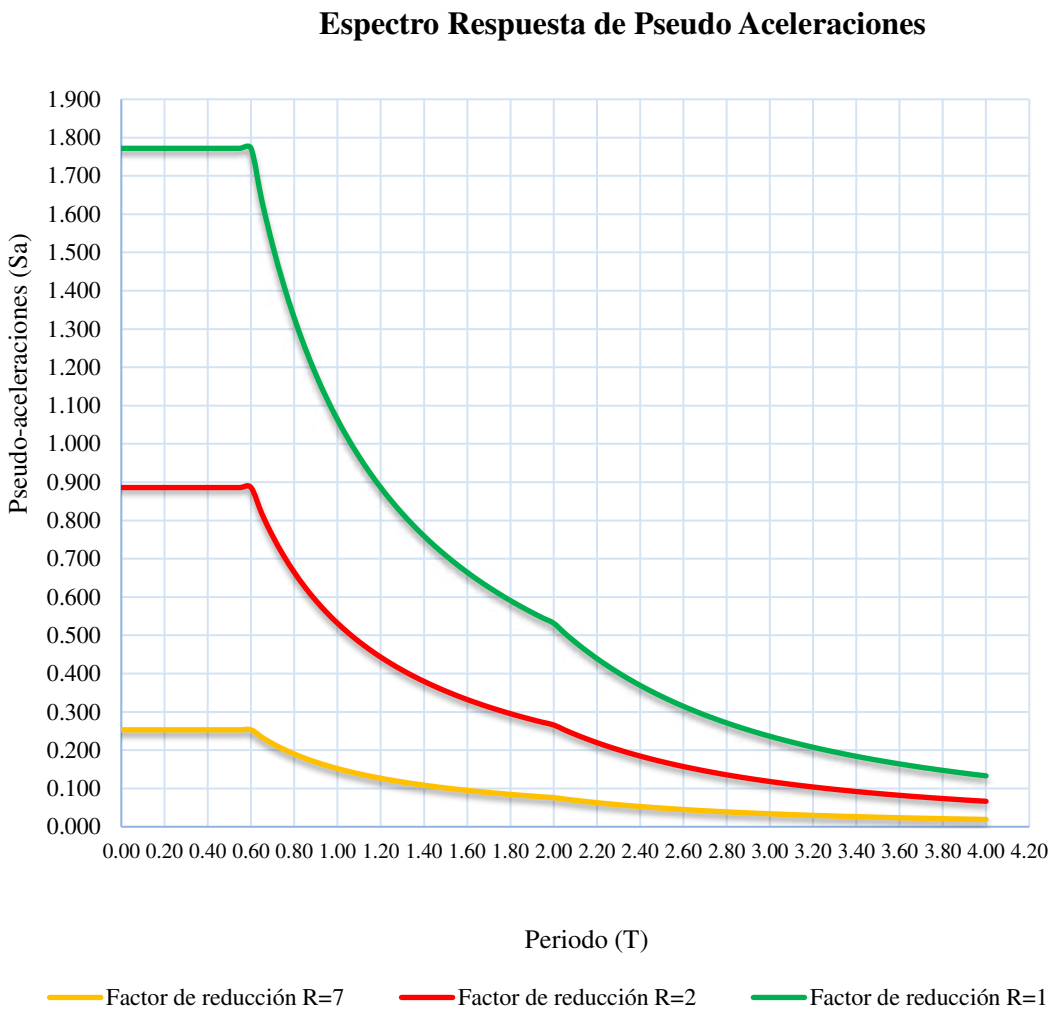


Figura 31. Espectro de respuesta de Pseudo aceleraciones.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.

Espectros con diferentes coeficientes de reducción de fuerzas sísmica (E.031)

Periodo (s)	Factor de ampliación sísmica C	Espectro de pseudoaceleración Sa	Espectro R=2	Espectro R=1
0,00	1,000	0,068	0,236	0,473
0,05	1,625	0,110	0,384	0,768
0,10	2,250	0,152	0,532	1,063
0,15	2,500	0,169	0,591	1,181
0,20	2,500	0,169	0,591	1,181
0,25	2,500	0,169	0,591	1,181
0,30	2,500	0,169	0,591	1,181
0,35	2,500	0,169	0,591	1,181
0,40	2,500	0,169	0,591	1,181
0,45	2,500	0,169	0,591	1,181
0,50	2,500	0,169	0,591	1,181
0,55	2,500	0,169	0,591	1,181
0,60	2,500	0,169	0,591	1,181
0,65	2,308	0,156	0,545	1,090
0,70	2,143	0,145	0.506	1,013
0,75	2,000	0,135	0,473	0,945
0,80	1,875	0,127	0,443	0,886
0,85	1,765	0,119	0,417	0,834
0,90	1,667	0,113	0,394	0,788
0.95	1,579	0,107	0,373	0,746
1,00	1,500	0,101	0,354	0,709
1,05	1,429	0,096	0,338	0,675
1,10	1,364	0,092	0,322	0,644
1,15	1,304	0,088	0,308	0,616
1,20	1,250	0,084	0,295	0,591
1,25	1,200	0,081	0,284	0,567
1,30	1,154	0,078	0,273	0,545
1,35	1,111	0,075	0,263	0,525
1,40	1,071	0,072	0,253	0,506
1,45	1,034	0,070	0,244	0,489
1,50	1,000	0,068	0,236	0,473
1,55	0,968	0,065	0,229	0,457
1,60	0,938	0,063	0,221	0,443
1,65	0,909	0,061	0,215	0,430
1,70	0,882	0,060	0,208	0,417
1,75	0,857	0,058	0,203	0,405
1,80	0,833	0,056	0,197	0,394
1,85	0,811	0,055	0,192	0,383

1,90	0,789	0,053	0,187	0,373
1,95	0,769	0,052	0,182	0,363
2,00	0,750	0,051	0,177	0,354
2,05	0,714	0,048	0,169	0,337
2,10	0,680	0,046	0,161	0,321
2,15	0,649	0,044	0,153	0,307
2.20	0,620	0,042	0,146	0,293
2,25	0,593	0,040	0,140	0,280
2,30	0,567	0,038	0,134	0,268
2,35	0,543	0,037	0,128	0,257
2,40	0,521	0,035	0,123	0,246
2,45	0,500	0,034	0,118	0,236
2,50	0,480	0,032	0,113	0,227
2,55	0,461	0,031	0,109	0,218
2,60	0,444	0,030	0,105	0,210
2.65	0,427	0,029	0,101	0,202
2.70	0,412	0,028	0,097	0,194
2.75	0,397	0,027	0,094	0,187
2,80	0,383	0,026	0,090	0,181
2,85	0,369	0,025	0,087	0,175
2,90	0,357	0,024	0,084	0,169
2,95	0,345	0,023	0,081	0,163
3,00	0,333	0,023	0,079	0,158
3,05	0,322	0,022	0,076	0,152
3,10	0,312	0,021	0,074	0,148
3,15	0,302	0,020	0,071	0,143
3,20	0,293	0,020	0,069	0,138
3,25	0,284	0,019	0,067	0,134
3,30	0,275	0,019	0,065	0,130
3,35	0,267	0,018	0,063	0,126
3,40	0,260	0,018	0,061	0,123
3,45	0,252	0,017	0,060	0,119
3,50	0,245	0,017	0,058	0,116
3,55	0,238	0,016	0,056	0,112
3,60	0,231	0,016	0,055	0,109
3,65	0,225	0,015	0,053	0,106
3,70	0,219	0,015	0,052	0,104
3,75	0,213	0,014	0,050	0,101
3,80	0,208	0,014	0,049	0,098
3,85	0,202	0,014	0,048	0,096
3,90	0,197	0,013	0,047	0,093
3,95	0,192	0,013	0,045	0,091
4,00	0,188	0,013	0,044	0,089

Fuente: Elaboración propia.

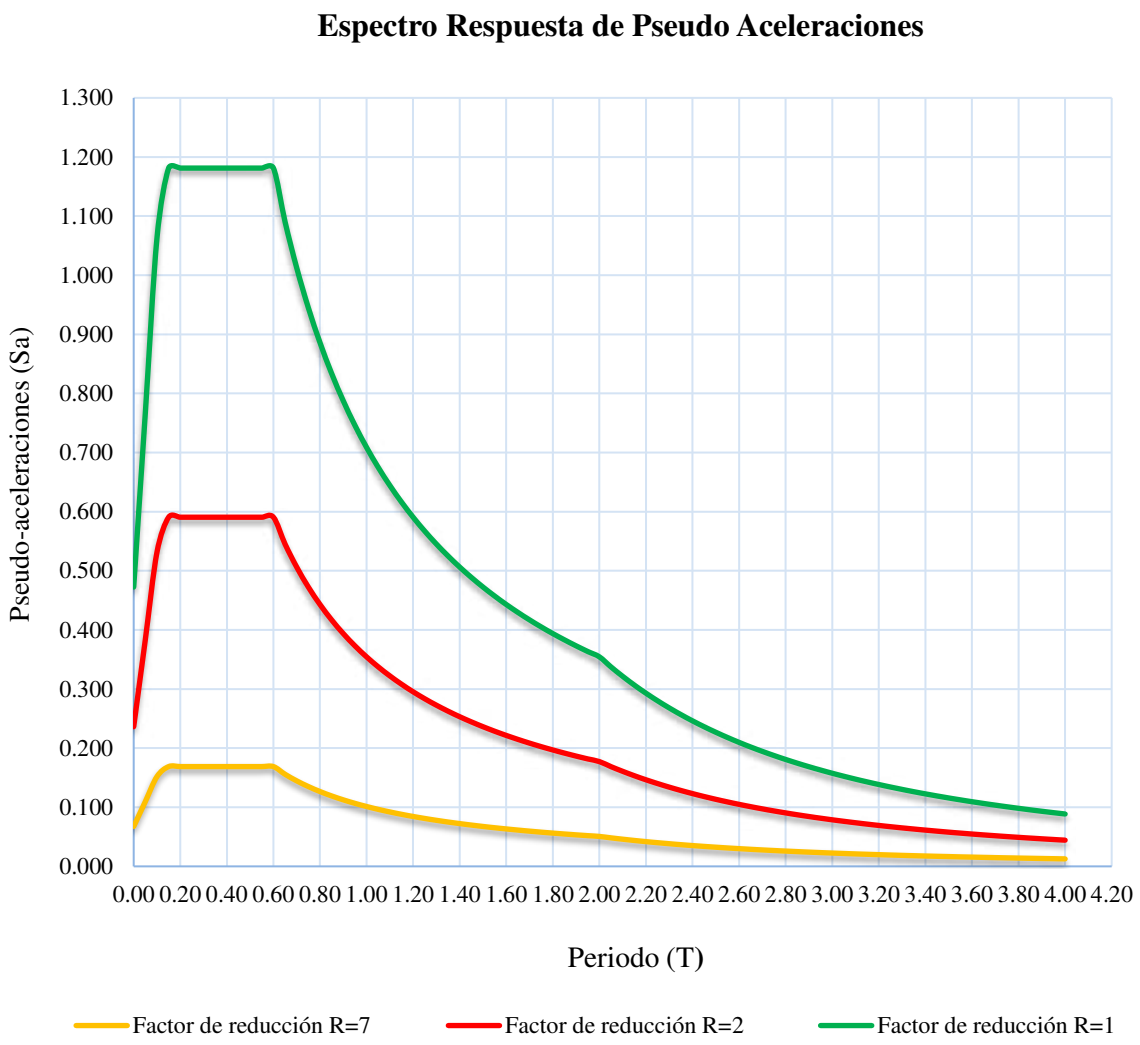


Figura 32. Espectro de respuesta de Pseudo aceleraciones.
Fuente: Mendoza, W. (2021).

6.4. Modelamiento computacional

La modelación de las dos edificaciones (base fija y base aislada) consta de elementos estructurales, de materiales y parámetros recopilados del expediente técnico. Se utiliza el software Etabs 18, en donde se definieron materiales, secciones, ejes y cargas.

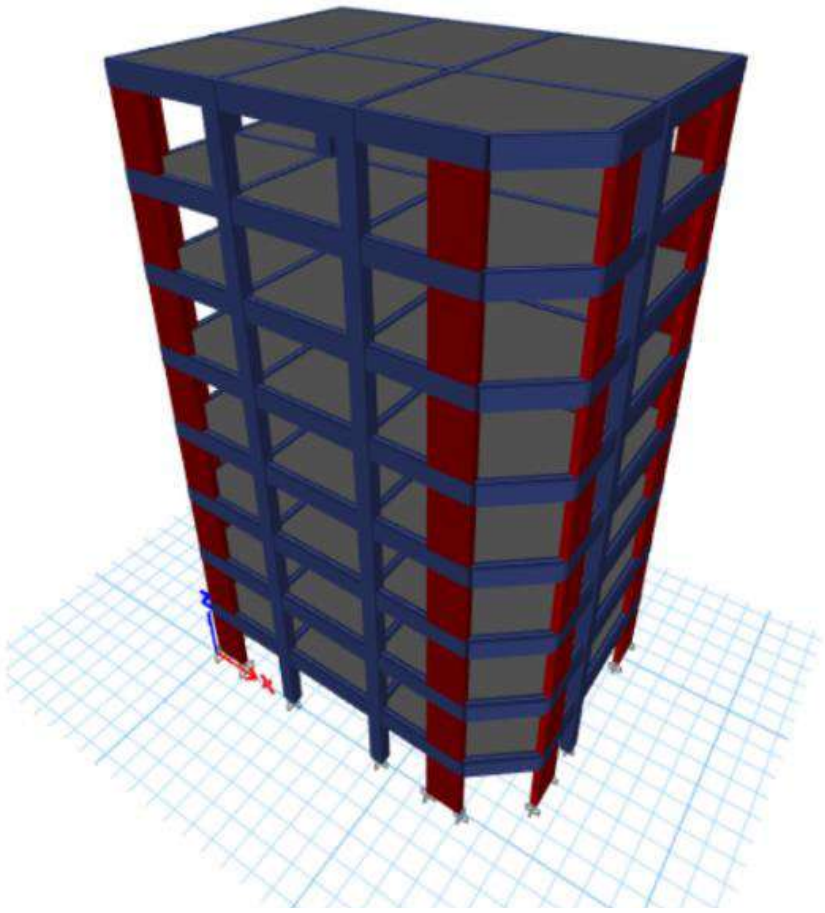


Figura 33. Modelamiento estructural del Centro Médico San Conrado
Fuente: Elaboración propia.

6.4.1. Modelamiento de la estructura convencional

La edificación convencional, se realizó de forma ordenada y detallada respetando todos los parámetros y elementos de la edificación. Es necesario definir la modelo para el procedimiento modal que es condicionado por el peso propio de la edificación y las masas distribuidas en las diferentes losas de la edificación esencial.

6.4.2. Modelamiento de la estructura aislada

La edificación aislada se tomó en cuenta los datos brindados por las características definidas en el expediente técnico y otras del predimensionamiento realizado del edificio (datos obtenidos de diseñar los dispositivos sísmicos), mencionadas en el capítulo anterior.

Capitulo VII

Resultados

Tabla 14.

Periodos y frecuencias modales – estructura con base fija

N° de modos de vibración	Período (s)	Frecuencia (Hertz)
Modo 1	0,516	1,937
Modo 2	0,486	2,057
Modo 3	0,333	3,004
Modo 4	0,151	6,626
Modo 5	0,134	7,437
Modo 6	0,092	10,886
Modo 7	0,075	13,272
Modo 8	0,064	15,688
Modo 9	0,046	21,588
Modo 10	0,043	23,02
Modo 11	0,038	26,023
Modo 12	0,032	31,545
Modo 13	0,027	37,689
Modo 14	0,026	38,077
Modo 15	0,023	42,609
Modo 16	0,020	49,666
Modo 17	0,019	53,592
Modo 18	0,018	54,536
Modo 19	0,016	60,614
Modo 20	0,016	62,129
Modo 21	0,015	68,635
Modo 22	0,014	70,483
Modo 23	0,012	84,196
Modo 24	0,011	93,722

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.

Periodos modales y frecuencias - Estructura con base aislada - HDR

N° de modos de vibración	Período (s)	Frecuencia (Hertz)
Modo 1	1,859	0,538
Modo 2	1,797	0,557
Modo 3	1,700	0,588
Modo 4	0,375	2,669
Modo 5	0,355	2,818
Modo 6	0,267	3,740
Modo 7	0,167	5,981
Modo 8	0,163	6,148

Modo 9	0,119	8,395
Modo 10	0,098	10,246
Modo 11	0,096	10,454
Modo 12	0,069	14,575
Modo 13	0,066	15,260
Modo 14	0,063	15,844
Modo 15	0,047	21,481
Modo 16	0,044	22,617
Modo 17	0,044	22,790
Modo 18	0,035	28,873
Modo 19	0,032	30,928
Modo 20	0,030	32,885
Modo 21	0,026	37,919
Modo 22	0,025	40,451
Modo 23	0,022	45,078
Modo 24	0,021	47,549

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.

Periodos modales y frecuencias - Estructura con base aislada - LRB

N° de modos de vibración	Período (s)	Frecuencia (Hertz)
Modo 1	1,859	0,538
Modo 2	1,796	0,557
Modo 3	1,700	0,588
Modo 4	0,374	2,674
Modo 5	0,353	2,833
Modo 6	0,267	3,750
Modo 7	0,167	5,989
Modo 8	0,161	6,196
Modo 9	0,119	8,428
Modo 10	0,097	10,266
Modo 11	0,095	10,556
Modo 12	0,068	14,660
Modo 13	0,065	15,329
Modo 14	0,063	15,992
Modo 15	0,046	21,620
Modo 16	0,044	22,809
Modo 17	0,044	22,978
Modo 18	0,034	29,110
Modo 19	0,032	31,154
Modo 20	0,030	33,179
Modo 21	0,026	38,300
Modo 22	0,025	40,634
Modo 23	0,022	45,462
Modo 24	0,021	48,062

Sistema estructural

Tabla 17.

Cortante total en los muros del centro de salud

Cortante total en los muros del centro de salud			
		Base Fija	
N° de Piso	Muros	V_X (tn-f)	V_Y (tn-f)
Piso 01	Muro 01	69,46	69,15
Piso 01	Muro 02	61,73	65,82
Piso 01	Muro 03	67,74	70,34
Piso 01	Muro 04	56,01	73,29
		254,95	278,60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. *Cortante total en las columnas del centro de salud*

Cortante total en las columnas de la dirección X			
N° de Piso	Columnas	V_X (tn-f)	Vy (tn-f)
Piso 01	C3	9,61	3,46
Piso 01	C3	9,61	3,46
Piso 01	C3	9,61	3,46
Piso 01	C4	9,77	3,47
Piso 01	C4	9,77	3,47
Piso 01	C4	9,77	3,47
Piso 01	C6	4,12	9,59
Piso 01	C6	4,12	9,59
Piso 01	C6	4,12	9,59
Piso 01	C11	7,79	6,62
Piso 01	C11	7,79	6,62
Piso 01	C11	7,79	6,62
Piso 01	C12	3,44	9,60
Piso 01	C12	3,44	9,60
Piso 01	C12	3,44	9,60
Piso 01	C15	8,87	3,30
Piso 01	C15	8,87	3,30
Piso 01	C15	8,87	3,30
Piso 01	C16	9,92	3,16
Piso 01	C16	9,92	3,16
Piso 01	C16	9,92	3,16
Piso 01	C18	8,11	6,40
Piso 01	C18	8,11	6,40
Piso 01	C18	8,11	6,40
		184,9158	136,7883

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.

Porcentaje de cortantes

Porcentaje de cortantes			
Dirección X	57,96 %	Placas	Sistema Dual
	42,04 %	Columnas	
Dirección Y	67,07 %	Placas	
	32,93 %	Columnas	

Fuente: Elaboración propia

Verificación de derivas – base fija

Tabla 20.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X

N° de pisos	U_x (mm)	U_y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas elásticas (%)	Norma E.030	Verificación
Piso 08	23,617	12,2	3000	1,995	0,067	0,700	Correcto
Piso 07	21,622	11,02	3000	2,488	0,083	0,700	Correcto
Piso 06	19,134	9,611	3000	3,067	0,102	0,700	Correcto
Piso 05	16,067	7,948	3000	3,551	0,118	0,700	Correcto
Piso 04	12,516	6,085	3000	3,840	0,128	0,700	Correcto
Piso 03	8,676	4,131	3000	3,810	0,127	0,700	Correcto
Piso 02	4,866	2,259	3000	3,262	0,109	0,700	Correcto
Piso 01	1,604	0,728	3000	1,604	0,053	0,700	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección Y

Desplazamiento máximo del centro de Médico San Conrado *en la dirección Y*

N° de Pisos	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Elásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	12,159	22,081	3000	2,211	0,0737	0,700	Correcto
Piso 07	11,113	19,87	3000	2,610	0,0870	0,700	Correcto
Piso 06	9,818	17,26	3000	3,043	0,1014	0,700	Correcto
Piso 05	8,232	14,217	3000	3,381	0,1127	0,700	Correcto
Piso 04	6,404	10,836	3000	3,517	0,1172	0,700	Correcto
Piso 03	4,434	7,319	3000	3,338	0,1113	0,700	Correcto
Piso 02	2,484	3,981	3000	2,699	0,0900	0,700	Correcto
Piso 01	0,819	1,282	3000	1,282	0,0427	0,700	Correcto

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 22.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X							
N° de pisos	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas inelásticas (%)	Norma E.030	Verificación
Piso 08	123,989	64,070	3000	10,472	0,35	0,700	Correcto
Piso 07	113,517	57,865	3000	13,066	0,44	0,700	Correcto
Piso 06	100,451	50,460	3000	16,101	0,54	0,700	Correcto
Piso 05	84,35	41,729	3000	18,643	0,62	0,700	Correcto
Piso 04	65,707	31,947	3000	20,157	0,67	0,700	Correcto
Piso 03	45,550	21,689	3000	20,004	0,67	0,700	Correcto
Piso 02	25,546	11,860	3000	17,123	0,57	0,700	Correcto
Piso 01	8,423	3,822	3000	8,423	0,28	0,700	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección Y

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección Y*							
N° de pisos	Ux (mm)	U_y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas inelásticas (%)	Norma E.030	Verificación
Piso 08	63,834	115,93	3000	11,610	0,39	0,700	Correcto
Piso 07	58,342	104,32	3000	13,700	0,46	0,700	Correcto
Piso 06	51,545	90,617	3000	15,979	0,53	0,700	Correcto
Piso 05	43,220	74,638	3000	17,750	0,59	0,700	Correcto
Piso 04	33,622	56,888	3000	18,462	0,62	0,700	Correcto
Piso 03	23,276	38,426	3000	17,527	0,58	0,700	Correcto
Piso 02	13,041	20,899	3000	14,166	0,47	0,700	Correcto
Piso 01	4,301	6,733	3000	6,733	0,22	0,700	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Verificación de derivas – base aislada 10 %

Dispositivo elastoméricos de alto amortiguamiento HDR

Espectro Inelástico considerando un coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R=1)

Tabla 24.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X, con espectro inelástica R=1

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X, con espectro inelástico R=1 (evaluar desplazamientos)							
N° de piso	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031	Verificación
Piso 08	245,28	76,51	3000	1,504	0,050	0,350	Correcto
Piso 07	243,77	75,86	3000	2,522	0,084	0,350	Correcto
Piso 06	241,25	74,91	3000	3,542	0,118	0,350	Correcto

Piso 05	237,71	73,63	3000	4,547	0,152	0,350	Correcto
Piso 04	233,16	72,02	3000	5,520	0,184	0,350	Correcto
Piso 03	227,64	70,11	3000	6,307	0,210	0,350	Correcto
Piso 02	221,34	67,97	3000	6,944	0,231	0,350	Correcto
Piso 01	214,39	65,69	3000	5,995	0,200	0,350	Correcto
Diafragma Rígido	208,40	63,88					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección Y, con espectro inelastica R=1 (evaluar desplazamientos)

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con espectro inelástico R=1

N° de pisos	U_x (mm)	U_y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031	Verificación
Piso 08	75,52	254,55	3000	2,200	0,073	0,350	Correcto
Piso 07	75,17	252,39	3000	3,153	0,105	0,350	Correcto
Piso 06	74,40	249,20	3000	4,263	0,142	0,350	Correcto
Piso 05	73,30	244,94	3000	5,356	0,179	0,350	Correcto
Piso 04	71,90	239,58	3000	6,376	0,213	0,350	Correcto
Piso 03	70,20	233,21	3000	7,150	0,238	0,350	Correcto
Piso 02	68,26	226,06	3000	7,633	0,254	0,350	Correcto
Piso 01	66,13	218,42	3000	6,346	0,212	0,350	Correcto
Diafragma Rígido	64,28	212,08					

Fuente: Elaboración propia

Espectro Inelástico considerando un coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R=2)

Tabla 26. *Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X con espectro R=2 (evaluar derivas)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X, con espectro R=2 (evaluar derivas)

N° de pisos	U_x (mm)	U_y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031	Criterio Hazus	Verificación
Piso 08	322,136	100,441	3000	1,972	0,066	0,350	0,250	Correcto
Piso 07	320,164	99,596	3000	3,312	0,110	0,350	0,250	Correcto
Piso 06	316,852	98,350	3000	4,651	0,155	0,350	0,250	Correcto
Piso 05	312,201	96,667	3000	5,972	0,199	0,350	0,250	Correcto
Piso 04	306,229	94,556	3000	7,249	0,242	0,350	0,250	Correcto
Piso 03	298,980	92,047	3000	8,284	0,276	0,350	0,250	Correcto
Piso 02	290,696	89,238	3000	9,119	0,304	0,350	0,250	Correcto
Piso 01	281,577	86,245	3000	7,874	0,262	0,350	0,250	Correcto
Diafragma Rígido	273.703	83.869						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección Y, con respecto R=2 (evaluar derivas)

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con espectro R=2 (evaluar derivas)

N° de pisos	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Criterio Hazus (%)	Verificación
Piso 08	99,190	334,179	3000	2,888	0,096	0,350	0,250	Correcto
Piso 07	98,734	331,291	3000	4,139	0,138	0,350	0,250	Correcto
Piso 06	97,711	327,152	3000	5,596	0,187	0,350	0,250	Correcto
Piso 05	96,277	321,556	3000	7,032	0,234	0,350	0,250	Correcto
Piso 04	94,438	314,524	3000	8,370	0,279	0,350	0,250	Correcto
Piso 03	92,205	306,154	3000	9,387	0,313	0,350	0,250	Correcto
Piso 02	89,657	296,767	3000	10,019	0,334	0,350	0,250	Correcto
Piso 01	86,851	286,748	3000	8,331	0,278	0,350	0,250	Correcto
Diafragma Rígido	84,425	278,417						

Fuente: Elaboración propia

Verificación de derivas – base aislada 30 %

Dispositivo elastomérico con núcleo de plomo LRB

Espectro Inelástico considerando un coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R=1)

Tabla 28.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X, con espectro inelástico R=1 (evaluar desplazamientos)

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X, con espectro inelástico R=1 (evaluar desplazamientos)

N° de Pisos	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	171,030	52,247	3000	1,046	0,035	0,350	Correcto
Piso 07	169,984	51,816	3000	1,740	0,058	0,350	Correcto
Piso 06	168,244	51,174	3000	2,439	0,081	0,350	Correcto
Piso 05	165,805	50,306	3000	3,131	0,104	0,350	Correcto
Piso 04	162,674	49,216	3000	3,804	0,127	0,350	Correcto
Piso 03	158,870	47,919	3000	4,350	0,145	0,350	Correcto
Piso 02	154,520	46,466	3000	4,786	0,160	0,350	Correcto
Piso 01	149,734	44,913	3000	4,148	0,138	0,350	Correcto
Diafragma Rígido	145,586	43,668					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección Y, con espectro inelástico R=1 (evaluar desplazamientos)

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con espectro inelástico R=1 (evaluar desplazamientos)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	52,594	173,900	3000	1,481	0,049	0,350	Correcto
Piso 07	52,355	172,419	3000	2,133	0,071	0,350	Correcto
Piso 06	51,817	170,286	3000	2,886	0,096	0,350	Correcto
Piso 05	51,067	167,400	3000	3,629	0,121	0,350	Correcto
Piso 04	50,104	163,771	3000	4,326	0,144	0,350	Correcto
Piso 03	48,935	159,445	3000	4,858	0,162	0,350	Correcto
Piso 02	47,600	154,587	3000	5,198	0,173	0,350	Correcto
Piso 01	46,131	149,389	3000	4,342	0,145	0,350	Correcto
Diafragma Rígido	44,850	145,047					

Fuente: Elaboración propia.

Espectro Inelástico considerando un coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R=2)

Tabla 30.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección X, con espectro inelástica R=2 (evaluar derivas)

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* X, con espectro inelástica R=2 (evaluar derivas)								
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Criterio Hazus (%)	Verificación
Piso 08	224,606	68,591	3000	1,370	0,046	0,350	0,250	Correcto
Piso 07	223,236	68,026	3000	2,285	0,076	0,350	0,250	Correcto
Piso 06	220,951	67,182	3000	3,203	0,107	0,350	0,250	Correcto
Piso 05	217,748	66,042	3000	4,113	0,137	0,350	0,250	Correcto
Piso 04	213,635	64,612	3000	4,996	0,167	0,350	0,250	Correcto
Piso 03	208,639	62,909	3000	5,711	0,190	0,350	0,250	Correcto
Piso 02	202,928	61,001	3000	6,286	0,210	0,350	0,250	Correcto
Piso 01	196,642	58,963	3000	5,448	0,182	0,350	0,250	Correcto
Diafragma Rígido	191,194	57,329						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31.

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado en la dirección Y, con espectro R=2 (evaluar derivas)

Desplazamiento máximo del Centro Médico San Conrado *en la dirección* Y, con espectro R=2 (evaluar derivas)

N° de Pisos	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Criterio Hazus (%)	Verificación
Piso 08	69,069	228,298	3000	1,943	0,065	0,350	0,250	Correcto
Piso 07	68,755	226,355	3000	2,801	0,093	0,350	0,250	Correcto
Piso 06	68,050	223,554	3000	3,788	0,126	0,350	0,250	Correcto
Piso 05	67,064	219,766	3000	4,765	0,159	0,350	0,250	Correcto
Piso 04	65,800	215,001	3000	5,679	0,189	0,350	0,250	Correcto
Piso 03	64,264	209,322	3000	6,378	0,213	0,350	0,250	Correcto
Piso 02	62,511	202,944	3000	6,823	0,227	0,350	0,250	Correcto
Piso 01	60,582	196,121	3000	5,700	0,190	0,350	0,250	Correcto
Diafragma Rígido	58,900	190,421						

Fuente: Elaboración propia

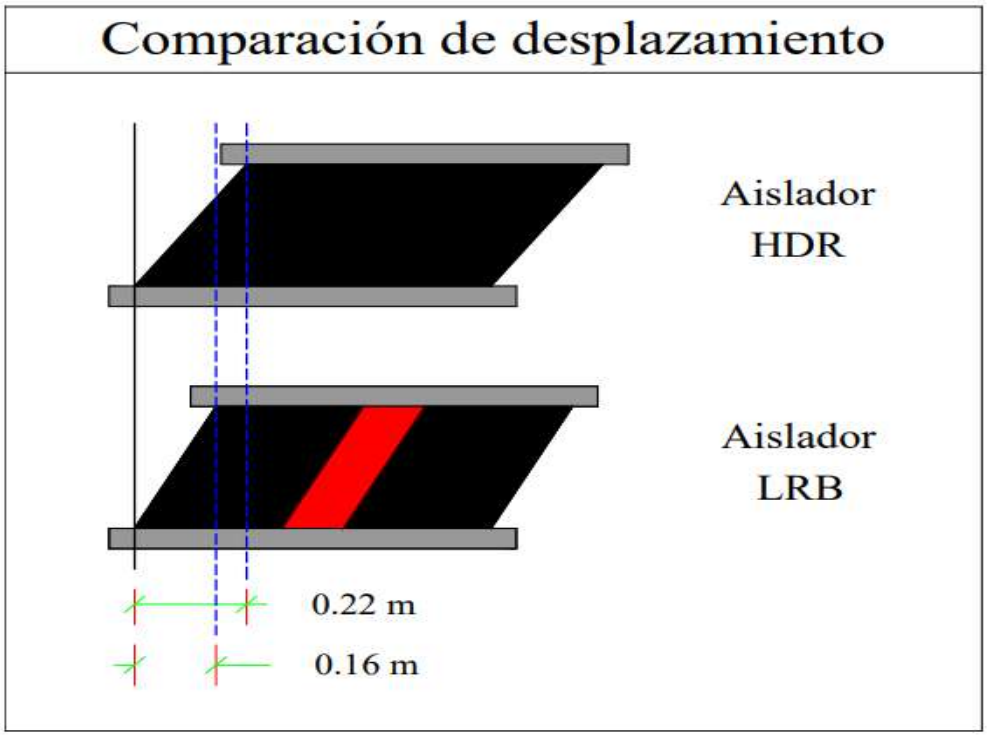


Figura 34. Comparación de desplazamiento.
Fuente: Elaboración propia

La Normativa Técnica de Aislación Sísmica (E.031) señala que el amortiguamiento efectivo en cada dispositivo es muy importante porque origina mayores o menores desplazamientos, según la norma técnica de aislamiento sísmico le corresponde un factor de 1,2 para un porcentaje de amortiguamiento crítico de 10 % (Aislador HDR); y un factor de 1,7 para porcentaje de amortiguamiento crítico de 30 % (Aislador LRB).

7.1. Comparación de las derivas

Tabla 32.

Comparación de derivas - Eje X

Comparación de derivas - Eje X					
			Derivas aisladas		
N° Pisos	Derivas fijas	Límite E.030	Aislador HDR	Aislador LRB	Límite E.031
8	0,349	0,700	0,066	0,046	0,350
7	0,436	0,700	0,110	0,076	0,350
6	0,537	0,700	0,155	0,107	0,350
5	0,621	0,700	0,199	0,137	0,350
4	0,672	0,700	0,242	0,167	0,350
3	0,667	0,700	0,276	0,190	0,350
2	0,571	0,700	0,304	0,210	0,350
1	0,281	0,700	0,262	0,182	0,350
0	0,000	0,700	0,000	0,000	0,350

Fuente: Elaboración propia

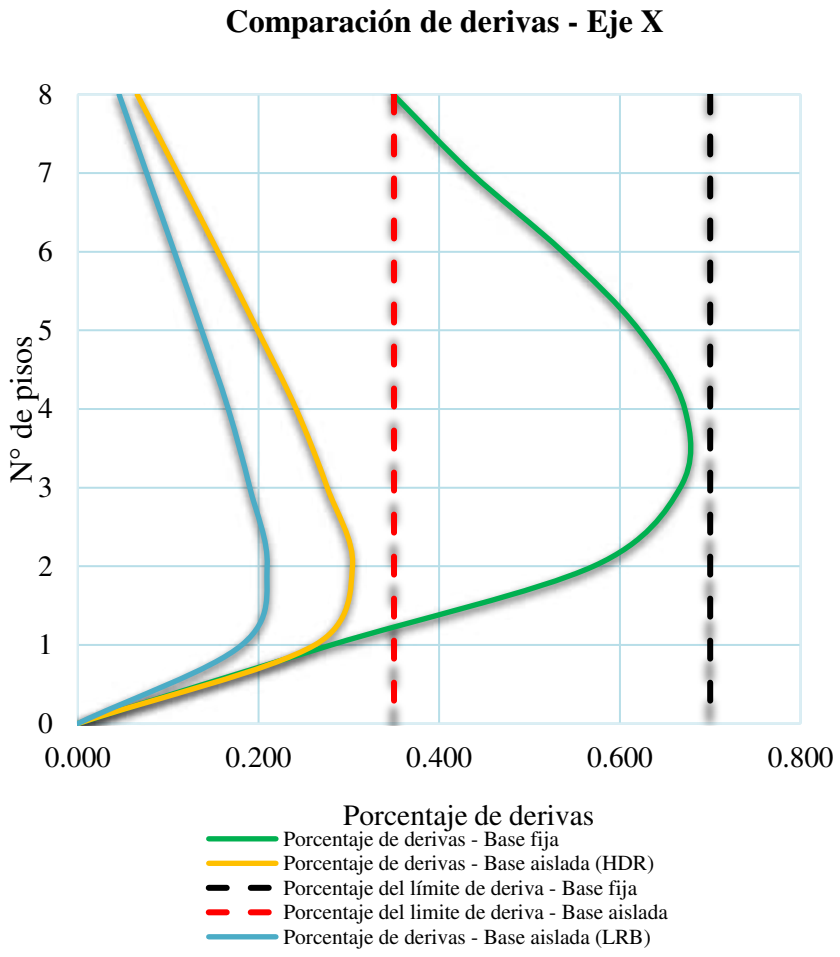


Figura 35. Comparación de derivas – Eje X.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.

Comparación de derivas – Eje Y

Comparación de derivas - Eje Y					
			Derivas aisladas		
N° Pisos	Derivas fijas	Límite E.030	Aislador HDR	Aislador LRB	Límite
8	0,387	0,700	0,096	0,065	0,350
7	0,457	0,700	0,138	0,093	0,350
6	0,533	0,700	0,187	0,126	0,350
5	0,592	0,700	0,234	0,159	0,350
4	0,615	0,700	0,279	0,189	0,350
3	0,584	0,700	0,313	0,213	0,350
2	0,472	0,700	0,334	0,227	0,350
1	0,224	0,700	0,278	0,190	0,350
0	0,000	0,700	0,000	0,000	0,350

Fuente: Elaboración propia

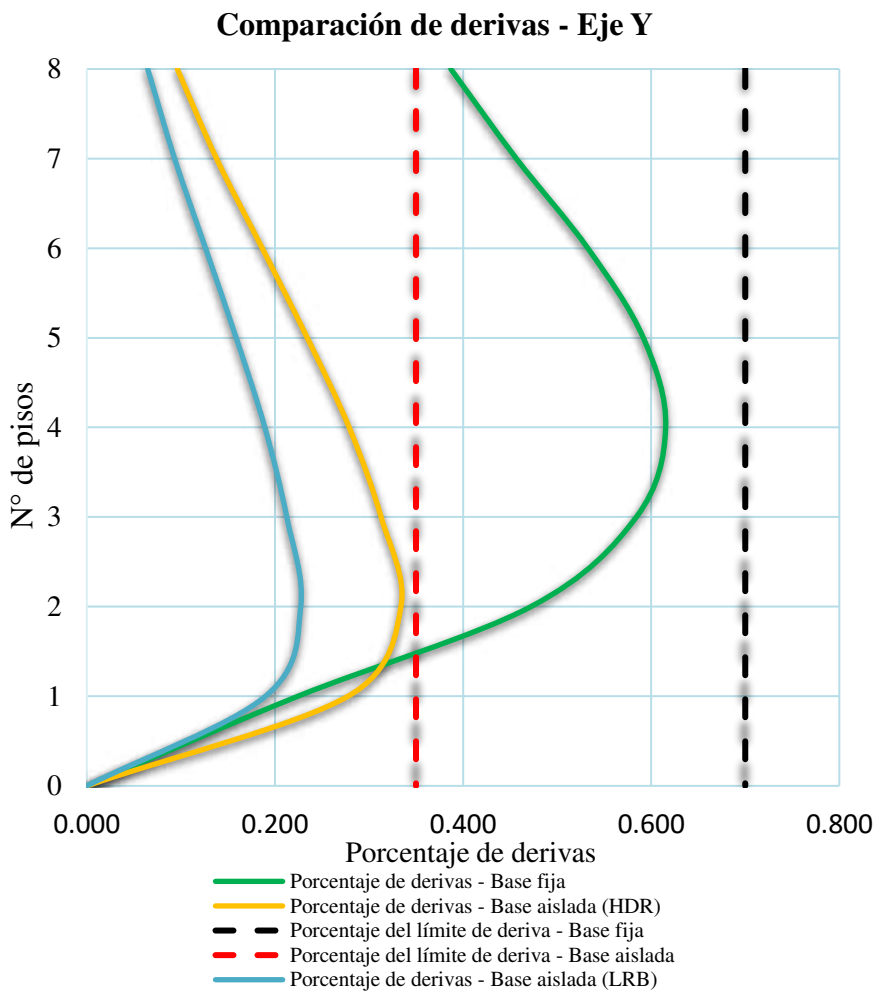


Figura 36. Comparación de derivas – Eje Y.
Fuente: Elaboración propia

7.2. Análisis tiempo historia

7.2.1. Verificación de derivas – base fija

Sismo Ancash 1970

Tabla 34.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	21,048	6,046	3 000	1,619	0,284	0,875	Correcto
Piso 07	19,429	5,732	3 000	2,055	0,362	0,875	Correcto
Piso 06	17,374	5,267	3 000	2,623	0,457	0,875	Correcto
Piso 05	14,751	4,596	3 000	3,120	0,546	0,875	Correcto
Piso 04	11,631	3,714	3 000	3,474	0,609	0,875	Correcto
Piso 03	8,157	2,671	3 000	3,512	0,614	0,875	Correcto
Piso 02	4,645	1,555	3 000	3,118	0,546	0,875	Correcto
Piso 01	1,527	0,522	3 000	1,527	0,268	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	16,703	5,812	3 000	1,260	0,221	0,875	Correcto
Piso 07	15,446	5,441	3 000	1,650	0,289	0,875	Correcto
Piso 06	13,795	4,915	3 000	2,100	0,368	0,875	Correcto
Piso 05	11,695	4,205	3 000	2,490	0,436	0,875	Correcto
Piso 04	9,207	3,332	3 000	2,760	0,483	0,875	Correcto
Piso 03	6,447	2,349	3 000	2,810	0,494	0,875	Correcto
Piso 02	3,638	1,344	3 000	2,450	0,431	0,875	Correcto
Piso 01	1,186	0,447	3 000	1,190	0,210	0,875	Correcto

Fuente: Mendoza, W. (2021).

Tabla 36. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	5,792	20,355	3 000	1,570	0,273	0,875	Correcto
Piso 07	5,502	18,786	3 000	2,020	0,352	0,875	Correcto
Piso 06	5,096	16,769	3 000	2,530	0,441	0,875	Correcto
Piso 05	4,482	14,242	3 000	2,990	0,525	0,875	Correcto
Piso 04	3,657	11,253	3 000	3,330	0,583	0,875	Correcto
Piso 03	2,656	7,923	3 000	3,410	0,599	0,875	Correcto
Piso 02	1,557	4,514	3 000	3,020	0,530	0,875	Correcto
Piso 01	0,521	1,494	3 000	1,490	0,263	0,875	Correcto

Tabla 37.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	5,113	18,192	3 000	1,490	0,263	0,875	Correcto
Piso 07	4,869	16,702	3 000	1,920	0,336	0,875	Correcto
Piso 06	4,473	14,782	3 000	2,388	0,420	0,875	Correcto
Piso 05	3,886	12,394	3 000	2,758	0,483	0,875	Correcto
Piso 04	3,126	9,636	3 000	2,966	0,520	0,875	Correcto
Piso 03	2,239	6,670	3 000	2,935	0,515	0,875	Correcto
Piso 02	1,298	3,735	3 000	2,517	0,441	0,875	Correcto
Piso 01	0,431	1,218	3 000	1,220	0,215	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Sismo Ica 2007

Tabla 38. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW).*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	18,677	5,203	3 000	1,360	0,236	0,875	Correcto
Piso 07	17,317	4,883	3 000	1,789	0,315	0,875	Correcto
Piso 06	15,528	4,428	3 000	2,297	0,404	0,875	Correcto
Piso 05	13,231	3,814	3 000	2,774	0,483	0,875	Correcto
Piso 04	10,457	3,056	3 000	3,084	0,541	0,875	Correcto
Piso 03	7,373	2,190	3 000	3,179	0,557	0,875	Correcto
Piso 02	4,194	1,276	3 000	2,815	0,494	0,875	Correcto
Piso 01	1,379	0,430	3 000	1,379	0,242	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	23,631	6,614	3 000	1,780	0,310	0,875	Correcto
Piso 07	21,855	6,165	3 000	2,350	0,410	0,875	Correcto
Piso 06	19,503	5,568	3 000	3,020	0,530	0,875	Correcto
Piso 05	16,480	4,828	3 000	3,570	0,625	0,875	Correcto
Piso 04	12,915	3,906	3 000	3,920	0,688	0,875	Correcto
Piso 03	8,996	2,822	3 000	3,880	0,677	0,875	Correcto
Piso 02	5,115	1,654	3 000	3,430	0,599	0,875	Correcto
Piso 01	1,682	0,561	3 000	1,680	0,294	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	5,114	17,599	3 000	1,330	0,231	0,875	Correcto
Piso 07	4,835	16,27	3 000	1,730	0,305	0,875	Correcto
Piso 06	4,412	14,538	3 000	2,210	0,389	0,875	Correcto
Piso 05	3,819	12,330	3 000	2,630	0,462	0,875	Correcto
Piso 04	3,072	9,702	3 000	2,910	0,509	0,875	Correcto
Piso 03	2,208	6,792	3 000	2,950	0,515	0,875	Correcto
Piso 02	1,302	3,841	3 000	2,580	0,452	0,875	Correcto
Piso 01	0,441	1,262	3 000	1,260	0,221	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	6,360	22,100	3 000	1,740	0,305	0,875	Correcto
Piso 07	6,024	20,359	3 000	2,260	0,394	0,875	Correcto
Piso 06	5,508	18,102	3 000	2,840	0,499	0,875	Correcto
Piso 05	4,778	15,261	3 000	3,330	0,583	0,875	Correcto
Piso 04	3,851	11,929	3 000	3,630	0,635	0,875	Correcto
Piso 03	2,771	8,296	3 000	3,630	0,635	0,875	Correcto
Piso 02	1,630	4,669	3 000	3,140	0,551	0,875	Correcto
Piso 01	0,553	1,528	3 000	1,530	0,268	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Sismo Lima 1966

Tabla 42.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	19,343	5,193	3 000	1,780	0,310	0,875	Correcto
Piso 07	17,566	4,856	3 000	2,000	0,352	0,875	Correcto
Piso 06	15,565	4,424	3 000	2,500	0,436	0,875	Correcto
Piso 05	13,063	3,863	3 000	2,570	0,452	0,875	Correcto
Piso 04	10,497	3,232	3 000	2,860	0,499	0,875	Correcto
Piso 03	7,637	2,423	3 000	3,120	0,546	0,875	Correcto
Piso 02	4,514	1,469	3 000	2,990	0,525	0,875	Correcto
Piso 01	1,525	0,508	3 000	1,530	0,268	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	18,080	5,830	3 000	1,680	0,294	0,875	Correcto
Piso 07	16,397	5,429	3 000	2,150	0,378	0,875	Correcto
Piso 06	14,246	4,939	3 000	1,980	0,347	0,875	Correcto
Piso 05	12,268	4,270	3 000	2,450	0,431	0,875	Correcto
Piso 04	9,816	3,531	3 000	2,900	0,509	0,875	Correcto
Piso 03	6,912	2,626	3 000	2,890	0,504	0,875	Correcto
Piso 02	4,021	1,578	3 000	2,680	0,467	0,875	Correcto
Piso 01	1,345	0,543	3 000	1,350	0,236	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	5,272	18,770	3 000	1,690	0,294	0,875	Correcto
Piso 07	4,991	17,081	3 000	2,160	0,378	0,875	Correcto
Piso 06	4,559	14,917	3 000	2,360	0,415	0,875	Correcto
Piso 05	4,016	12,555	3 000	2,670	0,467	0,875	Correcto
Piso 04	3,377	9,888	3 000	2,780	0,488	0,875	Correcto
Piso 03	2,584	7,104	3 000	2,910	0,509	0,875	Correcto
Piso 02	1,586	4,190	3 000	2,750	0,483	0,875	Correcto
Piso 01	0,550	1,439	3 000	1,440	0,252	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.030 (%)	Verificación
Piso 08	5,192	18,893	3 000	1,928	0,336	0,875	Correcto
Piso 07	4,902	16,965	3 000	2,248	0,394	0,875	Correcto
Piso 06	4,478	14,717	3 000	2,520	0,441	0,875	Correcto
Piso 05	3,905	12,197	3 000	2,527	0,441	0,875	Correcto
Piso 04	3,173	9,670	3 000	2,637	0,462	0,875	Correcto
Piso 03	2,349	7,033	3 000	2,899	0,509	0,875	Correcto
Piso 02	1,438	4,134	3 000	2,712	0,473	0,875	Correcto
Piso 01	0,500	1,422	3 000	1,420	0,247	0,875	Correcto

Fuente: Elaboración propia

7.2.2. Verificación de derivas – base aislada 10 %

7.2.2.1. Dispositivo elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)

Sismo Ancash 1970

Tabla 46.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	155,06	46,529	3 000	0,460	0,079	0,500	Correcto
Piso 07	154,60	46,407	3 000	0,730	0,126	0,500	Correcto
Piso 06	153,87	46,215	3 000	1,090	0,189	0,500	Correcto
Piso 05	152,78	45,917	3 000	1,400	0,247	0,500	Correcto
Piso 04	151,38	45,533	3 000	1,560	0,273	0,500	Correcto
Piso 03	149,81	45,116	3 000	1,640	0,289	0,500	Correcto
Piso 02	148,17	44,703	3 000	1,850	0,326	0,500	Correcto
Piso 01	146,32	44,236	3 000	2,050	0,357	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	144,27	43,689					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	188,31	55,941	3 000	0,080	0,016	0,500	Correcto
Piso 07	188,01	55,864	3 000	0,140	0,026	0,500	Correcto
Piso 06	187,45	55,722	3 000	0,250	0,042	0,500	Correcto
Piso 05	186,51	55,473	3 000	0,340	0,058	0,500	Correcto
Piso 04	185,24	55,137	3 000	0,360	0,063	0,500	Correcto
Piso 03	183,84	54,776	3 000	0,360	0,063	0,500	Correcto
Piso 02	182,37	54,414	3 000	0,440	0,079	0,500	Correcto
Piso 01	180,61	53,976	3 000	0,590	0,105	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	178,47	53,390					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	46,942	159,395	3 000	0,550	0,095	0,500	Correcto
Piso 07	46,838	158,849	3 000	0,780	0,137	0,500	Correcto
Piso 06	46,652	158,071	3 000	1,120	0,194	0,500	Correcto
Piso 05	46,349	156,954	3 000	1,400	0,247	0,500	Correcto
Piso 04	45,950	155,555	3 000	1,530	0,268	0,500	Correcto
Piso 03	45,511	154,029	3 000	1,570	0,273	0,500	Correcto
Piso 02	45,059	152,464	3 000	1,730	0,305	0,500	Correcto
Piso 01	44,545	150,738	3 000	1,850	0,326	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	44,005	148,888					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	56,192	187,868	3 000	0,390	0,068	0,500	Correcto
Piso 07	56,130	187,477	3 000	0,610	0,105	0,500	Correcto
Piso 06	55,991	186,867	3 000	0,960	0,168	0,500	Correcto
Piso 05	55,731	185,910	3 000	1,250	0,221	0,500	Correcto
Piso 04	55,373	184,664	3 000	1,360	0,236	0,500	Correcto
Piso 03	54,980	183,306	3 000	1,390	0,242	0,500	Correcto
Piso 02	54,579	181,915	3 000	1,620	0,284	0,500	Correcto
Piso 01	54,087	180,293	3 000	1,900	0,331	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	53,516	178,389					

Fuente: Elaboración propia

Sismo Ica 2007

Tabla 50.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	157,69	46,922	3 000	0,630	0,110	0,500	Correcto
Piso 07	157,07	46,808	3 000	0,860	0,152	0,500	Correcto
Piso 06	156,21	46,615	3 000	1,250	0,221	0,500	Correcto
Piso 05	154,95	46,311	3 000	1,590	0,278	0,500	Correcto
Piso 04	153,37	45,921	3 000	1,750	0,305	0,500	Correcto
Piso 03	151,61	45,502	3 000	1,830	0,320	0,500	Correcto
Piso 02	149,79	45,074	3 000	2,020	0,352	0,500	Correcto
Piso 01	147,77	44,594	3 000	2,140	0,373	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	145,63	44,122					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51.

Desplazamiento máximo del Centro Medico en la dirección X (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	303,99	89,139	3 000	0,310	0,053	0,500	Correcto
Piso 07	303,68	89,029	3 000	0,860	0,152	0,500	Correcto
Piso 06	302,82	88,822	3 000	1,460	0,257	0,500	Correcto
Piso 05	301,36	88,440	3 000	1,920	0,336	0,500	Correcto
Piso 04	299,44	87,932	3 000	1,980	0,347	0,500	Correcto
Piso 03	297,46	87,425	3 000	1,890	0,331	0,500	Correcto
Piso 02	295,57	86,970	3 000	2,220	0,389	0,500	Correcto
Piso 01	293,36	86,424	3 000	2,980	0,520	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	290,38	85,454					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	46,916	156,874	3 000	0,640	0,110	0,500	Correcto
Piso 07	46,794	156,233	3 000	0,880	0,152	0,500	Correcto
Piso 06	46,594	155,349	3 000	1,240	0,215	0,500	Correcto
Piso 05	46,274	154,112	3 000	1,530	0,268	0,500	Correcto
Piso 04	45,857	152,583	3 000	1,660	0,289	0,500	Correcto
Piso 03	45,395	150,919	3 000	1,700	0,299	0,500	Correcto
Piso 02	44,919	149,218	3 000	1,840	0,320	0,500	Correcto
Piso 01	44,380	147,378	3 000	1,900	0,331	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	43,831	145,476					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	90,310	300,289	3 000	0,559	0,100	0,500	Correcto
Piso 07	90,247	299,730	3 000	0,918	0,163	0,500	Correcto
Piso 06	90,038	298,812	3 000	1,480	0,257	0,500	Correcto
Piso 05	89,631	297,332	3 000	1,886	0,331	0,500	Correcto
Piso 04	89,079	295,446	3 000	1,919	0,336	0,500	Correcto
Piso 03	88,521	293,527	3 000	1,790	0,315	0,500	Correcto
Piso 02	88,012	291,737	3 000	2,048	0,357	0,500	Correcto
Piso 01	87,394	289,689	3 000	2,608	0,457	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	86,600	287,081					

Fuente: Elaboración propia.

Sismo Lima 1966

Tabla 54. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	123,88	38,163	3 000	0,580	0,100	0,500	Correcto
Piso 07	123,30	38,040	3 000	0,772	0,137	0,500	Correcto
Piso 06	122,53	37,845	3 000	1,096	0,194	0,500	Correcto
Piso 05	121,43	37,555	3 000	1,388	0,242	0,500	Correcto
Piso 04	120,04	37,186	3 000	1,574	0,273	0,500	Correcto
Piso 03	118,47	36,775	3 000	1,691	0,294	0,500	Correcto
Piso 02	116,78	36,344	3 000	1,862	0,326	0,500	Correcto
Piso 01	114,91	35,868	3 000	1,897	0,331	0,500	Correcto

Diafragma Rígido	113,02	35,435

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	244,04	72,550	3 000	0,670	0,116	0,500	Correcto
Piso 07	243,37	72,459	3 000	1,050	0,184	0,500	Correcto
Piso 06	242,32	72,269	3 000	1,530	0,268	0,500	Correcto
Piso 05	240,78	71,957	3 000	1,890	0,331	0,500	Correcto
Piso 04	238,90	71,549	3 000	1,990	0,347	0,500	Correcto
Piso 03	236,90	71,129	3 000	1,960	0,341	0,500	Correcto
Piso 02	234,94	70,731	3 000	2,220	0,389	0,500	Correcto
Piso 01	232,72	70,244	3 000	2,560	0,446	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	230,16	69,603					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	36,630	124,994	3 000	0,610	0,105	0,500	Correcto
Piso 07	36,505	124,389	3 000	0,820	0,142	0,500	Correcto
Piso 06	36,316	123,569	3 000	1,120	0,194	0,500	Correcto
Piso 05	36,025	122,451	3 000	1,380	0,242	0,500	Correcto
Piso 04	35,647	121,071	3 000	1,540	0,268	0,500	Correcto
Piso 03	35,218	119,536	3 000	1,620	0,284	0,500	Correcto
Piso 02	34,761	117,920	3 000	1,740	0,305	0,500	Correcto
Piso 01	34,254	116,182	3 000	1,720	0,299	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	33,768	114,462					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	72,435	242,824	3 000	0,716	0,126	0,500	Correcto
Piso 07	72,340	242,108	3 000	1,063	0,184	0,500	Correcto
Piso 06	72,135	241,045	3 000	1,478	0,257	0,500	Correcto
Piso 05	71,770	239,567	3 000	1,778	0,310	0,500	Correcto
Piso 04	71,317	237,789	3 000	1,850	0,326	0,500	Correcto
Piso 03	70,842	235,939	3 000	1,786	0,315	0,500	Correcto
Piso 02	70,387	234,153	3 000	1,992	0,347	0,500	Correcto
Piso 01	69,834	232,161	3 000	2,310	0,404	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	69,172	229,851					

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3. Verificación de derivas – base aislada 30 %

7.2.3.1. Dispositivo elastomérico con núcleo de plomo LRB

Sismo Ancash 1970

Tabla 58. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	156,93	51,084	3 000	0,740	0,131	0,500	Correcto
Piso 07	156,18	50,908	3 000	0,970	0,168	0,500	Correcto
Piso 06	155,21	50,644	3 000	1,360	0,236	0,500	Correcto
Piso 05	153,86	50,259	3 000	1,690	0,294	0,500	Correcto
Piso 04	152,17	49,777	3 000	1,850	0,326	0,500	Correcto
Piso 03	150,32	49,258	3 000	1,920	0,336	0,500	Correcto
Piso 02	148,40	48,733	3 000	2,110	0,368	0,500	Correcto
Piso 01	146,29	48,150	3 000	2,260	0,394	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	144,03	47,584					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	230,09	73,887	3 000	0,890	0,158	0,500	Correcto
Piso 07	229,20	73,666	3 000	1,240	0,215	0,500	Correcto
Piso 06	227,96	73,333	3 000	1,780	0,310	0,500	Correcto
Piso 05	226,18	72,833	3 000	2,220	0,389	0,500	Correcto
Piso 04	223,96	72,202	3 000	2,420	0,425	0,500	Correcto

Piso 03	221,53	71,527	3 000	2,500	0,436	0,500	Correcto
Piso 02	219,03	70,850	3 000	2,790	0,488	0,500	Correcto
Piso 01	216,24	70,082	3 000	3,120	0,546	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	213,13	69,213					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	48,293	166,879	3 000	0,790	0,137	0,500	Correcto
Piso 07	48,116	166,086	3 000	1,050	0,184	0,500	Correcto
Piso 06	47,863	165,032	3 000	1,430	0,252	0,500	Correcto
Piso 05	47,486	163,603	3 000	1,740	0,305	0,500	Correcto
Piso 04	47,008	161,864	3 000	1,880	0,331	0,500	Correcto
Piso 03	46,491	159,988	3 000	1,920	0,336	0,500	Correcto
Piso 02	45,966	158,070	3 000	2,080	0,362	0,500	Correcto
Piso 01	45,380	155,991	3 000	2,220	0,389	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	44,774	153,773					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	69,736	241,058	3 000	0,990	0,173	0,500	Correcto
Piso 07	69,534	240,072	3 000	1,340	0,236	0,500	Correcto
Piso 06	69,223	238,736	3 000	1,850	0,326	0,500	Correcto
Piso 05	68,742	236,887	3 000	2,270	0,399	0,500	Correcto
Piso 04	68,126	234,618	3 000	2,440	0,425	0,500	Correcto
Piso 03	67,466	232,183	3 000	2,470	0,431	0,500	Correcto
Piso 02	66,802	229,710	3 000	2,720	0,478	0,500	Correcto
Piso 01	66,045	226,991	3 000	3,010	0,525	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	65,224	223,986					

Fuente: Elaboración propia

Sismo Ica 2007

Tabla 62.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación

Piso 08	214,24	68,213	3 000	0,950	0,168	0,500	Correcto
Piso 07	213,28	67,971	3 000	1,270	0,221	0,500	Correcto
Piso 06	212,01	67,617	3 000	1,780	0,310	0,500	Correcto
Piso 05	210,23	67,104	3 000	2,220	0,389	0,500	Correcto
Piso 04	208,01	66,460	3 000	2,450	0,431	0,500	Correcto
Piso 03	205,56	65,761	3 000	2,570	0,446	0,500	Correcto
Piso 02	202,99	65,042	3 000	2,850	0,499	0,500	Correcto
Piso 01	200,15	64,239	3 000	3,080	0,501	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	197,06	63,417					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	354,89	100,125	3 000	0,680	0,121	0,500	Correcto
Piso 07	354,21	99,915	3 000	1,500	0,163	0,500	Correcto
Piso 06	352,71	99,600	3 000	2,250	0,294	0,500	Correcto
Piso 05	350,46	99,078	3 000	2,830	0,294	0,500	Correcto
Piso 04	347,63	98,401	3 000	2,990	0,325	0,500	Correcto
Piso 03	344,64	97,706	3 000	2,960	0,420	0,500	Correcto
Piso 02	341,68	97,045	3 000	3,340	0,483	0,500	Correcto
Piso 01	338,34	96,265	3 000	4,260	0,506	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	334,09	94,797					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	64,457	214,245	3 000	1,010	0,179	0,500	Correcto
Piso 07	64,233	213,236	3 000	1,340	0,236	0,500	Correcto
Piso 06	63,906	211,899	3 000	1,810	0,315	0,500	Correcto
Piso 05	63,417	210,087	3 000	2,210	0,389	0,500	Correcto
Piso 04	62,798	207,874	3 000	2,410	0,420	0,500	Correcto
Piso 03	62,125	205,463	3 000	2,490	0,436	0,500	Correcto
Piso 02	61,436	202,972	3 000	2,720	0,478	0,500	Correcto
Piso 01	60,660	200,252	3 000	2,910	0,509	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	59,847	197,344					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	103,64	342,356	3 000	1,080	0,189	0,500	Correcto
Piso 07	103,48	341,275	3 000	1,520	0,268	0,500	Correcto
Piso 06	103,12	339,751	3 000	2,200	0,383	0,500	Correcto
Piso 05	102,53	337,548	3 000	2,720	0,478	0,500	Correcto
Piso 04	101,76	334,825	3 000	2,840	0,499	0,500	Correcto
Piso 03	100,97	331,986	3 000	2,770	0,483	0,500	Correcto
Piso 02	100,21	329,215	3 000	3,090	0,502	0,500	Correcto
Piso 01	99,314	326,122	3 000	3,740	0,506	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	98,222	322,384					

Fuente: Elaboración propia.

Sismo Lima 1966

Tabla 66. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	217,74	68,522	3 000	0,870	0,152	0,500	Correcto
Piso 07	216,87	68,303	3 000	1,240	0,215	0,500	Correcto
Piso 06	215,63	67,978	3 000	1,750	0,305	0,500	Correcto
Piso 05	213,88	67,497	3 000	2,190	0,383	0,500	Correcto
Piso 04	211,69	66,890	3 000	2,400	0,420	0,500	Correcto
Piso 03	209,29	66,237	3 000	2,490	0,436	0,500	Correcto
Piso 02	206,80	65,575	3 000	2,770	0,483	0,500	Correcto
Piso 01	204,03	64,830	3 000	3,070	0,502	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	200,96	63,973					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67. *Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)*

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección X (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	280,98	85,650	3 000	1,030	0,179	0,500	Correcto
Piso 07	279,95	85,447	3 000	1,380	0,242	0,500	Correcto
Piso 06	278,57	85,137	3 000	1,930	0,336	0,500	Correcto
Piso 05	276,65	84,655	3 000	2,290	0,399	0,500	Correcto
Piso 04	274,35	84,050	3 000	2,440	0,425	0,500	Correcto
Piso 03	271,91	83,421	3 000	2,520	0,441	0,500	Correcto
Piso 02	269,39	82,810	3 000	2,910	0,479	0,500	Correcto
Piso 01	266,48	82,084	3 000	3,430	0,509	0,500	Correcto

Diafragma Rígido	263,05	81,187

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (EW)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	65,631	225,144	3 000	0,980	0,173	0,500	Correcto
Piso 07	65,427	224,161	3 000	1,320	0,231	0,500	Correcto
Piso 06	65,112	222,844	3 000	1,810	0,315	0,500	Correcto
Piso 05	64,635	221,038	3 000	2,210	0,389	0,500	Correcto
Piso 04	64,027	218,827	3 000	2,390	0,420	0,500	Correcto
Piso 03	63,371	216,441	3 000	2,440	0,425	0,500	Correcto
Piso 02	62,703	214,001	3 000	2,670	0,467	0,500	Correcto
Piso 01	61,948	211,330	3 000	2,920	0,509	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	61,142	208,412					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69.

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)

Desplazamiento máximo del Centro Médico en la dirección Y (NS)							
N° de Pisos	U_X (mm)	U_Y (mm)	Altura (mm)	Desplazamiento (mm)	Derivas Inelásticas (%)	Norma E.031 (%)	Verificación
Piso 08	84,624	286,007	3 000	1,077	0,189	0,500	Correcto
Piso 07	84,410	284,930	3 000	1,409	0,247	0,500	Correcto
Piso 06	84,093	283,521	3 000	1,935	0,341	0,500	Correcto
Piso 05	83,594	281,586	3 000	2,288	0,399	0,500	Correcto
Piso 04	82,968	279,298	3 000	2,375	0,415	0,500	Correcto
Piso 03	82,327	276,923	3 000	2,404	0,420	0,500	Correcto
Piso 02	81,684	274,519	3 000	2,736	0,478	0,500	Correcto
Piso 01	80,909	271,783	3 000	3,208	0,494	0,500	Correcto
Diafragma Rígido	80,007	268,575					

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4. Verificación de Cortantes

Tabla 70.

Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección X.

	Base fija	Base aislada (10 %)	Base aislada (30 %)
Sismo Ica 2007 EW	152,48	47,87	23,02
Sismo Ancash 1970 EW	205,20	40,43	21,41
Sismo Lima 1966 EW	206,72	42,79	15,25
Sismo Ica 2007 NS	240,18	37,44	21,22
Sismo Ancash 1970 NS	140,79	40,80	20,04
Sismo Lima 1966 NS	212,50	31,63	23,89

Fuente: Elaboración propia.

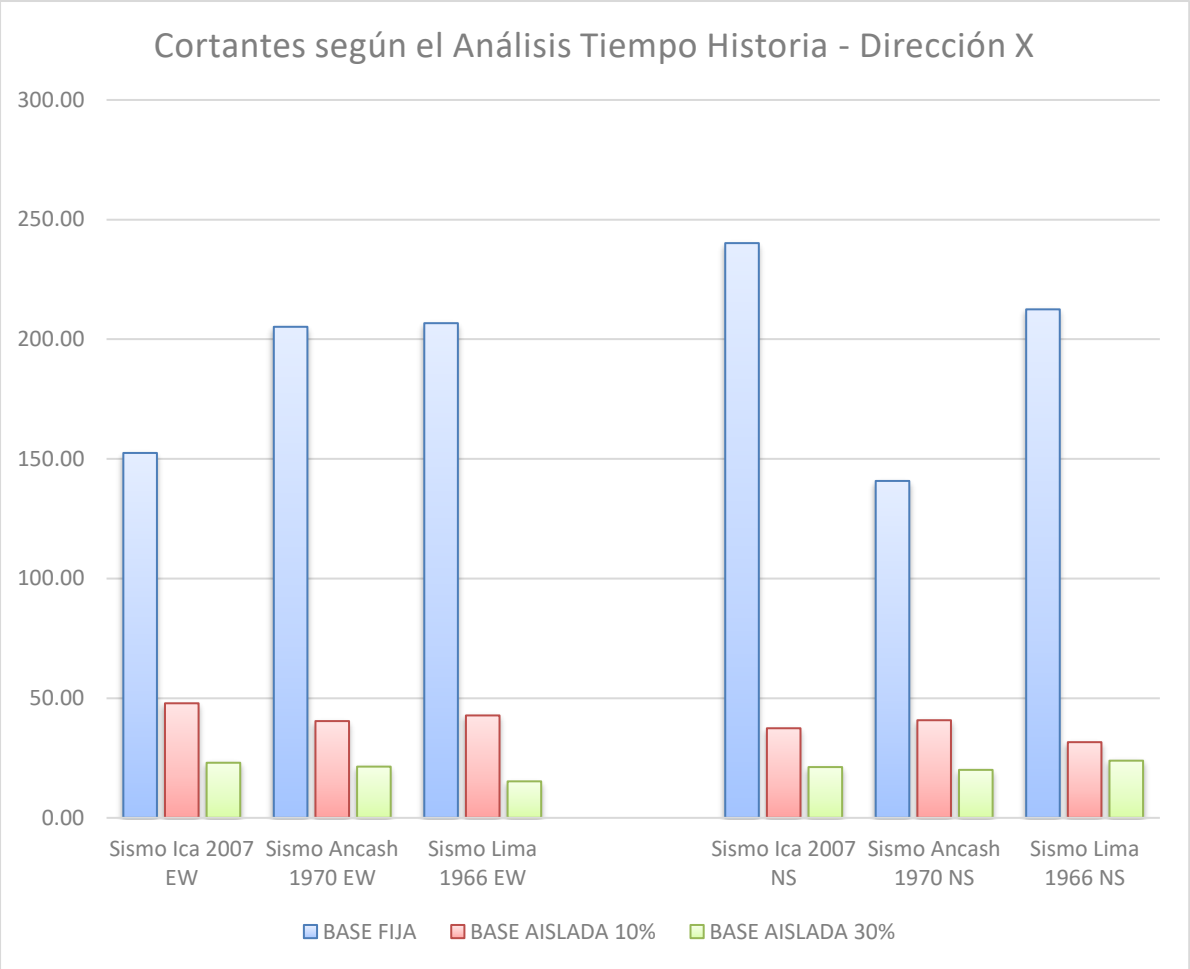


Figura 37. Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección X.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 71.

Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección Y.

	Base fija	Base aislada (10 %)	Base aislada (30 %)
Sismo Ica 2007 EW	152,96	53,78	21,93
Sismo Ancash 1970 EW	178,73	45,71	21,17
Sismo Lima 1966 EW	206,85	41,03	15,08
Sismo Ica 2007 NS	232,96	41,19	20,26
Sismo Ancash 1970 NS	157,79	42,26	18,62
Sismo Lima 1966 NS	191,08	29,25	23,07

Fuente: Elaboración propia.

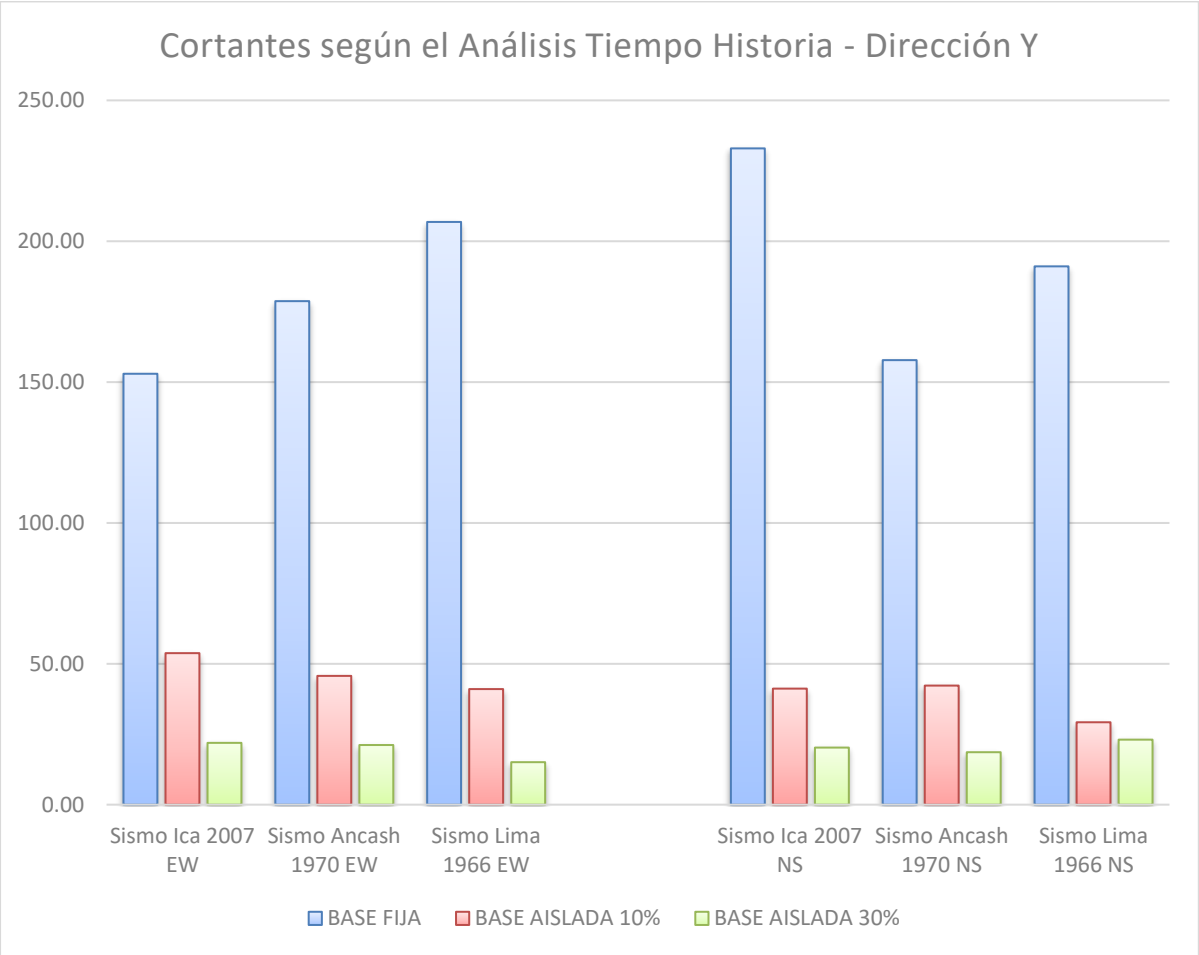


Figura 38. Cortantes según el Análisis Tiempo Historia - Dirección Y.
Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Los factores más relevantes a tener en cuenta en procedimiento del Análisis Dinámico Modal Espectral de edificaciones con aislación sísmica son: el periodo natural de vibración, determinada en función de la rigidez y la masa; y el otro factor fundamental la frecuencia de excitación del suelo, ya que al producir los mismos valores ocurre el fenómeno de resonancia, que es catastrófico para cualquier estructura ya que se aumenta la amplitud del movimiento.

El diseño estructural de la superestructura aislada se podría asumir como una estructura convencional, la norma E.031 también hace énfasis en que debemos partir de los mismos diseños; con la consideración que las vigas, diafragma rígido del interfaz de aislamiento y cimentaciones tienen mayores solicitaciones en cortantes. Los mayores movimientos se presentan en el edificio con aislación, por lo que la superestructura se mueve como un cuerpo rígido (perdida de gran energía sísmica); mientras, que en los edificios de base fija los desplazamientos se amplifican a medida que aumenta la atura de la estructura.

Del Análisis Dinámico Modal Espectral se obtiene una cortante basal de 1114.84 tonf en la estructura con base fija, una cortante basal de 425.11 tonf con Aislamiento Elastomérico HDR y tenemos una cortante 301.99 tonf con Aisladores con Núcleo de Plomo LRB.

Del Análisis Tiempo Historia podemos se puede apreciar que la cortante basal en una estructura con base fija es mayor que la estructura con aislación; aunque existe la posibilidad que sea lo contrario; esto sucede porque al utilizar aisladores muy rígidos se presenta esta situación errónea en el diseño.

El uso de sistemas de aislación sísmica ayuda a reducir el número de víctimas mortales; además cumple un papel fundamental al minimizar los daños estructurales post sismo, por lo que el costo de reparación es mucho menor que una estructura convencional.

El periodo de vibración natural de la edificación convencional es un índice de la eficiencia que presenta el sistema de aislación sísmica, porque que al incrementar el periodo se disminuye considerablemente la cortante. La edificación de base fija tiene un periodo fundamental de 0.59 s mientras el periodo fundamental de estructuras aisladas es cercano a los 2.0 s.

El uso de los dispositivos mecánicos de base se considera apropiados en suelos que sean rígidos, y en nuestro país según la norma E.030 “Diseño Sismorresistente” actualizada, es obligatorio para estructuras esenciales que se encuentran en la zona 4, en las demás zonas sísmica su aplicación queda a criterio del profesional responsable.

Finalmente, se puede observar que los dos sistemas son eficientes, pero se puede observar que es más óptimo el sistema de aislamiento sísmico para edificaciones esenciales como hospitales, centros de salud, etc. Que deben de tener una continuidad en el servicio post sismo y sobre todo se debe preservar los equipos. Esto se logra porque el dispositivo tiene rigidez horizontal pequeña en comparación a la rigidez vertical; como resultado se reduce considerablemente las cortantes y derivas de piso.

Recomendaciones

La normativa E.031 del reglamento nacional de edificaciones, es una guía de diseño publicada en el año 2018, pero que debería ser complementada con mayor información, a base de estudios realizados en nuestro país, para tener menor incertidumbre en los diseños de este tipo de edificaciones y tener valores más acertados de diseño.

Realizar investigaciones y ensayos acerca de la interfaz de aislamiento, y detallar claramente los criterios de diseño de estos elementos que conforman el aislamiento; ya que es parte neuronal del sistema de aislamiento, y en la actualidad existe escasa biografía.

Profundizar más sobre el aislamiento sísmico en el Perú tanto en la parte teórica como en la parte experimental, para poder incorporar parámetros propios y valores de diseños más exactos, y así mejorar el comportamiento del sistema de aislamiento y a la vez lograr una mayor eficiencia para reducir la vulnerabilidad sísmica de cualquier estructura ante un fenómeno sísmico.

Es importante para usos prácticos tener dispositivos que tengan las mismas características físicas y mecánicas, formas y dimensiones, para poder minimizar los gastos al realizar los ensayos de desempeño; sin embargo, en la investigación presentada se realizó un pre dimensionamiento de los dispositivos para poder ajustar más el diseño.

Referencias bibliográficas

Aguilar, R. (2010). *Análisis sísmico de edificios.* Quito, Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército.

Benavente, J. y Traverso, I. (2013). *Comparación del análisis y diseño de un edificio de concreto armado de siete pisos con y sin aislamiento en la base (tesis de pregrado).* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Del Rosario, M. (2018*). Desempeño sísmico de aisladores: Estudio de un hospital de concreto armado (tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Carmona, P., y Rosas, J. (2015). *Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico dinámico del diseño normativo sismorresistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento* (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Cheng, F., Hongping, J. y Lou Kangyu. (2008). Smart Structures Innovative Systems for Seismic response control. Taylor Francis Group. United States of America.

Chopra, A K. (2014). Dinámica de estructuras. 4°ta edición. Pearson Educación. México.

García, E. (1998). *Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*. Bogotá-Colombia, Universidad de los Andes.

Genatios, C. y La fuente, M. (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. Banco de desarrollo de América Latina. Caracas-Venezuela.

Gobierno de Chile. Corporación de desarrollo. (2011). Informe de protección sísmica de estructuras, sistemas de aislación sísmica y disipación de energía: Cámara chilena de la Construcción.

Hernández, R., Fernández, C. y Bautista, P. (2014). Metodología Investigación. Mc Graw Hill Education. México.

Instituto Nacional de Defensa Civil (INEI). (2017). *Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw*. Rev. Sistematización de información sobre los escenarios de riesgo de desastre, 21(5), 10-55.

Instituto Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). (2018). Nueva iniciativa de CAPECO para la construcción responsable: Construyendo formalidad. Rev. Cámara Peruana de la Construcción, 344(345), 12-30.

Korswagen, E., Arias, J., y Huaringa, P. (2012). *Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú* (tesis pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Leyton, M. (2017). *Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Reglamento Nacional de Edificaciones.

Oviedo, R. (2019). Diseño sismorresistente de edificaciones de concreto armado. Lima, Perú. Oviedo Ingeniería EIRL.

Paz, M. y Leigh, W. (1992). Dinámica estructural Teoría y Cálculo. Barcelona, España. Editorial Reverté, S.A.

Reglamento Nacional de Edificaciones. *Norma E.020 – Cargas, Lima, 2018*.

Reglamento Nacional de Edificaciones. *Norma E.031 – Aislamiento Sísmico, Lima, 2018*.

Reglamento Nacional de Edificaciones. *Norma E.030 – Diseño Sismorresistente, Lima, 2018.*

Reyna, A. (2017). *Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura* (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

Roca, D. (2016). *Comportamiento estructural de un edificio de diecisiete pisos y dos sótanos*. Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), 54(5), 38-41.

Saavedra, M. (2015). *Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados* (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Tavera H. (2014). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú.* Ministerio del Ambiente. Lima. Perú.

Valerio, J. (2015). *Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cataluña, Madrid, España.

Villalobos, H., Moroni, Sarrazin, M., y Boroschek, R. (2014). *Diseño de aisladores sísmicos para un edificio de aulas*. Rev. De la Construcción, 22(5), 162-175

Anexo: Matriz de consistencia

Análisis comparativo del comportamiento sismorresistente (sin y con aislamiento sísmico) del Centro Médico San Conrado. Los Olivos, 2019.			
Planteamiento del problema	**Objetivos de la investigación**	**Hipótesis**	**Variables**
1.1.1 Pregunta general ¿Cuál es el desempeño sismorresistente de la estructura del Centro Médico San Conrado sin y con aislamiento sísmico?	1.2.1 Objetivo general Realizar el análisis comparativo del comportamiento de la estructura del Centro Médico San Conrado sin y con aislamiento sísmico.	3.1.1. Hipótesis principal El comportamiento sismorresistente del Centro médico San Conrado sin aislamiento símico presentara un menor desplazamiento respecto de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico	Tipo de investigación Estudio de alcance descriptivo ya que caracteriza y describe las variables al compararlas entre si V1: Variable principal 1 Comportamiento sismo resistente sin aislamiento sísmico V2: Variable principal 2 Comportamiento sismo resistente con aislamiento sísmico Técnica de recogida de datos Observación sistemática de los planos Instrumento de recogida de datos Fecha técnica de registro de datos técnicos del Centro Médico San Conrado de 8 pisos sin aislamiento sísmico. Unidad de análisis Centro Médico San Conrado
1.1.2. Preguntas secundarias - ¿Cuál es el mayor periodo, frecuencia y deriva de la estructura del Centro Médico San Conrado con base fija? - ¿Cuál es el mayor periodo, frecuencia y deriva de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con aislador elastomérico de alto amortiguamiento HDR? - ¿Cuál es el mayor periodo, frecuencia y deriva de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB?	1.2.2. Objetivos secundarios -Determinar el comportamiento sismorresistente, sin aislamiento sísmico de la estructura del Centro Médico San Conrado. -Determinar el comportamiento sismorresistente, con aislamiento sísmico con aislador elastomérico de alto amortiguamiento HDR de la estructura del Centro Médico San Conrado. -Determinar el comportamiento sismorresistente, con aislamiento sísmico con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB de la estructura del Centro Médico San Conrado.	3.1.2. Hipótesis secundarias -El periodo es 30% menor de la estructura del Centro Médico San Conrado sin aislamiento sísmico. -La frecuencia es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con aislador elastomérico de alto amortiguamiento HDR. -La deriva es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB. -La fuerza sísmica en cada piso aumenta proporcional a la altura. 3.1.3. Hipótesis nula	

- ¿Cuáles son los parámetros de riesgo de la estructura del Centro Médico San Conrado frente a un evento sísmico?	-Identificar los parámetros de riesgo de la estructura del Centro Médico San Conrado frente a un evento sísmico	-El periodo no es 30% menor de la estructura del Centro Médico San Conrado sin aislamiento sísmico -La frecuencia no es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con aislador elastomérico de alto amortiguamiento HDR. -La deriva no es 30% mayor de la estructura del Centro Médico San Conrado con aislamiento sísmico con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB. -La fuerza sísmica de la estructura del Centro Médico San Conrado en cada piso no aumenta proporcional a la altura.	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo: Predimensionamiento de elementos estructurales y no estructurales

1.1. Predimensionamiento de elementos estructurales

1.1.1. Columna esquinada

1. Datos del elemento

L_1	3,20	m	Longitud 1 del área tributaria
L_2	3,30	m	Longitud 2 del área tributaria
f'c	210	kg/cm^2	Resistencia a la comprensión del concreto
N	8	u	Número de pisos de la estructura
P_c	1 000	kg/m^2	Se estima para el concreto

2. Carga de servicio

P	1 500	kg/m^2	Se añade 500 kg/cm^2 por ser una edificación esencial

3. Área tributaria

A_T	10,56	m

4. Área de la sección probable de la columna

A_{COL}	1 724,08	cm^2	>	1 000	cm^2	Correcto

5. Sección de la columna asumida

b	45	cm	Base
h	45	cm	Altura
A	2025	cm^2	Área de la sección correcta

1.1.2. Columna excéntrica

1. Datos del elemento

L_1	5,30	m	Longitud 1 del área tributaria
L_2	3,30	m	Longitud 2 del área tributaria
f'c	210	kg/cm	Resistencia a la comprensión del concreto
N	8	u	Número de pisos de la estructura
P_c	1 000	kg/m^2	Se estima para el concreto

2. Carga de servicio

P	1 500	kg/m^2	Por ser edificación de tipo esencial

3. Área tributaria

A_T	17,49	m

4. Área de la sección probable de la columna

A_{COL}	2 855,51	cm^2	>	1 000	cm^2	Correcto

5. Sección de la columna asumida

b	60	cm	Base
h	50	cm	Altura
A	3 000	cm^2	Área de la sección correcta

1.1.3. Columna con ángulo

1. Datos del elemento

L_1	3,80	m	Longitud 1 del área tributaria
L_2	11,30	m	Longitud 2 del área tributaria
f'c	210	kg/cm	Resistencia a la comprensión del concreto
N	8	u	Número de pisos de la estructura
P_c	1 000	kg/m^2	Se estima para el concreto

2. Carga de servicio

P	1 500	kg/m^2

3. Área tributaria

A_T	42,94	m

4. Área de la sección probable de la columna

A_{COL}	5 452,70	cm^2	>	1000	cm^2	Correcto

5. Sección de la columna asumida

b	60	cm	Base
h	60	cm	Altura
A	3600	cm^2	Área de la sección correcta

1.1.4. Columna concéntrica

1. Datos del elemento

L_1	5,30	m	Longitud 1 del área tributaria
L_2	5,30	m	Longitud 2 del área tributaria
f'c	210	kg/cm	Resistencia a la comprensión del concreto
N	8	u	Número de pisos de la estructura
P_c	1 000	kg/m^2	Se estima para el concreto

2. Carga de servicio

P	1 500	kg/m^2

3. Área tributaria

A_T	28,09	m

4. Área de la sección probable de la columna

A_{col}	3 566,98	cm^2	>	1 000	cm^2	Correcto

5. Sección de la columna asumida

b	60	cm	Base
h	60	cm	Altura
A	3 600	cm^2	Área de la sección correcta

1.1.5. Losa aligerada

1. Datos del elemento

L	6,90	m

2. Peralte de la losa aligerada

$h_{L.Aligerada}$	0,30	m

3. Peralte de la losa maciza

$h_{L.Maciza}$	0,20	m

1.1.6. Vigas peraltadas de los aligerados (Superestructura)

1. Datos del elemento

L	6,90	m

2. Peralte de la viga

H	0,70	m

3. Base de la viga

b	0,35	m

1.1.7. Vigas peraltadas de los aligerados (Subestructura)

1. Datos del elemento

L	6,90	m

2. Peralte de la viga

h	0,70	m

3. Base de la viga

b	0,50	m	Asumimos el 30 % más respecto al predimensionamiento normal

1.1.8. Dado de concreto (Estructura de 4 niveles)

1. Datos del elemento

h	0,70	m
b_1	1,00	m
b_2	1,00	m

1.1.9. Muro de corte

1. Datos del elemento

e	0,30	m

Anexo: Metrado de elementos estructurales y no estructurales

Tabla 72.

Metrado nivel 01-cargas estructurales

Metrado nivel 01 - cargas estructurales							
Elemento estructural	Lado A (m)	Lado B (m)	Altura (m)	# veces	Peso específico (Kg/m^3)	Peso específico (kg/m^2)	Metrado (t)
Columnas esquinadas (nivel 01)	0,45	0,45	4,20	5	2 400		10.21
Columnas excéntricas (nivel 01)	0,60	0,50	4,20	6	2 400		18.14
Columnas céntricas	0,60	0,60	4,60	2	2 400		7.95
Vigas - dirección xx	0,70	0,35	40,91	1	2 400		24.06
Vigas - dirección yy	0,70	0,35	36,93	1	2 400		21.71
Losa aligerada (por área)	17,00	10,00		1		420	71.40
Losa maciza	17,00	10,00	0,20	1	2 400		81.60
Dado de concreto	1,00	1,00	0,70	13	2 400		21.84
Vigas del diafragma xx	0,70	0,50	40,91	1	2 400		34.36
Vigas del diafragma yy	0,70	0,50	36,93	1	2 400		31.02
Fuente: Elaboración propia.							322.29

Tabla 73.

Metrado nivel 02 al 08 - cargas estructurales

Metrado nivel 02 al 08 - cargas estructurales							
Elemento estructural	Lado A (m)	Lado B (m)	Altura (m)	# veces	Peso específico (Kg/m^3)	Peso específico (kg/m^2)	Metrado (tn)
Columnas esquinadas (nivel 01)	0,45	0,45	4,20	5	2 400		10.21
Columnas excéntricas (nivel 01)	0,60	0,50	4,20	6	2 400		18.14
Columnas céntricas	0,60	0,60	4,20	2	2 400		7.26
Muros de corte	0,30	24,00	4,60	0	2 400		0.00
Vigas - dirección xx	0,70	0,35	40,91	1	2 400		24.06
Vigas - dirección yy	0,70	0,35	36,93	1	2 400		21.71
Losa aligerada (por área)	17,00	10,00		1		420	71.40
Fuente: Elaboración propia.							152.78
						Cargas estructurales (concreto y acero)	1391.74

Tabla 74.

Metrado nivel 01- cargas no estructurales (losa maciza)

Metrado nivel 01 - cargas no estructurales (losa maciza)							
Elemento estructural	Lado A (m)	Lado B (m)	Altura (m)	# veces	Peso específico (Kg/m^3)	Peso específico (kg/m^2)	Metrado (tn)
Cargas por tabiquería	17,00	10,00			100		17,00
Cargas por acabado de piso	17,00	10,00			100		17,00
Fuente: Elaboración propia.							34,00

Tabla 75.

Metrado nivel 02-03-04-cargas no estructurales (losa aligeradas)

Metrado nivel 02-03-04 - cargas no estructurales (losas aligeradas)							
Elemento estructural	Lado A (m)	Lado B (m)	Área total	Vacío	Peso específico (kg/m^2)	Niveles	Metrado (t)
Cargas por tabiquería	17,00	10,00	170	0	100	8	136,00
Cargas por acabado de piso	17,00	10,00	170	0	100	8	136,00
							272,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76.

Metrado techo - cargas no estructurales (losa aligeradas)

Metrado techo - cargas no estructurales (losas aligeradas)							
Elemento estructural	Lado A (m)	Lado B (m)	Área total	Vacío	Peso específico (kg/m^2)	Niveles	Metrado (t)
cargas por techo	17	10	170	0	100	1	17,00
							17,00
	Cargas no estructurales (tabiquería y acabado de piso)						323,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77.

Metrado nivel 01 - cargas vivas

Metrado nivel 01 - cargas vivas						
Elemento estructural	Lado A (m)	Lado B (m)	Altura (m)	# veces	Peso específico (kg/m^2)	Metrado (t)
Cargas desfavorables	17	10			300	51,00
						51,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78.

Metrado nivel 02 al 08 - cargas vivas

Metrado nivel 02 al 08 - cargas vivas							
Elemento estructural	Lado A (m)	Lado B (m)	Área total	Vacío	Peso específico (kg/m^2)	Niveles	Metrado (t)
Cargas desfavorables	17	10	170	0	300	8	408,00
							408,00
	Cargas vivas – desfavorables					459,00	

Fuente: Elaboración propia.

Metrado de cargas	
Cargas (estructural + no estructural)	1714,74
Cargas vivas	459,00
	2173,742
100% carga muerta	1714,74
50% carga viva-esencial	229,50
	1944,24

Tabla 79.

Cuadro de resumen de elementos estructurales

Cuadro de resumen	
Elemento estructural	Dimensiones
Columna esquinada	45x45 cm
Columna excéntrica	60x50 cm
Columna Céntrica	60x60 cm
Losa Aligerada	30 cm
Losa Maciza	20 cm
Viga Peraltada Aligerados	70x35 cm
Muros de corte	0.30 cm
Viga Peraltada Loza Maciza	70x50 cm
Capiteles y pedestales	100x100x70 cm

Fuente: Elaboración propia.