



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

“DESEMPEÑO SÍSMICO Y ESTADO DE DAÑO EN EDIFICIOS
APORTICADOS DE CONCRETO ARMADO, MEDIANTE CURVAS DE
FRAGILIDAD EN LIMA 2020”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DEL
TERRITORIO

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL

AUTOR:

BENDEZÚ ROMERO LENIN MIGUEL

ASESOR:

GUEVARA BENDEZÚ JOSÉ CLAUDIO

JURADO:

VALENCIA GUTIÉRREZ ANDRÉS AVELINO
PUMARICRA PADILLA RAÚL VALENTÍN
CANCHO ZÚÑIGA GERARDO ENRIQUE

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

*A Dios Padre Todo Poderoso, por darme
la fuerza para nunca darme por vencido
en el desarrollo de la presente Tesis*

AGRADECIMIENTO

*A los Señores Doctores
miembros del Jurado, quienes han realizado su
evaluación de manera objetiva.*

*A mi asesor el Dr. José Claudio Guevara Bendezú,
quien ha sabido guiarme en el desarrollo de la
presente Tesis Doctoral. Muchas gracias a todos.*

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Planteamiento del Problema.....	19
1.2. Descripción del Problema	20
1.3. Formulación del Problema	20
1.3.1. Problema Principal.....	21
1.3.2. Problemas Secundarios	21
1.4. Antecedentes	22
1.4.1. Bibliográficos.....	22
1.4.2. Contexto.....	25
1.5. Justificación de la Investigación.....	26
1.5.1. Justificación	26
1.5.1.1. Conveniencia.....	26
1.5.1.2. Relevancia Social.....	26
1.5.1.3. Aplicación Práctica.	27
1.5.1.4. Utilidad Metodológica.	27
1.5.1.5. Valor Teórico.....	27
1.5.2. Importancia de la Investigación.....	28

1.6. Limitaciones de la Investigación	28
1.6.1. Alcances	28
1.6.2. Limitaciones.....	29
1.6.2.1. Espacial.	29
1.6.2.2. Temporal.	30
1.6.2.3. Social.....	30
1.7. Objetivos	30
1.7.1. Objetivo General.....	31
1.7.2. Objetivos Específicos.....	31
1.8. Hipótesis.....	31
1.8.1. Hipótesis	32
1.8.1.1. Hipótesis Principal.	32
1.8.1.2. Hipótesis Secundarias. (jalar al problema y objetivos) y la matriz.....	32
1.8.2. Variables	33
1.8.2.1. De la Hipótesis Principal.....	33
1.8.2.2. De la Hipótesis Secundarias.....	33
II. MARCO TEÓRICO	34
2.1. Marco conceptual	34
2.1.1. Bibliográficos Nacionales.....	34
2.1.1.1. Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles.	34
2.1.2. Bibliográficos Internacionales	35
2.1.2.1. Momento Curvatura.	35
2.1.2.2. Punto de Desempeño.....	36
2.1.2.3. Estados de Daño.....	37
2.1.2.4. Niveles de Desempeño.....	39

2.1.2.5. Niveles de Peligro Sísmico	42
2.2. Bases Teóricas	43
2.2.1. Diseño Basado por Fuerzas.....	43
2.2.2. Determinación de Desplazamientos Laterales	44
2.2.3. Diseño Basado por Desempeño Sísmico	44
2.3. Base Filosófica	46
2.4. Base Legal	46
2.5. Marco Conceptual	46
2.5.1. Curva de Capacidad	47
2.5.2. Desplazamiento - Distorsión.....	48
2.5.3. Espectro de Respuesta.....	48
2.5.4. Cortante Basal	49
2.5.5. Espectro de Respuesta Elástica.....	50
2.5.6. Capacidad Estructural	51
2.5.7. Elementos Estructurales.....	52
2.5.8. Límites de Reforzamiento.....	53
2.5.9. Determinación Teórica de la Relación Momento - Curvatura.....	53
2.5.10. Membranas y Estructuras Laminares.....	54
2.5.11. Respuesta Estructural.....	55
2.5.12. Análisis Pushover.....	55
2.5.13. Uniones Viga - Columna	56
2.5.14. Efectos Locales y Microzonificación.....	56
2.5.15. Evaluación del Peligro Sísmico	57
2.5.16. Sistema de Control Estructural	58
2.5.17. Relaciones Momento Curvatura	59

2.5.18. Estado de Límite	60
2.5.19. Diseño Estructural y Daños por Sismo	61
2.5.20. Curvaturas de Fragilidad.....	61
2.5.21. Enfoque Conceptual del Sistema	65
2.5.22. Esfuerzo y Serviciabilidad	66
2.5.23. Corte de Barras Dobladas	66
2.5.24. Desempeños	67
2.5.25. Estimación de Respuestas Sísmicas.....	67
2.5.26. Niveles de Amenaza Sísmica.....	68
2.5.27. Niveles de Desempeño.....	68
2.5.28. Prueba de la Mesa Vibratoria.....	70
III. MÉTODO	71
3.1. Tipo de Investigación	71
3.1.1. Tipos	71
3.1.2. Nivel de Investigación	71
3.1.3. Diseño de la Investigación.....	72
3.2. Población y Muestra.....	72
3.2.1. Población.....	72
3.2.2. Muestra	72
3.3. Operacionalización de Variables.....	73
3.3.1. Estrategias de Pruebas de Hipótesis.....	74
3.3.1.1. Hipótesis Nula Principal (Ho).....	76
3.3.1.2. Hipótesis Nulas Secundarias (Ho).	76
3.3.2. Operacionalización de Variables	77
3.3.2.1. Variable Independiente “X”.....	78

3.3.2.2. Variable Dependiente “Y”	78
3.4 Instrumentos	78
3.4.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	79
3.5 Procesamiento de Datos	79
3.6 Análisis de Datos.....	80
IV. RESULTADOS	82
4.1. Procesamiento de Información de Campo.....	82
4.2. Resultados Antes y Después de Elaborar las Curvas de Fragilidad con la Finalidad de Conocer el Estado de Daño y Desempeño Sísmico.....	83
4.2.1. Determinación de la Prueba de Normalidad	83
4.2.2. Véase las Tablas Siguietes y el Análisis Respectivo Después de los Cuadros Presentados	86
4.3. Análisis e Interpretación de Resultados	88
4.3.1. Análisis Estático.....	88
4.3.1.1. Fuerza Cortante en la Base.....	88
4.3.1.2. Análisis Dinámico.....	91
4.3.1.3. Análisis de Estudios Realizados en Perú.	91
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
VI. CONCLUSIONES.....	101
VII. RECOMENDACIONES	102
VIII. REFERENCIAS	103
IX. ANEXOS.....	107
7.1 Anexo A. Matriz de Consistencia	108
7.2 Anexo B. Análisis Estructural de la Estructura.....	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Límites de la distorsión de entrecimiso</i>	34
Tabla 2	<i>Niveles de estado de daño según EERI</i>	37
Tabla 3	<i>Escalas de daño según NHRC</i>	39
Tabla 4	<i>Comparación de estado de daño y nivel de desempeño sísmico</i>	42
Tabla 5	<i>Niveles de peligro sísmico</i>	43
Tabla 6	<i>HAZUS casualty classification scale</i>	64
Tabla 7	<i>Magnitudes de escala de Richter</i>	64
Tabla 8	<i>Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995)</i>	65
Tabla 9	<i>Niveles de amenaza sísmica</i>	68
Tabla 10	<i>Niveles de desempeño sísmico</i>	69
Tabla 11	<i>Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value</i>	75
Tabla 12	<i>Operaciones de variables</i>	77
Tabla 13	<i>Resumen de procesamiento de casos</i>	84
Tabla 14	<i>Descriptivos</i>	84
Tabla 15	<i>Pruebas de normalidad</i>	86
Tabla 16	<i>Escala de valores del coeficiente de correlación</i>	87
Tabla 17	<i>Correlaciones</i>	87
Tabla 18	<i>Cálculo del peso total</i>	89
Tabla 19	<i>Metrado de carga</i>	89
Tabla 20	<i>Peso de la estructura para calcular la fuerza horizontal "H"</i>	90
Tabla 21	<i>Resumen de cortantes V_i (T_n)</i>	91
Tabla 22	<i>Análisis de estudios realizados en el Perú</i>	91
Tabla 23	<i>Resultado de la Investigación</i>	94
Tabla 24	<i>Niveles de daño propuesto por Ghobarah et al (1997)</i>	95

Tabla 25	<i>Valores límites de la deriva máxima entre piso para los niveles de desempeño</i>	95
Tabla 26	<i>Resultado de la investigación</i>	100
Tabla 27	<i>Desempeño sísmico y estado de daños en edificios aporricados de concreto armado, mediante curvas de fragilidad en Lima 2020</i>	108
Tabla 28	<i>Fuerzas sísmicas método de fuerzas estáticas equivalentes</i>	109
Tabla 29	<i>Sismo muy raro</i>	109
Tabla 30	<i>Sismo raro</i>	109
Tabla 31	<i>Sismo ocasional</i>	110
Tabla 32	<i>Sismo frecuente</i>	110
Tabla 33	<i>Derivas primer paso</i>	113
Tabla 34	<i>Derivas segundo paso</i>	114
Tabla 34	<i>Derivas tercer paso</i>	114
Tabla 36	<i>Derivas cuarto paso</i>	115
Tabla 37	<i>Derivas quinto paso</i>	116
Tabla 38	<i>Resumen de los pasos de derivas</i>	116
Tabla 39	<i>Derivas primer paso</i>	117
Tabla 40	<i>Derivas segundo paso</i>	118
Tabla 41	<i>Derivas tercer paso</i>	118
Tabla 42	<i>Derivas cuarto paso</i>	119
Tabla 43	<i>Derivas quinto paso</i>	120
Tabla 44	<i>Resumen de los pasos de derivas</i>	120
Tabla 45	<i>Desplazamientos sismo muy raro en sótano</i>	121
Tabla 46	<i>Desplazamientos sismo muy raro en primer piso</i>	122
Tabla 47	<i>Desplazamientos sismo muy raro en segundo piso</i>	122
Tabla 48	<i>Desplazamientos sismo muy raro en tercer piso</i>	123

Tabla 49	<i>Desplazamientos sismo muy raro en cuarto piso</i>	124
Tabla 50	<i>Desplazamientos sismo muy raro en quinto piso</i>	125
Tabla 51	<i>Desplazamientos sismo muy raro en azotea</i>	126
Tabla 52	<i>Resumen de probabilidad de daños para un sismo muy raro</i>	126
Tabla 53	<i>Desplazamiento sismo raro en sótano</i>	127
Tabla 54	<i>Desplazamiento sismo raro en primer piso</i>	128
Tabla 55	<i>Desplazamiento sismo raro en segundo piso</i>	129
Tabla 56	<i>Desplazamiento sismo raro en tercer piso</i>	130
Tabla 57	<i>Desplazamiento sismo raro en cuarto piso</i>	131
Tabla 58	<i>Desplazamiento sismo raro en quinto piso</i>	132
Tabla 59	<i>Desplazamiento sismo raro en azotea</i>	133
Tabla 60	<i>Resumen de probabilidad de daños para un sismo raro</i>	134
Tabla 61	<i>Niveles de daño propuesto por Ghobarah et al (1997)</i>	134
Tabla 62	<i>Resumen de probabilidad de daños para un sismo raro</i>	137
Tabla 63	<i>Resumen de probabilidad de daños para un sismo muy raro</i>	138
Tabla 64	<i>Resumen de procesamiento de casos</i>	143
Tabla 65	<i>Descriptivos</i>	143
Tabla 66	<i>Pruebas de normalidad</i>	144
Tabla 67	<i>Correlaciones</i>	147
Tabla 68	<i>Edificio aporticado de concreto armado E.030 norma sismorresistente</i>	148
Tabla 69	<i>Edificio aporticado de concreto armado fema 356</i>	148
Tabla 70	<i>Edificio aporticado de concreto armado Vision 2000</i>	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama momento curvatura	35
Figura 2 Punto de desempeño	37
Figura 3 Curva de capacidad.....	47
Figura 4 Desplazamientos - deriva	48
Figura 5 Espectro de respuesta	49
Figura 6 Cortante basal	50
Figura 7 Espectro de respuesta elástica	51
Figura 8 Capacidad estructural de una viga.....	52
Figura 9 Elementos estructurales	53
Figura 10 Curvatura de una viga.....	60
Figura 11 Curvas de fragilidad	63
Figura 12 Curva de fragilidad con probabilidad de daños	64
Figura 13 Definición del problema	66
Figura 14 Curva de capacidad sectorizadas	69
Figura 15 El universo (N) y la muestra (n)	73
Figura 16 Normal distribution	76
Figura 17 Gráfico Q-Q normal de deriva.....	85
Figura 18 Gráfico Q-Q normal sin tendencia de deriva.....	85
Figura 19 Gráfico Q-Q normal de estado de daño.....	86
Figura 20 Gráfico Q-Q normal sin tendencia de estado de daño	86
Figura 21 Punto de desempeño	92
Figura 22 Ejemplo de curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y completo	93
Figura 23 Curvas de fragilidad	93

Figura 24 Espectros para distintos tipos de sismos.....	94
Figura 25 Curva de capacidad sectorizada.....	97
Figura 26 Curva de capacidad sectorizada.....	98
Figura 27 Ejemplo de curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y completo	98
Figura 28 Ejemplo de curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y completo	99
Figura 29 Espectros para distintos tipos de sismos.....	99
Figura 30 Modelamiento para sismo ocasional	111
Figura 31 Modelamiento para sismo raro	111
Figura 32 Modelamiento para sismo raro	112
Figura 33 Modelamiento para sismo muy raro	112
Figura 34 Pushover - primer paso	113
Figura 35 Pushover - segundo paso	113
Figura 36 Pushover - tercer paso	114
Figura 37 Pushover - cuarto paso.....	115
Figura 38 Pushover - quinto paso	115
Figura 39 Pushover - primer paso	117
Figura 40 Pushover - segundo paso	117
Figura 41 Pushover - tercer paso	118
Figura 42 Pushover - cuarto paso.....	119
Figura 43 Pushover - quinto paso	119
Figura 44 Punto de desempeño para sismo ocasional.....	135
Figura 45 Punto de desempeño para sismo raro	135
Figura 46 Punto de desempeño para sismo muy raro	136
Figura 47 Curva de fragilidad sismo raro	136
Figura 48 Punto de desempeño para sismo muy raro	137

Figura 49 Curva de fragilidad	137
Figura 50 Modelamiento Perfom 3D	138
Figura 51 Modelamiento Perfom 3D	139
Figura 52 Modelamiento Perfom 3D	139
Figura 53 Modelamiento Perfom 3D	140
Figura 54 Curva de capacidad en Perfom 3D	140
Figura 55 Lazos histeréticos	141
Figura 56 Momento curvatura	141
Figura 57 Modelamiento sismo raro	142
Figura 58 Función de espectro de respuesta	142
Figura 59 Modelamiento SAP 2000	143
Figura 60 Gráfico Q-Q normal de Deriva.....	144
Figura 61 Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Deriva.....	145
Figura 62 Deriva	145
Figura 63 Gráfico Q-Q normal de estado de daño.....	146
Figura 64 Gráfico Q-Q normal sin tendencia de estado de daño.....	146
Figura 65 Estado de daño.....	147
Figura 66 Fotografía de la estructura analizada.....	150
Figura 67 Modelado de la estructura	151
Figura 68 Primer modo de vibración	151

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo de investigación está relacionado a poder determinar el desempeño sísmico y el estado de daño a través de las curvas de fragilidad de los edificios aporticados de concreto armado, actualmente con los métodos de diseños considerados en las normas es difícil poder predecir su comportamiento estructural frente a las cargas sísmicas, tampoco podemos saber qué estado de daño podrá tener estas estructuras, en esta investigación se indica el problema de la siguiente manera: ¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico y estado de daño en los edificios bajo el sistema aporticado de concreto armado Lima 2020?

Se plantea como objetivo general: Determinar el estado de daño y desempeño sísmico de los edificios aporticados de concreto armado, mediante curvas de fragilidad, se encuentran contemplados en las normas tales como: FEMA 356, ATC 40, y VISION 2000, en donde se dan a conocer el desempeño sísmico y el estado de daño en estructuras del sistema aporticado de concreto armado después de este análisis comparar con lo establecido en la norma peruana de Diseño Sismorresistente – E.030 vigente. Se tiene como resultado de esta investigación que en los niveles de desempeño: operacional, seguridad de vida cumplen con lo establecido en la norma sismorresistente vigente, con 0.002 y 0.003; en cambio en los niveles de desempeño: próximo al colapso y colapso no cumplen con lo establecido en la norma sismorresistente, teniendo la función de distorsión de 0.0065-0.0074 y de 0.0075-0.0120 respectivamente.

Palabras claves: Capacidad estructural, curvas de fragilidad, desempeño sísmico, estado de daño.

ABSTRACT

The development of this research work is related to being able to determine the seismic performance and the damage status through the fragility curves of the buildings provided with reinforced concrete, currently with the design methods considered in the standards it is difficult to predict their structural behavior against seismic loads, we can not know what state of damage these structures may have, in this investigation the problem is indicated as follows: What is the level of seismic performance and state of damage in buildings under the system contributed with reinforced concrete Lima 2020?

The general objective is to: Determine the state of damage and seismic performance of buildings provided with reinforced concrete, using fragility curves, are covered by regulations such as: FEMA 356, ATC 40, and VISION 2000, where to know the seismic performance and the damage status in structures of the system supplied with reinforced concrete after this analysis, compare with what is established in the Peruvian norm of Seismic-resistant Design - E.030 in force. It is had as a result of this investigation that in the performance levels: operational, life safety, comply with the established in the current seismic resistant standard, with 0.002 and 0.003; on the other hand, in the performance levels: near collapse and collapse do not comply with the provisions of the seismic resistant standard, having the distortion function of 0.0065-0.0074 and 0.0075-0.0120 respectively.

Key words: Structural capacity, brittleness curves, seismic performance, damage status.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú y muchos países de Latinoamérica se realizan diseños estructurales tradicionales como es el caso del método por Fuerzas y el método por Resistencia que en todos los casos son diseños muy sesgados, los mismos que no nos han permitido evaluar los daños poder verificar el real desempeño sísmico, tampoco se puede determinar el nivel de daño bajo un algún nivel predefinido de intensidad sísmica en el sitio de estudio.

Si queremos tener edificios seguros requerimos saber qué nivel de desempeño sísmico podrán tener, poder diseñar para un determinado nivel de daño, es decir se puede predecir qué nivel de daño podrán soportar, para ello es importante verificar algunos de los códigos de diseño como son los casos de: VISION 2000, FEMA 356, ATC40, entre otros; conocer los métodos de diseño por desplazamiento y otros.

La justificación de la elección del problema de investigación se basa principalmente en la necesidad de conocer: ¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico y estado de daño en los edificios bajo el sistema apertado de concreto armado Lima 2020?; es decir que en nuestro medio no podemos determinar el nivel de desempeño sísmico tampoco el estado de daños, toda vez que como se ha mencionado anteriormente el diseño sísmico que se realiza es a través de un diseño basado en su rigidez y este diseño es sesgado, ya que no se puede conocer ni el estado de daños ni el desempeño sísmico en su comportamiento estructural.

La motivación principal en el desarrollo de la presente investigación es de ver como las estructuras en nuestro país son vulnerables a los sismos pudiendo ser advertidos incluso en el momento del diseño sísmico estructural, y que estos generan cuantiosas pérdidas económicas y hasta de vidas en la población en general; y teniendo la aplicación de esta metodología de diseño sísmico se evitaría estas pérdidas.

Por otra parte, el objetivo principal del presente trabajo de investigación se basa en Determinar el estado de daño y desempeño sísmico del edificio aporticado de concreto armado, mediante curvas de fragilidad, con la finalidad de comparar con la norma de Diseño Simorresistente - E.030 vigente, en Lima 2020; toda vez que como se ha señalado anteriormente en nuestra normativa actual no existe el diseño sísmico basado por desempeño sísmico por lo que no es de práctica realizar un análisis sísmico para conocer su desempeño y su estado de daño correspondiente. Asimismo, se tiene como objetivos específicos son:

a) Establecer la influencia de criterios y práctica para evaluar la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño, de los edificios aporticados de concreto armado en Lima 2019; b) Elaborar curvas de capacidad para evaluar el desempeño sísmico de los edificios aporticados de concreto, en Lima 2019; c) Elaborar curvas de fragilidad para poder determinar el estado de daño de los edificios aporticados de concreto armado en Lima 2019; los que se encuentran relacionados al problema de investigación.

La estructura desarrollada de esta tesis ha comprendido:

En el primer capítulo se ha cuenta lo referente al planteamiento del problema, que comprende los siguientes puntos a reflexionar tales como antecedentes, el planteamiento del problema, la fijación de los objetivos correspondientes de la investigación, la justificación e importancia de estudio, el desarrollo de los alcances y limitaciones, y la determinación de las variables, tanto como las dependientes y las independientes.

En el capítulo segundo, se desarrolla el marco teórico que ha comprendido los aspectos referentes a las bases teóricas relacionadas con el tema de investigación, el marco teórico, y la determinación de las hipótesis de estudio de investigación.

En el tercer capítulo se desarrolló acerca del método de investigación, que contempló sobre el tipo de investigación, el proyecto de investigación aplicado, la táctica de declaración

de hipótesis que se aplicó al respecto, las variables del estudio de investigación, la precisión de la población y muestra, en este caso los elementos de recolección de datos son aplicados, de igual forma en lo que corresponde al desarrollo del procesamiento y análisis de datos.

En esta tesis, se ha desarrollado en el capítulo cuarto, la interpretación de resultados teniendo el análisis y prueba de hipótesis, los que deberán guardar relación con los datos que se obtengan en la ficha de recolección de datos en cuestión.

Por otro lado, en el capítulo quinto, se desarrolla la discusión de resultados del estudio realizado tanto en lo referente a la discusión propiamente explícita sobre la contrastación y validación de las hipótesis formuladas; posterior a ello se ha desarrollado el planteamiento final de las conclusiones y recomendaciones en esta investigación.

1.1. Planteamiento del Problema

En nuestro medio, relacionado al diseño estructural de edificios aporticados de concreto armado no es posible predecir el comportamiento estructural de las edificaciones de concreto armado frente a un evento sísmico, tampoco se puede conocer o saber (antes del evento sísmico) el estado de daño que va a tener las estructuras de los edificios aporticados en concreto armado, y esto hace que no se cumpla con seguridad la filosofía de diseño estructural que señala en nuestra norma actual E0.30 Diseño Sismorresistente en donde señala “evitar pérdida de vidas humanas”.

Teniendo los resultados del presente trabajo de investigación se podrá facilitar el trabajo al proyectista estructural, para que a partir de la elaboración de tablas se puede relacionar el nivel de comportamiento que va a tener la estructura con el nivel de daño que tendrá la misma.

Actualmente ningún diseño estructural puede predeterminar el estado de daño que va a tener la estructura frente a un evento sísmico, por tanto, no se puede garantizar el nivel de comportamiento estructural de los edificios aporticados de concreto armado y

en consecuencia tampoco se puede señalar el estado de daño que van a tener estos edificios a través de las curvas de fragilidad, tampoco su desempeño sísmico una vez determinada la curva de capacidad y de esta manera conociendo su punto de desempeño.

1.2. Descripción del Problema

El diseño sísmico se ha modificado radicalmente en los últimos años, al cambiar su filosofía de resistencia a desempeño. Hace más de 70 años se iniciaron los primeros cálculos para obtener la resistencia sísmica de los sistemas estructurales en diferentes reglamentos de construcción.

Por mucho tiempo se consideró que el desempeño de las estructuras se satisfacía con los requerimientos de resistencia. Sin embargo, en los últimos 30 años se ha observado que al aumentar la resistencia no necesariamente se mejora la seguridad, ni se reduce el daño.

El objetivo principal de la DBD, es diseñar un sistema estructural para sustentar un nivel predefinido de daño bajo un nivel predefinido de intensidad sísmica.

Los trabajos de investigación desarrollados hasta la fecha que definen el estado de arte del enfoque de diseño por desempeño son: en EE. UU. (Vision 2000, ATC – 40, FEMA – 273, FEMA 350) y en Japón se encuentran en proyectos de investigación.

1.3. Formulación del Problema

La formulación del problema se ha desarrollado por la necesidad de realizar la investigación científica relacionada al diseño sísmico basado por desempeño; por tanto, se infiere que existe la necesidad de conocer el desempeño sísmico y el estado de daño de las estructuras analizadas, en el Perú este tipo de diseño no es de aplicabilidad, esto debido a muchos factores entre ellos que falta investigación relacionada a este tema en específico. Esto es debido a la falta de laboratorios como son la mesa vibratoria para

tener estructuras a escala real y así poder analizarlas con los sismos reales del país, es decir que falta son logística y conocimientos científicos relacionados al tema de estudio.

Para Hernández, es señalar que, cuando Se plantea la dificultad no es sino ajustar y estructurar más admisiblemente el concepto de investigación. Por ello el paso de la idea al planteamiento del problema puede ser en algunas ocasiones de manera inmediata, casi mecánico, o admisiblemente llevar una considerable cantidad de tiempo; ello depende de cuán familiarizado esté el que investiga con el tema a tratar, la pluralidad misma de la idea, la realidad de enseñanza de circunstancias, el empeño que tiene el investigador y las habilidades personales. Hernández (2016)

1.3.1. Problema Principal

¿De qué manera el desempeño sísmico y estado de daño influyen en el diseño sismorresistente de los edificios del sistema aporticado de concreto armado de acuerdo a la norma Sismorresistente E.030 vigente, en Lima 2020?

1.3.2. Problemas Secundarios

- a) ¿Qué estados de daño se encontrarán al realizar el diseño basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado, empleando curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño, en Lima 2020?
- b) ¿Qué nivel de desempeño sísmico se encontrará al realizar el diseño basado por desempeño de los edificios de concreto armado, en Lima 2020?
- c) ¿Qué distorsión se obtendrá para un nivel de desempeño de “seguridad de vida” en los edificios aporticados de concreto armado, Lima 2020?

1.4. Antecedentes

1.4.1. Bibliográficos

Paytán (2017) Perú, en su tesis titulada “Diseño por desempeño sísmico de las estructuras de acero”. Presentada ante la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Pontificia Universidad Católica del Perú sostuvo que.

El autor tuvo como objetivo claro, dar a conocer un método de diseño basado en un comportamiento plástico de las estructuras metálicas, cuando estas se encuentran sometidas a cargas sísmicas; en otras palabras, analiza la aparición de rótulas plásticas o tipos de fallas en los elementos estructurales.

Teniendo en análisis y comparaciones, en donde señala que se realizarán un análisis “Pushover” para prerrogativa medir las curvas de capacidad de los pórticos a ser analizados. Para ello la estructura se modela, en el software SAP 2000, y se colocan las cargas muertas, vivas y de sismo.

El autor concluye y resalta en algo importante y se refiere a que este método de diseño, se aproxima lo más posible al comportamiento que tienen los distintos sistemas estructurales de acero, esto cuando se analizaron con registros sísmicos. Sin embargo, los programas de computacionales por más avanzados que sean siempre tendrán resultados diferentes de lo que pasa en la realidad, incluso se ha visto que el método tradicional se encuentra con estos problemas frente a un evento sísmico.

En muchos casos, de las experiencias en eventos sísmicos hemos aprendido a ajustar nuestras teorías y el avance de la tecnología nos permiten diseñar programas computacionales los que nos facilitan los cálculos. Por ello, es siempre necesario realizar las investigaciones con la finalidad de acercarnos lo más cercano a la realidad.

Hernández (2010) México, en su Tesis Doctoral titulada “Diseño Sísmico basado en desempeño y confiabilidad de sistemas Marco - Muro” presentada a la Universidad Autónoma de México, sostuvo que.

El objetivo del diseño sísmico es promover que las estructuras cuenten con las propiedades tales que les permitan tener un comportamiento adecuado ante las diversas intensidades sísmicas a las cuales estarán sujetas durante su vida útil, de tal manera que ante intensidades frecuentes y moderadas se limiten los niveles de daño que puedan ocurrir, y para intensidades excepcionales se proteja la estabilidad e integridad física del sistema. Como una estrategia para lograr lo anterior se debe desarrollar y aplicar criterios adecuados para diseño, tomando en cuenta que para el establecimiento de tales criterios se requiere un amplio entendimiento del comportamiento estructural ante dichas intensidades.

El autor se refiere al análisis de confiabilidad de la siguiente manera: Para valorar la probabilidad de error asociada con el estado límite último, se puede lucubrar que el efecto último que tiene la estructura para afrontar las deformaciones no lineales están asociadas con intensidades sísmicas para periodos de retorno grandes. Por otra parte, la probabilidad de falla se puede determinar, en términos generales, toda vez que se conocen estimaciones de las funciones de disposición de probabilidades, así como de la capacidad última como de la demanda de deformación máxima del sistema de estudio. Pero dichas estimaciones representan cálculos excesivos, más si se relacionara a la estimación última.

Finalmente, el autor concluye en que se desarrolló y aplicó un método más eficiente para realizar el análisis de confiabilidad en sistemas estructurales de concepción no lineales y de múltiples grados de libertad ante excitaciones

sísmicas. Este método propuesto puede evitar la necesidad de adoptar un criterio en particular para definir la capacidad de la estructura de deformación lateral (global o local) en un sistema, a partir de una configuración arbitraria de las cargas o deformaciones laterales.

Sánchez (2010) México, en su Tesis de Maestría titulada “Diseño Sísmico basado en desempeño para una edificación esencial de concreto reforzado” presentada al Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey - México, sostuvo que.

La justificación de la Tesis pretende hacer notar que las nuevas tendencias de diseño logran estructuras con comportamiento sísmico predeterminado (nivel de comportamiento) y además con igual probabilidad de alcanzar un estado límite específico (desempeño, objetivo), estas se darán, cuando se sometan a las sollicitaciones sísmicas determinadas por un espectro de diseño de peligro o riesgo sísmico uniforme asociado a cada nivel de funcionalidad. Es de señalar que lo anterior establece necesariamente varios escenarios de diseño y verificación, para los cuales han de existir la demanda que está asociada a una probabilidad de falla preestablecida. Por tanto, se pretende establecer un procedimiento básico con la finalidad de reducir del daño estructural espectralmente en términos de la demanda sísmica y la capacidad estructural conocida.

El autor menciona respecto a la descripción del problema, en donde señala que para aplicar la metodología expuesta y generar estos resultados comparativos para proponer la elaboración de un modelo estructural establecido a tres diferentes demandas sísmicas y a un patrón de carga. La primera fase se contempla en la consecución del diseño preliminar, esto dentro del rango elástico y de acuerdo a la normativa mexicana, por otra parte, la segunda consiste en

analizar ese diseño preliminar dentro del rango inelástico en concordancia a los criterios de la metodología del diseño por desempeño.

El Autor concluye en que los resultados obtenidos del diseño basado por el desempeño sísmico, resultaron ser más precisos que el método basado por resistencia del RCDF, señala también, que nuestras curvas de capacidad han proporcionado información muy exacta de la rigidez inicial, y también a la primera fluencia y posteriores, enfocados para cada nivel de desempeño y demanda sísmica solicitada. Esto ha permitido apreciar la concentración de los esfuerzos en la estructura y compararlos respecto a la evolución de los daños que se presenta en la estructura, hasta el punto en que se inicia el colapso de la misma; Por otra parte nos permite apreciar la concentración de los esfuerzos en la estructura y así compararlos respecto a la evolución de los daños estructurales que se presenta hasta el punto en que se inicia el colapso de la misma; Las distorsiones obtenidas han demostrado que el procedimiento de diseño sísmico de RCDF provee un comportamiento adecuado al colapso y como era de esperarse es muy conservador, lo mismo para el estado límite de servicio.

1.4.2. Contexto

En este área de estudio de los años últimos se han tenido movimientos sísmicos toda vez que la ciudad de Lima es considerada una zona de alta sismicidad, por lo que es muy importante poder realizar diseños estructurales que nos ayuden a predeterminar el nivel de comportamiento de la estructura y el estado de daño que van a tener de ocurrir un evento sísmico de gran magnitud, por otro lado es importante comparar el costo – beneficio en el diseño estructural de estos edificios, ya que la reparación estructural de un edificio dañado por

sismos es muy costoso frente a un diseño que nos permita conocer el daño y en consecuencia diseñar para evitar ese daño estructural.

1.5. Justificación de la Investigación

1.5.1. Justificación

En esta justificación se va a mencionar respecto a la conveniencia, relevancia social, aplicaciones prácticas, utilidad metodológica y valor teórico.

1.5.1.1. Conveniencia.

La conveniencia del presente estudio se basa principalmente en los conocimientos teóricos en diseño sísmico basado por desempeño aplicado a estructuras de nuestro medio, es decir las estructuras con características propias de nuestro país como es el caso de sus materiales, configuración estructural, movimientos sísmicos; esto hace interesante en poder aplicar esta metodología para que de esta manera se pueda predecir el desempeño sísmico de la estructura así como el estado de daño que va a tener.

1.5.1.2. Relevancia Social.

En esta investigación se va a notar que existe una gran trascendencia para la sociedad, es decir que la sociedad en general será beneficiada cuando se aplique esta manera de diseño sísmico; Toda vez que, al tener menor daños estructurales tendremos menor vulnerabilidad sísmica por lo que no se tendrán ni pérdidas humanas ni materiales. Por otra parte, es de indicar que los beneficiarios directos con los resultados de esta investigación serán los ingenieros diseñadores en estructuras, así como las empresas constructoras, porque se tendrán como resultados edificios más seguros y con menor vulnerabilidad y finalmente el beneficiario

directo será el propietario de cada departamento adquirido a la empresa inmobiliaria. Ya que se encontrará en una estructura muy segura.

1.5.1.3. Aplicación Práctica.

Esta investigación ayudará a resolver el problema que se tiene actualmente en los diseños de las estructuras de edificios de concreto armado del sistema aporticado. Ya que, se podrá conocer a priori el nivel de daño que va a tener la estructura, así como el desempeño sísmico, estos son factores muy importantes para saber cómo será su comportamiento ante un evento sísmico, lo que en la actualidad con el diseño basado por fuerzas es imposible poder conocerlos.

1.5.1.4. Utilidad Metodológica.

La investigación ayudará a crear un nuevo instrumento de recolección de datos, en este caso será a través de experimentos empleando programas computacionales como el SAP 2000, ETABS, y PERFORM 3D, en donde los ingresos es decir los datos de las estructuras y los resultados serán plasmados en la ficha de recolección de datos.

1.5.1.5. Valor Teórico.

El valor teórico en esta investigación es muy importante debido a que se llenará los vacíos de los conocimientos científicos en diseño sísmico basado por desempeño y de esta manera poder abrir nuevas formas de diseño sísmico más seguras en las estructuras principalmente en las edificaciones en donde albergan gran cantidad de personas.

Es importante señalar que los resultados de esta investigación se podrán generalizar a otras estructuras diferentes al que se están analizando; es decir se puede realizar un análisis sísmico basado en

desempeño a estructuras de edificios de concreto bajo el sistema dual, sistema de ductilidad limitada, sistema de estructuras de acero etc.; Por lo que de esta investigación pueden surgir diferentes ideas, objetivos, planteamiento de problemas, hipótesis para futuras investigaciones en los sistemas estructurales que se ha mencionado anteriormente.

1.5.2. Importancia de la Investigación

Esta investigación va a brindar soluciones en el diseño estructural sísmico deficiente que tenemos en la actualidad, ya que como se ha señalado anteriormente el diseño sísmico actual es muy sesgado; por otra parte se podrá ampliar los conocimientos en el diseño basado por desempeño sísmico y de esta manera se podrá efectuar un proceso de investigación innovador, esto permitirá conocer sobre el tema de una manera más profunda la cual nos va a lanzar las soluciones requeridas en el diseño estructural sísmico para en consecuencia tener estructuras más seguras y menos vulnerables; esto consta de un método riguroso de manera muy técnica en donde se recomienda contar con laboratorios en donde se podrá analizar estructuras a escala real, y además tiene como fin ampliar el conocimiento científico en este tema tan importante para la ingeniería sísmica.

El aporte en la presente investigación será contar con mejores formas de diseñar estableciendo criterios técnicos más confiables en el diseño sísmico en estructuras de concreto armado bajo el sistema aporticado.

1.6. Limitaciones de la Investigación

1.6.1. Alcances

Las limitaciones encontradas en el presente trabajo de investigación, se basan en que nuestro medio no encontramos normativas adecuadas a nuestra realidad,

en donde los factores de suelo, tipo de materiales incluso los procesos constructivos son propios de nuestro medio, por otra parte, no se cuenta con laboratorios a escala real para poder realizar la contrastación de los resultados en forma objetiva y con especímenes a escala real.

El obtener la información de los planos estructurales de estos edificios ha sido muy difícil por lo que es una limitante de no poder tener fácil acceso a toda la información de los edificios aporticados de concreto armado.

Esta investigación tiene como alcance evaluar el desempeño sísmico y estado de daño de los edificios aporticados de concreto armado en Lima, con la finalidad de verificar su comportamiento estructural y de esta manera poder predeterminar su desempeño sísmico, con el empleo de las normas: FEMA 356, ATC40, VISION 2000. Con la finalidad de prevenir alguna deficiencia en la estructuración, toda vez que este análisis se desarrollan a edificios aporticados de concreto armado existentes, y que después de realizar varias iteraciones podremos elaborar tablas en donde los estados de daños de estos edificios guardan relación con el nivel de desempeños sísmico, frente a un evento sísmico materia del presente trabajo de investigación.

1.6.2. Limitaciones

1.6.2.1. Espacial.

En la limitación espacial se puede señalar que se ha tenido debido a la escasa información bibliográfica en nuestro medio a nivel de tesis doctoral respecto al tema de estudio, así como el diseño de investigación y los procedimientos en la elaboración de recolección de datos, es decir que en esta investigación se está elaborando los primeros instrumentos de recolección de datos referentes al presente tema de investigación

1.6.2.2. Temporal.

En la limitación temporal se señala que el análisis sísmico basado por desempeño se ha realizado con normas extranjeras como el FEMA356, VISION 2000, ATC 40 y esto se compara con la norma peruana actual E.030, publicada el año 2019, sin embargo no sería de sorprenderse que esta última norma tenga cambios en los próximos años cercanos, ya que en los últimos cinco años ha sufrido hasta tres actualizaciones, por lo que de ser así será interesante realizar una nueva investigación para poder comparar con la norma vigente en cuanto exista una futura modificación.

1.6.2.3. Social.

Respecto a la limitación social se tiene que la falta de cambios en los paradigmas de los diseñadores estructurales principalmente de los antiguos es casi imposible, todo esto va de la mano con la falta de una constante capacitación en los temas que se está investigando; por tanto, al no estar familiarizados con los nuevos enfoques de diseño tendremos problemas en poder difundir estos en la población de los diseñadores estructurales, así como en los revisores de estos proyectos.

1.7. Objetivos

Los objetivos en la presente investigación se van a categorizar en dos partes: Los Objetivos Generales y Objetivos Específicos.

Según lo referido por Alfredo Otero - Ortega, en su trabajo de investigación “Métodos para el diseño del proyecto de Investigación”, señala lo siguiente:

El objetivo de investigación es la acción que define el tipo de estudio que un investigador se presta a proyectar con el fin de alcanzar un propósito o finalidad a través de la indagación, la recolección de datos y análisis de estos, para alcanzar unos

resultados, metas o logros presupuestados en su intención de estudiar un fenómeno u objeto. Se caracteriza por la búsqueda de nuevo conocimiento, los cuales se logran a través de procesos sistémicos de indagación orientados al logro de conocimiento Otero y Ortega (2018).

1.7.1. Objetivo General

Determinar el estado de daño y desempeño sísmico del edificio aporticado de concreto armado, mediante curvas de fragilidad con la finalidad de comparar con los parámetros establecidos en la norma de Diseño Simorresistente E.030 vigente, en Lima 2020.

1.7.2. Objetivos Específicos

- a) Realizar el análisis sísmico basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado para conocer el estado de daño a través de las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño en Lima 2020.
- b) Realizar el análisis estático no lineal (Pushover) para determinar el nivel de desempeño sísmico de los edificios de concreto armado, en Lima 2020.
- c) Realizar el análisis sísmico basado por desempeño para determinar la distorsión para un nivel de desempeño “seguridad de vida” en los edificios aporticados de concreto armado, en Lima 2020.

1.8. Hipótesis

La Hipótesis está considerada como una posible solución al problema de investigación.

Hipótesis es una respuesta un tanto imaginativa, inventora, a veces instintiva que el investigador fórmula para brindar respuesta al problema científico. Es una proposición explicativa o descriptiva - explicativa, que resuelve o da solución tentativamente a un problema científico.

La Hipótesis se señala que es similar a las corazonadas frecuentes, a las suposiciones o postulados que formulamos en la vida diaria, pero la diferencia es, su carácter científico que consisten en que están fundamentadas en teorías científicas y estos permiten orientar la investigación y el desarrollo de la misma ciencia. (Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez (2016).

1.8.1. Hipótesis

1.8.1.1. Hipótesis Principal.

Obteniendo las curvas de fragilidad es posible predecir los estados de daños y los niveles de desempeño sísmico de los edificios bajo el sistema aporticado de concreto armado en Lima 2020

1.8.1.2. Hipótesis Secundarias. (jalar al problema y objetivos) y la matriz

- a) Realizando el análisis sísmico basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado, se espera obtener un estado de daño moderado empleando curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño
- b) Realizando el análisis sísmico basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado, se espera obtener un nivel de desempeño de seguridad de vida, en Lima 2020
- c) Realizando el análisis sísmico basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado, se espera obtener una distorsión aceptable dentro de lo establecido en la norma sismorresistente E.030, para un nivel de desempeño de seguridad de vida, en los edificios aporticados de concreto armado, en Lima 2020.

1.8.2. Variables

Rivera (2015) Una variable es, un concepto menos abstracto del concepto del cual proviene y se puede observar en la realidad, contiene indicadores a través de los cuales se puede contar y/o medir aspectos concretos del concepto.

1.8.2.1. De la Hipótesis Principal.

Variable independiente: Curvas de fragilidad

Variable dependiente: Desempeño sísmico

1.8.2.2. De la Hipótesis Secundarias.

a) Primera hipótesis secundaria

Variable independiente: Curvas de fragilidad

Variable dependiente: Vulnerabilidad sísmica

b) Segunda hipótesis secundaria

Variable independiente: Diseño estructural

Variable dependiente: Daños y desempeño sísmico

c) Tercera hipótesis secundaria

Variable independiente: Curvas de fragilidad

Variable dependiente: Relación con desempeño sísmico

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Bibliográficos Nacionales

En nuestro medio existe escasa bibliografía relacionada al diseño basado por desempeño, por lo que lo único que podemos hacer referencia es a la norma peruana de diseño sismorresistente vigente E.030.

2.1.1.1. *Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles.*

En la norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 (2019), se puede definir respecto a los desplazamientos laterales relativos admisibles, y señala de la siguiente manera: “El máximo desplazamiento relativo de entre piso, calculado según el artículo 3, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la tabla N° 11” Ministerio de Vivienda (2018). Los parámetros de los máximos desplazamientos relativos nos sirven para poder realizar el control de derivas en el diseño estructural.

Tabla 1

Límites de la distorsión de entrepiso

Material predominante	(Δ_i/h_{ei})
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Nota. E.030 Diseño sismorresistente (2019).

2.1.2. Bibliográficos Internacionales

2.1.2.1. Momento Curvatura.

El Dr. Roberto Aguiar en su libro titulado “Análisis sísmico por desempeño”, el concepto Momento Curvatura, señala:

El diagrama momento - curvatura se caracteriza por ser de gran importancia en el diseño de las estructuras frente a cargas estáticas y dinámicas, ya que de forma rápida se visualiza lo dúctil y resistente es un elemento. Además, el área bajo la curva representa la energía interna, la parte bajo la región elástica es la energía de deformación acumulada en el miembro, mientras que el área bajo la región de postfluencia debe corresponder a la energía disipada en las deformaciones plásticas.

De esta relación, momento - curvatura se obtiene la máxima capacidad a flexión del elemento M_u , la curva última, así como también sus respectivos momento y curvatura de fluencia, de tal manera que estos valores puedan compararse con las demandas que se tiene en el diseño. Por lo que una de las principales aplicaciones de conocer estas cantidades es computar la ductilidad de curvatura de la sección del elemento estructural a diseñar, la ductilidad de curvatura permite saber si el comportamiento de la sección es dúctil o no. Mora (2016).

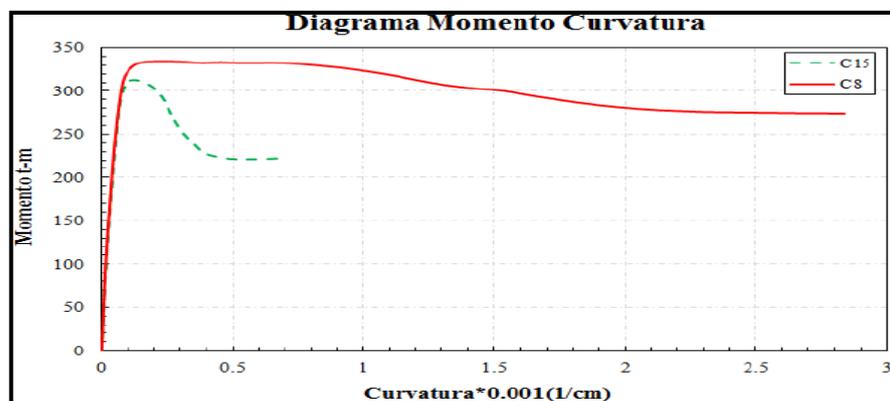


Figura 1. Diagrama momento curvatura
Nota. Artículo del Ing. Cristian Medina. 2013

2.1.2.2. Punto de Desempeño.

El Ingeniero Elías Carabalí, en su artículo denominado “Comparativo de las técnicas para encontrar el punto de desempeño en pórticos resistentes a momentos, define de la siguiente manera:

“El punto de desempeño constituye el máximo desplazamiento esperado en la estructura, para una explícita demanda sísmica” Carabalí (2016).

Por otra parte, Kim y D’Amore definen al punto de desempeño de la siguiente manera:

Una ilustración apropiada del punto de desempeño de una estructura es ventajosa para el diseño de estructuras nuevas para la rehabilitación de las estructuras existentes y hacia el análisis de vulnerabilidad y daño sísmico. La caracterización de este punto nos permite entender mejor como es el comportamiento de una estructura, la misma que es sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades y, por lo tanto, puede ser de gran ayuda con la finalidad de incrementar los niveles de seguridad a un bajo costo.

Durante los últimos años, se ha tenido un incremento enorme del uso del análisis estático no lineal como un instrumento en la evaluación de la resistencia y seguridad en la ingeniería sísmica. Este medio se considera generalmente, más realista en la valoración de la vulnerabilidad respecto a los procedimientos lineales usualmente utilizados en los diferentes códigos o normativas de diseño. D'Amore (2015).

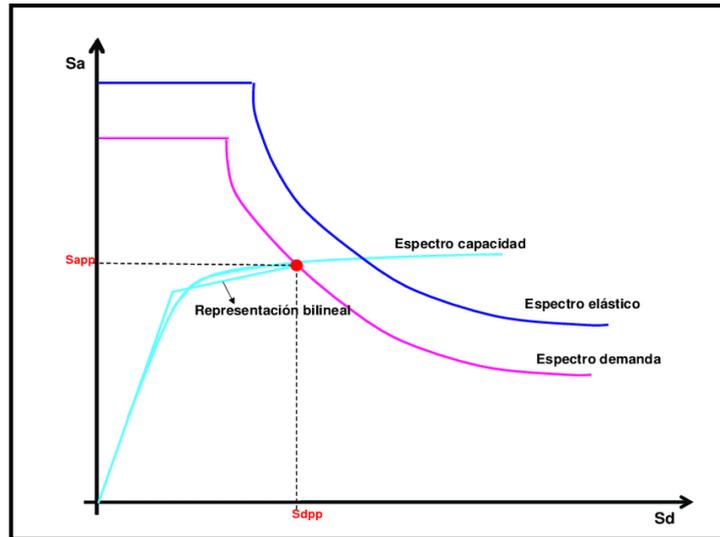


Figura 2. Punto de desempeño
 Nota. Artículo del A. Barbat.2003

2.1.2.3. Estados de Daño.

La EERI, con sede en Oakland, California, alcanza una guía para calcular el daño que pueden sufrir otras clases de edificios después de un movimiento sísmico. Para la EERI el daño se puede fundamentar de una forma más minuciosa para todas las edificaciones, incluyendo los edificios de un mismo tipo y tamaño ya que estos no necesariamente se comportan de la misma manera frente a un evento sísmico. Por lo que propone, además desarrollar un levantamiento en donde se contengan los edificios dañados, así como los no dañados. Por lo que, los niveles de daño propuestos en esta guía se pueden observar en la siguiente Tabla N° 01, junto con el porcentaje de daño y la definición de cada nivel. EERI (2014).

Tabla 2

Niveles de estado de daño según EERI

Nivel	Estado de daño (%)	Definición
Ninguno	0	Sin daño.
Ligero	0 - 5	Daño no estructural aislado; costo de

Nivel	Estado de daño (%)	Definición
		reparación menor al 5% del valor del mercado del edificio.
Moderado	5 - 25	Daño considerable no estructural y daño estructural ligero; costo de reparación menor al 25% del valor del mercado.
Severo	25 - 50	Daño estructural considerables y daño no estructural excesivo; costo de reparación menor al 50% del valor del mercado.
Total	50 - 100	Más económico demoler que reparar.

Nota. Guía EERI, niveles de estado de daño.1998

La NHRC (Natural Hazards Research Centre, teniendo su sede en la Universidad de Macquarie, de Australia) ha desarrollado una recopilación de algunas de las escalas de daño más completas con fines de la evaluación del daño en edificaciones, inducidos por riesgos naturales como son los tornados, ciclones, deslizamientos de tierra, incendios, movimientos sísmicos, etc. Dentro de este trabajo, se tienen las escalas propuestas Whitman, Hirschberg y Rojahn, y el planteamiento por parte de la NHCR dividida en 5 niveles, en donde considera unificar las escalas de estos investigadores. Uno de los levantamientos del estado de daño de las estructuras más terminado es el propuesto por Whitman (1973), el cual está basado en el estudio de edificios de 5 o más niveles dañados por el sismo de San Fernando de 1971. Cada estado de daño se identificó por una representación subjetiva del daño físico y una relación objetiva del costo de reparación al costo de reposición (Tabla 02). NHRC (2015).

Tabla 3

Escalas de daño según NHRC

Estado de daño	Daño estructural	Daño no estructural	Relación de daño (%)	Descripción del estado de daño
0		Ninguno		Ninguno
1	Ninguno	Menor	0.05 - 0.30	Daño no estructural menor grietas en algunos muros y tabique agrietados; daños irrelevantes en componentes mecánicos y eléctricos.
2	Ninguno	Localizado	0.30 - 1.25	Daño no estructural localizado agrietamiento más importante (pero todavía no generalizado); posible daño en elevadores y/o otros componentes mecánicos y eléctricos.
3	No apreciable	Generalizado	1.25 - 3.50	Daño no estructural generalizado posible agrietamiento en algunas vigas y columnas, aunque no apreciables.
4	Menor	Sustancial	3.50 - 7.50	Daño estructural menor agrietamiento obvio o cadencia de algunos elementos estructurales; daño sustancial no estructural con grietas generalizadas.
5	Substancial	Extensivo	7.50 - 20.0	Daño estructural sustancial en donde se requiere reparar o remplazar algunos elementos estructurales; asociado a un daño importante en elementos no estructurales.
6	Mayor	Cercano al total	20.0 - 65.0	Daño estructural mayor, en donde se requiere reparar o remplazar muchos elementos estructurales; el daño no estructural asociado requiere reparar la mayor parte del interior; el edificio se desaloja durante la reparación.
7	Declarado en ruina		100	Edificio declarado en ruina.

Nota. Definición de daño de acuerdo a Whitman, 1973 (NHRC).

2.1.2.4. Niveles de Desempeño.

El nivel de desempeño refiere a un estado límite de daño. Y esto representa una condición de estado límite o tolerable establecida en función de los potenciales daños físicos sobre la estructura analizar, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la estructura es inducido por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto. ATC-40 (1996).

Es una representación de la máxima generalización del daño, en donde se supone tanto la condición de los elementos estructurales como

de los elementos no estructurales y su contenido, concerniente con la función de la estructura. Los niveles de desempeño en muchas ocasiones suelen expresarse realmente en términos cualitativos de valoración pública (impacto en ocupantes, usuarios, etc.) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño o evaluación de estructuras existentes (extensión del deterioro, degradación de elementos estructurales o no estructurales, etc.) (SEAOC, 1995).

La Propuesta del Comité **VISION 2000** SEAOC (1995) define cuatro niveles de desempeño identificados a través de los siguientes calificadores:

- a) **Totalmente Operacional.** Nivel de desempeño es cuando, no ocurren daños. Los resultados sobre los usuarios de las instalaciones son insignificantes. La estructura permanece totalmente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la estructura permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.
- b) **Operacional.** Este es el nivel de desempeño en el que ocurren daños y estos son moderados, en elementos no estructurales y en el contenido de la estructura, a veces casos algunos daños son ligeros en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura, la misma que debería permanecer disponible para cumplir con sus funciones normales de manera inmediata después del evento sísmico, aunque los daños en elementos no estructurales y contenido, puede interrumpir

parcialmente algunas funciones. En general, se recomienda realizar algunas reparaciones menores.

- c) Seguridad. Nivel de desempeño que tiene la estructura, cuando ocurren daños moderados en los elementos estructurales, no estructurales y también en el contenido de la estructura. Se tiene una disminución en la rigidez lateral de la estructura y la capacidad resistente del sistema. Por otra parte, se tiene la interrupción de los servicios eléctricos, mecánicos y asimismo la perturbación de las vías de escape en la estructura. Las instalaciones quedan fuera de servicio y es muy probable que la estructura, requiera reparaciones muy importantes.
- d) Pre-Colapso. Nivel de desempeño, se da cuando se tiene la disminución de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema, y este compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso estructural. Se tiene también la interrupción de servicios y vías de escape. La estructura se encuentra completamente insegura para sus ocupantes y realizar las reparaciones pueden resultar no posible técnica o económicamente.

En la referencia mencionada, se contiene una amplia representación de estos niveles permisibles o tolerables de daños asociados a los cuatros niveles de desempeño indicados, para los diferentes sistemas y sub-sistemas del edificio, los elementos del sistema resistente a cargas verticales y laterales, así como los componentes secundarios y no estructurales (arquitectónicos, eléctricos, mecánicos, etc.). La Tabla 3,

condensa algunas de las principales particularidades asociadas a estos niveles de desempeño y su relación con los estados de daños.

Tabla 4

Comparación de estado de daño y nivel de desempeño sísmico

Estado de daño	Nivel de desempeño	Características principales
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural insignificante o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones posteriormente del seísmo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y también las no esenciales pueden sufrir interrupciones de una forma inmediata su recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños, pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

Nota. Guía SEAOC-1995.

2.1.2.5. Niveles de Peligro Sísmico.

Se define alerta sísmica como la probabilidad de ocurrencia de una comprobación sísmica internamente de un periodo exclusivo de sesión y sobre un espacio de órbita establecida, con un valor determinado.

Se definen cuatro niveles de lance sísmico, el delantero está representado por sismos frecuentes, con 43 años de fase de retorno; el que está representado por sismos ocasionales, con 75 años de temporada de retorno, el tercero por sismos raros, con 475 años de tiempo de retorno y el extremo por sismos muy raros, con 1000 años de estación de retorno. Cada uno de los peligros sísmicos todavía de poder ser definidos por un tiempo de retorno además están determinados por una velocidad

altura del suelo, para sismos frecuentes es de 0.20g, para sismos ocasionales es de 0.25g, para sismos raros es de 0.40g, mientras tanto que para sismos muy raros es de 0.50g, donde g es la aceleración de la gravedad. Borda (2007).

Tabla 5

Niveles de peligro sísmico

Peligro sísmico	Periodo de retorno T_R	Probabilidad de excedencia en 50 años
Sismo Frecuente	0	69%
Sismo Ocasional	0 - 5	50%
Sismo Raro	5 - 25	10%
Sismo Muy Raro	25 - 50	5%

Nota. Propuesta de Comité VISION 2000.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Diseño Basado por Fuerzas

El diseño sismorresistente se ha basado tradicionalmente en fuerzas, esto es una consecuencia de cómo se diseña para otro tipo de sollicitaciones tales como cargas gravitacionales y de viento. No obstante, es ampliamente reconocido que la resistencia que se da a la estructura tiene menor importancia en el diseño sismorresistente. Si la estructura tiene menor resistencia que la demanda por las cargas gravitacionales, la estructura colapsa, sin embargo, la resistencia es menor que la demanda por el sismo, la estructura fluye, dañándose, disipando energía y si ha sido diseñada adecuadamente no colapsa. El diseño basado en fuerzas no utiliza factores de reducción de resistencia para controlar el daño en la estructura, se considera que a mayor resistencia menor daño. Suárez (2016)

El diseño basado en fuerzas es lo que se aproxima al diseño basado por desplazamiento, ya que las fuerzas que actúan en la estructura deberán ser tal que

permitan un desplazamiento en ella, es por tanto la relación que existe que el desplazamiento será igual a fuerza multiplicada por la inversa de la rigidez, esta relación ya conocíamos desde cuando estudiamos análisis estructural en el nivel de pregrado.

2.2.2. Determinación de Desplazamientos Laterales

En la norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, se puede definir respecto a la determinación de desplazamientos, y señala de la siguiente manera:

En la norma se señala que, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por $0.75R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por $0.85 R$ los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se consideran los valores mínimos de C/R indicados en el numeral 28.2 ni el cortante mínimo en la base especificada en el numeral 29.4 Ministerio de Vivienda (2018). Lo señalado en esta norma es imperativo para todo tipo de diseño esto con la finalidad de poder diseñar dentro de nuestro país y así garantizar la funcionalidad de la estructura, sin embargo, muchos autores concluyen que estos parámetros siguen teniendo un diseño muy conservador.

2.2.3. Diseño Basado por Desempeño Sísmico

De manera general el diseño basado por desempeño consiste en la selección de apropiados esquemas de evaluación que permitan el dimensionamiento y detallado de los componentes estructurales, no estructurales y del contenido, de manera que para un nivel de movimiento especificado y con diferentes niveles de confiabilidad la estructura no debería ser dañada más allá de ciertos estados

límites. Tiene por objeto el desarrollo de métodos que permitan concebir, diseñar, construir y mantener edificaciones que sean capaces de exhibir un desempeño predecible cuando son afectados por sismos. Bozorgnia y Bertero (2012).

Como se menciona en el párrafo anterior por parte del autor, el diseño basado por desempeño es muy importante ya que con este tipo de diseño se podría predecir el comportamiento estructural frente a una demanda sísmica, lo que no sucede en el diseño tradicional, que lo único que se verifica es que no supere la deriva permitida por la norma E.030 (2019), sin saber cómo se comportará después del evento sísmico, sin saber que desempeño sísmico tendrá.

La definición de comportamiento esperado de una edificación durante movimientos sísmicos de diferentes intensidades debe ser establecida de manera cualitativa, en una primera fase conceptual, antes de emprender las sucesivas fases del proceso, entre las que destacan la fase numérica, orientadas al diseño propiamente dicho y finalmente la fase de implementación, donde la calidad del diseño debe ser garantizado por un adecuado control de calidad durante la ejecución y mantenimiento de las obras. Durante esta primera fase conceptual, el desempeño sísmico de las edificaciones se establece sobre la base de tres conceptos fundamentales: el nivel de desempeño, el nivel de amenaza y el desempeño esperado de la edificación. Porter, Hamburger, Gumpertz, y Herger (2014).

El comportamiento esperado es lo que pretendemos conocer y saber cómo se va a comportar una estructura, es como tener una bola mágica y ver en el futuro que es lo que pasará con esa estructura, y todo este análisis no sería posible sin antes conocer el análisis no lineal de los elementos y de la misma estructura, lo que pasa en la realidad es la “no linealidad”, el resto es irreal.

2.3. Base Filosófica

La base filosófica se enmarca a lo relacionado a la filosofía basado por desempeño sísmico en donde es un diseño que permite contrarrestar las incertidumbres existentes para definir la demanda sísmica y asegurando que la estructura responda de forma estable y con adecuada capacidad de disipación de energía; teniendo como objetivo principal, impedir el colapso en el terremoto extremo que es probable que ocurra en un sitio; y no son objetivos, limitar los daños, mantener la operatividad, permitir reparaciones fáciles.

Por otra parte, dependerá del tipo de estructura diseñada o por diseñar mantener la operatividad de las estructuras.

2.4. Base Legal

La base legal en nuestro país está relacionada a la norma peruana de diseño sismorresistente E.030 (2019), que ha sido promulgada mediante la Resolución Ministerial N° 043-2019 – Vivienda, de fecha 11 de febrero de 2019; Teniendo como objeto que “esta norma establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistente de las edificaciones; Mientras no se cuente con normas nacionales específicas para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, túneles y todas aquellas que su comportamiento sísmico del de las edificaciones, se debe utilizar los valores Z y S del capítulo II amplificados de acuerdo a la importancia de la estructura considerando la práctica internacional. Ministerio de Vivienda (2019).

2.5. Marco Conceptual

El marco conceptual “está compuesto de referencias a sucesos y situaciones pertinentes, a resultados de investigación, incluye, por tanto, un marco, de antecedentes, definiciones, supuestos, etc.” Ortiz (2011). Es importante señalar que el marco

conceptual no debe convertirse en un retazo de lo que dice una u otra persona que habla sobre el tema, todo aquello que se utiliza en el marco conceptual, deberá conceptualizarse y señalar por qué es importante en la investigación.

2.5.1. Curva de Capacidad

Se define como curva de capacidad a la relación que existe entre la resistencia a la carga lateral de una estructura en este caso, conociendo sus características en materiales como es el caso del módulo de elasticidad, o también de su sección y por otra parte su desplazamiento lateral característico de la misma. Usualmente esta, se obtiene a través de un análisis estático no lineal - AENL, conocido en la literatura ingenieril inglesa como análisis *pushover*.

El análisis *pushover* se realiza aplicando algún patrón de cargas laterales asignadas a la estructura materia del estudio, las mismas que representen a las fuerzas sísmicas, patrón que se va incrementando de manera monotónica, esta acción se realiza hasta alcanzar la capacidad última de la estructura o el colapso de la misma. El objetivo en este procedimiento es poder cuantificar la capacidad que tiene la estructura en el análisis con la finalidad de absorber una acción lateral como es el caso de un sismo. Aguiar (2014)

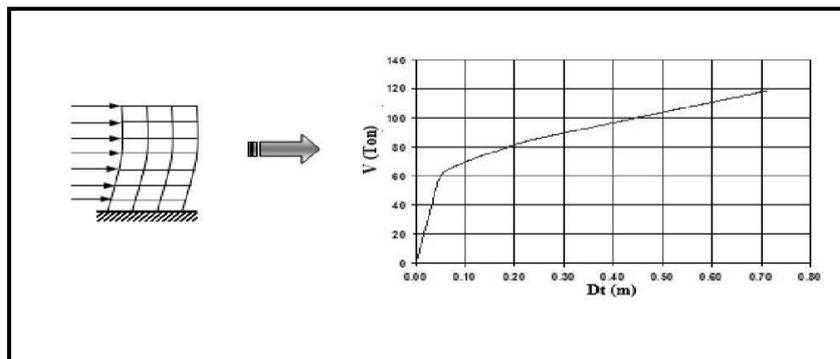


Figura 3. Curva de capacidad
Nota. Artículo del Dr. Roberto Aguiar, 2012

2.5.2. Desplazamiento - Distorsión

De acuerdo a fuentes bibliográficas el desplazamiento se define como:

De acuerdo con las NTCS-95, en lo referente a la revisión de desplazamientos laterales, una de las formas representativas de un sistema estructural en edificaciones, sujetas a las fuerzas laterales es conocido como el desplazamiento lateral de entrepiso es decir, el que existe entre un piso y el siguiente (contiguo), por lo que resulta necesaria la obtención de un índice adimensional de esta medida en el análisis de la respuesta mediante la división del desplazamiento lateral de entrepiso entre la altura, a este valor se le denomina distorsión de entre piso o también conocido como deriva, resultando ser el parámetro más importante para poder comparar el comportamiento de los distintos sistemas estructurales y de esta manera puede determinar el grado de daño en la estructura que podría presentarse Crainic (2013).

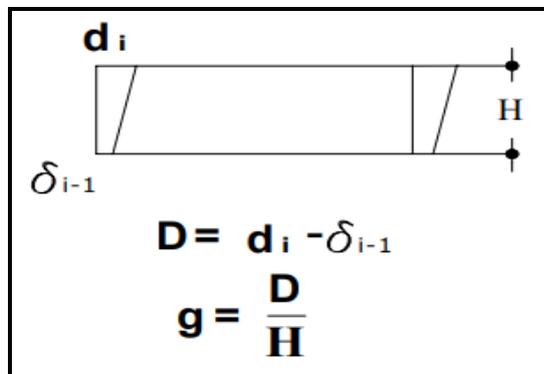


Figura 4. Desplazamientos - deriva
Nota. Artículo del Dr. Roberto Aguiar, 2013

2.5.3. Espectro de Respuesta

Esta definición está dada por:

Los espectros de respuesta inicialmente han sido propuestos por Biot en el año 1932, luego desarrollados realizados por Housner, Newmark y muchos otros investigadores. En la actualidad debemos señalar que, el concepto de espectro de

respuesta es muy importante en la dinámica estructural y esta es una herramienta de gran utilidad en el área del diseño sismorresistente. En manera general, podemos definir espectro como una representación gráfica de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración o cualquier otro parámetro de interés) y esto es producido por una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador respecto a un grado de libertad. En estas gráficas, se presentan en las abscisas el periodo propio de la estructura (o la frecuencia) y en las ordenadas la máxima respuesta calculada para distintos factores de amortiguamiento. Villafañe y Crisafulli (2002).

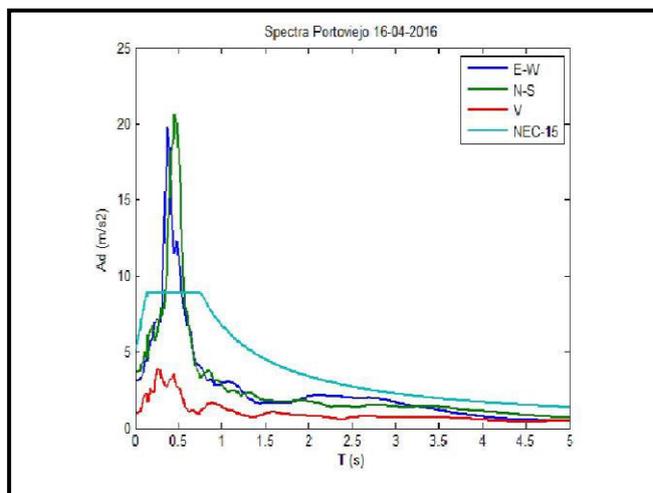


Figura 5. Espectro de respuesta
Nota. Artículo del Dr. Roberto Aguiar.

2.5.4. Cortante Basal

De acuerdo al artículo científico publicado por el Ingeniero Carlos Saavedra, se define como:

El cortante basal en una estructura está determinada por la acumulación gradual de las fuerzas cortantes de cada piso, la cual se refleja en la base de la estructura. Estos cortantes en cada piso son la representación de la aplicación de la fuerza sísmica en un determinado nivel y que se va incrementando a medida que nos vamos acercando hacia la base de la estructura. Este procedimiento es

muy útil y práctico, cuando las estructuras de las edificaciones son regulares en todos los aspectos (elevación, cargas y plantas) y cuando se desea utilizar el método estático equivalente.

La finalidad en determinar esta fuerza cortante es para poder distribuir la fuerza sísmica que se acumula en la base de los pórticos, en cada uno de los niveles y de esta manera poder ir viendo los esfuerzos logrados con estas cargas para poder diseñar los pórticos que sean resistentes a las fuerzas sísmicas. Saavedra (2016).

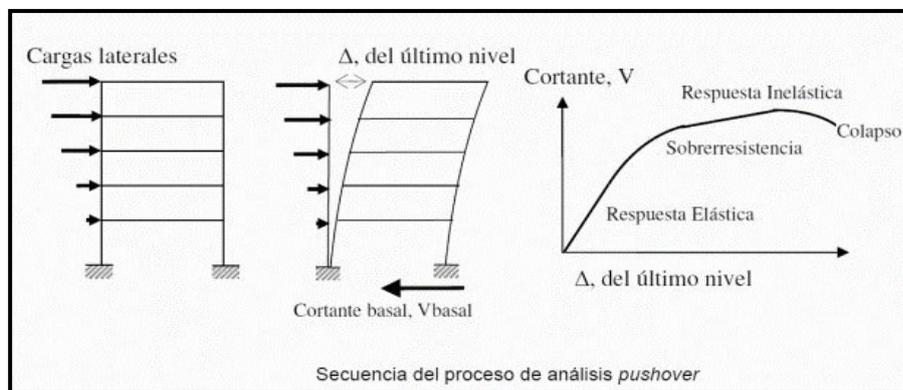


Figura 6. Cortante basal
Nota. Artículo del Ing. Carlos Saavedra.

2.5.5. Espectro de Respuesta Elástica

De acuerdo al artículo científico publicado por el Ingeniero Enrique Morales, se define como: La caracterización de la fuerza sísmica en el análisis del riesgo sísmico, se puede desarrollar de diferentes maneras. En este contexto, la más sencilla es la intensidad, que se establece en la automatización de las observaciones de los efectos originados por los movimientos sísmicos sobre las personas, las estructuras y el entorno natural. Una cuantificación más avanzada, como la máxima aceleración (peak ground acceleration o PGA) aceleración efectiva o aceleración básica. (Morales, 2016). Esta aceleración es en muchas regiones tiene sismicidad moderada o baja. En cambio, los procedimientos

técnicos más avanzados utilizan el denominado espectro de respuesta. Éste se define como el espectro de respuesta para la estructura analizada al movimiento sísmico que sufre. Es decir, supone establecer la respuesta máxima en aceleración y desplazamiento ($S_a - S_d$), de la estructura, cuando sufre el movimiento sísmico típico del escenario analizado. Los espectros de demanda sísmica, se basan en los espectros de diseño. Morales (2016).

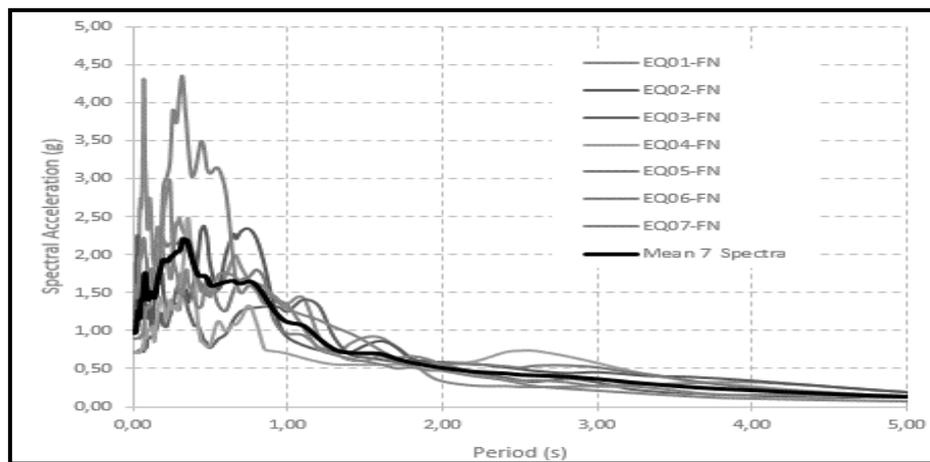


Figura 7 Espectro de respuesta elástica
Nota. Artículo del Ing. Enrique Morales.

2.5.6. Capacidad Estructural

El Ingeniero N. Bastías en su artículo científico relacionado a la capacidad estructural, define de la siguiente manera:

La capacidad de una estructura obedece a la resistencia y deformación máxima de sus elementos individuales. Con la finalidad de determinar sus capacidades más allá del límite elástico, es importante emplear algún tipo de análisis no lineal, como por ejemplo el análisis estático no lineal (análisis *Pushover*) este procedimiento usa una cadena de análisis elástico secuenciales, que superponen para aproximarse a un esquema conocido con el nombre de curva de capacidad. Esta curva de capacidad está relacionada con las fuerzas en la base (cortante basal, V) y los desplazamientos (D) en el nivel superior de la estructura. El

modelo matemático de la estructura se altera para tener en cuenta la disminución en la resistencia de elementos que ceden. De esta forma, se aplica una cantidad de fuerzas horizontales, las mismas que se incrementan de una forma monótonica hasta lograr que la estructura alcance su máxima capacidad.

La curva de capacidad por lo general se elabora, para representar la respuesta del primer modo de la estructura, establecido en la hipótesis según la cual el modo fundamental de vibración logra tener correspondencia con la predominante respuesta. Esto por lo general es válido para las estructuras con periodos propios menores que 1 s. en cambio, para las estructuras más flexibles, el análisis se debe considerar con la influencia de los modos de vibración más altos. Troncoso (2016).



Figura 8. Capacidad estructural de una viga
Nota. Dirección web.

2.5.7. Elementos Estructurales

El Ingeniero Centeno en su artículo define a los elementos estructurales de la siguiente manera:

“Los elementos estructurales, también conocidos como los miembros estructurales o piezas estructurales, son cada uno de los elementos que forman

parte de una estructura, tienen un carácter unitario y se muestran de la igual forma, bajo la acción de una o varias cargas aplicadas.” Centeno (2010).



Figura 9. Elementos estructurales
Nota. Blog del Ing. Fernando Marroquín

2.5.8. Límites de Reforzamiento

En la bibliografía de Diseño Sísmico de edificios de concreto reforzados, define a los límites de reforzamiento de la siguiente manera:

El reforzamiento para resistir las demandas del momento y la tensión axial, si se esperara o no tal efecto. El reforzamiento es además requerido a los efectos de arrastre y contracción bajo unas cargas compresión sostenido, las fuerzas de tracción y contracción del concreto son transferidos al reforzamiento longitudinal. Moehle (2018).

2.5.9. Determinación Teórica de la Relación Momento - Curvatura

En la bibliografía de R. Park y T. Paulay en su libro de estructuras de concreto reforzado, indica las consideraciones respecto la determinación teórica de la relación de momento curvatura de la siguiente manera:

Es virtual conjeturar curvas teóricas momento – curvatura para secciones de hormigón reforzado con flexión y carga axial, en base a suposiciones semejantes a las utilizadas para la precisión de la resistencia a flexión. Se supone que las

secciones planas antes de la flexión permanecen planas a posteriori de la flexión y que se conocen las curvas de esfuerzo - deformación para el concreto y el acero. Las curvas asociadas con una categoría de momentos flexionantes y cargas axiales pueden determinarse utilizando estas suposiciones y a partir de los requerimientos de compatibilidad de deformación y equilibrio de las fuerzas. Park y Paulay (2015).

2.5.10. Membranas y Estructuras Laminares

De acuerdo a la bibliografía se establece una definición respecto a las membranas y estructuras laminares, que en esta tesis se podrá emplear el nivel teórico con la finalidad de poder realizar una comparación con el diseño basado por desempeño. En el libro denominado Diseño y Cálculo Elástico de los Sistemas Estructurales, el autor define a las membranas y estructuras laminares de la siguiente manera.

En el diseño de estructuras hay, en general, dos guías principales: resistencia y rigidez. Mediante la resistencia buscamos que la estructura sea capaz de recibir cargas y transmitirlas. Mediante la rigidez se garantiza que las deformaciones bajo carga permanecerán pequeñas. Limitándose a las formas superficiales, es bien conocida la extraordinaria rigidez de las superficies cerradas de doble curvatura, como huevos y bombillas. Es con el advenimiento del hormigón armado que las bóvedas y cúpulas, preservando las necesarias resistencia y rigidez, redujeron su espesor hasta límites que permitieron desprestigiar su espesor frente a cualquier otra característica geométrica de la superficie. Martínez (2016).

2.5.11. Respuesta Estructural

En los estudios que se han realizado se habla mucho respecto a la respuesta estructural, el Ingeniero Arthur Nilson, define con bastante practicidad respecto al concepto teórico de la respuesta estructural y señala lo siguiente.

La seguridad de una estructura sometida a carga sísmica se fundamenta en la comprensión del diseñador con respecto a la respuesta de la estructura al movimiento del terreno. Durante muchos años la meta del diseño sismorresistente en Norteamérica era construir edificios que soportaran sismos moderados sin daño y sismos severos sin colapso. Los códigos de construcción han sufrido modificaciones frecuentes a medidas que signos de magnitud considerable han demostrado las debilidades en los criterios de diseños existentes. Nilson (2016).

El autor nos señala que conforme va pasando el tiempo los tipos de diseño en Norteamérica y en el mundo se ha ido mejorando desde un concepto inicial en donde se pensaba que las estructuras solo deberían ser diseñadas por resistencia sin mencionar la capacidad mucho menos conocer su ductilidad y en consecuencia desconociendo su desempeño frente a movimientos sísmicos.

2.5.12. Análisis Pushover

El análisis Pushover, es conocido como el análisis estático no lineal AENL, este método es muy usado para poder determinar la verdadera capacidad de la estructura analizada es por ello que en esta tesis vamos a realizar las comparaciones de un análisis dinámico no lineal y el AENL, con la finalidad de poder verificar las bondades que nos ofrecen en el desarrollo del presente estudio.

El Ingeniero Liviu Cranic en su libro “Seismic Performance of Concrete Buildings” define el análisis Pushover de la siguiente manera.

Las características específicas de un comportamiento post- sísmico elástico no puede ser cuantificado mediante el análisis estático convencional respecto a las fuerzas equivalentes. De esta manera los desempeños sísmicos de los edificios por diferentes niveles de cargas, la ubicación de potenciales zonas plásticas, las magnitudes de deformaciones plásticas son más precisos en el estudio de procedimientos post - elásticos. Liviu y Mihai (2017).

2.5.13. Uniones Viga - Columna

Se ha habla mucho sobre la relación de las columnas y las vigas, en principio debemos saber que la filosofía de diseño debe cumplir con una relación de columnas fuertes y vigas débiles, por otra parte, las uniones de estos dos elementos son muy importantes toda vez que la interacción de estos elementos es fundamental para garantizar una adecuada capacidad de toda la estructura.

Los Ingenieros T. Paulay - M.J. N. Priestley, en su libro “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, define respecto a este tema de la siguiente manera.

Es sabido que las uniones de viga- columnas puede ser una zona crítica en los diseños de pórticos de concreto reforzado, por una respuesta a una amenaza sísmica severa y en posterior la generación de momentos debido a los sismos en columnas opuestas por encima y debajo de las uniones y de manera similar pasa en las vigas. La zona de esta unión está sometida a fuerzas cortantes horizontales y verticales cuya magnitud es por lo general muchas veces es mayor que en las vigas y columnas adyacentes. Paulay y Priestley (2012).

2.5.14. Efectos Locales y Microzonificación

En los estudios de diseño sísmico es muy importante conocer la microzonificación sísmica, toda vez que esta nos sirve para realizar un adecuado

diseño y más realista y de esta manera se puede conocer con mayor precisión la demanda sísmica de la zona en estudio.

Los ingenieros Bazán y Meli en su libro “Diseño Sísmico de Edificios” definen los efectos locales y microzonificación de la siguiente manera:

Las leyes de atenuación y los mapas de regionalización reflejan la propagación de las ondas sísmicas en la roca de la corteza. El movimiento en la superficie del terreno en un sitio dado puede diferir radicalmente del que se tiene en la roca base, por alteraciones de las ondas debidas a efectos geológicos, topográficos y de rigidez de subsuelo. La importancia de estas alteraciones, llamadas en términos generales efectos locales, se conoce cada vez más en años recientes y ha conducido a la necesidad de estudios de microzonificación de las áreas de asentamientos humanos para detectar aquellas zonas que presentan problemas especiales. Fenómenos locales extremos se tienen en zonas de suelos inestables donde la vibración sísmica puede provocar fallas de suelo, deslizamiento de laderas o problemas de licuación. Estas zonas deben identificarse con estudios geotécnicos específicos. Bazán y Meli (2015)

2.5.15. Evaluación del Peligro Sísmico

En la actualidad tenemos constantemente los movimientos sísmico, en nuestro país principalmente por el efecto conocido como subducción, y es que en este fenómeno la placa de Nazca se introduce dentro de la placa Continental, y esto genera muchos movimientos sísmicos en la superficie de la tierra, el suelo donde vamos a cimentar las construcciones en este caso nos referimos a la construcción de edificios de concreto armado del sistema aporticado, por ello es importante realizar una evaluación del Peligro Sísmico del proyecto donde se va a construir.

El Ingeniero Ronald Santana Tapia en su libro “Ingeniería Antisísmica principios básicos y aplicaciones” señala lo siguiente:

El peligro sísmico se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo, tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli Modificada u otro parámetro. Santana (2017).

2.5.16. Sistema de Control Estructural

En los diseños sismo resistentes de edificios es muy importante realizar el control estructural del mismo, esto con la finalidad de garantizar su capacidad de respuesta frente a una demanda sísmica, en nuestro medio se ha visto perjudicados edificios de sistema aporricado cuando la demanda sísmica ha superado la capacidad estructural del edificio, por este motivo es muy importante conocer el real comportamiento estructural de los edificios del sistema de pórticos de concreto armado.

El Ingeniero Jean Piers Chávez Aguirre, en su libro “Diseño Sismorresistente de Edificios con disipadores de fluido viscoso” define al sistema de control estructural de la siguiente manera.

El análisis sísmico de toda estructura desde hace muchos hasta la actualidad tiene como punto de partida el análisis de fuerzas equivalentes o estáticos, en la cual interviene la fuerza lateral vs la rigidez del edificio, antiguamente nuestros ancestros antes de la existencia de alguna norma o creación de parámetros que permitan el diseño por sismo o viento, realizaban el cálculo común por cargas de servicio, el conjunto de todas ellas se amplificaba, en un determinado intervalo.

Ante la aparición de las nuevas ciencias como el análisis sísmico dinámico modal espectral mediante un espectro de diseño, el análisis fue mucho más pulido y trabajado, generando mayor beneficio tanto económico como estructural, optimizando el comportamiento de las estructuras ante diferentes magnitudes de sismo. Chávez (2017).

2.5.17. Relaciones Momento Curvatura

Las relaciones de momento curvatura, son datos muy interesantes que requerimos conocer con la finalidad de poder establecer una relación directa respecto a la curva de capacidad de la estructura, y este dato comparar con la curva de demanda y posteriormente encontrar el punto de desempeño.

En la tesis denominada “Diseño sísmico basado en desempeño de edificios de hormigón armado”, la Ingeniera Luisa Paulina Viera Arroba, define a las relaciones de Momento Curvatura de la siguiente manera.

Las relaciones Momento Curvatura al igual que las relaciones Corte Deformación, son la base para el Análisis no Lineal, ya que representan el comportamiento de una sección ante cargas monotónicas crecientes, además la relación $M-\phi$ es fundamental para encontrar la rigidez a flexión (EI) de cada una de las ramas del diagrama histerético que se utiliza para definir la no linealidad del material. La explicación matemática de cómo se obtiene la rigidez a partir del diagrama momento-curvatura, se la obtiene haciendo uso de la resistencia de materiales, mediante un modelo de viga de sección constante con carga uniforme. Viera (2004).

El autor menciona que el diagrama de momento curvatura debe obedecer a un análisis no lineal, toda vez que tiene que ver los lazos histeréticos con la finalidad de evaluar su verdadero comportamiento estructural, y estos datos pueden ser

obtenidos realizando diversos ensayos en laboratorio, para ello se deberá diseñar elementos de análisis con sus secciones y conociendo los materiales como: acero, concreto y de esta manera se podrá establecer los comportamientos no lineales frente a cargas cíclicas asignadas.

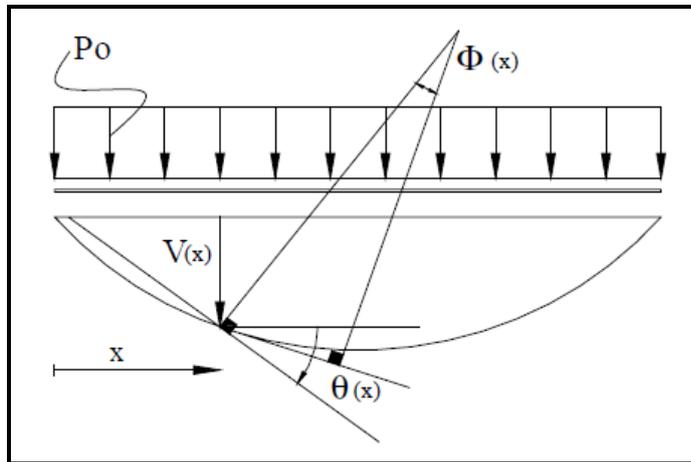


Figura 10. Curvatura de una viga
Nota. Artículo de Viera Arroba

2.5.18. Estado de Límite

En los diseños estructurales es importante poder verificar los estados límite, esto con la finalidad de poder verificar su capacidad real respecto a una demanda sísmica, es por ello que en el presente estudio se va a verificar el desempeño sísmico del edificio y esto en posterior se podrá determinar el nivel de daño que tiene el mismo.

En su libro “Estructuras de Acero”, el Ingeniero Gabriel Valencia Clement, señala al estado límite de la siguiente manera.

Un estado límite representa una condición que debe contar con un límite estructural de utilidad. Los estados límite pueden ser considerados por los requisitos funcionales teniendo en cuenta, por ejemplo, las máximas deflexiones; estas pueden ser conceptuales, tales como la articulación plástica o la formación

de un mecanismo de falla, o pueden representar un colapso real en una parte o en la totalidad de la estructura, tal como una fractura o una inestabilidad. Los criterios de diseño garantizan que un estado límite no se considera, solamente con una probabilidad aceptable muy pequeña, seleccionando los factores de carga y de resistencia, así como las cargas nominales, y las resistencias nominales que nunca habrán de ser excedidas bajo las suposiciones de diseño. Valencia (2015).

2.5.19. Diseño Estructural y Daños por Sismo

Por un lado, la Ingeniería Antisísmica se ha desarrollado en los últimos tiempos, en forma rápida y notable; se han realizado mediciones de ondas sísmicas proveniente de observaciones de fuertes sismos; haciendo uso de las máquinas computadoras se han analizado las respuestas sísmicas; se han realizado observaciones de movimiento no lineal en los ensayos estructurales y materiales de concreto armado; etc. Pues bien, si aplicamos la avanzada técnica, especialmente en elevadas edificaciones, podremos explicar cuantitativamente, de acuerdo a los cálculos, el grado de daños. Esto es, la materialización de estas operaciones nos posibilita pronosticar si se produce o no colapso estructural antes de la ocurrencia del sismo.

No obstante, es común que, en edificios bajos, de escasos pisos, los diseños prescindan de la avanzada dinámica, por razones económicas, y abrevian los cálculos mediante métodos estáticos. Oshiro (2010).

2.5.20. Curvaturas de Fragilidad

Las curvas de fragilidad representan la probabilidad de excedencia de un estado límite de daño en función de un parámetro representativo de la severidad del movimiento u otro asociado a la respuesta estructural. Generalmente las curvas de fragilidad se expresan como la probabilidad acumulada de alcanzar o

superar un determinado estado de daño para una tipología estructural dada expuesta a diferentes niveles de severidad del movimiento sísmico.

Para construir las curvas de fragilidad existen tres metodologías bien consolidadas. Dong (2015). Como se señala las curvas de fragilidad nos da a conocer, cuál será la probabilidad de daño que tendrá una determinada estructura, precisamente en esta tesis, tratamos de establecer relaciones que van a tener el desempeño sísmico con la probabilidad de daño los mismos que serán analizado para nuestra realidad, es decir establecer tablas de relación al igual que la ATC-40 o FEMA 356, pero adoptados para nuestra realidad, es por ello que es muy importante esta investigación ya que con los resultados podemos inferir y pronosticar el nivel de daño que va a tener una determinada estructura.

Las observaciones de campo, la opinión de expertos y los métodos analíticos que se emplean en las zonas donde no se disponen de observaciones de daños debidos a sismos ni suficientes resultados de ensayos de laboratorio, o cuando se trate de estructuras muy particulares. En los métodos analíticos se incluyen los modelos de simulación. En el presente trabajo sólo se considera el método analítico basado en un análisis estructural, lineal o no lineal. (Fuentes y Zambrano, 2015).

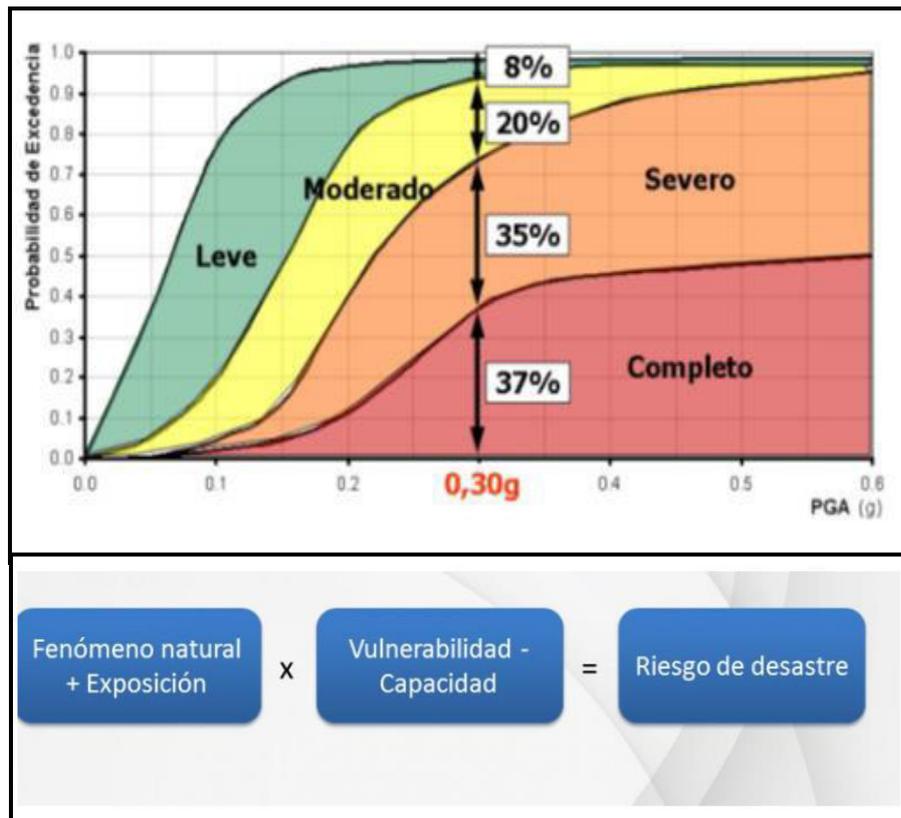


Figura 11. Curvas de fragilidad
 Nota. Investigación de fuentes y Zambrano, 2016

La construcción de las curvas de fragilidad sísmicas basada en un análisis estructural requiere como primer paso la construcción y posterior comparación de las curvas de capacidad de la estructura con las curvas de demanda que el movimiento del terreno impone a la estructura bajo estudio (Figura 3). El procesamiento estadístico y probabilístico de los resultados discretos que caracterizan los daños en la estructura asociados a dichos movimientos se generan las curvas de fragilidad para el límite de cada estado de daño (Figura 5). Los resultados discretos se ajustan a una función de distribución, generalmente una distribución lognormal. McGuire (2014)

En 1999 se desarrolla en los Estados Unidos el Programa HAZUS (Hazard United States) para evaluar la vulnerabilidad sísmica de ciudades, manera aproximada empleando el Método del Espectro de Capacidad construido para 36

tipologías estructurales norteamericanas FEMA-NIBS (2009) es la versión más reciente; Aguiar, (2011).

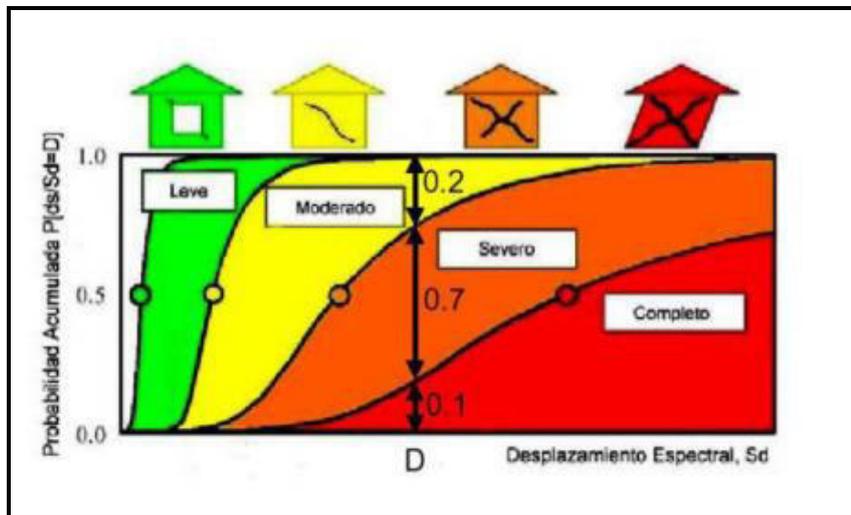


Figura 12. Curva de fragilidad con probabilidad de daños
Nota. Fema 58, 2015

Tabla 6

HAZUS casualty classification scale

Casualty Level	Casualty Description
Severity 1	Injuries requiring basic medical aid, bur without hospitalization (treat and release).
Severity 2	Injuries requiring medical attention and hospitalization, but not considered to be life-threatening.
Severity 3	Casualties that include entrapment and require expeditious rescue and medical treatment to avoid death.
Severity 4	Immediate deaths.

Nota. HAZUS,1997

Tabla 7

Magnitudes de escala de Richter

Magnitudes Richter	Descripción	Efectos de un Sismo
Menos de 2,0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.
2,0 - 2,9	Menor	Generalmente no son perceptibles.
3,0 - 3,9		Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.
4,0 - 4,9	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones que genera ruido. Sismo significativo pero con daño poco probable.
5,0 - 5,9	Moderado	Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.

6,0 - 6,9	Fuerte	Pueden ser destructivos en áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda.
7,0 - 7,9	Mayor	Puede causar serios daños en extensas zonas.
8,0 - 8,9	Grande	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.
9,0 - 9,9		Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.
10,0 - 10,9	Épico	Nunca registrado.

Nota. Guía EERI, niveles de estado de daño.

Tabla 8

Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995)

Estado de daño	Nivel de desempeño	Características principales
Despreciable	Totalmente operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños, pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural.

Nota. SEAOC, 1995.

2.5.21. Enfoque Conceptual del Sistema

Para garantizar el éxito de un estudio y que este tenga una visión a largo plazo es necesario contar con un enfoque conceptual claro del problema que estamos abordando, de tal manera que se pueda esquematizar un problema complejo por las partes que lo definen para así poder abordar la solución óptima de acuerdo a los recursos disponibles. En este sentido, se plantea el enfoque conceptual con el cual se va desarrollar el proyecto, este ha sufrido algunos cambios con respecto a la versión inicialmente planteada en la formulación del estudio, dado que, a la luz del conocimiento adquirido en la

primera etapa del proyecto, permitió mejorar dicho enfoque conceptual para el sistema. De esta forma se presenta a continuación la definición del problema al que nos enfrentamos, luego se ilustra el enfoque conceptual adoptado para realizar la valoración de riesgo sísmico, del cual una es la evaluación de un escenario de daños, por lo que finalmente se explican cada una de las componentes que integran una evaluación de escenario de daños.

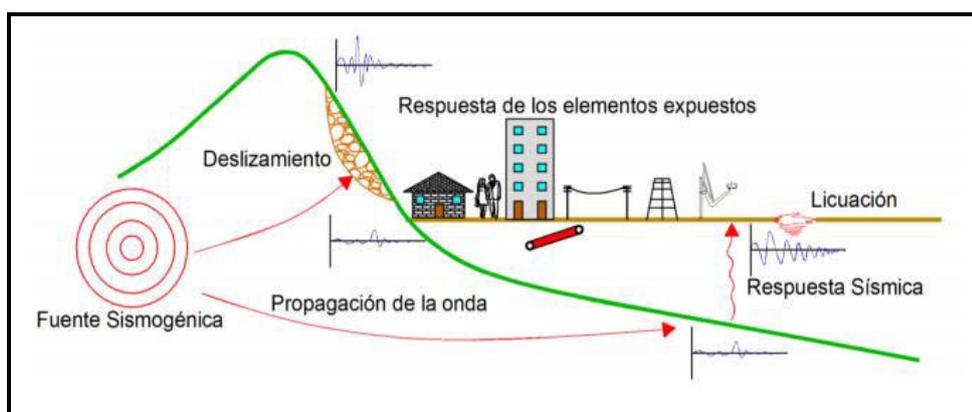


Figura 13. Definición del problema
 Nota. DSBD

2.5.22. Esfuerzo y Serviciabilidad

En orden la resistencia de cargas destinadas, la estructura del edificio y cada elemento de la estructura deberá ser suficientemente fuerte para resistir al colapso de la estructura sobre la aplicación de la carga. La estructura o partes de esta deberán ser suficientemente rígidas, y resistente a: las grietas, asentamientos, curvatura, inclinación, y vibraciones deberán un nivel de confort a los ocupantes del edificio, los cuales son definidos como el aspecto de la serviciabilidad del edificio. Mehdi Ashraf, (2018).

2.5.23. Corte de Barras Dobladas

Las vigas diseñadas en este tema han sido seleccionadas en las bases de los máximos momentos ocurren cerca al espacio del centro de línea de los momentos positivos y en las caras de soporte de los momentos negativos. En

otros puntos en las vigas los momentos son menores. A pesar de la variación de las alturas de las vigas en alguna proporción de los momentos doblados este uso es normalmente muy económico en una sección prismática y la reducción o corte de algunas barras reforzadas cuando los momentos doblados son suficientemente pequeños el acero reforzado es bastante expansivo, donde es posible apreciar la reducción de los costos. Mc Cormac y Brown (2016).

2.5.24. Desempeños

El término "desempeño" abarca todas las propiedades y cualidades físicas relacionadas con el edificio que son predecibles durante la etapa de diseño y controlables durante y después de la construcción. Típico para las actuaciones es su estructura jerárquica con el entorno construido como el nivel más alto (nivel 0) seguido del edificio (nivel 1), los ensamblajes del edificio (nivel 2) y finalmente las capas y materiales (nivel 3). La relación entre los cuatro niveles es típicamente de arriba hacia abajo. "Predecible" exige herramientas de cálculo y modelos físicos que permitan evaluar un diseño, mientras que "controlable" supone la existencia de métodos de medición disponibles en el sitio. En algunos países, la selección de los requisitos de rendimiento del edificio tenía estatus legal. Eso, junto con una política de aplicación bien equilibrada, garantiza la aplicación. Se podría hablar de requisitos obligatorios y obligatorios. Hens (2015).

2.5.25. Estimación de Respuestas Sísmicas

Para conocer respecto a las potenciales ventajas potenciales en los métodos de diseño sísmico basados en desplazamientos, se pueden aprovechar para ello es necesario contar con procedimientos de los análisis que permitan obtener estimaciones bastante precisas y confiables de las variables de respuesta más

estrechamente relacionadas con los indicadores de desempeño sísmico; estas variables son las deformaciones locales y las distorsiones laterales en distintos puntos en la altura del sistema. Entre los procedimientos que mencionamos, satisfacen los requisitos citados los que se encuentran métodos paso-a-paso para análisis de respuestas dinámicas. Esteva (2013).

Las respuestas sísmicas se van a realizar cuando haya una acción sísmica sobre la estructura y que esta última tiene una respuesta a esa acción, de hecho, tiene bastante relación con el tipo de suelo es decir la aceleración del suelo hace posible que la estructura se desplace, es decir todo esto es un sistema de acción y reacción y todo con la finalidad de conocer cómo va a responder la estructura frente a un evento sísmico.

2.5.26. Niveles de Amenaza Sísmica

La propuesta del Comité VISION 2000 SEAOC (1995) establece cuatro niveles de amenaza sísmica en función de su probabilidad de ocurrencia en un periodo de 50 años de exposición, o en función del periodo medio de retorno, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9

Niveles de amenaza sísmica

Movimiento sísmico de diseño	Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	950 años	10% en 1000 años

Nota. SEAOC, 1995.

2.5.27. Niveles de Desempeño

La propuesta del Comité Vision 2000 SEAOC (1995) establece cinco (05) niveles de desempeño sísmico, resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 10

Niveles de desempeño sísmico

Nivel de desempeño	Descripción de los daños	Estado del daño	Límite de desplazamiento del sistema
Totalmente operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo.	Despreciable	Δy
Operacional	Daños ligeros en elementos estructurales y en componentes no estructurales. Las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación.	Leve	$\Delta y + 0.30 \Delta p$
Resguardo de vida	Daño estructural y no estructural moderado. La estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso. El edificio podría repararse, aunque no siempre sea económicamente aconsejable.	Moderado	$\Delta y + 0.60 \Delta p$
Cerca del colapso	Daño estructural severo. Falla de elementos no estructurales. La seguridad de los ocupantes se encuentran comprometida, las réplicas podrían ocasionar el colapso.	Extenso	$\Delta y + 0.80 \Delta p$
Colapso	Colapso estructural. No es posible reparar la edificación.	Completo	$\Delta y + 1.00 \Delta p$

Nota. SEAOC Vision 2000 committee, 1995.

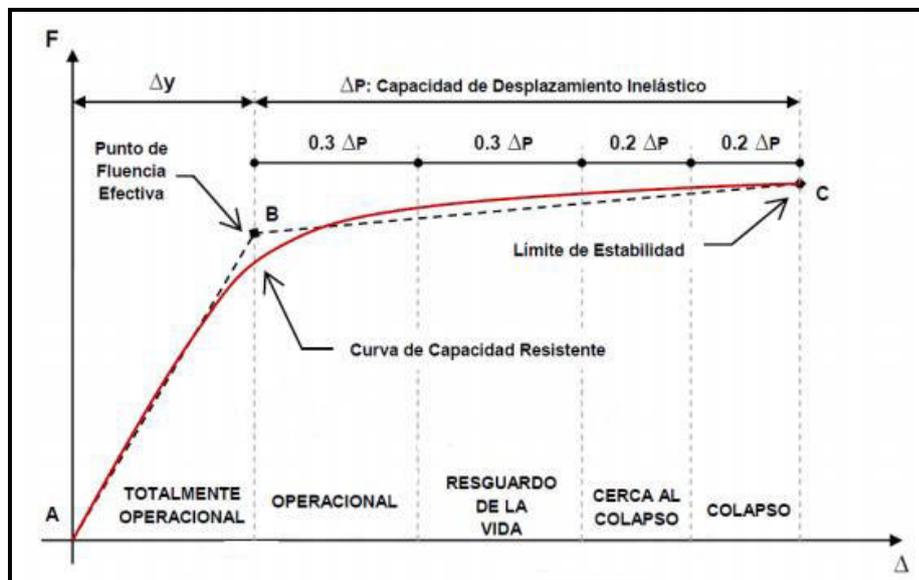


Figura 14. Curva de capacidad sectorizadas
 Nota. SEAOC Vision 2000 committee, 1995.

2.5.28. Prueba de la Mesa Vibratoria

De acuerdo a las investigaciones el Ingeniero Minoru Wakabayashi, en su libro de “Diseño de estructuras sismorresistentes” menciona respecto a la mesa vibratoria lo siguiente.

Se considera que la prueba de la mesa vibratoria es el método más directo de la simulación del comportamiento sísmico de una estructura. Para estudiar la seguridad sísmica de varios tipos de equipo en la estructura de un edificio o de un reactor nuclear, a menudo se lleva a cabo la prueba de la mesa vibratoria a una escala total. Algunos de los laboratorios de ensayo tienen grandes mesas vibratorias que pueden acomodar las grandes masas involucradas. Sin embargo, en muchos casos, se prueban modelos a escala de las estructuras en las mesas vibratorias.

Las mesas vibratorias se diseñan para que actúen en una o dos direcciones horizontales o en una combinación de las direcciones horizontal y vertical. El movimiento alimentado puede ser de ondas senoidales, triangulares, ondas arbitrariamente generadas o movimientos registrados durante las perturbaciones sísmicas reales. La capacidad de una mesa vibratoria se define en términos de las características dinámicas, dimensiones de la mesa, carga máxima de soporte, máxima aceleración y otras propiedades. La energía que se utiliza puede ser tanto electrohidráulica como electromagnética. Wakabayashi y Martínez (2008).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación

El concepto de diseño de la investigación viene a ser la planificación comprendida de lo qué se debe hacer para lograr los objetivos del estudio. Para tener un diseño cuidadoso del estudio; por lo tanto, es fundamental para determinar la calidad de la investigación.

En su libro “Metodología de Investigación Científica” el autor Carrasco Díaz, señala lo siguiente: La diversidad y complejidad de los hechos y fenómenos de la realidad han conducido a diseñar y elaborar numerosas y variadas estrategias para analizar y responder a los problemas de investigación según su propia naturaleza y características. Así, por ejemplo, tenemos: los diseños experimentales y los diseños no experimentales, ambos con igual importancia y trascendencia en el plano científico. Carrasco (2007)

Los tipos de investigación según el número de variables de interés son:

3.1.1. Tipos

El tipo de estudio ha sido experimental, porque se ha manipulado las variables es decir es de nivel investigativo explicativo teniendo causa - efecto; prospectivo porque los datos recogidos han sido a propósito del estudio (primarios); transversal, porque se realizarán una sola medición a la misma población; y analítico, porque el análisis estadístico será bivariado Supo (2015).

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es relacional, porque se ha buscado demostrar dependencia probabilística entre ambas variables, y se usa un análisis estadístico bivariado, correlación y medidas de correlación entre las variables. Supo (2015).

3.1.3. Diseño de la Investigación

El diseño de esta investigación ha sido cuasi experimental, porque se ha realizado la manipulación de las variables y la utilización de grupos experimentales. Bunge (2014).

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

El primer paso para llevar a cabo un buen muestreo es definir la población o universo, que se presentan en las operaciones estadísticas con la letra mayúscula (N). El universo en las investigaciones naturales, es conjunto de objetos, hechos, eventos que se van a estudiar con las variadas técnicas que se ha analizado supra. Ñaupas Paitán, Mejía, Novoa Ramírez, y Villagómez Paúcar (2016).

De lo explicado en párrafo anterior en esta tesis doctoral se presenta a la población: Es el edificio tipo del sistema aporticado de concreto armado el mismo que cuenta con 01 sótano, cinco pisos y 01 azotea.

Es importante señalar que se llega a establecer este edificio tipo, después de realizar y determinar un arquetipo de edificio con las características descritas en una cantidad de 30 edificios similares, es decir este edificio tipo representa a toda esa población de edificios. Por lo que se determina que, la población es de 30 edificios.

3.2.2. Muestra

La muestra es el subconjunto, o parte del universo o población, seleccionado por métodos diversos, pero siempre teniendo en cuenta la representatividad del universo. Es decir, una muestra es representativa si reúne las características de los individuos del universo. Hay tres problemas con respecto a la muestra: los procedimientos para determinar el tamaño de la muestra; procedimientos para

determinar la representatividad de la muestra, y procedimientos para determinar el error de la muestra. Ñaupas Paitán, Mejía Mejía, Novoa Ramírez, y Villagómez Paúcar, (2016)

De lo señalado en el párrafo anterior la muestra constituye los elementos estructurales como son vigas, columnas y losas, estos forman marcos estructurales, los que cuentan con mayores desplazamientos en el edificio aporticado de concreto armado, materia de la presente investigación.



Figura 15. El universo (N) y la muestra (n)
Nota. Hernández Sampieri.

3.3. Operacionalización de Variables

Es un proceso metodológico que consiste en descomponer o desagregar deductivamente las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico; es decir las variables se dividen (si son complejas) en dimensiones, áreas, aspectos, indicadores, índices, subíndices e ítems, pero si son concretas solamente en indicadores, índices e ítems. Carrasco (2007)

“Es un procedimiento lógico que consiste en transformar las variables teóricas en variables intermedias, luego estas en variables empíricas o indicadores y finalmente elaborar los índices” Ñaupas Paitán, Mejía Mejía, Novoa Ramírez, y Villagómez Paúcar, (2016).

3.3.1. Estrategias de Pruebas de Hipótesis

Se debe iniciar con la definición, qué es una hipótesis y qué es una prueba de hipótesis.

La hipótesis es una aseveración de una población elaborada con el propósito de poner a prueba, para verificar si la afirmación es razonable se usan datos. En el análisis estadístico se hace una aseveración, es decir se plantea una hipótesis, después se realizan las pruebas para poder verificar la aseveración o para determinar que no es verdadera.

Por tanto, la prueba de hipótesis es un procedimiento basado en la evidencia muestral y la teoría de probabilidades; esta prueba se realiza para determinar si la hipótesis es una afirmación razonable.

Para realizar la prueba de hipótesis vamos a seguir los siguientes pasos:

1° - Definir la hipótesis y nivel de significancia

2° - Obtener las muestras

3° - Calcular el estadístico de prueba; Estadístico = f (muestra)

4° - Calcular el valor P; consiste en encontrar evidencias como las observadas o más extremas.

5° - Calcular el valor crítico; este valor sirve para juzgar las evidencias

6° - Tomar la decisión; esto consiste en rechazar la hipótesis nula (H_0) o no rechazamos la hipótesis nula (H_0)

El propósito de la prueba de hipótesis no es cuestionar el valor calcular del estadístico (muestral), sino hacer un juicio con respecto a la diferencia entre estadístico de muestra y un valor planteado del parámetro.

Es de señalar que toda investigación implica la existencia de hipótesis o afirmaciones a cerca de las poblaciones que se estudian.

La Hipótesis nula (H_0), se refiere siempre a un valor especificado del parámetro de población, no a una estadística de muestra. La letra H significa la hipótesis y el subíndice cero no hay diferencia. Por lo general hay un “no” en la hipótesis nula que indica “no hay cambio” podemos aceptar o rechazar la hipótesis nula. La hipótesis nula es una afirmación que no se rechaza a menos que los datos muestrales proporcionen evidencia convincente de que es falsa. El planteamiento de la hipótesis nula siempre contiene un signo de igualdad con respecto al valor especificado del parámetro.

La hipótesis alternativa (H_a) es cualquier hipótesis que difiera de la hipótesis nula. Es una afirmación que se acepta si los datos muestrales proporcionan evidencia suficiente de que la hipótesis nula es falsa o rechazada; se le conoce también como la hipótesis de investigación (H_i). Es importante señalar que el planteamiento de la hipótesis alternativa nunca contiene un signo de igualdad con respecto al valor especificado del parámetro.

Tabla 11

Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

175.00	Hypothesized value
161.00	Mean muestra
18.00	std. dev
2.85	std. error
30	n
-4.92	z
8.69E-07	p-value (two-tailed)
155.42	Confidence interval 95% lower
166.58	Confidence interval 95% upper
5.58	Margin of error

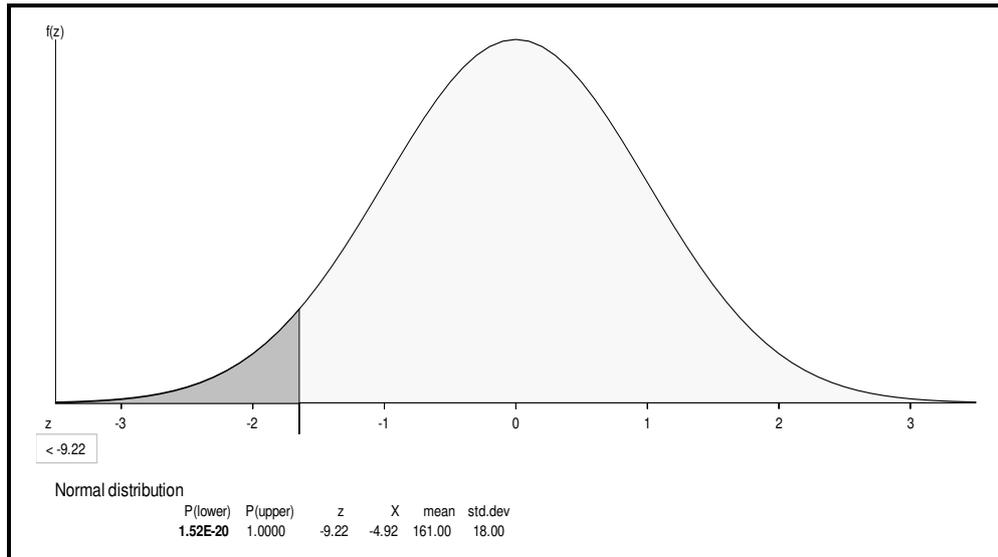


Figura 16. Normal distribution

Se concluye que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna; es decir que la hipótesis planteada en esta investigación es válida.

3.3.1.1. *Hipótesis Nula Principal (H₀).*

Como se sabe que la hipótesis nula es la negación de la hipótesis de investigación; por tanto, la hipótesis nula principal es:

“Obteniendo las curvas de fragilidad no es posible predecir los estados de daños y niveles de desempeño sísmico de los edificios bajo el sistema aporticado de concreto armado en Lima 2020”

3.3.1.2. *Hipótesis Nulas Secundarias (H₀).*

Las hipótesis nulas secundarias son la negación de las hipótesis de secundarias de la investigación, los mismo que se señala a continuación:

- a) Mediante las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño, no es posible establecer los criterios técnicos para evaluar la vulnerabilidad sísmica

- b) Para edificaciones de concreto armado con características típicas, no se puede elaborar tablas de diseño estructural para determinar los daños y su desempeño sísmico.
- c) Para las edificaciones de concreto armado, no es posible elaborar las curvas de fragilidad para poder determinar los estados de daño y la relación con su desempeño sísmico.

3.3.2. Operacionalización de Variables

Tabla 12

Operaciones de variables

Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores	Tipo
VI: Curvas de fragilidad	Probabilidad de excedencia	Porcentaje del 0% al 100%	Cuantitativa
	Estado de límite	Estado último Leve	Cualitativa
	Niveles de daños	Moderado Severo Completo	Cuantitativa
	Niveles de severidad	de Severidad 1 Severidad 2 Severidad 3 Severidad 4 Micro: No son perceptibles Menor: Generalmente no son perceptibles Ligero: Sismo significativo pero con daño poco probable	Cualitativa
VD: Desempeño sísmico y estado de daños	Niveles del movimiento sísmico (escala de Richter)	Moderado: Pueden causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas Fuerte: Pueden ser destructivos en áreas pobladas Mayor: Puede causar serios daños en extensas zonas Grande: Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros Épico: Nunca registrado Totalmente Operacional	Cuantitativa
	Nivel de desempeño	de Operacional Seguridad Pre Colapso Colapso Baja	Cualitativa
VD: Desempeño sísmico y estado de daños	Nivel de amenaza	Intermedia Baja Despreciable Ligero	Cualitativa
	Estado de daño	Moderado Severo Completo	Cuantitativa

Nota. Elaboración propia.

3.3.2.1. Variable Independiente “X”.

La variable independiente de esta investigación es: “Curvas de fragilidad”

3.3.2.2. Variable Dependiente “Y”.

La variable dependiente de esta investigación es: “Desempeño sísmico y estado de daño”

3.4 Instrumentos

La investigación científica como proceso sistemático de indagación y búsqueda de nuevos conocimientos acerca de los hechos y fenómenos de la realidad. Solo es posible mediante la aplicación de instrumentos de investigación o medición. Tales instrumentos hacen posible recopilar datos que posteriormente serán procesados para convertirse en conocimientos verdaderos, con carácter riguroso y general.

Los instrumentos de investigación cumplen roles muy importantes en la recogida de datos, y se aplica según la naturaleza y características del problema y la intencionalidad del objetivo de investigación. Algunos autores lo denominan instrumentos de observación, otros instrumentos de medición. Carrasco (2007)

En el presente estudio se empleará como instrumento de investigación a las fichas de recopilación de resultados, por los que podemos tener unas fichas de medición, después de realizar modelamientos computacionales en este caso por medio de software de diseño sísmico como es el caso de ETABS 2016 y el PERFOM 3D, estos nos brindarán información importante para poder procesar y conocer los estados de daño y desempeño sísmico de los edificios a analizar, y con ello se podrá establecer relaciones entre los niveles de desempeño sísmico y los estados de daño a través de las curvas de fragilidad. Los mismos que finalmente serán validados por un análisis estadístico; es decir empleando el cálculo de estadístico de prueba (z) con un nivel de significancia de

0.05; y ello se obtiene el valor “P”, el mismo que cae en la zona de rechazo, es decir se rechaza la hipótesis nula; por tanto, se acepta la hipótesis de investigación.

3.4.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas son procedimientos o forma particular para obtener datos o información en la que podemos encontrar la observación y la entrevista.

Por otra parte, los instrumentos son los recursos que utiliza el investigador para registrar información o datos; estos instrumentos van a variar según la técnica que se utilice.

En esta investigación se ha empleado la técnica de sistematización bibliográfica, el mismo que consiste en el análisis de la información estudiada respecto a la presente investigación en este caso a la bibliografía relacionada al diseño sísmico basado por desempeño.

Y los instrumentos son las fichas de trabajo bibliográfico, con el podemos recolectar los datos y posteriormente se podrá procesarlos y analizarlos.

3.5 Procesamiento de Datos

En esta investigación se va a realizar el análisis sísmico de edificios del sistema aporticado de concreto armado en la ciudad de Lima, a través del “Diseño sísmico basado por desempeño”, en el que se va a realizar un análisis estático no lineal (AENL) y un análisis dinámico no lineal (ADNL).

En primer lugar, se deberá modelar los edificios del sistema de pórticos de concreto armado, y luego con el empleo de programas como el ETABS 2016, PERFORM 3D, SAP 2000, se va a definir la curva de capacidad.

Con el análisis sísmico dinámico y estático se va a establecer la curva de demanda y al intersecar ambas curvas (de capacidad y de demanda) se podrá definir el punto de desempeño.

Conocido el punto de desempeño se podrá establecer el nivel de desempeño del edificio frente a las demandas sísmicas para las que se está diseñando, posterior a ello se va a establecer las curvas de fragilidad con la finalidad el estado de daño de la estructura; por lo que se podrá encontrar una relación directa entre el nivel de desempeño sísmico y el estado de daño de la estructura. Finalmente se podrá establecer relación directa los desempeños sísmicos con los estados de daño que tiene una estructura con una característica determinada.

3.6 Análisis de Datos

En esta etapa se determina cómo analizar los datos y qué herramientas de análisis estadístico son adecuadas para este propósito. El análisis de datos es el precedente para la actividad de interpretación. La interpretación se realiza en términos de los resultados de la investigación.

El propósito de analizar los datos es obtener información que pueda ser útil para tu trabajo. El análisis, sin importar si los datos son cuantitativos o cualitativos, pueden:

- Describir y resumir los datos.
- Identificar la relación entre variables.
- Comparar variables.
- Identificar la diferencia entre variables.
- Pronosticar resultados.

Cuando se trata de analizar datos, algunas personas creen que únicamente las técnicas estadísticas son las que se pueden aplicar a los datos cuantitativos (números). Esto es incorrecto, existen muchas técnicas estadísticas que se pueden aplicar a los datos cualitativos; como, por ejemplo, la escala de valoración, la cual se utiliza comúnmente en investigaciones cuantitativas. Incluso si un estudio cualitativo no

utiliza datos cuantitativos, existen muchas maneras de analizar los datos cualitativos que se obtienen. Qetion Pro (2015).

IV. RESULTADOS

4.1. Procesamiento de Información de Campo

Consiste en procesar datos (dispersos, desordenados, individuales) obtenidos de la población objeto de estudio durante el trabajo de campo, y tiene como fin generar resultado (datos agrupados y ordenados), a partir de los cuales se realizará el análisis según los objetivos de hipótesis de la investigación realizada.

En el procesamiento de datos debe mencionarse las herramientas estadísticas a utilizarse.

En el análisis cuantitativo se debe seleccionar las pruebas estadísticas apropiadas para analizar los datos, dependiendo de las hipótesis formuladas y de los niveles de medición de las variables.

Los métodos utilizados para el procesamiento de datos son:

Método Sintético: Es un proceso mediante el cual se relacionan hechos aparentemente aislados y se formula una teoría que unifica los diversos elementos. Consiste en la reunión racional de varios elementos dispersos en una nueva totalidad, este se presenta más en el planteamiento de la hipótesis. El investigador sintetiza las superaciones en la imaginación para establecer una explicación tentativa que someterá a prueba.

Método Analítico: Se distinguen los elementos de un fenómeno y se procede a revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado. Muchas ciencias utilizan este método; a partir de la experimentación y el análisis de gran número de casos se establecen leyes universales. Consiste en la extracción de las partes de un todo, con el objeto de estudiarlas y examinarlas por separado, para ver, por ejemplo, las relaciones entre las mismas. Estas operaciones no son independientes una de la otra; el análisis de

un objeto se realiza a partir de la relación que existe entre los elementos que conforman dicho objeto como un todo; y a su vez, la síntesis se produce sobre la base de los resultados previos del análisis.

Método Inductivo: Estudia los fenómenos o problemas desde las partes hacia el todo, es decir analiza los elementos del todo para llegar a un concepto o ley. También se puede decir que sigue un proceso analítico – sintético. Para una mejor estructuración del método inductivo se siguen los siguientes pasos: Observación; Experimentación, Comparación; Abstracción; Generalización.

Método deductivo: Es lo contrario del anterior; Estudia un fenómeno o problema desde el todo hacia las partes, es decir analiza el concepto para llegar a los elementos de las partes del todo. Entonces diríamos que su proceso es sintético – analítico. Los pasos para una mejor estructuración son: Aplicación; Comprensión; Demostración.

Método comparativo: El método comparativo suele ser popular en un estadio temprano de la evolución de un campo de investigación, cuando los científicos intentan salir del nivel inicial de los estudios de caso exploratorios a un nivel más avanzado de estructuras teóricas generales o leyes, como invariantes, causalidad o evolución.

La comparación es un método eficaz para explicar o utilizar conocimiento tácito o actitudes tácitas.

4.2. Resultados Antes y Después de Elaborar las Curvas de Fragilidad con la Finalidad de Conocer el Estado de Daño y Desempeño Sísmico

4.2.1. Determinación de la Prueba de Normalidad

Es indispensable conocer que cuando se aplica una herramienta estadística en donde se involucran variables continuas o cuantitativas es fundamental determinar si la información obtenida en el proceso, tiene un comportamiento mediante una distribución normal. Para ello la estadística posee algunas pruebas,

entre ellas encontramos la prueba de Ji-cuadrado , Kolmogorov-Smirnov Lilliefors, Shapiro y Wilks o la prueba de Anderson Darling; pero una manera muy sencilla de realizar la prueba de normalidad es construyendo un Histograma de Frecuencia. (Herrera Acosta, 2018).

Tabla 13

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Deriva	60	100,0%	0	0,0%	60	100,0%
Estado de daño	60	100,0%	0	0,0%	60	100,0%

Tabla 14

Descriptivos

Deriva	Estadístico	Desv. error
Media	513,4333	53,57869
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite inferior	
Media recortada al 5%	620,6441	
Mediana	515,2593	
Varianza	592,5000	
Desv. Desviación	172240,589	
Mínimo	415,01878	
Máximo	,00	
Rango	995,00	
Rango intercuartil	995,00	
Asimetría	931,25	,309
Curtosis	-,132	,608
Estado de daño	Estadístico	Desv. Error
Media	24396,6667	1803,99113
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite inferior	
Media recortada al 5%	20786,8888	
Mediana	28006,4446	
Varianza	24396,2963	
Desv. Desviación	24400,0000	
Mínimo	195263039,548	
Máximo	13973,65520	
Rango	800,00	
Rango intercuartil	48000,00	
Asimetría	47200,00	,309
Curtosis	24400,00	,608
	,000	
	-1,201	

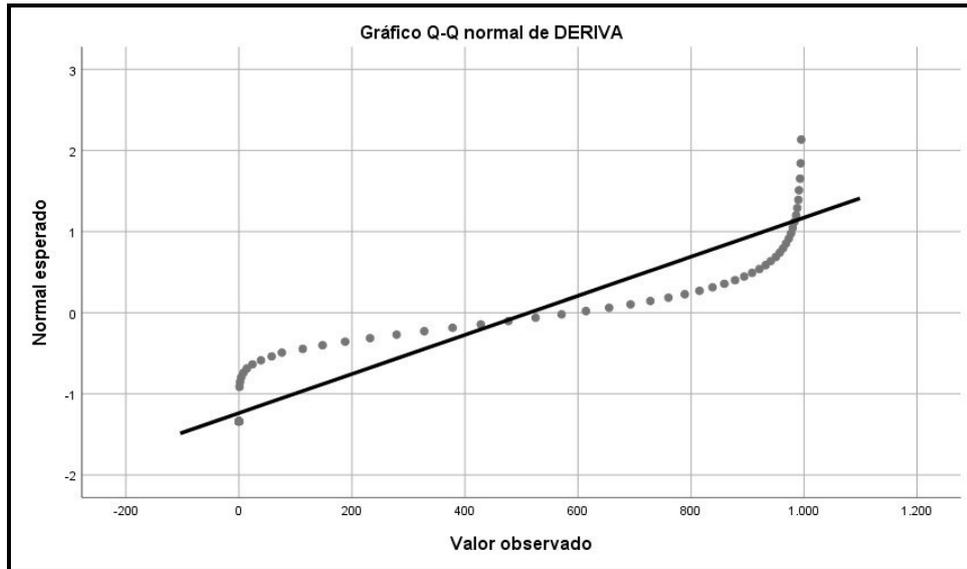


Figura 17. Gráfico Q-Q normal de deriva

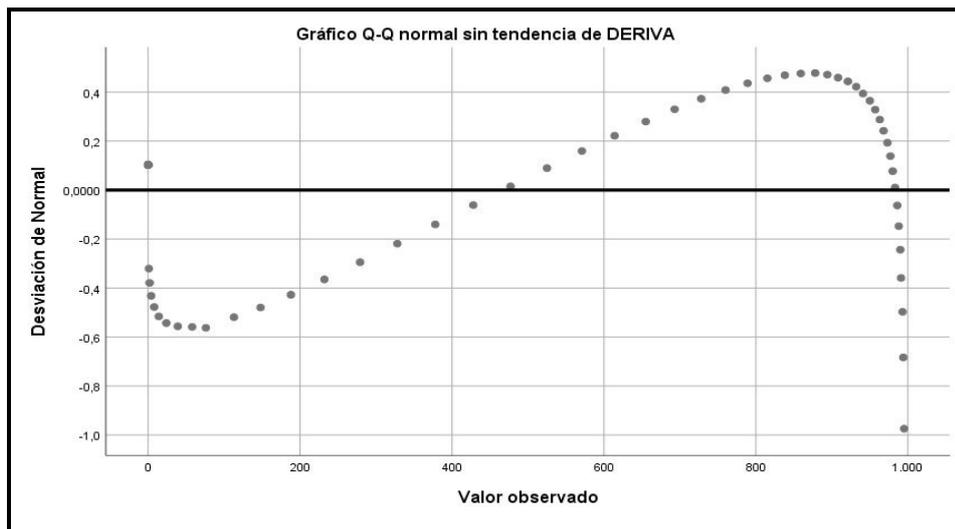


Figura 18. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de deriva

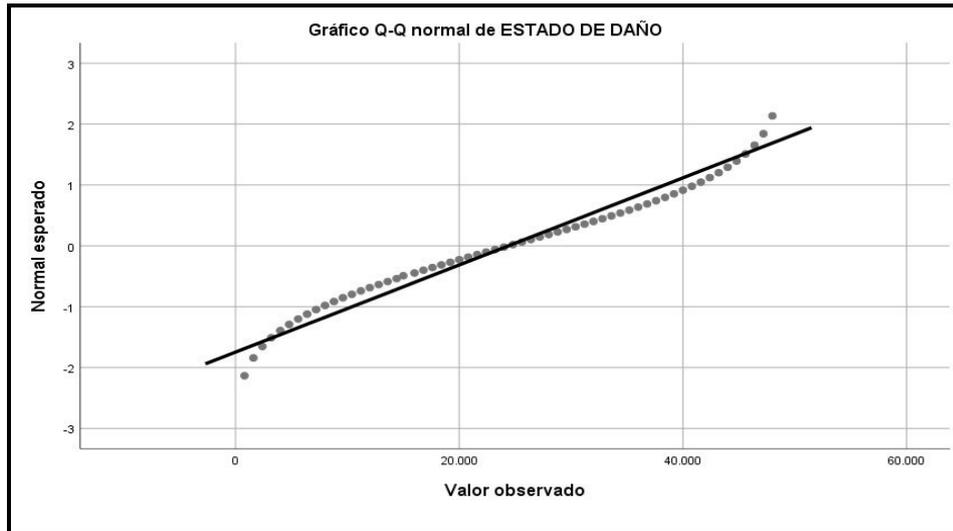


Figura 19. Gráfico Q-Q normal de estado de daño

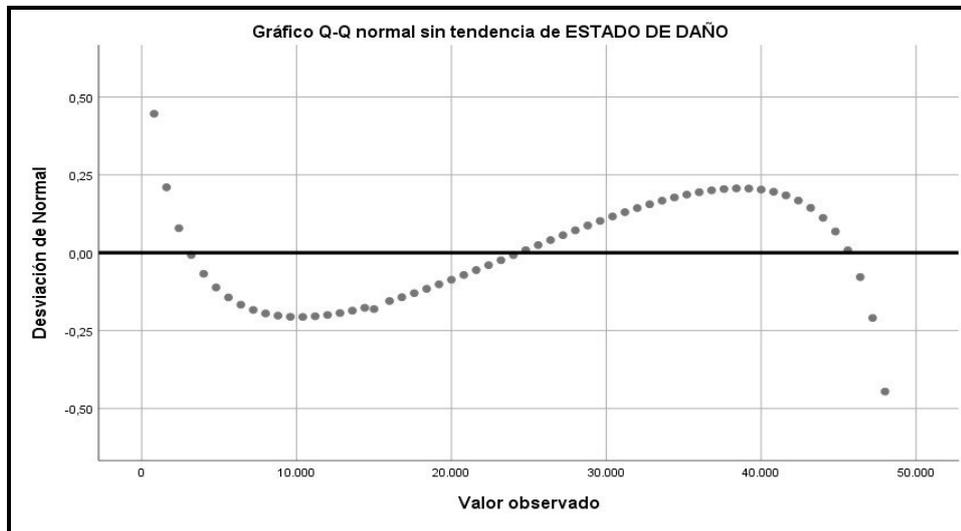


Figura 20. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de estado de daño

4.2.2. Véase las Tablas Sigüientes y el Análisis Respectivo Después de los Cuadros

Presentados

Tabla 15

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Deriva	,171	60	,000	,811	60	,000
Estado de daño	,066	60	,200*	,955	60	,027

Nota. (*) Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

(a) Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 16

Escala de valores del coeficiente de correlación

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,89	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación negativa nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Nota. Escala de Baremo, 1995.

Tabla 17

Correlaciones

		Deriva	Estado	de
		de	daño	
Rho	de	Coeficiente	de	1,000
		de		,998
Spearman	de	Sig. (bilateral)		,000
		N		60
	Estado	Coeficiente	de	,998**
		de		1,000
	daño	Sig. (bilateral)		,000
		N		60

Nota. (**) La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

De los resultados estadísticos anteriores y teniendo presente el cuadro de la tabla N° 16 de la escala de Baremo, podemos determinar que, al tener un coeficiente de correlación de 0.998, obtenemos una correlación positiva muy alta.

4.3. Análisis e Interpretación de Resultados

En la presente investigación se presentan los resultados después de haber analizado el edificio de concreto armado de sistema aporticado de un sótano, cinco pisos y una azotea. En los resultados se verá desde dos tipos de análisis:

- El análisis estático.
- El análisis dinámico.

4.3.1. Análisis Estático

Este método representa la demanda sísmica a través de un conjunto de fuerzas que actúan en el centro de las masas en cada nivel de la estructura.

Se puede analizar mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica de baja sismicidad como es el caso de la zona 1 y 2. En cambio, en las otras zonas sísmicas se puede emplear este procedimiento para las estructuras clasificadas como regulares, según el artículo 19, de no más de 30 m de altura, y además se considera que para las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares, de acuerdo a lo establecido en la normativa vigente.

4.3.1.1. Fuerza Cortante en la Base.

La fuerza cortante en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina por la siguiente expresión:

(Ministerio de Vivienda, 2018)

$$V = \frac{z \cdot u \cdot c \cdot s}{R} \cdot P$$

El valor de C/R no se considera menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,11$$

En el presente estudio se ha realizado el análisis estático de un edificio de 05 pisos más azotea, teniendo un total de 06 niveles.

En primer lugar, se ha desarrollado un análisis estático en la estructura, se ha realizado el cálculo del peso total del edificio como se muestra en la tabla N° 18 posteriormente se ha desarrollado el metrado de cargas como se muestra en la tabla N° 19.

Tabla 18

Cálculo del peso total

Datos	
Peso albañilería	1800 kg/m ³
Peso del aligerado	300 kg/m ²
Peso de acabado	100 kg/m ²
Sobrecarga	200 kg/m ²
Sótano	199 m ²
1er piso	237 m ²
2, 3, 4to piso	170 m ²
5to piso	156 m ²
Azotea	76 m ²
Sobrecarga	200 kg/m ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 19

Metrado de carga

Piso	Columna ton	Viga ton	Losa ton	Tabiquería ton	Acabados ton	Total carga 100% ton	Carga viva 25% ton	Peso total ton	Masa i, t-s ² /m
Sótano	99.63	30.17	65.41	0.00	19.89	215.094	9.945	225.04	22.939679
1	67.81	47.66	71.10	55.08	23.70	265.352	11.850	277.20	28.257119
2	33.072	46.5404496	54.06	52.00	17.00	202.675	8.500	211.17	21.526503
3	33.072	46.5404496	54.06	52.00	15.60	201.275	8.500	209.77	21.383791
4	33.072	46.5404496	54.06	52.00	7.58	193.255	8.500	201.75	20.566258
5	21.5808	38.44476	46.80	41.81	15.60	164.239	7.800	172.04	17.537122
Azotea	10.98336	332856	23.60	18.15	7.58	93.602	3.790	97.39	9.9278159
Total	299.22	289.18	369.09	271.05		1335.492	58.885	1394.38	

Nota. Elaboración propia.

Seguidamente se ha desarrollado el cálculo de la fuerza horizontal “H”, empleando los factores sísmicos de acuerdo a la norma sismorresistente peruana vigente E.030, como se muestra en la tabla N° 14.

Tabla 20

Peso de la estructura para calcular la fuerza horizontal “H”

Cálculo de la fuerza por sismo						
N° pisos	7	Factor	Códigos	Tipo de suelo	Códigos	Tipo estructural
Zona	4	Z = 0.45	1	Roca o muy rígido	1	Sólo pórticos
Categoría	C	U = 1	2	Intermedio	2	Pórticos más ascensor
Tipo de suelo	3	S = 1.1	3	Flexible	3	Albañilería y sólo muros
Sistema estructural	Pórtico R = 8		Sistema estructural			
Irregularidad en altura “la”	la	la = 1	1			
Irregularidad estructural en planta	lp	lp = 1	1			
Factor de irregularidad “la”	R	Ri = 1	1	Pórticos y dual	Regularidad	
Tipo estructural, T	1	Ct = 35	2	Muros de concreto	R	Regular
		Tp = 1	3	Albañilería	I	Irregular

Nota. Elaboración propia.

$$T = \frac{h_n}{c_T}$$

Periodo $T = 0.528$ segundos

Ordenada espectral $C = 2.50$

Coefficiente sísmico $Z*U*S*C/R = 0.155$

Aceleración espectral 1.517 m/s^2

Cortante basal $V = 215.69$ toneladas

$$T = \frac{ZUCS}{R} \cdot P \quad \frac{C}{R} \geq 0,125$$

Cortante a distribuir

$$F_a = 0,07 \cdot T \cdot V \leq 0,15 \cdot V \quad F_I = \frac{P_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^n P_j \cdot h_j} \cdot (V - F_a)$$

215.69 tn

4.3.1.2. Análisis Dinámico.

En este análisis se ha desarrollado considerando la aceleración espectral del suelo relacionado a un determinado tipo de sismo, como se muestra en la tabla N° 20 análisis de estudios realizados en el Perú.

Tabla 21

Resumen de cortantes Vi (Tn)

Pisos	Frecuente 0.2	Ocasional 0.25	Raro 0.4	Muy raro 0.45
6	19.99	24.99	39.98	44.97
5	39.51	49.38	79.01	88.89
4	55.72	69.65	111.44	125.36
3	12.21	15.27	24.43	27.48
2	22.69	28.36	45.38	51.06
1	26.94	33.67	53.87	60.61

Nota. Elaboración propia.

4.3.1.3. Análisis de Estudios Realizados en Perú.

Investigadores como Muñoz 2002, Silva y Zegarra 2002, han presentado trabajos de reforzamiento de construcciones, en los que han utilizado los valores indicados en la siguiente tabla para la zona de mayor peligrosidad sísmica del Perú, para determinar los sismos de análisis y de acuerdo a VISION 2000 y verificar el desempeño de las edificaciones.

Tabla 22

Análisis de estudios realizados en el Perú

Sismo	A ₀	$\frac{A_0 \text{ Ocas}}{A_0 \text{ Frec}}$	$\frac{A_0 \text{ M. Raro}}{A_0 \text{ Raro}}$	$\frac{A_0 \text{ Norma}}{A_0 \text{ Frec}}$
Frecuente	0.20			
Ocasional	0.25	1.25	1.25	2.25
Raro	0.40			
Muy raro	0.45			

Nota. Muñoz, Silva y Zegarra 2002.

El punto de desempeño está relacionado en el eje “x” se tiene a la deriva de entre piso o desplazamientos espectral, y en el eje “y” se encuentra aceleración espectral.

Finalmente se obtiene las curvas de fragilidad, estas curvas tienen en su eje “x” se tiene a la deriva de entre piso o desplazamientos espectral, y en el eje “y” se encuentra la probabilidad de daño en la estructura y se encuentra desde el 0.0% al 100.0 % de probabilidad de daño que corresponde a cada estado de daño, siendo estos estados: Leve, Moderado, Severo y Completo.

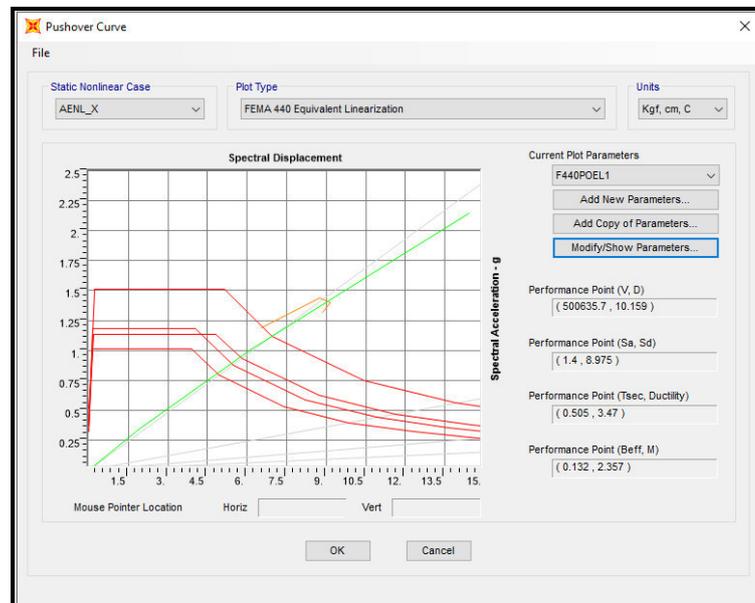


Figura 21. Punto de desempeño
Nota. Elaboración propia.

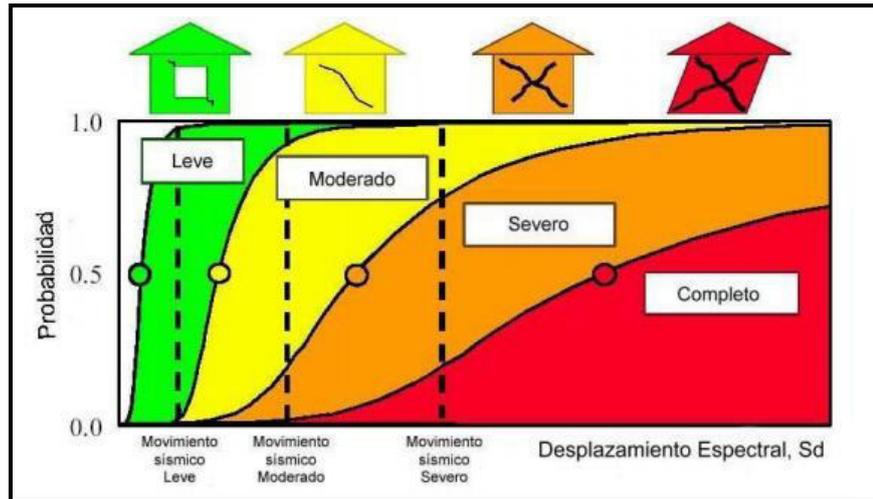


Figura 22. Ejemplo de curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y completo
 Nota. Fema 58,2015

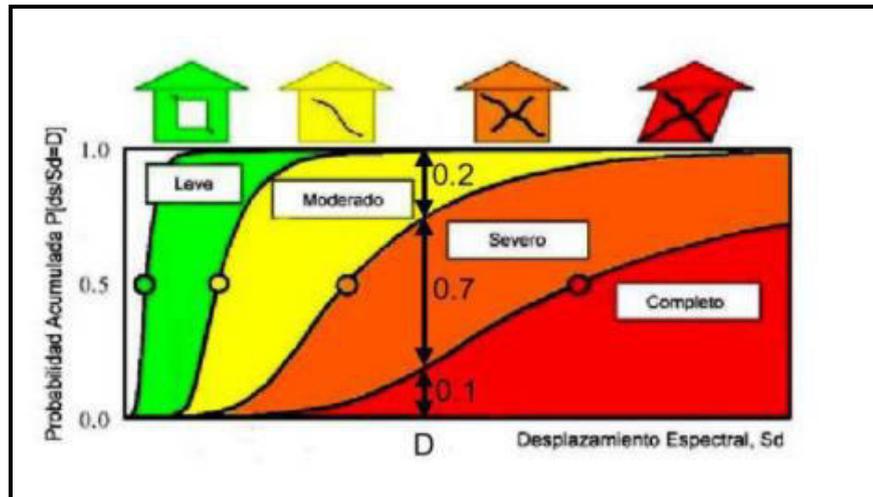


Figura 23. Curvas de fragilidad
 Nota. Fema 58,2015

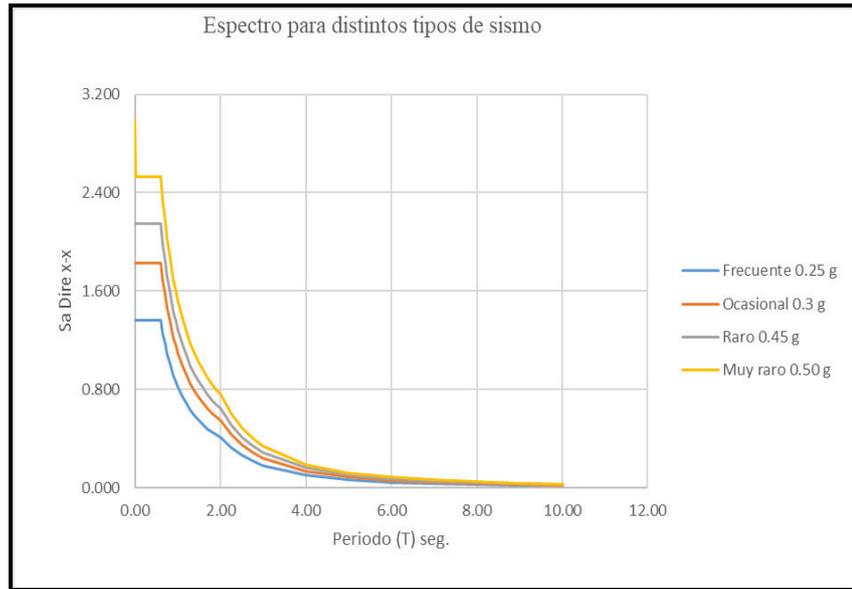


Figura 24. Espectros para distintos tipos de sismos
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 23

Resultado de la Investigación

Tipo de Sismo	Puntos de desempeño de la distorsión	de Nivel de desempeño (función de desempeño (Vision 2000))	de Probabilidad de daño	de Comparación con la norma sísmica actual E.030
Frecuente	0.002	Operacional	Leve: 55 %	Aprobado
			Moderado: 35 %	Aprobado
			Severo: 8%	Aprobado
			Completo: 2 %	Aprobado
			Leve: 45 %	Aprobado
Ocasional	0.003	Seguridad de Vida	Moderado: 40 %	Aprobado
			Severo: 4 %	Aprobado
			Completo: 1 %	Aprobado
			Leve: 35 %	Aprobado
			Moderado: 50 %	Aprobado
Raro	0.0065 – 0.0074	Próximo al colapso	Severo: 12 %	No aprobado
			Completo: 3 %	No aprobado
			Leve: 0 %	No aprobado
			Moderado: 5 %	No aprobado
			Severo: 30 %	No aprobado
Muy raro	0.0075 – 0.0120	Colapso	Completo: 65 %	No aprobado
			Severo: 30 %	No aprobado
			Moderado: 5 %	No aprobado
			Leve: 0 %	No aprobado

Nota. Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de resultados consiste en explicar los resultados obtenidos y comparar estos, con datos obtenidos por otros investigadores, es una evaluación crítica de los resultados desde la perspectiva del autor tomando en cuenta los trabajos de otros investigadores y el propio.

Partiendo de la hipótesis de la presente investigación, la misma que es: “Obteniendo las curvas de fragilidad es posible predecir los niveles de daños y desempeño sísmico de los edificios bajo el sistema aporticado de concreto armado en Lima - Perú 2020”.

Se ha establecido las curvas de fragilidad en el modelamiento de un edificio considerado en un sótano más 05 pisos y una azotea, en el que hemos podido verificar los estados de daño que se tiene respecto a un sismo:

En este caso para el investigador Ghobarah (1997), en la que elabora una relación de la distorsión de piso o deriva respecto al desempeño sísmico y el estado de daño, sin embargo, en su investigación no considera la aceleración espectral del suelo de la estructura analizada.

En cambio, en la presente investigación se ha considerado la aceleración espectral del suelo y la relación de desempeño sísmico que tendrá la estructura.

Tabla 24

Niveles de daño propuesto por Ghobarah et al (1997)

Distorsión de piso	Daño	Descripción del daño	Desempeño
$y < 0.002$	Sin daño	Sin daño	Sin daño
$0.002 \leq y < 0.005$	Leve	Grietas ligeramente visibles	Agrietamiento
$0.005 \leq y < 0.011$	Moderado	Grietas menores de 1 mm.	Fluencia del acero
$0.011 \leq y < 0.023$	Extenso	Grietas entre 1 y 2mm.	Inicio de mecanismo
$y \geq 0.023$	Completo	Grietas mayores a 2mm.	Mecanismo

Nota. Ghobarah.

En el caso del comité de investigación VISION 2000, considera lo siguiente:

Tabla 25

Valores límites de la deriva máxima entre piso para los niveles de desempeño

Niveles de desempeño	Deriva entre piso δ (y altura entre piso)/100
Totalmente Operacional	0.20
Operacional	0.50
Seguridad de Vida	1.50
Próximo al colapso	2.50
Colapso	Mayor a 2.50

Nota. Vision 2000.

Es decir que el comité de investigación VISION 2000, considera el nivel de desempeño de la estructura en función la deriva de piso; sin embargo, no considera los estados de daño ni la aceleración espectral del suelo.

La presente investigación considera los diferentes tipos de sismos como son:

- a) Frecuente. - Considerado con una aceleración espectral de 0.25 g.
- b) Ocasional. - Considerado con una aceleración espectral de 0.30 g.
- c) Raro. - Considerando una aceleración espectral de 0.45 g.
- d) Muy raro. - Considerando una aceleración espectral de 0.50 g.

A diferencia de los PGA considerados en la tabla N° 22 investigados por Muñoz en este presente estudio se va a incrementar 0.05 g a cada tipo de sismo, debido que actualmente el PGA de análisis en la zona sísmica 4 (Lima) es de 0.45 g.

Por otra parte, SEAOC VISION 2000, establece los niveles de desempeño en función de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δ_p), para ello en este estudio se elaborará la curva de capacidad en función al desplazamiento y la fuerza actuante en la estructura.

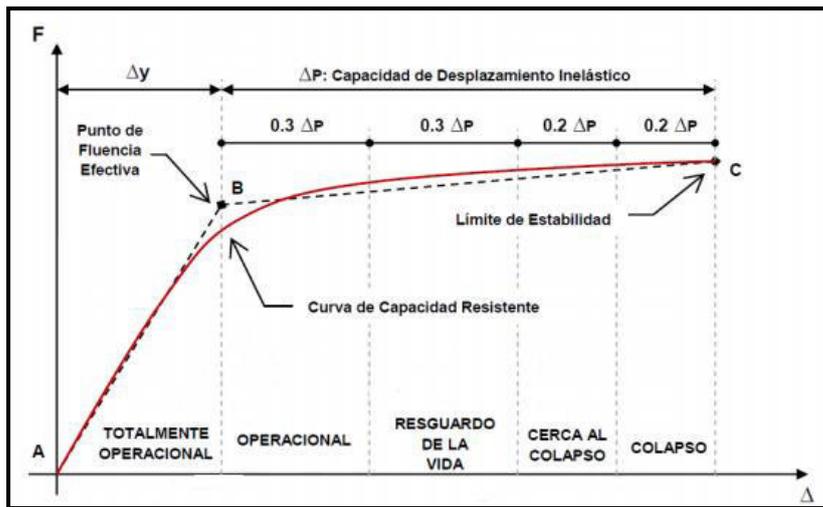


Figura 25. Curva de capacidad sectorizada
 Nota. SEAOC Vision 2000 committee, 1995.

Posteriormente a la ubicación del punto de desempeño y en consecuencia después de conocer el nivel de desempeño de la estructura se ha realizado el modelamiento del edificio con las características antes descritas, en el que se ha empleado la técnica “Push Over” es decir un análisis estático no lineal - AENL, con la finalidad de conocer el punto de desempeño, como se indicó en el marco teórico. El punto de desempeño se obtiene en la intersección de la curva de capacidad y la curva de demanda, es decir nos indica el nivel de desempeño que va a tener este edificio, de acuerdo a la norma VISION 2000 se tiene que para cada deriva entre piso (δ), se le considera un nivel de desempeño, entonces cuando se obtenga el punto de desempeño, podemos verificar cual es la deriva de entre piso (δ), y con ello se puede relacionar al nivel de desempeño que le corresponde, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

El punto de desempeño está relacionado en el eje “x” se tiene a la deriva de entre piso o desplazamientos espectral, y en el eje “y” se encuentra aceleración espectral.

Finalmente se obtiene las curvas de fragilidad, estas curvas tienen en su eje “x” se tiene a la deriva de entre piso o desplazamientos espectral, y en el eje “y” se encuentra la probabilidad de daño en la estructura y se encuentra desde el 0.0% al 100.0 % de

probabilidad de daño que corresponde a cada estado de daño, siendo estos estados: Leve, Moderado, Severo y Completo.

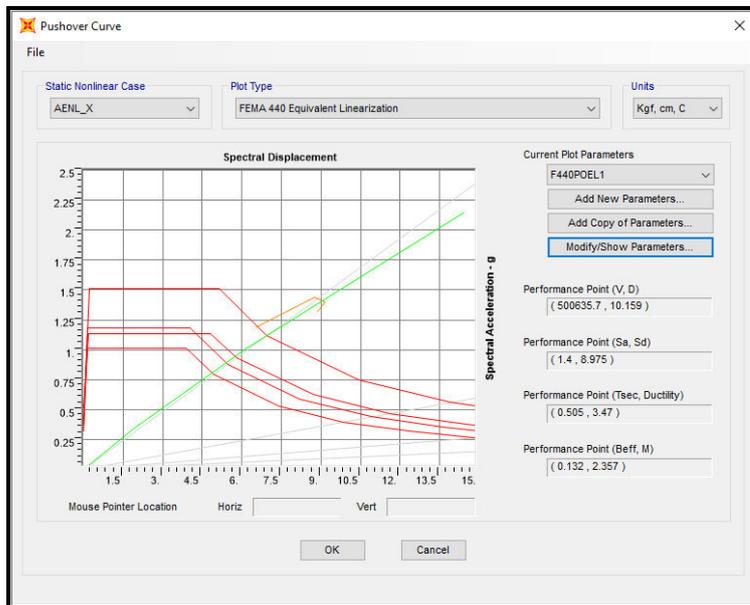


Figura 26. Curva de capacidad sectorizada
Nota. Elaboración propia.

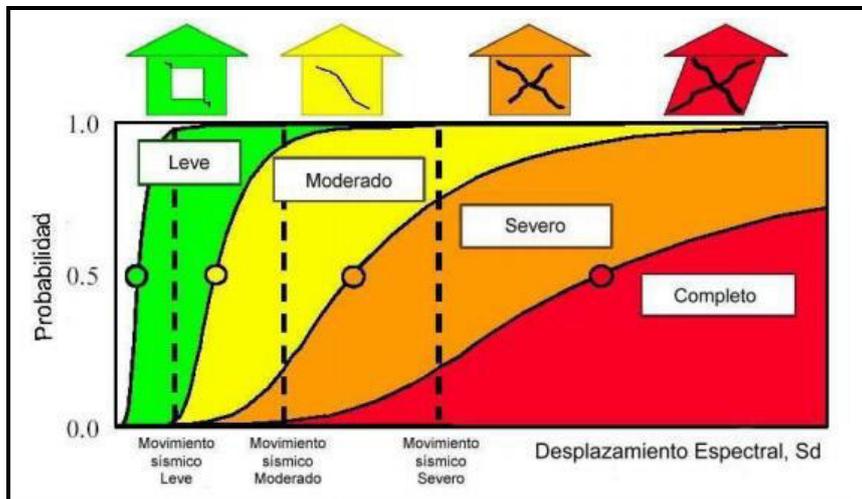


Figura 27. Ejemplo de curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y completo
Nota. Elaboración propia.

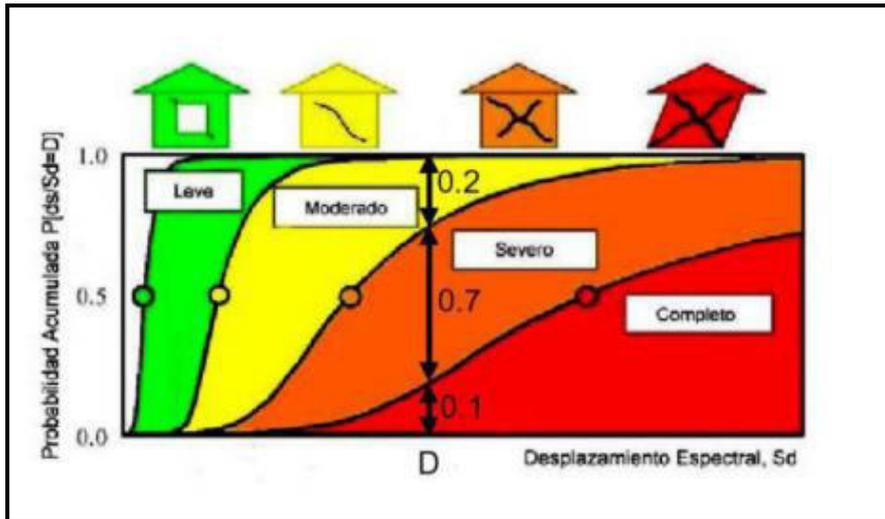


Figura 28. Ejemplo de curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y completo
 Nota. Vision 2000.

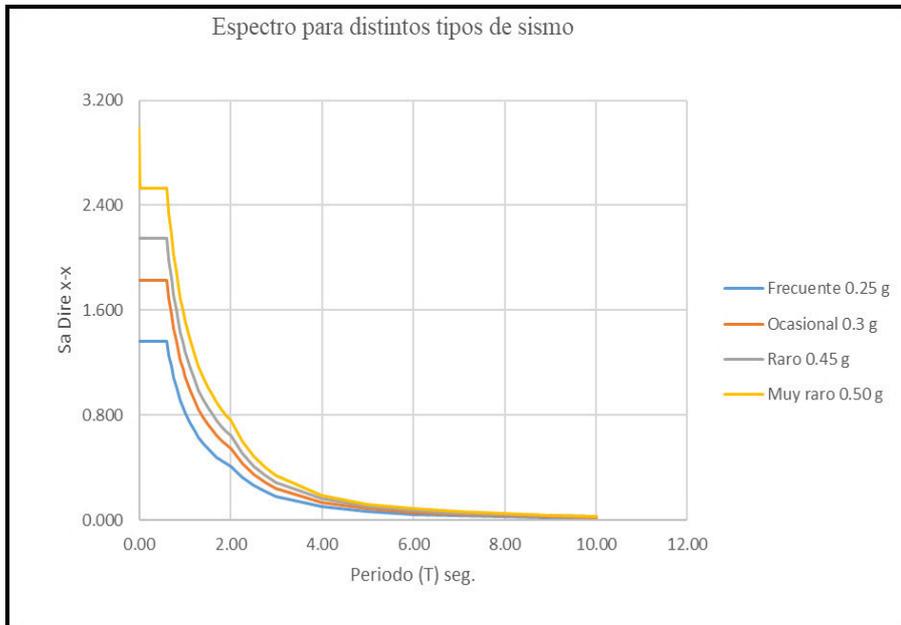


Figura 29. Espectros para distintos tipos de sismos
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

Resultado de la investigación

Tipo de Sismo	Puntos de desempeño (función de distorsión)	Nivel de la desempeño (Vision 2000)	de Probabilidad de daño	de Comparación con la norma sísmica actual E.030
Frecuente	0.002	Completamente Operacional	Leve: 55 %	Aprobado
			Moderado: 35 %	Aprobado
			Severo: 8%	Aprobado
			Completo: 2 %	Aprobado
Ocasional	0.003	Operacional	Leve: 45 %	Aprobado
			Moderado: 40 %	Aprobado
			Severo: 4 %	Aprobado
			Completo: 1 %	Aprobado
Raro	0.0065 - 0.0074	Seguridad de vida	Leve: 35 %	Aprobado
			Moderado: 50 %	Aprobado
			Severo: 12 %	No aprobado
			Completo: 3 %	No aprobado
Muy raro	0.0075 - 0.0120	Próximo al Colapso	Leve: 0 %	No aprobado
			Moderado: 5 %	No aprobado
			Severo: 30 %	No aprobado
			Completo: 65 %	No aprobado

Nota. Elaboración propia.

Es decir, la presente investigación es más completa, por ejemplo, para un sismo muy raro vamos a tener una distorsión de 0.0075-0.012, con un nivel de desempeño de colapso y un estado de daño completo en 65%, esto nos indica que, si comparamos con la presente norma sismorresistente, no cumple con la deriva establecida.

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones manifiestan lo más destacado que se ha encontrado en la investigación, representa el aporte del investigador que deben ser claras, concretas y enfáticas. Las conclusiones dan respuesta al objetivo principal y secundarios.

Luego de contrastar las hipótesis, las conclusiones se plantean de la siguiente manera:

- a) Estableciendo las curvas de fragilidad ha sido posible predecir el estado de daño moderado y su desempeño sísmico de seguridad de vida en los edificios del sistema aporticado de concreto armado.
- b) Se ha podido determinar el estado de daño moderado y desempeño sísmico de seguridad de vida en del edificio aporticado de concreto armado, mediante curvas de fragilidad y de esta manera se ha podido comparar con la norma de Diseño Sismorresistente - E.030 vigente
- c) Se ha podido establecer la influencia de criterios y práctica para evaluar a vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño, como para un nivel de desempeño sísmico le corresponde un estado de daño, en de los edificios aporticado de concreto armado en Lima 2020.
- d) Se ha logrado obtener una distorsión de 0.0065 - 0.0074, para un desempeño de seguridad de vida, esta distorsión se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma sismorresistente E.030.

VII. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones son sugerencias que el investigador hace a quienes tienen poder de decisión en el ámbito de la investigación, y que en algún momento van a recoger estas sugerencias para resolver las dificultades planteadas en estudios posteriores; un estudio que se realiza en la actualidad, se puede realizar el próximo año, considerando un cambio de muestra, una población distinta siguiendo las recomendaciones de la presente investigación por tanto pasa a ser una investigación totalmente distinta.

Considerando la importancia que tiene esta investigación y en función de los resultados obtenidos se formulan algunas sugerencias tanto en el procesamiento y análisis de la presente investigación, así como a las técnicas desarrolladas por los diseñadores, y los ingenieros estructurales que se dedican a la ejecución de las obras de edificaciones, para ello se hace llegar las siguientes recomendaciones.

- a) Desarrollar el diseño basado por desempeño, a través de un análisis dinámico no lineal
- b) Profundizar en los manejos de programas computacionales que realizan el análisis dinámico no lineal
- c) Se debe realizar otros análisis para los PGA que se encuentren registrados en la Red Acelerográfica del Perú.
- d) Se debe realizar ensayos a escala real, con la finalidad de obtener los lazos histeréticos de las estructuras reales, es decir deberíamos contar con mesas vibratorias a escala real, esto nos darán resultados reales respecto a los estados de daño y el nivel de desempeño de la edificación analizada.

VIII. REFERENCIAS

- Aguiar Falconí, R. (2014). *Análisis Sísmico por desempeño*. Ecuador.
- ATC-40. (12 de Setiembre de 1996). *Desempeño sísmico. Niveles de desempeño*. California, California, Estados Unidos: ATC-40.
- Bazán, y Meli. (2015). *Diseño Sísmico de Edificios*. México: Limusa.
- Borda Meza, L. (25 de Setiembre de 2007). *Desempeño sísmico de una edificación aporticado peruano de seis pisos. Tesis de grado*. Lima , Lima, Perú: PUCP.
- Bozorgnia, Y., y Bertero, V. (2012). *Ingeniería Sísmica*. New York: CRC Press.
- Bunge, M. (2014). *La Investigación Científica* . Buenos Aires: Panorama.
- Carabalí, E. (2016). Comparativo de metodologías para encontrar el punto de desempeño. En E. Carabalí, *Desempeño sísmico* (pág. 312). México: RTF.
- Carrasco Diaz, S. (2007). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: San Marcos.
- Chavez Aguirre, J. (2017). *Diseño Sismorresistente de Edificios con Disipadores con Fluido Viscoso*. Lima: Grupo Universitario SAC.
- Crainic, L. (2013). *Seismic performance of Concrete Buildins*. Londres: CRCPress.
- D'Amore. (2015). *Desempeño Sísmico en Edificios*. En D'Amore, *Desempeño Sísmico* (pág. 345). España: EST.
- Dong, Y. (2015). *Desempeño Sísmico en Edificios*. New York: Mc Graw Hill.
- EERI. (24 de Setiembre de 2014). *Guía de Niveles de Daño*. EERI. Oakland, California, Estados Unidos: EERI.
- Esteva Maraboto, L. (2013). *Diseño Sísmico Basado en Desempeño: Tendencias y Retos*. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 20.
- Fuentes, & Zambrano. (2015). *Diseño Sismorresistente en Edificios de Concreto Armado*. New York: Mc Graw Hill.

- Hens, H. (2015). *Performance Based Building Design*. Berlin: Ernst&Sohn.
- Hernandez, I. (2010). *"Diseño Sísmico Basado en Desempeño y Confiabilidad del Sistemas Marco - Muro"*. México: Universidad Autónoma de México - UNAM.
- Hernandez Sampieri, R. (2016). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGrawHil.
- Hernandez, R., Fernandez, C., Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc. Graw Hill. doi:ISBN:978-607-15-0291-9
- Liviu Cranic, Mihai Munteanu. (2017). *Seismic Performance of Concrete Buildings*. New York: CRC Press.
- Martínez Jiménez, J. (2016). *Diseño y Cálculo Elástico de los Sistemas Estructurales*. Madrid: Bellisco.
- Mc Cormac, J., Brown, R. (2016). *Design of Reinforced Concrete*. New York: Wiley & Sons.
- McGuire. (2014). *Diseño Sismorresistente de Edificios de Concreto*. Los Angeles: Graw Hill.
- Mehdi Ashraf, S. (2018). *Practical Design of Reinforced Concrte Buildings*. New York: CRC Press.
- Ministerio de Vivienda. (22 de Octubre de 2018). *Norma de Diseño Sismorresistente - E.030. Norma Técnica de Diseño Sismorresistente*. Lima, Lima, Perú: MVCS.
- Moehle, J. (2018). *Diseño Sísmico de Edificios de Concreto Reforzado*. New York: Mc Graw Hill.
- Mora, E. (2016). Momento Curvatura. En E. mora, *Diseño Sísmico por Desempeño*. México: CRC_L.
- Morán, G., Alvarado, D. (2010). *Métodos de Investigación*. México: Pearson.
- NHRC. (12 de Julio de 2015). Escalas de daño. *NHRC_ Escalas de daño*. Australia, Australia, Australia: NHRC.
- Nilson, A. (2016). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Nueva York: Mc Graw Hill.

- Ñaupas Paitán , H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez , E., Villagómez Paucar, A. (2016). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Ortiz. (2011). *Diseño de la Investigación Científica*. Mexico: Lexus.
- Oshiro Higa, F. (2010). *Reparaciones Antisísmicas*. Lima: S/E.
- Otero - Ortega, A. (2018). Formulación de Objetivos de Investigación. *Researg Gate*, 20.
- Park, R., Paulay, T. (2015). *Estructuras de Concreto Reforzado*. México: Limusa.
- Paulay, T., Priestley, M. (2012). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Jhon Wiley Sons, Inc.
- Paytán Silva. (2017). *Diseño por Desempeño Sísmico de las Estructuras de Acero*. Lima: PUCP.
- Porter, K., Hamburger, R., Gumpertz Simpon, Herger. (2014). *Desarrollo Práctico y Aplicación de Funciones de Fragilidad*. PEER, 16.
- Ramirez, A., Ampa, I., Ramírez, K. (2007). *Tecnología de la Investigación*. Lima: Moshera SRL.
- Rivera Bilbao, R. (2015). *Metodología de la Investigación*. Mexico: D.F.
- Sánchez Aguilar. (2010). *"Diseño Sísmico Basado en Desempeño para una Edificación Esencial de Concreto Reforzado"*. México: Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey - México.
- Santana Tapia, R. (2017). *Ingeniería Antisísmica Principios Básicos y Aplicaciones*. Huancayo: ISS-PERU.
- SEAOC. (13 de Marzo de 1995). *Desempeño Sísmico. Niveles de desempeño sísmico*. California, California, Estados Unidos: SEAOC.
- Suárez, V. (2016). *Diseño Basado en Desplazamientos, una Alternativa Racional al Diseño Basado en Fuerzas*. *Revista Tecnológica ESPOL*, 13.
- Supo Condori, J. (2015). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Bioestadístico.

- Troncoso, P. (2016). *Efecto de Demanda Sísmica. IX Congreso de Ingeniería Estructural*, 17.
- Valencia Clement, G. (2015). *Estructuras de Acero*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Viera Arroba, L. P. (20 de Abril de 2004). *Desempeño Sísmico Basado en Desempeño de Edificios de Hormigón Armado*. Ambato, Ambato, Ecuador.
- Villafañe, E., y Crisafulli, F. (2002). *Espectros de Respuesta y Diseño. Guía de Estudio de Ingeniería Sismorresistente*, 22.
- Wakabayashi, M., y Martínez Romero, E. (2008). *Diseño de Estructuras Sismorresistentes*. México: Mc Graw- Hill.

IX. ANEXOS

7.1 Anexo A. Matriz de Consistencia

Tabla 27

Desempeño sísmico y estado de daño en edificios aporticados de concreto armado, mediante curvas de fragilidad en Lima 2020

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables - indicadores	Metodología y técnica
<p>¿De qué manera el desempeño sísmico y estado de daño influyen en el diseño sismorresistente de los edificios del sistema aporticado de concreto armado de acuerdo a la norma sismorresistente E.030 vigente, en Lima 2020?</p> <p>¿Qué estado de daño se encontrarán al realizar el diseño basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado, empleando curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño en Lima 2020?</p>	<p>Objetivo general: Determinar el estado de daño y desempeño sísmico del edificio aporticado de concreto armado, mediante curvas de fragilidad con la finalidad de comparar con los parámetros establecidos en la norma sismorresistente E.030 vigente, en Lima 2020.</p> <p>Objetivos específicos: a) Realizar el análisis sísmico basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado para conocer el estado de daño a través de las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño en Lima 2020. b) Realizar el análisis estático no lineal (Push over) para determinar el nivel de desempeño sísmico de los edificios de concreto armado, en Lima 2020. c) Realizar el análisis sísmico basado por desempeño para determinar la distorsión para un nivel de desempeño “seguridad de vida” en los edificios aporticados de concreto armado, en Lima 2020.</p>	<p>Hipótesis principal: Obteniendo las curvas de fragilidad es posible predecir los estados de daños y los niveles de desempeño sísmico de los edificios bajo el sistema aporticado de concreto armado en Lima 2020.</p> <p>Hipótesis secundarias: a) Después de realizar el análisis sísmico basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado se espera obtener un estado de daño moderado empelando las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño b) Después de realizar el análisis sísmico basado por desempeño en los edificios del sistema aporticado de concreto armado se espera obtener un nivel de desempeño de seguridad de vida en Lima 2020 c) Se espera obtener una distorsión aceptable dentro de lo establecido en la norma sismorresistente E.030, para un nivel de desempeño de seguridad de vida en los edificios aporticados de concreto armado, en Lima 2020</p>	<p>Variable independiente Curvas de fragilidad</p> <p>Indicadores Desplazamiento espectral, probabilidad de excedencia</p> <p>Variable dependiente desempeño sísmico y estado de daño</p> <p>Indicadores No daño Leve Moderado Severo Completo</p> <p>Variable intervinientes Edificios, sistema aporticado, concreto armado</p> <p>Indicadores Altos, mediana altura, bajos</p>	<p>Metodología Tipo de investigación Experimental</p> <p>Nivel de investigación Relacional</p> <p>Diseño de investigación Cuasi experimental</p> <p>Tratamiento de la información Estadística descriptiva e inferencial</p> <p>Técnica de recolección de datos - Análisis de documentos - Bibliografía técnica - Observación - Modelamiento computacional</p> <p>Procedimiento Análisis estructural de edificios con software especializado como es el caso de SAP 2000, ETABS y PERFORM 3D</p>

Nota. Elaboración propia.

7.2 Anexo B. Análisis Estructural de la Estructura

Tabla 28

Fuerzas sísmicas método de fuerzas estáticas equivalentes

Nivel i	Altura piso	Altura total h_i	P_i	$P_i h_i$	F_i (tn)		Cortante, V_i (tn)
6	0	0.00	0	0.0	0.00	0.00	0.00
5	2.65	15.83	172.039	2723.4	52.16	52.16	52.16
4	2.65	13.18	201.755	2659.1	50.93	50.93	103.09
3	2.65	10.53	209.775	2208.9	42.31	42.31	145.40
2	2.73	7.88	211.175	1664.1	31.87	31.87	37.87
1	2.58	5.15	277.202	1427.6	27.34	27.34	59.22
	2.57	2.57	225.038	578.3	11.08	11.08	70.29
	15.83		Suma	11261.4	215.69		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 29

Sismo muy raro

$\alpha = 0.45$

Nivel i	Altura piso	Altura total h_i	P_i	$P_i h_i$	F_i (tn)		Cortante, V_i (tn)
6	0	0.00	0	0.0	0.00	0.00	0.00
5	2.65	15.83	172.039	2723.4	44.97	44.97	44.97
4	2.65	13.18	201.755	2659.1	43.91	43.91	88.89
3	2.65	10.53	209.775	2208.9	36.48	36.48	125.36
2	2.73	7.88	211.175	1664.1	27.48	27.48	27.48
1	2.58	5.15	277.202	1427.6	23.58	23.58	51.06
	2.57	2.57	225.038	578.3	9.55	9.55	60.61
	15.83		Suma	13061.2	215.69		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

Sismo raro

$\alpha = 0.4$

Nivel i	Altura piso	Altura total h_i	P_i	$P_i h_i$	F_i (tn)		Cortante, V_i (tn)
6	0	0.00	0	0.0	0.00	0.00	0.00
5	2.65	15.83	172.039	2723.4	39.98	39.98	39.98
4	2.65	13.18	201.755	2659.1	39.03	39.03	79.01
3	2.65	10.53	209.775	2208.9	32.43	32.43	111.44
2	2.73	7.88	211.175	1664.1	24.43	24.43	24.43
1	2.58	5.15	277.202	1427.6	20.96	20.96	45.38
	2.57	2.57	225.038	578.3	8.49	8.49	53.87
	15.83		Suma	13061.2	191.73		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 31
Sismo ocasional
 $\alpha = 0.25$

Nivel	Altura	Altura					Cortante,
i	piso	total h_i	P_i	$P_i h_i$	F_i (tn)		V_i (tn)
6	0	0.00	0	0.0	0.00	0.00	0.00
5	2.65	15.83	172.039	2723.4	24.99	24.99	24.99
4	2.65	13.18	201.755	2659.1	24.40	24.40	49.38
3	2.65	10.53	209.775	2208.9	20.27	20.27	69.65
2	2.73	7.88	211.175	1664.1	15.27	15.27	15.27
1	2.58	5.15	277.202	1427.6	13.10	13.10	28.36
	2.57	2.57	225.038	578.3	5.31	5.31	33.67
	15.83		Suma	13061.2	119.83		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 32
Sismo frecuente
 $\alpha = 0.2$

Nivel	Altura	Altura					Cortante,
i	piso	total h_i	P_i	$P_i h_i$	F_i (tn)		V_i (tn)
6	0	0.00	0	0.0	0.00	0.00	0.00
5	2.65	15.83	172.039	2723.4	19.99	19.99	19.99
4	2.65	13.18	201.755	2659.1	19.52	19.52	39.51
3	2.65	10.53	209.775	2208.9	16.21	16.21	55.72
2	2.73	7.88	211.175	1664.1	12.21	12.21	12.21
1	2.58	5.15	277.202	1427.6	10.48	10.48	22.69
	2.57	2.57	225.038	578.3	4.24	4.24	26.94
	15.83		Suma	13061.2	95.86		

Nota. Elaboración propia.

Finalmente se presenta los resultados de las cortantes en todos los niveles

Se ha realizado el modelamiento computacional SAP 2000, para determinados tipos de sismos como es el caso de: ocasional, raro y muy raro.

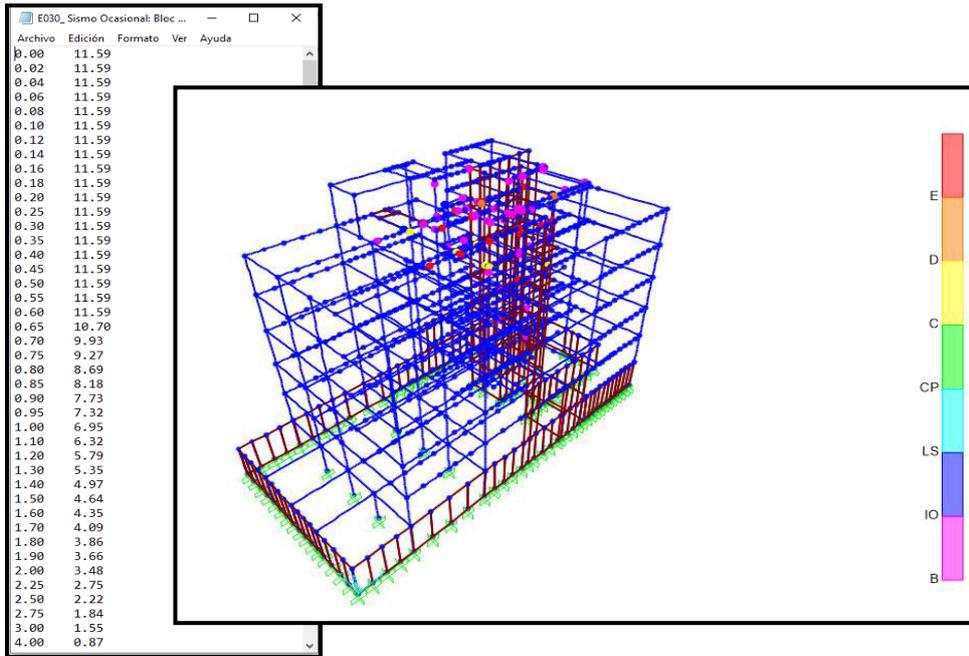


Figura 30. Modelamiento para sismo ocasional

Nota. Elaboración propia.

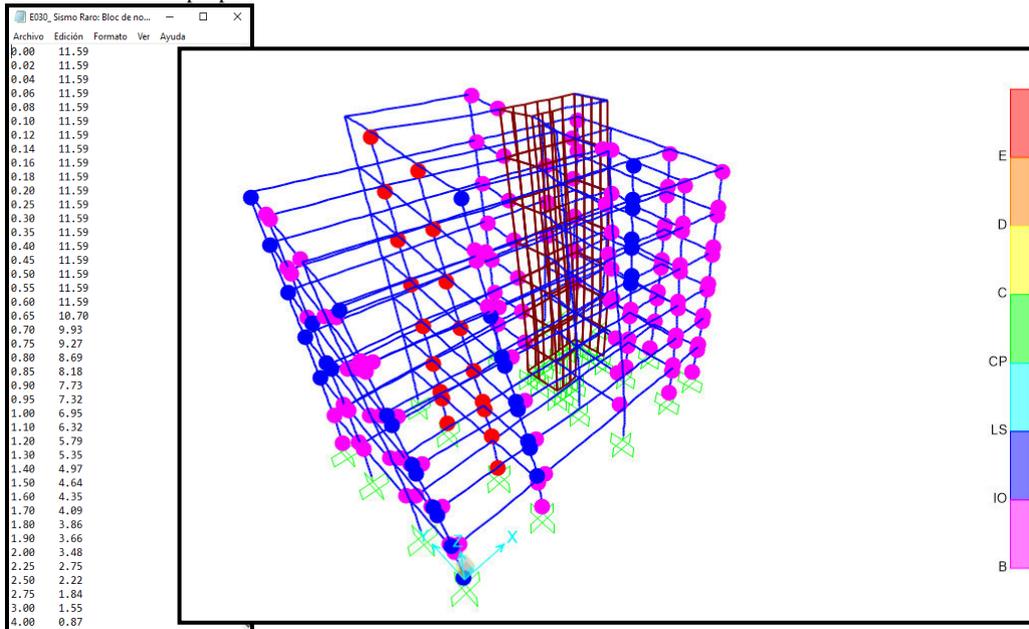


Figura 31. Modelamiento para sismo raro

Nota. Elaboración propia.

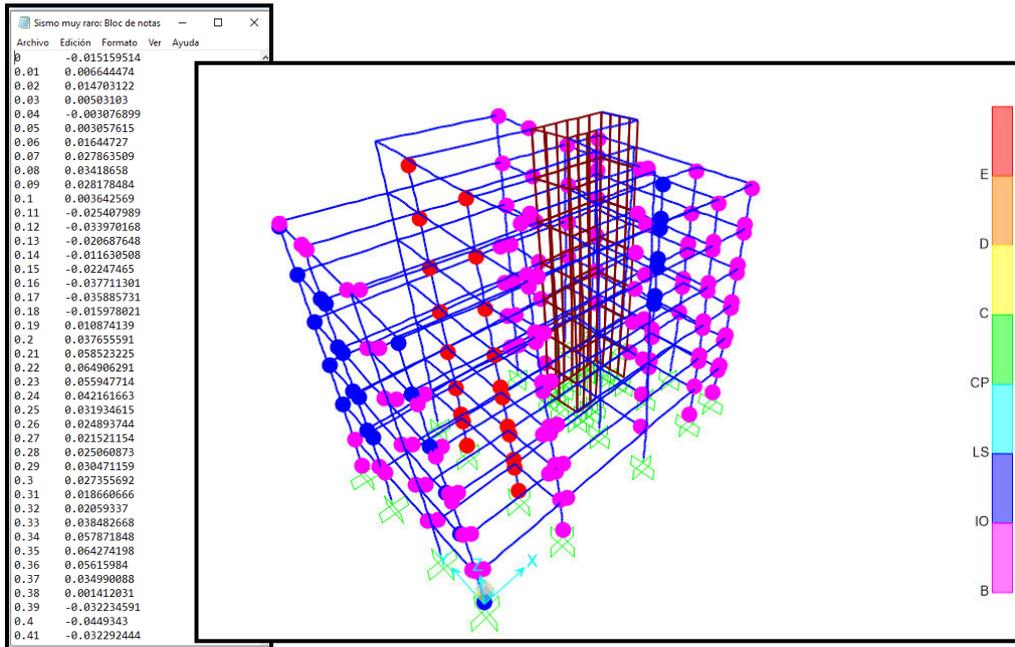


Figura 32. Modelamiento para sismo raro
Nota. Elaboración propia.

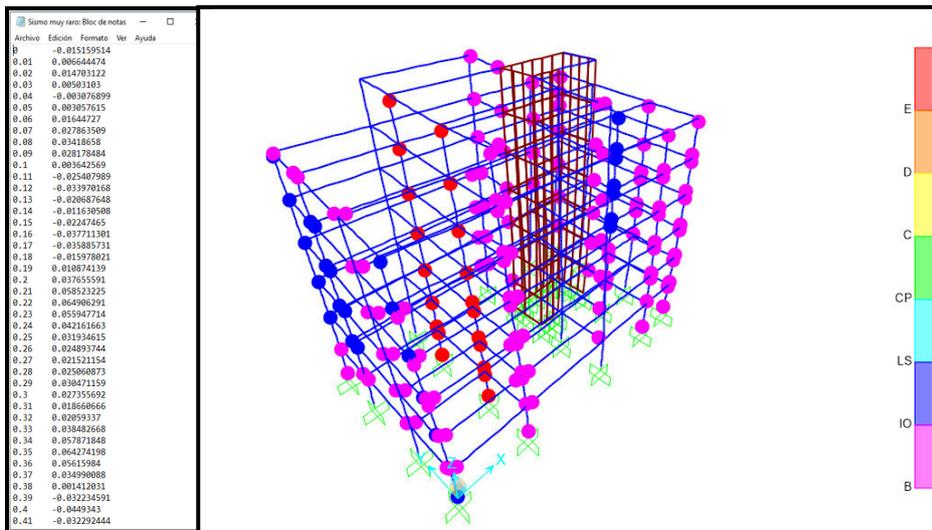


Figura 33. Modelamiento para sismo muy raro
Nota. Elaboración propia.

Las derivas están definidas como la relación que existe entre el desplazamiento relativo superior de un piso menos el desplazamiento relativo inferior del mismo piso entre la altura de entre piso.

a) Para sismo raro:

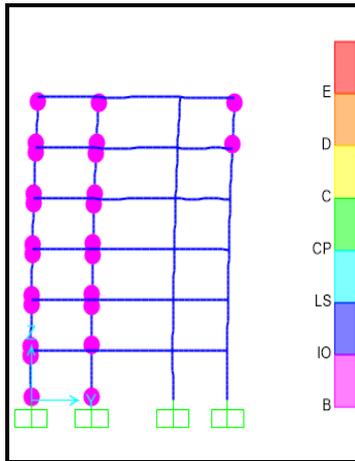


Figura 34. Pushover - primer paso
Nota. Elaboración propia.

Tabla 33

Derivas primer paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i) \Delta / H \leq 0.007$			Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
5to piso	2650	18.75	112.5	34.92	0.01317736					
4to piso	2650	12.93	77.52	30.06	0.0113434					
3er piso	2650	7.92	47.52	24	0.0090566			0.0090566		
2do piso	2650	3.92	23.52	16.44	0.00620377			0.00620377		
1er piso	2650	1.18	7.08	6.42	0.00242264		0.00242264			
sótano	2580	0.11	0.66	0.66	0.00025581	sin0.00025581				

Nota. Elaboración propia.

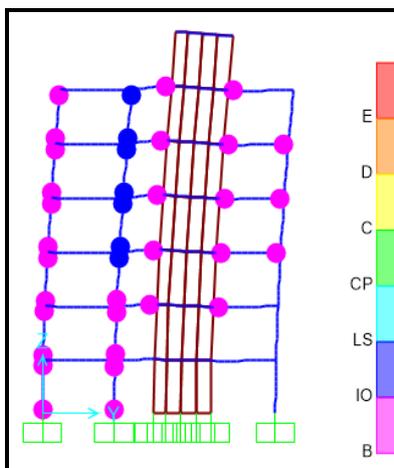


Figura 35. Pushover - segundo paso
Nota. Elaboración propia.

Tabla 34

Derivas segundo paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i)$	$\Delta/H \leq 0.007$	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
azotea	2650	35.69	214.14	46.26	0.0174566				
					extenso				
5to piso	2650	27.98	167.88	40.26	0.01519245				
					extenso				
4to piso	2650	21.27	127.62	38.28	0.01444528				
					extenso				
3er piso	2650	14.89	89.34	34.38	0.01297358				
					extenso				
2do piso	2650	9.16	54.96	28.14	0.01061887		0.0106188		
					moderado		7		
1er piso	2650	4.47	26.82	19.38	0.00731321		0.0073132		
					moderado		1		
sótano	2580	1.24	7.44	7.44	0.00288372	leve	0.00288		
							372		

Nota. Elaboración propia.

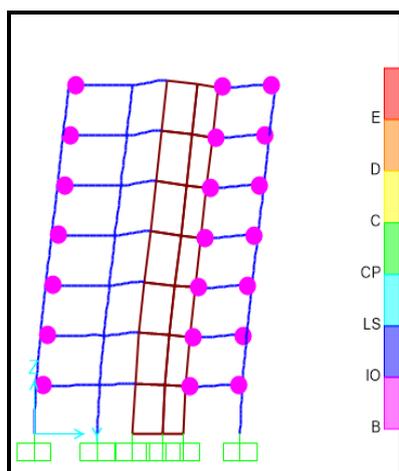


Figura 36. Pushover - tercer paso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 35

Derivas tercer paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i)$	$\Delta/H \leq 0.007$	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
azotea	2650	51.66	309.96	48.48	0.01829434				
5to piso	2650	43.58	261.48	49.32	0.01861132	extenso		0.01861132	
4to piso	2650	35.36	212.16	52.14	0.01967547	extenso		0.01967547	
3er piso	2650	26.67	160.02	52.02	0.01963019	extenso		0.01963019	
2do piso	2650	18	108	47.82	0.01804528	extenso		0.01804528	
1er piso	2650	10.03	60.18	38.94	0.01469434	extenso		0.01469434	
sótano	2580	3.54	21.24	21.24	0.00823256		0.00823256		
					moderado				

Nota. Elaboración propia.

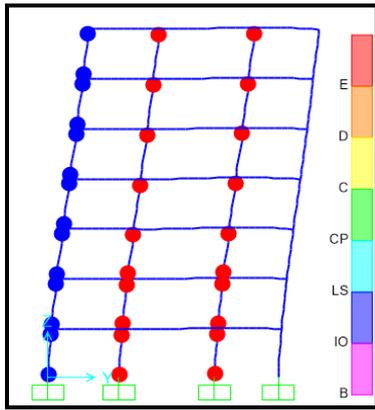


Figura 37. Pushover - cuarto paso
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 36
 Derivas cuarto paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R$	$\Delta(i+1) - \Delta(i)$	$\Delta/H \leq 0.007$	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
azotea	2650	75.84	455.04	60.18	0.02270943					
5to piso	2650	65.81	394.86	62.28	0.02350189					0.023501
4to piso	2650	55.43	332.58	71.88	0.02712453					0.027124
3er piso	2650	43.45	260.7	77.1	0.02909434					0.029094
2do piso	2650	30.6	183.6	75.9	0.02864151					0.028641
1er piso	2650	17.95	107.7	66.84	0.02522264					0.025222
sótano	2580	6.81	40.86	40.86	0.01583721				0.015837	21

Nota. Elaboración propia.

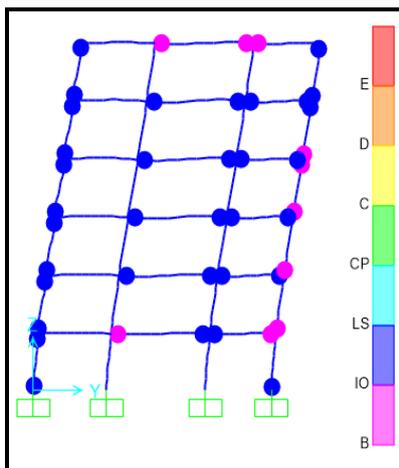


Figura 38. Pushover - quinto paso
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 37

Derivas quinto paso

Pisos)	H(mm d(MM $D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i)$ $\Delta/H \leq 0.007$				Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
))))					
5to piso	2650	82.65	495.9	72.06	0.02719245				0.02719245
4to piso	2650	70.64	423.84	86.88	0.03278491				0.03278491
3er piso	2650	56.16	336.96	96.06	0.03624906				0.03624906
2do piso	2650	40.15	240.9	97.2	0.03667925				0.03667925
1er piso	2650	23.95	143.7	87.96	0.03319245				0.03319245
sótano	2580	9.29	55.74	5574	0.02160465			0.02160465	0.02160465
					extenso			65	

Nota. Elaboración propia.

En la tabla N° 27 se presenta el resumen de las derivas correspondientes a los pasos primero al quinto del modelamiento con el empleo del programa computacional SAP 2000 V.20.

Tabla 38

Resumen de los pasos de derivas

Descripción	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
	0.00025581	0.00242264	0.0090566	0.01861132	0.02350189
		0.00288372	0.00620377	0.01967547	0.02712453
			0.01061887	0.01963019	0.02909434
			0.00731321	0.01804528	0.02864151
			0.00823256	0.01469434	0.02522264
				0.01583721	0.02719245
				0.02160465	0.03278491
					0.03624906
					0.03667925
					0.03319245
Cantidad	1	2	5	7	10
Total	25				
Probabilidad	0.04	0.08	0.2	0.28	0.4
Suma	1				

Nota. Elaboración propia.

b) Para sismo muy raro:

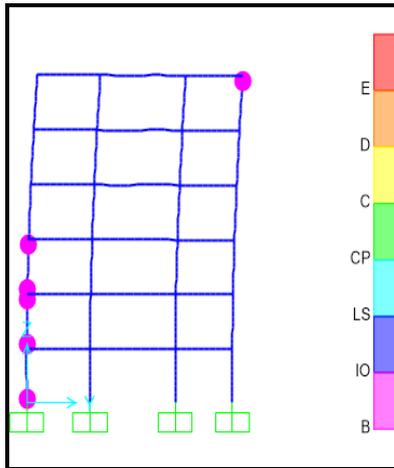


Figura 39. Pushover - primer paso
Nota. Elaboración propia.

Tabla 39
Derivas primer paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i) \Delta / H \leq 0.007$		Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
5to piso	2650	19.38	116.28	36.6	0.01381132			0.01381132	
4to piso	2650	13.28	79.68	31.32	0.01181887			0.01181887	
3er piso	2650	8.06	48.36	2472	0.0093283		0.0093283		
2do piso	2650	3.94	23.64	16.86	0.00636226		0.00636226		
1er piso	2650	1.13	6.78	5.94	0.00224151	0.00224151			
sótano	2580	0.14	0.84	0.84	0.00032558	0.00032558			

Nota. Elaboración propia.

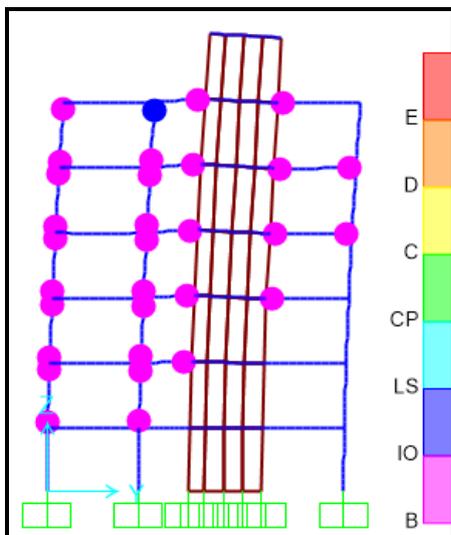


Figura 40. Pushover - segundo paso
Nota. Elaboración propia.

Tabla 40

Derivas segundo paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i)$	$\Delta/H \leq 0.007$	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
azotea	2650	36.54	219.24	42.96	0.01621132			0.01621132	
					extenso			32	
5to piso	2650	29.38	176.28	42.18	0.01591698			0.01591698	
					extenso			98	
4to piso	2650	22.35	134.1	40.38	0.01523774			0.01523774	
					extenso			74	
3er piso	2650	15.62	93.72	36.18	0.01365283			0.01365283	
					extenso			83	
2do piso	2650	9.59	57.54	29.52	0.01113962			0.01113962	
					extenso			62	
1er piso	2650	4.67	28.02	20.22	0.00763019		0.00763019		
					moderado		9		
sótano	2580	1.3	7.8	7.8	0.00302326	leve	0.00302326		
								326	

Nota. Elaboración propia.

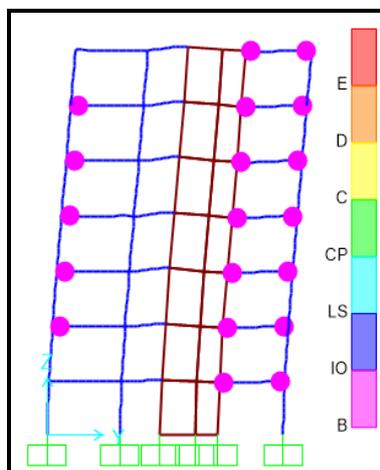


Figura 41. Pushover - tercer paso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 41

Derivas tercer paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i)$	$\Delta/H \leq 0.007$	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
azotea	2650	55.09	330.54	51.78	0.01953962			0.01953962	
					extenso				
5to piso	2650	46.46	278.76	52.74	0.01990189			0.01990189	
					extenso				
4to piso	2650	37.67	226.02	55.68	0.02101132			0.02101132	
					extenso				
3er piso	2650	28.39	170.34	55.5	0.0209434			0.0209434	
					extenso				
2do piso	2650	19.14	114.84	51	0.01924528			0.01924528	
					extenso				
1er piso	2650	10.64	63.84	41.34	0.0156			0.0156	
					extenso				
sótano	2580	3.75	22.5	22.5	0.00872093		0.00872093		
					moderado				

Nota. Elaboración propia.

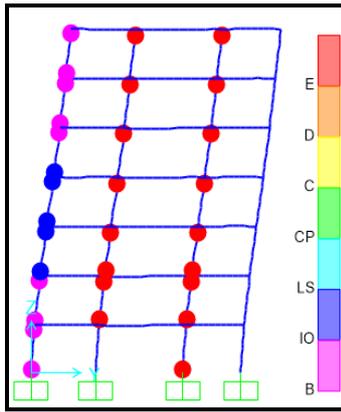


Figura 42. Pushover - cuarto paso
Nota. Elaboración propia.

Tabla 42
Derivas cuarto paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R \Delta(i+1) - \Delta(i)$	$\Delta/H \leq 0.007$	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
azotea	2650	81.51	489.06	64.92	0.02449811				0.024498
					completo				11
5to piso	2650	70.69	424.14	67.14	0.02533585				0.025335
					completo				85
4to piso	2650	59.5	357	77.52	0.02925283				0.029252
					completo				83
3er piso	2650	46.58	279.48	82.98	0.03131321				0.031313
					completo				21
2do piso	2650	32.75	196.5	81.54	0.03076981				0.030769
					completo				81
1er piso	2650	19.16	114.96	71.52	0.02698868				0.026988
					completo				68
sótano	2580	7.24	43.44	43.44	0.01683721			0.016837	
					extenso			21	

Nota. Elaboración propia.

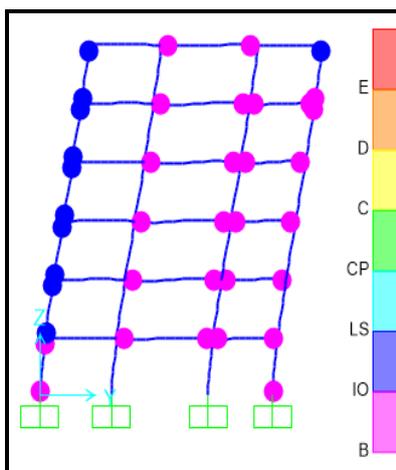


Figura 43. Pushover - quinto paso
Nota. Elaboración propia.

Tabla 43

Derivas quinto paso

Pisos	H(mm)	d(MM)	$D \cdot 0.75 \cdot R$	$\Delta(i+1) - \Delta(i)$	$\Delta/H \leq 0.007$	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
5to piso	2650	89.04	534.24	78.12	0.02947925					0.02947925
4to piso	2650	76.02	456.12	94.02	0.03547925					0.03547925
3er piso	2650	60.35	362.1	103.8	0.03916981					0.03916981
2do piso	2650	43.05	258.3	104.7	0.03950943					0.03950943
1er piso	2650	25.6	153.6	94.26	0.03556981					0.03556981
sótano	2580	9.89	59.34	59.34	0.023					0.023

Nota. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presentan el resumen de las derivas correspondiente a los cinco pasos de modelo en SAP 2000 V.20.

Tabla 44

Resumen de los pasos de derivas

Descripción	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
	0.00032558	0.00224151	0.0093283	0.01381132	0.02449811
		0.00302326	0.00636226	0.01181887	0.02533585
			0.00763019	0.01621132	0.02925283
			0.00872093	0.01591698	0.03131321
				0.01523774	0.03076981
				0.01365283	0.02698868
				0.01113962	0.02947925
				0.01953962	0.03916981
				0.01990189	0.03950943
				0.02101132	0.03556981
				0.0209434	0.023
				0.01924528	
				0.0156	
				0.01683721	
Cantidad	1	2	4	14	12
Total	33				
Probabilidad	0.03030303	0.06060606	0.12121212	0.42424242	0.36363636
Suma	1				

Nota. Elaboración propia.

Con el apoyo del programa computacional SAP 2000 v.20 se ha calculado los desplazamientos de la estructura las misma que se ha podido verificar en todos los nodos de la estructura. Este análisis a su vez ha servido para relacionar al tipo de daño determinado de acuerdo a la tabla N° 34.

Tabla 45
Desplazamientos sismo muy raro en sótano

Sótano h= 258cm

Joint	Output	Case	U1	U2	Deriva	Tipo de daño	Probabilidad
Text	Text		cm	cm		Sin daño	Leve Moderado Extenso Completo
7	AENL_X		0.001623	0.008453	6.2907E-06	sin daño	6.2907E-06
10	AENL_X		0.006216	0.00891	2.4093E-05	sin daño	2.4093E-05
13	AENL_X		0.00206	0.009106	7.9845E-06	sin daño	7.9845E-06
17	AENL_X		-0.0015870	0.023483	6.1512E-06	sin daño	6.15116E-06
20	AENL_X		0.001724	0.023483	6.6822E-06	sin daño	6.68217E-06
23	AENL_X		0.005576	0.023483	2.1612E-05	sin daño	2.16124E-05
25	AENL_X		-0.0016640	0.008998	6.4496E-06	sin daño	6.44961E-06
26	AENL_X		-0.0058440	0.023483	2.2651E-05	sin daño	2.26512E-05
29	AENL_X		0.009968	0.023483	3.8636E-05	sin daño	3.86357E-05
31	AENL_X		0.001018	0.00861	3.9457E-06	sin daño	3.94574E-06
35	AENL_X		0.009968	0.016063	3.8636E-05	sin daño	3.86357E-05
38	AENL_X		0.005576	0.016063	2.1612E-05	sin daño	2.16124E-05
41	AENL_X		-0.0015870	0.016063	6.1512E-06	sin daño	6.15116E-06
44	AENL_X		0.001724	0.016063	6.6822E-06	sin daño	6.68217E-06
46	AENL_X		0.001724	0.006264	6.6822E-06	sin daño	6.68217E-06
68	AENL_X		0.005576	0.006264	2.1612E-05	sin daño	2.16124E-05
76	AENL_X		-0.0015870	0.006264	6.1512E-06	sin daño	6.15116E-06
92	AENL_X		0.009968	0.006264	3.8636E-05	sin daño	3.86357E-05
101	AENL_X		-0.001587	-0.0006156	6.1512E-06	sin daño	6.15116E-06
109	AENL_X		-0.005844	-0.0046832	2.2651E-05	sin daño	2.26512E-05
128	AENL_X		-0.001587	-0.0046836	6.1512E-06	sin daño	6.15116E-06
525	AENL_X		0.001724	-0.0046836	6.6822E-06	sin daño	6.68217E-06

Nota. Elaboración propia.

Tabla 46

Desplazamientos sismo muy raro en primer piso

Primer piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	Tipo de daño	Probabilidad			
Text	Text	cm	cm	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
21	AENL_X	-0.317728	-2.617696	0.00119897	sin daño	0.001198974			
24	AENL_X	-0.578133	-2.617696	0.00218163	leve		0.002181634		
27	AENL_X	0.193945	-2.617696	0.00073187	sin daño	0.000731868			
30	AENL_X	-0.875086	-2.617696	0.00330221	leve		0.003302211		
33	AENL_X	0.193945	-2.1160730	0.00073187	sin daño	0.000731868			
36	AENL_X	-0.875086	-2.1160730	0.00330221	leve		0.003302211		
39	AENL_X	-0.578133	-2.1160730	0.00218163	leve		0.002181634		
45	AENL_X	-0.317728	-2.1160730	0.00119897	sin daño	0.001198974			
48	AENL_X	-0.317728	-1.4536390	0.00119897	sin daño	0.001198974			
52	AENL_X	-0.578133	-1.4536390	0.00218163	leve		0.002181634		
57	AENL_X	-0.578133	-1.1530310	0.00218163	leve		0.002181634		
58	AENL_X	-0.578133	-0.9885650	0.00218163	leve		0.002181634		
78	AENL_X	0.193945	-1.4536390	0.00073187	sin daño	0.000731868			
95	AENL_X	-0.875086	-1.4536390	0.00330221	leve		0.003302211		
121	AENL_X	-0.875086	-1.1530310	0.00330221	leve		0.003302211		
146	AENL_X	-0.875086	-0.9885650	0.00330221	leve		0.003302211		
147	AENL_X	-0.875086	-0.7135410	0.00330221	leve		0.003302211		
159	AENL_X	0.193945	-0.7135410	0.00073187	sin daño	0.000731868			
176	AENL_X	0.193945	-1.1530310	0.00073187	sin daño	0.000731868			
184	AENL_X	-0.134987	-2.617696	0.00050938	sin daño	0.000509385			
185	AENL_X	-0.134987	-2.1160730	0.00050938	sin daño	0.000509385			
558	AENL_X	-0.317728	-0.7135410	0.00119897	sin daño	0.001198974			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 47

Desplazamientos sismo muy raro en segundo piso

Segundo piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	Tipo de daño	Probabilidad			
Text	Text	cm	cm	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
77	AENL_X	7.541288	-6.849269	0.02845769	completo				0.02845769
188	AENL_X	2.677912	-11.3615610	0.01010533	moderado		0.010105328		
189	AENL_X	7.541288	-11.3615610	0.02845769	completo				0.02845769
190	AENL_X	0.807382	-11.3615610	0.00304672	leve	0.003046725			
191	AENL_X	7.541288	-8.201805	0.02845769	completo				0.02845769
192	AENL_X	0.807382	-8.201805	0.00304672	leve	0.003046725			
193	AENL_X	2.677912	-8.201805	0.01010533	moderado		0.010105328		
195	AENL_X	4.318222	-8.201805	0.01629518	extenso			0.01629518	
199	AENL_X	2.677912	-1.099549	0.01010533	moderado		0.010105328		
202	AENL_X	7.541288	-4.029086	0.02845769	completo				0.02845769
212	AENL_X	4.318222	-4.029086	0.01629518	extenso			0.01629518	
213	AENL_X	0.807382	-2.135535	0.00304672	leve	0.003046725			
214	AENL_X	0.807382	-1.099549	0.00304672	leve	0.003046725			
215	AENL_X	0.807382	0.632849	0.00304672	leve	0.003046725			
220	AENL_X	7.541288	0.632849	0.02845769	completo				0.02845769
223	AENL_X	0.0022110	0.00894	8.3434E-06	sin daño	8.3434E-06			
225	AENL_X	7.541288	-2.135535	0.02845769	completo				0.02845769
234	AENL_X	5.469317	-8.201805	0.02063893	extenso			0.02063893	
236	AENL_X	0.807382	-3.424761	0.00304672	leve	0.003046725			
243	AENL_X	2.073587	-4.029086	0.00782486	moderado		0.007824857		
246	AENL_X	2.073587	-4.892407	0.00782486	moderado		0.007824857		
247	AENL_X	2.073587	-3.424761	0.00782486	moderado		0.007824857		
250	AENL_X	0.807382	-5.381623	0.00304672	leve	0.003046725			
252	AENL_X	0.807382	-6.849269	0.00304672	leve	0.003046725			
267	AENL_X	6.275084	-8.201805	0.02367956	completo				0.02367956
274	AENL_X	7.541288	-5.611842	0.02845769	completo				0.02845769
291	AENL_X	5.469317	-5.611842	0.02063893	extenso			0.02063893	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 48
Desplazamientos sismo muy raro en tercer piso
 Tercer piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	Deriva	Tipo de daño	Probabilidad	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
69	AENL_X		2.563861	-8.3335370	0.00967495	moderado				0.009674947		
99	AENL_X		1.319697	-8.3335370	0.00497999	leve			0.004979989			
105	AENL_X		5.008535	-8.3335370	0.01890013	extenso					0.01890013	
107	AENL_X		-0.099086	-8.3335370	0.00037391	sin daño	0.000373909					
110	AENL_X		5.008535	-5.9368840	0.01890013	extenso					0.01890013	
111	AENL_X		-0.099086	-5.9368840	0.00037391	sin daño	0.000373909					
113	AENL_X		1.319697	-5.9368840	0.00497999	leve			0.004979989			
122	AENL_X		2.563861	-5.9368840	0.00967495	moderado				0.009674947		
123	AENL_X		1.319697	-2.7719050	0.00497999	leve			0.004979989			
124	AENL_X		2.563861	-1.9337320	0.00967495	moderado				0.009674947		
150	AENL_X		1.319697	-1.33566	0.00497999	leve			0.004979989			
151	AENL_X		1.319697	-0.5498720	0.00497999	leve			0.004979989			
171	AENL_X		5.008535	-2.7719050	0.01890013	extenso					0.01890013	
256	AENL_X		2.563861	-2.7719050	0.00967495	moderado				0.009674947		
257	AENL_X		-0.099086	-1.33566	0.00037391	sin daño	0.000373909					
319	AENL_X		5.008535	0.76414	0.01890013	extenso					0.01890013	
321	AENL_X		2.830156	-1.9337320	0.01067983	moderado				0.010679834		
323	AENL_X		5.008535	-1.33566	0.01890013	extenso					0.01890013	
325	AENL_X		2.830156	-1.33566	0.01067983	moderado				0.010679834		
326	AENL_X		3.153202	-2.7719050	0.01189888	extenso					0.01189888	
327	AENL_X		3.153202	-1.33566	0.01189888	extenso					0.01189888	
328	AENL_X		3.436959	-8.3335370	0.01296966	extenso					0.01296966	
329	AENL_X		3.436959	-5.9368840	0.01296966	extenso					0.01296966	
330	AENL_X		-0.099086	-2.3135290	0.00037391	sin daño	0.000373909					
336	AENL_X		1.319697	-2.3135290	0.00497999	leve			0.004979989			
337	AENL_X		-0.099086	-3.7977950	0.00037391	sin daño	0.000373909					
339	AENL_X		-0.099086	-4.9109950	0.00037391	sin daño	0.000373909					
342	AENL_X		1.812997	-3.4267290	0.0068415	moderado				0.006841498		
343	AENL_X		1.812997	-3.7977950	0.0068415	moderado				0.006841498		
344	AENL_X		3.153202	-5.9368840	0.01189888	extenso					0.01189888	
346	AENL_X		5.008535	-4.9109950	0.01890013	extenso					0.01890013	
347	AENL_X		3.153202	-4.2779990	0.01189888	extenso					0.01189888	
348	AENL_X		2.694826	-4.9109950	0.01016915	moderado				0.010169155		
349	AENL_X		2.694826	-4.2779990	0.01016915	moderado				0.010169155		
350	AENL_X		3.436959	-1.33566	0.01296966	extenso					0.01296966	
358	AENL_X		4.048127	-2.1520060	0.01527595	extenso					0.01527595	
359	AENL_X		4.048127	-5.9368840	0.01527595	extenso					0.01527595	
360	AENL_X		4.048127	-2.7719050	0.01527595	extenso					0.01527595	
361	AENL_X		4.048127	-4.2779990	0.01527595	extenso					0.01527595	
363	AENL_X		5.008535	-3.9724150	0.01890013	extenso					0.01890013	
367	AENL_X		3.436959	-3.9724150	0.01296966	extenso					0.01296966	
368	AENL_X		3.153202	-3.9724150	0.01189888	extenso					0.01189888	
369	AENL_X		4.048127	-4.9109950	0.01527595	extenso					0.01527595	
483	AENL_X		8.622462	7.443605	0.03253759	completo						0.03253759
591	AENL_X		2.563861	0.76414	0.00967495	moderado				0.009674947		
593	AENL_X		2.563861	-1.33566	0.00967495	moderado				0.009674947		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 49

Desplazamientos sismo muy raro en cuarto piso

Cuarto piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	Deriva	Tipo de daño	Probabilidad			
							Sin daño	Leve	Moderado	Extenso
386	AENL_X		4.179047	-12.215273	0.01576999	extenso			0.01576999	
387	AENL_X		10.323039	-12.215273	0.03895486	completo				0.03895486
388	AENL_X		1.815973	-12.215273	0.00685273	moderado		0.006852728		
389	AENL_X		10.323039	-8.223496	0.03895486	completo				0.03895486
390	AENL_X		1.815973	-8.223496	0.00685273	moderado		0.006852728		
391	AENL_X		4.179047	-8.223496	0.01576999	extenso			0.01576999	
393	AENL_X		6.251281	-8.223496	0.02358974	completo				0.02358974
394	AENL_X		4.179047	-2.952024	0.01576999	extenso			0.01576999	
395	AENL_X		6.251281	-1.555992	0.02358974	completo				0.02358974
396	AENL_X		4.179047	-0.559866	0.01576999	extenso			0.01576999	
397	AENL_X		4.179047	0.748914	0.01576999	extenso			0.01576999	
400	AENL_X		10.323039	-2.9520024	0.03895486	completo				0.03895486
410	AENL_X		6.251281	-2.9520024	0.02358974	completo				0.02358974
411	AENL_X		1.815973	-0.559866	0.00685273	moderado		0.006852728		
412	AENL_X		1.815973	0.748914	0.00685273	moderado		0.006852728		
413	AENL_X		1.815973	2.937483	0.00685273	moderado		0.006852728		
427	AENL_X		7.70548	-12.215273	0.02907728	completo				0.02907728
428	AENL_X		7.70548	-8.223496	0.02907728	completo				0.02907728
430	AENL_X		1.815973	-4.042673	0.00685273	moderado		0.006852728		
434	AENL_X		4.179047	-4.042673	0.01576999	extenso			0.01576999	
435	AENL_X		4.179047	-2.188569	0.01576999	extenso			0.01576999	
436	AENL_X		1.815973	-4.660708	0.00685273	moderado		0.006852728		
437	AENL_X		4.179047	-4.660708	0.01576999	extenso			0.01576999	
438	AENL_X		1.815973	-6.514812	0.00685273	moderado		0.006852728		
439	AENL_X		4.179047	-6.514812	0.01576999	extenso			0.01576999	
445	AENL_X		10.323039	-6.514812	0.03895486	completo				0.03895486
449	AENL_X		7.70548	-0.559866	0.02907728	completo				0.02907728
455	AENL_X		7.70548	-1.919542	0.02907728	completo				0.02907728
457	AENL_X		8.723419	-1.919542	0.03291856	completo				0.03291856
458	AENL_X		8.723419	-8.223496	0.03291856	completo				0.03291856
459	AENL_X		8.723419	-2.952024	0.03291856	completo				0.03291856
460	AENL_X		8.723419	-5.460517	0.03291856	completo				0.03291856
466	AENL_X		7.70548	-4.951548	0.02907728	completo				0.02907728
485	AENL_X		5.510296	-162.267851	0.02079357	extenso			0.02079357	
486	AENL_X		4.926935	-49.190628	0.01859221	extenso			0.01859221	
592	AENL_X		6.251281	2.937483	0.02358974	completo				0.02358974

Nota. Elaboración propia.

Tabla 50

Desplazamientos sismo muy raro en quinto piso

Quinto piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	Deriva	Tipo de daño	Probabilidad	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
508	AENL_X		8.140969	-18.6919660	0.03072064	completo						0.03072064
509	AENL_X		5.004886	-18.6919660	0.01888636	extenso					0.01888636	
510	AENL_X		14.303096	-18.6919660	0.05397395	completo						0.05397395
511	AENL_X		1.428651	-18.6919660	0.00539114	moderado			0.005391136			
512	AENL_X		14.303096	-12.65088	0.05397395	completo						0.05397395
513	AENL_X		1.428551	-12.65088	0.00539114	moderado			0.005391136			
514	AENL_X		5.004886	-12.65088	0.01888636	extenso					0.01888636	
517	AENL_X		5.004886	-4.673126	0.01888636	extenso					0.01888636	
518	AENL_X		8.140969	-2.560396	0.03072064	completo						0.03072064
519	AENL_X		5.004886	-1.052876	0.01888636	extenso					0.01888636	
520	AENL_X		5.004886	0.927808	0.01888636	extenso					0.01888636	
523	AENL_X		14.303096	-4.673126	0.05397395	completo						0.05397395
524	AENL_X		14.303096	-1.867157	0.05397395	completo						0.05397395
533	AENL_X		8.140969	-4.673126	0.03072064	completo						0.03072064
534	AENL_X		1.428551	-1.052876	0.00539114	moderado			0.005391136			
535	AENL_X		1.428551	0.927808	0.00539114	moderado			0.005391136			
536	AENL_X		1.428551	4.239951	0.00539114	moderado			0.005391136			
541	AENL_X		14.303096	4.239951	0.05397395	completo						0.05397395
545	AENL_X		14.303096	-1.052876	0.05397395	completo						0.05397395
549	AENL_X		10.341728	-18.6919660	0.03902539	completo						0.03902539
551	AENL_X		1.428651	-3.517727	0.00539114	moderado			0.005391136			
552	AENL_X		1.428651	-6.323696	0.00539114	moderado			0.005391136			
556	AENL_X		5.004886	-6.323696	0.01888636	extenso					0.01888636	
557	AENL_X		5.004886	-3.517727	0.01888636	extenso					0.01888636	
561	AENL_X		5.004886	-10.0649870	0.01888636	extenso					0.01888636	
562	AENL_X		6.248315	-4.673126	0.02357855	completo						0.02357855
563	AENL_X		6.248315	-6.323696	0.02357855	completo						0.02357855
564	AENL_X		6.248315	-7.259019	0.02357855	completo						0.02357855
567	AENL_X		14.303096	-10.0649870	0.05397395	completo						0.05397395
569	AENL_X		8.471083	-10.0649870	0.03196635	completo						0.03196635
570	AENL_X		8.471083	-8.469436	0.03196635	completo						0.03196635
572	AENL_X		9.626482	-3.110586	0.03632635	completo						0.03632635
581	AENL_X		11.88226	-4.673126	0.04483872	completo						0.0448372
584	AENL_X		14.303096	-7.69917	0.05397395	completo						0.05397395
587	AENL_X		11.88226	-7.69917	0.04483872	completo						0.04483872
588	AENL_X		10.341728	-7.69917	0.03902539	completo						0.03902539
589	AENL_X		9.626482	-7.69917	0.03632635	completo						0.03632635
590	AENL_X		11.88226	-10.0649870	0.04483872	completo						0.04483872
595	AENL_X		8.140969	0.927808	0.03072064	completo						0.03072064
612	AENL_X		1.428651	-8.579474	0.00539114	moderado			0.005391136			
613	AENL_X		5.004886	-8.579474	0.01888636	extenso					0.01888636	
737	AENL_X		11.88226	-1.052876	0.04483872	completo						0.04483872

Nota. Elaboración propia.

Tabla 51

Desplazamientos sismo muy raro en azotea

Azotea h= 265cm

JointOutputCaseU1	U2	Deriva	Tipo de daño	Probabilidad					
Text	Text	cm	cm	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo	
627	AENL_X	9.518069	0.166084	0.03591724	completo			0.03591724	
632	AENL_X	2.343706	12.230275	0.00884417	moderado	0.008844174			
634	AENL_X	12.399576	12.230275	0.04679085	completo			0.04679085	
636	AENL_X	6.166113	-3.703368	0.02326835	completo			0.02326835	
638	AENL_X	6.166113	0.166084	0.02326835	completo			0.02326835	
645	AENL_X	2.343706	-6.878906	0.00884417	moderado	0.008844174			
652	AENL_X	9.518069	-3.703368	0.03591724	completo			0.03591724	
653	AENL_X	2.343706	0.166084	0.00884417	moderado	0.008844174			
654	AENL_X	2.343706	2.283109	0.00884417	moderado	0.008844174			
670	AENL_X	2.343706	-2.468437	0.00884417	moderado	0.008844174			
671	AENL_X	2.343706	-5.467556	0.00884417	moderado	0.008844174			
672	AENL_X	4.931182	-3.703368	0.01860823	extenso		0.01860823		
673	AENL_X	4.931182	-5.467556	0.01860823	extenso		0.01860823		
676	AENL_X	6.166113	-2.468437	0.02326835	completo			0.02326835	
685	AENL_X	16.10437	-9.466381	0.06077121	completo			0.06077121	
702	AENL_X	16.10437	-6.937712	0.06077121	completo			0.06077121	
718	AENL_X	2.343706	-7.878612	0.00884417	moderado	0.008844174			
720	AENL_X	4.931182	-7.878612	0.01860823	extenso		0.01860823		
726	AENL_X	4.931182	12.230275	0.01860823	extenso		0.01860823		
732	AENL_X	9.518069	-2.468437	0.03591724	completo			0.03591724	
750	AENL_X	9.518069	-0.421979	0.03591724	completo			0.03591724	
752	AENL_X	12.399576	-9.466381	0.04679085	completo			0.04679085	
753	AENL_X	16.10437	-7.761	0.06077121	completo			0.06077121	
754	AENL_X	4.931182	-6.878906	0.01860823	extenso		0.01860823		
755	AENL_X	6.166113	-6.878906	0.02326835	completo			0.02326835	
220				Media	0.0003014520	0.0033990070	0.0079775940	0.016765120	0.03616717
				Desviación estándar	0.0001945590	0.0010907120	0.0031060330	0.0069466	0.01705508

Nota. Elaboración propia.

Finalmente se presentan los resultados en resumen de la probabilidad de daños para un sismo muy raro.

Tabla 52

Resumen de probabilidad de daños para un sismo muy raro

Niveles de daño	Números de daños	Probabilidad de daño	Probabilidad acumulada
Sin daño	40	0.18	0.18
Leve	25	0.11	0.30
Moderado	41	0.19	0.48
Extenso	50	0.23	0.71
Completo	64	0.29	1.0
Total	220	1.0	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 53

Desplazamiento sismo raro en sótano

Sótano h= 258cm

Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Tipo de daño	Probabilidad				
Text	Text		cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
18	AENL_X		0.2139290	0.130439	-0.0283170	0.000061	0.00023	-6.246E-070	0.00303347	leve	0.00303347			
20	AENL_X		0.2139290	0.000014	-0.02008	0.000073	0.00046	-6.246E-073	2.558E-07	sin daño	3.25581E-07			
23	AENL_X		0.0070621	0.283872	-0.0314670	0.000078	0.00013	-6.246E-070	0.02985749	completo				0.02985749
26	AENL_X		0.0000421	0.2838720	0.002321	-0.0000910	0.000081	-6.246E-070	0.02985749	completo				0.02985749
29	AENL_X		0.2139291	0.283872	-0.0199060	0.000061	0.000914	-6.246E-070	0.02985749	completo				0.02985749
32	AENL_X		0.0000420	0.92872	-0.008916	-0.0001450	0.000065	-6.246E-070	0.02159814	extenso			0.02159814	
35	AENL_X		0.2139290	0.92872	-0.0405380	0.00011	0.000866	-6.246E-070	0.02159814	extenso			0.02159814	
38	AENL_X		0.0070620	0.92872	-0.0548790	0.000119	0.000172	-6.246E-070	0.02159814	extenso			0.02159814	
49	AENL_X		0.0002671	0.283872	-0.03797	-0.0000710	0.000132	-6.246E-070	0.02985749	completo				0.02985749
50	AENL_X		0.0001410	0.130994	-0.033334	-0.000146	-0.000076	-3.463E-070	0.00304637	leve	0.00304637			
81	AENL_X		0.0002670	0.92872	-0.072421	-0.0001030	0.00009	-6.246E-070	0.02159814	extenso			0.02159814	
82	AENL_X		0.0000420	0.459714	-0.018916	-0.000174	-0.000071	-6.246E-070	0.01069102	moderado		0.010691023		
90	AENL_X		0.0002670	0.459714	-0.0688980	0.000118	-0.000115	-6.246E-070	0.01069102	moderado		0.010691023		
92	AENL_X		0.2139290	0.459714	-0.0343370	0.000061	0.000728	-6.246E-070	0.01069102	moderado		0.010691023		
109	AENL_X		0.0000420	0.0000140	0.018907	-0.000104	-0.000058	-6.246E-073	2.558E-07	sin daño	3.25581E-07			
131	AENL_X		0.0002670	0.000014	-0.007389	-0.000059	-0.000054	-6.246E-073	2.558E-07	sin daño	3.25581E-07			
144	AENL_X		0.0070620	0.000014	-0.0342150	0.000102	-0.000029	-6.246E-073	2.558E-07	sin daño	3.25581E-07			
274	AENL_X		0.0002670	0.130439	-0.0079140	0.000542	-0.000088	-6.246E-070	0.00303347	leve	0.00303347			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 54

Desplazamiento sismo raro en primer piso

Primer piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Tipo de daño	Probabilidad				
Text	Text		cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
5	AENL_X		0.000656	1.307634	-0.12701	0.000074	-0.000108	-2.872E-06	2.4755E-06	sin daño	2.47547E-06			
24	AENL_X		0.002049	3.368577	-0.058623	0.000076	0.000123	-2.872E-06	7.7321E-06	sin daño	7.73208E-06			
27	AENL_X		-0.000378	3.368577	0.00475	0.000208	0.000067	-2.872E-06	1.4264E-06	sin daño	1.42642E-06			
30	AENL_X		0.474922	3.368577	-0.037114	0.00007	0.000905	-2.872E-06	0.00179216	sin daño	0.001792158			
33	AENL_X		-0.000378	2.480463	-0.016977	-0.000151	0.000054	-2.872E-06	1.4264E-06	sin daño	1.42642E-06			
36	AENL_X		0.474922	2.480463	-0.075784	0.000122	0.000801	-2.872E-06	0.00179216	sin daño	0.001792158			
39	AENL_X		0.002049	2.480463	-0.055431	0.000123	0.000206	-2.872E-06	7.7321E-06	sin daño	7.73208E-06			
42	AENL_X		0.000656	2.480463	-0.134035	-0.00011	0.000086	-2.872E-06	2.4755E-06	sin daño	2.47547E-06			
45	AENL_X		-0.000349	0.484746	-0.060814	-0.000131	-0.000093	-2.895E-06	1.317E-06	sin daño	1.31698E-06			
78	AENL_X		-0.000378	1.307634	-0.033866	-0.000157	-0.000058	-2.872E-06	1.4264E-06	sin daño	1.42642E-06			
91	AENL_X		0.000656	3.368577	-0.070269	-0.000076	0.00012	-2.872E-06	2.4755E-06	sin daño	2.47547E-06			
95	AENL_X		0.474922	1.307634	-0.063663	-3.094E-06	0.000687	-2.872E-06	0.00179216	sin daño	0.001792158			
146	AENL_X		0.474922	0.484228	-0.051741	-0.000036	0.000225	-2.872E-06	0.00179216	sin daño	0.001792158			
147	AENL_X		0.474922	0.071706	-0.037549	0.000084	0.000426	-2.872E-06	0.00179216	sin daño	0.001792158			
155	AENL_X		0.000656	0.071706	-0.013617	-0.000066	-0.000054	-2.872E-06	2.4755E-06	sin daño	2.47547E-06			
159	AENL_X		-0.000378	0.071706	0.036067	-0.000107	-0.000073	-2.872E-06	1.4264E-06	sin daño	1.42642E-06			
216	AENL_X		0.000656	0.484228	-0.010825	0.001125	-0.000108	-2.872E-06	2.4755E-06	sin daño	2.47547E-06			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 55

Desplazamiento sismo raro en segundo piso

Segundo piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Tipo de daño	Probabilidad			
Text	Text		cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso
										Completo			
44	AENL_X		-0.0016751	0.009421	-0.082081	-0.00015	-0.000109	-6.892E-06	6.3208E-06	sin daño	6.32075E-06		
157	AENL_X		0.000783	0.283461	-0.019768	-0.000072	-0.000058	-6.902E-06	2.9547E-06	sin daño	2.95472E-06		
160	AENL_X		0.004131	0.283461	-0.0843580	0.000115	0.000054	-6.902E-06	1.5589E-06	sin daño	1.55887E-05		
188	AENL_X		0.004131	5.759	-0.0806630	0.000089	0.000136	-6.902E-06	1.5589E-06	sin daño	1.55887E-05		
189	AENL_X		-0.0017025	7.759	0.006266	0.00001530	0.00007	-6.902E-06	6.4226E-06	sin daño	6.42264E-06		
190	AENL_X		0.724783	5.759	-0.05091	0.000082	0.000845	-6.902E-06	0.00273503	leve	0.00273503		
191	AENL_X		-0.0017024	2.96527	-0.02438	-0.00018	0.00006	-6.902E-06	6.4226E-06	sin daño	6.42264E-06		
192	AENL_X		0.724783	4.296527	-0.1046270	0.000147	0.000759	-6.902E-06	0.00273503	leve	0.00273503		
193	AENL_X		0.004131	4.296527	-0.0199110	0.000147	0.00028	-6.902E-06	1.5589E-06	sin daño	1.55887E-05		
202	AENL_X		-0.0017022	2.365211	-0.045326	-0.000185	-0.000066	-6.902E-06	6.4226E-06	sin daño	6.42264E-06		
204	AENL_X		0.724783	2.365211	-0.08726	-0.00002	0.000624	-6.902E-06	0.00273503	leve	0.00273503		
215	AENL_X		0.724783	0.283461	-0.0516620	0.0001	0.000359	-6.902E-06	0.00273503	leve	0.00273503		
220	AENL_X		-0.0017020	2.834610	0.049958	-0.000121	-0.00009	-6.902E-06	6.4226E-06	sin daño	6.42264E-06		
233	AENL_X		-1.4329640	0.010587	-0.149774	-0.005507	-0.001803	-0.002664	0.00540741	moderado		0.00540741	
234	AENL_X		0.000783	4.296527	-0.17195	-0.000131	0.000098	-6.902E-06	2.9547E-06	sin daño	2.95472E-06		
305	AENL_X		0.000783	2.3652110	0.173342	0.000075	-0.000123	-6.902E-06	2.9547E-06	sin daño	2.95472E-06		
309	AENL_X		0.724783	1.009294	-0.070598	-0.000044	0.000175	-6.902E-06	0.00273503	leve	0.00273503		
540	AENL_X		0.000783	1.009294	-0.0114630	0.001589	-0.000124	-6.902E-06	2.9547E-06	sin daño	2.95472E-06		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 56

Desplazamiento sismo raro en tercer piso

Tercer piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Tipo de daño	Probabilidad				
Text	Text		cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
43	AENL_X		-0.0037181	1.664787	-0.097554	-0.000158	-0.000123	-0.0000121	4.03E-05	sin daño	1.40302E-05			
99	AENL_X		-0.2454970	0.017587	-0.110919	-0.006022	-0.000291	-0.0036540	0.0009264	sin daño	0.000926404			
105	AENL_X		-0.0037338	1.797520	0.006467	-0.000134	0.000079	-0.0000121	4.087E-05	sin daño	1.40868E-05			
107	AENL_X		0.942088	8.179752	-0.0611890	0.000093	0.000703	-0.0000120	0.00355505	leve		0.00355505		
110	AENL_X		-0.0037336	1.73647	-0.030997	-0.000199	0.000055	-0.0000121	4.087E-05	sin daño	1.40868E-05			
111	AENL_X		0.942088	6.173647	-0.1269750	0.000164	0.000641	-0.0000120	0.00355505	leve		0.00355505		
113	AENL_X		0.006778	6.173647	-0.0188640	0.000163	0.000299	-0.0000122	2.5577E-05	sin daño	2.55774E-05			
171	AENL_X		-0.0037333	3.524419	-0.053439	-0.000197	-0.000065	-0.0000121	4.087E-05	sin daño	1.40868E-05			
173	AENL_X		0.000745	0.627046	-0.025889	-0.000075	-0.000059	-0.0000122	8.113E-06	sin daño	2.81132E-06			
184	AENL_X		0.006778	0.627046	-0.1005960	0.000125	0.000069	-0.0000122	2.5577E-05	sin daño	2.55774E-05			
224	AENL_X		0.942088	3.524419	-0.105264	-0.000039	0.000507	-0.0000120	0.00355505	leve		0.00355505		
294	AENL_X		0.942088	0.627046	-0.0623030	0.00011230	0.000256	-0.0000120	0.00355505	leve		0.00355505		
319	AENL_X		-0.0037330	3.6270460	0.060227	-0.000132	-0.000103	-0.0000121	4.087E-05	sin daño	1.40868E-05			
328	AENL_X		0.000745	8.179752	-0.11529	-0.0001	0.000148	-0.0000122	8.113E-06	sin daño	2.81132E-06			
329	AENL_X		0.000745	6.173647	-0.189871	-0.000146	0.000099	-0.0000122	8.113E-06	sin daño	2.81132E-06			
378	AENL_X		0.000745	3.524419	-0.2076220	0.000071	-0.000128	-0.0000122	8.113E-06	sin daño	2.81132E-06			
625	AENL_X		0.942088	1.664479	-0.085093	-0.000054	0.000104	-0.0000120	0.00355505	leve		0.00355505		
774	AENL_X		0.000745	1.6644790	0.001843	0.001843	-0.000138	-0.0000122	8.113E-06	sin daño	2.81132E-06			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 57

Desplazamiento sismo raro en cuarto piso

Cuarto piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Tipo de daño	Probabilidad				
Text	Text		cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
16	AENL_X		-0.0062052	0.41017	-0.107643	-0.00015	-0.000126	-0.0000192	3.415E-05	sin daño	2.34151E-05			
185	AENL_X		0.000563	1.084808	-0.031235	-0.000079	-0.000062	-0.0000192	1.245E-06	sin daño	2.12453E-06			
186	AENL_X		0.009769	1.084808	-0.1112080	0.000136	0.000093	-0.0000193	6.864E-05	sin daño	3.68642E-05			
386	AENL_X		0.009769	10.416629	-0.1087960	0.000102	0.000121	-0.0000193	6.864E-05	sin daño	3.68642E-05			
387	AENL_X		-0.00627	10.416629	0.00553	-0.000128	0.000046	-0.0000192	3.66E-05	sin daño	2.36604E-05			
388	AENL_X		1.108494	10.416629	-0.0678680	0.000089	0.000548	-0.0000190	0.004183	leve	0.004183			
389	AENL_X		-4.1454530	0.014877	-0.147163	-0.002206	-0.001133	-0.0044910	0.01564322	extenso		0.01564322		
390	AENL_X		1.108494	7.951315	-0.1471620	0.000178	0.00047	-0.0000190	0.004183	leve	0.004183			
391	AENL_X		0.009769	7.951315	-0.0401940	0.000175	0.000308	-0.0000193	6.864E-05	sin daño	3.68642E-05			
400	AENL_X		-0.00627	4.695665	-0.058328	-0.000205	-0.00008	-0.0000192	3.66E-05	sin daño	2.36604E-05			
402	AENL_X		1.108494	4.695665	-0.117788	-0.000053	0.000288	-0.0000190	0.004183	leve	0.004183			
413	AENL_X		1.108494	1.084808	-0.0693860	0.000112	0.000127	-0.0000190	0.004183	leve	0.004183			
418	AENL_X		-0.00627	1.084808	0.065989	-0.000123	-0.000105	-0.0000192	3.66E-05	sin daño	2.36604E-05			
427	AENL_X		0.000563	10.416629	-0.127955	-0.000105	0.000113	-0.0000192	1.245E-06	sin daño	2.12453E-06			
428	AENL_X		0.000563	7.951315	-0.206766	-0.000154	0.000122	-0.0000192	1.245E-06	sin daño	2.12453E-06			
440	AENL_X		0.007624	4.695665	-0.0334537	5.48E-06	0.000057	-0.0000192	8.77E-05	sin daño	2.87698E-05			
477	AENL_X		0.000563	4.695665	-0.2307620	0.000071	-0.000143	-0.0000192	1.245E-06	sin daño	2.12453E-06			
800	AENL_X		1.108494	2.409973	-0.095343	-0.000083	0.000027	-0.0000190	0.004183	leve	0.004183			
895	AENL_X		0.000563	2.409973	-0.0087260	0.002057	-0.000141	-0.0000192	1.245E-06	sin daño	2.12453E-06			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 58

Desplazamiento sismo raro en quinto piso

Quinto piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Tipo de daño	Probabilidad				
Text	Text		cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians	Deriva	Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo
8	AENL_X		0.00062	3.204157	-0.006608	0.002232	-0.00015	-0.000026	2.3396E-06	sin daño	2.33962E-06			
15	AENL_X		-0.008663	3.202023	-0.112714	-0.000269	-0.000181	-0.000026	3.2691E-05	sin daño	3.26906E-05			
17	AENL_X		0.000941	5.811882	-0.243076	0.000075	-0.0001	-0.000026	3.5509E-06	sin daño	3.55094E-06			
31	AENL_X		1.205193	5.811882	-0.12489	-0.000045	0.000251	-0.000026	0.0045479	leve	0.0045479			
194	AENL_X		0.000941	1.66718	-0.034636	-0.000077	0.000013	-0.000026	3.5509E-06	sin daño	3.55094E-06			
195	AENL_X		0.013451	1.66718	-0.116482	0.000145	0.000106	-0.000026	5.0758E-05	sin daño	5.07585E-05			
509	AENL_X		0.013451	12.330834	-0.114417	0.000136	0.000303	-0.000026	5.0758E-05	sin daño	5.07585E-05			
510	AENL_X		-0.008344	12.330834	0.003661	-0.000215	0.000189	-0.000026	3.1487E-05	sin daño	3.14868E-05			
511	AENL_X		1.205193	12.330834	-0.070859	0.000176	0.000754	-0.000026	0.0045479	leve	0.0045479			
512	AENL_X		-0.008344	9.521647	-0.040458	-0.000213	4.516E-06	-0.000026	3.1487E-05	sin daño	3.14868E-05			
513	AENL_X		1.205193	9.521647	-0.151959	0.000178	0.000255	-0.000026	0.0045479	leve	0.0045479			
514	AENL_X		0.013451	9.521647	-0.03269	0.000179	0.000278	-0.000026	5.0758E-05	sin daño	5.07585E-05			
523	AENL_X		-0.008344	5.811882	-0.060052	-0.000204	-0.000022	-0.000026	3.1487E-05	sin daño	3.14868E-05			
535	AENL_X		1.205193	3.207372	-0.101573	-8.065E-06	-0.000121	-0.000026	0.0045479	leve	0.0045479			
536	AENL_X		1.205193	1.66718	-0.072789	0.000169	-0.000115	-0.000026	0.0045479	leve	0.0045479			
541	AENL_X		-0.008344	1.66718	0.066826	-0.000225	-0.000152	-0.000026	3.1487E-05	sin daño	3.14868E-05			
549	AENL_X		0.000941	12.330834	-0.134014	-0.000121	0.000302	-0.000026	3.5509E-06	sin daño	3.55094E-06			
550	AENL_X		0.000941	9.521647	-0.219131	-0.000161	0.000063	-0.000026	3.5509E-06	sin daño	3.55094E-06			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 59

Desplazamiento sismo raro en azotea

Azotea piso h= 265cm

Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Deriva	Tipo de daño	Probabilidad				
Text	Text		cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians		Sin daño	Leve	Moderado	Extenso	Completo	
424	AENL_X		-0.013898	11.049222	-0.042404	-0.000266	0.000212	-0.000035	5.2445E-05	sin daño	5.24453E-05				
425	AENL_X		1.291967	11.049222	-0.155009	0.000229	0.00052	-0.000035	0.00487535	leve	0.00487535				
429	AENL_X		0.016012	6.910687	-0.037833	-0.000067	-0.000256	-0.000035	6.04226E-05	sin daño	6.04226E-05				
434	AENL_X		-0.013898	6.910687	-0.059327	-0.000262	-0.000251	-0.000035	5.2445E-05	sin daño	5.24453E-05				
444	AENL_X		-0.001155	11.049222	-0.216201	-0.000169	0.000469	-0.000035	4.35849E-06	sin daño	4.35849E-06				
458	AENL_X		1.291967	6.910687	-0.127055	-0.000145	1.904E-06	-0.000035	0.00487535	leve	0.00487535				
459	AENL_X		-0.001155	6.910687	-0.245385	0.000048	-0.000281	-0.000035	4.35849E-06	sin daño	4.35849E-06				
115															
										Media	0.0001414990	0.003758750	0.00937012	0.0204716	0.02985749
										Desviación estándar	0.0003427010	0.001512860	0.0016611680	0.003938220	0.00513766
														0.02985749	

Nota. Elaboración propia.

Finalmente se presentan los resultados en resumen de la probabilidad de daños para un sismo raro.

Tabla 60

Resumen de probabilidad de daños para un sismo raro

Niveles de daño	Números de daños	de Probabilidad de daño	Probabilidad acumulada
Sin daño	77	0.67	0.67
Leve	25	0.22	0.89
Moderado	4	0.035	0.92
Extenso	5	0.043	0.96
Completo	4	0.034	1.0
Total	115	1.0	

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a las investigaciones desarrolladas por Ghobarah, se ha relacionado el estado de daño respecto a la distorsión de piso, es así que esta relación se explica en la siguiente tabla, donde se determina hasta cinco estados de daño.

Tabla 61

Niveles de daño propuesto por Ghobarah et al (1997)

Distorsión de piso	Daño	Descripción del daño	Desempeño
$y < 0.002$	Sin daño	Sin daño	Sin daño
$0.002 \leq y < 0.005$	Leve	Grietas ligeramente visibles	Agrietamiento
$0.005 \leq y < 0.011$	Moderado	Grietas menores de 1 mm.	Fluencia del acero
$0.011 \leq y < 0.023$	Extenso	Grietas entre 1 y 2mm.	Inicio de mecanismo
$y \geq 0.023$	Completo	Grietas mayores a 2mm.	Mecanismo

Nota. Ghobarah.

En este análisis con el empleo del programa SAP 2000 v.20 y empleando la “Técnica Push Over” se ubica el punto de desempeño, este punto se encuentra en la intersección de la curva de capacidad y curva de demanda, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

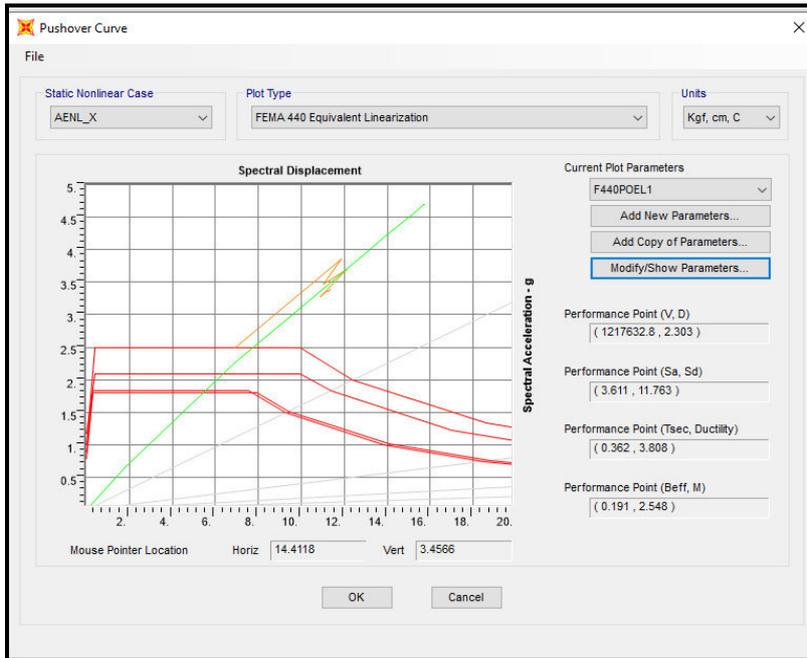


Figura 44. Punto de desempeño para sismo ocasional
 Nota. Elaboración propia.

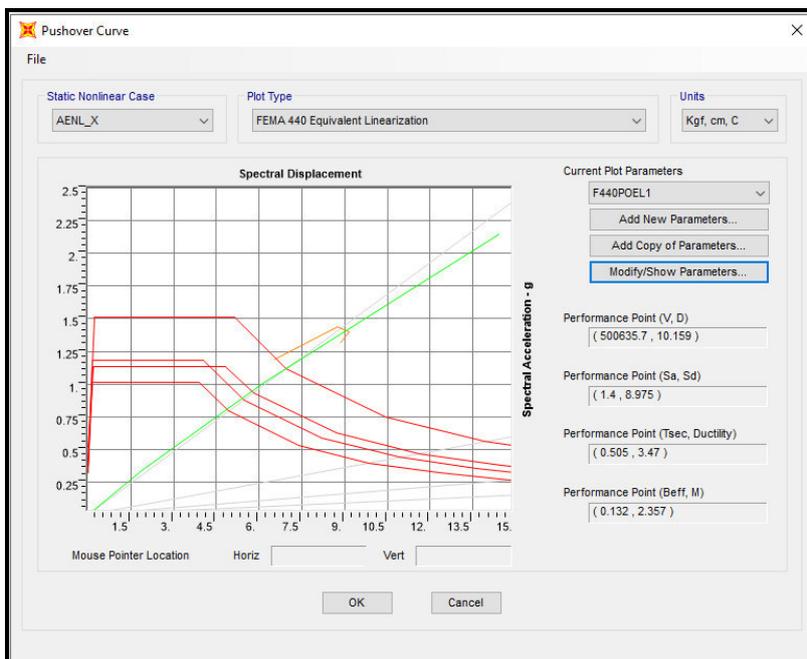


Figura 45. Punto de desempeño para sismo raro
 Nota. Elaboración propia.

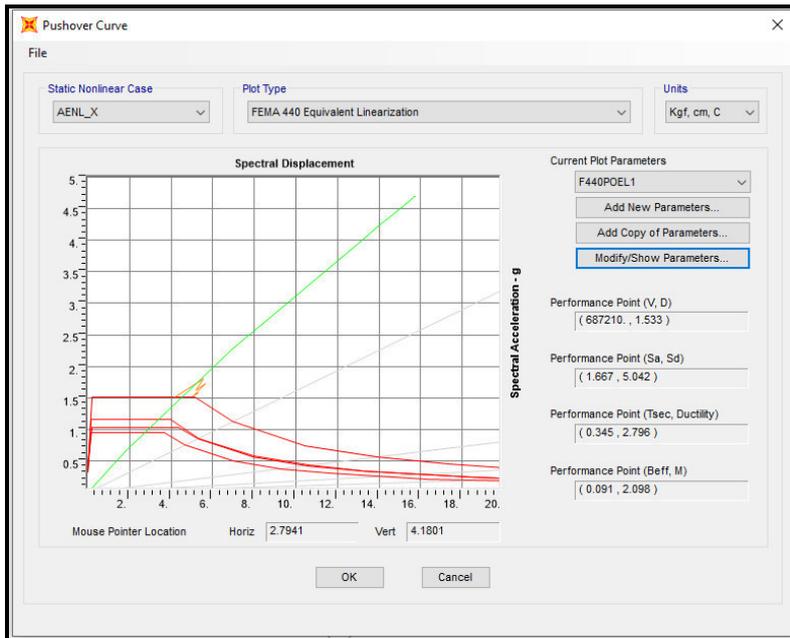


Figura 46. Punto de desempeño para sismo muy raro
 Nota. Elaboración propia.

Después de haber realizado los análisis estático y dinámico ahora se determinaremos los estados de daños de la estructura analizada a través de las curvas de fragilidad.

La curva de fragilidad tiene dos ejes, en el eje horizontal se tiene el desplazamiento espectral (Sd) y en el eje vertical se tiene la probabilidad de daño en porcentaje (%).

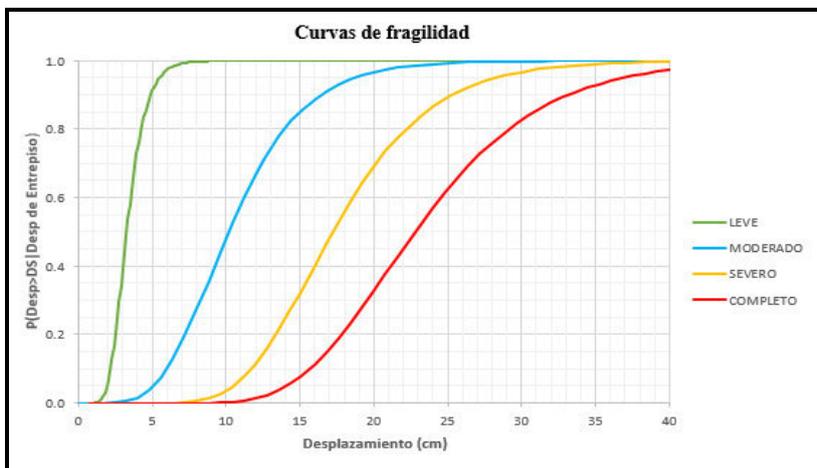


Figura 47. Curva de fragilidad sismo raro
 Nota. Elaboración propia.

La ubicación del punto de desempeño nos ayuda poder ubicar el estado de daño que corresponde a la estructura analizada

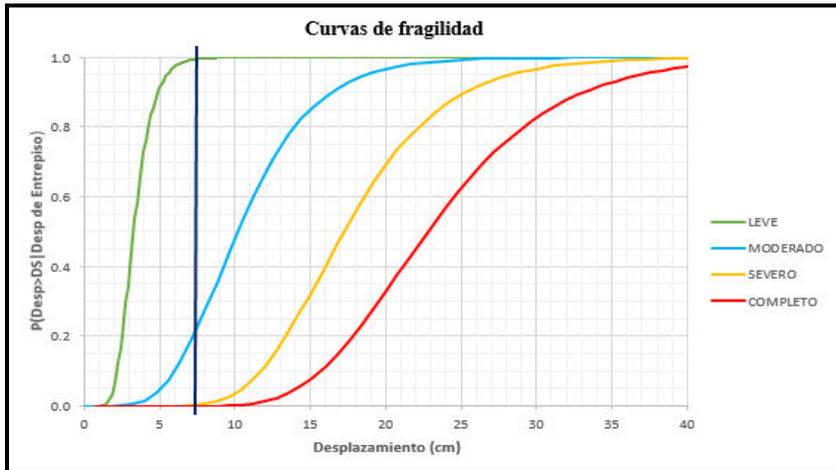


Figura 48. Punto de desempeño para sismo muy raro
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 62
 Resumen de probabilidad de daños para un sismo raro

Niveles de daño	Números de daños	de Probabilidad de daño	Probabilidad acumulada
Sin daño	77	0.67	0.67
Leve	25	0.22	0.89
Moderado	4	0.035	0.92
Extenso	5	0.043	0.96
Completo	4	0.034	1.0
Total	115	1.0	

Nota. Elaboración propia.

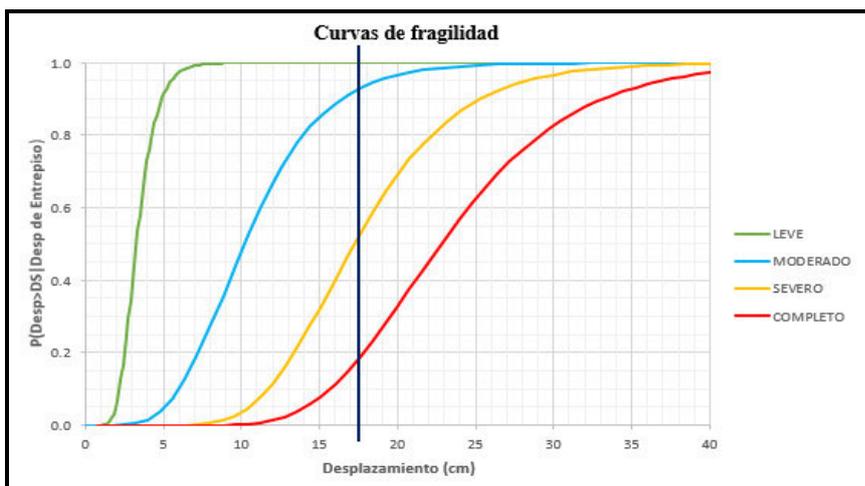


Figura 49. Curva de fragilidad
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 63

Resumen de probabilidad de daños para un sismo muy raro

Niveles de daño	Números de daños	de Probabilidad de daño	Probabilidad acumulada
Sin daño	40	0.18	0.18
Leve	25	0.11	0.30
Moderado	41	0.19	0.48
Extenso	50	0.23	0.71
Completo	64	0.29	1.0
Total	220	1.0	

Nota. Elaboración propia.

Se desarrolla el análisis dinámico no lineal ADNL, con el empleo del programa computacional PERFORM 3D. V7.0.0, con el que se determina el nivel de desempeño de la estructura, conocer los lazos histeréticos de los elementos estructurales, es decir un análisis más realista de la estructura, esto con la finalidad de acercarnos más a la realidad, toda vez que si deseáramos realizar un análisis dinámico no lineal deberíamos emplear mesas vibratorias a escala real, y en nuestro medio no contamos con estas mesas vibratorias.

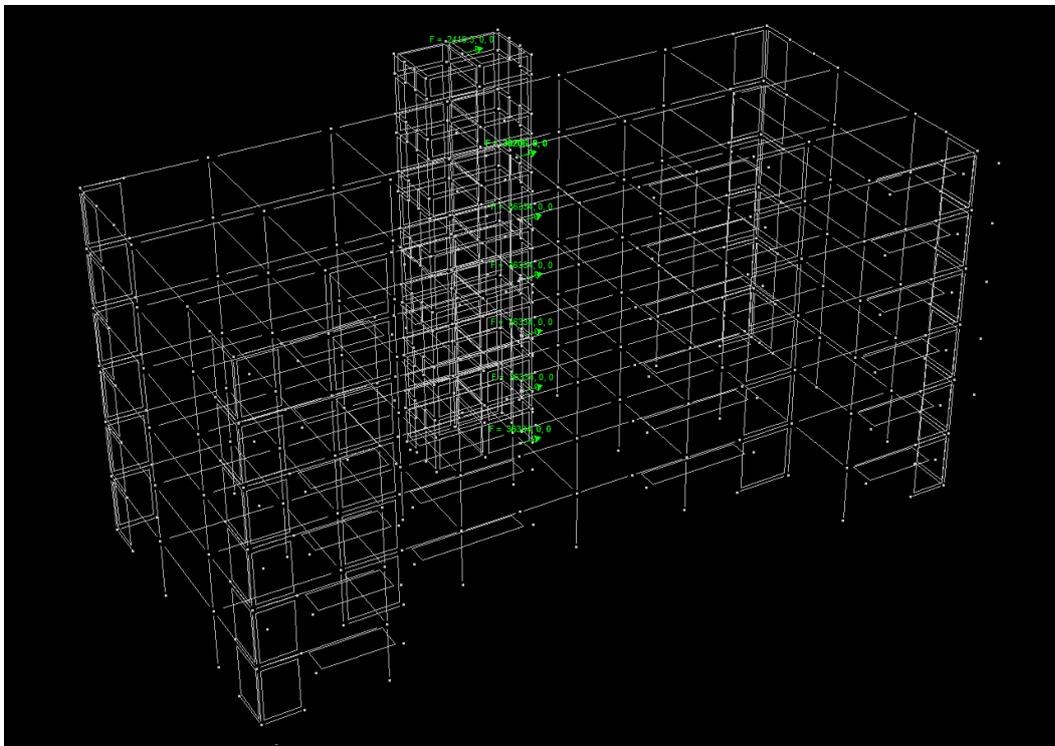


Figura 50. Modelamiento Perform 3D

Nota. Elaboración propia.

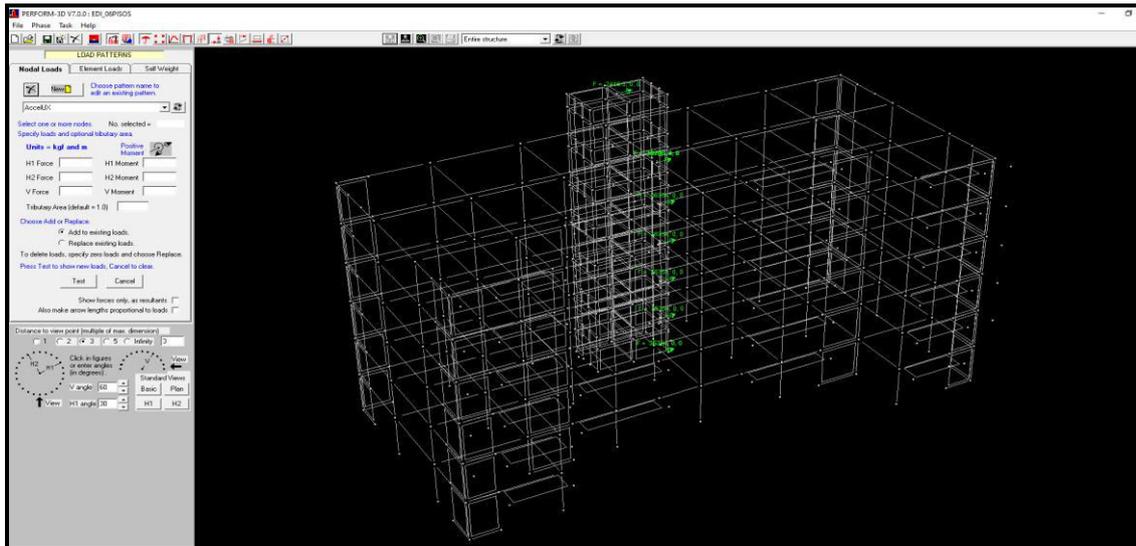


Figura 51. Modelamiento Perform 3D
Nota. Elaboración propia.

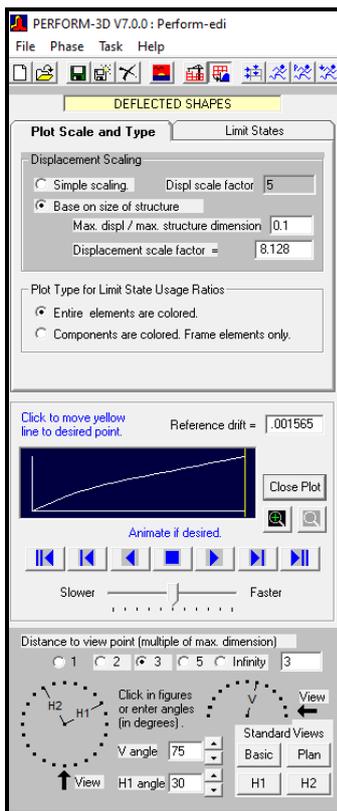


Figura 52. Modelamiento Perform 3D
Nota. Elaboración propia.

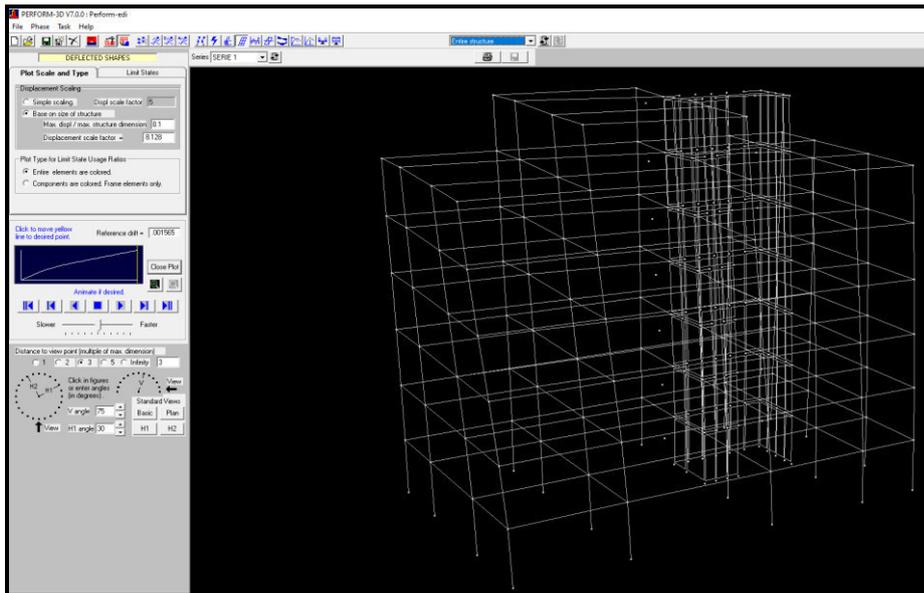


Figura 53. Modelamiento Perform 3D
 Nota. Elaboración propia.

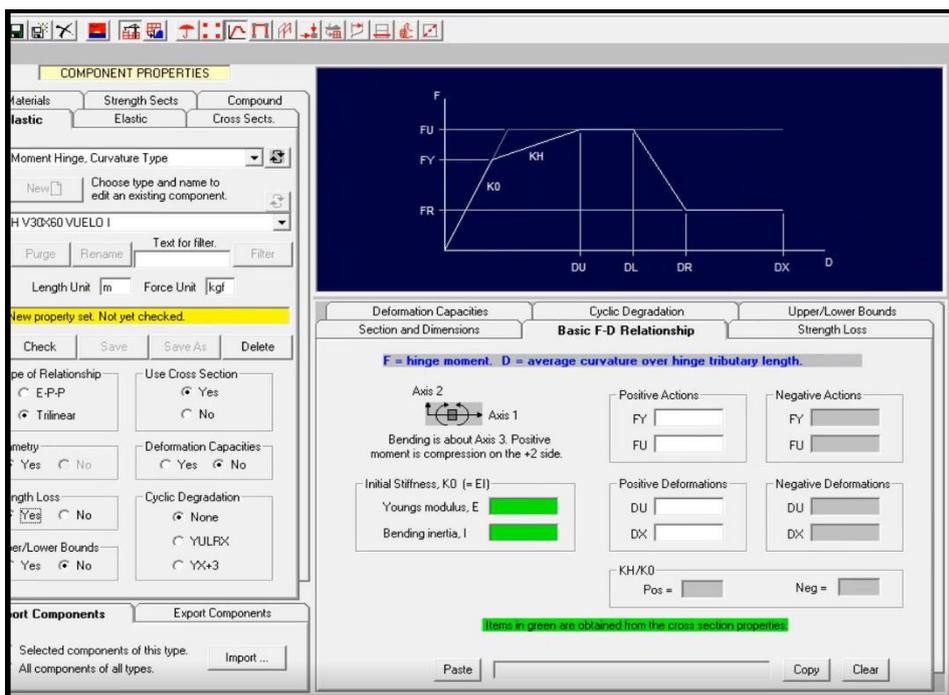


Figura 54. Curva de capacidad en Perform 3D
 Nota. Elaboración propia.

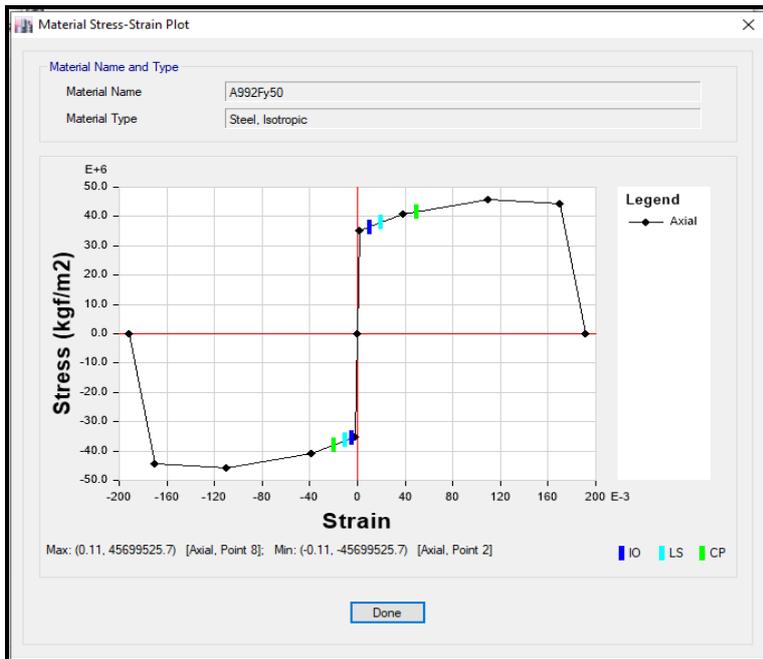


Figura 55. Lazos histeréticos
 Nota. Elaboración propia.

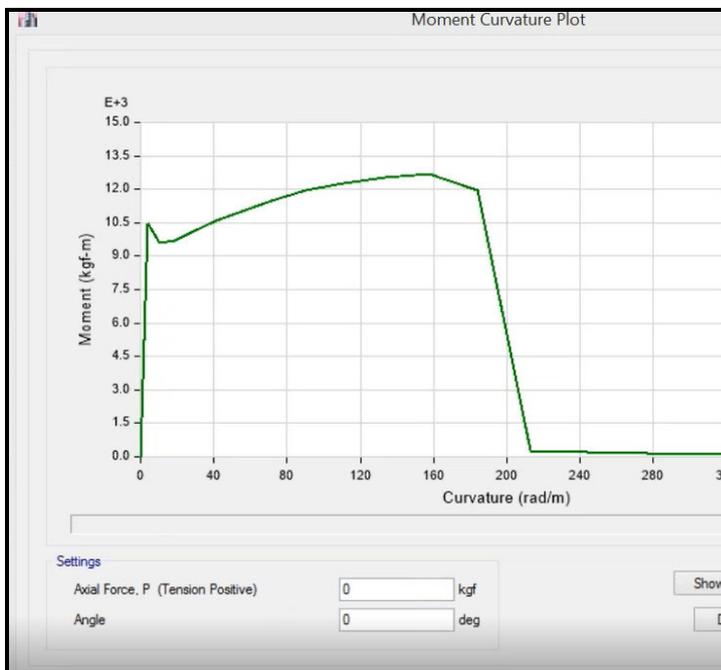


Figura 56. Momento curvatura
 Nota. Elaboración propia.

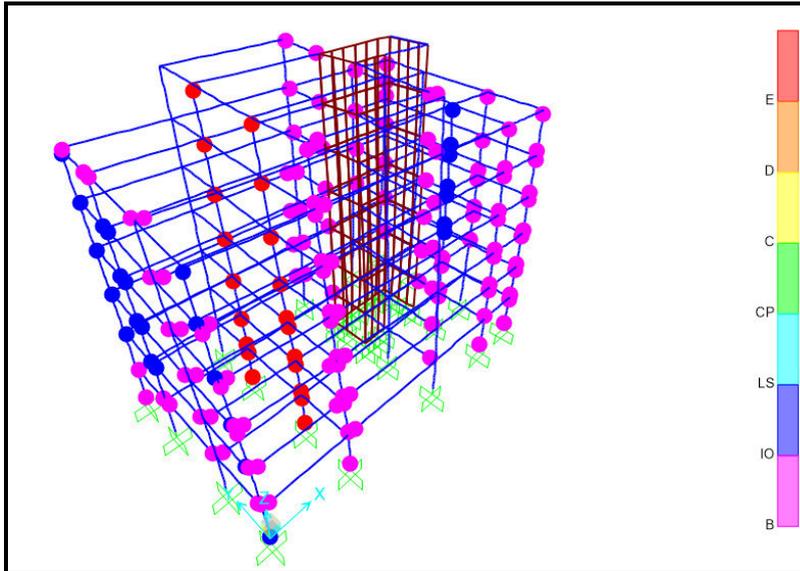


Figura 57. Modelamiento sismo raro
 Nota. Elaboración propia.

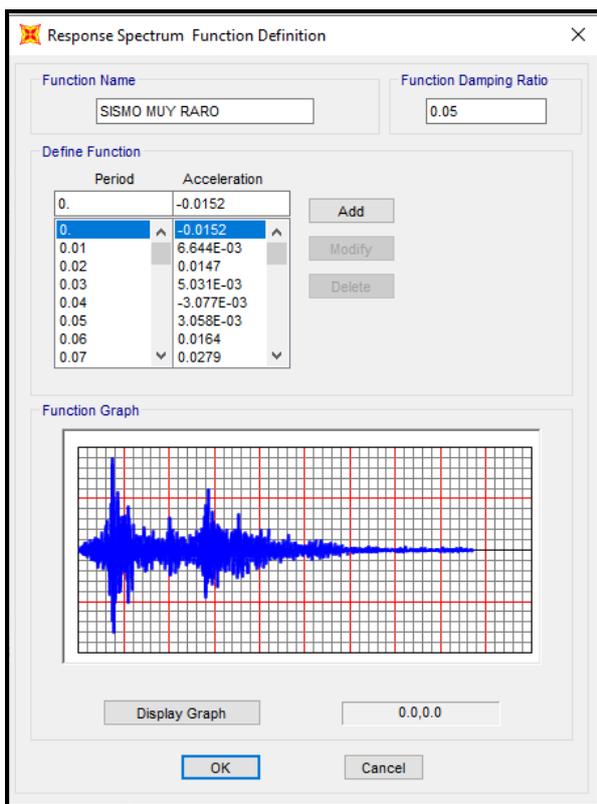


Figura 58. Función de espectro de respuesta
 Nota. Elaboración propia.

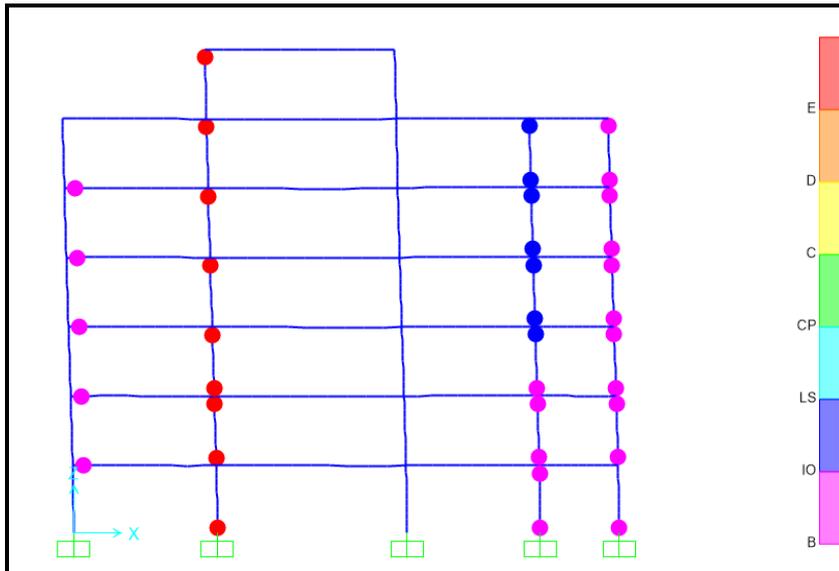


Figura 59. Modelamiento SAP 2000
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 64
 Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Deriva	60	100,0%	0	0,0%	60	100,0%
Estado de daño	60	100,0%	0	0,0%	60	100,0%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 65
 Descriptivos

Deriva	Estadístico	Desv. error
Media	513,4333	53,57869
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite inferior	
Media recortada al 5%	620,6441	
Mediana	515,2593	
Varianza	592,5000	
Desv. Desviación	172240,589	
Mínimo	415,01878	
Máximo	,00	
Rango	995,00	
Rango intercuartil	995,00	
Asimetría	931,25	
Curtosis	-,132	,309
Media	-1,773	,608
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite inferior	
Media recortada al 5%	24396,6667	1803,99113
	20786,8888	
	28006,4446	
	24396,2963	

Deriva	Estadístico	Desv. error
Mediana	24400,0000	
Varianza	195263039,548	
Deriva	Estadístico	Desv. error
Desv. Desviación	13973,65520	
Mínimo	800,00	
Máximo	48000,00	
Rango	47200,00	
Rango intercuartil	24400,00	
Asimetría	,000	,309
Curtosis	-1,201	,608

Nota. Elaboración propia.

Tabla 66
Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Deriva	,171	60	,000	,811	60	,000
Estado de daño	,066	60	,200*	,955	60	,027

Nota. (*) Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

(a) Corrección de significación de Lilliefors.

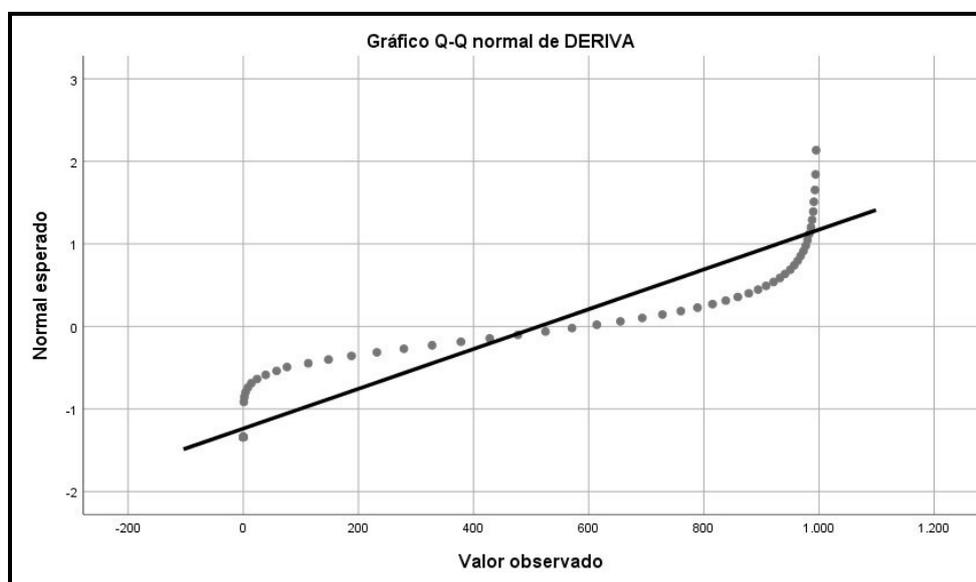


Figura 60. Gráfico Q-Q normal de Deriva

Nota. Elaboración propia.

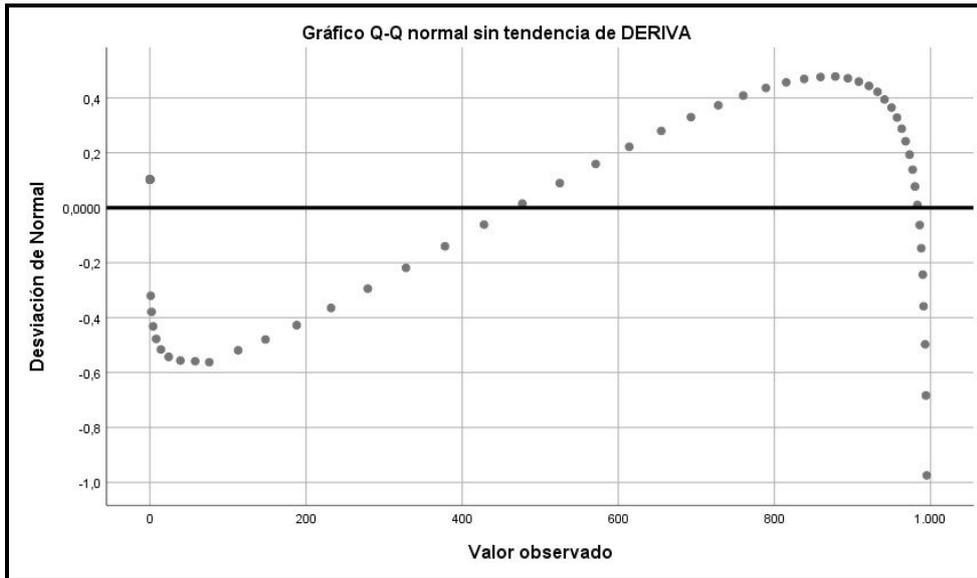


Figura 61. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Deriva
 Nota. Elaboración propia.

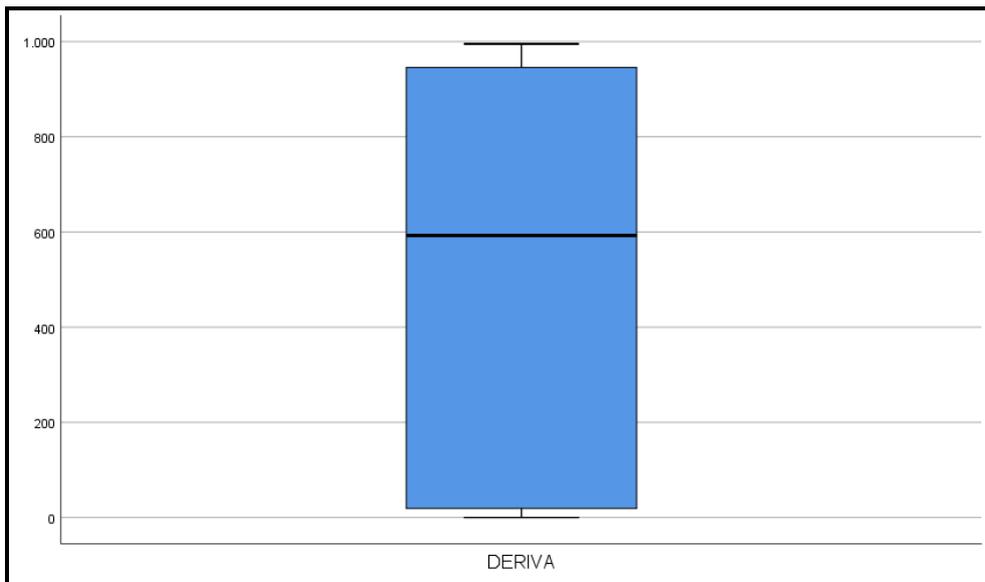


Figura 62. Deriva
 Nota. Elaboración propia.

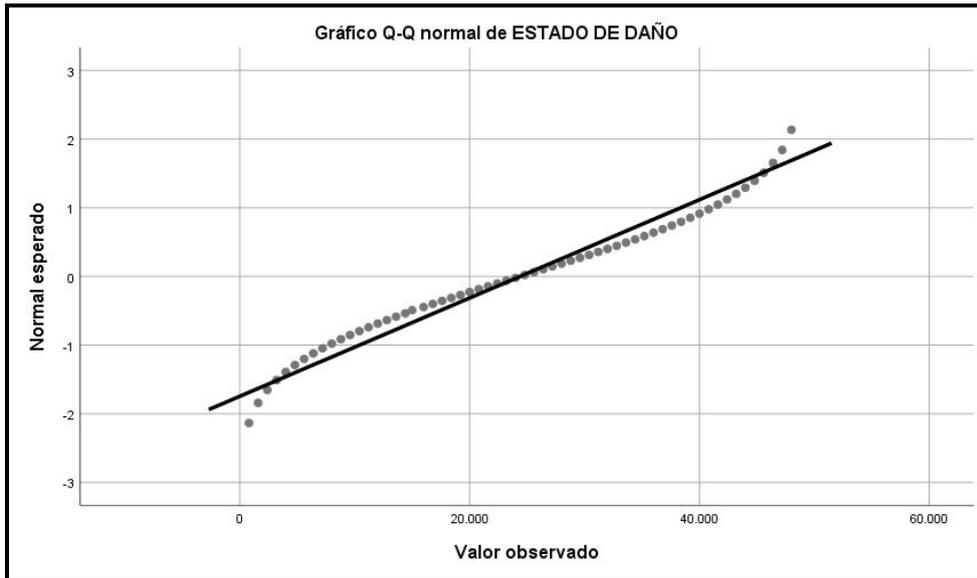


Figura 63. Gráfico Q-Q normal de estado de daño
 Nota. Elaboración propia.

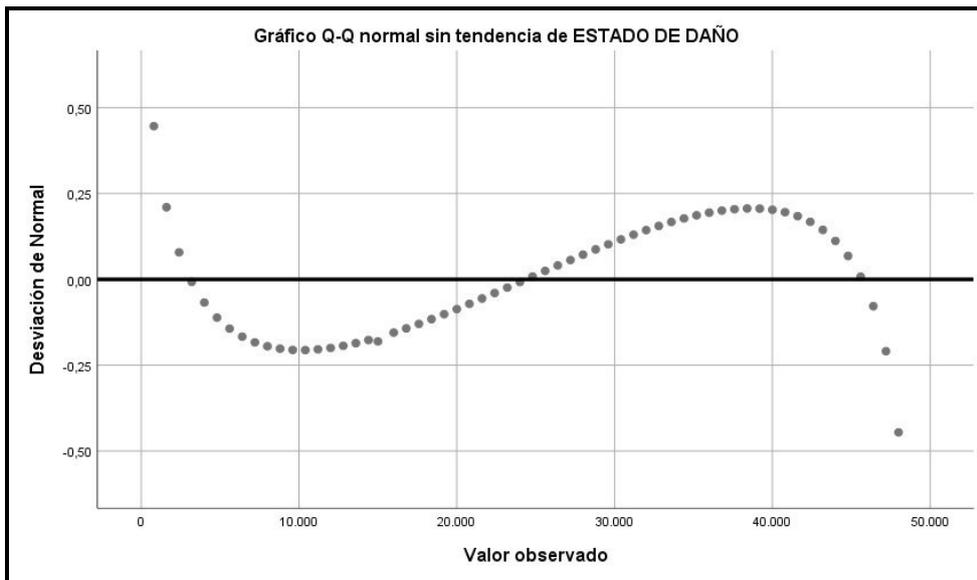


Figura 64. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de estado de daño
 Nota. Elaboración propia.

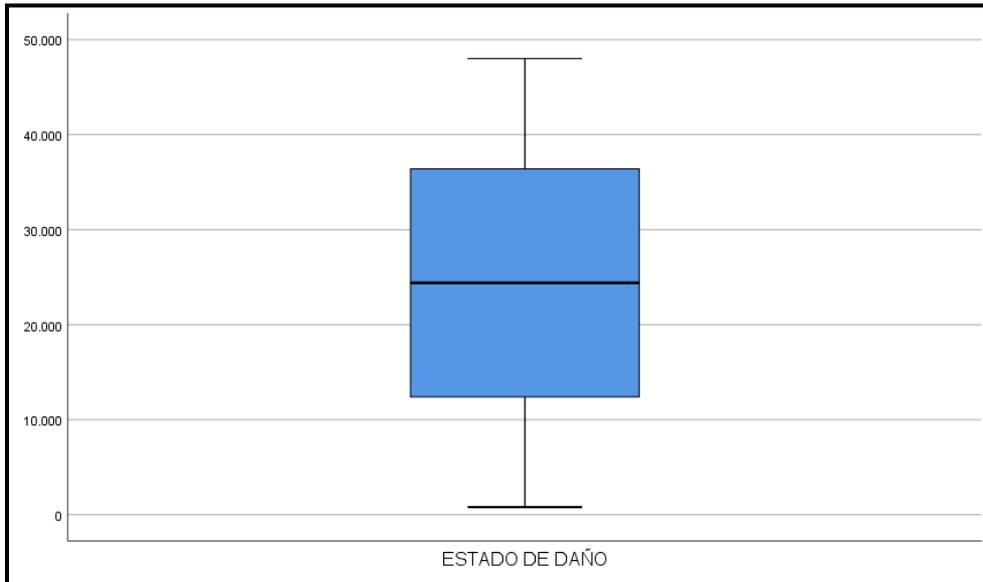


Figura 65. Estado de daño
 Nota. Elaboración propia.

Tabla 67
 Correlaciones

		Deriva	Estado de daño
Rho de Spearman	Deriva	Coefficiente de correlación	1,000
		Sig. (bilateral)	,998
	Estado de daño	Coefficiente de correlación	,998**
		Sig. (bilateral)	,000
		N	60

Nota. (**) La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Tesis: Desempeño sísmico y estado de daños en edificios aporricados de concreto armado, mediante curvas de fragilidad en Lima 2020.

Autor: Lenin Miguel Bendezú Romero

Ficha de recolección de datos:

Tabla 68

Edificio aporticado de concreto armado E.030 norma sismorresistente

Muestra	Tipo	Altura Del elemento (cm2)	Volumen del elemento (m3)	Acero de refuerzo (cm2)	Zona sísmica	Derivas
Elementos verticales						
Elementos horizontales						

Nota. Elaboración propia.

Tabla 69

Edificio aporticado de concreto armado fema 356

Muestra	Tipo	Altura del elemento (cm2)	Volumen del elemento (m3)	Acero de refuerzo (cm2)	Aceleración espectral	Desempeño sísmico	Derivas respecto al daños (por desempeño curvas de sísmico	Estado de daños (por desempeño curvas de fragilidad)
Elementos verticales								
Elementos horizontales								

Nota. Elaboración propia.

Tabla 70

Edificio aporticado de concreto armado Vision 2000

Muestra	Tipo	Altura del elemento (cm2)	Volumen del elemento (m3)	Acero de refuerzo (cm2)	Aceleración espectral	Desempeño sísmico	Derivas respecto al daños (por desempeño curvas de sísmico	Estado de daños (por desempeño curvas de fragilidad)
Elementos verticales								
Elementos horizontales								

Nota. Elaboración propia.

La lista de materiales empleados está considerada de la siguiente manera:

- a) Planos de la especialidad de arquitectura de la edificación analizada.
- b) Planos de la especialidad de estructuras de la edificación analizada.
- c) Laptop Core i7 7th Generación.
- d) Software computacional SAP 2000.
- e) Software computacional ETABS 2016.
- f) Software computacional PERFOM 3D.
- g) Material bibliográfico relacionado al diseño sísmico basado por desempeño.

- h) Normas FEMA 356.
- i) Norma ATC40.
- j) Norma del Comité VISION 2000.
- k) Norma peruana vigente E.30 - Diseño Sismorresistente.
- l) Hojas de cálculo Excel.



Figura 66. Fotografía de la estructura analizada
Nota. Elaboración propia.

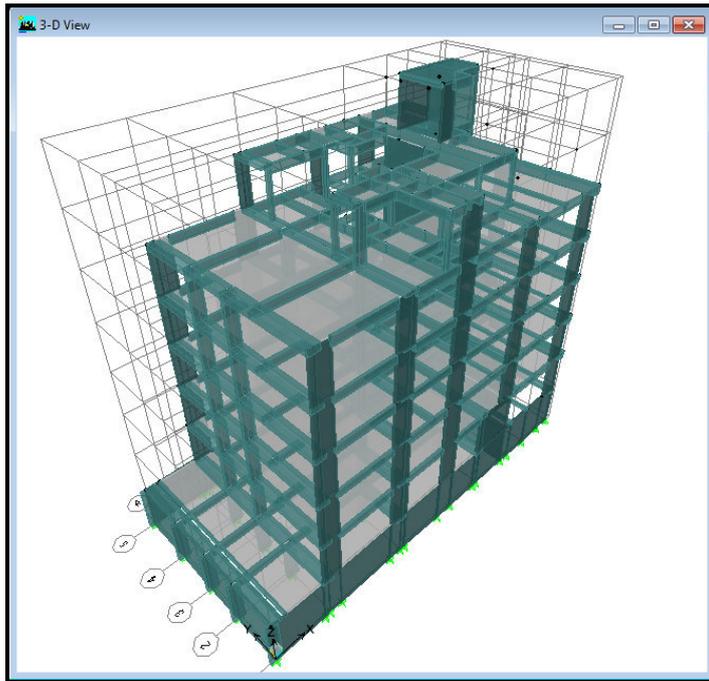


Figura 67. Modelado de la estructura
Nota. Elaboración propia.

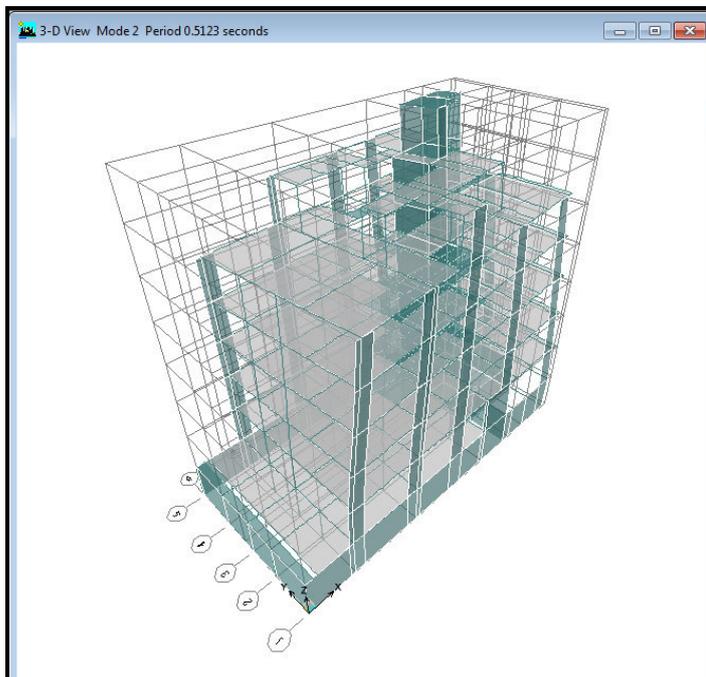


Figura 68. Primer modo de vibración
Nota. Elaboración propia.