

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL
HOSPITAL VIRGEN DE LA PUERTA DEL DISTRITO DE LA
ESPERANZA AL APLICAR EL ANÁLISIS DINÁMICO
INCREMENTAL”**

**PROYECTO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS

AUTOR: BR. PECHO CASTILLO, DIANA DURVISS

AUTOR: BR. SIBINA MEGO, CARLOS ALFREDO

ASESOR: ING. GALICIA GUARNIZ, WILLIAM CONRAD

TRUJILLO - PERÚ

2020

R.D. 01377 – 2019 – FI – UPAO

TESIS: “Determinación del Desempeño Sísmico del Hospital Virgen de la Puerta del Distrito de La Esperanza al aplicar el Análisis Dinámico Incremental”

JURADO EVALUADOR

Ing. César Leónidas Cancino Rodas

CIP: 77103

PRESIDENTE

Ing. Víctor Manuel Morán Guerrero

CIP: 50648

SECRETARIO

Ing. Segundo Alfredo Vargas López

CIP: 18687

VOCAL

Ing. William Conrad Galicia Guarniz

CIP: 96091

ASESOR

DEDICATORIA

Este trabajo, las horas de esfuerzo y dedicación, van dedicados a mis padres, sino fuera por su apoyo no sería la persona que soy ahora.

Se lo dedico a mi hermano, cuya vida es un ejemplo de superación y me ha inspirado tanto en mi vida.

También va para mis abuelos, su humildad y sacrificio que me enseñaron desde pequeño, siempre serán los pilares de mi vida.

Para todos ellos, ahí va.

C. Sibina

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su ejemplo y orientación han hecho de mi la persona que soy, porque el resultado de esta carrera es por su esfuerzo y confianza puestos en mí y por enseñarme a nunca rendirme.

A mi hermana por motivarme a ser una mejor versión de mí, por el apoyo y la paciencia en los momentos difíciles.

Y a mi familia y amigos que estuvieron presentes en este proceso.

D. Pecho

AGRADECIMIENTO

Gracias a todas las personas que han ayudado al desarrollo y conclusión de esta tesis para optar por el Título Profesional. En especial a nuestros padres, por su apoyo económico en el desarrollo del presente trabajo de investigación y sobre todo por el apoyo moral sin el cual no habiéramos podido terminar con esta tesis.

Damos gracias al Ing. William Galicia, por brindarnos parte de su tiempo, guiándonos en el desarrollo de este proyecto. También queremos dar las gracias al Ing. Jorge Paredes, quien fue quien nos motivó a desarrollar esta investigación.

Un agradecimiento especial a la Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, por el apoyo durante todo este período de titulación.

RESUMEN

Las edificaciones esenciales, los hospitales y colegios, son estructuras que deben diseñarse con mayor rigurosidad que las edificaciones comunes. En los últimos años el Análisis Dinámico Incremental (IDA) viene siendo desarrollado con mayor presencia en nuestro país, generando incluso modificaciones en la normativa sísmica peruana de edificación.

En el presente trabajo se desarrollará el Análisis Dinámico Incremental del Hospital Virgen de la Puerta ubicado en la ciudad de Trujillo, una moderna edificación de gran importancia en el norte del país y diseñado con una norma ya no vigente.

Este estudio lo que busca es determinar el Desempeño Sísmico de la edificación frente al análisis en mención.

Para desarrollar este análisis se tuvo que hacer en primer lugar una recopilación de la información de la edificación (planos, esp. Técnicas, memoria descriptiva, etc.) para después realizar el modelamiento estructural en el programa de diseño estructural 3D ETABS.

También se seleccionaron 07 pares de registros sísmicos (aceleraciones) los cuales serán utilizados como componentes IDA para su posterior análisis en el programa ETABS.

Luego de tener definido la estructura y sus componentes, se procederá a la ejecución del programa, donde obtendremos los siguientes resultados: Desplazamientos Inelásticos de Entrepiso, Derivas Máximas, Índices de Daño y ductilidad de los elementos, Curvas de Capacidad, Curvas IDA, Rigidez de la Edificación y Factor de Reducción Sísmica.

Las Curvas IDA son gráficas que relacionan las Derivas Máximas y los Incrementos de aceleración, con estos diagramas podemos definir el Nivel de Desempeño y el estado de Daño de la estructura.

Se llegó a determinar que la edificación presenta un nivel de desempeño de "Seguridad de Vida" y un estado de daño "Moderado".

ABSTRACT

Essential buildings, hospitals and schools, are structures that must be designed more rigorously than ordinary buildings. In recent years, the Incremental Dynamic Analysis (IDA) has been developed with a greater presence in our country, even generating modifications in the Peruvian seismic building regulations.

In this project work, the Incremental Dynamic Analysis of the Virgen de la Puerta Hospital located in the city of Trujillo, a modern building of great importance in the north of the country and designed with a standard no longer in force, will be developed. This study seeks to determine the Seismic Performance of the building through the mentioned analysis.

To carry out this analysis, a compilation of the building information (plans, technical specs, descriptive memory, etc.) had to be carried out. Afterwards, a structural modeling was performed in the 3D structural design program ETABS.

Seven pairs of seismic records (accelerations) were also selected, which will be used as IDA components for subsequent analysis in the ETABS program.

After having defined the structure and its components, the program will be executed, where we will obtain the following results: Inelastic Displacements of Mezzanine, Maximum Drifts, Damage and ductility indexes of the elements, Capacity Curves, IDA Curves, Rigidity of the Building and Seismic Reduction Factor.

The IDA Curves are graphs that relate the Maximum Drifts and the Acceleration Increments, with these diagrams we can define the Performance Level and the state of Damage of the structure.

It was determined that the building has a "Life Safety" performance level and a "Moderate" damage status.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| DEDICATORIA..... | iii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT | vii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 16 |
| 1.1. Problema de Investigación | 16 |
| a. Descripción de la realidad problemática | 16 |
| b. Descripción del problema | 18 |
| c. Formulación del Problema..... | 18 |
| 1.2. Objetivos de la investigación | 18 |
| 1.2.1. Objetivo General..... | 18 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 18 |
| 1.3. Justificación del estudio | 19 |
| 1.3.1. Académica..... | 19 |
| 1.3.2. Técnica..... | 19 |
| 1.3.3. Social..... | 20 |
| II. MARCO DE REFERENCIA | 20 |
| 2.1. Antecedentes del estudio..... | 20 |
| 2.2. Marco teórico | 25 |
| 2.2.1. Diseño Sismorresistente..... | 25 |
| 2.2.1.1. Principios..... | 25 |
| 2.2.1.2. Acción del Sismo | 27 |
| 2.2.2. Tipos de Análisis Sísmicos..... | 28 |
| 2.2.2.1. Análisis Estático | 28 |
| 2.2.2.2. Análisis Dinámico | 28 |
| 2.2.3. Análisis Tiempo - Historia | 29 |
| 2.2.3.1. Registros Sísmicos..... | 29 |
| 2.2.3.2. Niveles de Desempeño | 30 |
| 2.2.3.3. Comportamiento de la Curva IDA..... | 31 |
| 2.2.3.4. Funciones de Desempeño..... | 31 |
| 2.2.3.5. Tipos de Evaluación de Desempeño | 32 |
| 2.2.4. Desempeño Sísmico | 53 |
| 2.2.4.1. Nivel de Desempeño | 54 |

| | |
|--|-----|
| 2.2.4.2. Desempeño esperado de la edificación..... | 62 |
| 2.2.4.3. Consideraciones para Edificaciones Esenciales | 65 |
| 2.2.4.4. Evaluación Comportamiento Sísmico – Edificaciones Esenciales..... | 66 |
| 2.3. Marco conceptual | 67 |
| 2.4. Hipótesis | 70 |
| 2.5. Variables..... | 70 |
| 2.5.1. Variable Independiente:..... | 70 |
| 2.5.2. Variable Dependiente:..... | 70 |
| III. METODOLOGÍA EMPLEADA | 71 |
| 3.1. Tipo y nivel de investigación | 71 |
| 3.2. Población y muestra de estudio..... | 71 |
| 3.2.1. Población..... | 71 |
| 3.2.2. Muestra | 72 |
| 3.3. Diseño de Investigación..... | 72 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de investigación | 72 |
| 3.5. Procesamiento y análisis de datos | 73 |
| 3.5.1. Análisis de Estructura Existente | 73 |
| 3.5.2. Modelamiento Estructural..... | 76 |
| 3.5.2.1. Materiales..... | 76 |
| 3.5.2.2. Elementos Frame, Membrane y Walls..... | 84 |
| 3.5.2.3. Asignación de los elementos..... | 88 |
| 3.5.2.4. Cargas..... | 89 |
| 3.5.2.5. Rótulas Plásticas..... | 90 |
| 3.5.3. Asignación de Registros Sísmicos y componentes IDA | 93 |
| 3.5.4. Ejecución de Análisis..... | 103 |
| IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... | 104 |
| 4.1. Análisis e interpretación de resultados | 104 |
| 4.1.1. Ductilidad en columnas y vigas. | 104 |
| 4.1.2. Desplazamientos Máximos por Pisos..... | 105 |
| 4.1.3. Derivas Inelásticas Máximas | 107 |
| 4.1.4. Curva IDA..... | 110 |
| 4.1.5. Desempeño Sísmico conforme VISION 2000 – SEAOC..... | 111 |
| 4.1.6. Nivel de desempeño en los elementos estructurales | 114 |
| 4.1.7. Rigidez de la Edificación | 123 |
| 4.1.8. Coeficiente de Reducción..... | 124 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 4.2. Prueba de hipótesis | 125 |
| V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 125 |
| CONCLUSIONES..... | 127 |
| RECOMENDACIONES | 129 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 130 |
| ANEXOS | 131 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01: Niveles de Desempeño Discreto. | 30 |
| Figura 02: Función hipotética del Desempeño. | 32 |
| Figura 03: Gráfica representativa de la Metodología para evaluar el Desempeño. | 33 |
| Figura 04: Esquema del proceso de convergencia entre las placas de Nazca y la Sudamericana. | 36 |
| Figura 05: Distribución de Perfiles Sísmicos (1984-2007)..... | 38 |
| Figura 06: Sección A-A' | 39 |
| Figura 07: Sección B-B' | 39 |
| Figura 08: Sección C-C' | 40 |
| Figura 09: Sección D-D' | 41 |
| Figura 10: Sección E-E' | 41 |
| Figura 11: Sección F-F' | 42 |
| Figura 12: Sección G-G' | 43 |
| Figura 13: Sección H-H' | 43 |
| Figura 14: Sección I-I' | 44 |
| Figura 15: Esquema del Diseño de Investigación | 72 |
| Figura 16: Muros Principales – 3er Nivel..... | 75 |
| Figura 17: Modelo 3D de la edificación. | 76 |
| Figura 18: Propiedades del Acero $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$ | 77 |
| Figura 19: Propiedades del Concreto $f'_c= 210 \text{ kg/cm}^2$ | 77 |
| Figura 20: Propiedades del Concreto $f'_c= 280 \text{ kg/cm}^2$ | 78 |
| Figura 21: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Acero de Refuerzo | 79 |
| Figura 22: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Acero de refuerzo..... | 79 |
| Figura 23: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Concreto No Confinado..... | 80 |
| Figura 24: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Concreto No Confinado..... | 81 |
| Figura 25: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Concreto Confinado. | 82 |
| Figura 26: Modelo Histerético de Takeda (Concreto)..... | 83 |
| Figura 27: Modelo Histerético de Kinematic (Acero) | 83 |
| Figura 28: Determinación de la sección transversal de la C1 – B. | 84 |
| Figura 29: Determinación de las áreas de acero de la C1 – B. | 85 |
| Figura 30: Determinación de la sección transversal de la Viga x. | 85 |
| Figura 31: Determinación de la sección transversal de la Viga x. | 86 |
| Figura 32: Determinación de la losa..... | 86 |

| | |
|---|-----|
| Figura 33: Determinación de la placa principal..... | 87 |
| Figura 34: Diseño de las barras de refuerzo en los elementos Wall. | 87 |
| Figura 35: Asignación de los elementos frame..... | 88 |
| Figura 36: Asignación de la losa y placas. | 88 |
| Figura 37: Asignación de los elementos..... | 89 |
| Figura 38: Se establece las rotulas plásticas para columnas. | 90 |
| Figura 39: Se establece las rotulas plásticas para vigas. | 91 |
| Figura 40: Definición de rotulas plásticas en columnas..... | 91 |
| Figura 41: Definición de rotulas plásticas en vigas..... | 92 |
| Figura 42: Rotulas plásticas en el eje 1..... | 92 |
| Figura 43: Registro Sísmico - S01..... | 94 |
| Figura 44: Registro Sísmico - S02..... | 94 |
| Figura 45: Registro Sísmico - S03..... | 94 |
| Figura 46: Registro Sísmico - S04..... | 95 |
| Figura 47: Registro Sísmico - S05..... | 95 |
| Figura 48: Registro Sísmico - S06..... | 95 |
| Figura 49: Registro Sísmico - S07..... | 96 |
| Figura 50: Registro Sísmico - S08..... | 96 |
| Figura 51: Registro Sísmico - S09..... | 96 |
| Figura 52: Registro Sísmico – S10..... | 97 |
| Figura 53: Registro Sísmico – S11..... | 97 |
| Figura 54: Registro Sísmico – S12..... | 97 |
| Figura 55: Registro Sísmico – S13..... | 98 |
| Figura 56: Registro Sísmico – S14..... | 98 |
| Figura 57: Espectros de respuesta de los registros seleccionados..... | 98 |
| Figura 58: Definición de los Registros Sísmicos. | 99 |
| Figura 59: Definición de los Registros Sísmicos. | 99 |
| Figura 60: Definición de los Registros Sísmicos. | 100 |
| Figura 61: Definición del IDA..... | 101 |
| Figura 62: Definición del IDA..... | 102 |
| Figura 63: Definición del IDA..... | 102 |
| Figura 64: Análisis de la estructura. | 103 |
| Figura 65: Análisis de la estructura. | 103 |
| Figura 68: Ubicación del proyecto..... | 112 |
| Figura 69: Niveles del peligro sísmico en el eje X..... | 113 |

| | |
|--|-----|
| Figura 70: Niveles del peligro sísmico en el eje Y | 113 |
| Figura 71: Nivel de desempeño en columnas en 1G..... | 115 |
| Figura 72: Nivel de desempeño en vigas en 1G..... | 115 |
| Figura 73: Nivel de desempeño en walls en 1G..... | 116 |
| Figura 74: Nivel de desempeño en 8G..... | 117 |
| Figura 75: Nivel de desempeño en 8G en el eje H..... | 118 |
| Figura 76: Nivel de desempeño en columnas en 8G..... | 118 |
| Figura 77: Nivel de desempeño en vigas en 8G..... | 119 |
| Figura 78: Nivel de desempeño en walls en 8G..... | 119 |
| Figura 79: Nivel de desempeño en 10G..... | 120 |
| Figura 80: Nivel de desempeño en 10G en el eje H..... | 121 |
| Figura 81: Nivel de desempeño en columnas en 10G..... | 121 |
| Figura 82: Nivel de desempeño en vigas en 10G..... | 122 |
| Figura 83: Nivel de desempeño en walls en 10G..... | 122 |
| Figura 84: Curva de capacidad en el eje x. | 123 |
| Figura 85: Curva de capacidad en el eje x. | 124 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: <i>Valores representativos en la selección de los sismos</i> | 45 |
| Tabla 2: <i>Escala de Índices de Daño</i> | 50 |
| Tabla 3: <i>Límites para la Deriva de Entrepisos</i> | 52 |
| Tabla 4: <i>Estados de Daño y Niveles de Desempeño</i> | 56 |
| Tabla 5: <i>Niveles de Desempeño de la edificación</i> | 60 |
| Tabla 6: <i>Niveles de Desempeño de la edificación</i> | 63 |
| Tabla 7: <i>Niveles recomendados de desempeños esperados</i> | 64 |
| Tabla 8: <i>Niveles de desempeño esperado: criterio de seguridad</i> | 65 |
| Tabla 9: <i>Nivel de desempeño esperado para edificaciones esenciales</i> | 66 |
| Tabla 10: <i>Variable Independiente</i> | 70 |
| Tabla 11: <i>Variable Dependiente</i> | 70 |
| Tabla 12: <i>Detalle de Columnas y Vigas</i> | 73 |
| Tabla 13: <i>Descripción de las características de los materiales de la edificación</i> .. | 76 |
| Tabla 14: <i>Cargas Vivas de Diseño</i> | 89 |
| Tabla 15: <i>Registros Sísmicos seleccionados</i> | 93 |
| Tabla 16: <i>Factores Escala de los sismos para las distintas intensidades de PGA</i> | 101 |
| Tabla 17: <i>Ductilidad en columnas</i> | 104 |
| Tabla 18: <i>Ductilidad en vigas</i> | 105 |
| Tabla 19: <i>Desplazamientos en el piso 1</i> | 106 |
| Tabla 20: <i>Desplazamientos en el piso 2</i> | 106 |
| Tabla 21: <i>Desplazamientos en el piso 3</i> | 106 |
| Tabla 22: <i>Desplazamientos en el piso 4</i> | 106 |
| Tabla 23: <i>Desplazamientos en el piso 5</i> | 107 |
| Tabla 24: <i>Desplazamientos en el piso 6</i> | 107 |
| Tabla 25: <i>Desplazamientos en el piso 7</i> | 107 |
| Tabla 26: <i>Derivas máximas en el piso 1</i> | 108 |
| Tabla 27: <i>Derivas máximas en el piso 2</i> | 108 |
| Tabla 28: <i>Derivas máximas en el piso 3</i> | 108 |
| Tabla 29: <i>Derivas máximas en el piso 4</i> | 108 |
| Tabla 30: <i>Derivas máximas en el piso 5</i> | 109 |
| Tabla 31: <i>Derivas máximas en el piso 6</i> | 109 |
| Tabla 32: <i>Derivas máximas en el piso 7</i> | 109 |
| Tabla 33: <i>Aceleraciones para los niveles de peligro sísmico</i> | 112 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 34: <i>Niveles de peligro sísmico en el eje X.</i> | 114 |
| Tabla 35: <i>Niveles de peligro sísmico en el eje Y.</i> | 114 |
| Tabla 36: <i>Rigidez elástica.</i> | 123 |
| Tabla 37: <i>Coeficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas.</i> | 125 |

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

a. Descripción de la realidad problemática

Nuestro país se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, los terremotos sucedidos alrededor de la región lo demuestran, tanto en las pérdidas de vidas humanas y bienes materiales. (IGP, 2018).

En Perú existen dos principales puntos sísmicos. La primera se encuentra en el área de intercepción de la línea costera y la fosa peruano-chilena. El segundo punto está ubicado en el sistema de fallas de Rioja-Moyobamba. (IGP, 2018).

En el artículo 15 de la norma E030 de Diseño Sismo – Resistente del Reglamento Nacional de Edificación (RNE) se clasifican a las edificaciones en 4 Tipos: Esenciales, Importantes, Comunes y Temporales.

Las “Edificaciones Esenciales” son aquellas que frente a desastres (eventos sísmicos) deben estar en óptimas condiciones para que puedan ser usados para atender emergencias o como centros de refugio. Se clasifican en dos categorías: A1 (Centros de Salud) y A2 (Edificaciones públicas o que puedan servir como puntos de atención de emergencias).

Las edificaciones esenciales deben ser ejecutadas con mucho cuidado desde el momento de escoger la ubicación de la infraestructura, realizar el diseño, ejecutar la construcción, la supervisión y el debido mantenimiento. Al momento de diseñar se debe tener en cuenta que la edificación responda correctamente ante eventos sísmicos muy intensos, manteniendo su funcionalidad durante y después de producido el suceso.

El hospital “Virgen de La Puerta” del distrito de La Esperanza, será nuestra edificación a estudiar. En base a la norma E030, la edificación presenta un factor de zona de tipo 4 ($Z=0.45$), el suelo es de tipo S2 (Suelo Intermedio), siendo su factor de suelo $S=1.05$, y el factor de uso es de $U=1.05$, para

edificaciones esenciales de tipo A1; todas estas variables nos ayudarán a determinar el peligro sísmico de la edificación.

El hospital Virgen de la Puerta es una edificación moderna inaugurada en diciembre de 2014, convirtiéndose en ese momento en una edificación icónica de su tipo. Está fue diseñada con la norma E030 del año 2006, la cual no considera determinados parámetros presentes en la actual norma del año 2018. Entre las principales diferencias entre ambas ediciones de la norma destacan: las diferencias de los factores de zona las cuales han sido consideradas en el diseño de la edificación, si bien clasifica a los hospitales como edificaciones esenciales, no los subdivide en dos grupos, y no exige un sistema antisísmico para edificaciones esenciales del tipo A1, como el que está descrito en el actual reglamento.

En lo que respecta al análisis sísmico, la norma del 2018 nos menciona al análisis estático, el análisis dinámico y el análisis tiempo – historia, siendo este último el cual aplicaremos en el presente trabajo de investigación; la norma del 2006 carece de información suficiente en lo respecta a los análisis tiempo - historia.

El análisis dinámico tiempo – historia nos permite determinar la respuesta de la edificación frente a un conjunto de aceleraciones (registros de eventos sísmicos seleccionados) mediante la integración directa de las ecuaciones de equilibrio. (E.030 Diseño Sismoresistente, 2018).

El análisis tiempo – historia, conocido por las siglas en inglés IDA (Análisis Dinámico Incremental) utiliza un modelo matemático de la estructura en estudio, el cual considera el comportamiento histerético de los elementos. El comportamiento de los elementos toma en cuenta ciertas características de estos como son: fluencia, degradación de resistencia, degradación de la rigidez y el estrechamiento de los lazos histeréticos. La resistencia de los elementos estructurales se basa en la resistencia de los materiales usados (ductilidad), el endurecimiento por deformación y la degradación de la

resistencia a causa de la carga cíclica. (E.030 Diseño Sismoresistente, 2018).

Como muestra representativa a estudiar se ha tomado el módulo B1 del Hospital Virgen de La Puerta, el cual tiene 7 niveles de altura y cuenta con un área techada de 2717.72 metros cuadrados (m²). El sistema estructural es de muros estructurales, que presenta una cimentación de concreto armado, diseñado en forma de grilla de 7x11 y compuesta de zapatas, formando un sistema antisísmico según lo descrito en las especificaciones técnicas del expediente técnico, el cual es exigido por la norma E030 actual (E030 2018) mas no por el reglamento con el que se diseñó (E030 2006).

b. Descripción del problema

Nivel del Desempeño Sísmico del “Hospital Virgen de la Puerta” frente a los escenarios de los Sismos: Ocasional, Raro y Muy Raro.

c. Formulación del Problema

¿Cuál es el Desempeño Sísmico del “Hospital Virgen de la Puerta” frente a los escenarios de los Sismos: Ocasional, Raro y Muy Raro?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

- Determinar el desempeño sísmico del hospital “Virgen de la Puerta” frente a los escenarios de los Sismos: Ocasional, Raro y Muy Raro.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el modelamiento estructural de la edificación empleando el programa ETABS.
- Seleccionar 7 pares de registros sísmicos conforme a la ubicación de la estructura, los cuales serán utilizados en el análisis dinámico incremental.
- Obtener la ductilidad de columnas y vigas de la edificación.

- Determinar los desplazamientos máximos por pisos, tanto en el eje “X” como en el eje “Y”.
- Determinar las derivas inelásticas máximas que presenta la construcción por entrepiso y en qué nivel están afectando su operatividad.
- Desarrollar las curvas de capacidad (Curvas IDA) que presenta la edificación al someterse al análisis Tiempo - Historia, mediante el diagrama de “Aceleración vs. Derivas Máximas”.
- Determinar el Nivel de Desempeño de los elementos estructurales de la edificación frente a un Análisis IDA.
- Obtener la rigidez elástica ante el análisis IDA y compararlo con la norma de Diseño Sismo – Resistente E030.
- Calcular el nuevo valor del coeficiente de reducción sísmica “R” y analizarlo con la norma de Diseño Sismo – Resistente E030.
- Determinar el estado de daño y niveles de desempeño de la edificación ante a los diferentes niveles de Movimientos Sísmicos: Ocasional, Raro y Muy Raro, en base a la norma internacional VISION 2000.

1.3. Justificación del estudio

1.3.1. Académica

Nuestro país se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, por lo cual es de suma importancia que el diseño de las “edificaciones esenciales” como son los hospitales deben hacerse con normativas modernas como las propuestas por el comité VISION 2000 y las cuales aplicamos en este estudio a través del Análisis Dinámico Incremental.

1.3.2. Técnica

La norma peruana E030 nos dice que las edificaciones esenciales, en nuestro caso el Hospital Virgen de la Puerta, debe permanecer en

estado operacional después de un evento sísmico; por tal motivo, esta investigación busca predecir el desempeño de la estructura tomando como referencia registros sísmicos recientes.

1.3.3. Social

El Hospital “Virgen de la Puerta” es uno de los establecimientos de salud más concurridos de la región, siendo un punto crítico en caso de una catástrofe, es por eso que debemos comprobar si se ha diseñado correctamente y como respondería frente a un fenómeno natural.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedente 1:

Tavárez Fadul, Jean (2016), en su trabajo final de Master “ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO INCREMENTAL DE UNA ESTRUCTURA DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO EN LA REPUBLICA DOMINICANA”

Se presentó la estimación del desempeño sísmico de la edificación de muros de hormigón armado. En la cual se aplicó dos metodologías para su realización: el procedimiento del espectro de capacidad y el Análisis Dinámico Incremental. Se procedió a hacer la comparativa de los resultados obtenidos evaluados desde un enfoque determinista para que finalmente sean determinados según el ATC-40 y el Reglamento Sísmico Dominicano.

El primer procedimiento mencionado consiste en el procedimiento sugerido en el proyecto Risk-UE, representando el daño sísmico con valores mediante índices de daño regular y matrices de posibilidad de inconveniente. Al analizar estos resultados se observó que frente a situaciones sísmicas la

concentración de fuerza se da en la base de la estructura, la cual se contrasta con el reglamento Sísmico Dominicano, pero ante esta demanda sísmica y analizando los elevados niveles de daño esperado se concluye que la conducta de la estructura es deficiente.

Se usó el programa SeismoStruct para el IDA buscando la estimación del comportamiento dinámico en la estructura, el cual manifiesta la respuesta dinámica ante aceleraciones temporales aplicándole un aumento gradual y proporcionado en cada nivel donde es aplicado el análisis. Desde este análisis los resultados alcanzados relacionan correctamente la demanda y la capacidad de la estructura confirmando el comportamiento en trabajos anteriores. En la comparativa de métodos, tanto la resistencia inicial y última de la rigidez como los datos del desplazamiento de fluencia son similares, reflejando el comportamiento de la estructura evaluada.

2.1.2. Antecedente 2:

Vargas Alzate, Yeudy (2013), en su estudio para obtener el grado de doctor “ANÁLISIS ESTRUCTURAL ESTÁTICO Y DINÁMICO PROBABILISTA DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO. ASPECTOS METODOLÓGICOS Y APLICACIONES A LA EVALUACIÓN DEL DAÑO”

Para la evaluación del daño sísmico, el tesista plantea un conjunto de métodos fundamentada en el procedimiento del espectro de capacidad, pero apoyada en simulaciones Monte Carlo para darle un enfoque probabilista. Considerando así la estructura, la acción sísmica y el daño deseado para analizarlos como variables aleatorias.

A partir del Análisis Dinámico se ha creado una metodología de posibilidades apoyada en el IDA. Donde el daño puede permitir elegir el nivel de prioridad

o interés para cierto intervalo de confianza autorizado. Para este se requiere acelerogramas acordes con un espectro de respuesta, definido de esta manera la inseguridad se considera correcta en la acción sísmica. Se ha considerado las características resistentes del acero y el hormigón como variables aleatorias gaussianas.

Se han evaluado las construcciones del concreto reforzado con fundidos reticulares clasificando estos en alta, mediana y baja altura, considerando acciones sísmicas semejantes donde se ha previsto ciertos espectros encontrados en el euro código EC8 que es para terremotos de tipo 1 y 2 y para suelos que se clasifican de la A hasta la E.

2.1.3. Antecedente 3:

Navarro Cieza, Edin (2014), en su tesis “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO HOSPITAL PRIVADO JAÉN DE LA CIUDAD DE JAÉN CAJAMARCA”

Se evaluó el desempeño sísmico de una edificación de 05 niveles, constituida por una estructura dual, la cual comprende de muros de concreto armado y pórticos.

Para el análisis PUSHOVER se realizó el modelamiento con el programa SAP 2000, donde se consideró las propiedades, características de las secciones y materiales que constituyen la estructura y un modelo de cargas de tipo triangular aplicados en los nodos de cada pórtico en el sentido respectivo.

Este análisis se desarrolla en un desplazamiento contrastado en el sentido del primer modo principal hasta llegar su colapso, donde se tiene en cuenta el dispositivo de progresión de las rotulas plásticas, para obtener el desplazamiento y la curva de capacidad estructural de la estructura como una función de la carga lateral. Para la representación del peligro sísmico se usó espectros de demanda para los niveles de sismicidad usados.

Los resultados muestran que tanto en los ejes, X e Y, la edificación se halla en el nivel operacional ante un sismo frecuente y en un nivel funcional para un sismo ocasional.

2.1.4. Antecedente 4:

Delfín Ordoñez, Luis (2018) en su tesis “DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N° 427 DEL DISTRITO DE JAYANCA BASADO EN VISIÓN 2000 PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO SÍSMICO”

Se diseñó un sistema estructural aplicando el enfoque de desempeño sísmico y teniendo como base el estudio de mecánica de suelos, topografía y su modelado en el software SAP 2000 V16 acorde a los parámetros sísmicos normalizados y a los procesos de Visión 2000 para encontrar el nivel de desempeño sísmico.

En las etapas del diseño estructural se empleó la normativa peruana vigente para el estudio de suelos (NTE E.050), para el predimensionamiento de la estructura (NTE E.060 y NTE E.020) y para el modelamiento (NTE E.030), adicionalmente se usó la normativa internacional Visión 2000 para el método Pushover.

Como resultado de aplicar el método Pushover se obtuvo una contrastación con la forma de diseño de la E.030 y la norma Visión 2000 respecto al desempeño sísmico de la edificación, siendo esta funcional frente a un sismo raro (NTE E.030) y un desempeño de resguardo de vida bajo un sismo muy raro según la clasificación de VISION 2000.

2.1.5. Antecedente 5:

Calcina Peña, Ramón (2017) en su tesis de Master “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE ONCE PISOS UTILIZANDO ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO NO-LINEAL”

Expone la valoración del desempeño de la obra de 11 niveles usando análisis tanto estático como dinámico no lineal frente a una demanda específica inducida por el sismo.

Para esto se usó el programa Etabs 2016 versión 16.0.3, evaluando la edificación de concreto armado, donde se señaló que mediante el análisis no-lineal estático y dinámico se pueden encontrar las “zonas frágiles” de la armadura.

Se aplicó la metodología propuesta por los códigos FEMA y ARC-40 para el análisis con desempeño, teniendo en cuenta ciertos cambios en los parámetros del programa ETABS. En primero lugar se estudiaron aquellas construcciones en condición variable, después de eso se compararon en la condición invariable mediante el método Pushover y el IDA.

Se obtuvo, el análisis de rotulas en los elementos estructurales del edificio, los cuales podrían llegar a producir daños frente a un sismo, y así dejar de

funcionar, así como también se logró obtener el punto de desempeño y la curva de capacidad, permitiendo entender aquellos dispositivos de falla especiales para la ductilidad.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Diseño Sismorresistente

Es el diseño de edificaciones que considera una adecuada configuración estructural, con componentes de dimensiones apropiadas y materiales con una proporción y resistencia suficientes para soportar la acción de las fuerzas causadas por sismos frecuentes.

La sismorresistencia es una propiedad o capacidad que se dota a la edificación con el fin de proteger la estructura y sobre todo a las personas que utilizan el edificio.

Para desarrollar una evaluación sísmica precisa se debe después de un terremoto realizar una observación de los daños, pruebas experimentales y métodos de análisis basados en probabilidad.

2.2.1.1. Principios

2.2.1.1.1. Forma Regular

La geometría de la edificación debe ser sencilla tanto en planta como en elevación.

Una geometría irregular favorece que la estructura sufra torsión o que intente girar en forma desordenada.

Además, la falta de uniformidad favorece que en determinadas esquinas de la estructura se presenten intensas concentraciones de fuerza.

2.2.1.1.2. Bajo Peso

Al ser la edificación más liviana, menor será la fuerza que tendrá que soportar cuando se produzca un sismo.

Cuando la cubierta de una edificación es muy pesada, al producirse un sismo esta estructura actuará como un péndulo invertido causando esfuerzos de tensión muy severos en los elementos sobre los cuales está apoyada.

2.2.1.1.3. Mayor Rigidez

Lo ideal es que la estructura se deforme en menor medida cuando se produzca un sismo.

Una estructura flexible al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones.

2.2.1.1.4. Buena Estabilidad

Las estructuras deben ser firmes, es decir, cuando son sometidas a las vibraciones de un sismo deben conservar el equilibrio.

La falta de estabilidad y rigidez favorece que las edificaciones vecinas se golpeen en forma perjudicial si no existe una adecuada separación entre ellas.

2.2.1.1.5. Cimentación

La cimentación debe ser competente para transmitir con seguridad el peso de la edificación al suelo.

Lo más favorable sería que el material del suelo sea duro y resistente, los suelos blandos amplifican las ondas sísmicas y facilitan asentamientos.

2.2.1.1.6. Estructura Apropriada

Para que una edificación soporte un terremoto, su estructura debe ser sólida, simétrica, uniforme, continua o bien conectada.

Los cambios bruscos de dimensiones, de rigidez, falta de continuidad, configuración estructural desordenada o voladizos

excesivos facilitan la concentración de fuerzas nocivas torsiones y deformaciones que pueden causar graves daños.

2.2.1.1.7. Materiales Competentes

Los materiales deben ser de buena calidad, estos deben garantizar una adecuada resistencia y capacidad de la estructura para absorber y disipar la energía.

2.2.1.1.8. Capacidad de Disipación de Energía

La estructura debe ser capaz de soportar deformaciones en sus componentes sin que se dañen gravemente o se degrade su resistencia.

Cuando la estructura no es dúctil y tenaz se rompe fácilmente al iniciarse su deformación por la acción sísmica. Al degradarse su rigidez y resistencia pierde su estabilidad y puede colapsar súbitamente.

2.2.1.1.9. Fijación de Acabados e Instalaciones

Los componentes no estructurales deben estar bien adheridos o conectados y no deben interactuar con la estructura.

De no estar bien conectados se desprenderán fácilmente en caso de un sismo.

2.2.1.2. Acción del Sismo

En los análisis de vulnerabilidad se debe prestar mucha atención a la definición de la carga al momento de realizar el diseño.

Debido a la alta variabilidad y la incertidumbre que caracteriza a los terremotos, se realizan los diseños utilizando factores de reducción elevados. No se conoce en que día se producirá el sismo, que intensidad tendrá o cuantas personas estarán dentro del edificio al momento de producirse el siniestro.

La forma más común de representar la acción sísmica es mediante **acelerogramas**. Para el análisis estático no lineal, se utilizan “espectros de respuesta”.

2.2.2. Tipos de Análisis Sísmicos

2.2.2.1. Análisis Estático

Se basa en un análisis de un conjunto de fuerzas que actúan sobre el centro de masas de cada nivel de una edificación.

Según la norma E.030: “Se limita al análisis de estructuras regulares o irregulares en la zona sísmica 1”. En las otras zonas, el análisis se limita a estructuras regulares de no más de 30m de altura y estructuras irregulares de no más de 15m de altura.

2.2.2.2. Análisis Dinámico

La ventaja de este tipo de análisis, es que cualquier tipo de estructura puede ser diseñada a partir de los resultados de estos análisis dinámicos.

El análisis se basa en dos conceptos básicos: Modos de Vibración y Aceleración Espectral.

El procedimiento de análisis de los modos de vibrar considera las características de rigidez y distribución de masas de la edificación. Para realizar el análisis se consideran los 03 primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

El espectro inelástico de pseudo-aceleraciones está definido por las variables de Zona Sísmica, Ubicación, Tipo de Suelo, Factor de Amplificación Sísmica y Coeficiente de Reducción de Fuerzas.

Siguiendo los criterios de combinación indicados en la Norma Técnica E.030 se podrá obtener la respuesta máxima elástica, fuerza cortante en la base y entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

2.2.3. Análisis Tiempo - Historia

También conocido como “Análisis Dinámico Incremental” (Análisis IDA) es un procedimiento complementario a los análisis sísmicos convencionales (Estático y Dinámico).

Utiliza un modelo matemático que considera el Comportamiento Histerético de los elementos de la estructura, el cual debe representar la distribución espacial de las masas.

El análisis busca determinar la respuesta de la estructura frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

Para desarrollar el análisis según la Norma E030, se debe contar con un mínimo de 07 registros sísmicos.

2.2.3.1. Registros Sísmicos.

Al momento de realizar análisis dinámicos de edificaciones que presenten comportamiento no lineal, el uso de registros sísmicos (acelerogramas) son indispensables.

Cabanillas (2018) nos menciona en su manual que: “Se debe evitar utilizar registros que pueden conducir a efectos estructurales excesivos, esto trae como consecuencia pérdida de la realidad y sobredimensionamiento”.

A continuación, se describe el proceso para la selección y escalamiento de Registros Sísmicos:

- Al momento de seleccionar los Registros para desarrollar el análisis, es recomendable utilizar registros reales, puesto que el análisis será más acertado. Se debe tener en cuenta la magnitud y distancia de la ocurrencia, lo ideal es sean elegidos espectros que tengan un código similar.
- Después se determinará una técnica de escalamiento para ponerlos en un mismo nivel (normalizarlos). El método

utilizado será el “Escalamiento por Intensidad PGA” y se tendrá en cuenta las características del suelo donde se revisará el proyecto.

- Shome en su estudio de 1998, definió un “Intervalo de Confianza” con el cual puedan garantizar un nivel de dispersión de los resultados. Esta dispersión resultó aceptable si se usan **Siete Registros**, en el desarrollo de esta tesis se aplicarán 07 pares de registros sísmicos los cuales serán descritos en el procedimiento.

2.2.3.2. Niveles de Desempeño

En los procedimientos, el desempeño sísmico se expresa en una serie de niveles de performance:

- a) Operacional (O)
- b) Inmediata Ocupación (IO)
- c) Seguridad de Vida (LS)
- d) Prevención al Colapso (CP)



Figura 01: Niveles de Desempeño Discreto.

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

2.2.3.3. Comportamiento de la Curva IDA

La curva IDA produce varios comportamientos interesantes en la estructura. Se muestran cuatro comportamientos observables principales.

- **Ablandado:** Su desplazamiento aumenta considerablemente, y la intensidad del movimiento del suelo aumenta ligeramente. Esto generalmente es causado por la inestabilidad dinámica.
- **Endurecido:** Tiene una curva IDA sustancialmente lineal, si la estructura permanece lineal, la curva IDA será una línea recta. La estructura con endurecimiento IDA parece seguir la regla de " igual desplazamiento ".
- **Severo Endurecimiento:** Si los movimientos crecen muy suavemente, dejan de crecer o incluso disminuyen al aumentar la intensidad del movimiento del suelo.
- **Resurrección:** Este es un fenómeno en el que la estructura que colapsó bajo la intensidad del movimiento del suelo en realidad sobrevivió al mayor nivel del movimiento del suelo.

2.2.3.4. Funciones de Desempeño

Las funciones de desempeño son representaciones gráficas de las medidas de desempeño.

Son distribuciones estadísticas que indican la posibilidad de pérdidas para una magnitud determinada y serán incluidos como resultados de futuros terremotos.

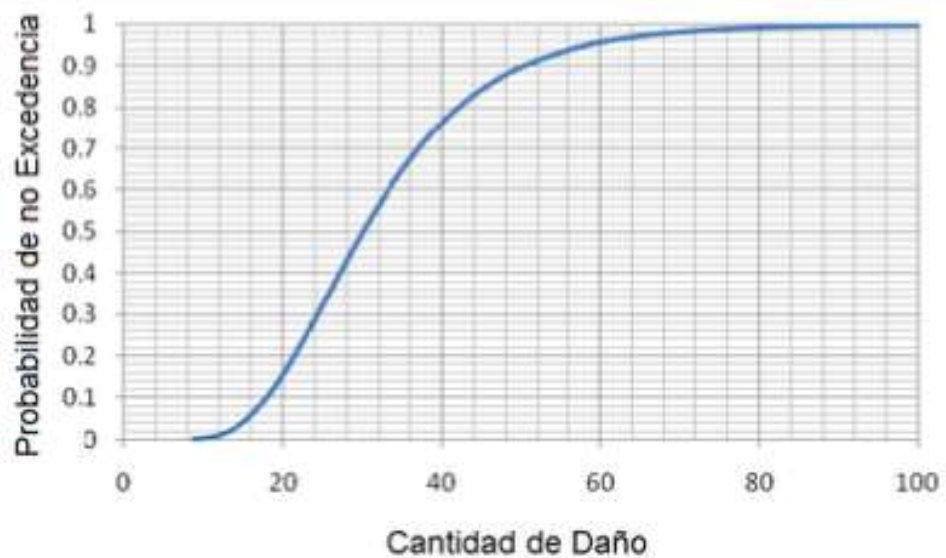


Figura 02: Función hipotética del Desempeño.

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

2.2.3.5. Tipos de Evaluación de Desempeño

Existen tres tipos de evaluaciones para medir el desempeño:

2.2.3.5.1. Evaluaciones Basadas en la Intensidad

Sirven para determinar el desempeño probable de un edificio al someterse a una intensidad sísmica especificada.

Sabiendo la intensidad se define un 5% de amortiguamiento elástico los espectros de respuesta de aceleración.

Estos tipos de evaluación se utilizan para evaluar el desempeño para la intensidad representada por un espectro de respuesta.

2.2.3.5.2. Evaluaciones Basadas en el Escenario

Son las evaluaciones en la cual un edificio se somete a un escenario de terremoto, la respuesta que produce este siniestro de magnitud específica en un lugar determinado con respecto a la edificación.

Este tipo de evaluación es de mucha utilidad para edificaciones cercanas a fallas sísmicas activas.

Son evaluaciones similares a las basadas en la Intensidad, a excepción que en este tipo de evaluación sin consideran la incertidumbre en la intensidad en los próximos sismos.

2.2.3.5.3. Evaluaciones Basadas en el Tiempo

Son las evaluaciones basadas en el desempeño probable de la edificación durante un período de tiempo determinado (1 año, 30 años o 50 años, por ejemplo).

Se tiene en cuenta todos los terremotos que pueden ocurrir en este lapso de tiempo y la probabilidad de ocurrencia asociada a cada sismo.

2.2.3.5.4. Metodología para la Evaluación

Se seguirá la metodología mostrada en el siguiente gráfico:



Figura 03: Gráfica representativa de la Metodología para evaluar el Desempeño.

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.3.5.5. Modelamiento de Edificación – Evaluación de Desempeño

El modelo del edificio que se evaluará, debe considerar en un primer lugar la recolección de datos necesarios, donde se define las áreas de riesgo y la vulnerabilidad a los efectos de un movimiento sísmico.

Debemos tener en cuenta los siguientes datos:

- **Información Básica.**

Tamaño de la edificación, costo de remplazo y tiempo de remplazo.

- **Ocupación.**

Considera la distribución de los ocupantes en la edificación y la variabilidad de estas personas en el tiempo; además, el tipo y cantidad de componentes no estructurales, así como el contenido presente en el edificio.

- **Vulnerabilidad Estructural.**

Los componentes y conjuntos deben estar correctamente detallados, los cuales deben describir su ubicación dentro del edificio.

Se deben detallar los daños que sufrirían por deformaciones y fuerzas inducidas por el terremoto.

Además, las consecuencias del daño, en términos de posibilidad de colapso y la generación del peligro a la vida, acciones de reparación necesarias, y la influencia en la ocupación del edificio luego de producido el siniestro.

- **Vulnerabilidad Sistema No Estructural.**

Componentes y conjuntos con suficiente detalle que cuantifique la ubicación dentro del edificio y las exigencias sometidas cuando ocurra un terremoto.

2.2.3.5.5.1. Modelo de Análisis – RNE E030. Diseño Sismorresistente

- El modelo matemático debe representar correctamente la distribución espacial de masas (Cargas de Diseño) en la estructura.
- El comportamiento de los elementos debe ser modelado teniendo en cuenta las siguientes características: fluencias, degradación de resistencia, rigidez, estrechamiento de lazos histeréticos y demás relacionados al comportamiento estructural.
- La resistencia de los elementos es obtenida en base a los siguientes valores: resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.
- Para los elementos que durante el análisis demuestren que permanecen en el rango elástico de respuesta, se pueden suponer propiedades lineales.
- El amortiguamiento viscoso equivalente puede tener un valor máximo del 5% del amortiguamiento crítico.
- Simular que la estructura está empotrada en la base.

2.2.3.5.6. Definir la Amenaza Sísmica lugar

2.2.3.5.6.1. Actividad Sísmica en la Región

Nuestro país está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en el planeta, por lo cual está expuesto a este peligro, que trae como consecuencia la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales.

2.2.3.5.6.2. Principales Rasgos Tectónicos

La tectónica está relacionada principalmente con el proceso de subducción de la placa oceánica (placa de Nazca) debajo de la continental (placa Sudamericana), tal como se muestra en la siguiente gráfica:



Figura 04: Esquema del proceso de convergencia entre las placas de Nazca y la Sudamericana.

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

La Cordillera de los Andes se ubica paralela al borde occidental de Sudamérica y se extiende de, Norte a Sur, desde Venezuela hasta la Tierra de Fuego en Chile.

El proceso de evolución de esta cordillera, ha permitido la formación de rasgos o estructuras importantes en la corteza

oceánica, tales como la fosa Perú-Chile, la Dorsal de Carnegie, la Dorsal de Nazca y la Fractura de Mendaña.

2.2.3.5.6.3. Distribución Espacial de los Sismos

Tavera y Buforn (1998) clasifican a los sismos en tres rangos de profundidad:

a. Sismos con Foco Superficial ($H \leq 60\text{Km}$)

Los sismos se distribuyen formando dos grupos.

El grupo **S1** considera a sismos localizados entre la fosa y la línea de Costa, estos representan aproximadamente el 90% del total de la actividad sísmica del Perú.

El grupo **S2** considera los sismos ocurridos en el interior del continente, distribuidos de norte a sur paralelos a la Cordillera de los Andes.

b. Sismos con Foco Intermedio ($60 < H \leq 300\text{Km}$)

Los sismos pertenecientes a este grupo se encuentran localizados cerca de la línea de Costa, en la zona subandina y en la región Sur sobre el Altiplano peruano-boliviano.

El último grupo presentan el 80% del total de sismos que suceden en estas profundidades.

c. Sismos con Foco Profundo ($H > 300\text{Km}$)

Pese que no son tan numerosos como los antes descritos, su tamaño es muchas veces mayor a los sismos ocurridos a menor profundidad.

Los sismos del **Grupo P1** están ubicados en el llano amazónico, cerca de la frontera Perú-Brasil.

El **Grupo P2** está localizado en el límite de Perú-Bolivia. Si bien es conocido que a esta profundidad los sismos son pocos ocurrentes, se debe esperar un sismo en este nivel cada cierto período de tiempo y manejar la información adecuada, el último sismo ocurrido de estas características data del 09 de Junio de 1994.

2.2.3.5.6.4. Distribución de los Sismos en Profundidad

La distribución de los sismos en profundidad está ilustrado a través de nueve secciones, siguen una dirección perpendicular al eje de la Fosa Oceánica y línea de costa.

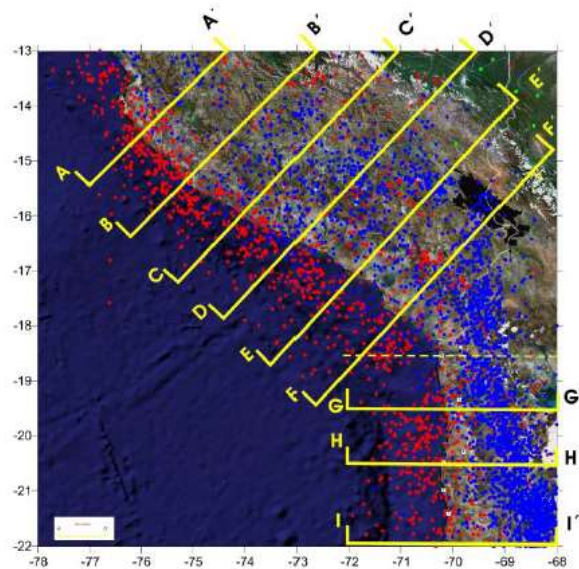


Figura 05: Distribución de Perfiles Sísmicos (1984-2007).

Fuente: NEIC

1) Sección A-A':

Los focos sísmicos se encuentran muy cerca de la superficie en el océano. Entre la fosa oceánica y la línea de costa, formando un ángulo aproximado entre 21 a 22° con la horizontal hasta una profundidad de 130Km.

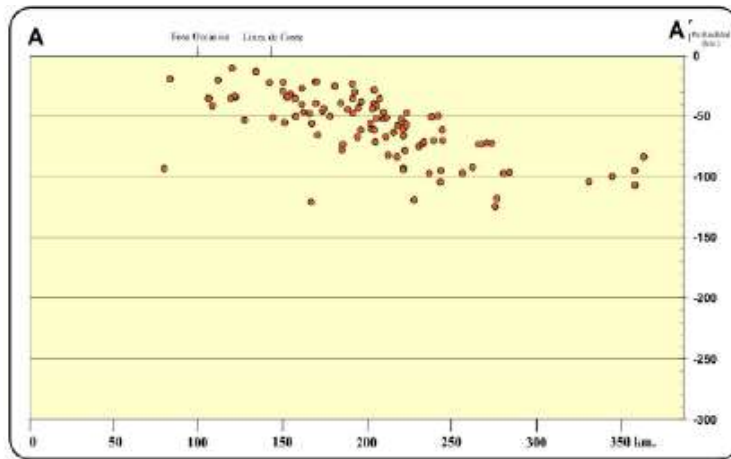


Figura 06: Sección A-A'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

2) Sección B-B':

Los sismos se distribuyen entre la fosa oceánica y la línea de costa, describiendo un ángulo aproximado de 23° con la horizontal hasta una profundidad de 80km para luego volverse ligeramente horizontal.

Se observa también una actividad sísmica intra-placal continental, los sismos tienen una profundidad de 30 a 50Km.

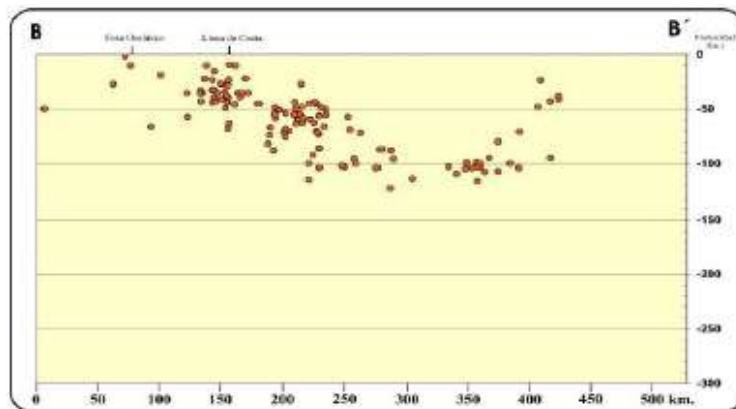


Figura 07: Sección B-B'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

3) Sección C-C':

Los sismos se distribuyen muy cerca de la superficie en el océano, es decir, entre la fosa oceánica y la línea de costa, formando un ángulo de 24° con la horizontal hasta una profundidad de 70Km para hacerse horizontal con sismos que tienen una profundidad de 70 a 120Km.

Se aprecia una actividad sísmica intra-placa continental, con sismos que tienen una profundidad de 5 a 60Km. El sismo más profundo en esta sección tiene 170Km.

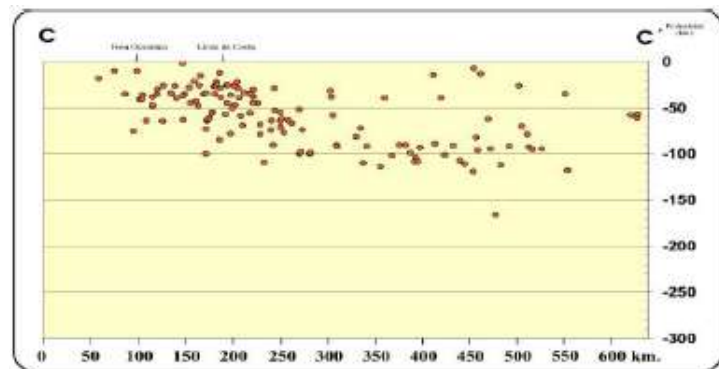


Figura 08: Sección C-C'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

4) Sección D-D':

En esta sección la actividad sísmica es más densa, la distribución de los sismos en profundidad se encuentra cerca de la superficie en el océano, formando un ángulo aproximado de 26° con la horizontal hasta una profundidad de 110Km para luego volverse horizontal con sismos que presentan una profundidad hasta los 160Km.

El sismo más profundo en esta sección tiene 240Km.

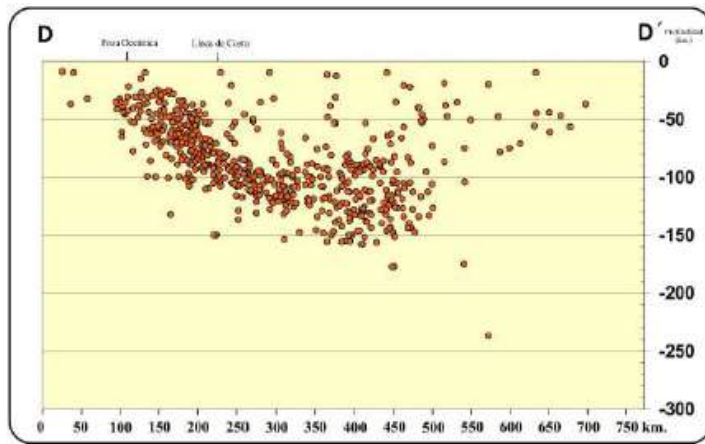


Figura 09: Sección D-D'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

5) Sección E-E':

La subducción en esta zona es normal, existiendo una distribución regular de la actividad sísmica. Describen un ángulo aproximado de 29° con la horizontal hasta una profundidad de 220Km.

El sismo más profundo en esta sección tiene 260Km.

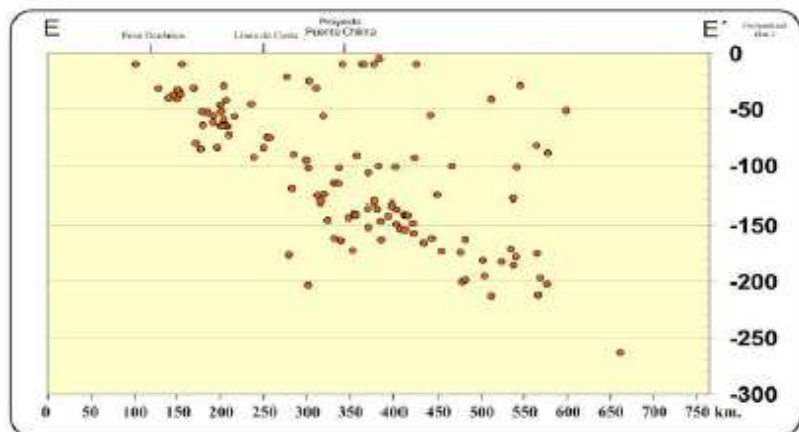


Figura 10: Sección E-E'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

6) Sección F-F':

En esta sección se puede observar que la subducción es normal, existe un incremento de la actividad sísmica inter-placa de subducción la cual forma un ángulo de 30° con la horizontal hasta una profundidad de 300Km.

Además, se tiene una actividad sísmica intra-placa continental.

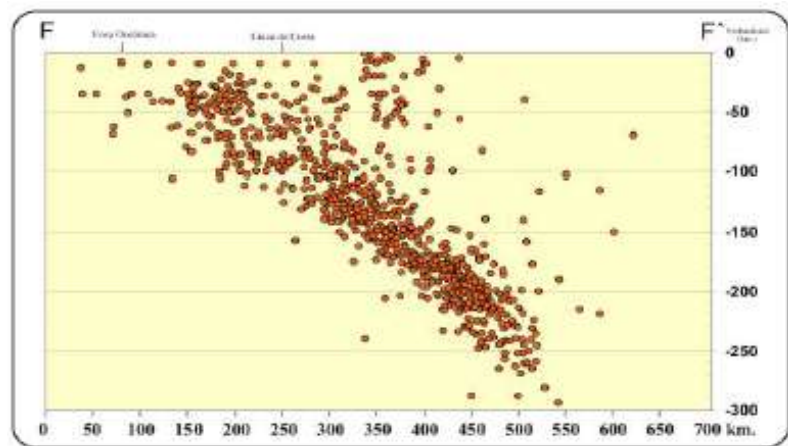


Figura 11: Sección F-F'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

7) Sección G-G':

Los focos sísmicos se encuentran distribuidos de manera regular entre la fosa oceánica y la línea de costa, aumentan gradualmente hacia el interior del continente.

Entre los 100 a 150 Km de profundidad se presenta un incremento de actividad sísmica intermedia.

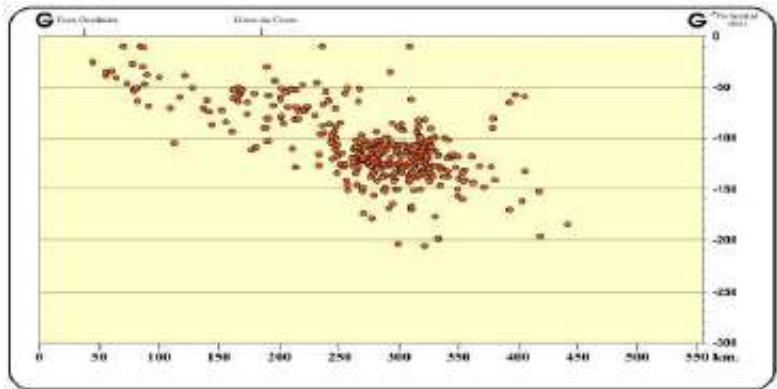


Figura 12: Sección G-G'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

8) Sección H-H':

La actividad sísmica se desarrolla entre la fosa oceánica y la línea de costa, con un aumento gradual hacia el interior del continente.

Hay un agrupamiento de la actividad sísmica entre los 90 a 160Km de profundidad. El sismo más profundo se encuentra a 280 km.

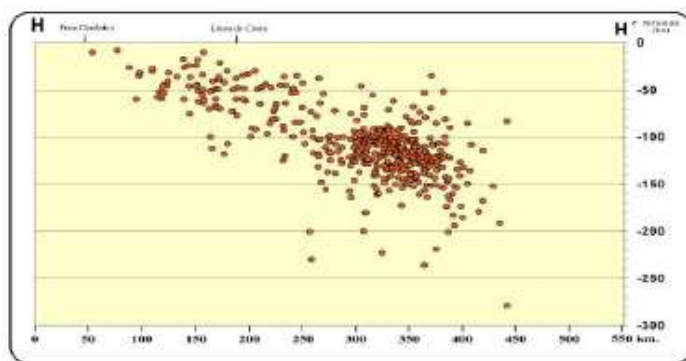


Figura 13: Sección H-H'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

9) Sección I-I':

Se observan en este sector dos agrupamientos de sismos.

El primero es una actividad sísmica superficial distribuida de manera regular entre la fosa oceánica y la línea de costa, aumentando gradualmente hacia el continente.

El segundo presenta una actividad sísmica intermedia entre los 70 a 180 Km de profundidad.

El sismo más profundo se encuentra a 220Km.

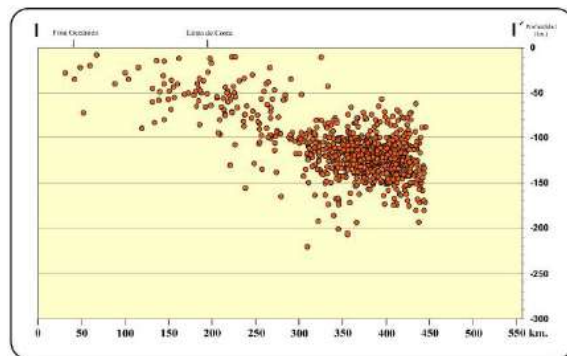


Figura 14: Sección I-I'

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

2.2.3.5.6.5. Determinación de Valores de Aceleración

Los valores de aceleraciones máximas registradas en el Perú son pocos, la mayoría corresponde a terremotos subductivos.

En primer lugar, se establecen los parámetros sismológicos para poder determinar el Peligro Sísmico.

La siguiente tabla muestra valores representativos de criterios empleados en la selección de movimientos

sísmicos. La selección depende del tipo de proyecto a evaluar.

Tabla 1: *Valores representativos en la selección de los sismos.*

| FUENTE | VIDA UTIL (t años) | PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA | TIEMPO DE RETORNO (años) |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|---|
| Instalaciones con capacidad limitada para resistir deformaciones y peligro de contaminación | 50 a 100 | 0,01 | >5000 |
| Equipo de S/E eléctricas de alto voltaje | 50 | 0,03 | 1600 |
| Puentes o viaductos de arterias principales, obras principales | 100 | 0,10 | 950 |
| Tanques de almacenamiento de combustible, canchas de lixiviación | 30 | 0,05 | 590 |
| Edificaciones para viviendas | 50 | 0,10-0,20 | 225/500 |
| Construcciones temporales que no amenacen obras de importancia mayor | 15 | 0,30 | 40 |

Fuente: Grases (1989).

2.2.3.5.6.5.1. Método Probabilístico

Cornell (1968) propuso una metodología para realizar el análisis probabilísticamente. Mc Guire (1974-1976) sistematizó esta tecnología en su programa de cómputo Risk; este software es el único que determina los niveles de demanda sísmica para la aceleración máxima en la base del terreno.

El método se basa en la determinación y caracterización de las fuentes sismogénicas que definen la sismicidad de la región de la edificación en estudio. Para desarrollar esto, se revisa la actividad sísmica del pasado y analizar las características tectónicas de la región.

Este análisis es expresado en curvas de Probabilidad Anual de Excedencia vs. Aceleración Espectral.

2.2.3.5.6.5.2. Método Determinístico

En primer lugar, se seleccionará terremotos históricos representativos (máximas intensidades) en un radio aproximado de 200Km para el área de estudio.

Se empleará la ecuación de atenuación para aceleraciones máximas propuesta por Schaad y Saragoni:

$$a = \frac{46.4e^{0.8Ms}}{(R + 60)^{0.915}} \left(\frac{cm}{seg^2} \right)$$

Dónde:

M_s = Magnitud

R = Distancia Hipocentral

2.2.3.5.6.6. Parámetros de Diseño y Terremotos de Evaluación de Seguridad

Los sismos usados para el diseño y/o análisis de evaluación de seguridad de obras de ingeniería civil, han sido definidos por los siguientes:

2.2.3.5.6.6.1.MCE – “Maximun Credible Earthquake”

Es determinado por un Análisis Determinístico del movimiento de los máximos terremotos.

El MCE, es el sismo más grande producido del movimiento del terreno, esto puede afectar al área del proyecto.

El análisis determinístico se debe realizar de la siguiente manera:

- En primer lugar, relacionar la geología y la historia sísmica del área en un radio de 200 Km.
- Agrupar los terremotos históricos y las ubicaciones epicentrales de las zonas sísmicas seleccionadas para el área del estudio.
- Determinar la relación de atenuación apropiada y calcular el movimiento del terreno resultante al sitio de cada valor de MCE.
- Seleccionar al evento con mayor valor de la aceleración pico del terreno (PGA) como el MCE para el sitio.

2.2.3.5.6.6.2.OBE – “Operating Basis Earthquake”

El OBE es un evento (terremoto) que es muy probable que ocurra dentro de la vida de servicio del proyecto. La estructura está diseñada para resistir o permanecer en operación.

Puede determinarse sobre una base probabilística considerando la geología local, regional y la sismología.

Este sismo se encuentra entre el evento de 475 y el evento de 1000 años de período de retorno.

2.2.3.5.6.3.MDE – “Maximum Design Earthquake” / SEE – “Safety Evuluation Earthquake”

El Sismo de Diseño Máximo, se define como el evento que la estructura debe soportar y mantenerse en funcionamiento sin una falla catastrófica.

Es el terremoto que produce el máximo nivel de movimiento del terreno para el cual una estructura está diseñada.

Este sismo se encuentra entre el evento de 1000 años y el Sismo Máximo Creíble (MCE), el valor de la aceleración determinado para el MDE es de 0.79g.

2.2.3.5.6.7. Registros de Aceleraciones a Usar

La guía FEMA P695 (2009) recomienda utilizar un mínimo de 05 pares de registros, sin embargo, la norma técnica peruana exige un mínimo de 07 (la cual hemos optado emplear).

Los registros a utilizar deben cumplir una serie de objetivos descritos a continuación:

- **Código Consistente:** Los sismos seleccionados deberán estar constituidos por pares de componentes de aceleración horizontal los cuales se deben seleccionar y escalar individualmente de acuerdo a lo señalado en la normativa ASCE.
- **Movimiento Sísmicos Fuertes:** Los sismos seleccionados deben pertenecer al nivel MCE.
- **Gran número de registros:** De esta manera los resultados de las evaluaciones pueden describir

adecuadamente tanto el valor de la mediana y los registros de la variabilidad de la capacidad de colapso.

- **Estructura de Tipo Independiente:** Los registros sísmicos deben poder ser aplicados a cualquier tipo de estructura; por lo tanto, los registros no deben depender un período u otras propiedades de fomento específico de la estructura.
- **Sitio Amenaza Independiente:** Los registros no deben depender de la desagregación de peligros u otras propiedades sitio o riesgo-dependiente.

2.2.3.5.7. Analizar la Respuesta del Edificio

2.2.3.5.7.1. NO-Linealidad Geométrica

Está basado en las relaciones de compatibilidad y de equilibrio en un estado de deformación estructural usando una co-rotación que describe el movimiento de la misma.

Las transformaciones cinemáticas están asociados a grandes desplazamientos y rotaciones, en el modelo tridimensional basado en elementos estructurales viga-columna.

Este procedimiento nos permitirá conocer las deformaciones independientes y las fuerzas internas del elemento, como también la definición natural de los efectos de las no-linealidades geométricas en la matriz de rigidez.

2.2.3.5.7.2. NO-Linealidad de los Materiales

Se debe realizar el uso de **fibras** para representar el comportamiento no lineal de las secciones transversales,

las fibras son asociadas a una relación uniaxial esfuerzo-deformación.

El estado seccional de esfuerzo-deformación de los elementos viga-columna son obtenidos mediante la integración de la respuesta esfuerzo-deformación uniaxial no lineal de las fibras individuales.

Cuando el comportamiento del material es elástico y lineal, ambos enfoques producen el mismo resultado, es decir, solo actúan fuerzas nodales sobre el elemento.

2.2.3.5.7.3. Estados de daño en los elementos estructurales

Williams & Sexsmith (2007) definen el estado de daño en los elementos estructurales mediante una “Sectorización de los diagramas momento-curvatura”. Se basan en una adecuada capacidad a flexión de los elementos y que el efecto de corte no va afectar directamente a alguno de los elementos.

Tabla 2: *Escala de Índices de Daño*

| DAÑO | DESCRIPCIÓN |
|----------------------|---|
| $D \leq 0.10$ | Sin daño o daño localizado. |
| $0.10 < D \leq 0.25$ | Daño menor, agrietamientos pequeños. |
| $0.25 < D \leq 0.40$ | Daño moderado, agrietamiento severo, desprendimiento de recubrimiento localizado. |
| $0.40 < D < 1.00$ | Daño severo, desprendimiento del recubrimiento, refuerzo expuesto. |
| $D \geq 1.00$ | Colapso. |

Fuente: Williams & Sexsmith (2007).

2.2.3.5.7.4. Evaluación Capacidad de Colapso

Los resultados de cada análisis son representados en figuras en función de la intensidad espectral (**Sa**) del movimiento del suelo (Eje Y) versus la deriva en cada análisis Time-History (Eje X).

La predicción de Colapso se puede determinar directamente del resultado del análisis dinámico a través de los desplazamientos laterales excesivos o evaluando indirectamente a través del límite de criterio de desempeño alcanzado.

Los valores de la medida de intensidad se obtienen a partir de los máximos alcanzados en cada amplificación del Acelerograma.

Una vez figuradas las Curvas IDA con las aceleraciones en el eje de las abscisas y las derivas en el eje de las ordenadas, se procede a intersectar los valores de los estados de daño contra cada una de las curvas.

La aceleración para la cual se alcanza un determinado estado de daño corresponderá a la intersección del valor de la deriva de entrepiso que define ese valor de estado de daño con la primera curva IDA.

Para determinar las curvas de fragilidad se utilizan las aceleraciones determinadas para los estados de daño. Para un estado de daño, la curva de fragilidad representa la probabilidad de alcanzar o superar ese estado de daño.

Finalmente, figuradas las curvas de fragilidad a partir del valor de la aceleración correspondiente al emplazamiento de la estructura, se determina la probabilidad de excedencia de un estado límite de daño específico. Estos

valores permitirán la toma de decisiones en cuanto a la necesidad de reforzar la estructura para reducir la probabilidad de que este alcance estados avanzados de daños.

2.2.3.5.8. Calcular el Desempeño

El desempeño sísmico se describe a detalle en el punto 2.2.4.

El RNE a través de la norma E.030 “Diseño Sismorresistente” indican ciertos parámetros para el procesamiento de resultados:

- Si se utilizan siete a más juegos de registros de sismos, las fuerzas, deformaciones y distorsiones de entrepiso serán evaluados a partir del promedio de los resultados máximos obtenidos del respectivo análisis.
- Si se utilizan menos de 07 registros de aceleración, solo se utilizarán los valores máximos.
- Las derivas máximas de entrepiso no deben exceder el factor 1.25 máximo de los valores indicados en la siguiente tabla.

Tabla 3: *Límites para la Deriva de Entrepisos*

| LIMITES PARA LA DERIVA DE ENTREPISOS | |
|---|---|
| Material Predominante | (Δ_i / h_{ei}) |
| Concreto Armado | 0.007 |
| Acero | 0.010 |
| Albañilería | 0.005 |
| Madera | 0.010 |
| Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada | 0.005 |

Fuente: E.030 Diseño Sismorresistente.

- Las deformaciones en los elementos no deben exceder $2/3$ de aquellas para los que perderían la capacidad portante para cargas verticales o para las que se tendría una pérdida de resistencia en exceso a 30%.
- Se verificará la resistencia de los elementos dividiendo los resultados obtenidos del análisis entre el factor $R=2$, empleándose las normas según el material analizado.

2.2.4. Desempeño Sísmico

El diseño basado en el Desempeño Sísmico es la selección de adecuados esquemas de evaluación que permitan el dimensionado y detallado de los componentes estructurales, no estructurales y del contenido, de manera que para un movimiento especificado y con diferentes niveles de confiabilidad, la estructura no debería ser dañada más allá de determinados límites. Este empezó a desarrollarse en su forma actual a partir de la década de 1990.

El desempeño se cuantifica según la cantidad de daño sufrido por un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto de este en la funcionalidad de la mencionada edificación.

La definición del comportamiento esperado de una estructura está basado estructurado en las siguientes fases:

- **Fase Conceptual.** En esta primera etapa, se analiza el comportamiento de una manera cualitativa en función de 03 conceptos fundamentales:
 - 1) Nivel de Desempeño.
 - 2) Nivel de Amenaza.
 - 3) Desempeño esperado de la edificación.
- **Fase Numérica.** Orientada al diseño propiamente dicho.

- **Fase de Implementación.** La calidad del diseño debe ser garantizada por un adecuado control de la calidad durante la ejecución y mantenimiento de obras.

2.2.4.1. Nivel de Desempeño

El Nivel de Desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable en función de los posibles daños físicos que pueda sufrir la edificación, las personas que ocupan el edificio y la funcionalidad de éste luego de suceder un evento sísmico.

Es una expresión de la máxima extensión del daño en toda la edificación relacionado con su funcionalidad.

Los niveles de desempeño se expresan en términos cualitativos relacionados al impacto en los usuarios y en términos técnicos ingenieriles para el diseño (extensión del deterioro, degradación de elementos estructurales, etc.).

2.2.4.1.1. Propuesta VISION 2000

El Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) define cuatro niveles de desempeño identificados a través de los siguientes calificadores:

A. Totalmente Operacional

En este nivel no se presentan daños. Las consecuencias sobre los usuarios de la edificación son despreciables. Edificación totalmente segura para los ocupantes. No se requieren reparaciones.

B. Operacional

Ocurren daños moderados en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, se pueden presentar daños ligeros en algunos elementos estructurales.

El daño es limitado y no compromete la seguridad de la edificación, la cual debería permanecer disponible para continuar con sus funciones a la normalidad una vez terminado el movimiento telúrico; tener en cuenta que los daños en elementos no estructurales y mobiliario, puede retardar la reanudación de actividades. En este nivel, por lo general se requieren de algunas reparaciones menores.

C. Seguridad de Vida

En este nivel de desempeño se presentan daños moderados en la edificación (Elementos estructurales, no estructurales y contenido).

Se observa una degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema.

Se presenta interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y perturbación en las vías de escape.

Las instalaciones quedan fuera de servicio y el edificio requerirá reparaciones importantes.

D. Pre – Colapso

En este nivel de desempeño la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura, aproximándose al colapso.

Se presenta una interrupción de servicios y vías de escape. La edificación es completamente insegura para sus ocupantes. Las reparaciones pueden resultar no factible técnica y/o económicamente.

Tabla 4: Estados de Daño y Niveles de Desempeño

| 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 estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida. |
| Completo | Colapso | Colapso estructural. |

Fuente: SEAOC (1995)

2.2.4.1.2. Propuesta ATC-40

La propuesta del ATC-40 en el año 1996 considera por separado el nivel de desempeño para la estructura y el nivel de desempeño para los componentes no estructurales, la combinación de estos parámetros nos conduce a la definición del “nivel de desempeño de la edificación”.

2.2.4.1.2.1. Nivel de Desempeño para la estructura

Describen los posibles estados de daño sobre la estructura.

a. Inmediata Ocupación (SP-1)

El sistema resistente a cargas verticales y laterales permanece prácticamente inalterado. El daño estructural (de haber ocurrido) es muy limitado, peligro a la vida es despreciable y la edificación se mantiene funcionando en su totalidad.

b. Daño Controlado (SP-2)

Estado de daño que varía entre las condiciones límite de inmediata ocupación y seguridad.

La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que sean afectados.

c. Seguridad (SP-3)

Es muy probable la ocurrencia de un daño significativo en la estructura, sin embargo, la mayoría de elementos estructurales se mantienen.

La vida de los ocupantes de interiores está amenazada, incluso la de los exteriores puede verse afectada.

Costos elevados asociados a las reparaciones estructurales.

d. Seguridad Limitada (SP-4)

Estado de daño que varía entre Límite de Seguridad y estabilidad estructural. Alto peligro para los ocupantes.

e. Estabilidad Estructural (SP-5)

Estado de daño en el cual el sistema estructural está en el límite de experimentar un colapso parcial o total.

Se han producido daños sustanciales, con una considerable disminución de la rigidez y resistencia del sistema a cargas laterales.

Existe un elevado peligro para ocupantes y transeúntes, considerar un peligro elevado en caso de réplicas.

Estas edificaciones requieren reparaciones estructurales significativas.

f. No Considerado (SP-6)

Se limita a considerar el desempeño de los elementos no estructurales.

2.2.4.1.2.2. Nivel de desempeño para los componentes no estructurales

Describen los posibles estados de daño de los componentes no estructurales:

a) Operacional (NP-A)

Una vez sucedido el sismo, los sistemas, componentes y elementos no estructurales se encuentran sin daño y permanecen funcionando.

Todos los equipos y mobiliario deben permanecer operativos, aunque algunos servicios externos posiblemente no se encuentren disponibles.

b) Inmediata Ocupación (NP-B)

Los componentes permanecen en su sitio, con pequeñas interrupciones que no comprometen o limitan su funcionamiento.

Se mantiene el estado de seguridad para los ocupantes.

c) Seguridad (NP-C)

Considera daño en todos los elementos no estructurales y componentes, pero sin colapso o interrupción de los mismos.

Es muy probable que el equipamiento y la maquinaria queden fuera de servicio.

En términos de personas, es posible que se presenten algunos afectados, el riesgo de daños por exposición a componentes no estructurales es bajo.

d) Amenaza (NP-D)

Importante daño en los sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin presencia de colapso de grandes elementos que pongan en peligro grupos grandes de personas.

Peligro generado por los daños en componentes estructurales es alto.

e) No Considerado (NP-E)

Se limita a considerar el desempeño de los elementos estructurales.

2.2.4.1.2.3. Niveles de Desempeño de la Edificación

Describen los posibles estados de daño para la edificación.

Estos niveles son el resultado de la apropiada combinación de los niveles de desempeño de la estructura y de los componentes no estructurales.

En la tabla 5 se observan estas combinaciones. La nomenclatura NR corresponde a niveles de desempeño No Recomendables en el sentido que no deben ser considerados en la evaluación.

Tabla 5: Niveles de Desempeño de la edificación

| | <i>SP-1</i> <i>Inmediata</i> <i>Ocupación</i> | <i>SP-2</i> <i>Daño</i> <i>Controlado</i> <i>(Rango)</i> | <i>SP-3</i> <i>Seguridad</i> | <i>SP-4</i> <i>Seguridad</i> <i>limitada</i> <i>(rango)</i> | <i>SP-5</i> <i>Estabilidad</i> <i>Estructural</i> | <i>SP-6</i> <i>No</i> <i>considerado</i> |
|---|---|---|---------------------------------|--|---|--|
| <i>NP-A</i> <i>Operacional</i> | 1-A Operacional | 2-A | NR | NR | NR | NR |
| <i>NP-B</i> <i>Inmediata</i> <i>Ocupación</i> | 1-B Inmediata Ocupación | 2-B | 3-B | NR | NR | NR |
| <i>NP-C</i> <i>Seguridad</i> | 1-C | 2-C | 3-C Seguridad | 4-C | 5-C | 6-C |
| <i>NP-D</i> <i>Amenaza</i> | NR | 2-D | 3-D | 4-D | 5-D | 6-D |
| <i>NP-E</i> <i>No</i> <i>Considerado</i> | NR | NR | 3-E | 4-E | 5-E Estabilidad Estructural | No Aplicable |

Fuente: ATC-40 (1996).

1. Operacional (1-A)

Relacionado con la funcionalidad de la edificación. Daños estructurales limitados. Sistemas y elementos no estructurales permanecen funcionando.

Las reparaciones requeridas no afectarán el funcionamiento de la edificación.

La seguridad de los ocupantes se mantiene.

Los servicios de la edificación siguen en operación, aunque los externos puede que no estén disponibles.

2. Inmediata Ocupación (1-B)

Es el criterio más usado para edificaciones esenciales.

Espacios y mobiliario de la edificación permanecen utilizables. Servicios primarios permanecen utilizables.

Servicios secundarios pueden presentar daños de fácil y rápida reparación.

La seguridad de los ocupantes está garantizada.

3. Seguridad Vital (3-C)

Este nivel corresponde a un estado de daño que presenta una baja probabilidad de atentar contra la vida.

Caracterizado por presentar daños limitados en los componentes estructurales; además de presentar una eventual falla de los elementos no estructurales, con posibilidad de fallo en los servicios primarios y elementos secundarios, siempre que no atenten contra la vida de los usuarios.

4. Estabilidad Estructural (5-E)

En este estado de daño no queda reserva del sistema resistente a carga lateral que pueda soportar alguna réplica, el peligro para la vida es muy alto.

El nivel de daño estructural implica que no se requiere la revisión de los componentes no estructurales.

El peligro al que están expuestos los ocupantes y transeúntes al colapso estructural, exige el desalojo de la edificación.

2.2.4.2. Desempeño esperado de la edificación

Describe un comportamiento sísmico que puede considerarse satisfactorio para una edificación sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades.

Es una expresión del comportamiento deseado que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico.

Los niveles de desempeño designados están relacionados con los niveles de movimientos especificados. Su selección debe estar basado en las características de ocupación, las instalaciones, consideraciones económicas relacionadas a reparaciones e interrupción de servicios, y temas de importancia de la edificación en el ámbito histórico y cultural.

El desempeño esperado está ligado a los “Niveles de Amenaza Sísmica” que puede ser expresado en forma probabilística o determinística.

Los enfoques probabilísticos están relacionados con una probabilidad de ocurrencia.

De tal manera, el enfoque determinista está propuesto en términos del movimiento máximo esperado para un evento, con una magnitud determinada y relacionado a una fuente específica. Estos movimientos se especifican en términos ingenieriles (aceleraciones pico, espectros de respuesta, etc.) relacionados con el **período medio de retorno** o la **probabilidad de excedencia**.

El período medio de retorno es una expresión (en años) del período de tiempo promedio entre la ocurrencia de sismos que producen efectos del mismo orden de severidad.

La probabilidad de excedencia es una representación de la posibilidad que los efectos de un sismo excedan niveles de efectos

determinados en un tiempo especificado de exposición, la unidad está en años.

Se representan por la siguiente fórmula:

$$T = - t / [\ln(1-p)]$$

T: Período medio de retorno [años]

p: Probabilidad de excedencia

t: Tiempo de exposición [años]

2.2.4.2.1. Propuesta VISION 2000

El comité VISION 2000 define 04 niveles de amenaza sísmica, los cuales veremos en la tabla siguiente:

Tabla 6: *Niveles de Desempeño de la edificación*

| <i>Nivel del movimiento sísmico</i> | <i>Período medio de retorno T (años)</i> | <i>Probabilidad de excedencia (p,t)</i> |
|-------------------------------------|--|---|
| Frecuente | 43 años | 50% en 30 años |
| Ocasional | 72 años | 50% en 50 años |
| Raro | 475 años | 10% en 50 años |
| Muy Raro | 970 años | 10% en 100 años |

Fuente: SEAOC (1995)

El desempeño esperado establece los requerimientos mínimos sobre el desempeño sísmico ante los diferentes niveles de amenaza. La tabla 7 reproduce los niveles recomendados de desempeños esperados para las edificaciones, según su clasificación conforme al uso de la edificación.

Tabla 7: Niveles recomendados de desempeños esperados

| 1: Instalaciones Básicas 2: Instalaciones Esenciales 3: Instalaciones de Seguridad Crítica 0: Desempeño inaceptable | | Nivel de Desempeño Sísmico | | | |
|--|--------------------------|----------------------------|-------------|-----------|---------|
| | | Totalmente Operacional | Operacional | Seguridad | Colapso |
| Nivel del Movimiento Sísmico | Frecuente (T=43 años) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Ocasional (T=72 años) | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | Raro (T=475 años) | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | Muy Raro (T=970 años) | - | 3 | 2 | 1 |

Fuente: SEAOC (1995)

2.2.4.2.2. Propuesta del ATC-40

La propuesta del ATC-40 de 1996 define tres niveles de amenaza correspondiente a los siguientes movimientos sísmicos:

- **Sismo de Servicio (SS):** Presentan una baja a moderada intensidad, ocurrencia frecuente. Generalmente asociados con un 50% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, y un período de retorno de aproximadamente 72 años; estos sismos pueden producirse varias veces durante la vida útil de la edificación.
- **Sismo de Diseño (SD):** Corresponde a movimientos de moderada a severa intensidad, son de ocurrencia poco frecuente, generalmente asociados con un 10% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años y un período de retorno de aproximadamente 475 años.

Se espera que ocurra al menos una vez en la vida útil de la edificación.

Usados para el diseño de edificaciones convencionales.

- **Sismo Máximo (SM):** La intensidad de estos varían entre severos a muy severos, siendo de muy rara ocurrencia.

Asociados con un 5% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, con un período medio de retorno de aproximadamente 975 años.

Son usados para el diseño de edificaciones esenciales por muchas normas internacionales.

El **nivel de desempeño esperado de la edificación**, se establece identificando primero los límites de daños tolerables en una edificación y los niveles de movimientos del terreno debido a sismos.

Tabla 8: Niveles de desempeño esperado: criterio de seguridad

| Nivel del movimiento del terreno | Nivel de desempeño de la edificación | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| | Operacional | Inmediata Ocupación | Seguridad Vital | Estabilidad Estructural |
| Servicio (SS) | | | | |
| Diseño (SD) | | | X | |
| Máximo (SM) | | | | X |

Fuente: ATC-40 (1996)

2.2.4.3. Consideraciones para Edificaciones Esenciales

En una edificación esencial es primordial el mantenimiento de sus funciones antes, durante y después de un terremoto; esta condición nos exige considerar parámetros amplificados de desempeño estructural.

Tomando como base la propuesta del ATC-40, se ha desarrollado equivalencias con otras guías de diseño:

Tabla 9: Nivel de desempeño esperado para edificaciones esenciales

| Nivel del movimiento del terreno | Nivel de desempeño de la edificación | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------|
| | Vision 2000 | Triservices Essential | California Hosp/Essent. | VA Hospital |
| Servicio (SS) | 1A | 1B | | |
| Diseño (SD) | 1B | | 1B | |
| Máximo (SM) | 3C | 3C | 5E | 1A |

Fuente: Evaluación Dinámica Incremental (Jorge Cabanillas).

2.2.4.4. Evaluación Comportamiento Sísmico – Edificaciones Esenciales

Una vez completada la fase conceptual y de haber establecido los niveles de daños tolerables, se requiere establecer la capacidad de satisfacer el nivel de desempeño esperado.

Desde el punto de vista operativo, la evaluación sísmica de una edificación exige el análisis de las pérdidas potenciales y/o daños probables producidos por las diferentes escalas del movimiento telúrico. El desarrollo de esta evaluación corresponde a la **fase numérica**, que comprende el diseño de la edificación.

2.3. Marco conceptual

✓ **Modelamiento Estructural**

Corresponde a la etapa del diseño estructural de la edificación, en la cual se definen y analizan las características de la estructura: Elementos estructurales (Columnas, vigas, losas), materiales, cargas a soportar por la estructura, etc.

✓ **Aceleración Espectral**

Es una representación de lo que experimenta el edificio, se modela como una partícula en una barra vertical sin masa que tiene el mismo período natural de vibración que el edificio.

✓ **Acelerograma**

Registro de la aceleración en ocupación del tiempo, en un lugar exacto, como el terreno o las edificaciones, que se miden a lo largo de la duración del sismo. Su registro es mediante acelerógrafos.

Por lo general, la crónica de las aceleraciones se registra en tres componentes: dos de ellos en la orientación horizontal (llamadas transversal y longitudinal) y otra en la orientación vertical. Frecuentemente el instrumento se orienta de forma que la componente longitudinal coincida con la dirección Norte-Sur.

✓ **Comportamiento elástico lineal**

Es el accionar visto en un material cuando la deformación es de manera directa proporcional a la fuerza aplicada, y, al ocultar la fuerza, el material recupera totalmente su forma original, sin deformación persistente o residual.

✓ **Comportamiento Histerético**

Este accionar está descrito por la relación entre el instante aplicado(fuerza) y el efecto que produce(giro) en un elemento estructural bajo ciclos de descarga y carga.

✓ **Registros de Aceleración**

Los registros sísmicos cuentan cada uno con dos componentes en direcciones ortogonales. Cada conjunto de aceleraciones del terreno consiste en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales.

Por cada registro sísmico (par de componentes horizontales de movimiento de suelo) se debe realizar un espectro de pseudo aceleración, el cual debe ser escalado por un factor en el rango de períodos de $0,2T$ y $1,5T$ (donde T es el período fundamental).

✓ **Daño sísmico**

Representa el deterioro de los elementos estructurales (vigas, columnas, losas) de la edificación.

✓ **Ductilidad**

La ductilidad se define como la aptitud de un elemento estructural a deformarse más allá de su límite elástico.

✓ **Espectro de demanda**

Este comportamiento enlaza el movimiento espectral con la aceleración espectral.

✓ **Espectro de respuesta elástica**

Simbolizan parámetros máximos de respuesta frente a un terremoto preciso y comúnmente tienen dentro numerosas curvas que piensan diferentes causantes de amortiguamiento.

Se usan principalmente para estudiar las propiedades del terremoto y su efecto sobre las construcciones. Las curvas de los espectros de respuesta muestran variantes bruscas, con varios picos y valles, que resultan de la dificultad del registro de aceleraciones del terremoto.

✓ **Peligro sísmico**

Es la posibilidad de que un fenómeno físico ocurra como efecto de un terremoto, ocasionando efectos adversos a la actividad humana. Estos fenómenos aparte del movimiento de lote tienen la posibilidad de ser, la falla del lote, la licuefacción, la deformación tectónica, las crecidas de agua, etc.

✓ **Rótulas plásticas**

Son dispositivos de amortiguamiento de energía que se utilizan para detallar la deformidad de cierta fracción en una viga en la cual sucede la flexión de plástico.

✓ **Vulnerabilidad sísmica**

Es un exclusivo valor que facilita clasificar a las construcciones según la calidad estructural intrínseca de las mismas, dentro de un rango de nada vulnerable a muy vulnerable frente la acción de un terremoto.

2.4. Hipótesis

El bloque estudiado del Hospital “Virgen de la Puerta” cuenta con un alto nivel de desempeño sísmico; clasificándolo en un nivel “Operacional” ante una amenaza de un sismo raro, y muestra bajos valores de daño locales en sus elementos estructurales analizados a través del método IDA.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente:

El Hospital “Virgen de la Puerta”.

Tabla 10: *Variable Independiente*

| VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADOR | UNIDAD | INSTRUMENTO |
|--------------------------------|--------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| Hospital “Virgen de la Puerta” | Área techada | Número de pisos | Metros cuadrados | Planos de la estructura. |

Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. Variable Dependiente:

Desempeño Sísmico.

Tabla 11: *Variable Dependiente*

| VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADOR | UNIDAD | INSTRUMENTO |
|-------------------|---------------------|--|--------------|--------------------------------------|
| Desempeño Sísmico | Registros Sísmicos | Niveles de movimiento sísmico | Aceleración | CENSID |
| | Derivas inelásticas | Clasificación Tabla N° 11 , del Artículo 32 de la E-0.30 | Adimensional | IDA (Análisis Dinámico Incremental) |

| | | | | |
|--|-----------------------------------|---|--|--|
| | Curva Capacidad | Relación de desplazamiento aceleración. | Medida de daño | |
| | Niveles de desempeño | Categoría según el SEAOC | <ul style="list-style-type: none"> - Totalmente operacional - Operacional - Seguridad - Pre colapso - Colapso | |
| | Coefficiente de Reducción Sísmica | Relación de cortante cedente y cortante elástica. | Adimensional | |

Fuente: Elaboración propia.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

- Por su FINALIDAD: Es una investigación Aplicada, pues se someterá a una edificación existente a un Análisis dinámico incremental.
- Por su PROFUNDIDAD: Es una investigación Descriptiva, ya que tiene como objetivo determinar el desempeño sísmico de la estructura a través del análisis dinámico incremental.

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

Hospital Virgen de la Puerta del distrito de la Esperanza en la ciudad de Trujillo.

3.2.2. Muestra

Módulo B1 del Hospital “Virgen de la Puerta” en el distrito de La Esperanza en la ciudad de Trujillo, Departamento de La Libertad.

3.3. Diseño de Investigación

Diseño de Contrastación.



Figura 15: Esquema del Diseño de Investigación

Fuente: Elaboración Propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

a) Técnicas:

La técnica empleada fue la observación directa, para lo cual se realizó una visita a la edificación. Se obtuvieron los datos técnicos del proyecto (Planos, Estudio de Mecánica de Suelos, Memoria Descriptiva).

b) Instrumentos:

- ✓ La información de los planos fue procesada a través del software de dibujo AutoCAD en su versión 2018.
- ✓ El programa computacional de análisis estructural ETABS en su versión 17.1.0 será el utilizado para la obtención de los resultados.

- ✓ El programa web “Actualización del Programa de Cómputo Orientado a la Determinación del Peligro Sísmico en el País”, brindado por el Servicio nacional de capacitación para la construcción – SENCICO.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Análisis de Estructura Existente

La estructura evaluada en esta tesis consta de muros estructurales de siete niveles, de categoría regular, la cual posee un área de 2730.56 metros cuadrados (m²), un ancho de 42.40 metros, un largo de 64.40 metros y una altura de entrepiso de 4.05 metros.

La estructura posee elementos como columnas y vigas, las cuales están detalladas en la tabla N°12, una losa de 25 cm de espesor y muros estructurales. Los muros son de 30 cm de espesor y los secundarios de 40 y 45 cm, los cuales se detallan en la figura N°16(Planta primer piso).

Tabla 12: *Detalle de Columnas y Vigas.*

| ELEMENTO | SECCIÓN |
|-------------------|----------|
| C 1 - B (1 - 4) | 60 x 60 |
| C 1 - B (5 - 7) | 40 x 40 |
| C 2 - B (1 - 4) | 40 x 100 |
| C 2 - B (5 - 7) | 30 x 100 |
| C 3 - B (1 - 3) | 100 x 30 |
| C 3 - B (4 - 7) | 100 x 30 |
| C 4 - B (1 - 2) | 60 x 60 |
| C 4 - B (3 - 4) | 60 x 60 |
| C 4 - B (5 - 7) | 40 x 40 |
| C 5 - B (1 - 3) | 60 x 60 |
| C 6 - B (1 - 3) | 100 x 30 |
| C 7 - B (1) | 60 x 60 |

| | |
|--------------------|----------|
| C 7 - B (2) | 60 x 60 |
| C 7 - B (3 - 4) | 60 x 60 |
| C 7 - B (5 - 7) | 40 x 40 |
| C 7 - B1 (1 - 2) | 60 x 60 |
| C 7 - B1 (3 - 4) | 60 x 60 |
| C 7 - B1 (5 - 7) | 40 x 40 |
| C 8 - B (1 - 2) | 30 x 100 |
| C 9 - B (1 - 4) | 60 x 60 |
| C 9 - B (5 - 7) | 40 x 40 |
| C 10 - B (1 - 7) | 100 x 30 |
| C 11 - B (2) | 100 x 30 |
| C 11 - B (3 - 7) | 100 x 30 |
| C 12 - B (2 - 4) | 60 x 60 |
| C 12 - B (5 - 7) | 40 x 40 |
| C 13 - B (2 - 4) | 30 x 100 |
| C 13 - B (5 - 7) | 30 x 100 |
| V1 | 30 x 70 |
| V2 | 45 x 70 |

Fuente: Elaboración propia.

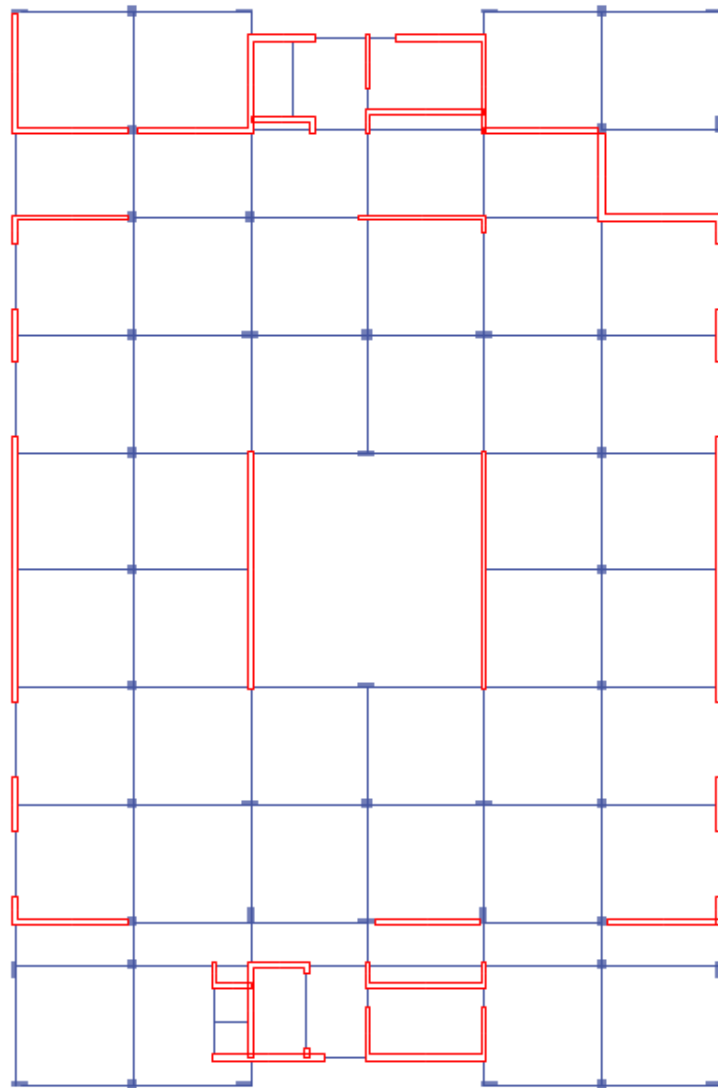


Figura 16: Muros Principales – 3er Nivel

Fuente: Elaboración Propia.

Se ha tomado en cuenta ciertas consideraciones de la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) para el modelado de la edificación donde describe la estructura como una edificación esencial de muros estructurales, con un empleo del 5% de amortiguamiento máximo y se puede conjeturar en la base de la estructura un empotramiento.

3.5.2. Modelamiento Estructural

El modelamiento de la estructura se efectuó en base a los planos arquitectónicos y estructurales de la edificación, los cuales están adjuntos en los anexos.

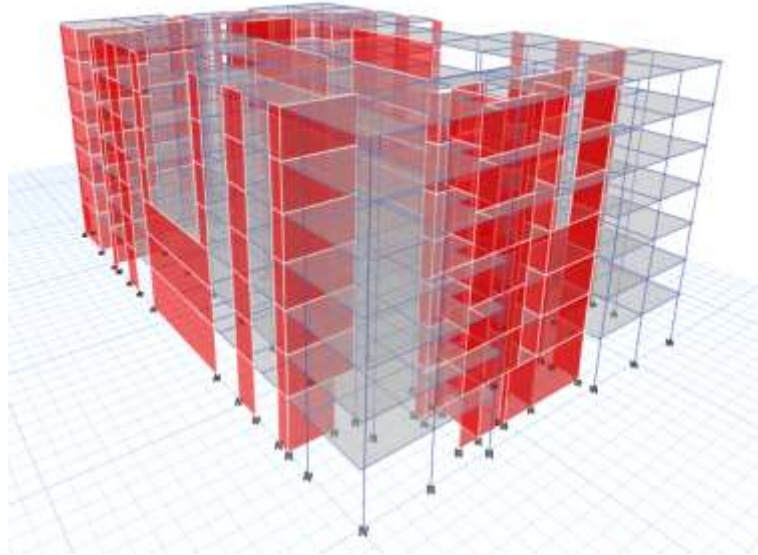


Figura 17: Modelo 3D de la edificación.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.2.1. Materiales

En la tabla 13 se presentan los materiales detallados en los planos estructurales para todos los elementos estructurales de la edificación (muros, vigas, columnas y losas).

Tabla 13: Descripción de las características de los materiales de la edificación

| Material | Peso (kg/m ³) | Resistencia nominal (kg/cm ²) |
|-------------------|---------------------------|---|
| Acero de refuerzo | 7849 | F _y =4200 |
| Hormigón | 2400 | F'c=210 |
| | | F'c=280 |

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se tiene que especificar el módulo de elasticidad, diagrama de esfuerzo – deformación, los modelos histeréticos tanto para el concreto y el acero, etc.; estas propiedades mencionadas se especifican en las siguientes figuras:



Figura 18: Propiedades del Acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 19: Propiedades del Concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 20: Propiedades del Concreto $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia.

- Los comportamientos de los materiales a usar se observan en las Curvas Esfuerzo vs Deformación, los materiales son:

Acero de refuerzo

Este es capaz de soportar por igual a los esfuerzos de tracción como de compresión exponiendo un comportamiento simétrico.

Exhibe una primera región lineal y elástica, cuyo módulo elástico (E_s) termina en el punto de fluencia (f_y, ϵ_y). Luego se produce estabilidad de fluencia, donde el material se deforma a (ϵ_{sh}) bajo tensión constante ($\approx f_y$). Llega después de (ϵ_{sh}) Zona endurecida, en la cual el esfuerzo aumenta hasta llegar a (f_{max}), habrá una deformación obvia. Eventualmente, se produce estrés en el material, se pierde

la resistencia y se alcanza el daño (ϵ_s). Por lo general, es un material resistente con suficiente tenacidad. (Cabrero, 2014)

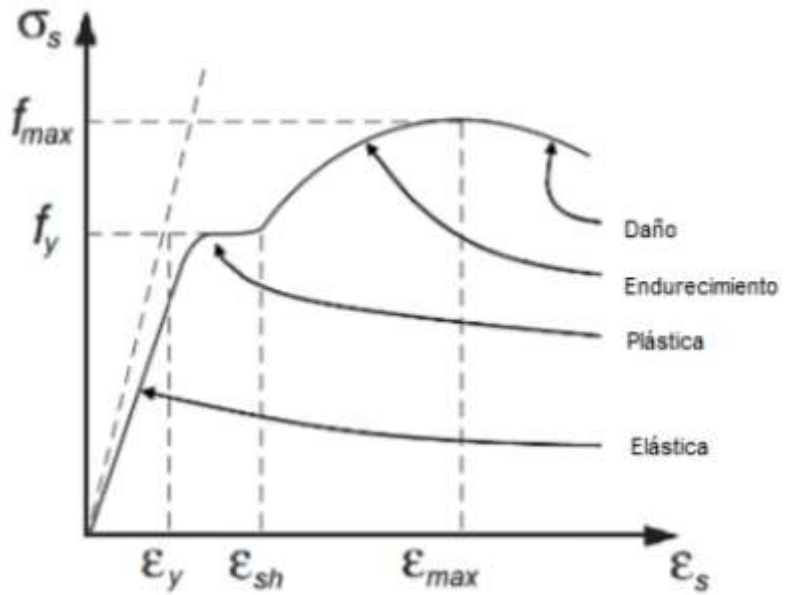


Figura 21: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Acero de Refuerzo

Fuente: Elaboración Propia.

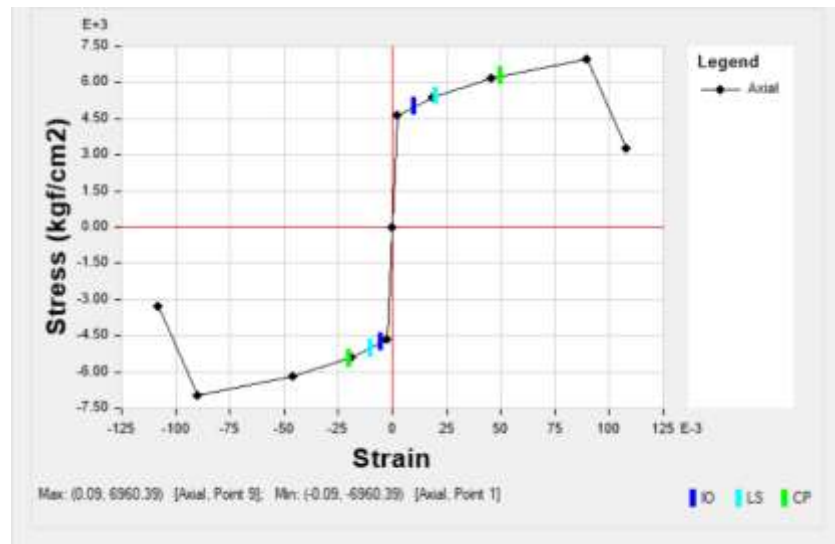


Figura 22: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Acero de refuerzo

Fuente: Elaboración Propia.

Concreto No Confinado

El hormigón no confinado es un material que se comporta de una manera adecuado para la compresión, pero débil en tensión, limitando su aplicabilidad como material estructural. Para concreto simple o no confinado, es importante conocer su curva de esfuerzo-deformación, dicha curva se obtiene experimentalmente mediante mediciones de deformaciones unitarias de pruebas en cilindros de hormigón con una edad de veintiocho días, sometido a compresión uniaxial con una velocidad de carga moderada.

La curva tiene las siguientes características generales: en su rama inicial, es relativamente lineal a la mitad después de exceder la resistencia a la compresión máxima. En la primera rama, la curva tiende a volverse horizontal hasta que se alcanza la máxima resistencia. En la curva de esfuerzo-deformación del concreto de alta resistencia, su forma tiende a mostrar una resistencia casi máxima, mientras que la curva de concreto de baja altitud se vuelve plana y ancha después de pasar a través de la zona elástica lineal. (Méndez, 2011)

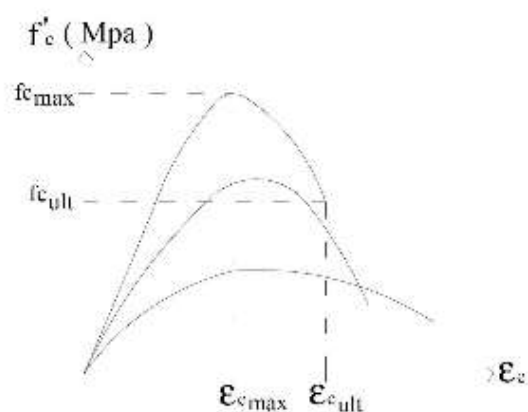


Figura 23: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Concreto No Confinado

Fuente: Elaboración Propia.

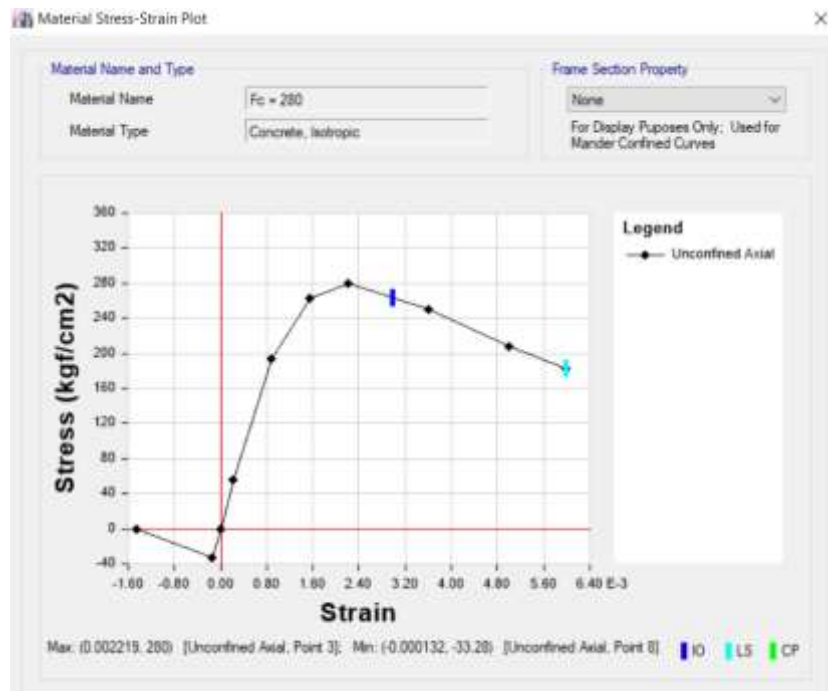


Figura 24: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Concreto No Confinado.

Fuente: Elaboración Propia.

Concreto Confinado

El confinamiento del hormigón es proporcionado por el refuerzo transversal, alrededor del núcleo mejorando el rendimiento y la deformación de los elementos aumentan, haciendo que el hormigón sea más dúctil.

Cuando el nivel de esfuerzo de compresión en el concreto está cerca de su resistencia máxima, comienza a cerrarse. En este momento, la deformación lateral de la sección transversal aumenta debido al agrietamiento gradual en el interior, de modo que el concreto se apoya contra el refuerzo transversal, lo que a su vez producirá una fuerza de unión en el concreto, que aumenta La capacidad de compresión del hormigón y reduce la deformación lateral.



Figura 25: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Concreto Confinado.

Fuente: Elaboración Propia.

- Entre las características de los Modelos de Histéresis, tenemos que el modelo Takeda es ideal para materiales frágiles como el concreto y tienen menos cantidad para dispersar energía en comparación con otros modelos como el de Kinematic donde este es utilizado en materiales con propiedades metálicas. consume una gran cantidad de energía y es ideal para usar en materiales dúctil como el acero de refuerzo.

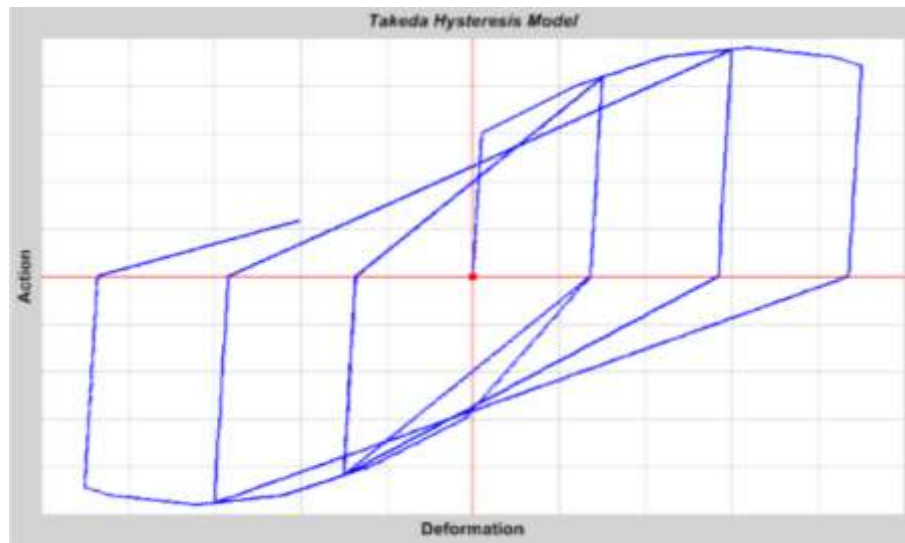


Figura 26: Modelo Histerético de Takeda (Concreto)

Fuente: Elaboración Propia.

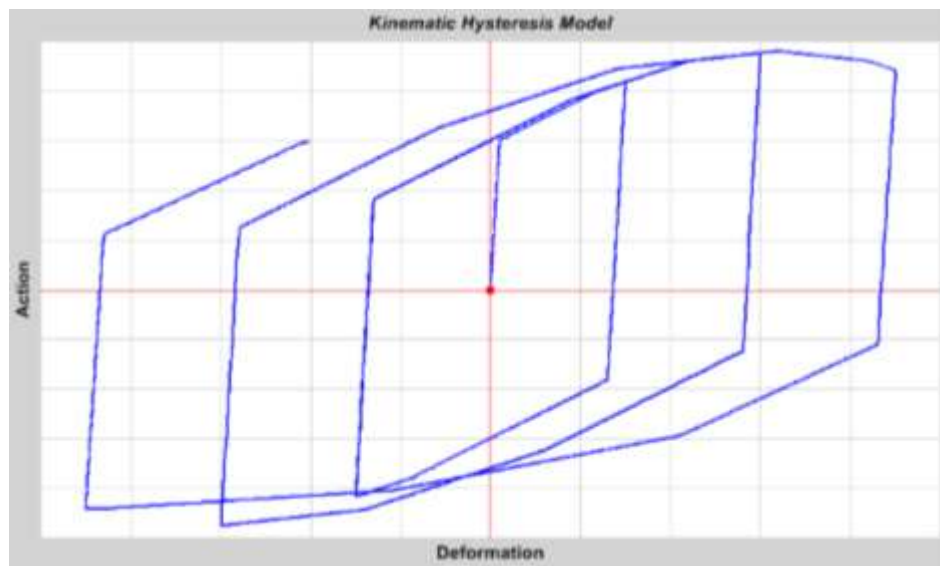


Figura 27: Modelo Histerético de Kinematic (Acero)

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.2.2. Elementos Frame, Membrane y Walls

En esta etapa se definen las secciones transversales de las columnas y vigas (elementos “frame”), así como el área de acero longitudinal y acero transversal, indicadas en los planos de detalles adjuntos en el apartado de Anexos.



Figura 28: Determinación de la sección transversal de la C1 – B.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 29: Determinación de las áreas de acero de la C1 – B.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 30: Determinación de la sección transversal de la Viga x.

Fuente: Elaboración Propia.

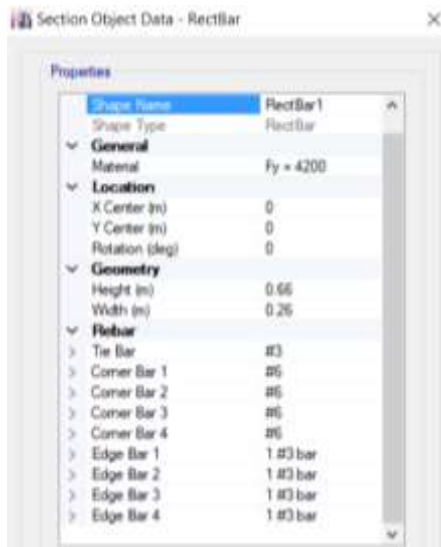


Figura 31: Determinación de la sección transversal de la Viga x.

Fuente: Elaboración Propia.

La losa aligerada se expresa como componentes de tipo membrana, considerados como diafragmas rígidos utilizados para distribuir la carga a los elementos de soporte siendo las columnas y vigas conectadas a ellos.



Figura 32: Determinación de la losa.

Fuente: Elaboración Propia.

Para las placas se usó el elemento Wall. No solo está limitado en el análisis de paredes, sino que también puede realizar el diseño y la verificación. En este caso se optó por especificar el refuerzo de las barras.

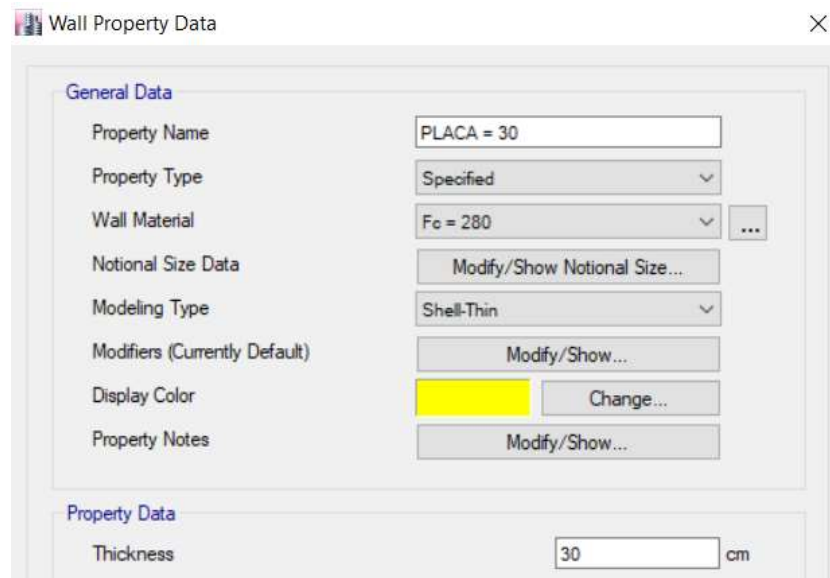


Figura 33: Determinación de la placa principal.

Fuente: Elaboración Propia.

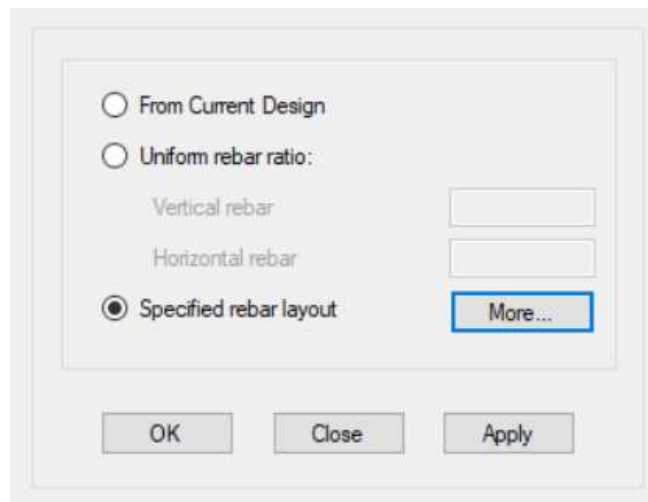


Figura 34: Diseño de las barras de refuerzo en los elementos Wall.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.2.3. Asignación de los elementos

Se inicia con la asignación de los elementos frame, membrane y Wall, formando el esqueleto de la estructura.

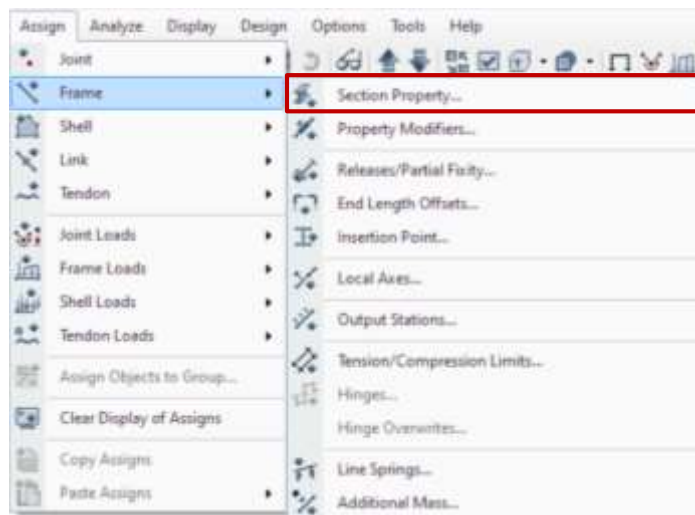


Figura 35: Asignación de los elementos frame.

Fuente: Elaboración Propia.

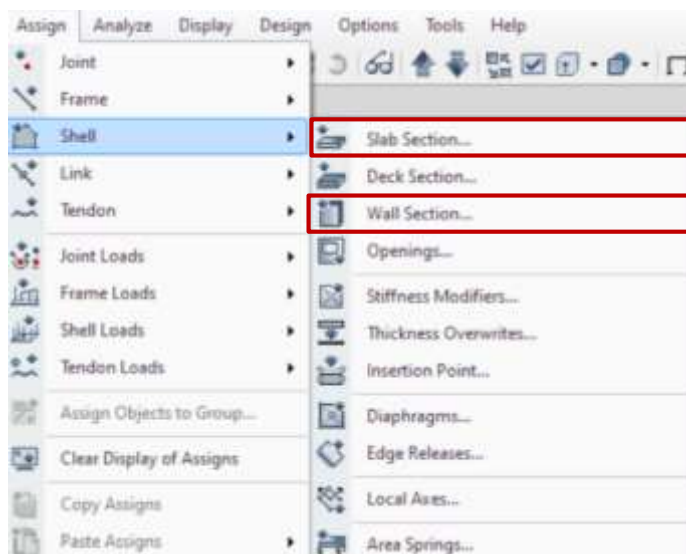


Figura 36: Asignación de la losa y placas.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.2.4. Cargas

Para las cargas muertas se tuvo en cuenta el peso propio de las columnas, vigas, muros estructurales y losa.

Mientras que para las cargas vivas tenemos el detalle en la tabla 14, extraída de los planos de especificaciones adjuntas en los anexos, las cuales cumplen con las cargas mínimas repartidas mencionadas en la NTP-E.020 “Cargas” en la tabla 1.

Tabla 14: Cargas Vivas de Diseño

| NIVELES | CARGA VIVA |
|-------------|---------------------------|
| 1, 2 y 3 | 300 (kg/m ²) |
| 4, 5, 6 y 7 | 200 (kg/m ²) |

Fuente: Elaboración propia.

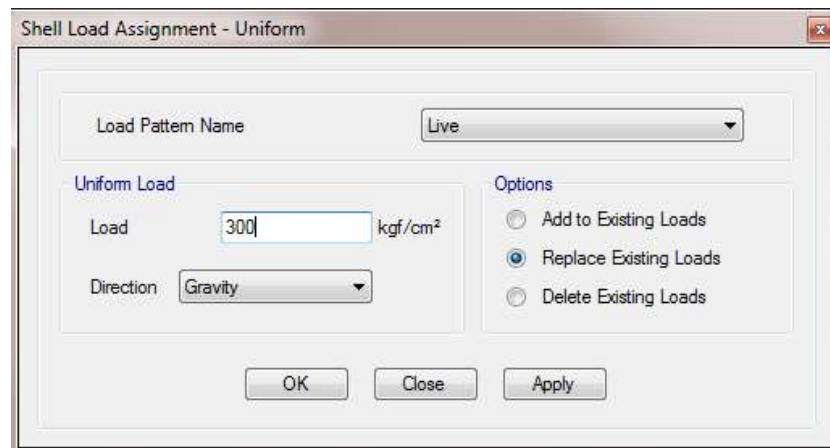


Figura 37: Asignación de los elementos.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.2.5. Rótulas Plásticas

La forma de idealizar la plasticidad en la estructura es a través de rótulas plásticas, aplicando el modelo de plasticidad distribuida en este caso para representar con más detalle lo que sucede en la realidad, donde no se producen deformaciones dentro de una rótula de plástico, sino en todo el elemento. Sin embargo, esta distribución de deformación está asociada con funciones de distribución que, no necesariamente son reales, requieren discretización en todo el elemento. Para esto, la barra de acero está discretizada de refuerzo en "n" segmentos de igual longitud definidos entre nodos conectados entre sí.

Se crean dos tipos de rótulas plásticas, una para vigas y otra para columnas, las columnas funcionan bajo compresión de flexión, controlado por carga axial y momentos en las direcciones X e Y, mientras la viga funciona a flexión, por lo que están controlados por el momento de flexión, en la figura 38 se especifican los atributos específicos de cada rótula.



Figura 38: Se establece las rótulas plásticas para columnas.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 39: Se establece las rotulas plásticas para vigas.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 40 se comienza a definir las rotulas plásticas tanto para columnas como para vigas.

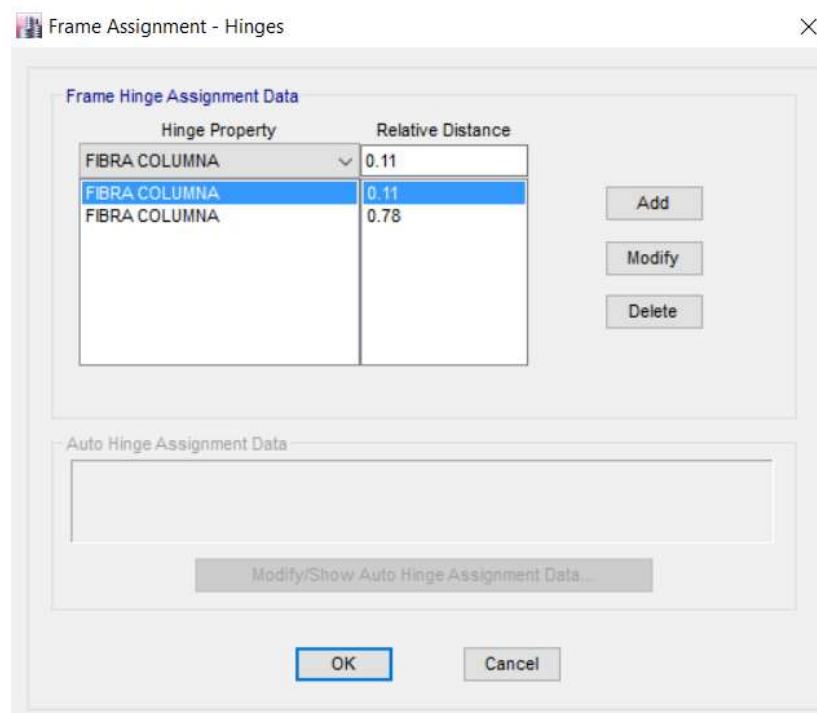


Figura 40: Definición de rotulas plásticas en columnas.

Fuente: Elaboración Propia.

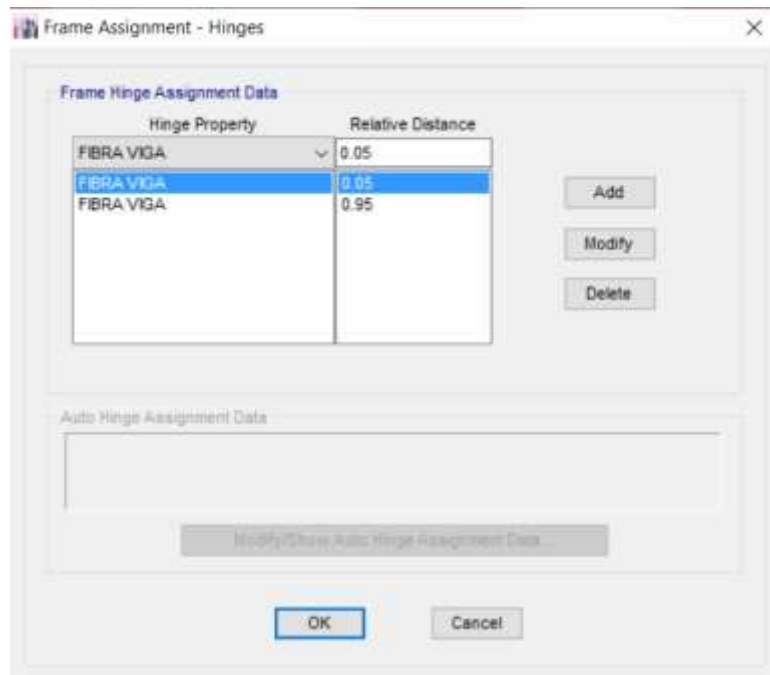


Figura 41: Definición de rotulas plásticas en vigas.

Fuente: Elaboración Propia.

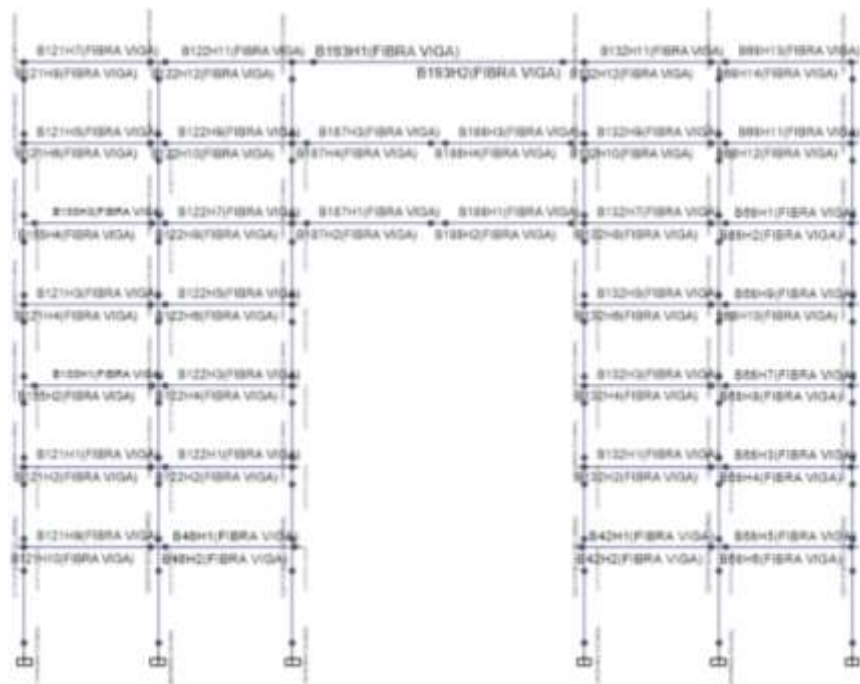


Figura 42: Rotulas plásticas en el eje 1.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3. Asignación de Registros Sísmicos y componentes IDA

Para este diseño Sismorresistente la acción sísmica se representa por vibraciones del terreno producidas durante los terremotos, basándonos en los acelerogramas, en general la selección de registros sísmicos que se utilizarán se basa en su magnitud, latitud, longitud, etc., produciendo la mayor pseudoaceleración (PGA) en el período básico de nuestra estructura para un amortiguamiento del 5%.

Según la norma NTP E 030, son 3 pares de registros sísmicos como mínimo a usar y en la normativa nos indica utilizar 7 pares de registros, siendo esta cantidad la usada en nuestra tesis las cuales están detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 15: *Registros Sísmicos seleccionados.*

| DENOMINACIÓN | COMPONENTE | LUGAR | Fecha | Magnitud | Profundidad (km) | PGA(g) |
|--------------|------------|-----------|---------------------------|----------|------------------|--------|
| S01 | EO | Lima | 03 de Octubre del 1974 | 6.6 | 13 | 0.84 |
| S02 | NS | Lima | 03 de Octubre del 1974 | 6.6 | 13 | 0.87 |
| S03 | EO | Tacna | 05 de Mayo del 2010 | 6.5 | 36 | 0.91 |
| S04 | NS | Tacna | 05 de Mayo del 2010 | 6.5 | 36 | 1.33 |
| S05 | EO | Arequipa | 07 de Julio del 2001 | 6.5 | 33 | 0.82 |
| S06 | NS | Arequipa | 07 de Julio del 2001 | 6.5 | 33 | 0.73 |
| S07 | EO | Moquegua | 23 de Junio del 2001 | 6.9 | 33 | 0.75 |
| S08 | NS | Moquegua | 23 de Junio del 2001 | 6.9 | 33 | 0.83 |
| S09 | EO | Ica | 15 de Agosto del 2007 | 7.0 | 40 | 0.71 |
| S10 | NS | Ica | 15 de Agosto del 2007 | 7.0 | 40 | 0.71 |
| S11 | EO | Moyobamba | 25 de Septiembre del 2005 | 7.0 | 115 | 0.98 |
| S12 | NS | Moyobamba | 25 de Septiembre del 2005 | 7.0 | 115 | 0.99 |
| S13 | EO | Lima | 31 de Mayo del 1970 | 6.4 | 71 | 0.92 |
| S14 | NS | Lima | 31 de Mayo del 1970 | 6.4 | 71 | 0.85 |

Fuente: Elaboración propia.

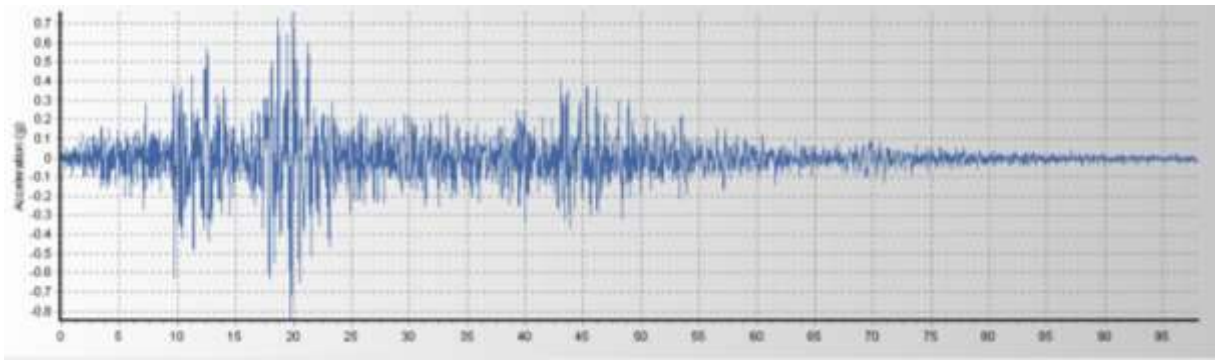


Figura 43: Registro Sísmico - S01

Fuente: Elaboración Propia.

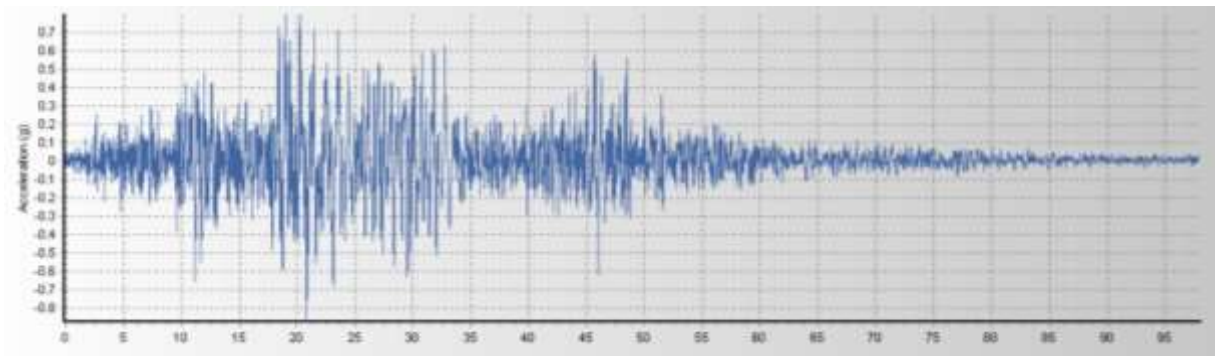


Figura 44: Registro Sísmico - S02

Fuente: Elaboración Propia.

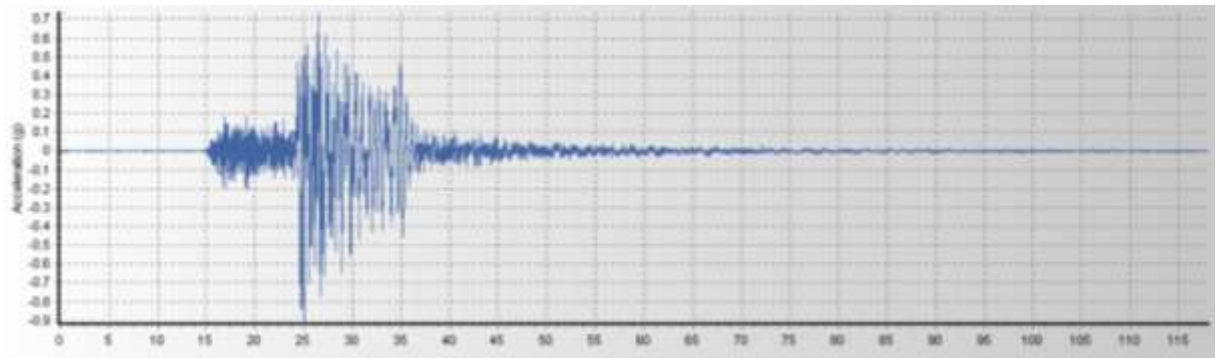


Figura 45: Registro Sísmico - S03

Fuente: Elaboración Propia.

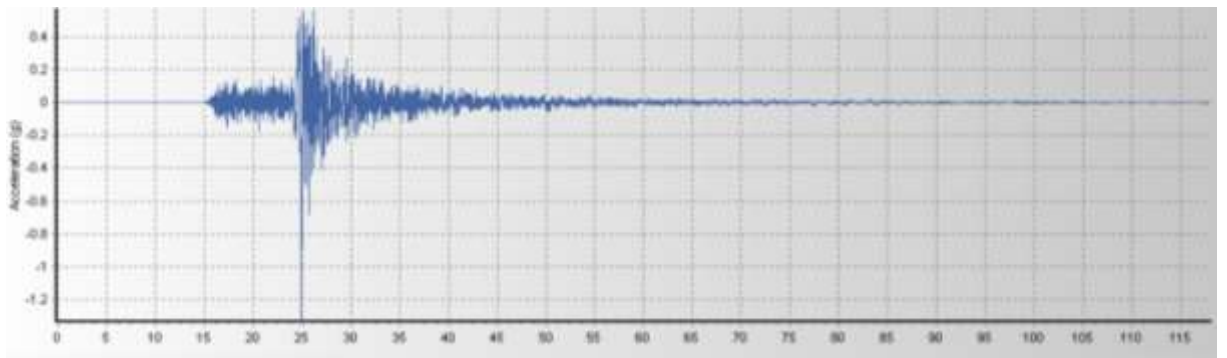


Figura 46: Registro Sísmico - S04

Fuente: Elaboración Propia.

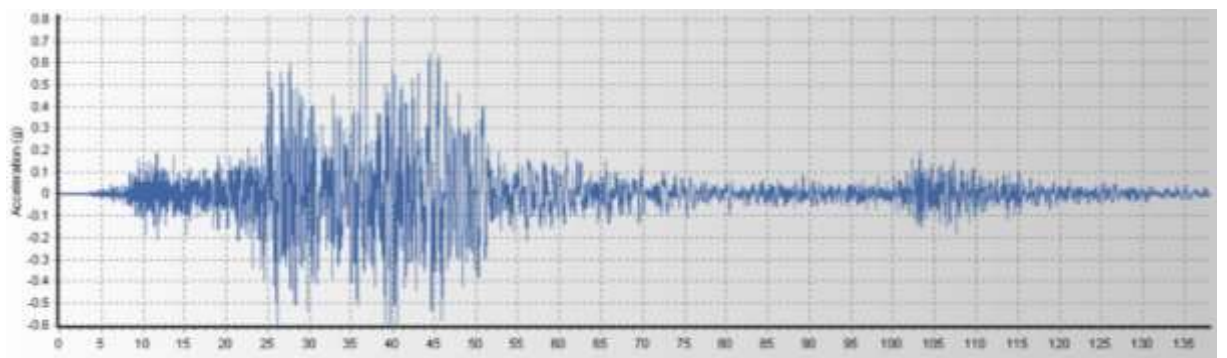


Figura 47: Registro Sísmico - S05

Fuente: Elaboración Propia.

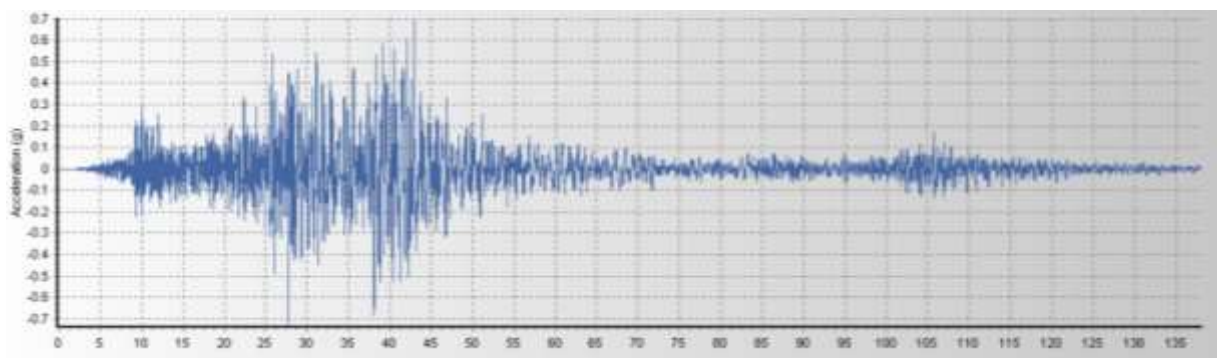


Figura 48: Registro Sísmico - S06

Fuente: Elaboración Propia.

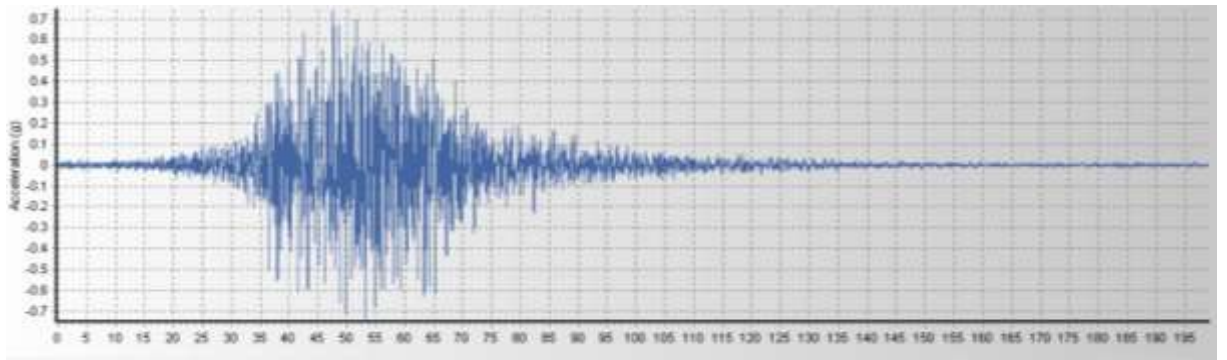


Figura 49: Registro Sísmico - S07

Fuente: Elaboración Propia.

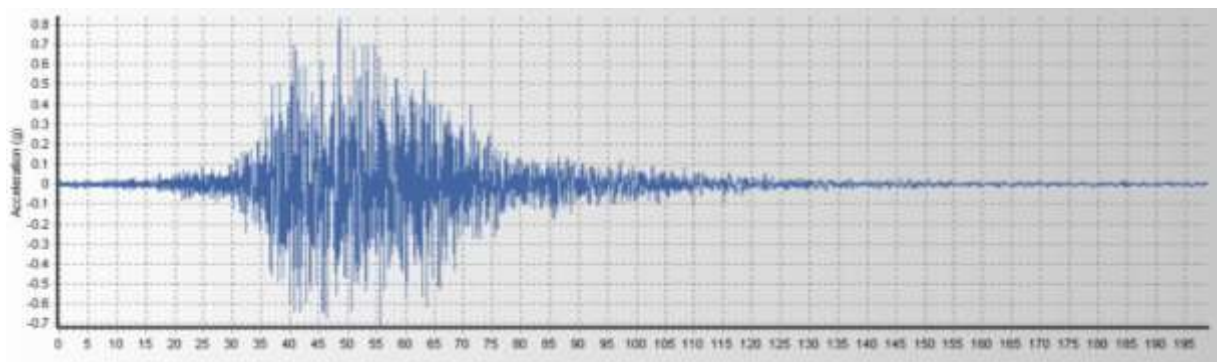


Figura 50: Registro Sísmico - S08

Fuente: Elaboración Propia.

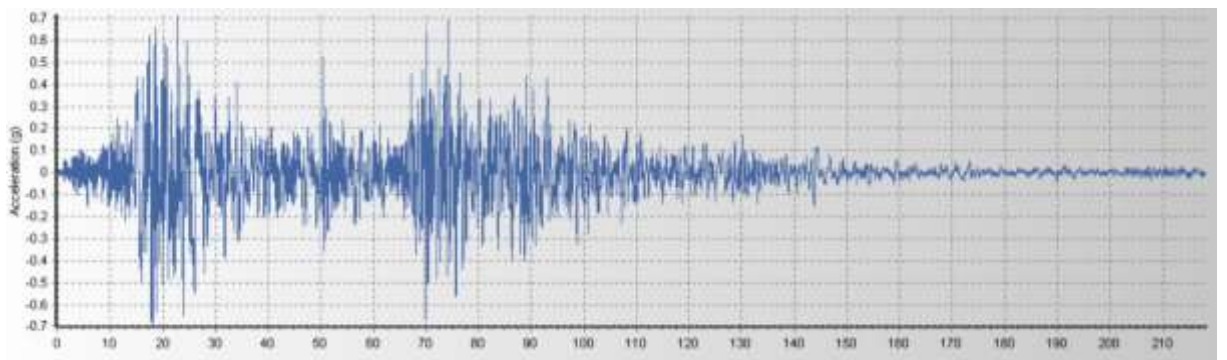


Figura 51: Registro Sísmico - S09

Fuente: Elaboración Propia.

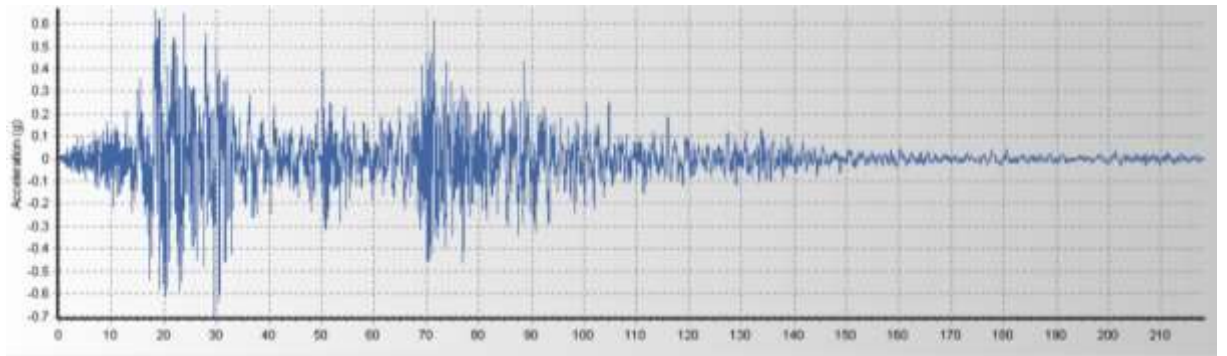


Figura 52: Registro Sísmico – S10

Fuente: Elaboración Propia.

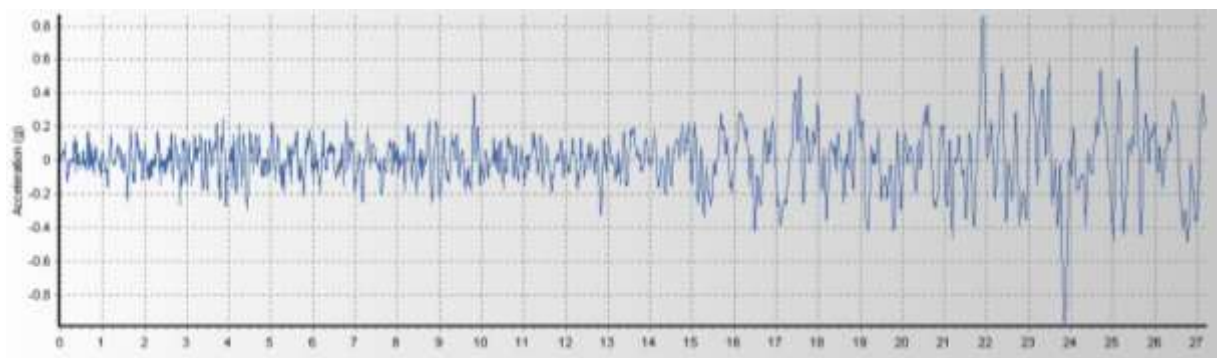


Figura 53: Registro Sísmico – S11

Fuente: Elaboración Propia.

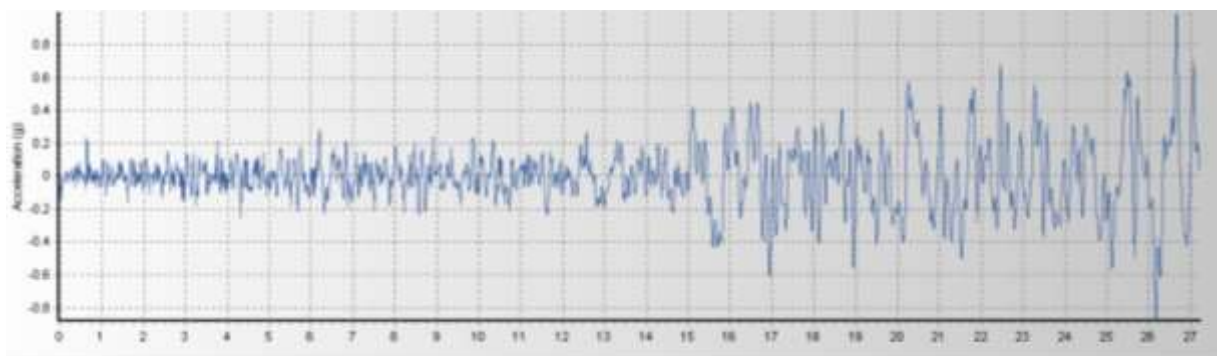


Figura 54: Registro Sísmico – S12

Fuente: Elaboración Propia.

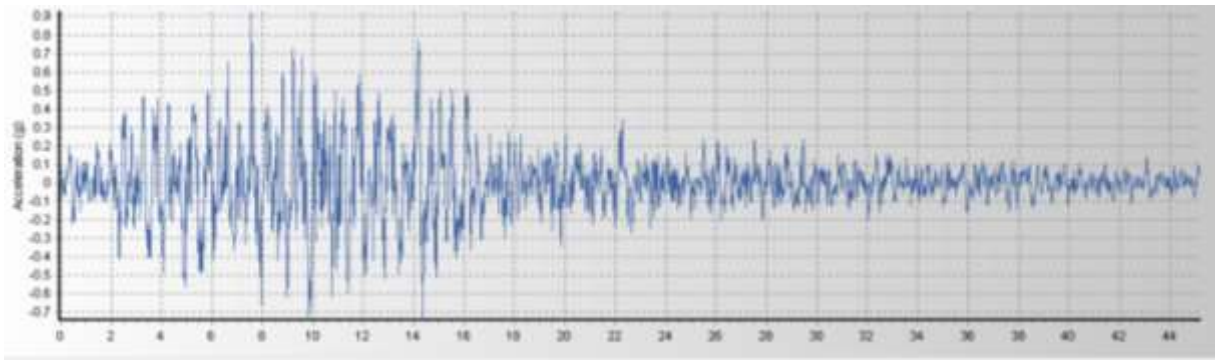


Figura 55: Registro Sísmico – S13

Fuente: Elaboración Propia.

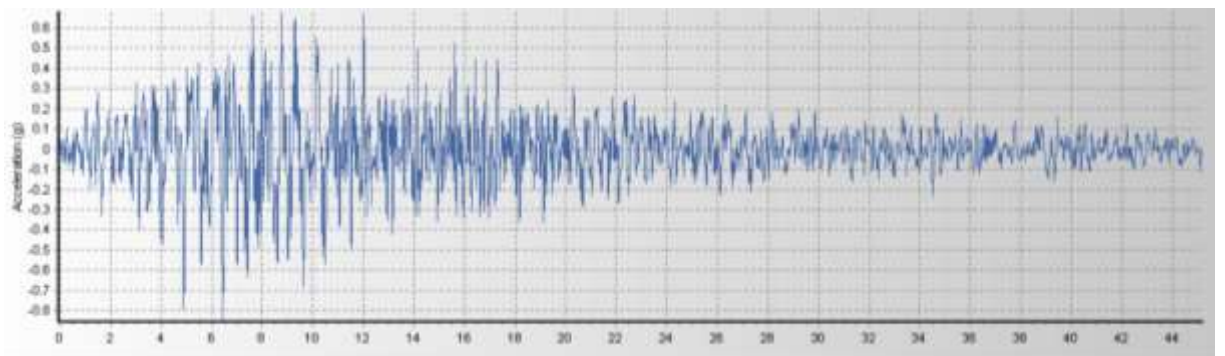


Figura 56: Registro Sísmico – S14

Fuente: Elaboración Propia.

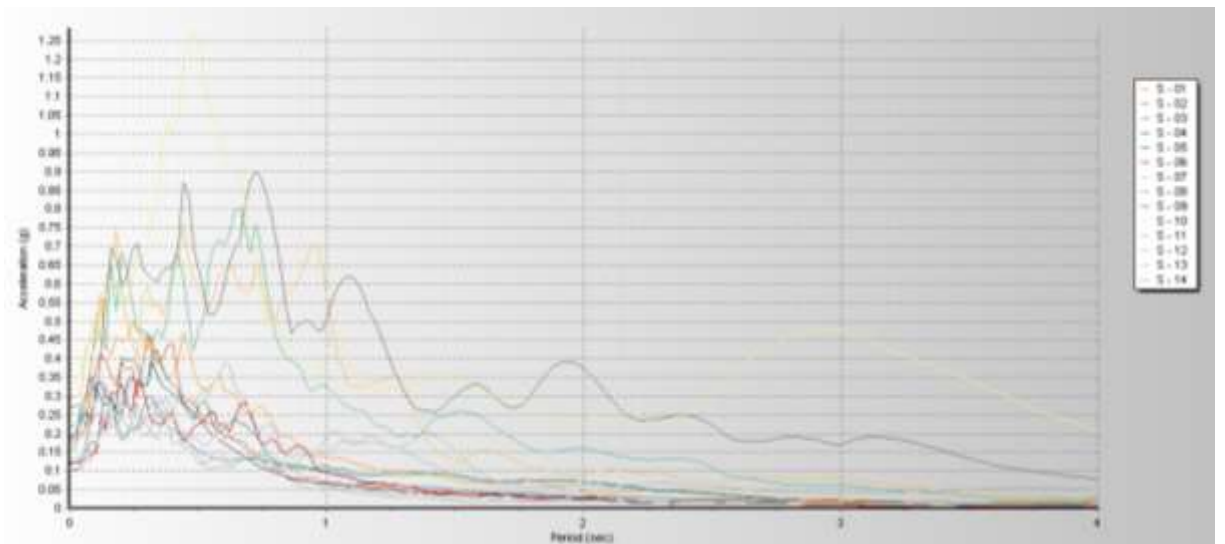


Figura 57: Espectros de respuesta de los registros seleccionados.

Fuente: Elaboración Propia.

- Después de seleccionar los 14 registros sísmicos procedemos a seguir los siguientes pasos que se observan entre las siguientes figuras para la definición de los registros.

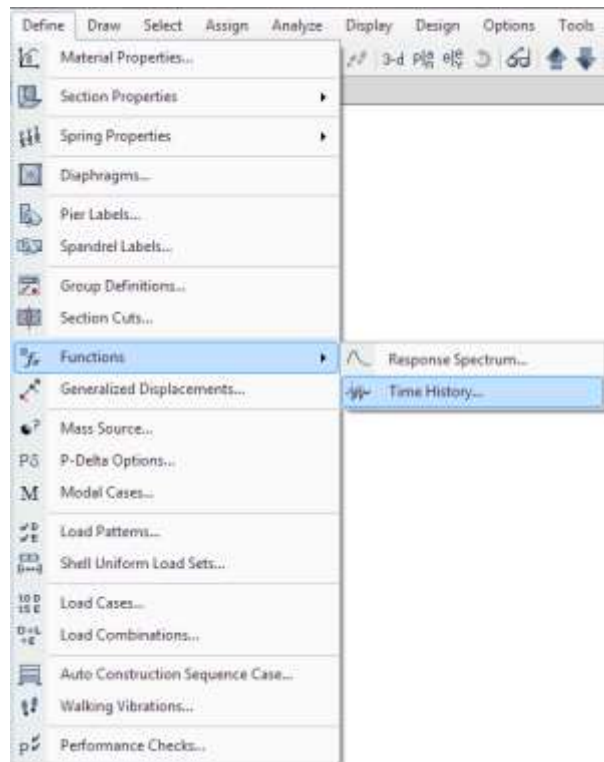


Figura 58: Definición de los Registros Sísmicos.

Fuente: Elaboración Propia.

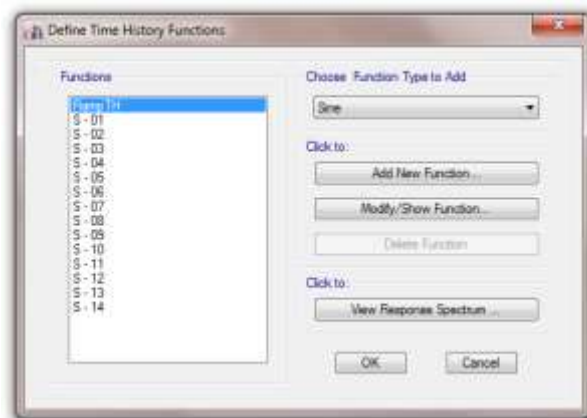


Figura 59: Definición de los Registros Sísmicos.

Fuente: Elaboración Propia.

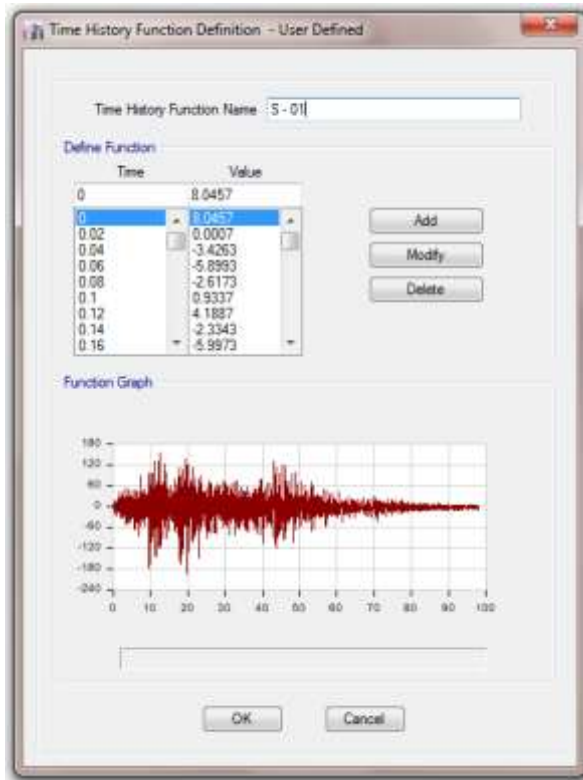


Figura 60: Definición de los Registros Sísmicos.

Fuente: Elaboración Propia.

- Cada uno de estos análisis debe escalarse para las diferentes aceleraciones de terreno máximo (PGA) con el factor de escala correspondiente para trabajar con (PGA 0,50 g, 1,00 g, 2,00 g, 3,00 g, 4,00 g, etc.) y en los ejes XX e YY de la estructura a evaluar.

Tabla 16: Factores Escala de los sismos para las distintas intensidades de PGA

| SISMO | ACELERACION | | | | | | | |
|--------|----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | MAXIMA (cm/seg ²) | PGA 0.5 G | PGA 1G | PGA 2G | PGA 4G | PGA 6G | PGA 8G | PGA 10G |
| S - 01 | 180.09 | 2.72 | 5.45 | 10.89 | 21.79 | 32.68 | 43.58 | 54.47 |
| S - 02 | 194.21 | 2.53 | 5.05 | 10.10 | 20.21 | 30.31 | 40.41 | 50.51 |
| S - 03 | 190.00 | 2.58 | 5.16 | 10.33 | 20.65 | 30.98 | 41.31 | 51.63 |
| S - 04 | 154.00 | 3.19 | 6.37 | 12.74 | 25.48 | 38.22 | 50.96 | 63.70 |
| S - 05 | 120.52 | 4.07 | 8.14 | 16.28 | 32.56 | 48.84 | 65.12 | 81.39 |
| S - 06 | 123.21 | 3.98 | 7.96 | 15.92 | 31.85 | 47.77 | 63.69 | 79.62 |
| S - 07 | 219.99 | 2.23 | 4.46 | 8.92 | 17.84 | 26.76 | 35.67 | 44.59 |
| S - 08 | 295.15 | 1.66 | 3.32 | 6.65 | 13.29 | 19.94 | 26.59 | 33.24 |
| S - 09 | 334.11 | 1.47 | 2.94 | 5.87 | 11.74 | 17.62 | 23.49 | 29.36 |
| S - 10 | 272.21 | 1.80 | 3.60 | 7.21 | 14.42 | 21.62 | 28.83 | 36.04 |
| S - 11 | 103.39 | 4.74 | 9.49 | 18.98 | 37.95 | 56.93 | 75.91 | 94.89 |
| S - 12 | 131.36 | 3.73 | 7.47 | 14.94 | 29.87 | 44.81 | 59.74 | 74.68 |
| S - 13 | 97.75 | 5.02 | 10.04 | 20.07 | 40.14 | 60.22 | 80.29 | 100.36 |
| S - 14 | 104.82 | 4.68 | 9.36 | 18.72 | 37.44 | 56.15 | 74.87 | 93.59 |

Fuente: Elaboración propia

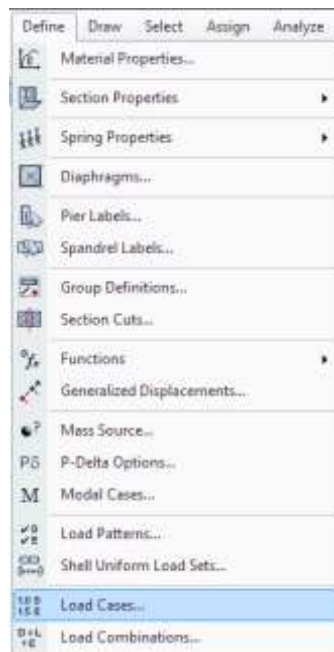


Figura 61: Definición del IDA.

Fuente: Elaboración Propia.

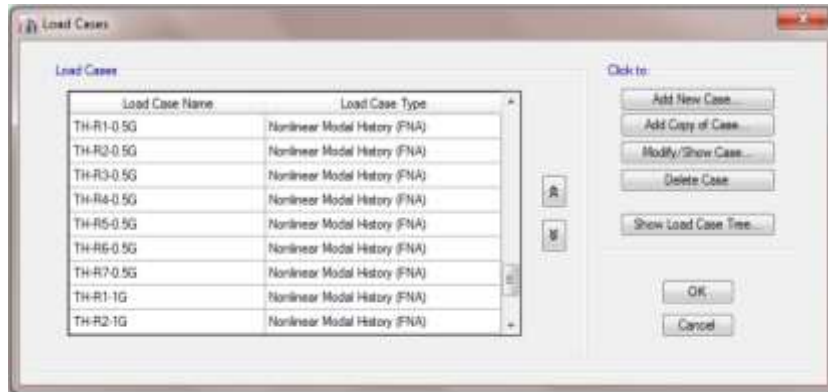


Figura 62: Definición del IDA.

Fuente: Elaboración Propia.

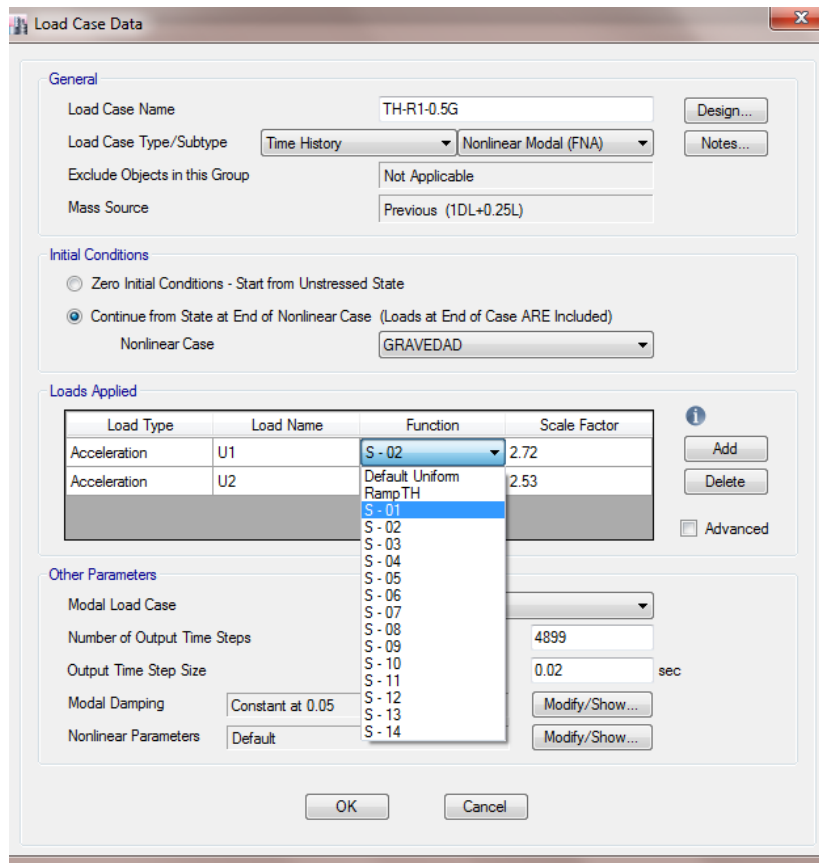


Figura 63: Definición del IDA.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.4. Ejecución de Análisis

Se finaliza analizando la edificación por medio del comando “Run Analysis”, habilitando los casos de análisis no lineales tiempo – historia, por sismos y escalas.

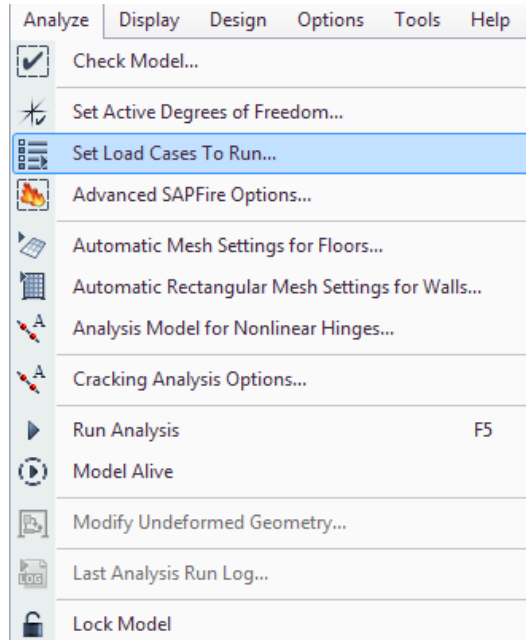


Figura 64: Análisis de la estructura.

Fuente: Elaboración Propia.

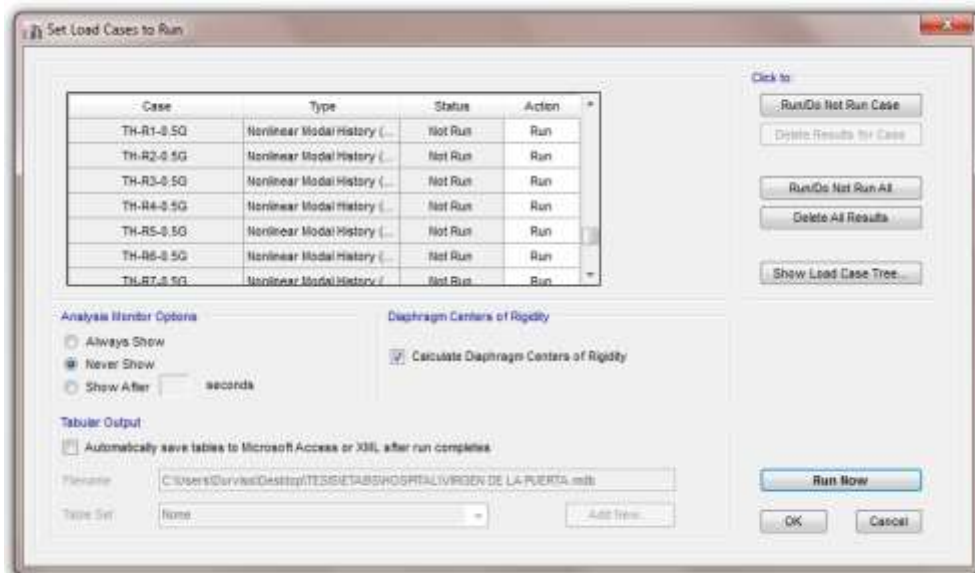


Figura 65: Análisis de la estructura.

Fuente: Elaboración Propia.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Ductilidad en columnas y vigas.

Se enumera los elementos estructurales que forman parte del esqueleto de la edificación analizada y se detalla sus secciones transversales las cuales están especificadas en el plano de detalles de estructuras adjuntadas en el capítulo de Anexos, su curvatura de fluencia, su curvatura ultima y su nivel de ductilidad, las cuales se precisan en las tablas 17 y 18.

- COLUMNAS

Tabla 17: *Ductilidad en columnas*

| ELEMENTO | SECCIÓN | Φ_y | Φ_u | DUCTILIDAD |
|--------------------|----------|----------|----------|------------|
| C 1 - B (1 - 4) | 60 x 60 | 0.006 | 0.059 | 9.83 |
| C 1 - B (5 - 7) | 40 x 40 | 0.021 | 0.075 | 3.57 |
| C 2 - B (1 - 4) | 40 x 100 | 0.001 | 0.041 | 41.00 |
| C 2 - B (5 - 7) | 30 x 100 | 0.002 | 0.032 | 16.00 |
| C 3 - B (1 - 3) | 100 x 30 | 0.029 | 0.082 | 2.83 |
| C 3 - B (4 - 7) | 100 x 30 | 0.011 | 0.029 | 2.64 |
| C 4 - B (1 - 2) | 60 x 60 | 0.002 | 0.043 | 21.50 |
| C 4 - B (3 - 4) | 60 x 60 | 0.004 | 0.059 | 14.75 |
| C 4 - B (5 - 7) | 40 x 40 | 0.014 | 0.019 | 1.36 |
| C 5 - B (1 - 3) | 60 x 60 | 0.005 | 0.096 | 19.20 |
| C 6 - B (1 - 3) | 100 x 30 | 0.013 | 0.029 | 2.23 |
| C 7 - B (1) | 60 x 60 | 0.006 | 0.043 | 7.17 |
| C 7 - B (2) | 60 x 60 | 0.006 | 0.043 | 7.17 |
| C 7 - B (3 - 4) | 60 x 60 | 0.006 | 0.059 | 9.83 |
| C 7 - B (5 - 7) | 40 x 40 | 0.012 | 0.034 | 2.83 |
| C 7 - B1 (1 - 2) | 60 x 60 | 0.002 | 0.043 | 21.50 |
| C 7 - B1 (3 - 4) | 60 x 60 | 0.004 | 0.043 | 10.75 |

| | | | | |
|--------------------|----------|-------|-------|-------|
| C 7 - B1 (5 - 7) | 40 x 40 | 0.018 | 0.075 | 4.17 |
| C 8 - B (1 - 2) | 30 x 100 | 0.003 | 0.052 | 17.33 |
| C 9 - B (1 - 4) | 60 x 60 | 0.005 | 0.076 | 15.20 |
| C 9 - B (5 - 7) | 40 x 40 | 0.014 | 0.034 | 2.43 |
| C 10 - B (1 - 7) | 100 x 30 | 0.012 | 0.029 | 2.42 |
| C 11 - B (2) | 100 x 30 | 0.002 | 0.029 | 14.50 |
| C 11 - B (3 - 7) | 100 x 30 | 0.010 | 0.029 | 2.90 |
| C 12 - B (2 - 4) | 60 x 60 | 0.008 | 0.096 | 12.00 |
| C 12 - B (5 - 7) | 40 x 40 | 0.008 | 0.019 | 2.38 |
| C 13 - B (2 - 4) | 30 x 100 | 0.002 | 0.024 | 12.00 |
| C 13 - B (5 - 7) | 30 x 100 | 0.003 | 0.032 | 10.67 |

Fuente: Elaboración propia.

- VIGAS

Tabla 18: *Ductilidad en vigas*

| ELEMENTO | SECCIÓN | Φ_y | Φ_u | DUCTILIDAD |
|----------|--------------|----------|----------|------------|
| V1 | VIGA 30 x 70 | 0.003 | 0.023 | 7.67 |
| V2 | VIGA 45 x 70 | 0.005 | 0.067 | 13.40 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Desplazamientos Máximos por Pisos

Después de realizar los diferentes Análisis Dinámicos Tiempo – Historia incrementales en el software ETABS 2017, se obtuvo los desplazamientos máximos por pisos, tanto en el eje “X” como en el eje “Y”.

Tabla 19: Desplazamientos en el piso 1

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.5 | -0.924 | -0.289 | -0.933 | -0.399 | -0.869 | -0.205 | -0.795 | -0.316 | -0.509 | -0.253 | -0.687 | -0.321 | -0.863 | -0.364 |
| 1 | -0.680 | 0.137 | -0.748 | -0.202 | -0.549 | 0.234 | -0.368 | -0.029 | 0.104 | 0.151 | -0.158 | 0.005 | -0.650 | -0.111 |
| 2 | 0.534 | 1.221 | 0.648 | 0.460 | 0.465 | 1.243 | 0.840 | 0.837 | 1.413 | 1.559 | 1.175 | 0.731 | 0.308 | 0.744 |
| 4 | 1.145 | 2.263 | 0.809 | 1.353 | 1.439 | 2.464 | 3.174 | 2.809 | 3.882 | 3.392 | 4.572 | 1.606 | 1.327 | 1.815 |
| 6 | 1.916 | 3.321 | 1.537 | 2.259 | 2.276 | 3.551 | 5.790 | 5.376 | 6.590 | 5.014 | 7.217 | 3.009 | 2.331 | 2.759 |
| 8 | 2.803 | 4.665 | 2.280 | 3.179 | 3.911 | 5.149 | 8.512 | 8.093 | 9.341 | 7.286 | 9.865 | 4.612 | 3.122 | 3.630 |
| 10 | 3.689 | 6.051 | 3.223 | 4.109 | 5.690 | 6.799 | 11.393 | 10.774 | 12.123 | 9.502 | 12.602 | 6.469 | 4.305 | 4.489 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Desplazamientos en el piso 2

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.5 | 0.200 | 1.031 | 0.272 | 0.723 | 0.452 | 1.298 | 0.684 | 0.959 | 1.666 | 1.128 | 0.995 | 1.004 | 0.483 | 0.813 |
| 1 | 0.934 | 2.099 | 0.894 | 1.229 | 1.529 | 2.536 | 2.078 | 1.740 | 3.749 | 2.204 | 2.797 | 1.848 | 1.115 | 1.477 |
| 2 | 3.147 | 4.899 | 2.875 | 2.823 | 4.228 | 5.002 | 6.146 | 4.018 | 9.275 | 5.738 | 8.228 | 3.661 | 2.913 | 3.598 |
| 4 | 5.913 | 7.848 | 5.358 | 5.159 | 9.212 | 8.758 | 15.789 | 10.988 | 18.607 | 10.704 | 20.417 | 8.234 | 6.857 | 6.090 |
| 6 | 8.664 | 11.558 | 8.133 | 7.546 | 12.514 | 13.679 | 25.343 | 19.171 | 28.456 | 16.896 | 30.647 | 12.899 | 10.888 | 8.658 |
| 8 | 11.407 | 15.160 | 11.409 | 9.982 | 18.331 | 18.805 | 35.414 | 27.769 | 38.728 | 23.684 | 40.918 | 17.985 | 14.843 | 11.318 |
| 10 | 14.305 | 18.478 | 14.572 | 12.449 | 24.568 | 24.003 | 45.705 | 36.224 | 49.083 | 30.305 | 51.377 | 23.384 | 19.487 | 14.002 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Desplazamientos en el piso 3

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.5 | 2.581 | 3.240 | 2.771 | 2.637 | 3.128 | 3.752 | 3.570 | 3.085 | 5.621 | 3.397 | 4.163 | 3.233 | 3.194 | 2.807 |
| 1 | 3.967 | 5.073 | 4.067 | 3.524 | 5.376 | 6.068 | 6.396 | 4.569 | 9.927 | 5.355 | 7.888 | 4.727 | 4.555 | 3.991 |
| 2 | 7.935 | 10.122 | 7.670 | 6.316 | 11.422 | 10.577 | 15.310 | 9.105 | 22.203 | 11.589 | 19.907 | 9.052 | 8.423 | 7.789 |
| 4 | 13.410 | 15.865 | 12.574 | 10.480 | 21.981 | 18.758 | 36.330 | 23.077 | 42.291 | 21.157 | 45.864 | 18.819 | 16.844 | 12.224 |
| 6 | 19.021 | 23.356 | 19.136 | 14.752 | 29.537 | 28.634 | 56.987 | 39.460 | 63.214 | 33.622 | 68.216 | 28.726 | 25.138 | 19.065 |
| 8 | 24.519 | 30.003 | 25.861 | 19.127 | 41.833 | 39.021 | 78.371 | 56.619 | 85.257 | 46.635 | 90.302 | 39.103 | 34.361 | 24.453 |
| 10 | 29.961 | 36.315 | 32.358 | 23.566 | 54.489 | 49.573 | 99.674 | 73.463 | 107.451 | 59.358 | 112.674 | 49.235 | 44.430 | 29.406 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Desplazamientos en el piso 4

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|---------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.5 | 5.602 | 5.849 | 5.917 | 4.900 | 6.458 | 6.718 | 7.131 | 5.570 | 10.316 | 6.066 | 8.016 | 5.886 | 6.532 | 5.132 |
| 1 | 7.661 | 8.748 | 8.018 | 6.201 | 10.040 | 10.410 | 11.581 | 8.014 | 17.084 | 9.150 | 14.010 | 8.235 | 8.685 | 7.136 |
| 2 | 13.748 | 16.902 | 13.542 | 10.786 | 19.951 | 17.710 | 26.273 | 15.552 | 38.118 | 19.199 | 34.033 | 15.487 | 15.039 | 13.239 |
| 4 | 22.553 | 25.903 | 21.928 | 17.334 | 37.527 | 31.040 | 61.670 | 37.633 | 71.872 | 34.247 | 77.294 | 31.766 | 28.905 | 20.561 |
| 6 | 31.004 | 37.539 | 32.787 | 24.089 | 50.272 | 47.089 | 96.280 | 64.223 | 106.879 | 53.874 | 114.838 | 48.130 | 42.397 | 31.729 |
| 8 | 40.652 | 47.922 | 43.969 | 31.301 | 70.641 | 64.115 | 131.712 | 92.020 | 143.755 | 74.588 | 151.712 | 64.974 | 58.713 | 40.640 |
| 10 | 49.018 | 58.639 | 54.788 | 38.669 | 91.312 | 81.428 | 166.688 | 119.287 | 180.971 | 94.855 | 188.993 | 81.694 | 75.275 | 48.957 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Desplazamientos en el piso 5

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.5 | 8.406 | 8.301 | 8.872 | 6.987 | 9.653 | 9.575 | 10.573 | 7.901 | 15.237 | 8.562 | 11.807 | 8.383 | 9.787 | 7.335 |
| 1 | 11.268 | 12.445 | 11.929 | 8.825 | 14.883 | 14.748 | 16.993 | 11.394 | 25.065 | 12.860 | 20.561 | 11.661 | 12.946 | 10.192 |
| 2 | 19.966 | 24.001 | 19.827 | 15.468 | 29.380 | 25.351 | 38.550 | 22.286 | 56.541 | 27.271 | 50.217 | 22.417 | 22.245 | 18.949 |
| 4 | 32.445 | 36.800 | 32.534 | 24.810 | 55.462 | 44.116 | 91.553 | 53.503 | 106.945 | 49.167 | 114.470 | 46.453 | 42.594 | 29.339 |
| 6 | 44.062 | 52.272 | 48.582 | 34.727 | 74.447 | 67.128 | 143.189 | 91.854 | 159.183 | 75.538 | 170.508 | 70.643 | 62.799 | 45.429 |
| 8 | 59.867 | 67.033 | 64.969 | 45.053 | 104.614 | 91.750 | 195.651 | 131.899 | 214.025 | 104.738 | 225.351 | 95.186 | 87.534 | 58.563 |
| 10 | 72.552 | 82.031 | 81.036 | 55.593 | 135.235 | 116.810 | 247.632 | 171.150 | 269.551 | 133.352 | 280.700 | 119.603 | 111.884 | 70.649 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Desplazamientos en el piso 6

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|---------|------------|--------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.5 | 10.948 | 10.432 | 11.557 | 8.755 | 12.587 | 12.115 | 13.757 | 9.917 | 19.971 | 10.752 | 15.357 | 10.555 | 12.789 | 9.217 |
| 1 | 14.681 | 15.823 | 15.616 | 11.138 | 19.536 | 18.770 | 22.232 | 14.448 | 32.996 | 16.282 | 26.989 | 14.755 | 17.004 | 12.965 |
| 2 | 26.323 | 30.855 | 26.125 | 20.199 | 38.706 | 32.763 | 50.863 | 28.702 | 75.390 | 35.732 | 66.718 | 29.073 | 29.265 | 24.463 |
| 4 | 42.432 | 47.611 | 43.257 | 32.310 | 73.814 | 56.882 | 122.577 | 69.242 | 143.393 | 63.885 | 153.160 | 61.240 | 56.439 | 37.783 |
| 6 | 58.237 | 66.565 | 64.786 | 45.233 | 99.369 | 86.967 | 192.281 | 119.649 | 213.875 | 96.882 | 228.782 | 93.672 | 83.775 | 58.895 |
| 8 | 79.404 | 85.713 | 86.440 | 58.685 | 139.910 | 119.361 | 262.773 | 172.270 | 287.681 | 134.637 | 302.646 | 126.305 | 117.472 | 76.410 |
| 10 | 97.035 | 104.903 | 108.030 | 72.411 | 181.056 | 152.354 | 332.768 | 223.818 | 362.574 | 171.680 | 377.084 | 158.546 | 150.034 | 92.344 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Desplazamientos en el piso 7

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|---------|------------|--------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.5 | 12.934 | 12.465 | 13.725 | 10.445 | 15.053 | 14.514 | 16.466 | 11.830 | 24.495 | 12.812 | 18.492 | 12.603 | 15.376 | 10.997 |
| 1 | 17.678 | 19.023 | 18.841 | 13.353 | 23.903 | 22.558 | 27.183 | 17.402 | 41.147 | 19.507 | 33.232 | 17.647 | 20.814 | 15.603 |
| 2 | 32.461 | 37.288 | 32.218 | 24.684 | 47.760 | 39.708 | 62.911 | 34.803 | 93.966 | 43.762 | 82.998 | 35.457 | 36.027 | 29.650 |
| 4 | 52.184 | 57.730 | 53.758 | 39.398 | 91.929 | 69.055 | 153.415 | 84.589 | 179.560 | 77.994 | 191.657 | 75.736 | 70.024 | 45.836 |
| 6 | 72.138 | 80.101 | 80.682 | 55.175 | 124.068 | 106.016 | 241.249 | 146.679 | 268.314 | 117.319 | 286.906 | 116.352 | 104.556 | 71.848 |
| 8 | 98.600 | 103.397 | 107.546 | 71.596 | 175.006 | 145.991 | 329.827 | 211.628 | 361.055 | 163.328 | 379.839 | 157.015 | 147.244 | 93.677 |
| 10 | 121.173 | 127.047 | 134.633 | 88.347 | 226.709 | 186.729 | 417.889 | 275.337 | 455.316 | 208.516 | 473.388 | 197.011 | 188.006 | 113.357 |

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Derivas Inelásticas Máximas

Con los desplazamientos obtenidos se pudo determinar las derivas inelásticas máximas que presenta la construcción por entrepiso.

Tabla 26: Derivas máximas en el piso 1

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.5 | -0.0023 | -0.0007 | -0.0023 | -0.0010 | -0.0021 | -0.0005 | -0.0020 | -0.0008 | -0.0013 | -0.0006 | -0.0017 | -0.0008 | -0.0021 | -0.0009 |
| 1 | -0.0017 | 0.0003 | -0.0018 | -0.0005 | -0.0014 | 0.0006 | -0.0009 | -0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | -0.0004 | 0.0000 | -0.0016 | -0.0003 |
| 2 | 0.0013 | 0.0030 | 0.0016 | 0.0011 | 0.0011 | 0.0031 | 0.0021 | 0.0021 | 0.0035 | 0.0038 | 0.0029 | 0.0018 | 0.0008 | 0.0018 |
| 4 | 0.0028 | 0.0056 | 0.0020 | 0.0033 | 0.0036 | 0.0061 | 0.0078 | 0.0069 | 0.0096 | 0.0084 | 0.0113 | 0.0040 | 0.0033 | 0.0045 |
| 6 | 0.0047 | 0.0082 | 0.0038 | 0.0056 | 0.0056 | 0.0088 | 0.0143 | 0.0133 | 0.0163 | 0.0124 | 0.0178 | 0.0074 | 0.0058 | 0.0068 |
| 8 | 0.0069 | 0.0115 | 0.0056 | 0.0078 | 0.0097 | 0.0127 | 0.0210 | 0.0200 | 0.0231 | 0.0180 | 0.0244 | 0.0114 | 0.0077 | 0.0090 |
| 10 | 0.0091 | 0.0149 | 0.0080 | 0.0101 | 0.0140 | 0.0168 | 0.0281 | 0.0266 | 0.0299 | 0.0235 | 0.0311 | 0.0160 | 0.0106 | 0.0111 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Derivas máximas en el piso 2

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.5 | 0.0002 | 0.0013 | 0.0003 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0016 | 0.0008 | 0.0012 | 0.0021 | 0.0014 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0006 | 0.0010 |
| 1 | 0.0012 | 0.0026 | 0.0011 | 0.0015 | 0.0019 | 0.0031 | 0.0026 | 0.0021 | 0.0046 | 0.0027 | 0.0035 | 0.0023 | 0.0014 | 0.0018 |
| 2 | 0.0039 | 0.0060 | 0.0035 | 0.0035 | 0.0052 | 0.0062 | 0.0076 | 0.0050 | 0.0115 | 0.0071 | 0.0102 | 0.0045 | 0.0036 | 0.0044 |
| 4 | 0.0073 | 0.0084 | 0.0063 | 0.0055 | 0.0108 | 0.0092 | 0.0186 | 0.0124 | 0.0209 | 0.0118 | 0.0240 | 0.0089 | 0.0079 | 0.0065 |
| 6 | 0.0107 | 0.0082 | 0.0065 | 0.0058 | 0.0102 | 0.0107 | 0.0237 | 0.0187 | 0.0237 | 0.0138 | 0.0277 | 0.0114 | 0.0098 | 0.0062 |
| 8 | 0.0141 | 0.0090 | 0.0075 | 0.0060 | 0.0113 | 0.0124 | 0.0242 | 0.0207 | 0.0248 | 0.0160 | 0.0253 | 0.0120 | 0.0099 | 0.0065 |
| 10 | 0.0177 | 0.0085 | 0.0079 | 0.0061 | 0.0149 | 0.0127 | 0.0251 | 0.0211 | 0.0255 | 0.0166 | 0.0256 | 0.0129 | 0.0106 | 0.0066 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Derivas máximas en el piso 3

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.5 | 0.0021 | 0.0027 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0026 | 0.0031 | 0.0029 | 0.0025 | 0.0046 | 0.0028 | 0.0034 | 0.0027 | 0.0026 | 0.0023 |
| 1 | 0.0033 | 0.0042 | 0.0033 | 0.0029 | 0.0044 | 0.0050 | 0.0053 | 0.0038 | 0.0082 | 0.0044 | 0.0065 | 0.0039 | 0.0037 | 0.0033 |
| 2 | 0.0065 | 0.0083 | 0.0063 | 0.0052 | 0.0094 | 0.0087 | 0.0126 | 0.0075 | 0.0183 | 0.0095 | 0.0164 | 0.0075 | 0.0069 | 0.0064 |
| 4 | 0.0110 | 0.0131 | 0.0103 | 0.0086 | 0.0181 | 0.0154 | 0.0299 | 0.0190 | 0.0348 | 0.0174 | 0.0377 | 0.0155 | 0.0139 | 0.0101 |
| 6 | 0.0157 | 0.0192 | 0.0157 | 0.0121 | 0.0243 | 0.0236 | 0.0469 | 0.0325 | 0.0520 | 0.0277 | 0.0561 | 0.0236 | 0.0207 | 0.0157 |
| 8 | 0.0202 | 0.0247 | 0.0213 | 0.0157 | 0.0344 | 0.0321 | 0.0645 | 0.0466 | 0.0702 | 0.0384 | 0.0743 | 0.0322 | 0.0283 | 0.0201 |
| 10 | 0.0247 | 0.0299 | 0.0266 | 0.0194 | 0.0448 | 0.0408 | 0.0820 | 0.0605 | 0.0884 | 0.0489 | 0.0927 | 0.0405 | 0.0366 | 0.0242 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Derivas máximas en el piso 4

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.5 | 0.0035 | 0.0036 | 0.0037 | 0.0030 | 0.0040 | 0.0041 | 0.0044 | 0.0034 | 0.0064 | 0.0037 | 0.0049 | 0.0036 | 0.0040 | 0.0032 |
| 1 | 0.0047 | 0.0054 | 0.0049 | 0.0038 | 0.0062 | 0.0064 | 0.0071 | 0.0049 | 0.0105 | 0.0056 | 0.0086 | 0.0051 | 0.0054 | 0.0044 |
| 2 | 0.0085 | 0.0104 | 0.0084 | 0.0067 | 0.0123 | 0.0109 | 0.0162 | 0.0096 | 0.0235 | 0.0119 | 0.0210 | 0.0096 | 0.0093 | 0.0082 |
| 4 | 0.0139 | 0.0160 | 0.0135 | 0.0107 | 0.0232 | 0.0192 | 0.0381 | 0.0232 | 0.0444 | 0.0211 | 0.0477 | 0.0196 | 0.0178 | 0.0127 |
| 6 | 0.0191 | 0.0232 | 0.0202 | 0.0149 | 0.0310 | 0.0291 | 0.0594 | 0.0396 | 0.0660 | 0.0333 | 0.0709 | 0.0297 | 0.0262 | 0.0196 |
| 8 | 0.0251 | 0.0296 | 0.0271 | 0.0193 | 0.0436 | 0.0396 | 0.0813 | 0.0568 | 0.0887 | 0.0460 | 0.0936 | 0.0401 | 0.0362 | 0.0251 |
| 10 | 0.0303 | 0.0362 | 0.0338 | 0.0239 | 0.0564 | 0.0503 | 0.1029 | 0.0736 | 0.1117 | 0.0586 | 0.1167 | 0.0504 | 0.0465 | 0.0302 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Derivas máximas en el piso 5

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.5 | 0.0042 | 0.0041 | 0.0044 | 0.0035 | 0.0048 | 0.0047 | 0.0052 | 0.0039 | 0.0075 | 0.0042 | 0.0058 | 0.0041 | 0.0048 | 0.0036 |
| 1 | 0.0056 | 0.0061 | 0.0059 | 0.0044 | 0.0073 | 0.0073 | 0.0084 | 0.0056 | 0.0124 | 0.0064 | 0.0102 | 0.0058 | 0.0064 | 0.0050 |
| 2 | 0.0099 | 0.0119 | 0.0098 | 0.0076 | 0.0145 | 0.0125 | 0.0190 | 0.0110 | 0.0279 | 0.0135 | 0.0248 | 0.0111 | 0.0110 | 0.0094 |
| 4 | 0.0160 | 0.0182 | 0.0161 | 0.0123 | 0.0274 | 0.0218 | 0.0452 | 0.0264 | 0.0528 | 0.0243 | 0.0565 | 0.0229 | 0.0210 | 0.0145 |
| 6 | 0.0218 | 0.0258 | 0.0240 | 0.0171 | 0.0368 | 0.0331 | 0.0707 | 0.0454 | 0.0786 | 0.0373 | 0.0842 | 0.0349 | 0.0310 | 0.0224 |
| 8 | 0.0296 | 0.0331 | 0.0321 | 0.0222 | 0.0517 | 0.0453 | 0.0966 | 0.0651 | 0.1057 | 0.0517 | 0.1113 | 0.0470 | 0.0432 | 0.0289 |
| 10 | 0.0358 | 0.0405 | 0.0400 | 0.0275 | 0.0668 | 0.0577 | 0.1223 | 0.0845 | 0.1331 | 0.0659 | 0.1386 | 0.0591 | 0.0553 | 0.0349 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Derivas máximas en el piso 6

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.5 | 0.0045 | 0.0043 | 0.0048 | 0.0036 | 0.0052 | 0.0050 | 0.0057 | 0.0041 | 0.0082 | 0.0044 | 0.0063 | 0.0043 | 0.0053 | 0.0038 |
| 1 | 0.0060 | 0.0065 | 0.0064 | 0.0046 | 0.0080 | 0.0077 | 0.0091 | 0.0059 | 0.0136 | 0.0067 | 0.0111 | 0.0061 | 0.0070 | 0.0053 |
| 2 | 0.0108 | 0.0127 | 0.0108 | 0.0083 | 0.0159 | 0.0135 | 0.0209 | 0.0118 | 0.0310 | 0.0147 | 0.0275 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0101 |
| 4 | 0.0175 | 0.0196 | 0.0178 | 0.0133 | 0.0304 | 0.0234 | 0.0504 | 0.0285 | 0.0590 | 0.0263 | 0.0630 | 0.0252 | 0.0232 | 0.0155 |
| 6 | 0.0240 | 0.0274 | 0.0267 | 0.0186 | 0.0409 | 0.0358 | 0.0791 | 0.0492 | 0.0880 | 0.0399 | 0.0941 | 0.0385 | 0.0345 | 0.0242 |
| 8 | 0.0327 | 0.0353 | 0.0356 | 0.0242 | 0.0576 | 0.0491 | 0.1081 | 0.0709 | 0.1184 | 0.0554 | 0.1245 | 0.0520 | 0.0483 | 0.0314 |
| 10 | 0.0399 | 0.0432 | 0.0445 | 0.0298 | 0.0745 | 0.0627 | 0.1369 | 0.0921 | 0.1492 | 0.0707 | 0.1552 | 0.0652 | 0.0617 | 0.0380 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Derivas máximas en el piso 7

| SA | REGISTRO 1 | | REGISTRO 2 | | REGISTRO 3 | | REGISTRO 4 | | REGISTRO 5 | | REGISTRO 6 | | REGISTRO 7 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.5 | 0.0046 | 0.0044 | 0.0048 | 0.0037 | 0.0053 | 0.0051 | 0.0058 | 0.0042 | 0.0086 | 0.0045 | 0.0065 | 0.0044 | 0.0054 | 0.0039 |
| 1 | 0.0062 | 0.0067 | 0.0066 | 0.0047 | 0.0084 | 0.0080 | 0.0096 | 0.0061 | 0.0145 | 0.0069 | 0.0117 | 0.0062 | 0.0073 | 0.0055 |
| 2 | 0.0115 | 0.0132 | 0.0114 | 0.0087 | 0.0168 | 0.0140 | 0.0222 | 0.0123 | 0.0331 | 0.0154 | 0.0293 | 0.0125 | 0.0127 | 0.0105 |
| 4 | 0.0184 | 0.0204 | 0.0190 | 0.0139 | 0.0324 | 0.0244 | 0.0541 | 0.0298 | 0.0633 | 0.0275 | 0.0676 | 0.0267 | 0.0247 | 0.0162 |
| 6 | 0.0254 | 0.0283 | 0.0285 | 0.0195 | 0.0438 | 0.0374 | 0.0851 | 0.0517 | 0.0946 | 0.0414 | 0.1012 | 0.0410 | 0.0369 | 0.0253 |
| 8 | 0.0348 | 0.0365 | 0.0379 | 0.0253 | 0.0617 | 0.0515 | 0.1163 | 0.0746 | 0.1274 | 0.0576 | 0.1340 | 0.0554 | 0.0519 | 0.0330 |
| 10 | 0.0427 | 0.0448 | 0.0475 | 0.0312 | 0.0800 | 0.0659 | 0.1474 | 0.0971 | 0.1606 | 0.0736 | 0.1670 | 0.0695 | 0.0663 | 0.0400 |

Fuente: Elaboración propia

Nota: Se puede observar que en los 3 últimos niveles y con los registros sin escalar (1G), el valor de la deriva es mayor de 0.007 acorde al límite indicado en la norma E030.

4.1.4. Curva IDA

La curva IDA de la edificación determina el nivel de peligro sísmico asociando cada aceleración espectral (S_a) con una deriva dada.

Después de realizar los diferentes Análisis Dinámicos Tiempo – Historia incrementales en el software ETABS 2017, se obtuvo la siguiente curva IDA.

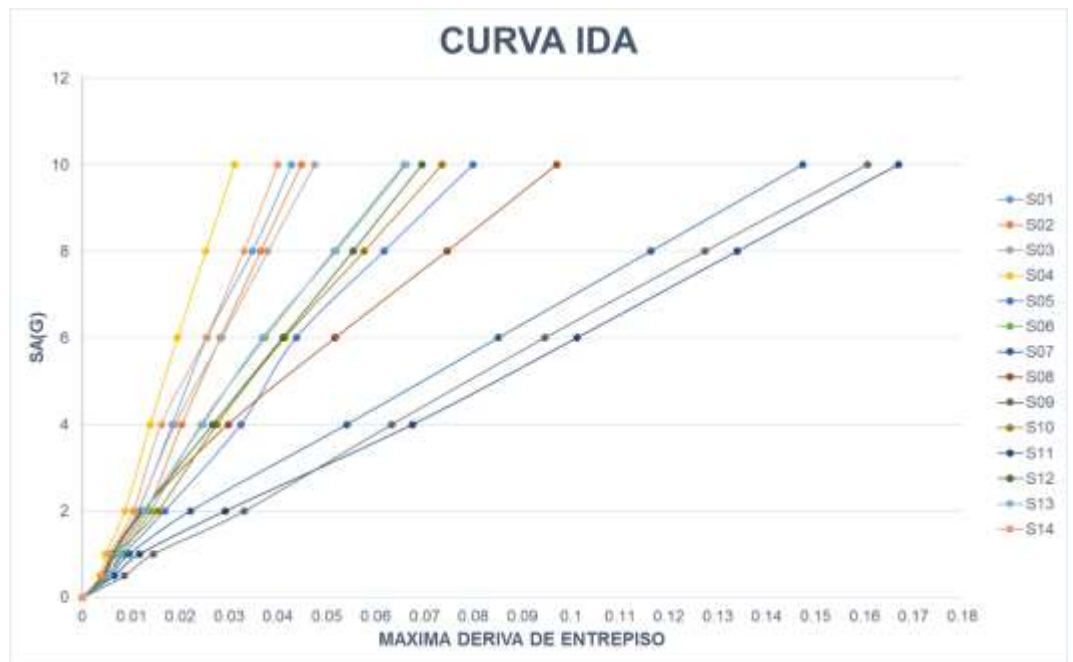


Figura 66: Curva IDA del proyecto.

Fuente: Elaboración Propia.

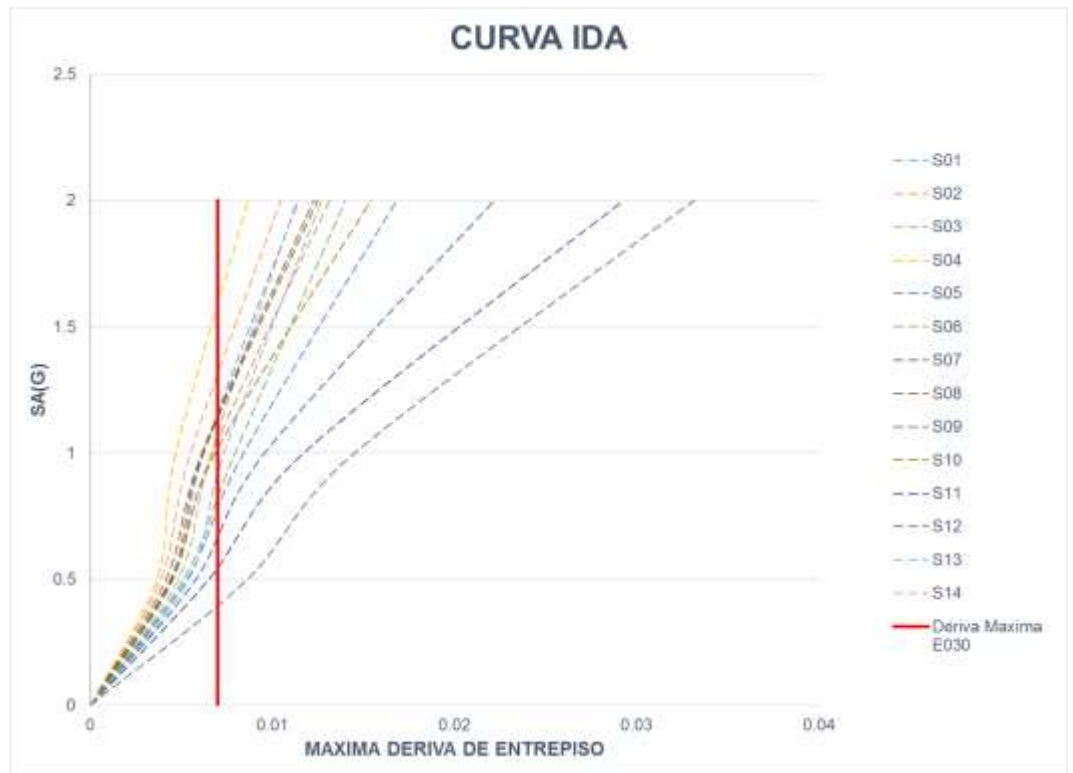


Figura 67: Curva IDA del proyecto delimitada con la deriva máxima de la norma E030.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.5. Desempeño Sísmico conforme VISION 2000 – SEAOC

Para la determinación de las Curvas de Peligro Sísmico se utilizó el aplicativo web “Actualización del Programa de Cómputo Orientado a la Determinación del Peligro Sísmico en el País”, donde se especificó la ubicación del edificio, el periodo estructural y un amortiguamiento del 5%. Las curvas encontradas corresponden a la probabilidad Anual de excedencia con una $S_a(g)$ y con las derivas obtenidas anteriormente se halla la media geométrica para compararla con la deriva establecida en la norma VISION 2000 – SEAOC. Finalmente se analiza si cada nivel de peligro sísmico alcanza o falla su propio nivel de rendimiento.

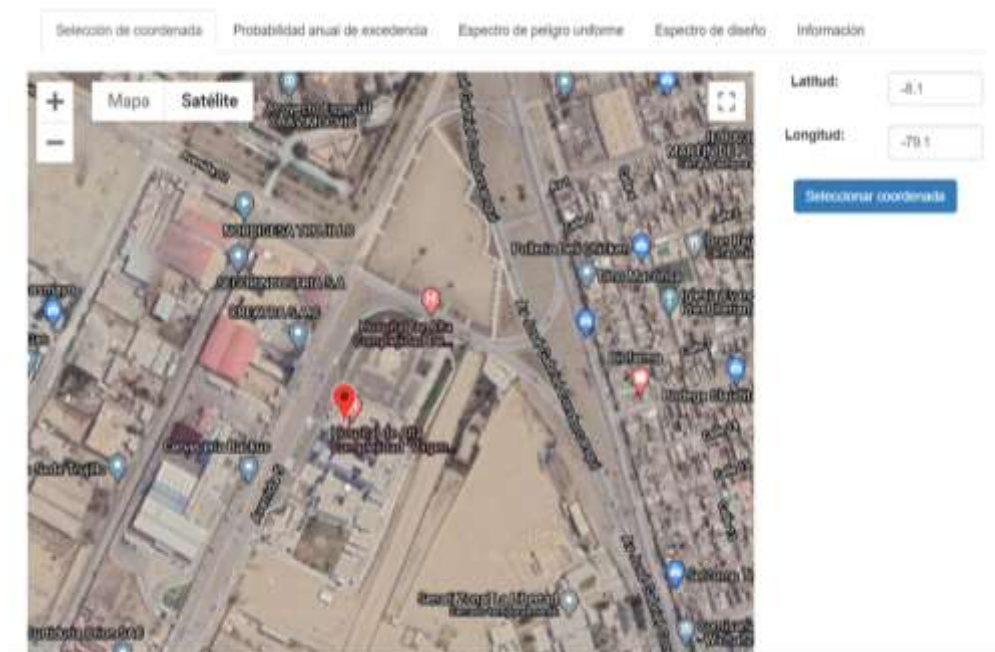


Figura 68: Ubicación del proyecto.

Fuente: SENCICO.

Tabla 33: Aceleraciones para los niveles de peligro sísmico.

| | Ocasional | Raro | Muy Raro |
|-------|-------------|---------------|--------------|
| | Tr= 72 años | Tr = 475 años | Tr= 970 años |
| TESIS | 0.46 | 1.01 | 1.31 |

Fuente: Elaboración propia

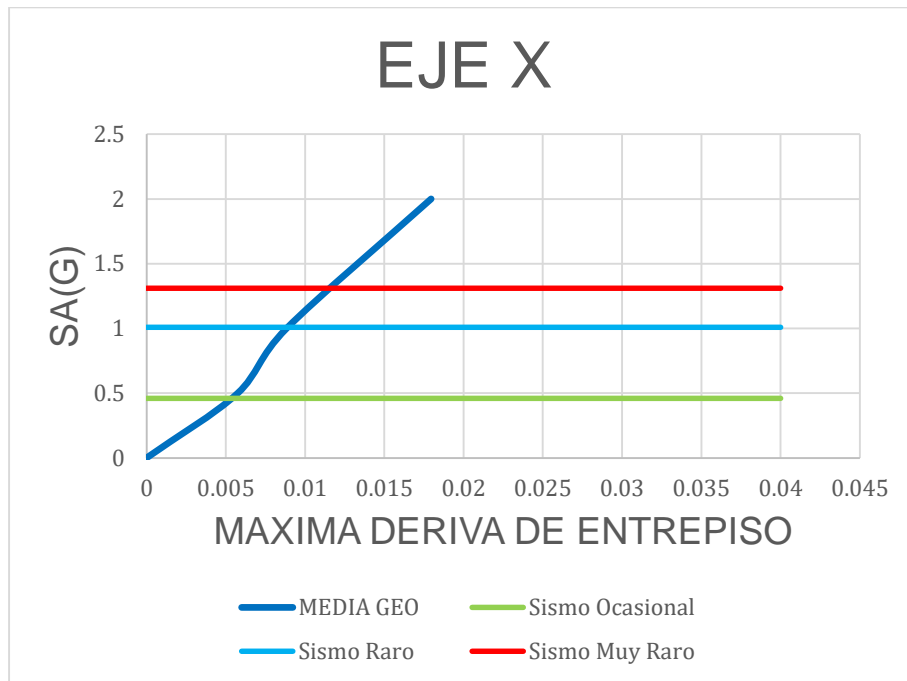


Figura 69: Niveles del peligro sísmico en el eje X

Fuente: Elaboración Propia.

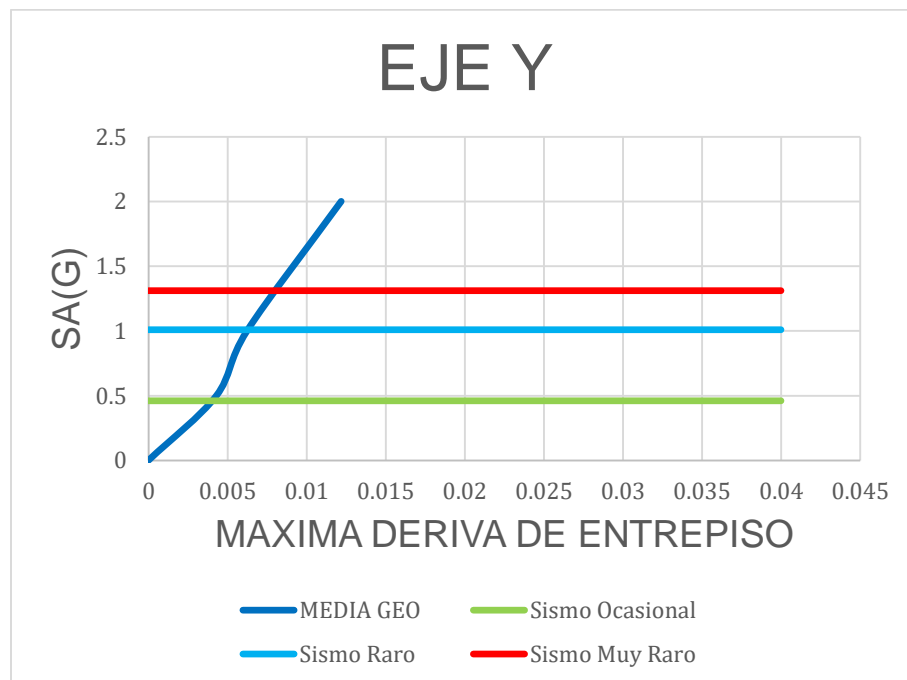


Figura 70: Niveles del peligro sísmico en el eje Y

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34: Niveles de peligro sísmico en el eje X.

| | | NIVEL DE DESEMPEÑO | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------|----------------|------------------|
| | | Totalmente operacional | Operacional | Seguro de Vida | Cerca de Colapso |
| NIVEL DE PELIGRO SISMICO | Frecuente (Tr = 43 años) | | | | |
| | Ocasional (Tr = 72 años) | 0.005 ≤ 0.002 | | | |
| | Raro (Tr = 475 años) | | 0.009 ≤ 0.005 | | |
| | Mur Raro (Tr = 970 años) | | | 0.012 ≤ 0.015 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Niveles de peligro sísmico en el eje Y.

| | | NIVEL DE DESEMPEÑO | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------|----------------|------------------|
| | | Totalmente operacional | Operacional | Seguro de Vida | Cerca de Colapso |
| NIVEL DE PELIGRO SISMICO | Frecuente (Tr = 43 años) | | | | |
| | Ocasional (Tr = 72 años) | 0.004 ≤ 0.002 | | | |
| | Raro (Tr = 475 años) | | 0.006 ≤ 0.005 | | |
| | Mur Raro (Tr = 970 años) | | | 0.008 ≤ 0.015 | |

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Nivel de desempeño en los elementos estructurales

Al ejecutar el análisis de los elementos estructurales, se estableció las respuestas locales de estos al iniciar el pre colapso, relacionando una aceleración a sus niveles de desempeño, estas se especifican en las figuras mostradas a continuación.



Figura 71: Nivel de desempeño en columnas en 1G.

Fuente: Elaboración Propia.

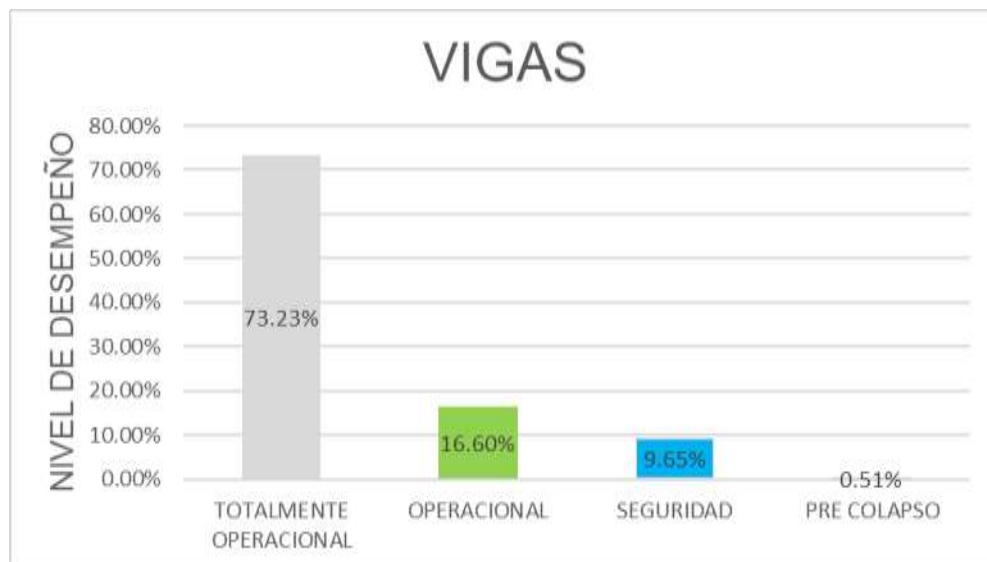


Figura 72: Nivel de desempeño en vigas en 1G.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 73: Nivel de desempeño en walls en 1G.

Fuente: Elaboración Propia.

Posteriormente se analizó con los demás incrementos hasta llegar al nivel de desempeño de pre colapso.

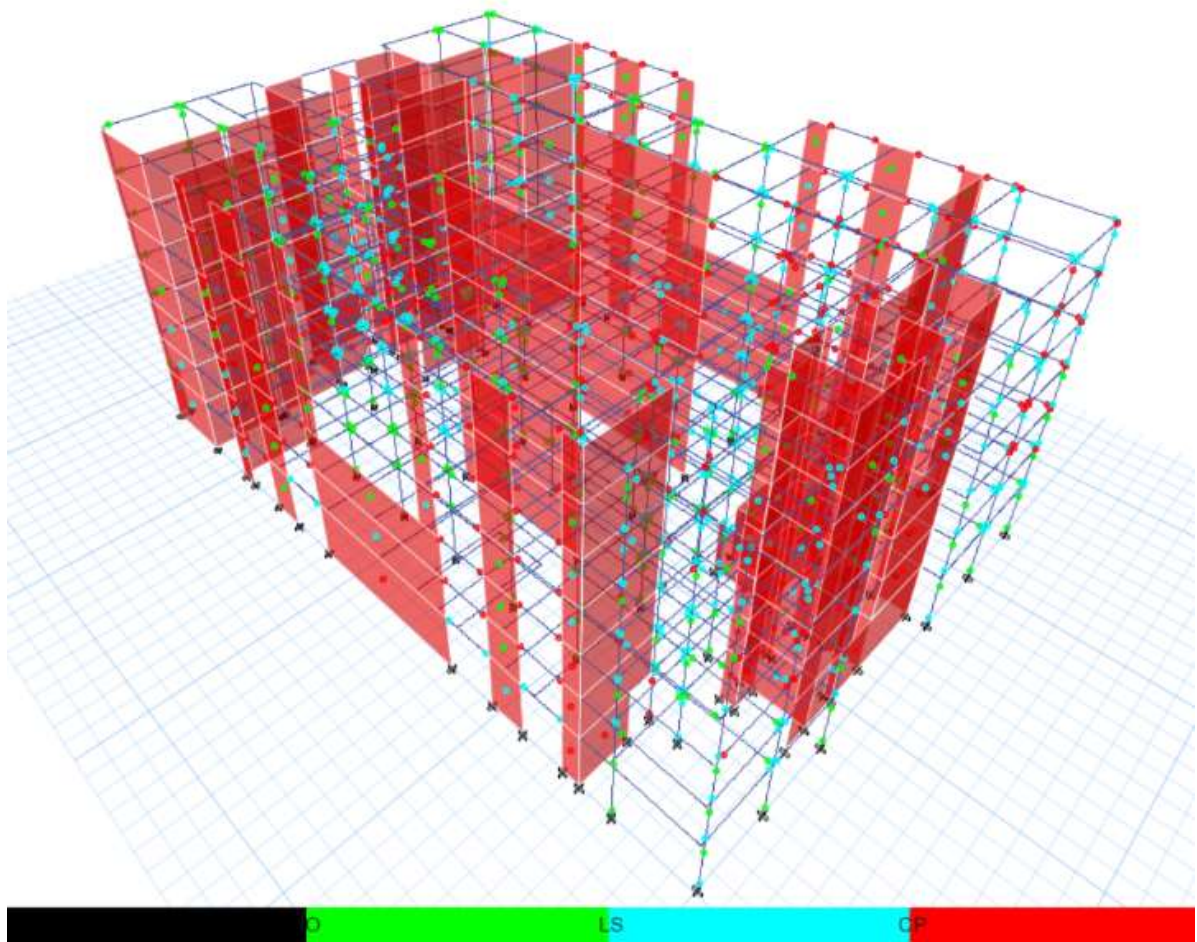


Figura 74: Nivel de desempeño en 8G.

Fuente: Elaboración Propia.

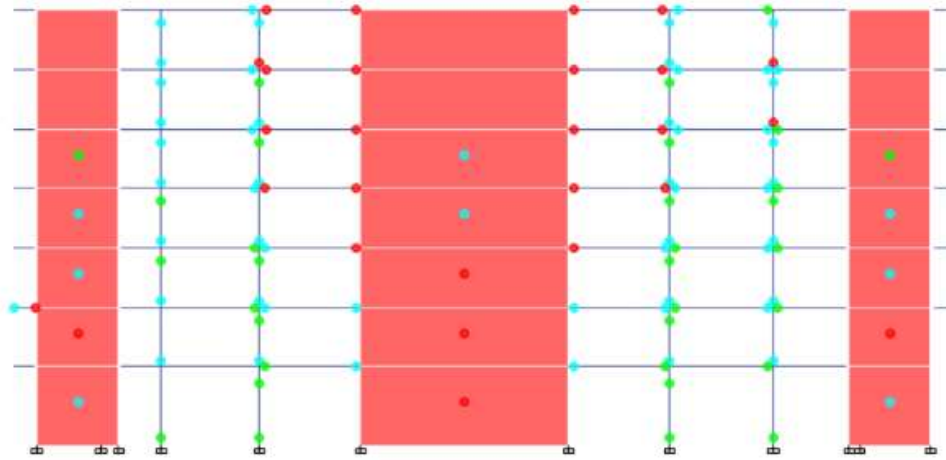


Figura 75: Nivel de desempeño en 8G en el eje H.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 76: Nivel de desempeño en columnas en 8G.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 77: Nivel de desempeño en vigas en 8G.

Fuente: Elaboración Propia.

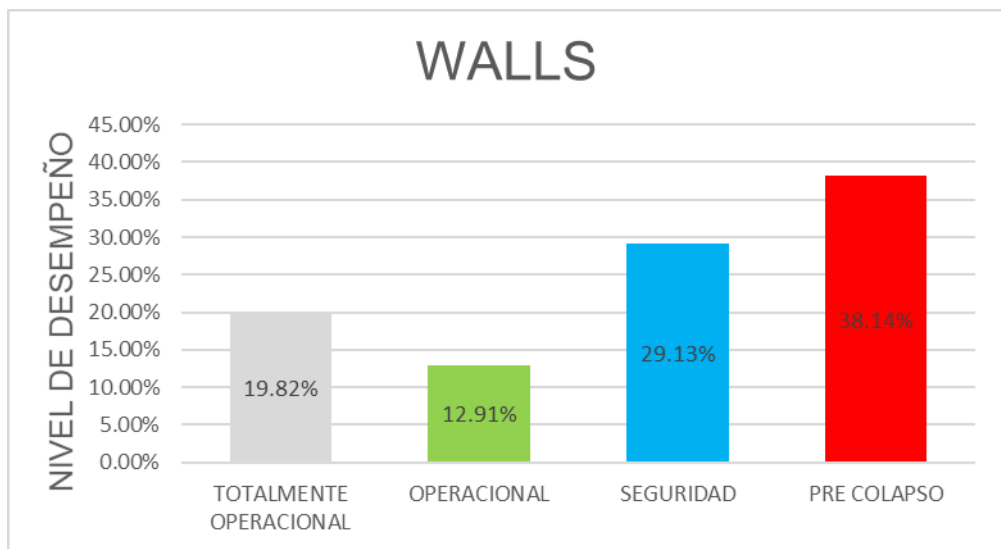


Figura 78: Nivel de desempeño en walls en 8G.

Fuente: Elaboración Propia.

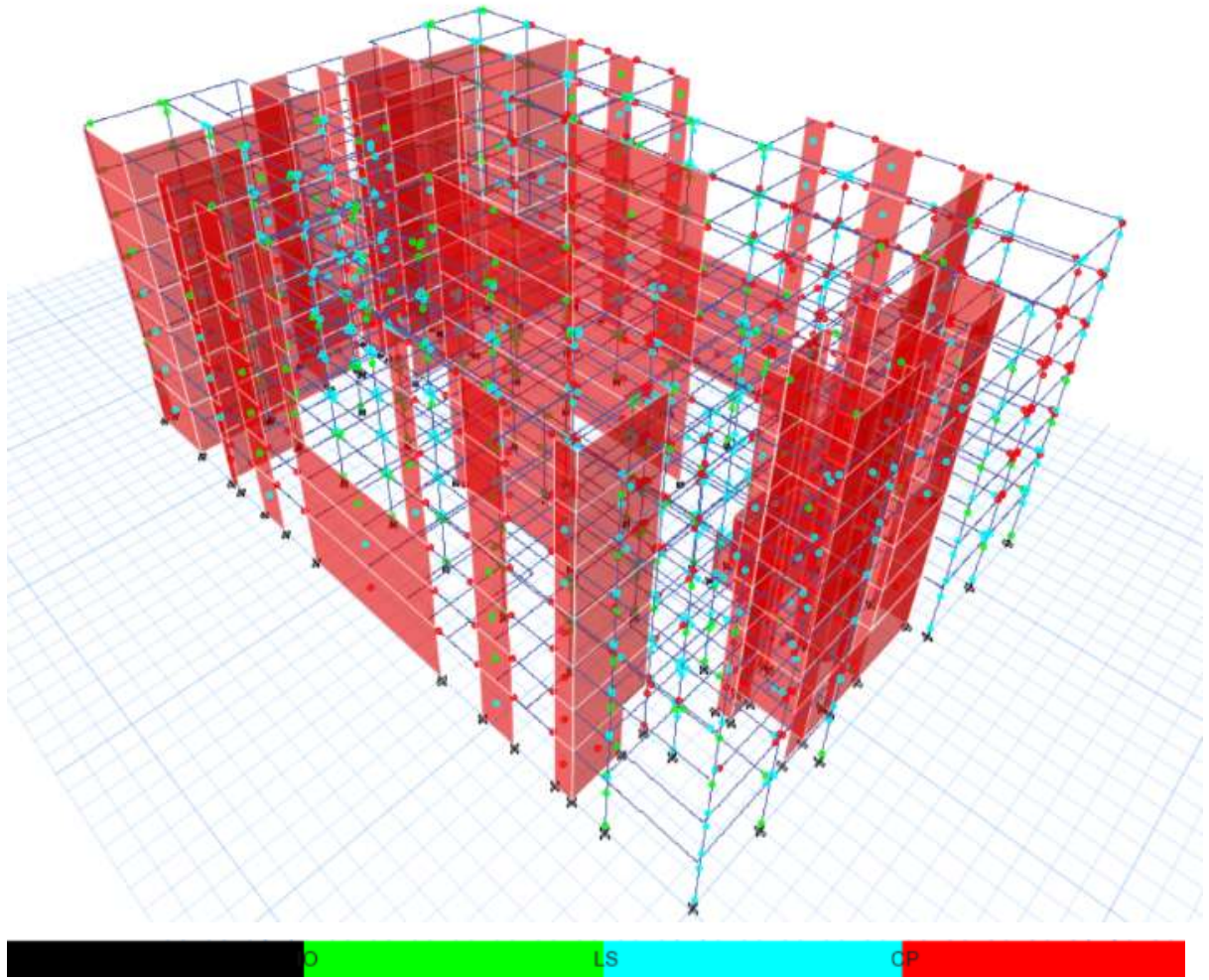


Figura 79: Nivel de desempeño en 10G.

Fuente: Elaboración Propia.

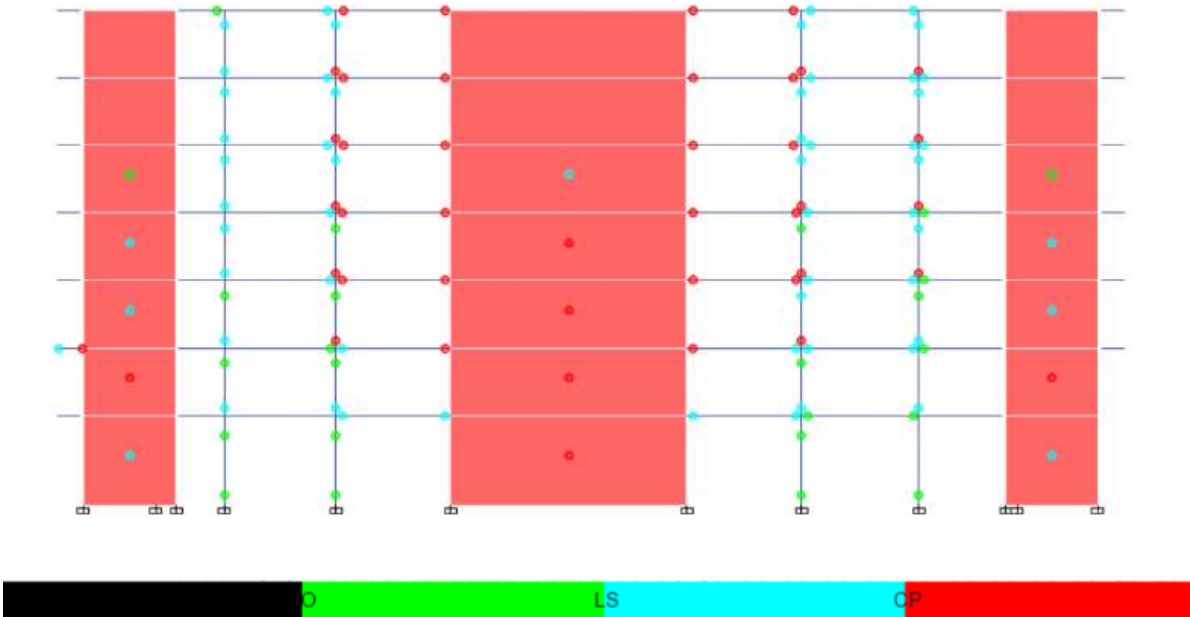


Figura 80: Nivel de desempeño en 10G en el eje H.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 81: Nivel de desempeño en columnas en 10G.

Fuente: Elaboración Propia.

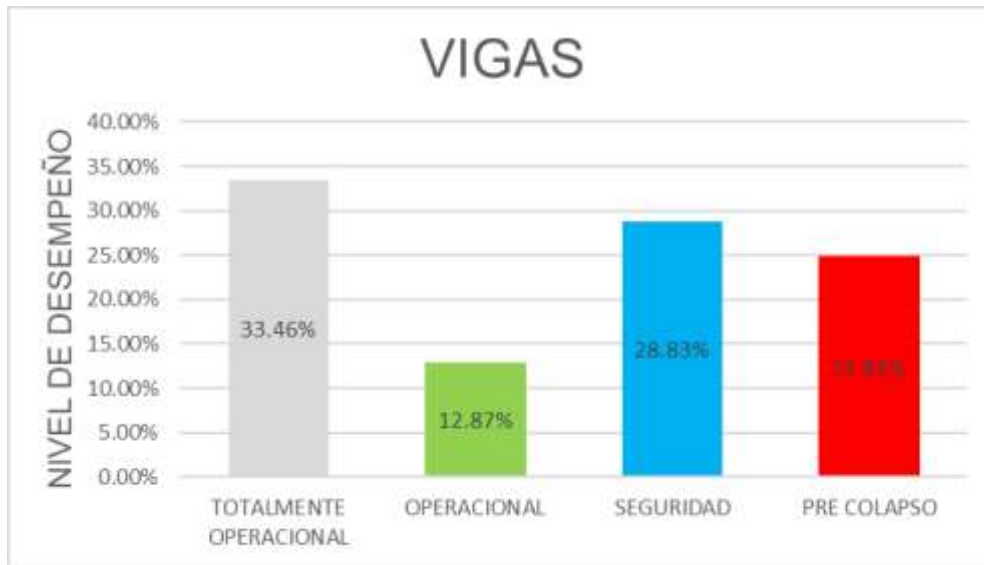


Figura 82: Nivel de desempeño en vigas en 10G.

Fuente: Elaboración Propia.

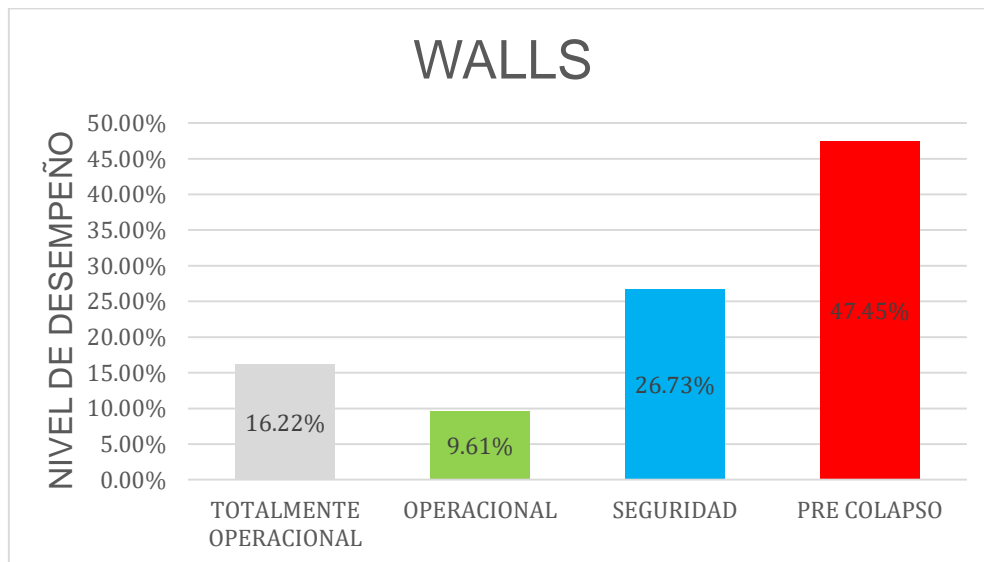


Figura 83: Nivel de desempeño en walls en 10G.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.7. Rigidez de la Edificación

La rigidez elástica de la edificación se logró después del análisis de las figuras 84 y 85, donde se obtuvo la cortante basal, tras transformar la aceleración espectral (S_a) a toneladas(ton), multiplicando dicho valor por el peso de la estructura, considerando el 90% de peso a usar. Entre tanto los desplazamientos (m) se obtienen multiplicando las derivas máximas por la altura de entrepiso, siendo esta altura 4.05 m.

Tabla 36: Rigidez elástica.

| | RIGIDEZ TON/M | |
|-----------|------------------|----------|
| | NTP E0.30 - 2018 | IDA |
| Eje X - X | 45368.56 | 29668.90 |
| Eje Y - Y | 47955.89 | 31145.33 |

Fuente: Elaboración propia

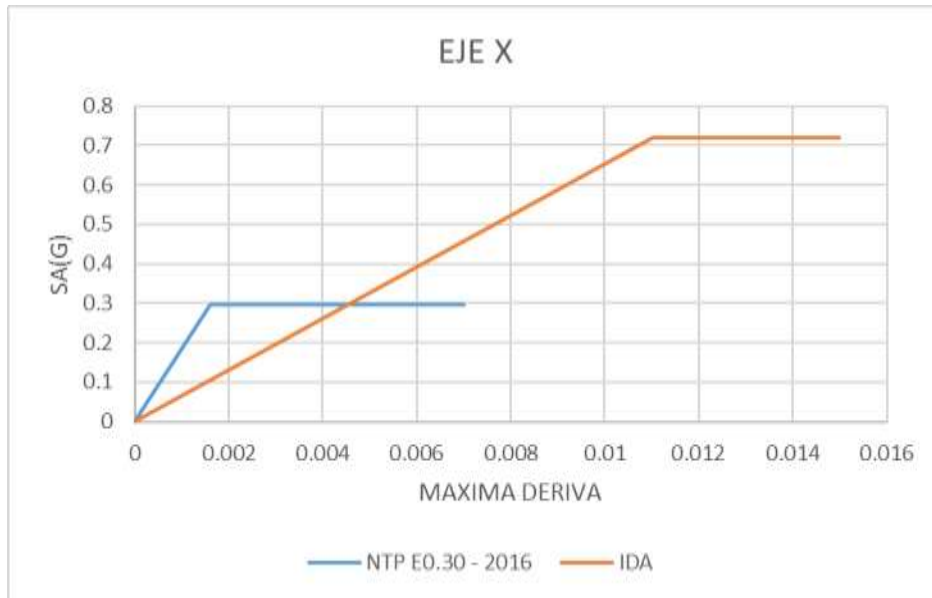


Figura 84: Curva de capacidad en el eje x.

Fuente: Elaboración Propia.

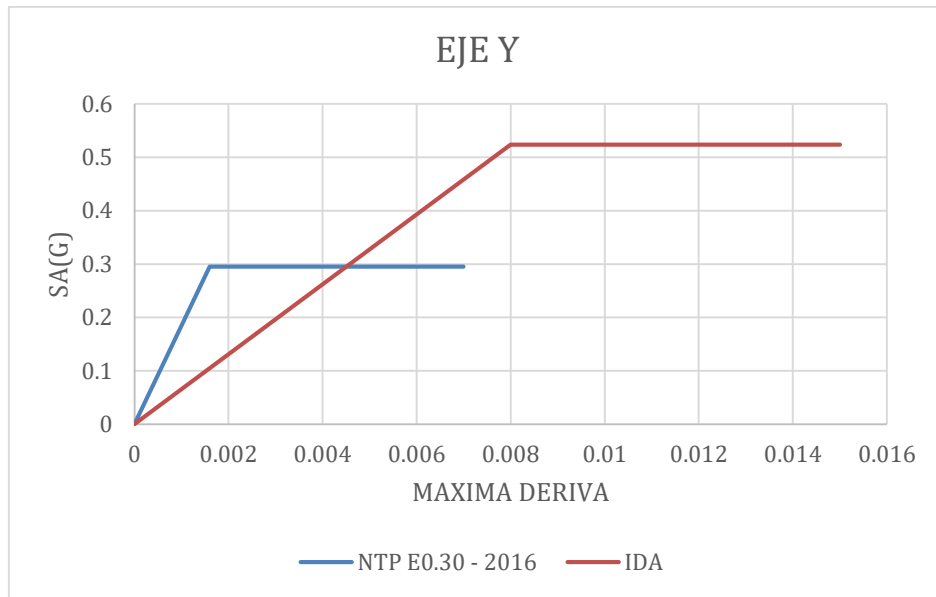


Figura 85: Curva de capacidad en el eje x.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.8. Coeficiente de Reducción

Para evaluar el coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas "R", debemos seguir los mismos principios en los que se basan las reglamentaciones, en este caso, la norma E.030-2018 indica: Para estructuras regulares, la deriva elástica generada por la placa de corte de la base de diseño de acuerdo con la norma ($S_a = ZUCS / R$) debe amplificarse en $0.75R$ para producir una deriva o desplazamiento inelástico, que es la deriva límite de acuerdo con la norma (0.007 para E.030-2018), y la estructura debe tener un Desempeño de Seguridad de Vida. Sabiendo que el valor "R" en la norma es 6, es necesario amplificar su deriva elástica en 4.5.

Tabla 37: *Coefficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas.*

| | Deriva Elástica | Deriva en Seguridad de vida | Coefficiente "R" | Ampliación | "R" Ampliado | |
|------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|------------|--------------|------|
| NTP E0.30 - 2016 | 0.0016 | 0.0070 | 6.00 | 0.75R | 4.50 | |
| IDA | Eje X - X | 0.0120 | 0.0150 | 1.67 | 0.75R | 1.25 |
| | Eje Y - Y | 0.0080 | 0.0150 | 2.50 | 0.75R | 1.88 |

Fuente: Elaboración propia

4.2. Prueba de hipótesis

Al haber realizado el Análisis Dinámico Incremental del bloque estudiado del Hospital "Virgen de la Puerta" se llegó a concluir que este no cumple con el nivel de desempeño operacional al tener derivas de 0.009 y 0.006 en el eje x e y, respectivamente siendo mayores que la deriva límite, asimismo que los daños locales mayores en los elementos estructurales se dieron en las vigas.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- La ductilidad en columnas y vigas de acuerdo a las tablas 17 y 18 muestran ductilidades altas en la mayoría de los elementos siendo así que la capacidad de disipar la energía en su rango inelástico es mayor, con excepción de las vigas y las columnas con menores dimensiones, constatando esto con los estados de daño en los elementos estructurales, donde los daños se dan en dichos elementos. Se halló ductilidades de 1.36 a 41.00 en columnas y de 7.67 a 13.40 en vigas.

- Los desplazamientos máximos por pisos obtenidos entre las tablas 19 y 25 muestran la regla de “igual desplazamiento”.

Los desplazamientos inelásticos de techo tras realizar la media geométrica son de 25.03 cm en el eje x y 17.66 cm en el eje y, teniendo en cuenta un incremento de 1G.

- Las derivas máximas halladas tanto para el eje x como para el eje y, fueron: para un Sismo Ocasional de 0.005 y 0.004, para un Sismo raro de 0.009 y 0.006 y para un Sismo Muy Raro de 0.0012 y 0.008, respectivamente.

- La curva IDA detallada en la figura 66, tiene una conducta rectilínea, clasificándolo en un comportamiento endurecido, si la estructura se mantiene lineal la Curva IDA seguirá siendo de línea recta, al tener desplazamientos con relación a las intensidades del movimiento del terreno.

- El Desempeño Sísmico conforme a los parámetros de la norma VISION 2000 – SEAOC, al ser un hospital de Alta Complejidad se clasifica como una “Edificación Esencial”, asociándolo a un nivel de desempeño Totalmente Operacional, Operacional y Seguridad de Vida para los niveles de peligro sísmico de un Sismo Ocasional, Raro y Muy Raro correspondientemente, los cuales se detallan en el punto 2, para esto la Norma VISION 2000 – SEAOC tiene establecidos los niveles de peligro sísmico para un periodo de retorno de 43,72, 475, 970 años detallados en la Tabla 7.

Los datos en las tablas 34 y 35 muestran que nuestra estructura se encuentra en un nivel de desempeño de Seguridad de Vida en las derivas 0.012 y 0.008 para el eje x e y, correspondientemente las cuales llegan a cumplir con la norma usada.

- Para la comprobación del nivel de desempeño en el incremento 1G, los elementos más críticos a disipar una mayor cantidad de energía y llegar a

plastificarse hasta llegar al colapso ante una acción sísmica dentro de la edificación son la columna C50 ubicada en el piso 4 y las vigas B3 y B32 ubicadas en el piso 2 y 7 respectivamente.

Posteriormente al ir incrementando hasta llegar al nivel de desempeño de pre colapso, produciéndose en el incremento de 8.3G, con un 25.7% de columnas, un 25.8% de vigas y 39.5% en muros estructurales con un nivel de desempeño de pre colapso.

- La Rigidez de la edificación según la tabla 36 presenta una mayor rigidez en el eje y-y a comparación del eje x-x, ambas cuentan con columnas que aportan rigidez similar, deduciendo que el aporte de rigidez de los muros estructurales es un factor relevante, siendo el eje y-y el que presenta más de estas.
- Los coeficientes de reducción "R" detallados en la tabla 37 para el análisis de esta tesis son de 1.82 en el eje x-x y 2.50 en el eje y-y.

CONCLUSIONES

- Empleando el software de diseño ETABS se realizó en primer lugar el modelamiento estructural de la edificación en estudio; este programa fue el que utilizamos para realizar el Análisis Dinámico Incremental y de esta manera obtener los resultados para determinar el Desempeño Sísmico.
- Los 7 pares de registros sísmicos fueron seleccionados considerando la ubicación de la edificación en estudio, en la Tabla 15 se detallan las características (nomenclatura, componente de dirección, ubicación, fecha de ocurrencia, magnitud, profundidad y aceleración máxima promedio) de estas aceleraciones.

- De acuerdo al cálculo realizado los valores mínimos de ductilidad en el elemento columna fue de 1.36 y en el elemento viga fue de 7.67. Los elementos que tienen estos valores de ductilidad son los que presentan un nivel de desempeño más desfavorable.
- Según el Análisis IDA desarrollado, los Desplazamientos Inelásticos Máximos de Entrepiso son mayores en el eje X. Se aprecia un aumento de 49 cm en promedio en el eje X y 31 cm en el eje Y para cada incremento de movimiento del terreno en el nivel más desfavorable (Piso 7).
- Las derivas inelásticas máximas halladas se detallan en la “Tabla 32”. Los mayores valores observados son las derivadas producidas en el eje X, las que aumentan en promedio un valor de 0.0035 y en el eje Y 0.002 para cada para nivel de Peligro Sísmico (Sismo Ocasional, Sismo Raro, Sismo Muy Raro).
- Las Curvas IDA graficadas describen un comportamiento “Endurecido” debido a la linealidad que presentan en la “Gráfica 66”.
- Al tener un número elevado de elementos estructurales, se ha sacado el porcentaje de elementos para poder clasificarlos en los Niveles de Desempeño establecidos, los cuales se encuentran detallados entre las gráficas 71 y 83. Los elementos que más rápido alcanzarán el nivel de “Pre-Colapso” son: la Columna C50 (Piso 4) y las Vigas V3 (Piso 2) y V32 (Piso 7).
- En base de las Curvas de Capacidad del Análisis IDA se obtuvieron los valores de Rigidez: 29,668.90 en el eje X y 31,145.33 en el eje Y. Los cuales tienen proporción similar a la Rigidez obtenida según la norma E030, detallados en la “Tabla 36”. La mayor rigidez en el eje Y se debe a una mayor cantidad de muros estructurales en esta dirección.
- Los Coeficientes de Reducción obtenidos en el eje X es de 1.67 y en el eje Y es de 2.50; estos valores están por debajo del valor de $R=6.0$ que está establecido en el RNE E.030 “Diseño Sismorresistente”.

- En base al Análisis Dinámico Incremental, la estructura al verse sometida a un escenario de sismo “Muy Raro” presenta un estado de daño **Moderado** y un nivel de desempeño de **Seguridad de Vida**, cumpliendo con lo estipulado en la norma internacional VISION 2000. Sin embargo, frente ante los sismos “Ocasional” y “Raro” muestra un estado de daño **Severo** en un nivel de **Pre-Colapso**, debido a que las derivas superan los parámetros normativos.

RECOMENDACIONES

- Se deben implementar “refuerzos incrementales” en los elementos estructurales de menor ductilidad, de acuerdo a lo exigido en la norma E.030 para estructuras que presenten un nivel de desempeño de “Seguridad de Vida”.
- Realizar el Análisis IDA de la edificación considerando “Aisladores Sísmicos” en las cimentaciones de la estructura conforme a la norma de Diseño Sismorresistente.
- Para un análisis más exhaustivo se aconseja tener un gran número de registros sísmicos de alta intensidad de la zona a estudiar.
- Para que el modelamiento estructural sea más acertado, previamente se deben hacer ensayos de los elementos estructurales para comparar los modelos teóricos con la realidad.
- Se debería realizar un Análisis Dinámico Incremental con softwares no convencionales como el “SeismoStruct”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Tavárez, J. (2016). Análisis Estático y Dinámico Incremental de una estructura de muros de hormigón armado en la República Dominicana. Tesis para optar grado de master.
- Vargas, Y. (2013). Análisis estructural estático y dinámico probabilista de edificios de hormigón armado. aspectos metodológicos y aplicaciones a la evaluación del daño. Tesis para optar grado de doctor.
- Navarro, E. (2014). Evaluación del desempeño sísmico del edificio hospital privado Jaén de la ciudad de Jaén - Cajamarca. Tesis para optar título profesional.
- Delfin, L. (2018). Diseño estructural de la institución educativa n° 427 del distrito de Jayanca basado en VISION 2000 para evaluar el desempeño sísmico. Tesis para optar título profesional.
- Calcina, R. (2017). Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de once pisos utilizando Análisis Estático y Dinámico No-Lineal. Tesis para optar grado de master.
- SEAOC. (1995). VISION 2000: Performance based seismic design of buildings. Structural Engineers Association of California, Sacramento CA.
- SENCICO. (2018). Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismoresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú.

ANEXOS

1. Planos Edificación

a. Arquitectura

- Distribución 1er Nivel.
- Distribución 2do Nivel.
- Distribución 3er Nivel.
- Distribución 4to Nivel.
- Distribución 5to Nivel.
- Distribución 6to Nivel.
- Distribución 7to Nivel.

b. Estructuras

- Cimentaciones.
- Techos 1er Nivel.
- Techos 2do Nivel.
- Techos 3er Nivel.
- Techos 4to Nivel.
- Techos 5to Nivel.
- Techos 6to Nivel.
- Techos 7to Nivel.

c. Detalles

- Columnas y placas.
- Vigas