

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Tema: Determinación del desempeño sísmico económico de un edificio en acero, mediante la metodología del FEMA P-58 y su programa Pact.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de cuarto nivel de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas

Modalidad del trabajo: Proyecto de Titulación con Componentes de Investigación Aplicada y/o de Desarrollo

Autor: Ing. Néstor Gonzalo Iza Chimbana

Director: Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

Ambato – Ecuador

2023

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
El Tribunal receptor de Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg., e Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldas, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO ECONÓMICO DE UN EDIFICIO EN ACERO, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL FEMA P-58 Y SU PROGRAMA PACT”, elaborado y presentado por el señor Ing. Néstor Gonzalo Iza Chimbana, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino. Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal



Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

Miembro del Tribunal

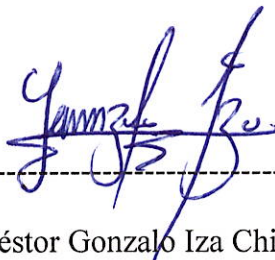


Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldas, Mg.

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO ECONÓMICO DE UN EDIFICIO EN ACERO, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL FEMA P-58 Y SU PROGRAMA PACT, le corresponde exclusivamente a: Ing. Néstor Gonzalo Iza Chimbana, Autor bajo la Dirección de Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg., Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Néstor Gonzalo Iza Chimbana

c.c.:1600677619

AUTOR



Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

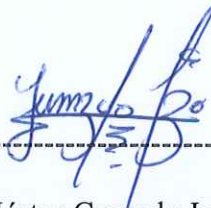
c.c.:1715190938

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Néstor Gonzalo Iza Chimbana

c.c.: 1600677619

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| PORTADA..... | i |
| A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. | ii |
| AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | iii |
| DERECHOS DE AUTOR | iv |
| ÍNDICE GENERAL..... | v |
| ÍNDICE DE TABLAS | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| DEDICATORIA | xiii |
| AGRADECIMIENTO | xivv |
| RESUMEN EJECUTIVO | xv |
| EXECUTIVE SUMMARY..... | xvii |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 1 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.3.1. General | 3 |
| 1.3.2. Específicos | 3 |
| CAPÍTULO II | 4 |
| 2.1. Sismicidad en el Ecuador | 4 |
| 2.2. Población..... | 4 |
| 2.3. Modelos de estimación de pérdidas | 4 |
| 2.4. FEMA P-58 | 6 |
| 2.5. Investigaciones Desempeño Sísmico Ecuador..... | 8 |
| 2.6. Normas Aplicables | 9 |
| CAPÍTULO III..... | 10 |
| 3.1. Ubicación | 10 |
| 3.2. Equipos y materiales | 11 |
| 3.3. Tipo de Investigación..... | 11 |
| 3.4. Prueba de Hipótesis – pregunta científica – idea a defender | 11 |
| 3.5. Población o muestra | 11 |
| 3.6. Recolección de información..... | 12 |
| 3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico | 12 |

| | | |
|------------------|--|----|
| 3.8. | Variable respuesta o resultados alcanzados | 12 |
| CAPÍTULO IV..... | | 14 |
| 4.1. | Geometría adoptada | 14 |
| 4.1.1. | Vista en elevación sentido Y..... | 14 |
| 4.1.2. | Vista en elevación sentido X..... | 14 |
| 4.1.3. | Vista en planta tipo..... | 15 |
| 4.2. | Sistema estructural | 15 |
| 4.3. | Cargas utilizadas | 15 |
| 4.3.1. | Carga Permanente | 15 |
| 4.3.2. | Carga Variable | 16 |
| 4.3.3. | Carga Sísmica..... | 16 |
| 4.4. | Materiales a utilizar..... | 16 |
| 4.5. | Prediseño de la edificación..... | 17 |
| 4.6. | Espectro de respuesta de aceleraciones..... | 17 |
| 4.7. | Modos de vibración de la edificación | 18 |
| 4.8. | Chequeo de derivas de piso..... | 19 |
| 4.9. | Secciones de la edificación del diseño lineal. | 20 |
| 4.9.1. | Secciones utilizadas vista en elevación ejes A, B, C, D, E, F, G. | 21 |
| 4.9.2. | Secciones utilizadas vista en elevación ejes 1, 5..... | 22 |
| 4.9.3. | Secciones utilizadas vista en elevación ejes 2, 3, 4..... | 23 |
| 4.9.4. | Secciones utilizadas vista en planta piso 1-3. | 24 |
| 4.9.5. | Secciones utilizadas vista en planta piso 4-5. | 25 |
| 4.9.6. | Secciones utilizadas vista en planta piso 6..... | 26 |
| 4.10. | Conexión RBS..... | 27 |
| 4.11. | Asignación de rotulas plásticas ASCE 41-13..... | 30 |
| 4.12. | Registros sísmicos seleccionados..... | 31 |
| 4.12.1. | COALINGA326 | 32 |
| 4.12.2. | COALINGA334 | 33 |
| 4.12.3. | NORTHRIDGE | 33 |
| 4.12.4. | CHICHI1209 | 34 |
| 4.12.5. | NIIGATA4201 | 35 |
| 4.12.6. | NIIGATA4203 | 35 |
| 4.12.7. | CHUETSU 5256..... | 36 |
| 4.12.8. | CHUETSU 5259..... | 37 |
| 4.12.9. | IWATE 5471 | 37 |
| 4.12.10. | IWATE 5665 | 38 |
| 4.12.11. | IWATE 5666 | 39 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 4.13. | Análisis dinámico no lineal..... | 39 |
| 4.13.1. | Análisis de resultados derivas de piso para el sismo frecuente..... | 40 |
| 4.13.2. | Análisis de resultados derivas de piso para el sismo ocasional..... | 41 |
| 4.13.3. | Análisis de resultados derivas de piso para el sismo raro. | 42 |
| 4.13.4. | Análisis de resultados derivas de piso para el sismo muy raro. | 43 |
| 4.13.5. | Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo frecuente. 44 | |
| 4.13.6. | Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo ocasional. 45 | |
| 4.13.7. | Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo raro. | 46 |
| 4.13.8. | Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo muy raro 47 | |
| 4.14. | Niveles de Intensidad | 48 |
| 4.15. | PACT | 48 |
| 4.15.1. | Información general del edificio | 48 |
| 4.15.2. | Información de la población..... | 50 |
| 4.15.3. | Información de los componentes de fragilidad | 51 |
| 4.15.4. | Curva de Fragilidad al Colapso | 53 |
| 4.16. | Resultados del PACT | 54 |
| 4.16.1. | Costos de reparación | 54 |
| 4.16.2. | Tiempo de reparación..... | 59 |
| 4.16.3. | Casualidades, Heridos. | 63 |
| 4.16.4. | Muertes | 65 |
| 4.17. | Comparación y Discusión de Resultados..... | 67 |
| 4.17.1. | Costos de reparación. | 67 |
| 4.17.2. | Tiempos de reparación. | 67 |
| 4.17.3. | Número de muertes. | 68 |
| 4.17.4. | Número de heridos. | 69 |
| CAPÍTULO V | | 70 |
| 5.1 | Conclusiones | 70 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 70 |
| 5.3 | BIBLIOGRAFÍA | 71 |
| 5.4 | ANEXOS | 73 |
| 5.4.1 | Presupuesto | 73 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1: Proceso de diseño sísmico basado en el rendimiento [8]..... | 5 |
| Tabla 2.2: Proceso de diseño sísmico basado en el rendimiento [8]..... | 6 |
| Tabla 2.3: Comparación de escalas utilizadas en el mundo [9]..... | 6 |
| Tabla 4.1: Carga Muerta | 16 |
| Tabla 4.2: Carga Viva | 16 |
| Tabla 4.3: Características del Acero A36 | 17 |
| Tabla 4.4: Acero en Vigas y Columnas | 17 |
| Tabla 4.5: Modos de Vibración del Edificio..... | 19 |
| Tabla 4.6: Dimensiones del Acero en Columnas..... | 20 |
| Tabla 4.7: Relación Ancho-Espeso del Acero | 20 |
| Tabla 4.8: Dimensiones del Acero en Vigas en Columnas..... | 20 |
| Tabla 4.9: Relación Ancho-Espeso del Acero en Vigas | 20 |
| Tabla 4.10: Resultados Conexión RBS HEB500-IPE360 | 27 |
| Tabla 4.11: Resultados Conexión RBS HEB400-IPE330 | 28 |
| Tabla 4.12: Resultados Conexión RBS HEB400-IPE300 | 29 |
| Tabla 4.13: Parámetros de Modelación y Criterios de aceptación para procedimientos No lineales: Componentes de Acero Estructural. | 30 |
| Tabla 4.14: Resultados de Rótula Plástica Conexión RBS..... | 31 |
| Tabla 4.15: Registros Sísmicos Seleccionados..... | 32 |
| Tabla 4.16: Derivas de Piso Sismo Frecuente sentido X. | 40 |
| Tabla 4.17: Derivas de Piso Sismo Frecuente sentido Y. | 40 |
| Tabla 4.18: Derivas de Piso Sismo Ocasional sentido X..... | 41 |
| Tabla 4.19: Derivas de Piso Sismo Ocasional sentido Y..... | 41 |
| Tabla 4.20: Derivas de Piso Sismo Raro sentido X. | 42 |
| Tabla 4.21: Derivas de Piso Sismo Raro sentido Y. | 42 |
| Tabla 4.22: Derivas de Piso Sismo Muy Raro sentido X..... | 43 |
| Tabla 4.23: Derivas de Piso Sismo Muy Raro sentido Y..... | 43 |
| Tabla 4.24: Aceleraciones Sismo Frecuente sentido X..... | 44 |
| Tabla 4.25: Aceleraciones Sismo Frecuente sentido Y..... | 44 |
| Tabla 4.26: Aceleraciones Sismo Ocasional sentido X. | 45 |
| Tabla 4.27: Aceleraciones Sismo Ocasional sentido Y. | 45 |
| Tabla 4.28: Aceleraciones Sismo Raro sentido X..... | 46 |

| | |
|---|----|
| Tabla 4.29: Aceleraciones Sismo Raro sentido Y..... | 46 |
| Tabla 4.30: Aceleraciones Sismo Muy Raro sentido X. | 47 |
| Tabla 4.31: Aceleraciones Sismo Muy Raro sentido Y. | 47 |
| Tabla 4.32: Dimensiones Edificio de Acero. | 48 |
| Tabla 4.33: Costos de Reparación Edificio de Acero. | 49 |
| Tabla 4.34: Cantidades normadas para una ocupación de vivienda multifamiliar. ... | 52 |
| Tabla 4.35: Cantidades normadas para una ocupación de vivienda multifamiliar. ... | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 2.1: Proceso de diseño sísmico basado en el rendimiento [15]. | 8 |
| Fig. 3.1: Mapa de ubicación Provincia de Pastaza [18] | 10 |
| Fig. 3.2: Cálculo del desempeño sísmico [10]. | 13 |
| Fig. 4.1: Elevación Edificio sentido Y | 14 |
| Fig. 4.2: Elevación Edificio sentido X | 14 |
| Fig. 4.3: Planta Edificio | 15 |
| Fig. 4.4: Espectro de respuesta de aceleraciones Provincia de Pastaza | 18 |
| Fig. 4.5: Derivas de piso sentido X de la edificación. | 19 |
| Fig. 4.6: Derivas de piso sentido Y de la edificación. | 19 |
| Fig. 4.7: Secciones utilizadas vista en elevación ejes A, B, C, D, E, F, G. | 21 |
| Fig. 4.8: Secciones utilizadas vista en elevación ejes 1, 5. | 22 |
| Fig. 4.9: Secciones utilizadas vista en elevación ejes 2, 3, 4. | 23 |
| Fig. 4.10: Secciones utilizadas vista en planta piso 1-3. | 24 |
| Fig. 4.11: Secciones utilizadas vista en planta piso 4-5. | 25 |
| Fig. 4.12: Secciones utilizadas vista en planta piso 6. | 26 |
| Fig. 4.13: Conexión RBS Columna B2 Piso 3. | 27 |
| Fig. 4.14: Conexión RBS Columna B2 Piso 4. | 28 |
| Fig. 4.15: Conexión RBS Columna B2 Piso 6. | 29 |
| Fig. 4.16: Acelerograma recortado Coalinga326, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s). | 32 |
| Fig. 4.17: Acelerograma recortado Coalinga326, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s). | 32 |
| Fig. 4.18: Acelerograma recortado Coalinga334, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s). | 33 |
| Fig. 4.19: Acelerograma recortado Coalinga334, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s). | 33 |
| Fig. 4.20: Acelerograma recortado Northridge, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s). | 33 |
| Fig. 4.21: Acelerograma recortado Northridge, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s). | 34 |
| Fig. 4.21: Acelerograma recortado Chichi1209, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s). | 34 |

| | |
|--|----|
| Fig. 4.22: Acelerograma recortado Chichi1209, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 34 |
| Fig. 4.23: Acelerograma recortado Niigata4201, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 35 |
| Fig. 4.24: Acelerograma recortado Niigata4201, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 35 |
| Fig. 4.25: Acelerograma recortado Niigata4203, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 35 |
| Fig. 4.26: Acelerograma recortado Niigata4203, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 36 |
| Fig. 4.27: Acelerograma recortado Chuetsu5256, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 36 |
| Fig. 4.28: Acelerograma recortado Chuetsu5256, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 36 |
| Fig. 4.29: Acelerograma recortado Chuetsu5259, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 37 |
| Fig. 4.30: Acelerograma recortado Chuetsu5259, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 37 |
| Fig. 4.31: Acelerograma recortado Iwate5471, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 37 |
| Fig. 4.32: Acelerograma recortado Iwate5471, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 38 |
| Fig. 4.33: Acelerograma recortado Iwate5665, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 38 |
| Fig. 4.34: Acelerograma recortado Iwate5665, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 38 |
| Fig. 4.35: Acelerograma recortado Iwate5666, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 39 |
| Fig. 4.36: Acelerograma recortado Iwate5666, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s)..... | 39 |
| Fig. 4.37: Niveles de Intensidad Sísmica..... | 48 |
| Fig. 4.38: Modelo de población residencial para lunes-viernes..... | 50 |
| Fig. 4.39: Modelo de población residencial para sábado y domingo..... | 51 |
| Fig. 4.40: Curva de Fragilidad de Colapso..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Fig. 4.41: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 1. | 55 |
| Fig. 4.42: Curva desempeño económico nivel de intensidad 1..... | 55 |
| Fig. 4.43: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 2. | 56 |
| Fig. 4.44: Curva desempeño económico nivel de intensidad 2..... | 56 |
| Fig. 4.45: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 3. | 57 |
| Fig. 4.46: Curva desempeño económico nivel de intensidad 3..... | 57 |
| Fig. 4.47: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 4. | 58 |
| Fig. 4.48: Curva desempeño económico nivel de intensidad 4..... | 58 |
| Fig. 4.49: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 1. | 59 |
| Fig. 4.50: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 1..... | 59 |
| Fig. 4.51: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 2. | 60 |
| Fig. 4.52: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 2..... | 60 |
| Fig. 4.53: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 3. | 61 |
| Fig. 4.54: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 3..... | 61 |
| Fig. 4.55: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 4. | 62 |
| Fig. 4.56: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 4..... | 62 |
| Fig. 4.57: Heridos, Nivel Intensidad 1. | 63 |
| Fig. 4.58: Heridos, Nivel Intensidad 2. | 63 |
| Fig. 4.59: Heridos, Nivel Intensidad 3. | 64 |
| Fig. 4.60: Heridos, Nivel Intensidad 4. | 64 |
| Fig. 4.61: Muertes, Nivel Intensidad 1..... | 65 |
| Fig. 4.62: Muertes, Nivel Intensidad 2..... | 65 |
| Fig. 4.63: Muertes, Nivel Intensidad 3..... | 66 |
| Fig. 4.64: Muertes, Nivel Intensidad 4..... | 66 |
| Fig. 4.65: Comparación de Reparación de todos los Niveles de Intensidad..... | 67 |
| Fig. 4.66: Comparación del Tiempo Reparación con todos los Niveles de Intensidad. | 68 |
| Fig. 4.67: Comparación Número de Muertes con todos los Niveles de Intensidad... .. | 68 |
| Fig. 4.68: Comparación Número de Heridos con todos los Niveles de Intensidad. .. | 69 |

DEDICATORIA

A mi esposa ALEXANDRA DURÁN quien es la persona que siempre me apoyado y ha estado presente incondicionalmente, a mi madre ELMA IZA quien ha estado presente inculcándome valores en el transcurso de mi vida para que sea una persona de bien para la sociedad, gracias por estar presentes y así lograr esta meta tan apreciada en mi vida personal y profesional.

*GRACIAS ESPOSA
GRACIAS MADRE
GRACIAS DIOS*

NESTOR IZA

AGRADECIMIENTO

A dios por permitirme seguir presente y poder haber culminado una etapa más de mi vida. Expresar mi más profundo agradecimiento a mi esposa Alexandra Durán, quien ha sido, sigue y seguirá siendo esa persona clave para la toma de decisiones que vaya en beneficio de la familia tanto en el ámbito personal y profesional incondicionalmente.

Zuiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre Elvia Iza, quien ha sido un ejemplo de vida cumpliendo el rol de madre y padre a la vez y brindándome siempre su apoyo.

Mi reconocimiento especial imperecedero al Ing. Mg. Vladimir José Ramírez, mi tutor, que más que eso, es un amigo quien dirigió el presente trabajo investigativo de manera generosa al brindar sus conocimientos y experiencias, gracias por el afecto confianza y amistad.

A la Universidad Técnica de Ambato por permitirme ser parte del elenco de maestrantes, así también a todos los maestros que supieron impartir sus conocimientos, a las autoridades y a nuestra coordinadora de la COHORTE 2021 Ing. Mg. Marisol Bayas, que ha obrado en beneficio de todos los maestrantes.

Por ultimo agradecer a familiares y amigos que siempre estuvieron presentes de alguna manera en mi vida y ser parte del presente logro alcanzado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN ESTRUCTURAS
METÁLICAS

TEMA:

DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO ECONÓMICO DE UN EDIFICIO EN ACERO, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL FEMA P-58 Y SU PROGRAMA PACT

MODALIDAD DE TITULACIÓN: Proyecto de Titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo.

AUTOR: Ing. Néstor Gonzalo Iza Chimbana

DIRECTOR: Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

FECHA: Veinte de diciembre del 2022

RESUMEN EJECUTIVO

En un país como Ecuador de gran peligro sísmico, es importante investigar metodologías que ayuden a mitigar el daño que las estructuras podrían tener en la ocurrencia de estos eventos sísmicos. Una metodología que permite determinar el posible daño que podría llegar a tener la edificación, es la metodología descrita en el FEMA P-58, la cual nos permite conocer resultados económicos y casualidades de una manera probabilística. El presente trabajo de investigación se empezó realizando un análisis sismo resistente de una edificación, con un sistema resistente a carga lateral de pórticos especiales resistentes a momento SMF de acero estructural compuestos por columnas de tipo HEB cruciforme y vigas IPE. Se empezó diseñando las estructuras mediante un análisis estático y dinámico lineal. Logrando que la estructura tenga un adecuado comportamiento y cumplan con los chequeos obligatorios normativos, como son el chequeo de las derivas de piso, el diseño de sus elementos estructurales y conexiones. Para realizar el diseño según la metodología del FEMA P-58 fue necesario realizar un análisis no lineal dinámico tiempo – historia, para lo cual se seleccionó 11 registros sísmicos, los cuales fueron escalados a diferentes niveles de intensidad y

como resultado se obtuvo información de desplazamientos y aceleraciones de piso. Los mismos se utilizaron para la aplicación de la herramienta PACT de la metodología del FEMA P-58, el cual es un programa que nos permitió determinar el posible costo, tiempo de reparación de la edificación, así como heridos y muertos para los diferentes niveles de intensidad.

Palabras Claves: ACELEROGRAMAS, ANÁLISIS DINÁMICO TH, DESEMPEÑO SÍSMICO, EDIFICIOS EN ACERO, FEMA-P58, PACT, MÉTODO DE MONTECARLO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN ESTRUCTURAS
METÁLICAS

THEME:

DETERMINATION OF THE ECONOMIC SEISMIC PERFORMANCE OF A STEEL BUILDING, USING THE METHODOLOGY OF FEMA P-58 AND ITS PACT PROGRAM.

DEGREE TYPE: Degree Project with applied research and/or development components.

AUTHOR: Eng. Néstor Gonzalo Iza Chimbana

DIRECTOR: Eng. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

DATE: December 20, 2022

EXECUTIVE SUMMARY

In a country like Ecuador with great seismic danger, it is important to investigate methodologies that help to mitigate the damage that the structures could have in the occurrence of these seismic events. A methodology that allows determining the possible damage that the building could have, is the methodology described in the FEMA P-58, which allows us to know economic results and casualties in a probabilistic way. The present research work began by performing a seismic resistant analysis of a building, with a lateral load resistant system of special SMF moment resisting structural steel frames composed of HEB cruciform columns and IPE beams. We started designing the structures by means of a linear static and dynamic analysis. The structure has an adequate behavior and complies with the mandatory regulatory checks, such as checking the floor drifts, the design of its structural elements and connections. In order to carry out the design according to the FEMA P-58 methodology, it was necessary to perform a nonlinear dynamic time-history analysis, for which 11 seismic records were selected, which were scaled to different intensity

levels and as a result information on displacements and floor accelerations was obtained. These were used for the application of the PACT tool of the FEMA P-58 methodology, which is a program that allowed us to determine the possible cost, repair time of the building, as well as injuries and deaths for the different levels of intensity.

Keywords: ACELEROGRAMS, TH DYNAMIC ANALYSIS, SEISMIC PERFORMANCE, STEEL BUILDINGS, FEMA-P58, PACT, MONTECARLO METHOD.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Tradicionalmente se viene realizando diseños estructurales de relevancia sin tomar en cuenta el desempeño sísmico de las estructuras, por lo que nace la incertidumbre para la presente investigación mediante la propuesta **“Determinación del desempeño sísmico económico de un edificio en acero, mediante la metodología del FEMA P-58 y su programa Pact”**, donde se propone el análisis lineal y no lineal de una estructura con elementos estructurales de acero y seis niveles considerado para departamentos en la Provincia de Pastaza Ciudad de Puyo.

El diseño no lineal dinámico está basado en la caracterización de registros sísmicos que se asemejan a la realidad de sismicidad en el Ecuador, que obedece a la tectónica de placas por subducción; acelerogramas que se ajustan apegado a la realidad del sitio, modificando la historia en el tiempo y alcanzar un espectro objetivo apegado a la NEC.

Con el fin de dar a conocer resultados económicos y probabilísticos siguiendo la metodología del FEMA P58, mediante la valoración con varios sismos de diferentes magnitudes probables de ocurrencia a la estructura y la aplicación del programa Pact, se determina el daño de la edificación, los costos de reparación y costos de remplazo.

1.2. Justificación

Es esencial el conocimiento básico sobre las fuerzas sísmicas producidas por terremotos y sus efectos en la estructuras, por lo que a nivel del mundo los investigadores van profundizando los estudios para determinar el desempeño sísmico y expresar en términos de víctimas potenciales, costos de reparación y remplazo, tiempos de reparación, impactos ambientales seleccionados y la ubicación insegura resultante de los daños provocados por los terremotos [1].

Además, es de gran importancia conocer los eventos sísmicos producidos en Ecuador entre los más relevantes y catastróficos:

El 31 de Enero 1906 entre Ecuador y Colombia se produjo un terremoto de magnitud 8.8 Mw a una profundidad de 25 km frente a las costas de Esmeraldas provocando pérdidas inmobiliarias y aproximadamente 1000 a 1500 muertes [2].

El 5 de agosto de 1949 se produce un terremoto entre los cantones de Ambato y Pelileo con una magnitud de acuerdo a varias investigaciones de 6.8 Mw con una profundidad de 15 km, obteniendo un alto potencial de destrucción inmobiliarias y aproximadamente 6000 muertes [3].

Es menester destacar el terremoto ocurrido el 16 de abril del 2016, evento sísmico acontecido en Pedernales con una magnitud de 7.8 Mw a una profundidad de 20 km produciendo de igual manera cuantiosas pérdidas inmobiliarias y 700 personas aproximadamente fallecidas [4].

Siempre que existe un terremoto se habla de las pérdidas humanas y las perdidas inmobiliarias como los más importantes, por ello la presente investigación está enfocado a cubrir las interrogantes de desempeño económico al momento de generar un anteproyecto estructural, a manera de predecir los daños que puede generar en las estructuras, un terremoto de determinada intensidad.

En nuestro medio no existe una herramienta o normativa para medir el desempeño económico de los proyectos estructurales con el fin de saber en términos estadísticos si el proyecto es factible o no en caso de ocurrir un evento sísmico, por eso nace la necesidad de simular los datos obtenidos de un diseño estructural de una edificación en acero de seis pisos, siguiendo la metodología del FEMA P-58 y su programa Pact del año 2018, con el objetivo de dar a conocer las consecuencias en términos económicos y probabilísticos.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Determinar del desempeño sísmico económico de un edificio en acero, mediante la metodología del FEMA P-58 y su programa Pact.

1.3.2. Específicos

- Ensamblar el modelo con información de los elementos estructurales, no estructurales, contenido y personal.
- Definir la amenaza sísmica en base a la intensidad y frecuencia media anual de excedencia.
- Analizar la respuesta estructural ante varios movimientos sísmicos y varias intensidades.
- Definir las curvas de fragilidad de colapso del edificio de seis pisos en acero.
- Calcular el desempeño sísmico mediante el programa Pact.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1. Sismicidad en el Ecuador

El Ecuador es considerado uno de los países altamente sísmicos por la presencia de la placa oceánica de Nazca que subduce con la placa Sudamericana, la convergencia entre la dos placas hace que concentren esfuerzos o acumulen energía en la zona de la litósfera, una vez que la energía es liberada se producen los sismos [5], para la presente investigación es de suma importancia entender el origen de los sismos porque de ello depende las magnitudes e intensidades con las que llegan y afectan a las estructuras de ahí que se deriva el adoptar la metodología FEMA P-58.

2.2. Población

Los diferentes estudios del desempeño sísmico conlleva a un objetivo primordial que es salvar vidas humanas, para ello es necesario conocer los datos estadísticos posibles de víctimas esperadas tanto de fallecidos y heridos después de un terremoto [6].

Debido a un evento sísmico se estima que alrededor del 90% de víctimas son producto del colapso de las edificaciones, datos que también se ven reflejados en las cuantiosas pérdidas económicas por colapso y reparación [6].

2.3. Modelos de estimación de pérdidas

Existen numerosa técnicas de estimación de pérdidas a causa de los terremotos mismos que van en función de la naturaleza del problema y el objetivo del estudio, que busca calcular las perdidas probables en relación al riesgo sísmico, intensidad y determinar el impacto de cualquier terremoto en cualquier lugar [7].

Bendimerad (2001) ha definido los modelos para estimar las pedidas como una poderosa herramienta para la evaluación de riesgo que proporciona a los planificadores

urbanos y a los gestores de emergencias información clave sobre los posibles daños y pérdidas.

A continuación, se presenta un resumen de las escalas reconocidas a nivel mundial para estimar las intensidades de los sismos que atribuye el grado en base a la evaluación visual de la gravedad de los daños, las intensidades varían de acuerdo al lugar que se realice el análisis:

| Código | Autor(es) | Año | Características | País |
|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| RF | Rossi, Forel | 1883 | 10 grados | Italia |
| M | Mercalli | 1902 | 10 grados | Italia |
| MSC | Mercalli, Cancani, Sieberg | 1912 | 12 grados | Italia |
| MWN | Mercalli, Wood, Neumann | 1931 | 12 grados | U.S.A. |
| MM | Richter | 1956 | 12 grados | U.S.A. |
| JMA | Japan Meteorological Agency | 1949 | 7 grados | Japón |
| MSK | Medvedey, Sponheuer, Karnik | 1964,1981 | 12 grados 3 tipos de edificios | Europa, U.S.S.R. |
| EMS | Gruenthal | 1993, 1998 | 12 grados 6 tipos de edificios | Europa |

Tabla 2.1: Proceso de diseño sísmico basado en el rendimiento [8]

Las escalas utilizadas con mayor frecuencia en Sudamérica y Estados Unidos, es la escala modificada de Mercalli de 1931 [8], a continuación se presenta un cuadro donde se resume los grados de intensidad en base al efecto de las personas y edificaciones:

| Escala Sísmica Modificada de Mercalli | |
|--|---|
| I. Imperceptible | Microsismo, detectado por instrumentos |
| II. Muy Leve | Sentido por algunas personas (generalmente en reposo) |
| III. Leve | Sentido por algunas personas dentro de edificios |
| IV. Moderado | Sentido por algunas personas fuera de edificios |
| V. Poco Fuerte | Sentido por casi todos |
| VI. Fuerte | Sentido por todos |
| VII. Muy Fuerte | Las construcciones sufren daño moderado |
| VIII. Destructivo | Daños considerables en estructuras |

| | |
|----------------------------|---|
| IX. Muy Destructivo | Daños graves y pánico general |
| X. Desastroso | Destrucción en edificios bien construidos |
| XI. Muy Desastroso | Casi nada queda en pie |
| XII. Catastrófico | Destrucción total |

Tabla 2.2: Proceso de diseño sísmico basado en el rendimiento [8]

Además, tenemos las escalas más recientes MSK y la escala EMS-98, mismas escalas que se derivan de la escala original de Mercalli, escalas que en la actualidad siguen siendo parte de las evoluciones y sus clasificaciones de acuerdo a la tipología constructiva, además de presentar tablas de vulnerabilidad sísmica para su clasificación en los mapas de intensidades, a continuación, se presenta un resumen referente a los tipos de escalar en relación al porcentaje de daño equivalente:

| Daño % | Rossi - Forel | Mercalli Modificada | Geofian | PRC | JMA | MSK | EMS - 98 |
|---------------|----------------------|----------------------------|----------------|------------|------------|------------|-----------------|
| 0 | I | I | I | I | I | I | I |
| | II | II | II | II | | II | II |
| | III | III | III | III | | III | III |
| | IV | IV | IV | IV | II | IV | IV |
| | V | V | V | V | III | V | V |
| | VI | VI | VI | VI | IV | VI | VI |
| | VII | VI | VI | VI | IV | VI | VI |
| 10 | VIII | VII | VII | VII | V | VII | VII |
| 20 | VIII | VIII | VIII | VIII | | VIII | VIII |
| 30 | IX | IX | IX | IX | VI | IX | IX |
| 40 | X | X | X | X | | X | X |
| 50 | X | XI | XI | XI | VII | XI | XI |
| 70 | | XI | XI | XI | | XI | XI |
| 90 | | XII | XII | XII | | XII | XII |

Tabla 2.3: Comparación de escalas utilizadas en el mundo [9]

2.4. FEMA P-58

El diseño sísmico basado en el desempeño se originó en la década de los 90, de ahí en adelante ha tenido varias versiones, hasta que en el 2012 se publicó la serie de productos FEMA P-58, en donde ya se incluye la metodología para la evaluación del

desempeño de los edificios con referencia a terremotos anteriores, en el 2018 se publica los volúmenes actualizados del FEMA P-58, con el fin de hacer referencia a las normas actualmente disponibles, de los cuales se desprende los siguientes [1]:

- a. Volumen 1: Metodología para la evaluación del comportamiento sísmico de los edificios, segunda edición [10].
- b. Volumen 2: Guía de implementación para la evaluación del comportamiento sísmico de los edificios, segunda edición [11].
- c. Volumen 3: Materiales electrónicos de apoyo para la evaluación del comportamiento sísmico de los edificios, segunda edición [12]:
 - Herramienta de cálculo para la evaluación de rendimiento (PACT) [12].
 - Datos de fragilidad [12].
 - Herramienta de estimación de componentes no estructurales [12].
 - Herramienta de estimación del rendimiento (PET) [12].
 - Análisis de presión estática a dinámica incremental (SPO2IDA) [12].
 - Herramienta de fragilidad y colapso [12].
- d. Volumen 4: Metodología para la evaluación de impactos ambientales [13].
- e. Volumen 5: Comportamiento sísmico esperado de los edificios conformes al código [14].
- f. Directrices para el diseño sísmico de los edificios basado en el desempeño [15].

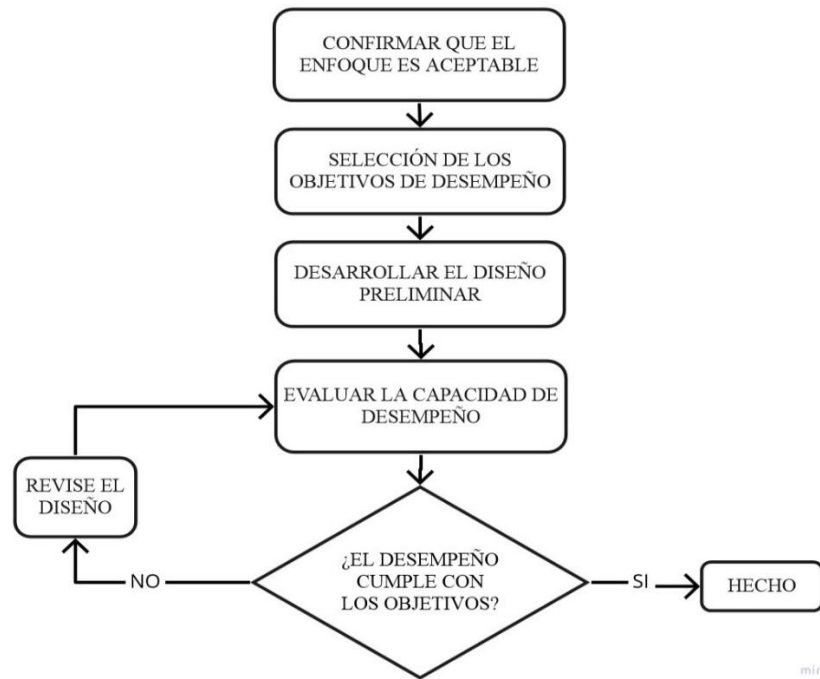


Fig. 2.1: Proceso de diseño sísmico basado en el rendimiento [15].

- g. Construyendo el rendimiento que necesita, una guía de herramientas de última generación para el diseño y la evaluación sísmica [16].

2.5. Investigaciones Desempeño Sísmico Ecuador

Se puede evidenciar que en el Ecuador existe ya el interés profesional para implementar el análisis por desempeño sísmico en las estructuras existentes y por ejecutar, es así que la universidad ESPE por medio de un trabajo de titulación dirigido por la Ph.D. Ana Haro, se ha realizado la evaluación sísmica basado en desempeño según FEMA P-58 del Hospital General docente Ambato [17], en la que mediante un análisis estático no lineal determina de manera probabilística los daños en los elementos aportcados con diagonales concéntricas, colapso de paredes e iluminación colgante y muros divisiones de gypsum, ante sismos máximos probables, concluyendo así que mencionados elementos pueden ser reparados satisfactoriamente pero que los trabajos involucran además un desempeño económico para el Hospital.

2.6. Normas Aplicables

Para el Ecuador la norma aplicable es la de Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras [NEC-SE-RE], del año 2015, misma que está basada en las normas extranjeras como es el caso de ASCE 31-2003, ASCE 41-2006, FEMA 154, FEMA 274, FEMA 356, FEMA 440, entre otras referencias.

Para la presente investigación además de la NEC-SE-RE, se utilizará la FEMA P-58 y su programa Pact.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

El edificio de seis pisos en acero para la presente investigación se prevé que estará implantado en la Provincia de Pastaza.



Fig. 3.1: Mapa de ubicación Provincia de Pastaza [18]

La provincia de Pastaza se encuentra en el centro de la Región Amazónica comprendida por sus límites al Norte con las provincias de Napo y Orellana, al Sur con la Provincia de Morona Santiago, al Este la República del Perú y al Oeste con la Provincia de Tungurahua con una población de 83.933 habitantes, con 25.864

viviendas particulares y colectivas, considerada además una población económicamente activa de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [19].

3.2. Equipos y materiales

La investigación se desarrollará bajo planteamientos teóricos basado en insumos referentes al tema como es el caso de la navegación en internet con la utilización de plataformas educativas para la búsqueda de libros, artículos científicos y tesis que se hayan publicado en los últimos años.

Para la práctica se utilizará equipos tecnológicos ya sean estas computadoras con desarrolladores avanzados, a los mismos estarán instalados software avanzado de ingeniería (Pact), que sirva para calcular el desempeño sísmico económico del edificio de seis pisos en acero.

3.3. Tipo de Investigación

La determinación del desempeño económico se centrará en una investigación experimental exploratoria ya que mediante la aplicación de la técnica de Monte Carlo se integrará las distribuciones estadísticas inferidas de la respuesta del edificio.

3.4. Prueba de Hipótesis – pregunta científica – idea a defender

La determinación del desempeño sísmico económico puede ayudar al inversionista a tomar una mejor decisión con respecto a la construcción de un proyecto inmobiliario.

3.5. Población o muestra

Para la investigación se tiene un edificio de seis pisos en acero por construir en la Provincia de Pastaza.

3.6. Recolección de información

Para el análisis no lineal de la edificación se recolectara información en base a la tipología del lugar y apegado a la Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC 2015] [20], para determinar el desempeño económico se obtendrá datos a la fecha del costo de construcción de los elementos estructurales y no estructurales, en cuando a los sismos se tomara datos de sismos ocurridos en años pasados en el Ecuador.

3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico

Para el procesamiento se realizará bajo la metodología establecida en el FEMA P-58 y la utilización del programa Pact para determinar el desempeño económico mediante análisis estadísticos probabilísticos propios del programa.

3.8. Variable respuesta o resultados alcanzados

Los resultados que se pretende obtener estarán basados en el cumplimiento de los objetivos específicos de los cuales se desprenderá mediante el análisis del edificio los datos de entrada para el ensamble de modelo, considerando además la amenaza sísmica en términos de intensidades en el sitio de la ubicación del proyecto definiendo, así como respuesta la curva de amenaza sísmica.

Siguiendo la metodología del FEMA P-58 se realizará el análisis de la respuesta estructural en base a los movimientos provocados por los sismos, creando así un modelo de resultados con varias intensidades.

Las estadísticas de un terremoto siempre se basan principalmente en el número de fallecidos provocados por el colapso de las edificaciones, por lo que para estimar el número de fallecidos se calculará la probabilidad de colapso de la estructura y dependiendo de la intensidad se espera obtener en respuesta la curva de fragilidad de colapso.

Por último, el FEMA P-58 nos presenta un esquema para el cálculo del desempeño sísmico de la cual se deriva la presente investigación para obtener de manera

estadística el desempeño económico de la estructura en análisis y así determinar como resultado su factibilidad de construcción en función del colapso o no de la estructura, definiendo así costos de reparación, costos de remplazo, fallecidos, heridos y tiempos de reparación.

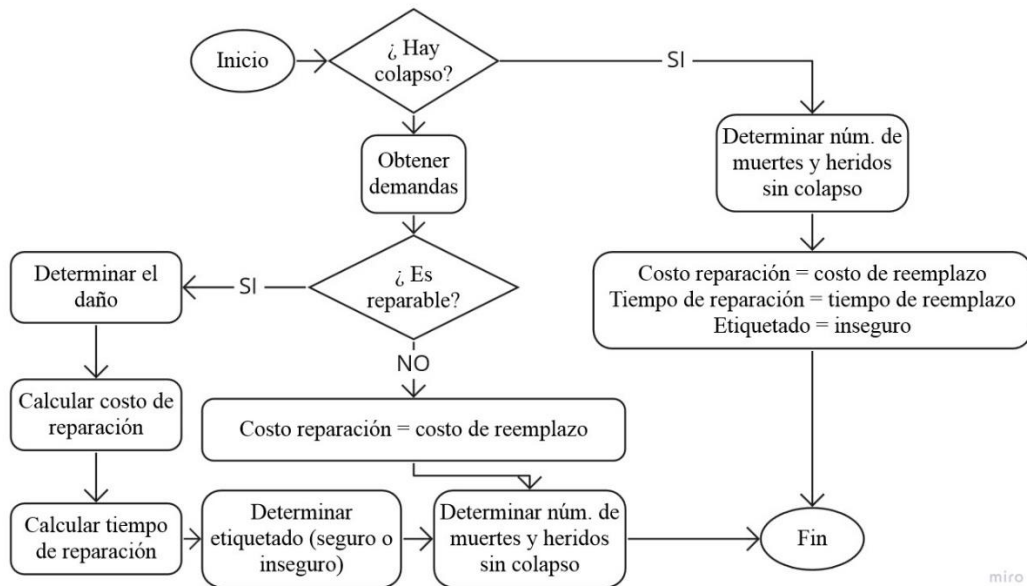


Fig. 3.2: Cálculo del desempeño sísmico [10].

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Geometría adoptada

Para la presente investigación se plantea una edificación regular en planta y en elevación de acero de 6 niveles, el bloque de gradas y ascensor se considera como cuerpos independientes de la edificación.

4.1.1. Vista en elevación sentido Y



Fig. 4.1: Elevación Edificio sentido Y

4.1.2. Vista en elevación sentido X

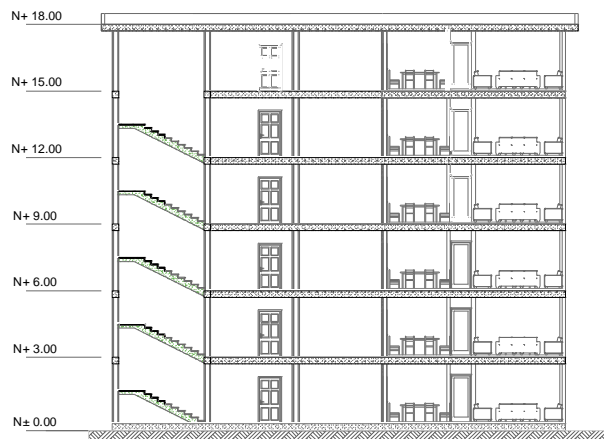


Fig. 4.2: Elevación Edificio sentido X

4.1.3. Vista en planta tipo

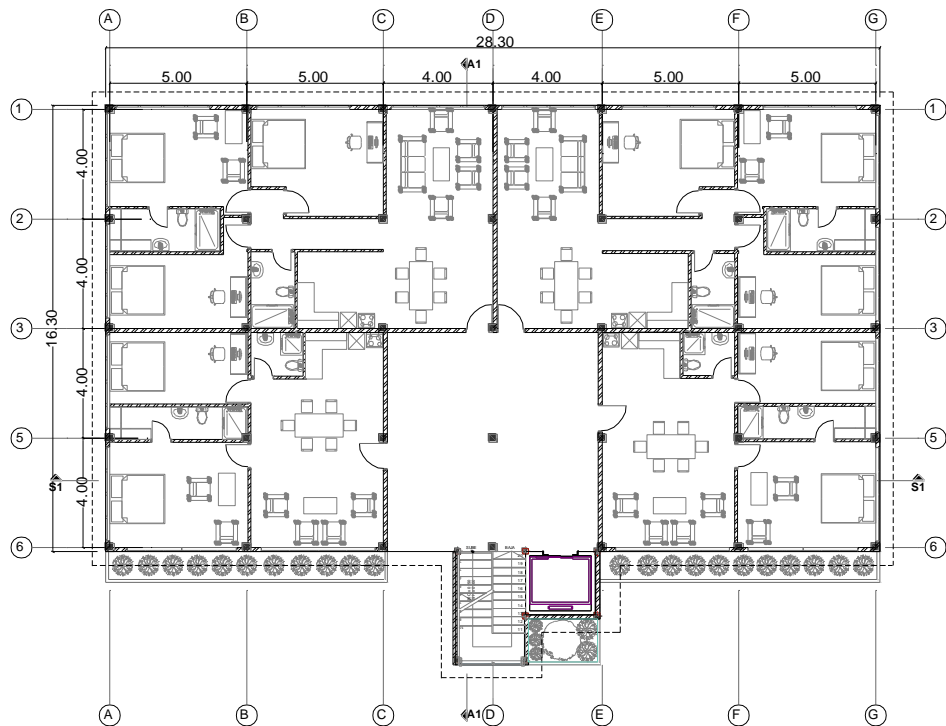


Fig. 4.3: Planta Edificio

4.2. Sistema estructural

La edificación de acero en este estudio se diseñó con un sistema estructural resistente ante carga lateral de pórticos especiales resistentes a momento con columnas cruciformes. Para cumplir con los requisitos de precalificación establecidos en la norma AISC 358-16 [21].

4.3. Cargas utilizadas

4.3.1. Carga Permanente

Se determinó la carga permanente o muerta previo a un análisis de cargas de cada piso de la edificación, en el cual se consideró los distintos pesos que estarán durante la vida útil de la edificación como son el peso de mampostería, instalaciones, recubrimientos de piso, peso del deck metálico y hormigón de relleno.

| Descripción | Cargas Muertas (kN/m ²) |
|-------------|--|
| Piso 1-5 | 6.26 |
| Piso 6 | 3.06 |

Tabla 4.1: Carga Muerta

4.3.2. Carga Variable

Se determinó la ocupación de los diferentes pisos de la edificación según lo establece la norma NEC-SE-CG [22].

| Descripción | Ocupación | Cargas Vivas (kN/m ²) |
|-------------|--|--------------------------------------|
| Piso 1-5 | Viviendas (unifamiliares y bifamiliares) | 2 |
| Piso 6 | Cubierta plana | 0.7 |

Tabla 4.2: Carga Viva

4.3.3. Carga Sísmica

La edificación de acero tendrá una categoría de otras estructuras con un coeficiente de importancia $I = 1$, debido a su configuración estructural se considera regular en planta y elevación $\phi_P = 1, \phi_E = 1$, el coeficiente de reducción de la respuesta sísmica utilizado fue $R = 6$ como lo recomienda la norma NEC-SE-AC [23] y la carga reactiva W se la considera como la carga muerta y un 25% de la carga viva.

$$V = 0,1625 W$$

4.4. Materiales a utilizar

Las vigas y las columnas serán de un acero ASTM A36 y se considera los factores de fluencia probable y tensión probable descritos en la norma AISC 341-16 [24].

| Descripción | Factor de Fluencia Probable (Ry) | Factor de Tensión Probable (Rt) | Módulo de elasticidad (E kg/cm ²) |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|---|
| ASTM A36 | 1.5 | 1.2 | 2039432.38 |

Tabla 4.3: Características del Acero A36

4.5. Prediseño de la edificación

Previo al diseño final, se realizó un pre dimensionamiento de los elementos estructurales de la edificación: vigas secundarias, principales, columnas y mediante un proceso interactivo se ajustó las dimensiones hasta lograr que se cumpla los requisitos normativos que establece la norma NEC-SE-DS [25].

| N° de Piso | Columnas | Vigas secundarias | Vigas principales |
|------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | Cruz HEB600-HEB500 | IPE 160 | IPE 360 |
| 2 | Cruz HEB600-HEB500 | IPE 160 | IPE 360 |
| 3 | Cruz HEB600-HEB500 | IPE 160 | IPE 360 |
| 4 | Cruz HEB500-HEB400 | IPE 160 | IPE 330 |
| 5 | Cruz HEB500-HEB400 | IPE 160 | IPE 330 |
| 6 | Cruz HEB500-HEB400 | IPE 160 | IPE 300 |

Tabla 4.4: Acero en Vigas y Columnas

4.6. Espectro de respuesta de aceleraciones

La edificación será proyectada en la ciudad de Puyo en la región del Oriente Ecuatoriano con un suelo de tipo E, por lo cual se ha generado un espectro de respuesta de aceleraciones según los procedimientos establecidos en la norma NEC-SE-DS [25].

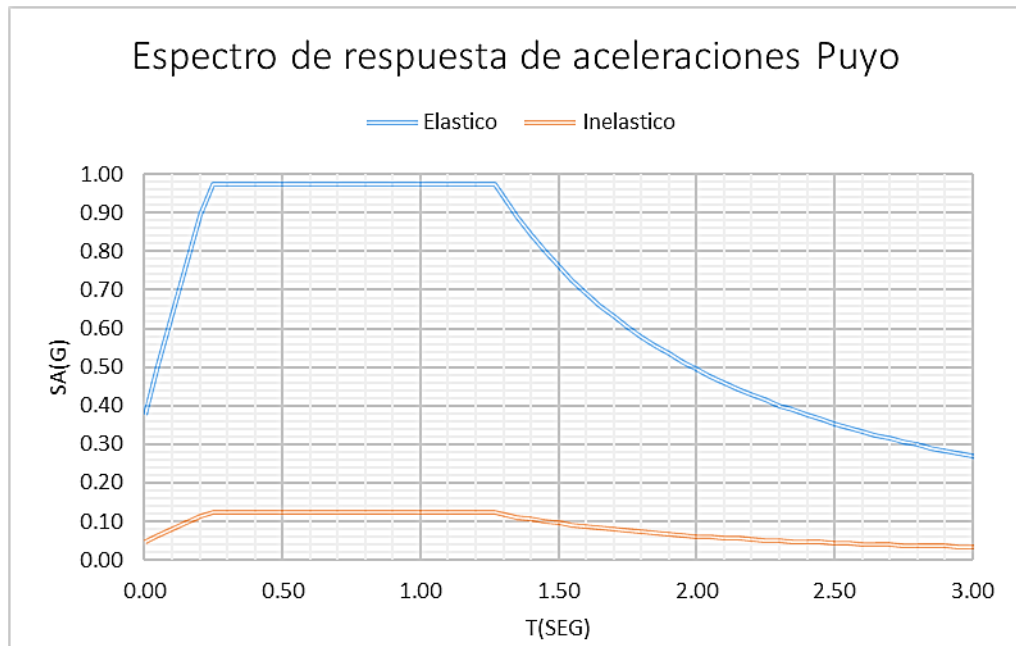


Fig. 4.4: Espectro de respuesta de aceleraciones Provincia de Pastaza

4.7. Modos de vibración de la edificación

La norma NEC-SE-DS [25] establece que se analizarán todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales (X e Y), lo cual ocurrió en el modo 8, siendo el fundamental el primero con un periodo de 0,901 sg.

| Mode | Periodo | UX | UY | Sum UX | Sum UY | RZ |
|------|---------|-------|-------|--------------|--------------|-------|
| | sg | | | | | |
| 1 | 0.901 | 0.000 | 0.748 | 0.000 | 0.748 | 0.000 |
| 2 | 0.853 | 0.728 | 0.000 | 0.728 | 0.748 | 0.000 |
| 3 | 0.767 | 0.000 | 0.000 | 0.728 | 0.748 | 0.731 |
| 4 | 0.284 | 0.000 | 0.133 | 0.728 | 0.881 | 0.000 |
| 5 | 0.259 | 0.149 | 0.000 | 0.877 | 0.881 | 0.000 |
| 6 | 0.236 | 0.000 | 0.000 | 0.877 | 0.881 | 0.147 |
| 7 | 0.139 | 0.000 | 0.058 | 0.877 | 0.939 | 0.000 |
| 8 | 0.120 | 0.062 | 0.000 | 0.939 | 0.939 | 0.000 |
| 9 | 0.111 | 0.000 | 0.000 | 0.939 | 0.939 | 0.062 |
| 10 | 0.085 | 0.000 | 0.033 | 0.939 | 0.972 | 0.000 |
| 11 | 0.072 | 0.034 | 0.000 | 0.973 | 0.972 | 0.000 |
| 12 | 0.067 | 0.000 | 0.000 | 0.973 | 0.972 | 0.000 |
| 13 | 0.067 | 0.000 | 0.000 | 0.973 | 0.972 | 0.034 |
| 14 | 0.061 | 0.000 | 0.000 | 0.973 | 0.972 | 0.000 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 15 | 0.060 | 0.000 | 0.016 | 0.973 | 0.988 | 0.000 |
| 16 | 0.053 | 0.001 | 0.000 | 0.973 | 0.988 | 0.000 |
| 17 | 0.050 | 0.016 | 0.000 | 0.989 | 0.988 | 0.000 |
| 18 | 0.047 | 0.000 | 0.000 | 0.989 | 0.988 | 0.016 |

Tabla 4.5: Modos de Vibración del Edificio

4.8. Chequeo de derivas de piso

La norma NEC-SE-DS [25] establece que la deriva máxima de piso será 0.02, por lo cual hemos analizado la deriva de cada piso de la edificación y la hemos comparado con la máxima permitida.

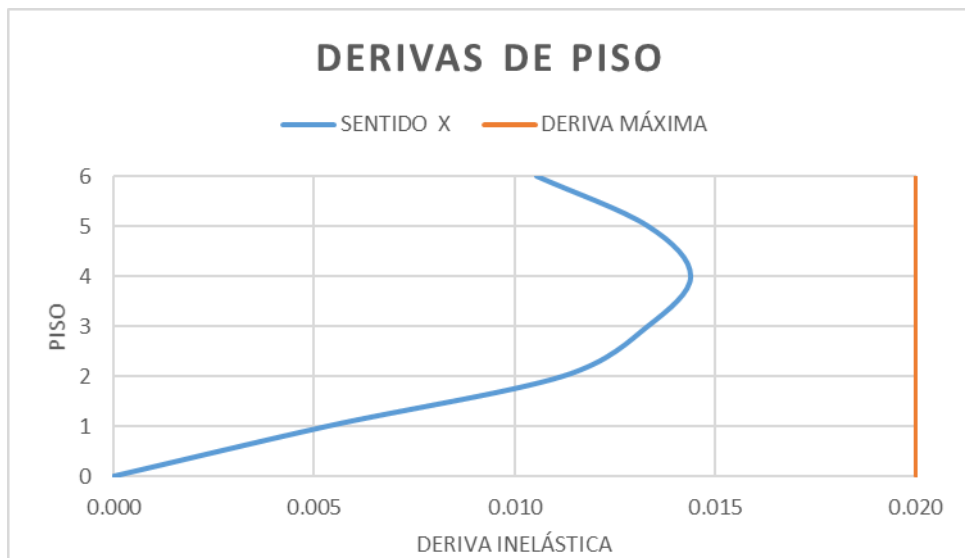


Fig. 4.5: Derivas de piso sentido X de la edificación

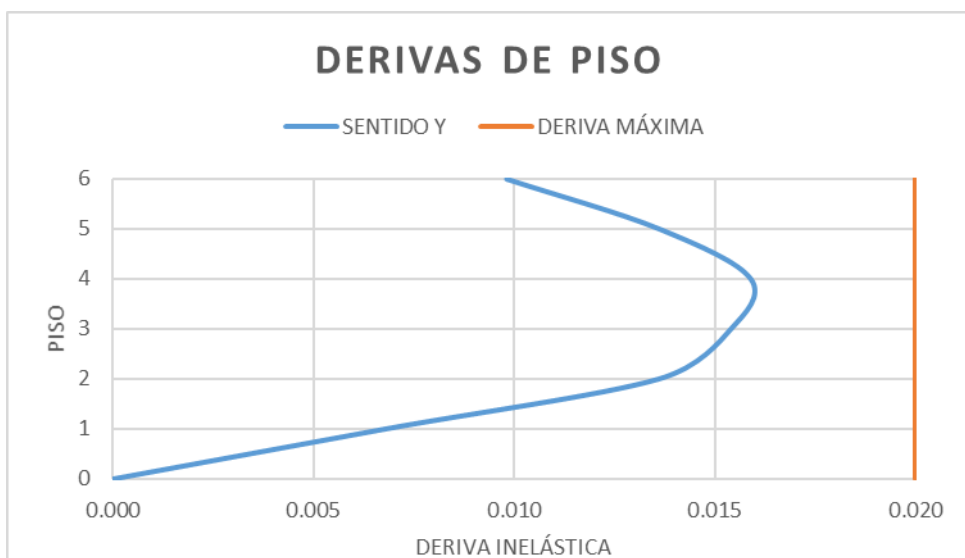


Fig. 4.6: Derivas de piso sentido Y de la edificación

4.9. Secciones de la edificación del diseño lineal.

Se realizó una comprobación de la relación ancho/espesor, de las secciones utilizadas con el límite establecido en la tabla D1.1 de la norma AISC 341-16 [24], concluyendo que los perfiles utilizados son sísmicamente compactos de alta ductilidad.

| Miembro | Dimensiones | | | |
|---------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| COLUMNA | d(mm) | t _w (mm) | b _f (mm) | t _f (mm) |
| HEB 600 | 600 | 15.5 | 300 | 30 |
| HEB 500 | 500 | 14.5 | 300 | 28 |
| HEB 400 | 400 | 13.5 | 300 | 24 |

Tabla 4.6: Dimensiones del Acero en Columnas

| Miembro | Relaciones ancho - espesor | | Limites AISC 341-16 | |
|---------|----------------------------|------|---------------------|------|
| COLUMNA | Alma | Alas | Alma | Alas |
| HEB 600 | 31.35 | 5 | 51.17 | 7.42 |
| HEB 500 | 26.90 | 5.36 | 50.72 | 7.42 |
| HEB 400 | 22.07 | 6.25 | 52.93 | 7.42 |

Tabla 4.7: Relación Ancho-Espeso del Acero

| Miembro | Dimensiones | | | |
|---------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| VIGA | d(mm) | t _w (mm) | b _f (mm) | t _f (mm) |
| IPE 360 | 360 | 8 | 170 | 12.7 |
| IPE 330 | 330 | 7.5 | 160 | 11.5 |
| IPE 300 | 300 | 7.1 | 150 | 10.7 |

Tabla 4.8: Dimensiones del Acero en Vigas en Columnas

| Miembro | Relaciones ancho - espesor | | Limites AISC 341-16 | |
|---------|----------------------------|------|---------------------|------|
| VIGA | Alma | Alas | Alma | Alas |
| IPE 360 | 37.325 | 6.69 | 59.57 | 7.42 |
| IPE 330 | 36.133 | 6.96 | 59.57 | 7.42 |
| IPE 300 | 35.014 | 7.01 | 59.57 | 7.42 |

Tabla 4.9: Relación Ancho-Espeso del Acero en Vigas

4.9.1. Secciones utilizadas vista en elevación ejes A, B, C, D, E, F, G.

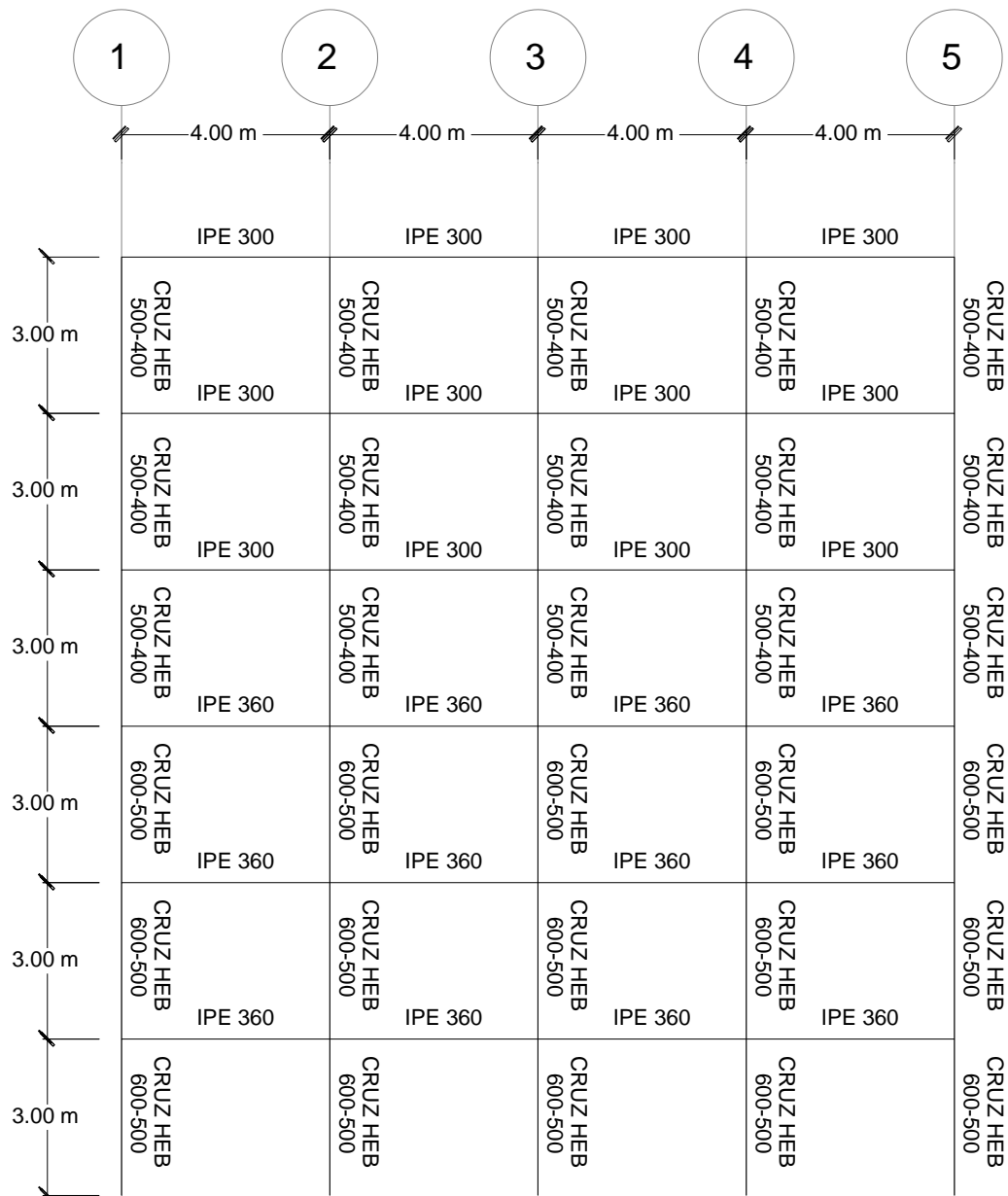


Fig. 4.7: Secciones utilizadas vista en elevación ejes A, B, C, D, E, F, G.

4.9.2. Secciones utilizadas vista en elevación ejes 1, 5.

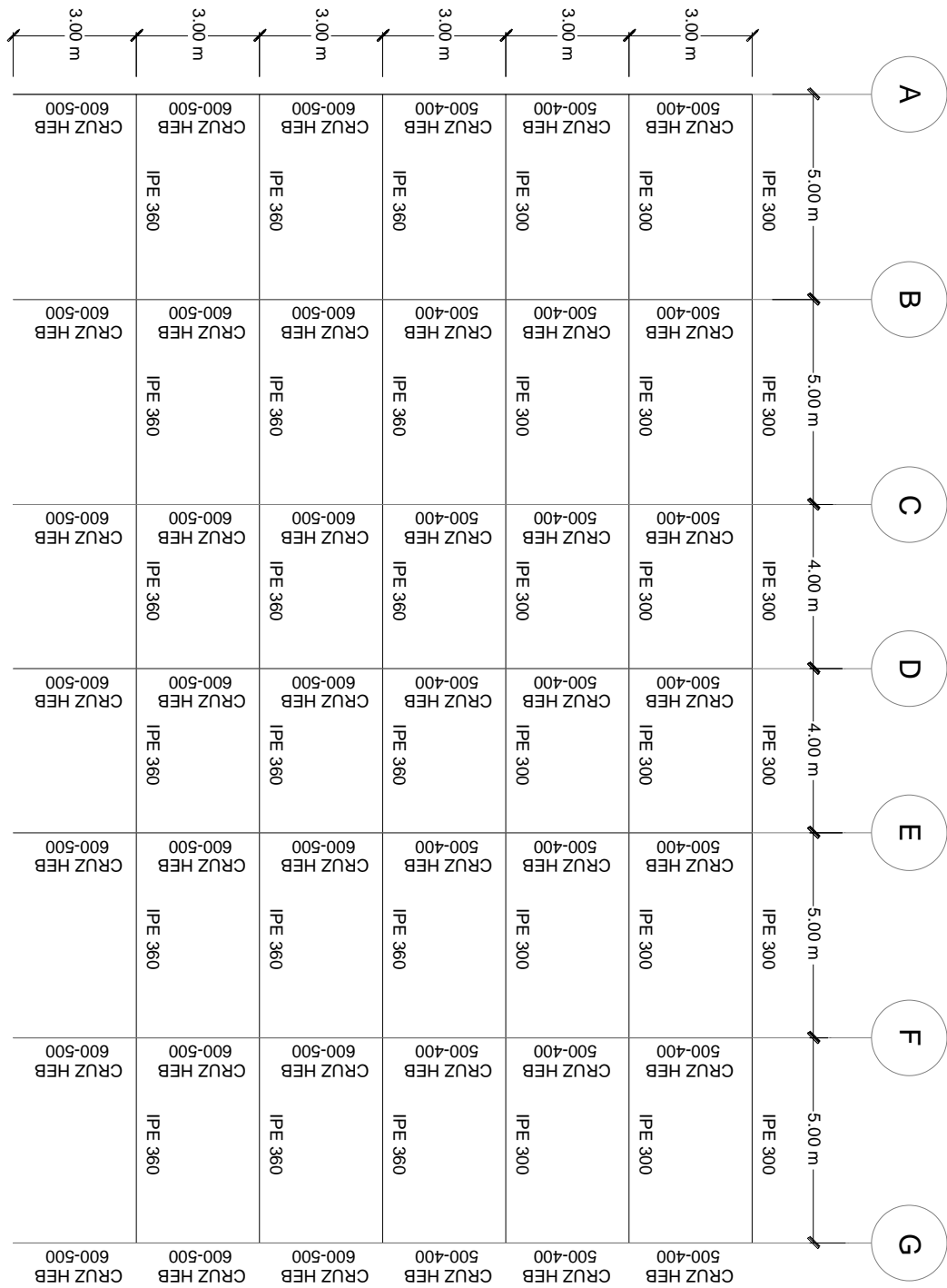


Fig. 4.8: Secciones utilizadas vista en elevación ejes 1, 5.

4.9.3. Secciones utilizadas vista en elevación ejes 2, 3, 4.

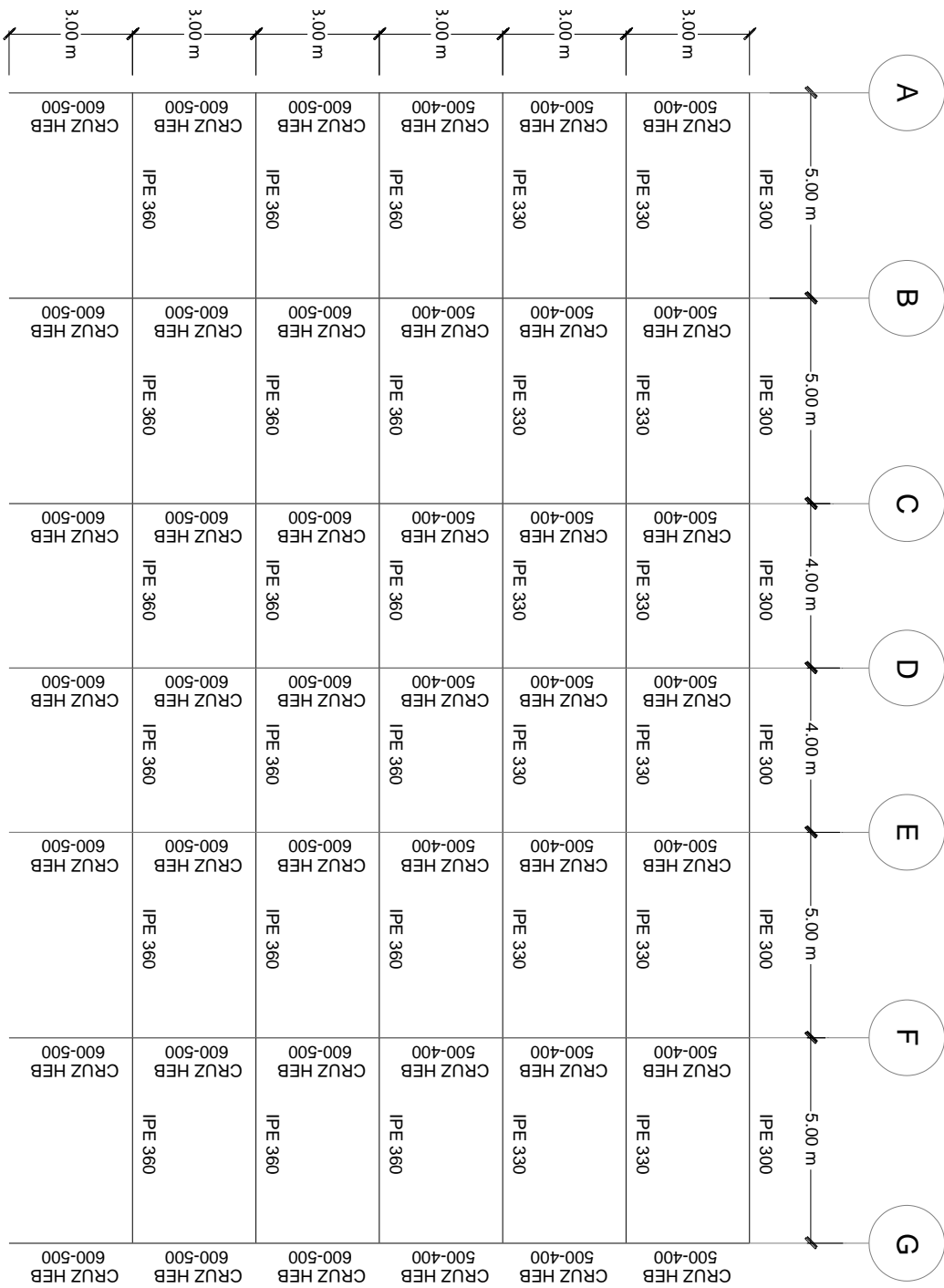


Fig. 4.9: Secciones utilizadas vista en elevación ejes 2, 3, 4.

4.9.4. Secciones utilizadas vista en planta piso 1-3.

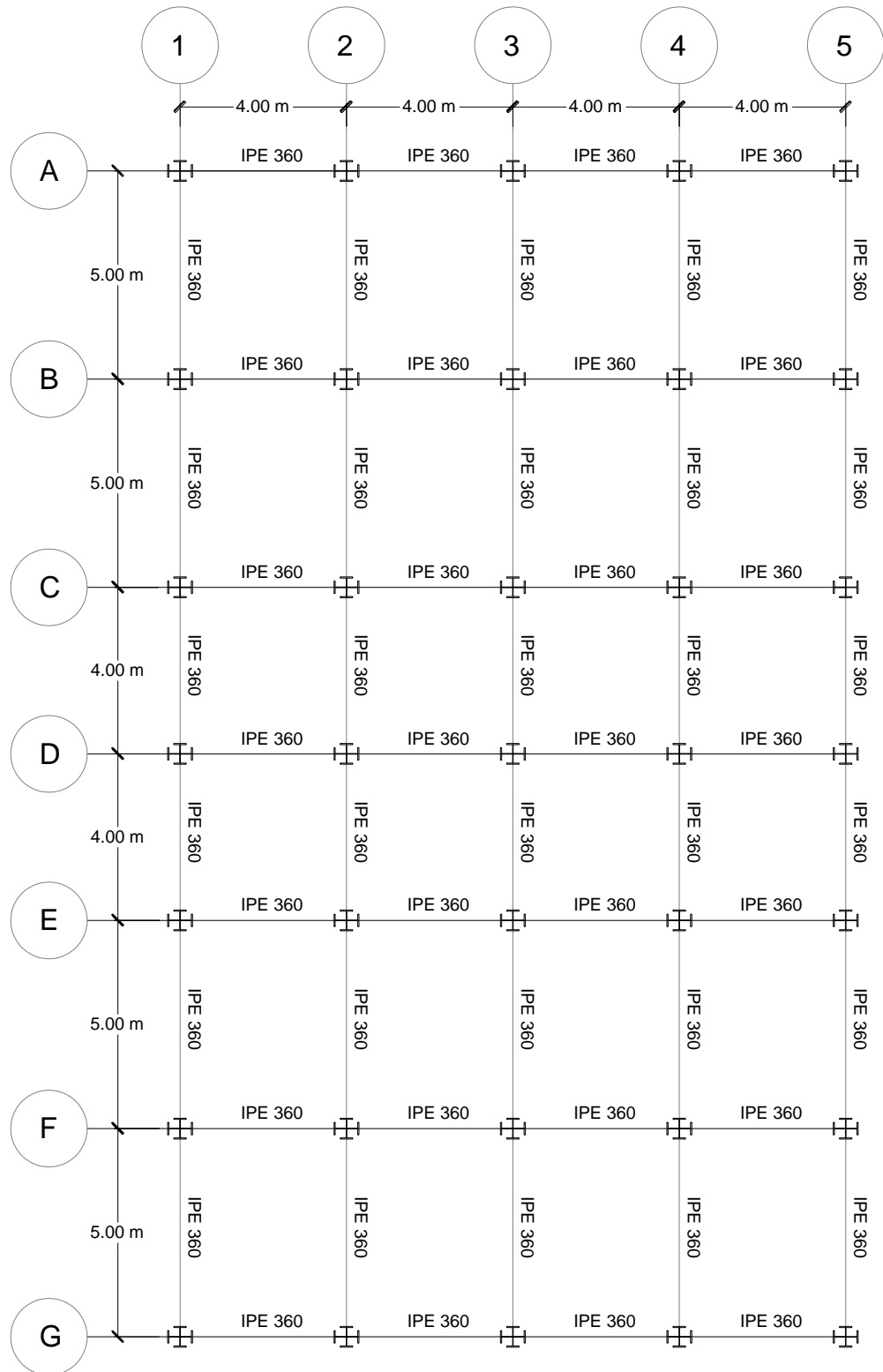


Fig. 4.10: Secciones utilizadas vista en planta piso 1-3.

4.9.5. Secciones utilizadas vista en planta piso 4-5.

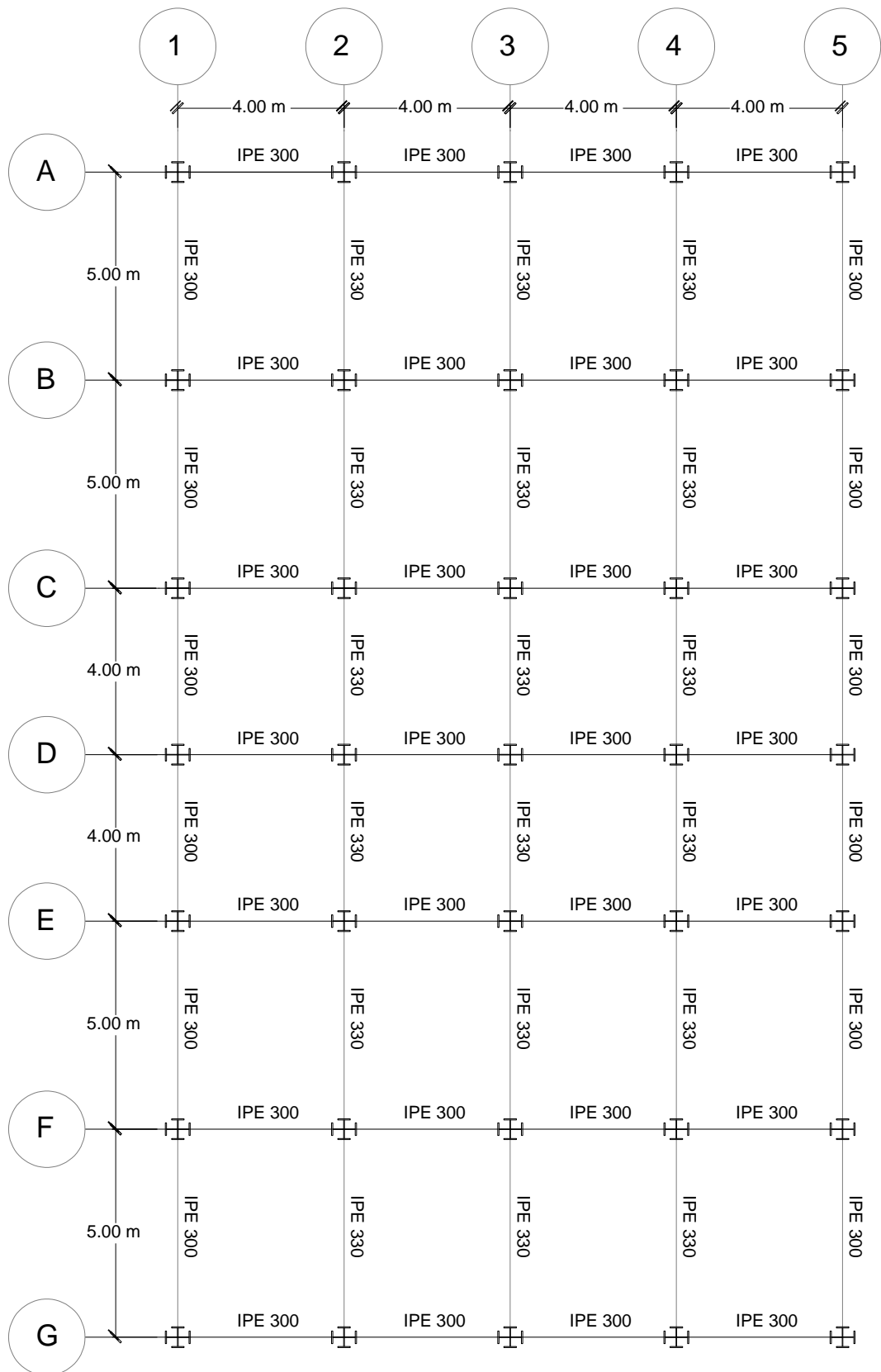


Fig. 4.11: Secciones utilizadas vista en planta piso 4-5.

4.9.6. Secciones utilizadas vista en planta piso 6

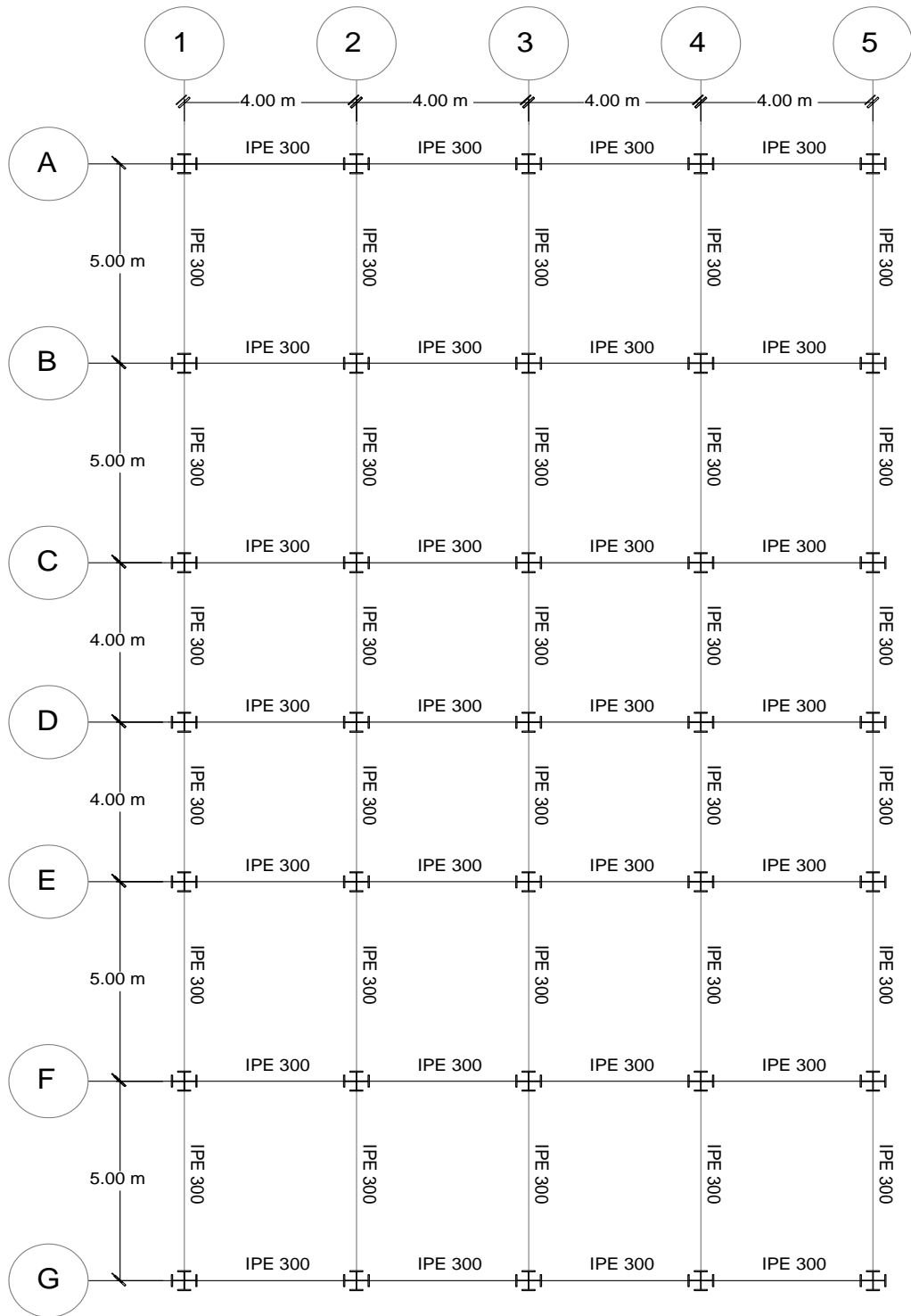


Fig. 4.12: Secciones utilizadas vista en planta piso 6.

4.10. Conexión RBS

Se realizó el diseño de la conexión RBS de la columna B2 del piso 3 entre una columna HEB 500 y una viga IPE 360 de lo cual se obtuvo que la distancia de la rótula plástica $S_h=0.225m$.

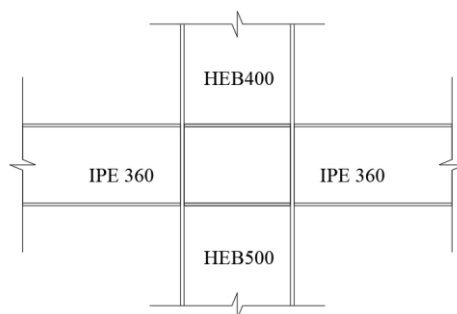


Fig. 4.13: Conexión RBS Columna B2 Piso 3.

| RESULTADOS CONEXIÓN RBS HEB 500-IPE360 | | | | | |
|--|---------|--------------------|---|---------|-----------|
| Momento probable en la rótula plástica | | | Criterio de columna fuerte - viga debil | | |
| $M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS}$ | | | $\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} > 1$ | | |
| Z_{RBS} | 666.143 | cm ³ | | | |
| F_y | 2,531 | kg/cm ² | | | |
| R_y | 1.5 | | $\sum M_{pb}$ | 114.626 | Tm |
| C_{pr} | 1.2 | | $\sum M_{pc}$ | 170.281 | Tm |
| M_{pr} | 30.348 | Tm | $\sum M_{pc} / \sum M_{pb}$ | 1.49 | Cumple >1 |
| Corte esperado en la rótula plástica | | | Fuerza requerida para diseñar la zona panel | | |
| $V_{RBS} = V_p + V_g$ | | | $R_{dp} = R_u - \phi R_v$ | | |
| V_p | 14.987 | T | | | |
| V_g | 8.380 | T | R_{dp} | 148.737 | T |
| V_{RBS} | 23.367 | T | Espesor requerido en la zona panel | | |
| Momento en la cara de la columna | | | t_{cpreq} | 1.959 | cm |
| $M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h$ | | | Fuerza requerida para diseñar las planchas de continuidad | | |
| M_{pr} | 30.348 | Tm | $F_{req} = F_1 - \phi R_{min}$ | | |
| S_h | 0.225 | m | F_{req} | 48.367 | T |
| V_{RBS} | 23.367 | T | Espesor requerido de las planchas de continuidad | | |
| M_f | 35.61 | Tm | t_{req} | 9.525 | mm |
| Momento probable de la viga | | | | | |
| $M_{pe} = R_y F_y Z_x$ | | | | | |
| Z_x | 1,019 | cm ³ | | | |
| F_y | 2,531 | kg/cm ² | | | |
| R_y | 1.5 | | | | |
| M_{pe} | 38.69 | Tm | | | |
| $M_f \leq M_{pe}$ | Cumple | | | | |

Tabla 4.10: Resultados Conexión RBS HEB500-IPE360

Se realizó el diseño de la conexión RBS de la columna B2 del piso 4 entre una columna HEB 400 y una viga IPE 330 de lo cual se obtuvo que la distancia de la rótula plástica $S_h=0.21m$.

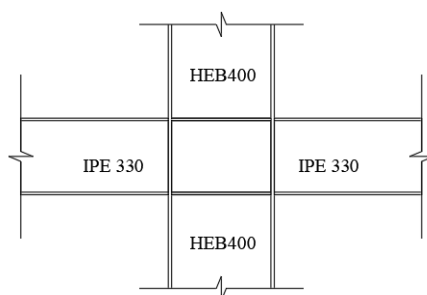


Fig. 4.14: Conexión RBS Columna B2 Piso 4.

| RESULTADOS CONEXIÓN RBS HEB 400-IPE330 | | | | | |
|--|---------|--------------------|---|---------|-----------|
| Momento probable en la rótula plástica | | | Criterio de columna fuerte - viga debil | | |
| $M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS}$ | | | $\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} > 1$ | | |
| Z_{RBS} | 547.608 | cm ³ | | | |
| F_y | 2,531 | kg/cm ² | | | |
| R_y | 1.5 | | $\sum M_{pb}$ | 87.628 | Tm |
| C_{pr} | 1.2 | | $\sum M_{pc}$ | 143.739 | Tm |
| M_{pr} | 24.948 | Tm | $\sum M_{pc} / \sum M_{pb}$ | 1.64 | Cumple >1 |
| Corte esperado en la rótula plástica | | | Fuerza requerida para diseñar la zona panel | | |
| $V_{RBS} = V_p + V_g$ | | | $R_{dp} = R_u - \phi R_v$ | | |
| V_p | 11.937 | T | R_{dp} | 141.904 | T |
| V_g | 8.370 | T | | | |
| V_{RBS} | 20.307 | T | Espesor requerido en la zona panel | | |
| Momento en la cara de la columna | | | t_{cpreq} | 2.336 | cm |
| $M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h$ | | | Fuerza requerida para diseñar las planchas de continuidad | | |
| M_{pr} | 24.948 | Tm | $F_{req} = F_1 - \phi R_{min}$ | | |
| S_h | 0.210 | m | F_{req} | 50.073 | T |
| V_{RBS} | 20.307 | T | Espesor requerido de las planchas de continuidad | | |
| M_f | 29.212 | Tm | t_{req} | 9.565 | mm |
| Momento probable de la viga | | | | | |
| $M_{pe} = R_y F_y Z_x$ | | | | | |
| Z_x | 804 | cm ³ | | | |
| F_y | 2,531 | kg/cm ² | | | |
| R_y | 1.5 | | | | |
| M_{pe} | 30.52 | Tm | | | |
| $M_f \leq M_{pe}$ | Cumple | | | | |

Tabla 4.11: Resultados Conexión RBS HEB400-IPE330

Se realizó el diseño de la conexión RBS de la columna B2 del piso 6 entre una columna HEB 400 y una viga IPE 300 de lo cual se obtuvo que la distancia de la rótula plástica $S_h=0.21m$.

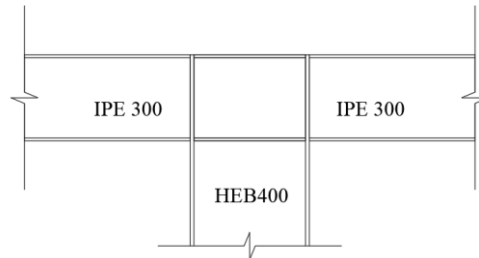


Fig. 4.15: Conexión RBS Columna B2 Piso 6.

| RESULTADOS CONEXIÓN RBS HEB 400-IPE300 | | | | | |
|--|---------|-----------|---|--------|-----------|
| Momento probable en la rótula plástica | | | Criterio de columna fuerte - viga debil | | |
| $M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS}$ | | | $\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} > 1$ | | |
| Z_{RBS} | 411.314 | cm^3 | | | |
| F_y | 2,531 | kg/cm^2 | | | |
| R_y | 1.5 | | $\sum M_{pb}$ | 68.446 | Tm |
| C_{pr} | 1.2 | | $\sum M_{pc}$ | 78.954 | Tm |
| M_{pr} | 18.739 | Tm | $\sum M_{pc}/\sum M_{pb}$ | 1.15 | Cumple >1 |
| Corte esperado en la rótula plástica | | | Fuerza requerida para diseñar la zona panel | | |
| $V_{RBS} = V_p + V_g$ | | | $R_{dp} = R_u - \phi R_v$ | | |
| V_p | 8.970 | T | | | |
| V_g | 5.020 | T | R_{dp} | 135.66 | T |
| V_{RBS} | 13.990 | T | Espesor requerido en la zona panel | | |
| Momento en la cara de la columna | | | t_{cpreq} | 2.233 | cm |
| $M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h$ | | | Fuerza requerida para diseñar las planchas de continuidad | | |
| M_{pr} | 18.739 | Tm | $F_{req} = F_1 - \phi R_{min}$ | | |
| S_h | 0.210 | m | | | |
| V_{RBS} | 13.990 | T | F_{req} | 30.472 | T |
| Momento probable de la viga | | | Espesor requerido de las planchas de continuidad | | |
| $M_{pe} = R_y F_y Z_x$ | | | t_{req} | 8.025 | mm |
| Z_x | 628 | cm^3 | $M_f \leq M_{pe}$ Cumple | | |
| F_y | 2,531 | kg/cm^2 | | | |
| R_y | 1.5 | | | | |
| M_{pe} | 23.84 | Tm | | | |

Tabla 4.12: Resultados Conexión RBS HEB400-IPE300

4.11. Asignación de rotulas plásticas ASCE 41-13.

Para la asignación de rotulas plásticas se utilizó un modelo de plasticidad concentrada, según la tabla 9-6 de la norma ASCE 41-13 [26] y la ubicación de la rótula plástica Sh se asignó considerando el resultado de la conexión RBS.

Table 9-6. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components

| Component or Action | Modeling Parameters | | | Acceptance Criteria | | |
|--|---|-------------------------|-----|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Plastic Rotation Angle, Radians | Residual Strength Ratio | c | Plastic Rotation Angle, Radians | | |
| | | | | IO | LS | CP |
| Beams—Flexure | | | | | | |
| a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{yc}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{yc}}}$ | 90 _y | 110 _y | 0.6 | 10 _y | 90 _y | 110 _y |
| b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{yc}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{640}{\sqrt{F_{yc}}}$ | 40 _y | 60 _y | 0.2 | 0.250 _y | 30 _y | 40 _y |
| c. Other | Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used | | | | | |
| Columns—Flexure^{a,b} | | | | | | |
| For $P/P_{cl} < 0.2$ | | | | | | |
| a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{yc}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{300}{\sqrt{F_{yc}}}$ | 90 _y | 110 _y | 0.6 | 10 _y | 90 _y | 110 _y |
| b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{yc}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{460}{\sqrt{F_{yc}}}$ | 40 _y | 60 _y | 0.2 | 0.250 _y | 30 _y | 40 _y |
| c. Other | Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used | | | | | |
| For $0.2 \leq P/P_{cl} \leq 0.5$ | | | | | | |
| a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{yc}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{260}{\sqrt{F_{yc}}}$ | — ^c | — ^d | 0.2 | 0.250 _y | — ^e | — ^d |
| b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{yc}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{400}{\sqrt{F_{yc}}}$ | 10 _y | 1.50 _y | 0.2 | 0.250 _y | 1.20 _y | 1.20 _y |
| c. Other | Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used | | | | | |

Tabla 4.13: Parámetros de Modelación y Criterios de aceptación para procedimientos No lineales: Componentes de Acero Estructural.

| PISO 1-2-3 VIGA IPE 360 | | | | | | | |
|---------------------------|---------|--|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| Peralte de la columna (m) | Luz (m) | Rotula SH (m) desde el eje de la columna | Longitud entre rotulas (m) | Inicio distancia relativa | Final distancia relativa | Inicio distancia (m) | Final distancia (m) |
| 0.6 | 4 | 0.525 | 3.475 | 0.131 | 0.869 | 0.525 | 3.475 |
| 0.6 | 5 | 0.525 | 4.475 | 0.105 | 0.895 | 0.525 | 4.475 |
| 0.5 | 4 | 0.475 | 3.525 | 0.119 | 0.881 | 0.475 | 3.525 |
| 0.5 | 5 | 0.475 | 4.525 | 0.095 | 0.905 | 0.475 | 4.525 |
| PISO 4-5 VIGA IPE 330 | | | | | | | |
| Peralte de la columna (m) | Luz (m) | Rotula SH (m) desde el eje de la columna | Longitud entre rotulas (m) | Inicio distancia relativa | Final distancia relativa | Inicio distancia (m) | Final distancia (m) |
| 0.5 | 4 | 0.46 | 3.54 | 0.115 | 0.885 | 0.460 | 3.540 |
| 0.5 | 5 | 0.46 | 4.54 | 0.092 | 0.908 | 0.460 | 4.540 |

| 0.4 | 4 | 0.41 | 3.59 | 0.103 | 0.898 | 0.410 | 3.590 |
|---------------------------|---------|--|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| 0.4 | 5 | 0.41 | 4.59 | 0.082 | 0.918 | 0.410 | 4.590 |
| PISO 6 VIGA IPE 300 | | | | | | | |
| Peralte de la columna (m) | Luz (m) | Rotula SH (m) desde el eje de la columna | Longitud entre rotulas (m) | Inicio distancia relativa | Final distancia relativa | Inicio distancia (m) | Final distancia (m) |
| 0.5 | 4 | 0.46 | 3.54 | 0.115 | 0.885 | 0.460 | 3.540 |
| 0.5 | 5 | 0.46 | 4.54 | 0.092 | 0.908 | 0.460 | 4.540 |
| 0.4 | 4 | 0.41 | 3.59 | 0.103 | 0.898 | 0.410 | 3.590 |
| 0.4 | 5 | 0.41 | 4.59 | 0.082 | 0.918 | 0.410 | 4.590 |

Tabla 4.14: Resultados de Rótula Plástica Conexión RBS.

4.12. Registros sísmicos seleccionados

Los registros sísmicos fueron elegidos de la base del Pacific Earthquake Engineering Research Center [27], los criterios que se utilizaron para la elección de los registros fueron; que sean compatibles al espectro Target de la ciudad de Puyo, un modo de falla Reverso y un V_{s30} menor a 180 m/s. Los registros previos al análisis fueron corregidos con una corrección de línea base cubica y recortados mediante el método de la intensidad de Arias en un rango de 5% y 95%. Y finalmente los registros fueron escalados utilizando la metodología de la coincidencia espectral (spectral matching) en el dominio de frecuencia con la función del programa utilizado, con esto se busca que los registros sísmicos coincidan con los espectros de respuesta objetivos de cada nivel de intensidad.

| Sismo | Año | Estación | Magnitud | Tipo de Falla | Vs30 (m/sg) |
|----------------------|------|----------------------------|----------|---------------|-------------|
| "Coalinga-01" | 1983 | "Parkfield - Cholame 2WA" | 6.36 | Inversa | 173.02 |
| "Coalinga-01" | 1983 | "Parkfield - Fault Zone 1" | 6.36 | Inversa | 178.27 |
| "Northridge-01" | 1994 | "Carson - Water St" | 6.69 | Inversa | 160.58 |
| "Chi-Chi_ Taiwan-03" | 1999 | "CHY047" | 6.2 | Inversa | 169.52 |
| "Niigata_ Japan" | 2004 | "NIG011" | 6.63 | Inversa | 149.97 |
| "Niigata_ Japan" | 2004 | "NIG013" | 6.63 | Inversa | 174.55 |
| "Chuetsu-oki_ Japan" | 2007 | "NIG010" | 6.8 | Inversa | 173.09 |

| | | | | | |
|----------------------|------|----------|-----|---------|--------|
| "Chuetsu-oki_ Japan" | 2007 | "NIG013" | 6.8 | Inversa | 174.55 |
| "Iwate_ Japan" | 2008 | "AKT016" | 6.9 | Inversa | 158.16 |
| "Iwate_ Japan" | 2008 | "MYG006" | 6.9 | Inversa | 146.72 |
| "Iwate_ Japan" | 2008 | "MYG007" | 6.9 | Inversa | 166.75 |

Tabla 4.15: Registros Sísmicos Seleccionados.

4.12.1. COALINGA326

- **Componente X**

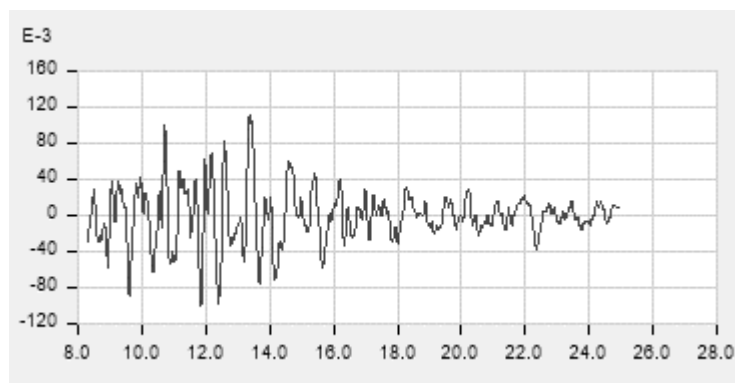


Fig. 4.16: Acelerograma recortado Coalinga326, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

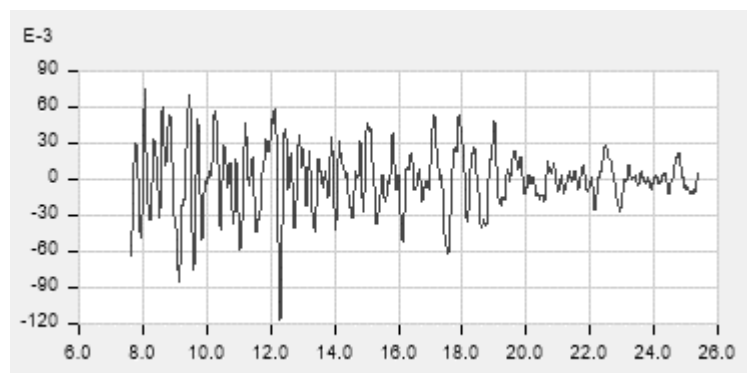


Fig. 4.17: Acelerograma recortado Coalinga326, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.2. COALINGA334

- **Componente X**

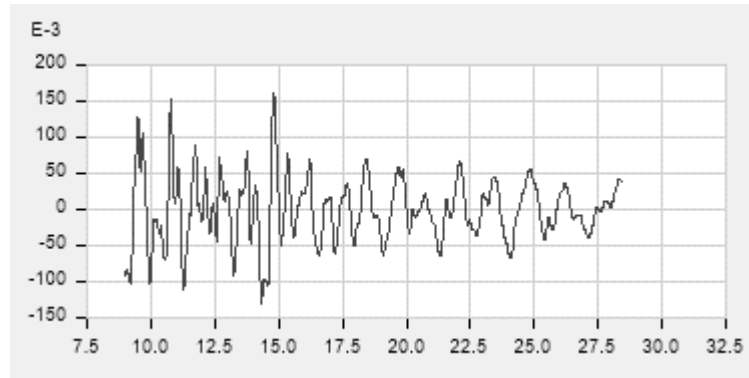


Fig. 4.18: Acelerograma recortado Coalinga334, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

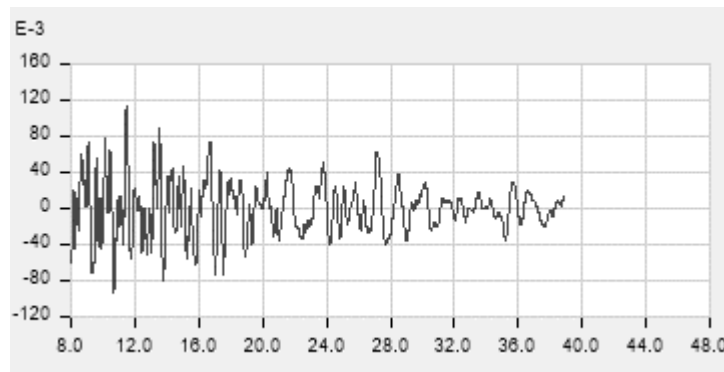


Fig. 4.19: Acelerograma recortado Coalinga334, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.3. NORTHRIDGE

- **Componente X**

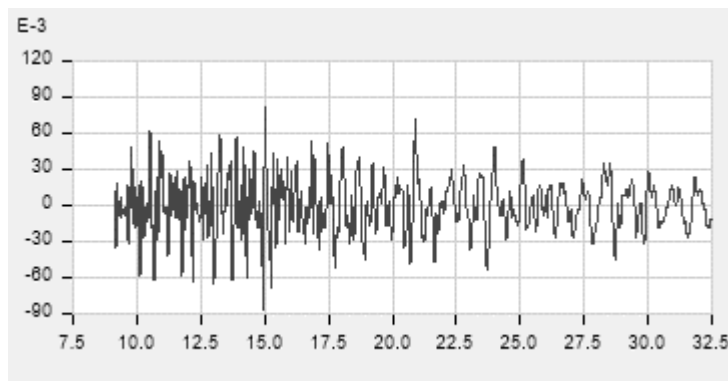


Fig. 4.20: Acelerograma recortado Northridge, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

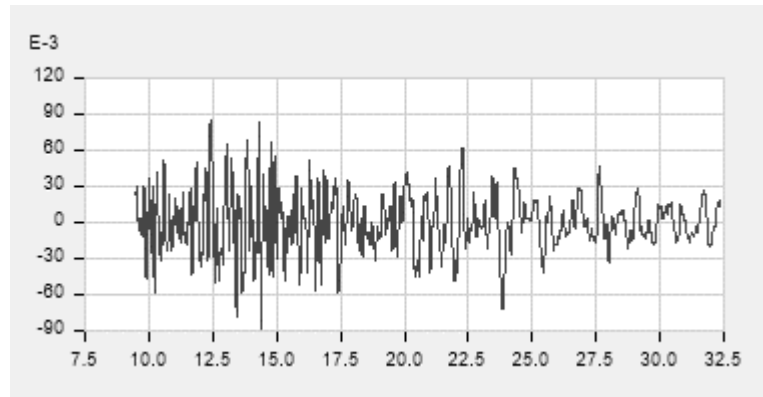


Fig. 4.21: Acelerograma recortado Northridge, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.4. CHICHI1209

- **Componente X**

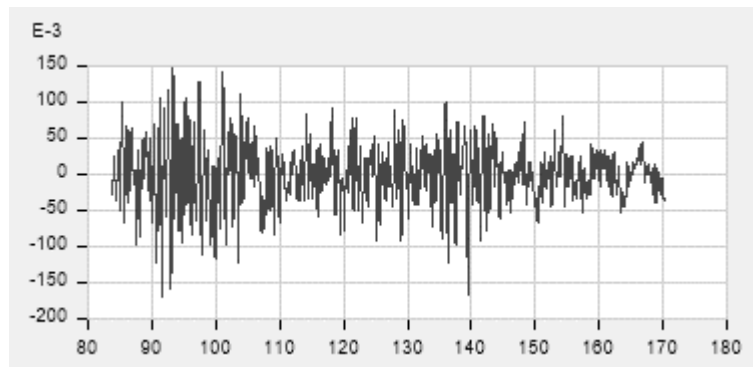


Fig. 4.21: Acelerograma recortado Chichi1209, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

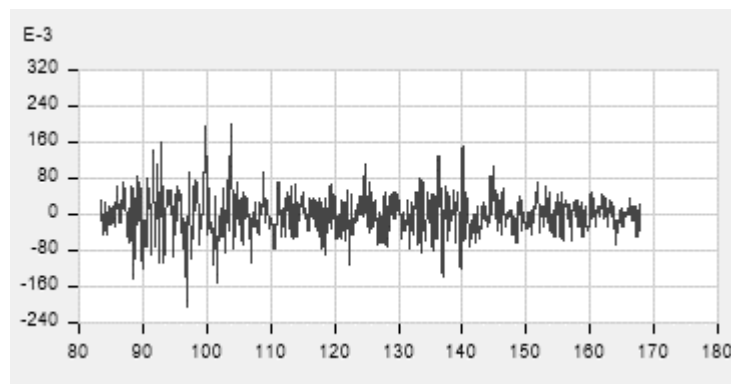


Fig. 4.22: Acelerograma recortado Chichi1209, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.5. NIIGATA4201

- **Componente X**

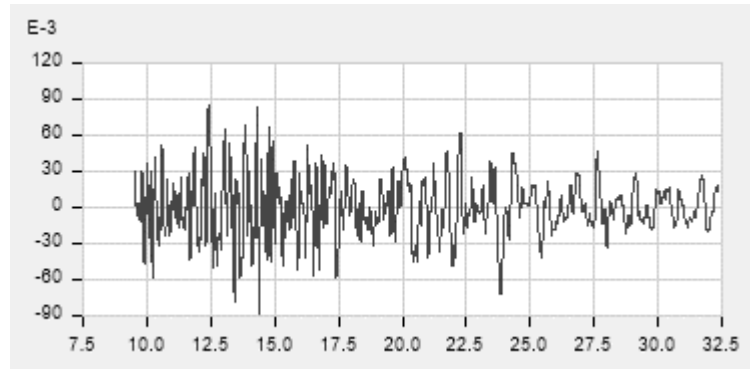


Fig. 4.23: Acelerograma recortado Niigata4201, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

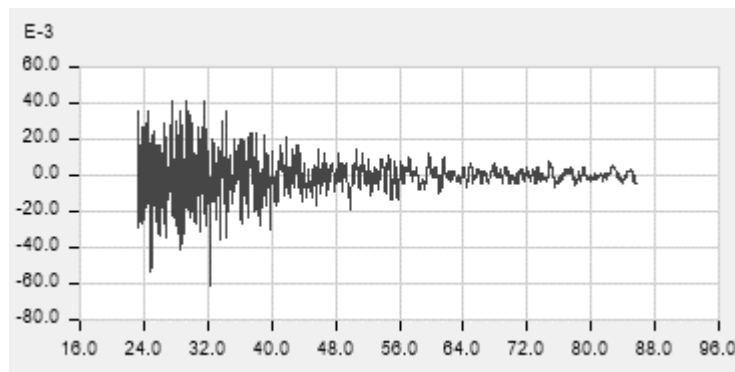


Fig. 4.24: Acelerograma recortado Niigata4201, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.6. NIIGATA4203

- **Componente X**

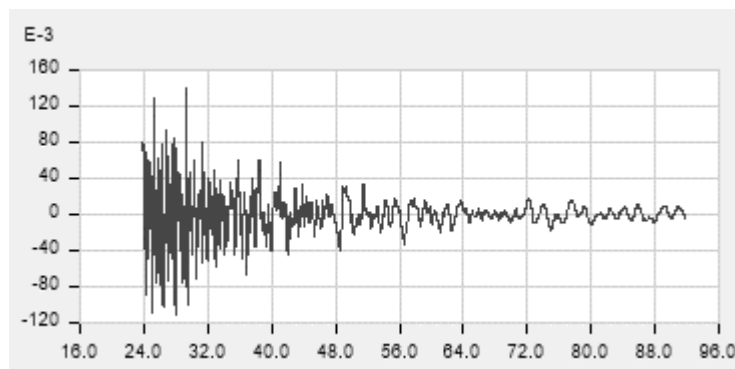


Fig. 4.25: Acelerograma recortado Niigata4203, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

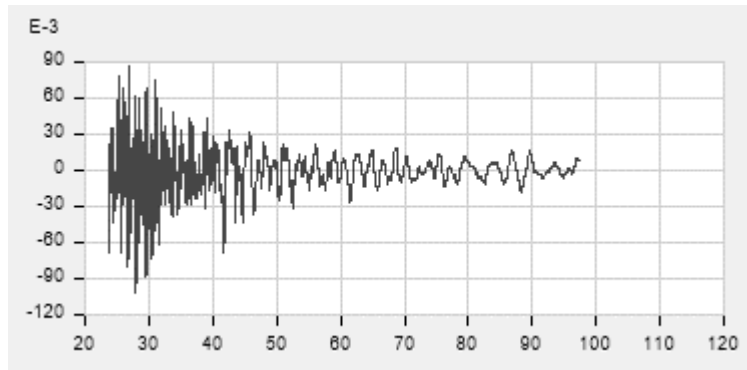


Fig. 4.26: Acelerograma recortado Niigata4203, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.7. CHUETSU 5256

- **Componente X**

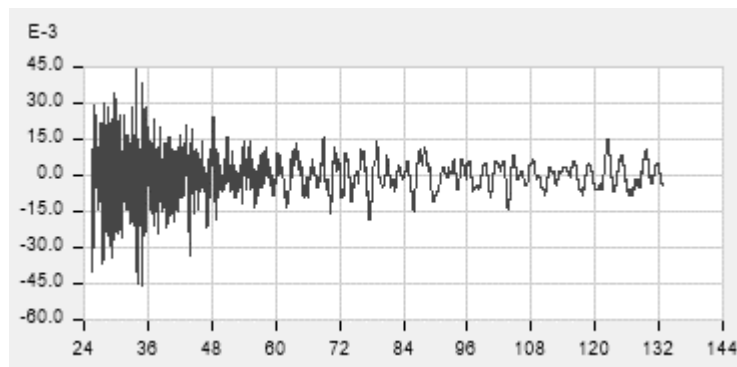


Fig. 4.27: Acelerograma recortado Chuetsu5256, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

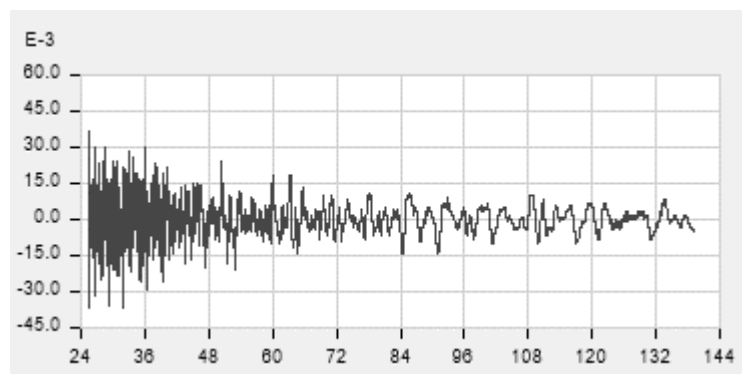


Fig. 4.28: Acelerograma recortado Chuetsu5256, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.8. CHUETSU 5259

- **Componente X**

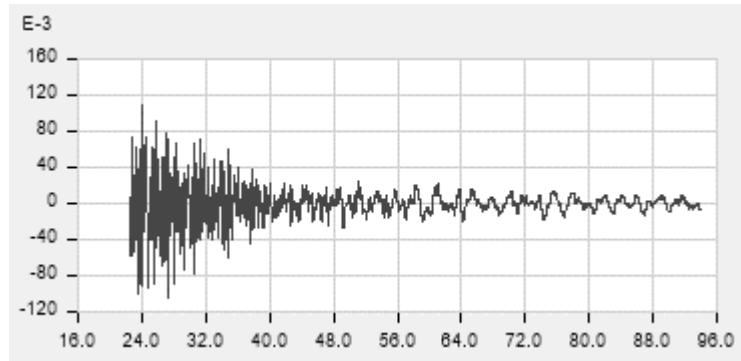


Fig. 4.29: Acelerograma recortado Chuetsu5259, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

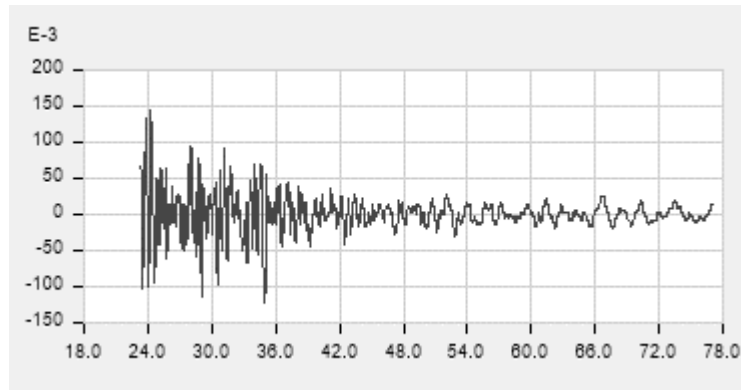


Fig. 4.30: Acelerograma recortado Chuetsu5259, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.9. IWATE 5471

- **Componente X**

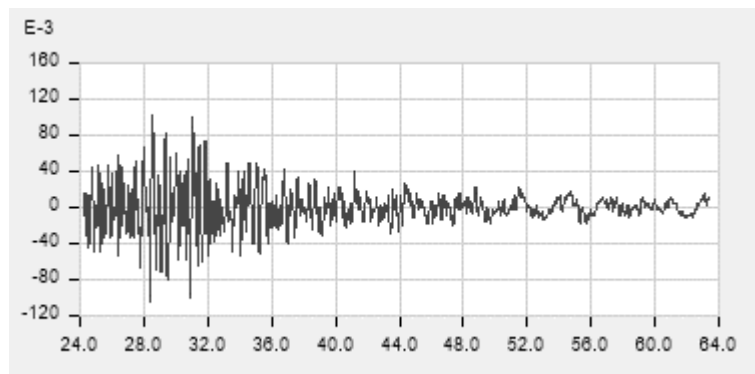


Fig. 4.31: Acelerograma recortado Iwate5471, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

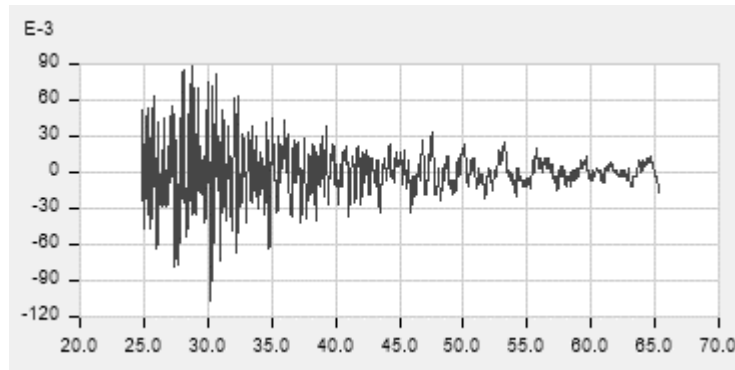


Fig. 4.32: Acelerograma recortado Iwate5471, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.10. IWATE 5665

- **Componente X**

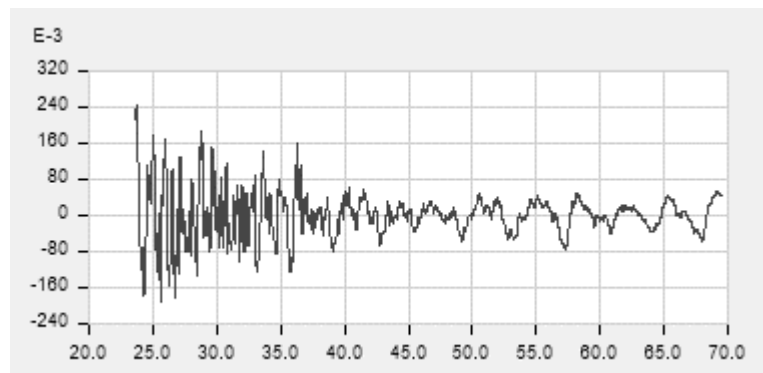


Fig. 4.33: Acelerograma recortado Iwate5665, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

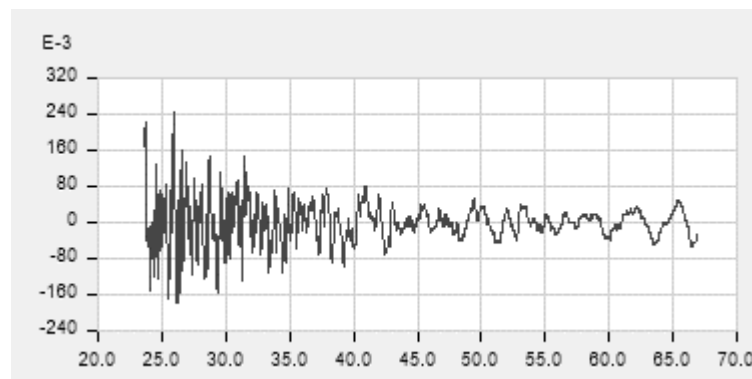


Fig. 4.34: Acelerograma recortado Iwate5665, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.12.11. IWATE 5666

- **Componente X**

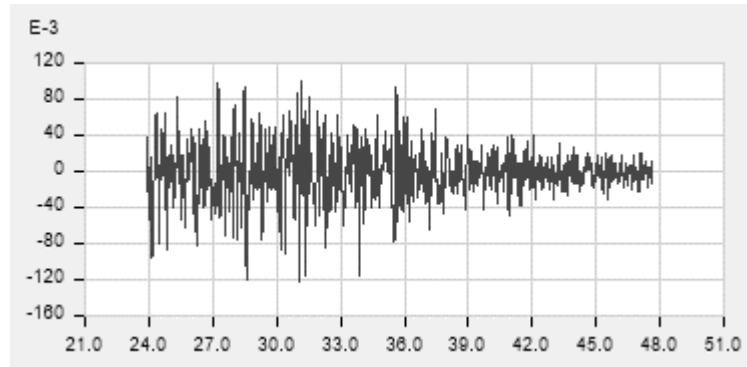


Fig. 4.35: Acelerograma recortado Iwate5666, componente X, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

- **Componente Y**

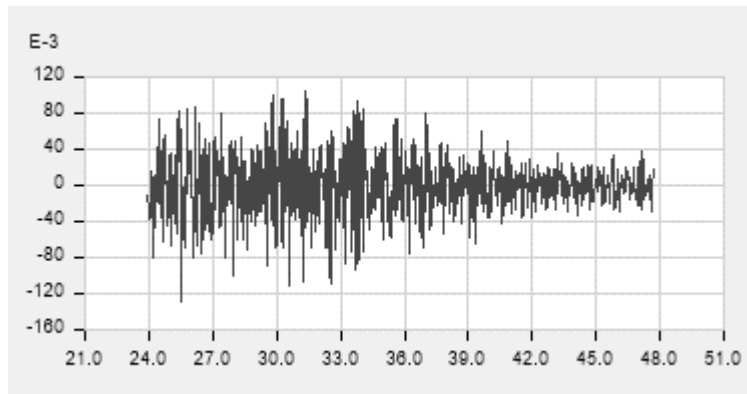


Fig. 4.36: Acelerograma recortado Iwate5666, componente Y, Aceleración (g) vs. Tiempo (s).

4.13. Análisis dinámico no lineal

Se realizó el análisis dinámico no lineal mediante el método no lineal de integración directa, se consideró un amortiguamiento 0.05, considerando que se utiliza conexiones rígidas precalificadas y secciones sísmicamente compactas de alta ductilidad con una gran capacidad de disipación de energía, Y se configuró el número de pasos de manera personalizada para cada registro sísmico de acuerdo a la cantidad de datos del registro.

4.13.1. Análisis de resultados derivas de piso para el sismo frecuente.

- **Análisis en sentido X**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Piso 6 | 0.004671 | 0.004331 | 0.003921 | 0.005324 | 0.00436 | 0.004777 |
| Piso 5 | 0.005985 | 0.005748 | 0.005266 | 0.007046 | 0.005741 | 0.006283 |
| Piso 4 | 0.006177 | 0.0063 | 0.006014 | 0.007691 | 0.006206 | 0.007007 |
| Piso 3 | 0.005286 | 0.005704 | 0.005696 | 0.006918 | 0.005623 | 0.006522 |
| Piso 2 | 0.004705 | 0.004967 | 0.005118 | 0.005984 | 0.00512 | 0.005903 |
| Piso 1 | 0.002611 | 0.002658 | 0.00281 | 0.003196 | 0.002897 | 0.003252 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.003494 | 0.004565 | 0.003687 | 0.005186 | 0.004316 | |
| Piso 5 | 0.004601 | 0.005814 | 0.004745 | 0.006789 | 0.005689 | |
| Piso 4 | 0.00513 | 0.006015 | 0.005031 | 0.007277 | 0.006249 | |
| Piso 3 | 0.004762 | 0.005167 | 0.004423 | 0.006488 | 0.005813 | |
| Piso 2 | 0.004235 | 0.004671 | 0.003768 | 0.00568 | 0.005233 | |
| Piso 1 | 0.002318 | 0.002611 | 0.002028 | 0.003105 | 0.002906 | |

Tabla 4.16: Derivas de Piso Sismo Frecuente sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Piso 6 | 0.00560 | 0.00413 | 0.00474 | 0.00478 | 0.00447 | 0.00517 |
| Piso 5 | 0.00741 | 0.00562 | 0.00631 | 0.00667 | 0.00615 | 0.00709 |
| Piso 4 | 0.00809 | 0.00633 | 0.00714 | 0.00780 | 0.00733 | 0.00807 |
| Piso 3 | 0.00717 | 0.00570 | 0.00715 | 0.00726 | 0.00704 | 0.00730 |
| Piso 2 | 0.00655 | 0.00510 | 0.00699 | 0.00664 | 0.00659 | 0.00649 |
| Piso 1 | 0.00370 | 0.00284 | 0.00413 | 0.00375 | 0.00379 | 0.00377 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.00439 | 0.00460 | 0.00535 | 0.00480 | 0.00466 | |
| Piso 5 | 0.00605 | 0.00637 | 0.00687 | 0.00639 | 0.00652 | |
| Piso 4 | 0.00695 | 0.00735 | 0.00733 | 0.00686 | 0.00758 | |
| Piso 3 | 0.00638 | 0.00680 | 0.00668 | 0.00584 | 0.00700 | |
| Piso 2 | 0.00581 | 0.00629 | 0.00610 | 0.00520 | 0.00638 | |
| Piso 1 | 0.00329 | 0.00362 | 0.00348 | 0.00294 | 0.00360 | |

Tabla 4.17: Derivas de Piso Sismo Frecuente sentido Y.

4.13.2. Análisis de resultados derivas de piso para el sismo ocasional.

- **Análisis en sentido X**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Piso 6 | 0.007337 | 0.006802 | 0.006156 | 0.008258 | 0.006846 | 0.007328 |
| Piso 5 | 0.009404 | 0.009028 | 0.008269 | 0.010969 | 0.009017 | 0.009682 |
| Piso 4 | 0.009705 | 0.009897 | 0.009444 | 0.012239 | 0.009747 | 0.010816 |
| Piso 3 | 0.008306 | 0.008961 | 0.008944 | 0.011052 | 0.008831 | 0.010295 |
| Piso 2 | 0.007392 | 0.007804 | 0.008037 | 0.009358 | 0.008043 | 0.009261 |
| Piso 1 | 0.004101 | 0.004176 | 0.004412 | 0.004874 | 0.00455 | 0.005086 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.005487 | 0.007165 | 0.005788 | 0.008052 | 0.006778 | |
| Piso 5 | 0.007228 | 0.009133 | 0.007453 | 0.010625 | 0.008936 | |
| Piso 4 | 0.008057 | 0.009449 | 0.007902 | 0.011503 | 0.009814 | |
| Piso 3 | 0.007479 | 0.008109 | 0.006946 | 0.010249 | 0.009128 | |
| Piso 2 | 0.006652 | 0.007338 | 0.005919 | 0.008911 | 0.008219 | |
| Piso 1 | 0.003641 | 0.004101 | 0.003185 | 0.004876 | 0.004564 | |

Tabla 4.18: Derivas de Piso Sismo Ocasional sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Piso 6 | 0.04968 | 0.00648 | 0.00735 | 0.00749 | 0.00701 | 0.05307 |
| Piso 5 | 0.00839 | 0.00883 | 0.00989 | 0.01047 | 0.00966 | 0.01016 |
| Piso 4 | 0.01050 | 0.00994 | 0.01114 | 0.01231 | 0.01151 | 0.01171 |
| Piso 3 | 0.01026 | 0.00894 | 0.01129 | 0.01151 | 0.01110 | 0.01039 |
| Piso 2 | 0.00957 | 0.00801 | 0.01101 | 0.01044 | 0.01036 | 0.00894 |
| Piso 1 | 0.00537 | 0.00446 | 0.00645 | 0.00585 | 0.00593 | 0.00470 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.00688 | 0.00721 | 0.00839 | 0.00753 | 0.00730 | |
| Piso 5 | 0.00951 | 0.01000 | 0.01079 | 0.01004 | 0.01023 | |
| Piso 4 | 0.01092 | 0.01154 | 0.01152 | 0.01079 | 0.01192 | |
| Piso 3 | 0.01001 | 0.01068 | 0.01047 | 0.00918 | 0.01102 | |
| Piso 2 | 0.00912 | 0.00988 | 0.00957 | 0.00817 | 0.01002 | |
| Piso 1 | 0.00517 | 0.00567 | 0.00546 | 0.00462 | 0.00564 | |

Tabla 4.19: Derivas de Piso Sismo Ocasional sentido Y.

4.13.3. Análisis de resultados derivas de piso para el sismo raro.

- **Análisis en sentido X**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|
| Piso 6 | 0.009064 | 0.00607 | 0.00728 | 0.00831 | 0.008271 | 0.00573 |
| Piso 5 | 0.011868 | 0.00838 | 0.01025 | 0.01142 | 0.01074 | 0.00692 |
| Piso 4 | 0.012391 | 0.00974 | 0.012 | 0.01333 | 0.011952 | 0.00654 |
| Piso 3 | 0.010511 | 0.00917 | 0.01146 | 0.01281 | 0.011349 | 0.00533 |
| Piso 2 | 0.009532 | 0.00806 | 0.00977 | 0.01062 | 0.01035 | 0.00512 |
| Piso 1 | 0.005285 | 0.00403 | 0.00522 | 0.00516 | 0.005687 | 0.0032 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.00740 | 0.05140 | 0.00781 | 0.01094 | 0.00792 | |
| Piso 5 | 0.00975 | 0.01060 | 0.01006 | 0.01447 | 0.01021 | |
| Piso 4 | 0.01088 | 0.01100 | 0.01066 | 0.01575 | 0.01152 | |
| Piso 3 | 0.01014 | 0.00940 | 0.00937 | 0.01384 | 0.01087 | |
| Piso 2 | 0.00896 | 0.00780 | 0.00799 | 0.01123 | 0.00916 | |
| Piso 1 | 0.00490 | 0.00410 | 0.00430 | 0.00500 | 0.00471 | |

Tabla 4.20: Derivas de Piso Sismo Raro sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Piso 6 | 0.01040 | 0.00840 | 0.00700 | 0.00850 | 0.00870 | 0.00440 |
| Piso 5 | 0.01430 | 0.01180 | 0.01070 | 0.01160 | 0.01270 | 0.00610 |
| Piso 4 | 0.01530 | 0.01360 | 0.01370 | 0.01270 | 0.01600 | 0.00710 |
| Piso 3 | 0.01200 | 0.01220 | 0.01350 | 0.01090 | 0.01580 | 0.00660 |
| Piso 2 | 0.00970 | 0.01060 | 0.01200 | 0.00940 | 0.01390 | 0.00600 |
| Piso 1 | 0.00500 | 0.00570 | 0.00650 | 0.00510 | 0.00730 | 0.00330 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.00690 | 0.00880 | 0.01030 | 0.00470 | 0.00820 | |
| Piso 5 | 0.00950 | 0.01260 | 0.01430 | 0.00680 | 0.01150 | |
| Piso 4 | 0.01080 | 0.01460 | 0.01590 | 0.00850 | 0.01350 | |
| Piso 3 | 0.00970 | 0.01280 | 0.01360 | 0.00870 | 0.01240 | |
| Piso 2 | 0.00870 | 0.01070 | 0.01100 | 0.00860 | 0.01090 | |
| Piso 1 | 0.00480 | 0.00560 | 0.00550 | 0.00510 | 0.00580 | |

Tabla 4.21: Derivas de Piso Sismo Raro sentido Y.

4.13.4. Análisis de resultados derivas de piso para el sismo muy raro.

- **Análisis en sentido X**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Piso 6 | 0.01072 | 0.10505 | 0.00722 | 0.00788 | 0.00932 | 0.01111 |
| Piso 5 | 0.01401 | 0.1104 | 0.00974 | 0.01091 | 0.01378 | 0.01418 |
| Piso 4 | 0.01468 | 0.05236 | 0.01103 | 0.01279 | 0.01742 | 0.01417 |
| Piso 3 | 0.01244 | 0.02729 | 0.01022 | 0.01206 | 0.01739 | 0.01131 |
| Piso 2 | 0.00966 | 0.04182 | 0.00961 | 0.01026 | 0.01476 | 0.00805 |
| Piso 1 | 0.00452 | 0.00064 | 0.00439 | 0.00521 | 0.00732 | 0.00345 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.00942 | 0.0962 | 0.00032 | 0.00844 | 0.00859 | |
| Piso 5 | 0.0133 | 0.0178 | 0.00036 | 0.01132 | 0.01312 | |
| Piso 4 | 0.01582 | 0.0214 | 0.0005 | 0.01244 | 0.01718 | |
| Piso 3 | 0.01481 | 0.0205 | 0.00096 | 0.01087 | 0.01765 | |
| Piso 2 | 0.01182 | 0.0165 | 0.00214 | 0.00905 | 0.01521 | |
| Piso 1 | 0.00587 | 0.0077 | 0.00000 | 0.00446 | 0.00754 | |

Tabla 4.22: Derivas de Piso Sismo Muy Raro sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Piso 6 | 0.12250 | 0.05128 | 0.05623 | 0.00560 | 0.00990 | 0.00830 |
| Piso 5 | 0.02168 | 0.00855 | 0.00879 | 0.00890 | 0.01300 | 0.01260 |
| Piso 4 | 0.02697 | 0.01096 | 0.01180 | 0.01210 | 0.01350 | 0.01570 |
| Piso 3 | 0.02619 | 0.01073 | 0.01224 | 0.01270 | 0.01090 | 0.01470 |
| Piso 2 | 0.02183 | 0.00997 | 0.01141 | 0.01190 | 0.00910 | 0.01260 |
| Piso 1 | 0.01111 | 0.00560 | 0.00624 | 0.00660 | 0.00480 | 0.00660 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.00680 | 0.00940 | 0.00720 | 0.01270 | 0.00910 | |
| Piso 5 | 0.01000 | 0.01330 | 0.01180 | 0.01740 | 0.01350 | |
| Piso 4 | 0.01170 | 0.01540 | 0.01790 | 0.01870 | 0.01780 | |
| Piso 3 | 0.01040 | 0.01360 | 0.02130 | 0.01500 | 0.01850 | |
| Piso 2 | 0.00890 | 0.01130 | 0.02120 | 0.01120 | 0.01630 | |
| Piso 1 | 0.00470 | 0.00580 | 0.01330 | 0.00530 | 0.00830 | |

Tabla 4.23: Derivas de Piso Sismo Muy Raro sentido Y.

4.13.5. Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo frecuente.

La aceleración se encuentra expresada en función de la gravedad (g)

- **Análisis en sentido X**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Piso 6 | 0.84 | 0.70 | 0.64 | 0.89 | 0.74 | 0.69 |
| Piso 5 | 0.59 | 0.58 | 0.50 | 0.71 | 0.59 | 0.61 |
| Piso 4 | 0.46 | 0.47 | 0.46 | 0.54 | 0.46 | 0.57 |
| Piso 3 | 0.44 | 0.34 | 0.38 | 0.36 | 0.47 | 0.47 |
| Piso 2 | 0.33 | 0.25 | 0.24 | 0.24 | 0.38 | 0.32 |
| Piso 1 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.17 | 0.21 | 0.22 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 5.76 | 0.83 | 0.69 | 0.88 | 0.75 | |
| Piso 5 | 4.82 | 0.59 | 0.47 | 0.67 | 0.56 | |
| Piso 4 | 3.75 | 0.50 | 0.36 | 0.54 | 0.48 | |
| Piso 3 | 2.86 | 0.43 | 0.38 | 0.48 | 0.37 | |
| Piso 2 | 2.16 | 0.31 | 0.36 | 0.38 | 0.28 | |
| Piso 1 | 1.82 | 0.17 | 0.29 | 0.25 | 0.23 | |

Tabla 4.24: Aceleraciones Sismo Frecuente sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Piso 6 | 0.79 | 0.60 | 0.79 | 0.64 | 0.70 | 0.72 |
| Piso 5 | 0.57 | 0.46 | 0.56 | 0.56 | 0.53 | 0.61 |
| Piso 4 | 0.46 | 0.33 | 0.52 | 0.45 | 0.50 | 0.46 |
| Piso 3 | 0.38 | 0.32 | 0.44 | 0.32 | 0.39 | 0.37 |
| Piso 2 | 0.29 | 0.27 | 0.29 | 0.23 | 0.28 | 0.29 |
| Piso 1 | 0.20 | 0.21 | 0.19 | 0.18 | 0.22 | 0.19 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.58 | 0.63 | 0.84 | 0.69 | 0.68 | |
| Piso 5 | 0.50 | 0.55 | 0.55 | 0.50 | 0.57 | |
| Piso 4 | 0.40 | 0.43 | 0.54 | 0.34 | 0.48 | |
| Piso 3 | 0.29 | 0.37 | 0.49 | 0.37 | 0.37 | |
| Piso 2 | 0.24 | 0.30 | 0.37 | 0.31 | 0.29 | |
| Piso 1 | 0.18 | 0.20 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | |

Tabla 4.25: Aceleraciones Sismo Frecuente sentido Y.

4.13.6. Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo ocasional.

La aceleración se encuentra expresada en función de la gravedad (g)

- **Análisis en sentido X**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Piso 6 | 1.33 | 0.01 | 1.00 | 1.40 | 1.16 | 1.08 |
| Piso 5 | 0.92 | 0.01 | 0.78 | 1.08 | 0.93 | 0.96 |
| Piso 4 | 0.73 | 0.01 | 0.72 | 0.88 | 0.72 | 0.88 |
| Piso 3 | 0.69 | 0.01 | 0.60 | 0.56 | 0.73 | 0.73 |
| Piso 2 | 0.52 | 0.02 | 0.37 | 0.37 | 0.59 | 0.51 |
| Piso 1 | 0.31 | 0.01 | 0.33 | 0.27 | 0.33 | 0.34 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 1.00 | 0.92 | 1.08 | 1.33 | 1.19 | |
| Piso 5 | 0.77 | 0.77 | 0.75 | 1.04 | 0.89 | |
| Piso 4 | 0.60 | 0.60 | 0.57 | 0.84 | 0.75 | |
| Piso 3 | 0.46 | 0.46 | 0.59 | 0.75 | 0.58 | |
| Piso 2 | 0.35 | 0.35 | 0.56 | 0.60 | 0.45 | |
| Piso 1 | 0.29 | 0.29 | 0.46 | 0.38 | 0.36 | |

Tabla 4.26: Aceleraciones Sismo Ocasional sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Piso 6 | 0.79 | 0.94 | 1.23 | 0.99 | 1.10 | 1.02 |
| Piso 5 | 0.57 | 0.73 | 0.88 | 0.86 | 0.82 | 1.00 |
| Piso 4 | 0.46 | 0.52 | 0.81 | 0.69 | 0.79 | 0.81 |
| Piso 3 | 0.38 | 0.50 | 0.68 | 0.49 | 0.63 | 0.48 |
| Piso 2 | 0.29 | 0.43 | 0.45 | 0.36 | 0.45 | 0.21 |
| Piso 1 | 0.20 | 0.33 | 0.29 | 0.28 | 0.34 | 0.04 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.91 | 0.98 | 1.32 | 1.07 | 1.06 | |
| Piso 5 | 0.78 | 0.86 | 0.87 | 0.78 | 0.90 | |
| Piso 4 | 0.62 | 0.67 | 0.85 | 0.54 | 0.75 | |
| Piso 3 | 0.46 | 0.58 | 0.77 | 0.58 | 0.58 | |
| Piso 2 | 0.38 | 0.47 | 0.59 | 0.49 | 0.46 | |
| Piso 1 | 0.29 | 0.31 | 0.37 | 0.35 | 0.34 | |

Tabla 4.27: Aceleraciones Sismo Ocasional sentido Y.

4.13.7. Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo raro.

La aceleración se encuentra expresada en función de la gravedad (g)

- **Análisis en sentido X**

| | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
| Piso 6 | 1.52 | 0.83 | 0.80 | 1.05 | 1.50 | 1.07 |
| Piso 5 | 1.18 | 0.77 | 0.84 | 0.92 | 1.10 | 0.65 |
| Piso 4 | 0.96 | 0.66 | 0.98 | 0.69 | 0.97 | 0.30 |
| Piso 3 | 0.91 | 0.45 | 0.73 | 0.43 | 0.94 | 0.19 |
| Piso 2 | 0.71 | 0.31 | 0.28 | 0.32 | 0.77 | 0.13 |
| Piso 1 | 0.55 | 0.18 | 0.04 | 0.19 | 0.42 | 0.04 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 1.25 | 1.63 | 1.45 | 1.75 | 1.63 | |
| Piso 5 | 1.04 | 1.05 | 1.00 | 1.16 | 0.46 | |
| Piso 4 | 0.80 | 0.26 | 0.77 | 0.64 | 0.28 | |
| Piso 3 | 0.62 | 0.19 | 0.80 | 0.36 | 0.78 | |
| Piso 2 | 0.47 | 0.10 | 0.76 | 0.03 | 0.35 | |
| Piso 1 | 0.39 | 0.04 | 0.62 | 0.73 | 0.15 | |

Tabla 4.28: Aceleraciones Sismo Raro sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
| Piso 6 | 0.23 | 0.07 | 0.21 | 1.10 | 0.83 | 0.61 |
| Piso 5 | 0.23 | 0.25 | 0.45 | 0.87 | 0.79 | 0.49 |
| Piso 4 | 2.10 | 0.48 | 0.64 | 0.52 | 0.72 | 0.37 |
| Piso 3 | 0.22 | 0.78 | 0.94 | 0.20 | 0.52 | 0.32 |
| Piso 2 | 0.48 | 1.02 | 1.02 | 0.03 | 0.24 | 0.23 |
| Piso 1 | 2.16 | 1.18 | 0.82 | 0.02 | 0.05 | 0.11 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.88 | 1.17 | 1.56 | 0.26 | 1.63 | |
| Piso 5 | 0.69 | 1.07 | 1.28 | 0.18 | 1.47 | |
| Piso 4 | 0.51 | 0.76 | 0.74 | 0.25 | 1.26 | |
| Piso 3 | 0.33 | 0.37 | 0.30 | 0.37 | 1.05 | |
| Piso 2 | 0.17 | 0.15 | 0.16 | 0.31 | 0.77 | |
| Piso 1 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.13 | 0.37 | |

Tabla 4.29: Aceleraciones Sismo Raro sentido Y.

4.13.8. Análisis de resultados aceleraciones de piso para el sismo muy raro

La aceleración se encuentra expresada en función de la gravedad (g)

- **Análisis en sentido X**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Piso 6 | 2.11 | 0.75 | 0.70 | 0.94 | 0.60 | 2.04 |
| Piso 5 | 2.90 | 1.09 | 0.59 | 0.81 | 0.84 | 1.58 |
| Piso 4 | 0.51 | 1.20 | 0.40 | 0.69 | 0.80 | 0.88 |
| Piso 3 | 1.28 | 0.92 | 0.16 | 0.49 | 0.40 | 0.04 |
| Piso 2 | 0.36 | 0.27 | 2.75 | 0.28 | 0.17 | 0.11 |
| Piso 1 | 0.09 | 0.08 | 5.98 | 0.51 | 0.09 | 0.14 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 1.25 | 3.00 | 0.18 | 1.36 | 0.67 | |
| Piso 5 | 1.28 | 1.20 | 0.07 | 1.08 | 1.03 | |
| Piso 4 | 1.18 | 1.43 | 0.08 | 0.84 | 1.10 | |
| Piso 3 | 0.54 | 0.51 | 0.32 | 0.61 | 0.90 | |
| Piso 2 | 0.13 | 0.09 | 0.25 | 0.36 | 0.53 | |
| Piso 1 | 0.19 | 0.13 | 0.01 | 0.11 | 0.13 | |

Tabla 4.30: Aceleraciones Sismo Muy Raro sentido X.

- **Análisis en sentido Y**

| N. de Piso | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Piso 6 | 0.12 | 0.06 | 0.23 | 0.29 | 0.02 | 0.04 |
| Piso 5 | 0.43 | 0.23 | 0.43 | 0.63 | 0.09 | 0.03 |
| Piso 4 | 0.85 | 0.47 | 0.83 | 0.99 | 0.06 | 0.15 |
| Piso 3 | 0.94 | 0.68 | 1.08 | 0.87 | 0.21 | 0.66 |
| Piso 2 | 1.15 | 0.62 | 0.84 | 0.68 | 0.69 | 0.90 |
| Piso 1 | 1.55 | 0.33 | 0.79 | 0.58 | 1.18 | 0.66 |
| N. de Piso | EQ7 | EQ8 | EQ9 | EQ10 | EQ11 | |
| Piso 6 | 0.14 | 0.14 | 0.66 | 0.04 | 0.24 | |
| Piso 5 | 0.07 | 0.38 | 1.17 | 0.09 | 0.17 | |
| Piso 4 | 0.31 | 0.61 | 1.19 | 0.21 | 0.49 | |
| Piso 3 | 0.73 | 0.74 | 1.01 | 0.69 | 1.10 | |
| Piso 2 | 0.89 | 0.79 | 0.85 | 1.36 | 1.97 | |
| Piso 1 | 0.72 | 0.98 | 0.76 | 1.85 | 0.95 | |

Tabla 4.31: Aceleraciones Sismo Muy Raro sentido Y.

4.14. Niveles de Intensidad

Para evaluar la edificación se ha decidido realizar, la evaluación basada en 4 niveles de intensidad, para los sismos frecuente, ocasional, raro y muy raro que establece la NEC-SE-DS [25]. A continuación, se presenta los espectros de respuesta objetivo de los diferentes niveles de intensidad.

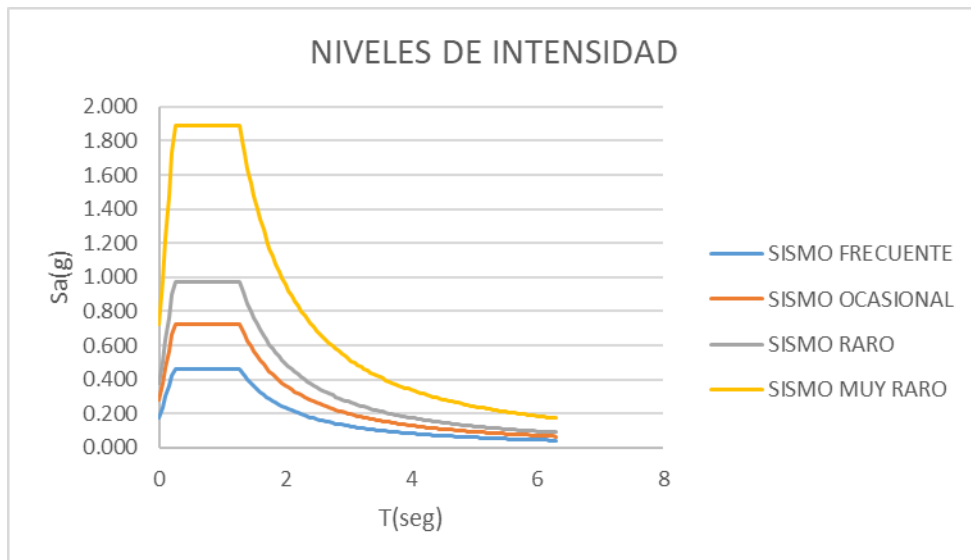


Fig. 4.37: Niveles de Intensidad Sísmica.

4.15. PACT

4.15.1. Información general del edificio

La edificación tiene un área total de 2688 m² distribuidos en cada piso como se muestra en la siguiente tabla.

| N. de Piso | Ubicación | Altura de entre piso (m) | Área de piso (m ²) |
|------------|-----------|--------------------------|--------------------------------|
| Piso 6 | N+18.00 | 3.00 | 448 |
| Piso 5 | N+15.00 | 3.00 | 448 |
| Piso 4 | N+12.00 | 3.00 | 448 |
| Piso 3 | N+9.00 | 3.00 | 448 |
| Piso 2 | N+6.00 | 3.00 | 448 |
| Piso 1 | N+3.00 | 3.00 | 448 |

Tabla 4.32: Dimensiones Edificio de Acero.

Los costos y tiempos de reparación se han determinado teniendo en consideración el mercado ecuatoriano, mediante un presupuesto realizado por el autor. El número máximo de trabajadores por pie cuadrado es usado para calcular el tiempo de reparación como lo establece el Volumen 2 del FEMA P 58 tiene un rango de 0.0005 (1 trabajador por 2000 pies cuadrados) a 0.004 (1 trabajador por 250 pies cuadrados). El valor utilizado es el propuesto por defecto del Pact de 0.001 (1 trabajador por 1000 pies cuadrados).

| Descripción | Valor |
|---|---------------------------|
| Área Total m ² | 2688 |
| Costo de reparación de la edificación por m ² | \$ 687.35/ m ² |
| Costo total de reparación de la edificación | \$ 1'847,598.93 |
| Costo de reparación de la estructura de la edificación por m ² | \$ 507.67/ m ² |
| Costo de reparación de la estructura de la edificación | \$ 1'364,628.56 |
| Tiempo de reparación de la estructura | 1095 días |
| Número máximo de trabajadores por pie cuadrado | 0.001 |

Tabla 4.33: Costos de Reparación Edificio de Acero.

El umbral de pérdida total se estableció 0.40 como sugería el volumen 1 de FEMA P-58, en el cual se establece que cuando el costo de reparación excede un 40%, muchos propietarios prefieren demoler la edificación existente y reemplazarla por una nueva.

El PACT utiliza el método de Monte Carlo para determinar la probabilidad de ocurrencia de las consecuencias, el número de realizaciones por defecto es de 200 con este valor se logra resultados estables para costo de reparación y tiempo de reparación en esta investigación se utilizó 500 realizaciones para obtener datos más estables.

4.15.2. Información de la población

El modelo de la población de la edificación utilizado es un modelo residencial, esto nos permite estimar el potencial número de víctimas en la edificación según lo establece FEMA P-58. El número pico de ocupantes por 100 sf es de 3.1 con una dispersión de 0.2. De lunes a viernes, el pico se da entre las 0:00am – 5am y 20:00pm – 23:00pm, mientras que los sábados y domingos, el pico se da entre las 0:00am – 8am y 22:00pm – 23:00pm.

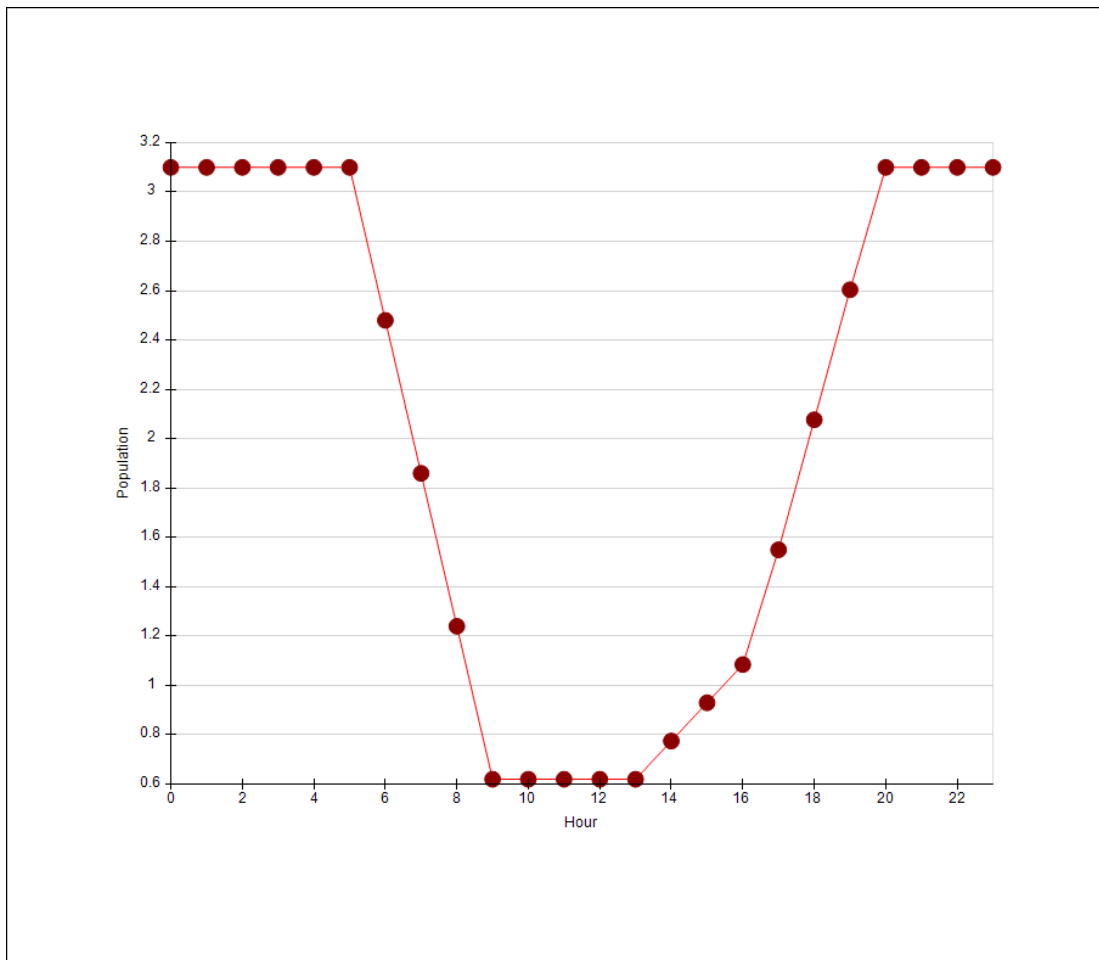


Fig. 4.38: Modelo de población residencial para lunes-viernes.

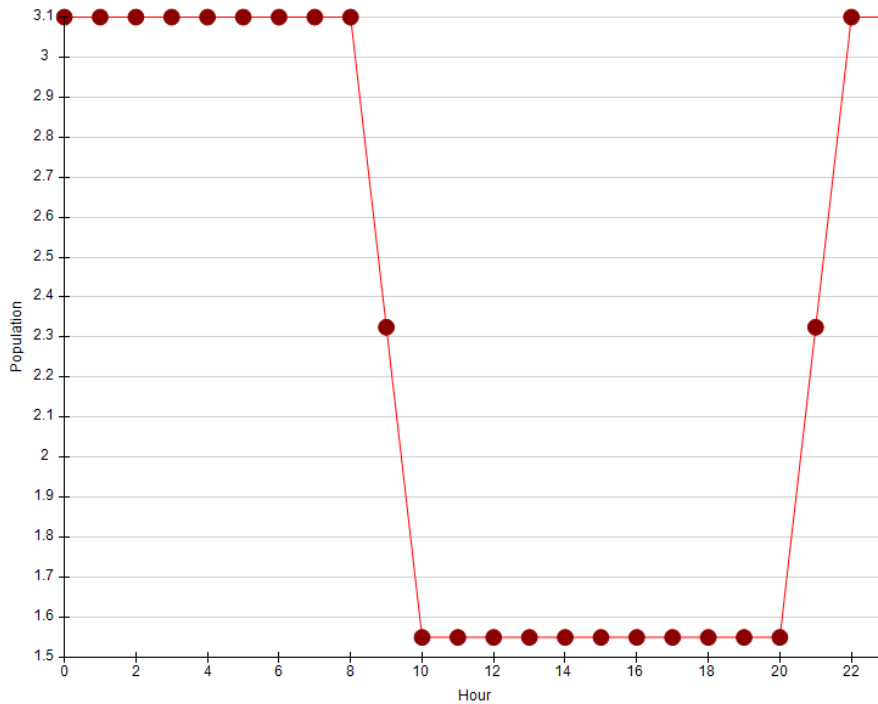


Fig. 4.39: Modelo de población residencial para sábado y domingo.

4.15.3. Información de los componentes de fragilidad

- **Estructurales**

Los componentes elegidos de la estructura serán los siguientes basados en la metodología del FEMA P-58:

- ✓ B1035.001: Post-Northridge RBS connection with welded web, beam one side of column only, beam depth $\leq W27$
- ✓ B1035.001: Post-Northridge RBS connection with welded web, beam both side of column only, beam depth $\leq W27$

- **No estructurales**

Los componentes elegidos no estructurales de la edificación serán los siguientes basados en la metodología del FEMA P-58:

- ✓ C1011.001a: Wall Partition. Type: Gypsum with metal studs. Full Height. Fixed Below. Fixed above.
- ✓ B2011.001b: Exterior Wall-Cold formed Steel walls with wood structural panel sheathing. Exterior-stucco one side.

- ✓ C3032.001a: Suspended Ceiling, SDC A,B,C, Area (A): A <250, Vert support only.
- ✓ D2021.011a: Cold or Hot Potable – Small Diameter Threaded Steel – (2.5 inches in diameter or less), SDC A or B, PIPING FRAGILITY

Las cantidades de los elementos no estructurales elegidos se pueden estimar según las siguientes tablas de FEMA P-58, las cuales nos muestran valores al 10, 50 y 90 percentiles, estas cantidades se basan de una información obtenida del análisis de 3000 edificios.

Table F-5 Normative Quantities for Multi-Unit Residential Occupancies

| Component Type | Unit of Measurement | 10 th Percentile Quantity | 50 th Percentile Quantity | 90 th Percentile Quantity |
|---|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Gross area | SF | 5,000 | 34,000 | 582,200 |
| Volume | CF per 1 gsf | 7.440 | 10.460 | 14.500 |
| Cladding | | | | |
| Gross wall area | SF per 1 gsf | 0.320 | 0.770 | 1.300 |
| Windows or glazing area | 100 SF per 1 gsf | 6.0E-04 | 1.5E-03 | 3.0E-03 |
| Roof area - total | SF per 1 gsf | 0.090 | 0.320 | 1.000 |
| Interior partition length | 100 LF per 1 gsf | 7.0E-04 | 1.2E-03 | 1.6E-03 |
| Ceramic tile floors | SF per 1 gsf | 0.108 | 0.212 | 0.340 |
| Ceramic tile walls | 100 LF per 1 gsf | 1.9E-04 | 3.8E-04 | 6.1E-04 |
| Ceilings | | | | |
| Ceiling - lay in tile percentage | % | | 0% | |
| Ceiling - gypsum board percentage | % | | 95% | |
| Ceiling - exposed percentage | % | | 5% | |
| Ceiling - other (high end) percentage | % | | 0% | |
| Stairs | FL per 1 gsf | 1.0E-04 | 1.2E-04 | 1.4E-04 |
| Elevators | EA per 1 gsf | 7.0E-06 | 3.4E-05 | 8.0E-05 |
| Plumbing | | | | |
| Plumbing fixtures | EA per 1 gsf | 2.7E-03 | 5.3E-03 | 8.5E-03 |
| Piping | | | | |
| Cold domestic water piping - 2 ½ inch diameter or smaller | 1,000 LF per 1 gsf | 5.4E-05 | 1.1E-04 | 1.7E-04 |
| Cold domestic water piping – greater than 2 ½ diameter | 1,000 LF per 1 gsf | 1.0E-05 | 1.5E-05 | 2.0E-05 |
| Hot domestic water piping - 2 ½ inch diameter or smaller | 1,000 LF per 1 gsf | 1.1E-04 | 2.1E-04 | 3.4E-04 |
| Hot domestic waster piping – greater than 2 ½ diameter | 1,000 LF per 1 gsf | 2.0E-05 | 3.0E-05 | 4.0E-05 |
| Gas supply piping | 1,000 LF per 1 gsf | 2.0E-05 | 4.0E-05 | 4.5E-05 |
| Sanitary waste piping | 1,000 LF per 1 gsf | 6.4E-05 | 1.2E-04 | 1.9E-04 |
| HVAC | | | | |
| Chiller capacity | TN per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 2.0E-03 |
| Cooling tower capacity | TN per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 2.0E-03 |
| Boiler capacity | BTU per 1 gsf | 30.000 | 45.000 | 60.000 |
| Air handling units | CFM per 1 gsf | 0.000 | 0.000 | 0.600 |

Tabla 4.34: Cantidades normadas para una ocupación de vivienda multifamiliar.

Table F-5 Normative Quantities for Multi-Unit Residential Occupancies (continued)

| Component Type | Unit of Measurement | 10 th Percentile Quantity | 50 th Percentile Quantity | 90 th Percentile Quantity |
|---|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| HVAC ducts – 6 sq. ft. or larger | 1,000 LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 1.5E-05 |
| HVAC ducts – less than 6 sq. ft. | 1,000 LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 5.0E-05 | 8.0E-05 |
| HVAC in-line drops and diffusers | EA per 1 gsf | 4.0E-03 | 8.0E-03 | 1.2E-02 |
| HVAC in-line coils | EA per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 1.5E-03 |
| VAV boxes | EA per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 1.5E-03 |
| Fan coil units | EA per 1 gsf | 2.0E-03 | 4.0E-03 | 0.0E+00 |
| Piping | | | | |
| Steam and chilled water piping - 2 ½ inch diameter or smaller | 1,000 LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 5.0E-06 |
| Steam and chilled water piping – greater than 2 ½ diameter | 1,000 LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 5.0E-06 |
| Heating water piping - 2 ½ inch diameter or smaller | 1,000 LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 5.0E-06 | 1.0E-05 |
| Heating water piping – greater than 2 ½ diameter | 1,000 LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 5.0E-06 | 1.0E-05 |
| Electrical | | | | |
| Electrical load | W per 1 gsf | 8.300 | 11.400 | 19.500 |
| Electrical distribution conduits | LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 2.0E-01 | 3.0E-01 |
| Electrical distribution – cable trays | LF per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| Wall mounted switchgear | EA per 1 gsf | 1.0E-04 | 1.5E-04 | 2.0E-04 |
| Lighting fixtures – lay in fluorescent | EA per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 4.0E-03 |
| Lighting fixtures – stem hung fluorescent | EA per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 4.0E-03 |
| Standby generators | KVA per 1 gsf | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| Fire protection | | | | |
| Sprinkler piping | 20 LF per 1 gsf | 1.0E-02 | 1.1E-02 | 1.3E-02 |
| Sprinkler drops | EA per 1 gsf | 1.0E-02 | 1.2E-02 | 1.4E-02 |

Tabla 4.35: Cantidades jornadas para una ocupación de vivienda multifamiliar.

Estas tablas se encuentran programadas en la herramienta del FEMA P58 Volumen 3.3 Normative Quantity Estimation Tool, la cual es una hoja electrónica en la cual se ingresó el área en planta y la ocupación de cada piso y como resultado se obtuvo algunas componentes y cantidades para nuestra edificación.

4.15.4. Curva de Fragilidad al Colapso

Se realizó una definición de la fragilidad al colapso con los 4 niveles de intensidad definidos anteriormente, esto nos permite evaluar las posibles víctimas para cada nivel

de intensidad, la probabilidad al colapso depende de la intensidad del evento sísmico, así como los posibles modos de colapso de la edificación. Esto se realizó con la herramienta “Collapse Fragility Tool”, utilizando los 22 análisis realizados.

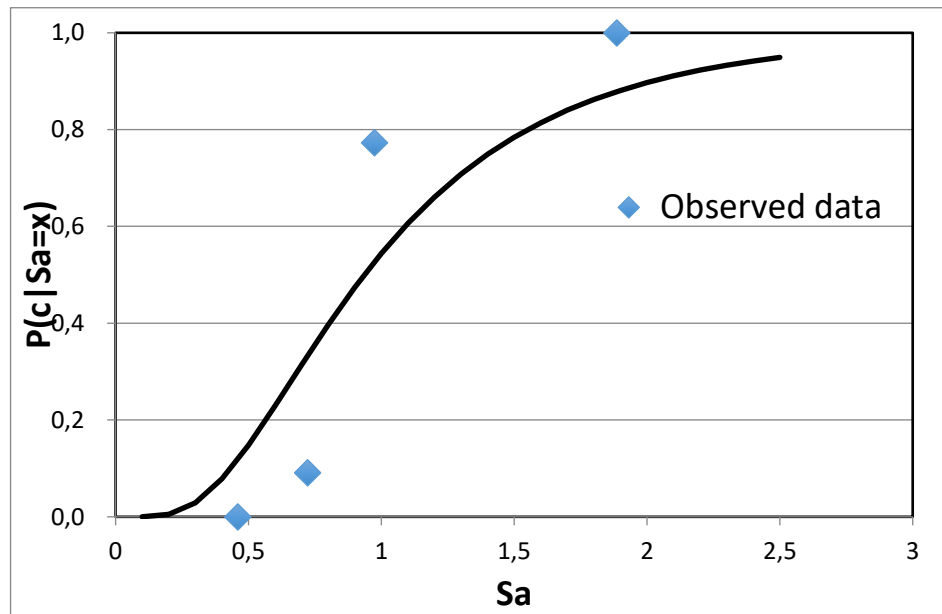


Fig. 4.40: Curva de Fragilidad de Colapso.

Para construir la curva de fragilidad se obtuvo la media de aceleración S_a de 0.935 g utilizando una dispersión de 0.6 para edificaciones regulares bien configuradas como recomienda el FEMA P-58 en el volumen 1 y 2, se utilizó un potencial modo de colapso, asumiendo el colapso total en todos los pisos en el primer modo.

4.16. Resultados del PACT

4.16.1. Costos de reparación

- **Nivel de intensidad 1, Sismo Frecuente.**

En las figuras 4.41 se evidencia, para el nivel de intensidad 1, el daño de los elementos no estructurales como paredes exteriores e interiores y el gypsum de techo. En la figura 4.42 se evidencia la curva de desempeño económico promedio del daño a todos los niveles del edificio con un costo medio de reparación en dólares \$203947,36. (Fraction 0.5).

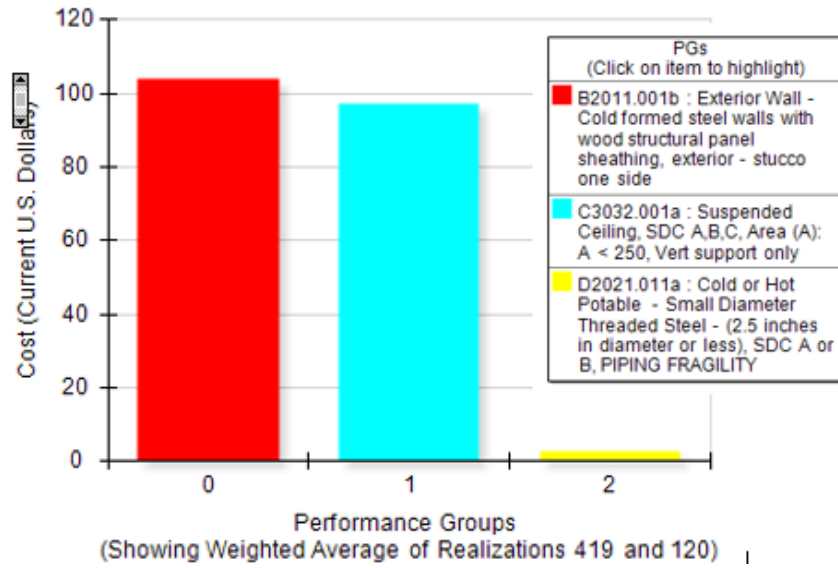


Fig. 4.41: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 1.

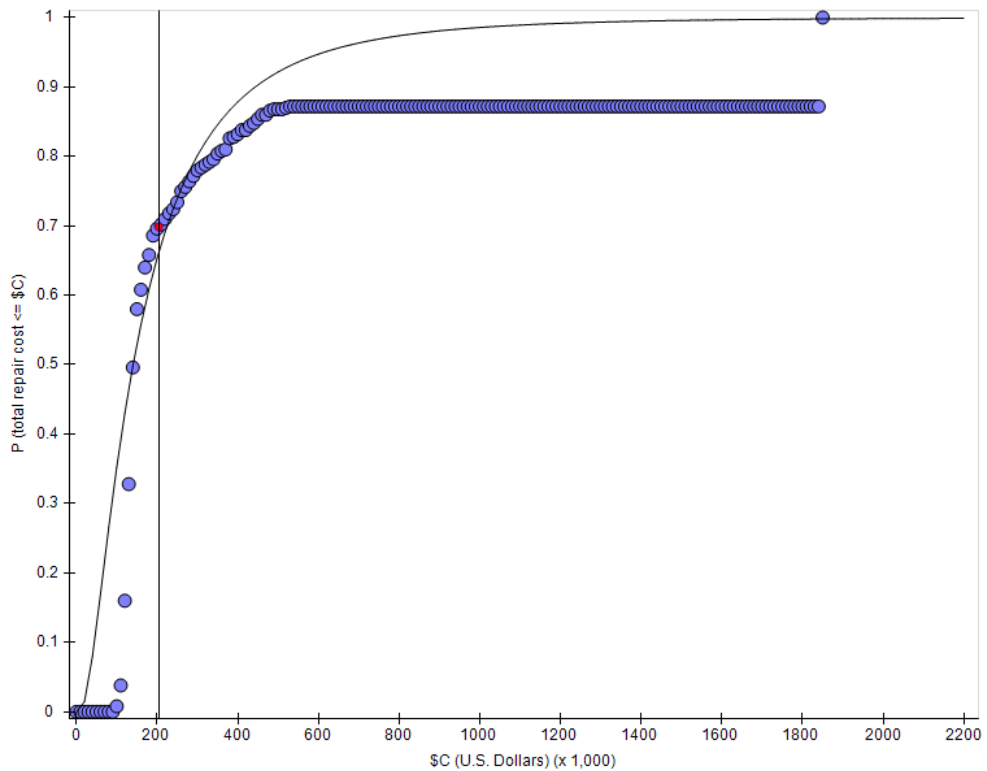


Fig. 4.42: Curva Desempeño Económico Nivel de Intensidad 1.

- **Nivel de intensidad 2, Sismo Ocasional.**

En la fig. 4.43 se evidencia, para el nivel de intensidad 2, el daño de los elementos no estructurales como paredes exteriores e interiores, gypsum de techo y

conexiones de agua potable, así también los elementos estructurales como las conexiones RBS. En la fig. 4.44 se evidencia la curva de desempeño económico promedio del daño a todos los niveles del edificio con un costo medio de reparación en dólares \$634,999.99 (Fraction 0.5).

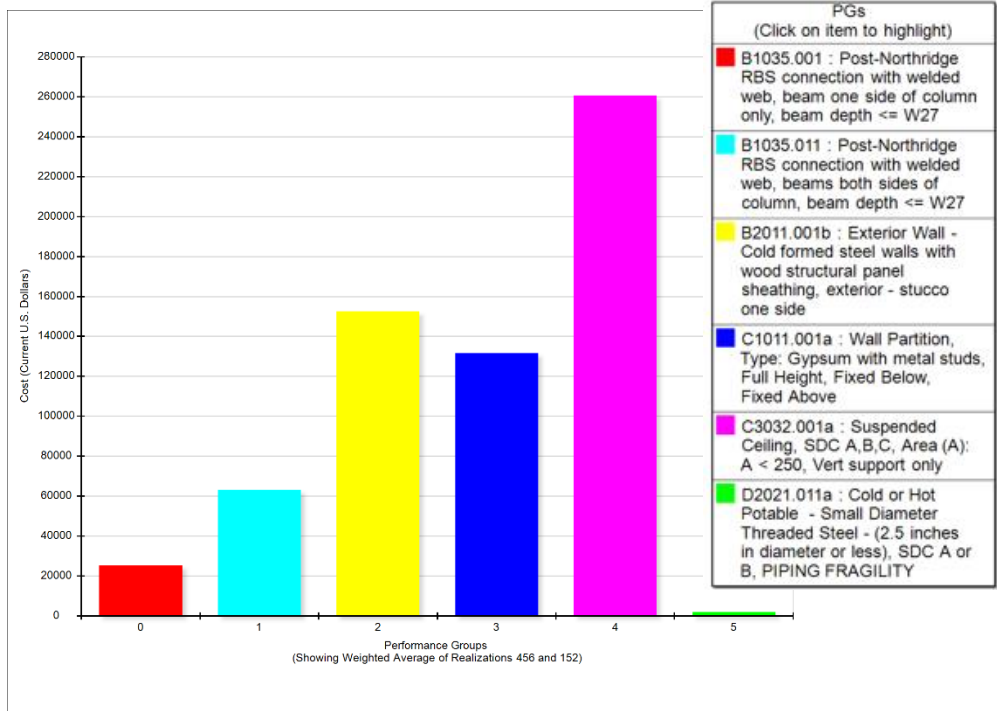


Fig. 4.43: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 2.

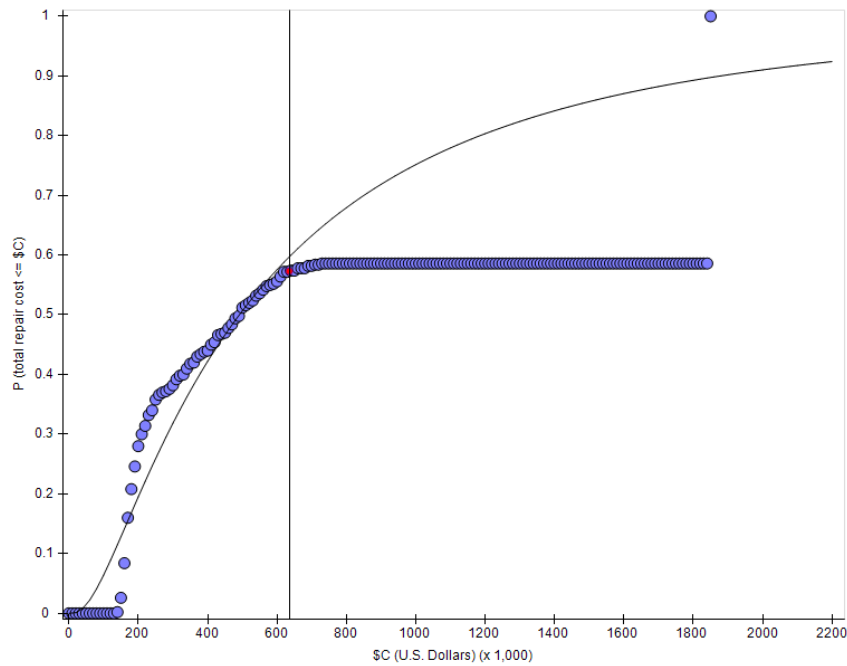


Fig. 4.44: Curva desempeño económico nivel de intensidad 2.

- **Nivel de intensidad 3, Sismo Raro.**

En la fig. 4.45 se evidencia, para el nivel de intensidad 3, el daño es alto, al punto del colapso del edificio de acero. En la fig. 4.46 se evidencia la curva de desempeño económico promedio del daño a todos los niveles del edificio con un costo medio de reparación en dólares \$1'841,408.93. (Fraction 0.5).

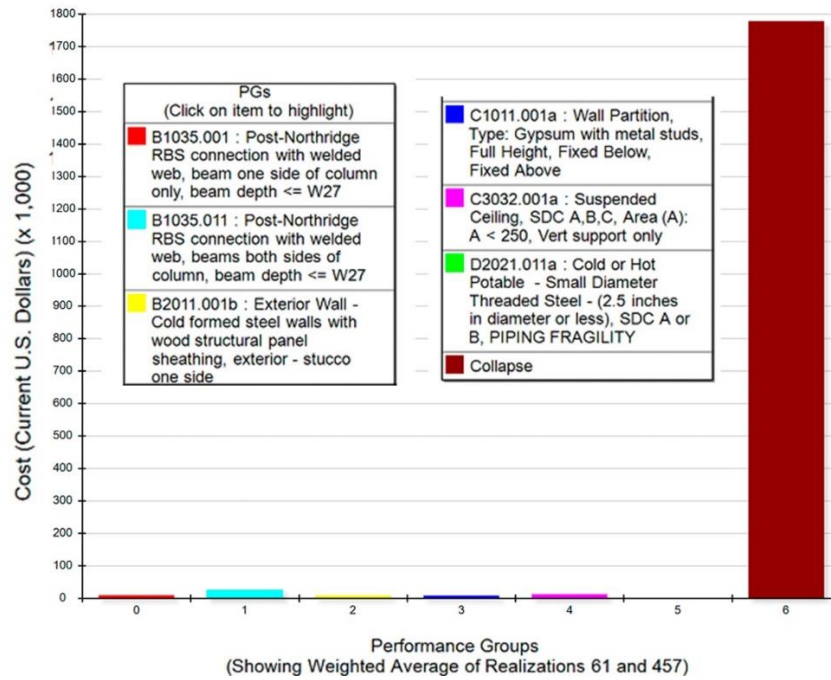


Fig. 4.45: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 3.

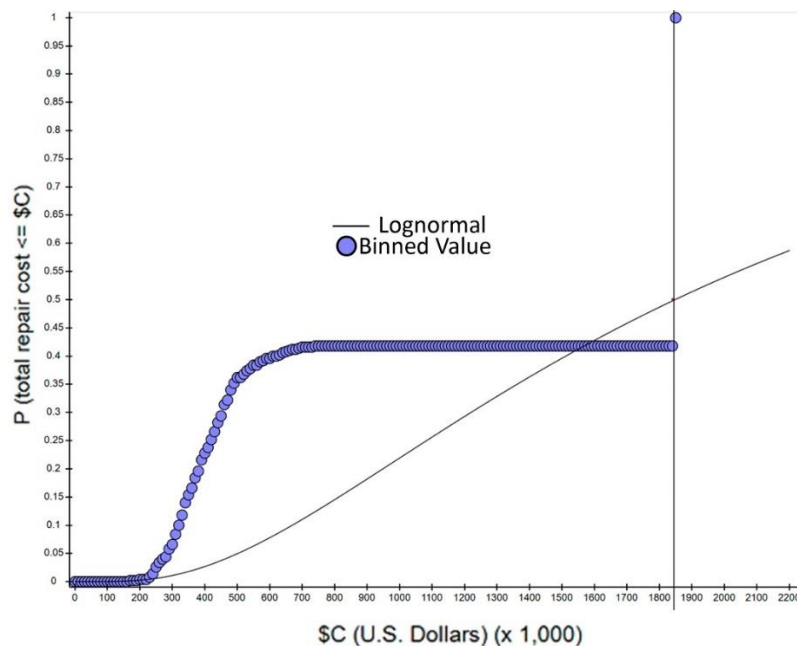


Fig. 4.46: Curva desempeño económico nivel de intensidad 3.

- Nivel de intensidad 4, Sismo Muy raro.

En la fig. 4.47 se evidencia, para el nivel de intensidad 4, el edificio de acero colapsa en su totalidad. En la fig. 4.48 se evidencia la curva de desempeño económico promedio del daño a todos los niveles del edificio con un costo medio de reparación en dólares \$1'844,692.14. (Fraction 0.5).

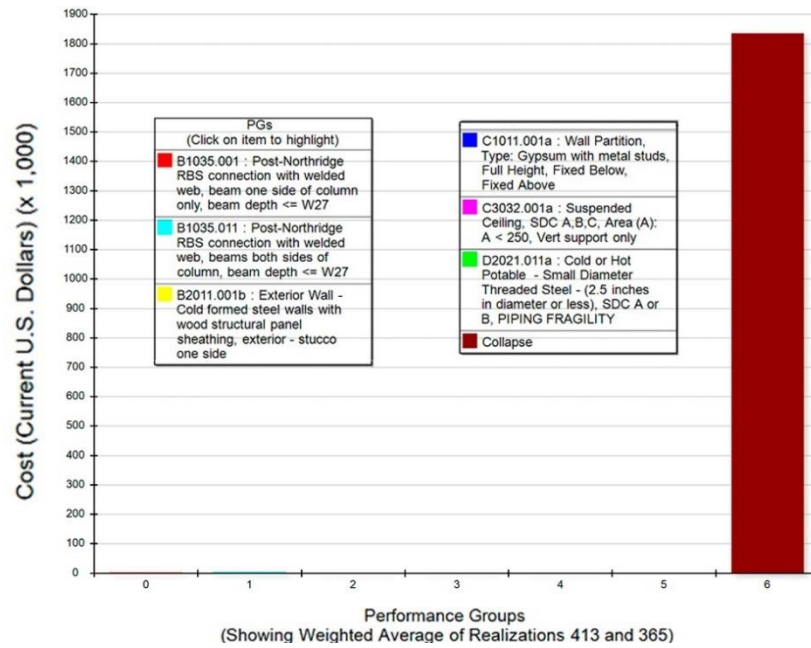


Fig. 4.47: Desempeño Económico elementos Estructurales y No Estructurales, Nivel de Intensidad 4.

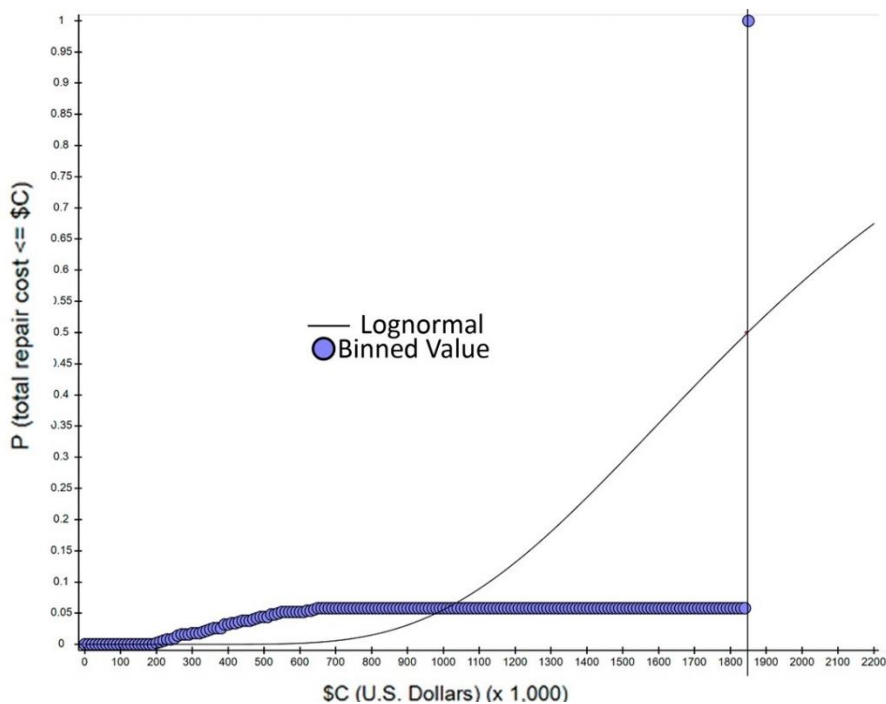


Fig. 4.48: Curva desempeño económico nivel de intensidad 4.

4.16.2. Tiempo de reparación

- Nivel de intensidad 1, Sismo Frecuente.

En la fig. 4.49 se evidencia, para el nivel de intensidad 1, la reparación de cada uno de los pisos del edificio. En la fig. 4.50 se determina el tiempo medio de reparación en paralelo que es de 10.09 días. (Fraction 0.5).

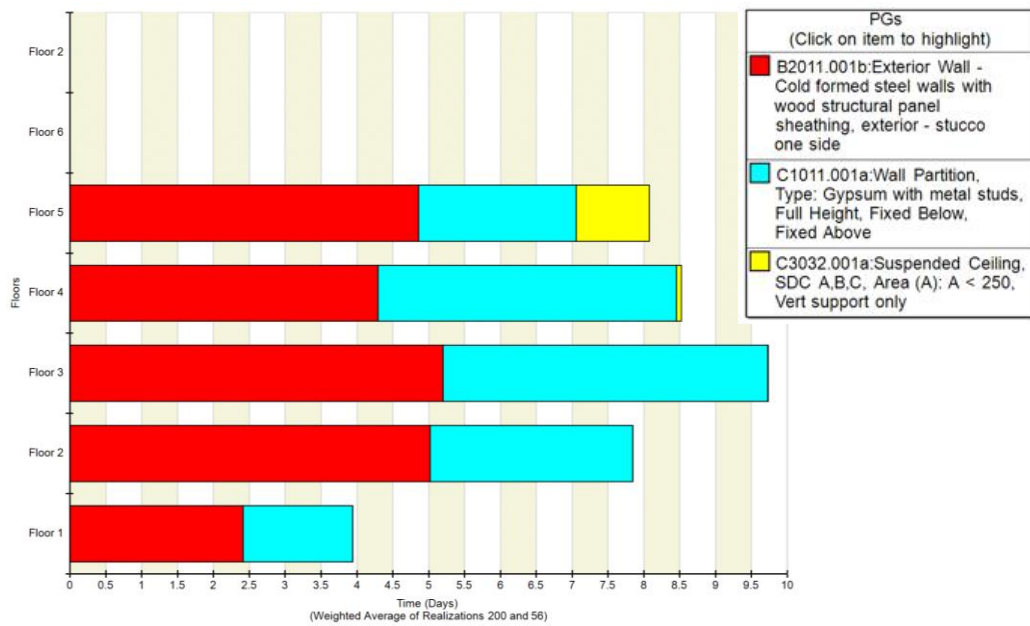


Fig. 4.49: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 1.

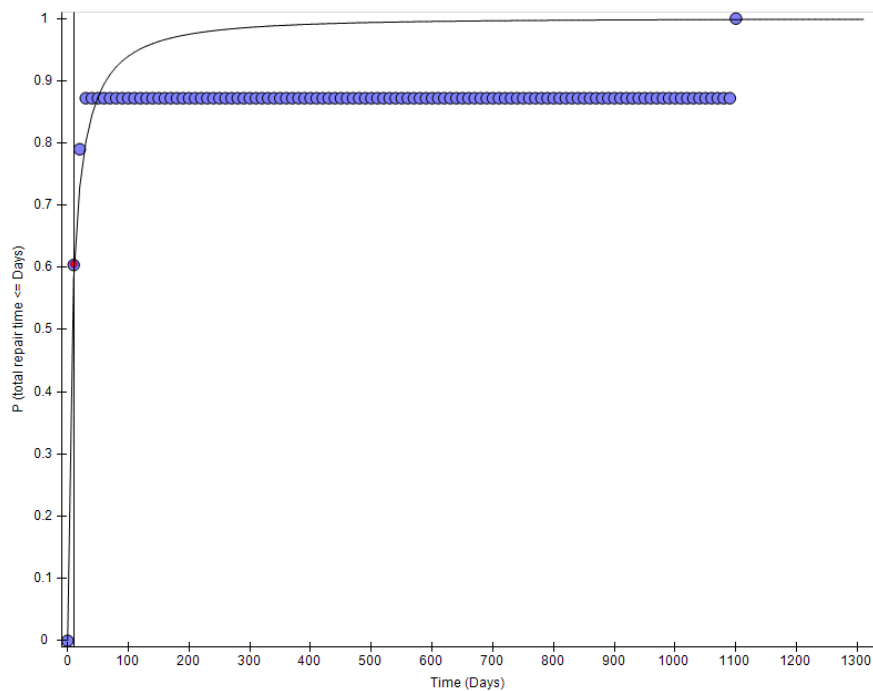


Fig. 4.50: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 1.

- Nivel de intensidad 2, Sismo Ocasional.

En la fig. 4.51 se evidencia, para el nivel de intensidad 2, la reparación de cada uno de los pisos del edificio. En la fig. 4.52 se determina el tiempo medio de reparación en paralelo que es de 27.73 días. (Fraction 0.5).

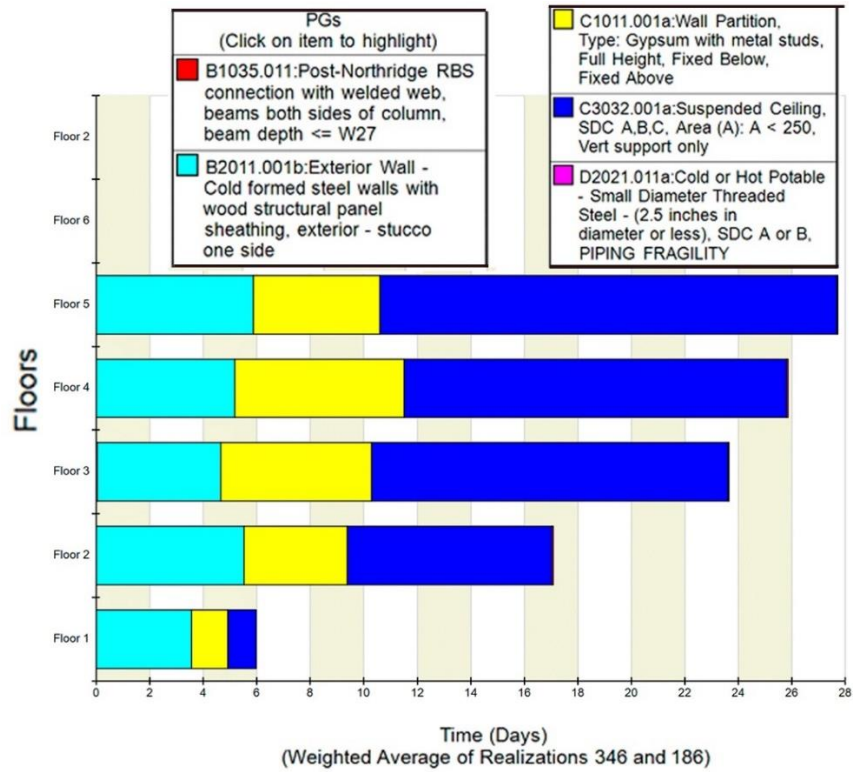


Fig. 4.51: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 2.

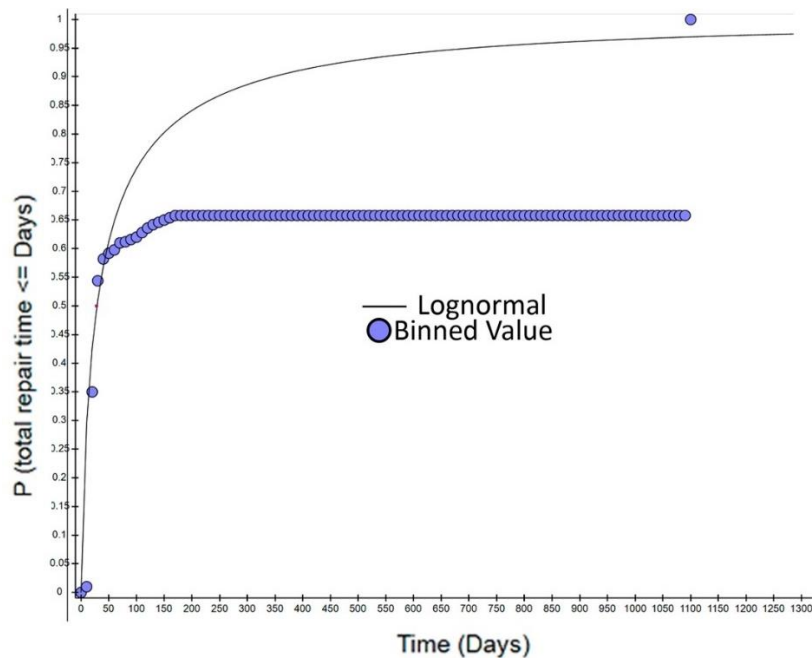


Fig. 4.52: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 2.

- **Nivel de intensidad 3, Sismo Raro.**

En la fig. 4.53 se evidencia, para el nivel de intensidad 3, el edificio de acero presenta colapso. En la fig. 4.54 se determina el tiempo medio de reparación en paralelo que es de 1090.84 días. (Fraction 0.5).

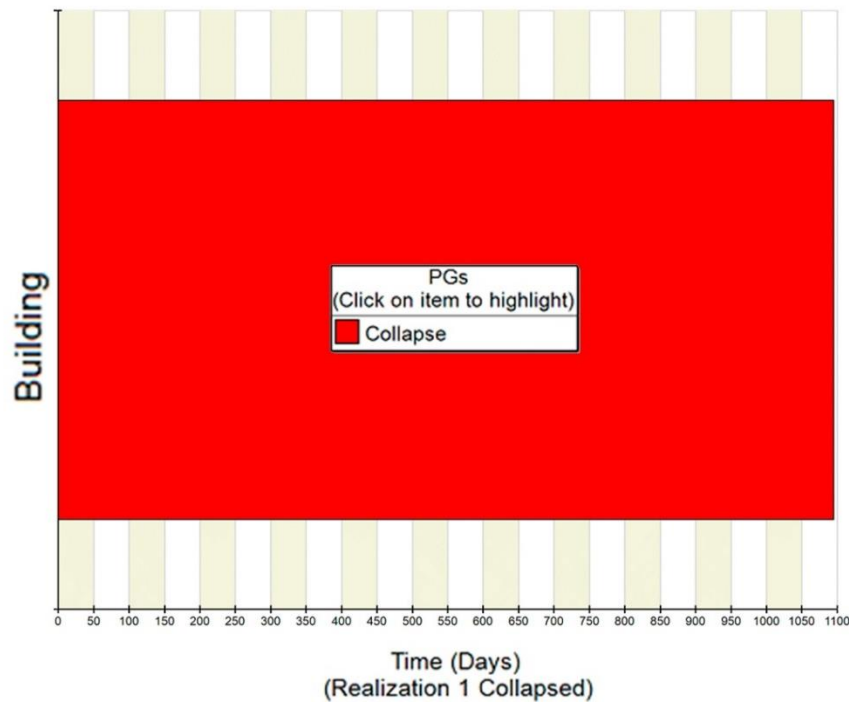


Fig. 4.53: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 3.

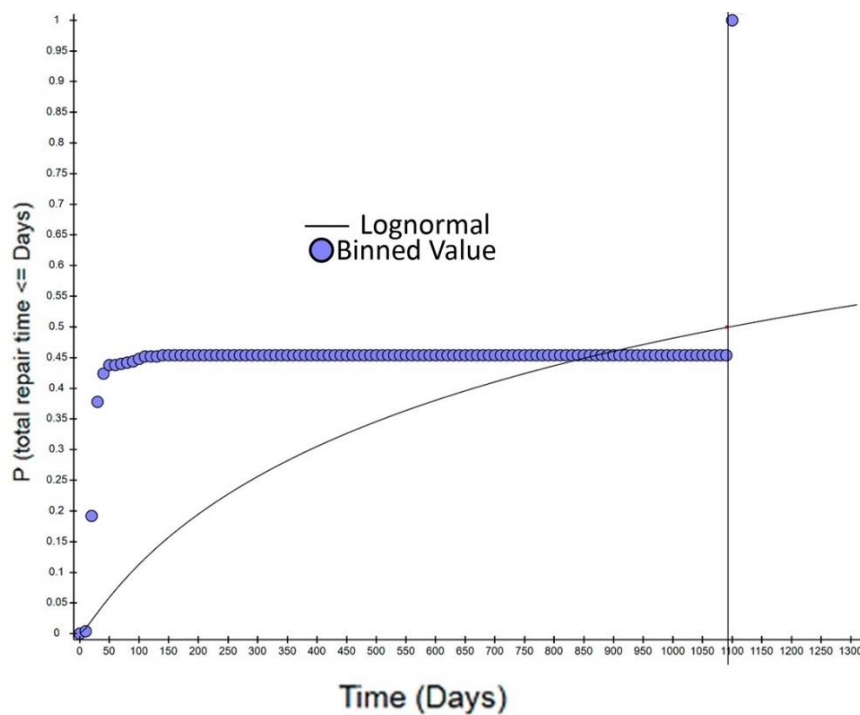


Fig. 4.54: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 3.

- Nivel de intensidad 4, Sismo Muy raro.

En la fig. 4.55 se evidencia, para el nivel de intensidad 3, el edificio de acero presenta colapso total. En la fig. 4.56 se determina el tiempo medio de reparación en paralelo que es de 1094.30 días. (Fraction 0.5).

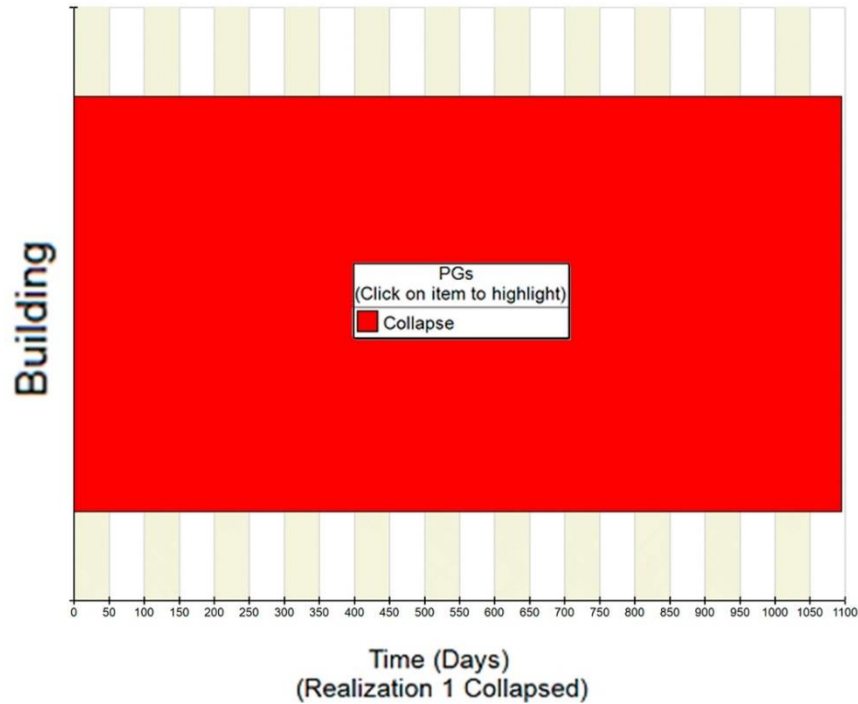


Fig. 4.55: Tiempo de Reparación por Pisos, Nivel Intensidad 4.

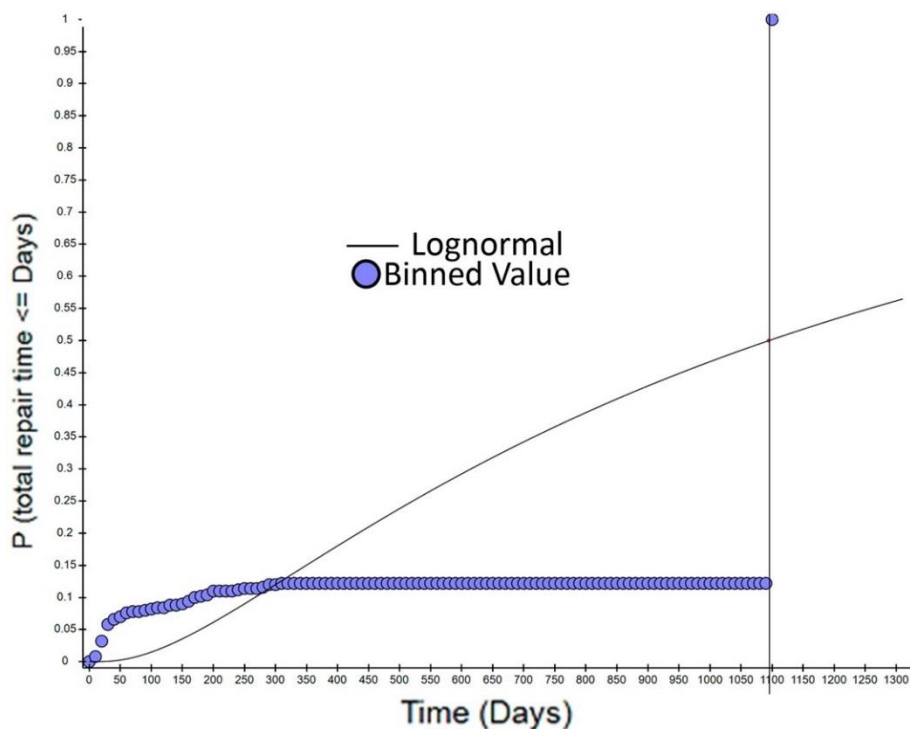


Fig. 4.56: Tiempo de Reparación Total, Nivel Intensidad 4.

4.16.3. Casualidades, Heridos.

- **Nivel de intensidad 1, Sismo Frecuente.**

En la fig. 4.57 se evidencia, el número medio de heridos que es de 0.075. (Fraction 0.5).

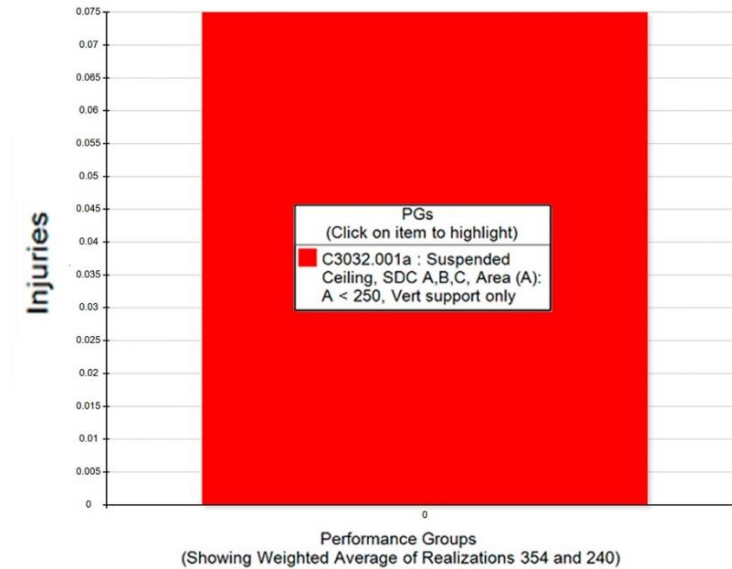


Fig. 4.57: Heridos, Nivel Intensidad 1.

- **Nivel de intensidad 2, Sismo Ocasional.**

En la fig. 4.58 se evidencia, el número medio de heridos que es de 1.17. (Fraction 0.5).

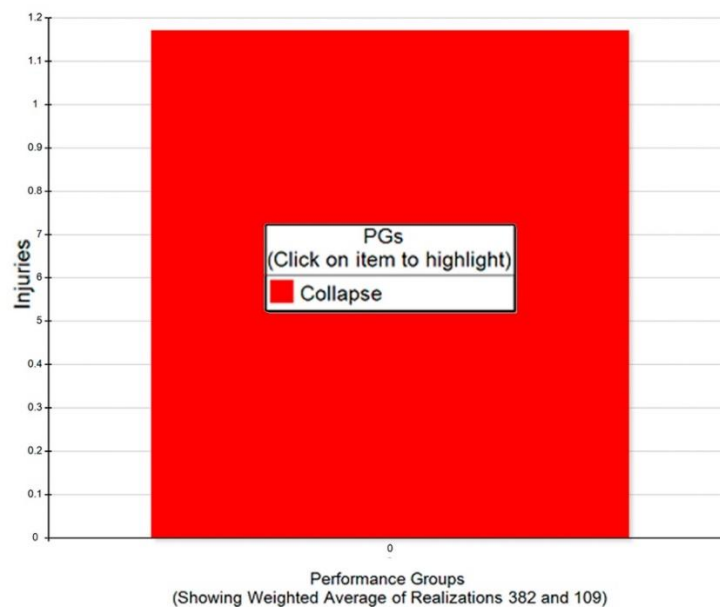


Fig. 4.58: Heridos, Nivel Intensidad 2.

- **Nivel de intensidad 3, Sismo Raro.**

En la fig. 4.59 se muestra el número medio de heridos con 2.13. (Fraction 0.5).

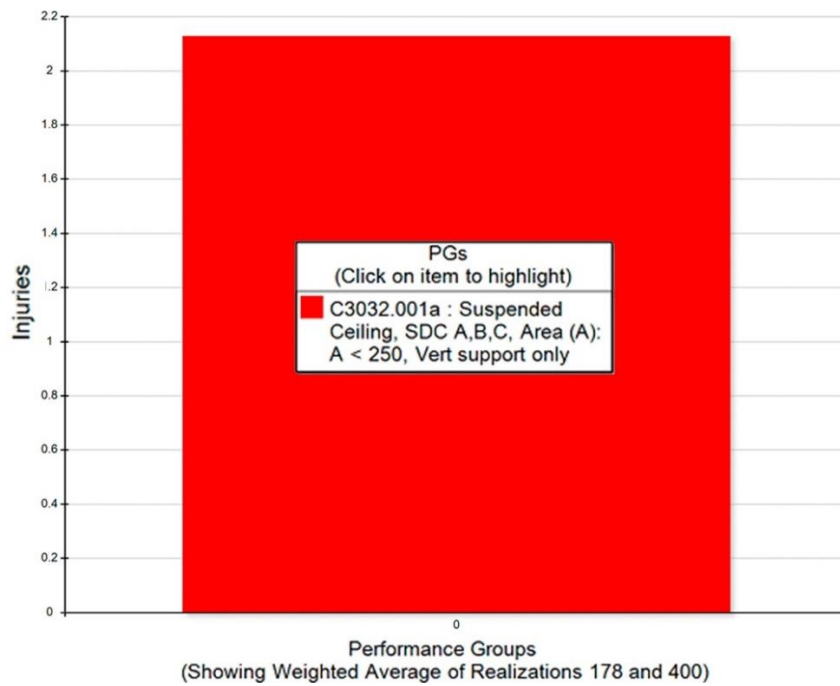


Fig. 4.59: Heridos, Nivel Intensidad 3.

- **Nivel de intensidad 4, Sismo Muy raro.**

En la fig. 4.60 se muestra el número medio de heridos con 4.48. (Fraction 0.5).

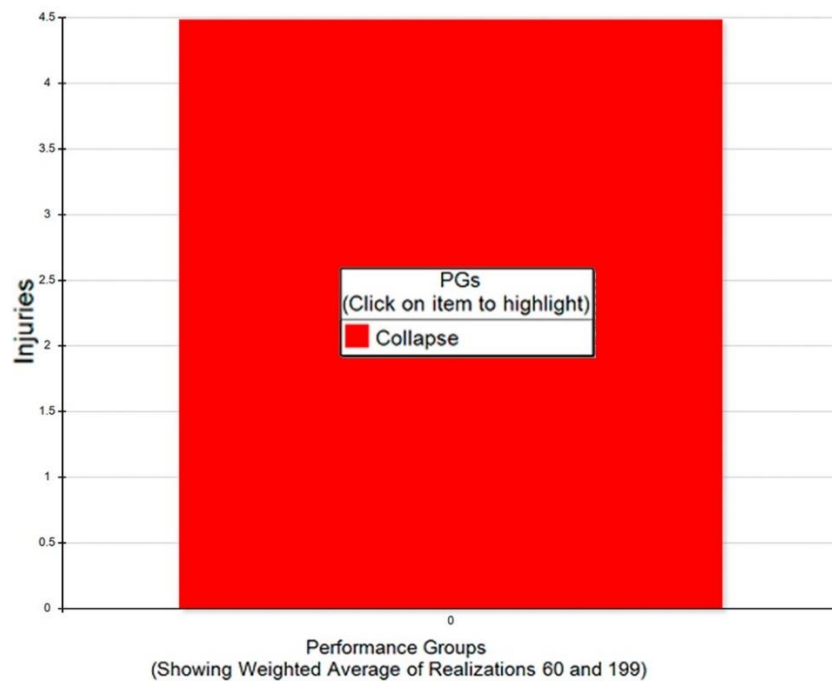


Fig. 4.60: Heridos, Nivel Intensidad 4.

4.16.4. Muertes

- **Nivel de intensidad 1, Sismo Frecuente.**

En la fig. 4.61 se evidencia, el número medio de muertes con 0. (Fraction 0.854).

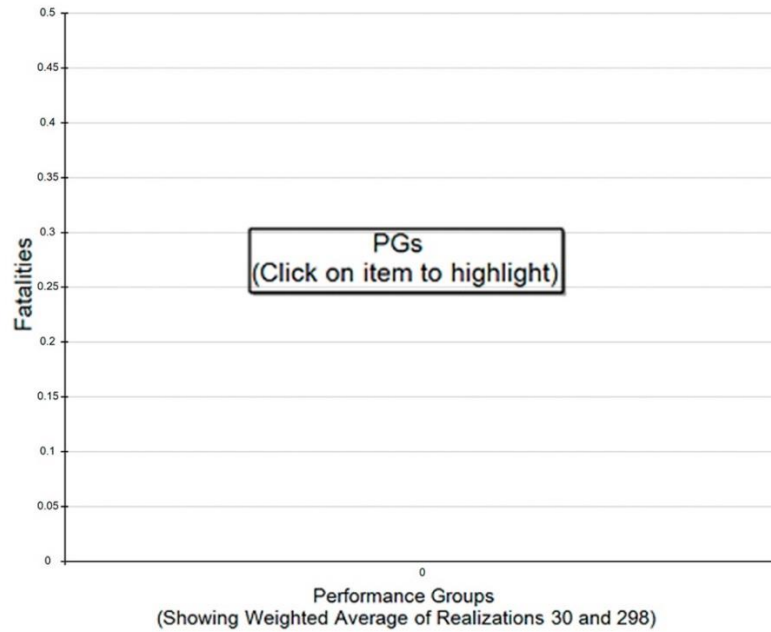


Fig. 4.61: Muertes, Nivel Intensidad 1.

- **Nivel de intensidad 2, Sismo Ocasional.**

En la fig. 4.62 se evidencia, el número medio de muertes con 0. (Fraction 0.658).

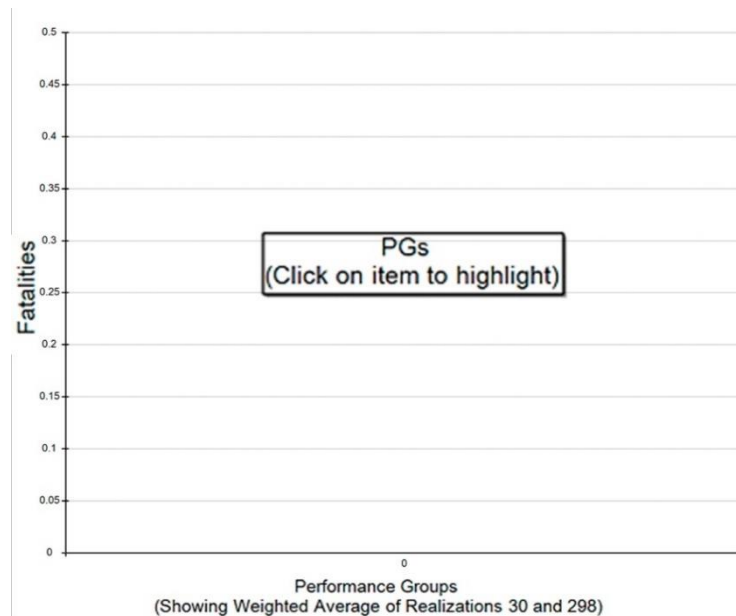


Fig. 4.62: Muertes, Nivel Intensidad 2.

- **Nivel de intensidad 3, Sismo Raro.**

En la fig. 4.63 se evidencia, el número medio de muertes con 12.66. (Fraction 0.5).

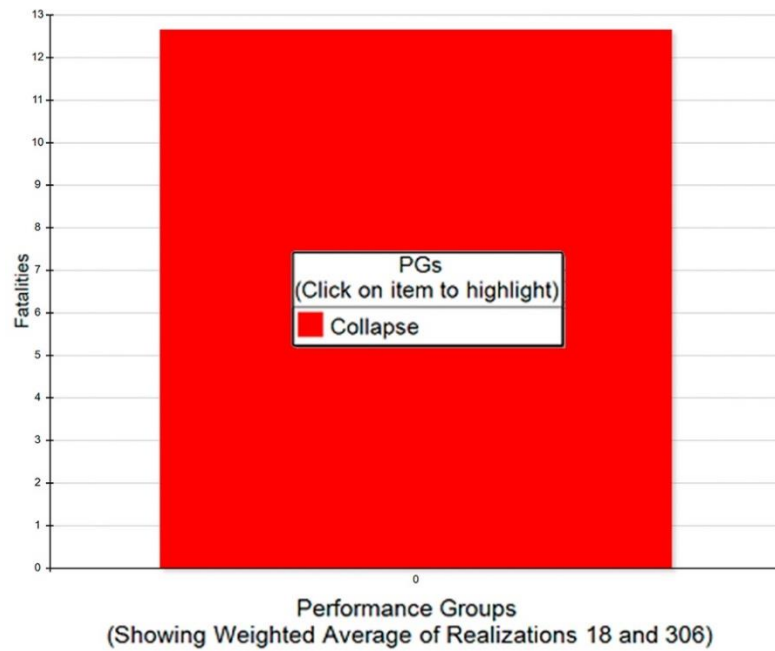


Fig. 4.63: Muertes, Nivel Intensidad 3.

- **Nivel de intensidad 4, Sismo Muy raro.**

En la fig. 4.64 se evidencia, el número medio de muertes con 39.62. (Fraction 0.5).

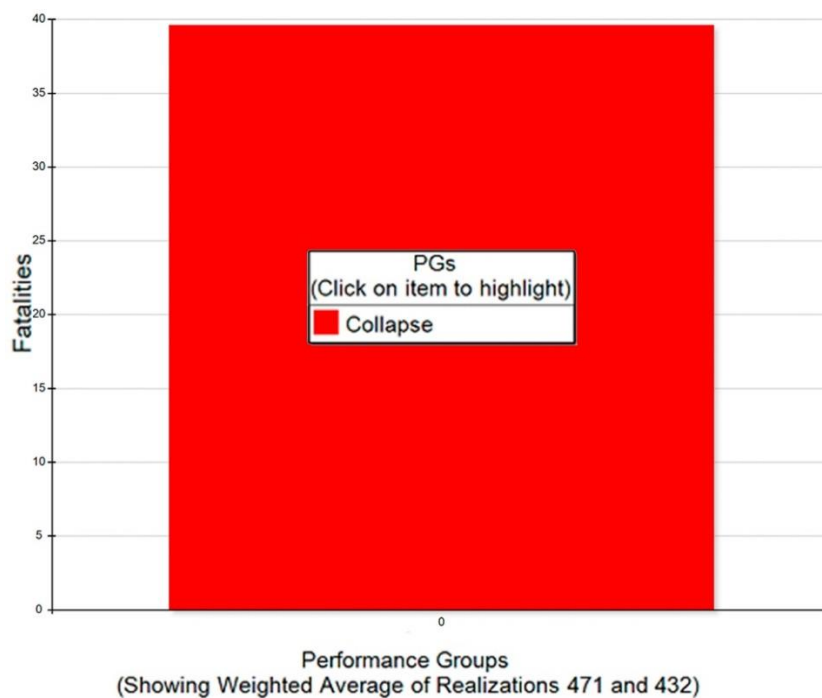


Fig. 4.64: Muertes, Nivel Intensidad 4.

4.17. Comparación y Discusión de Resultados

4.17.1. Costos de reparación.

El costo de reparación se determina mediante las curvas de consecuencia de cada componente estructural y no estructural utilizada, las mismas que están asociadas a la deriva de piso o a la aceleración de piso. Como se puede visualizar en la Fig. 4.65 a medida que aumenta la intensidad los costos se elevan debido a que al tener mayores aceleraciones y derivas de pisos mayor cantidad de elementos empiezan a dañarse y para los niveles de intensidad 3 y 4 se determinó que existió colapsos estructurales por lo cual el costo de reparación es el total del costo estimado inicialmente para construir la edificación.

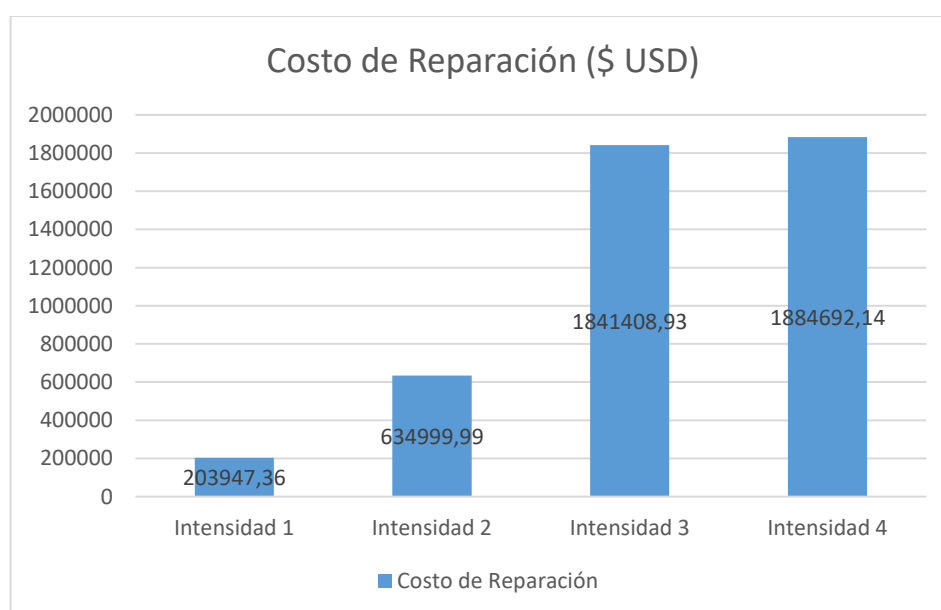


Fig. 4.65: Comparación de Reparación de todos los Niveles de Intensidad.

4.17.2. Tiempos de reparación.

Al igual que el costo de reparación, el tiempo de reparación se determina mediante las curvas de consecuencia de cada componente estructural y no estructural utilizada, Como se puede visualizar en la Fig. 4.66, a medida que aumenta la intensidad los tiempos de reparación se elevan estos tiempos de reparación se considera trabajando en paralelo todas las actividades, para intensidad 3 y 4 al existir colapso estructural el tiempo de reparación es el tiempo definido inicialmente para reparar toda la edificación.

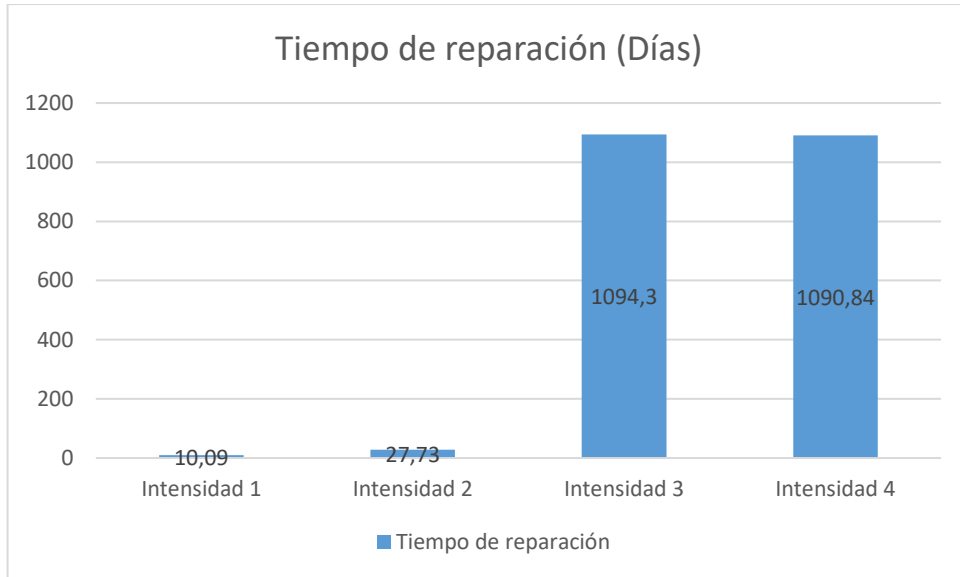


Fig. 4.66: Comparación del Tiempo Reparación con todos los Niveles de Intensidad.

4.17.3. Número de muertes.

En los dos primeros niveles de intensidad no se considera que existirán muertes como en los niveles de intensidad 3 y 4, en los cuales se considera 12.66 y 39.62 muertes debido a que en estos niveles de intensidad se presencié colapso estructural.

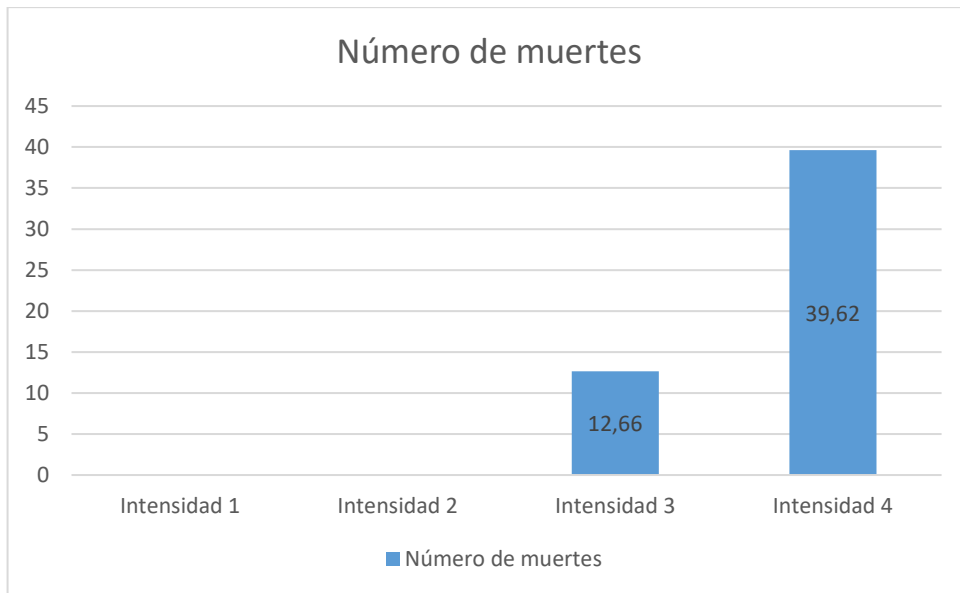


Fig. 4.67: Comparación Número de Muertes con todos los Niveles de Intensidad.

4.17.4. Número de heridos.

El número de heridos aumenta a medida que se tiene mayores niveles de intensidad la componente no estructural que genera estos heridos es el cielo falso.

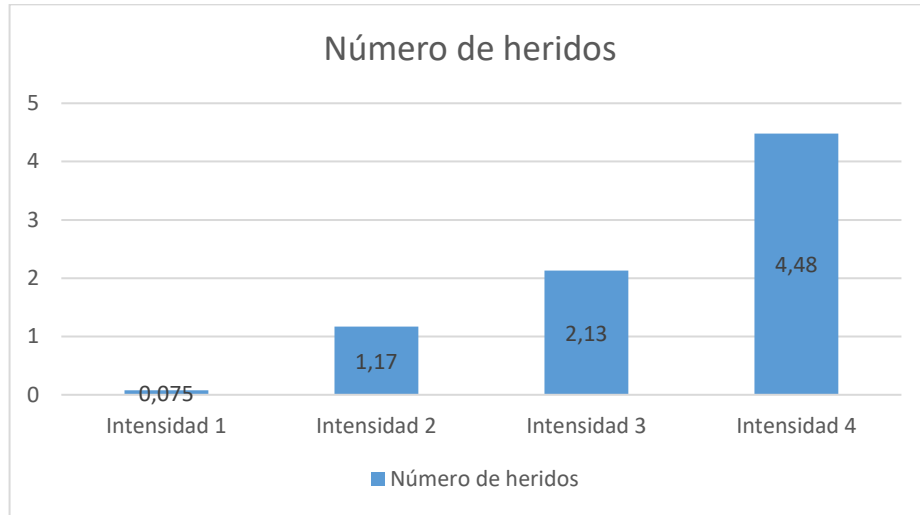


Fig. 4.68: Comparación Número de Heridos con todos los Niveles de Intensidad.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXO
(OPCIONAL)

5.1 Conclusiones

- Con ayuda del programa Pact, de la metodología FEMA P-58 se logró determinar el desempeño sísmico económico de la edificación para diferentes niveles de intensidad.
- El software Pact contiene curvas de fragilidad para elementos estructurales y no estructurales utilizados ampliamente en Estados Unidos, debido a esto se debe investigar y realizar curvas de fragilidad para elementos no estructurales utilizados en el país.
- Se analizó la respuesta de la edificación utilizando 11 registros sísmicos de la base de Pacific Earthquake Engineering Research Center, los mismos que fueron escalados a 4 niveles de intensidad 0.46g, 0.723g, 0.975g y 1.887g.
- La herramienta Conditional Probability of Collapse Curve Fit Tool del volumen 3 de la metodología FEMA P58 nos permitió construir la curva de fragilidad al colapso de la edificación.
- El programa Pact se utilizó para determinar el desempeño sísmico en términos del costo de reparación, tiempos de reparación, muertes y heridos.

5.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio de curvas de fragilidad para elementos no estructurales de nuestro país.
- Realizar alguna aplicación para obtener las curvas de peligro sísmico a cualquier periodo estructural como lo manejan otros países como Perú y Estados Unidos.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «FEMA P-58». <https://femap58.atcouncil.org/> (accedido 21 de marzo de 2022).
- [2] G. Salazar-Arbelaez y G. Salazar-Arbelaez, «Terremotos y salud: lecciones y recomendaciones», *Salud Pública de México*, vol. 60, pp. 6-15, 2018, doi: 10.21149/9445.
- [3] Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, «Terremoto del 5 de agosto de 1949 - Instituto Geofísico - EPN». <https://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949> (accedido 9 de noviembre de 2021).
- [4] Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, «Terremoto 16 de Abril de 2016 - Instituto Geofísico - EPN». <https://www.igepn.edu.ec/eq20160416-informes-noticias> (accedido 9 de noviembre de 2021).
- [5] W. J. Kious y R. I. Tilling, *This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics*. DIANE Publishing, 1996.
- [6] N. Lantada Zarzosa, «Evaluación del Riesgo Sísmico Mediante Método Avanzados y Técnicas GIS.» Tesis Doctoral, 2007.
- [7] S. Kundak, «Economic loss estimation for earthquake hazard in Istanbul», *European Regional Science Association, ERSA conference papers*, ene. 2004.
- [8] B. Suquillo, «Dinámica Estructural», UTA, abril de 2021.
- [9] U. Mena Hernández, «Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas», Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2002. Accedido: 19 de abril de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/handle/10803/6222>
- [10] FEMA P-58-1, «Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 1 -- Methodology, Second Edition», p. 340, dic. 2018.
- [11] FEMA P-58-2, «Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 2 -- Implementation Guide, Second Edition», p. 378, dic. 2018.
- [12] FEMA P-58-3, «Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 3 -- Supporting Electronic Materials, Third Edition», diciembre de 2018. <https://femap58.atcouncil.org/supporting-materials> (accedido 23 de marzo de 2022).
- [13] FEMA P-58-4, «Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 4 -- Methodology for Assessing Environmental», p. 122, dic. 2018.
- [14] FEMA P-58-5, «Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 5 -- Expected Seismic Performance of Code-Conforming Buildings», p. 196, dic. 2018.
- [15] FEMA P-58-6, «Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Buildings», p. 92, dic. 2018.
- [16] FEMA P-58-7, «Building the Performance You Need -- A Guide to State-of-the-Art Tools for Seismic Design and Assessment», p. 28, dic. 2018.
- [17] «Evaluación sísmica basada en desempeño según FEMA P-58 del Hospital General Docente Ambato». <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/24142> (accedido 19 de abril de 2022).
- [18] V. H. del Corral *et al.*, «La actividad ecoturística y su incidencia en la conservación ambiental del Jardín Botánico Las Orquídeas del sector Los Ángeles de Puyo, Pastaza, Ecuador», *Revista interamericana de ambiente y turismo*, vol. 13, n.º 2, pp. 129-137, dic. 2017, doi: 10.4067/S0718-235X2017000200129.

- [19] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Población y Demografía», *INEC*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/> (accedido 10 de noviembre de 2021).
- [20] «Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) – MIDUVI – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda». <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/> (accedido 12 de marzo de 2022).
- [21] ANSI/AISC 358-16, «Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, including Supplement No. 1». 12 de mayo de 2016.
- [22] NEC, «Cargas (No Sísmicas), NEC-SE-CG». diciembre de 2014.
- [23] NEC, «Estructuras de Acero, NEC-SE-AC». diciembre de 2014.
- [24] ANSI/AISC 341-16, «Seismic Provisions for Structural Steel Buildings». 12 de julio de 2016.
- [25] NEC, «Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS». diciembre de 2014.
- [26] ASCE/SEI 41-13, «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings». 2014.
- [27] Pacific Earthquake Engineering Research Center, «PEER Ground Motion Database - PEER Center». <https://ngawest2.berkeley.edu/> (accedido 27 de noviembre de 2022).

5.4 ANEXOS

5.4.1 Presupuesto

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS

| No. | Rubro / Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Precio global |
|--|---|--------|------------|-----------------|---------------------|
| MOVIMIENTO DE TIERRAS y CIMENTACIONES | | | | | |
| 1 | Replanteo y nivelación con equipo topográfico | m2 | 448,00 | 1,28 | 573,44 |
| 2 | Excavacion y Desalojo | m3 | 1.344,00 | 7,00 | 9.408,00 |
| 3 | Replanteo e=10cm, Cim-cadenas amarre f'c=180kg/cm2 (Inc.Encofrado) | m3 | 41,45 | 137,80 | 5.711,81 |
| 4 | Hormigon Est.Cadenas, Vigas T, pedestales f'c=210kg/cm2 (Inc. Encofrado) | m3 | 207,27 | 155,51 | 32.232,56 |
| 5 | Acero de Refuerzo en Barras, fy=4200 kg/cm2 | kg | 20.999,46 | 1,92 | 40.318,96 |
| 6 | Contrapiso (f'c=210kg/cm2, e=10cm) con malla 100x100x5 mm | m2 | 448,00 | 21,60 | 9.676,80 |
| 7 | Compactación suelo existente relleno cimentaciones y contrapiso | m3 | 188,19 | 14,05 | 2.644,07 |
| ESTRUCTURA | | | | | |
| 8 | Acero estructural A36, (Incluyen placas base) | kg | 346.592,88 | 3,29 | 1.140.290,58 |
| 9 | Malla electrosoldada (1Ø5mm@0.10m). | m2 | 2.688,00 | 6,25 | 16.800,00 |
| 10 | Acero de Refuerzo fy=4200 kg/cm2(conectores) | kg | 10.802,06 | 1,92 | 20.739,96 |
| 11 | Montaje Placa Colaborante e=0,76mm. | m2 | 2.688,00 | 18,42 | 49.512,96 |
| 12 | Hormigon Simple en losa sobre placa colab.f'c =240 kg/cm2 | m3 | 201,60 | 182,14 | 36.719,42 |
| MAMPOSTERIAS | | | | | |
| 13 | Paredes de gypsum 15cm. doble cara exterior | m2 | 1.755,66 | 18,94 | 33.252,20 |
| 14 | Paredes de gypsum 10cm. doble cara interior | m2 | 1.995,78 | 17,93 | 35.784,34 |
| ACABADOS | | | | | |
| 15 | Porcelanato 50 x 50 en pisos | m2 | 2.688,00 | 33,95 | 91.257,60 |
| 16 | Empaste y Pintura de gypsum | m2 | 3.751,44 | 6,90 | 25.884,94 |
| 17 | Barrederas de porcelanato | m | 3.114,66 | 5,51 | 17.161,78 |
| 18 | Ceramica en paredes de baños | m2 | 1.249,20 | 18,46 | 23.060,23 |
| 19 | Mesones de hormigon con porcelanato (baños) | m | 36,00 | 110,40 | 3.974,40 |
| TUMBADOS FALSOS | | | | | |
| 20 | Cielo falso tipo Gypsum | m2 | 2.688,00 | 21,02 | 56.501,76 |
| 21 | Empaste y Pintura de gypsum | m2 | 2.688,00 | 5,69 | 15.294,72 |
| PUERTA Y VENTANAS | | | | | |
| 22 | Ventanas Vidrio laminado PVV azuria reflectivo claro 4+4 flotado | m2 | 577,68 | 102,67 | 59.310,41 |
| 23 | Puertas paneladas 2 lados 1x2,10 | u | 24,00 | 206,14 | 4.947,36 |
| 24 | Puertas paneladas 2 lados 0,75X2,10 | u | 48,00 | 141,94 | 6.813,12 |
| 25 | Puertas paneladas 2 lados 0,90X2,10 | u | 54,00 | 165,94 | 8.960,76 |
| PIEZAS HIDROSANITARIAS | | | | | |
| 26 | Inodoros normales, tanque bajo | u | 48,00 | 155,60 | 7.468,80 |
| 27 | Lavamanos de meson con pressmatic | u | 48,00 | 128,59 | 6.172,32 |
| 28 | Mesón de cocina/lavabo corrido H.S 210 kg/cm2 | m | 94,56 | 38,02 | 3.595,17 |
| 29 | Duchas (con accesorios) | u | 48,00 | 57,41 | 2.755,68 |
| 30 | Rejilla de piso | u | 24,00 | 8,54 | 204,96 |
| VARIOS TRABAJOS INST. HIDROSANITARIAS | | | | | |
| 31 | Acometida alcantarillado | m | 65,00 | 22,28 | 1.448,20 |
| 32 | Acometida agua potable | m | 45,00 | 7,87 | 354,15 |
| 33 | Caja de Revisión 80x80xH=1,00 promedio | u | 18,00 | 98,45 | 1.772,10 |
| INSTALACIONES AA.SS | | | | | |
| 34 | Tubería PVC D 110 mm | m | 252,00 | 13,42 | 3.381,84 |
| 35 | Tubería PVC D 50 mm | m | 120,00 | 7,64 | 916,80 |
| 36 | Puntos de 110 mm PVC incluye accesorios, etc | u | 54,00 | 59,74 | 3.225,96 |
| 37 | Puntos de 50 mm PVC | u | 96,00 | 32,96 | 3.164,16 |
| INSTALACIONES AA.PP | | | | | |
| 38 | Punto pvc-p roscable 1/2" agua | pto | 216,00 | 33,29 | 7.190,64 |
| 39 | Llave de paso de 1/2 pulg. | u | 48,00 | 7,85 | 376,80 |
| BOMBAS | | | | | |
| 40 | Sistema de bombeo de agua potable 2 de 5,5 HP inc. Tanque hidroneumatico 120 GL | u | 1,00 | 5.335,91 | 5.335,91 |
| INSTALACIONES ELECTRICAS | | | | | |
| 41 | Punto para iluminacion normal 120v. | u | 384,00 | 43,93 | 16.869,12 |
| 42 | Punto de iluminacion controlado por sensor de mov. 120 v. 100 w. | u | 30,00 | 47,92 | 1.437,60 |
| 43 | Punto de tomacorriente de uso general 120 v. 15 a. | u | 240,00 | 33,71 | 8.090,40 |
| 44 | Tablero de de distribucion principal, ejecucion especial | u | 1,00 | 4.575,14 | 4.575,14 |
| 45 | Varilla copperweld 16mm de diam y 1,8m con soldadura exotermica | u | 6,00 | 36,06 | 216,36 |
| 46 | Compuesto quimico para mejoramiento de conductividad del terreno | kg | 100,00 | 7,69 | 769,00 |
| 47 | Conductor de cobre cableado desnudo no. 2/0 awg para malla detierra | m | 20,00 | 34,69 | 693,80 |
| 48 | Interruptor simple 10 a. 120 v. con tapa | u | 300,00 | 7,51 | 2.253,00 |
| 49 | Interruptor doble 10 a. 120 v. con tapa | u | 84,00 | 11,32 | 950,88 |
| 50 | Luminaria I1 : panel led , empotrable, 10w, 30x30 cm | u | 384,00 | 21,29 | 8.175,36 |
| VARIOS | | | | | |
| 51 | Pasamano de Hierro Pintado | m | 180,00 | 52,07 | 9.372,60 |
| | | | | TOTAL: | 1.847.598,93 |

SON : UN MILLÓN OCHOCIENTOS CUARENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS NOVENTA Y OCHO DOLARES, 93/100 CENTAVOS