UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

POSGRADO

Tema: Evaluación comparativa del grado de vulnerabilidad sísmica entre la NEC 24 y ASCE 7-22 de la estructura metálica del centro comercial Ferroviario de la ciudad de Ambato

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

Autor: Ingeniero Civil, Orlando Vladimir Moreta Yauli

Director: Ing. Civil, Jorge Washington Cevallos Cabrera, Mg.

Ambato –Ecuador

2025

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg., e integrado por los señores: Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg. e Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ENTRE LA NEC 24 Y ASCE 7-22 DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO COMERCIAL FERROVIARIO DE LA CIUDAD DE AMBATO" elaborado y presentado por el señor Ing. Orlando Vladimir Moreta Yauli, para optar por el Titulo 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 Universidad Técnica de Ambato.

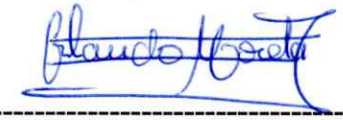
Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, 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: EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ENTRE LA NEC 24 Y ASCE 7-22 DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO COMERCIAL FERROVIARIO DE LA CIUDAD DE AMBATO, le corresponde exclusivamente al Ing. Orlando Vladimir Moreta Yauli, Autor bajo la Dirección del Ing. Jorge Washington Cevallos Cabrera, Mg., Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Orlando Vladimir Moreta Yauli

C.C.: 1724611650

AUTOR



Ing. Jorge Washington Cevallos Cabrera, Mg.

C.C.: 1801854017

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. Orlando Vladimir Moreta Yauli

C.C.: 1724611650

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....Error: Reference source not found

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 DE CONTENIDOS.....v

ÍNDICE DE TABLAS.....ix

ÍNDICE DE FIGURAS.....xiii

ÍNDICE DE ECUACIONES.....xix

AGRADECIMIENTO.....xxi

DEDICATORIA.....xxii

RESUMEN EJECUTIVO.....xxiii

ABSTRACT.....xxiv

CAPÍTULO I.....1

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....1

1.1. Introducción.....1

1.2. Justificación.....1

1.3. Objetivos.....2

1.3.1. General.....2

1.3.2. Específicos....2

CAPÍTULO II....3

MARCO TEÓRICO....3

1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS....3

2 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA....5

2.1. Sismos significativos del Ecuador....5

2.2. Métodos de Análisis Estructural....5

2.3. Análisis Dinámico No lineal Tiempo - Historia....6

2.4. Demanda Sísmica....6

2.5. Espectro....6

2.6. Espectro de respuesta elástica....6

2.7. Espectro de respuesta inelástica....7

2.8. Espectro de Diseño....7

2.9. Niveles de desempeño para Edificaciones....7

2.10. Niveles de amenaza....9

2.11. Acelerograma....9

2.12. Análisis dinámico incremental....9

2.13. Parámetro indicador de daño....9

2.14. Parámetro de intensidad sísmica....10

2.15. Curvas de Fragilidad....10

CAPÍTULO III....11

MARCO METODOLÓGICO....11

3.1. Tipo de investigación....11

3.2. Población o muestra.....12
3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender.....12
3.4. Recolección de información.....12
3.5. Procesamiento de la información y análisis estadístico.....12
3.6. Desarrollo del trabajo.....13
3.6.1. PRIMERA FASE.....13
3.6.2. SEGUNDA FASE.....13
3.6.2.1.....Cálculo del Espectro de diseño NEC 24 y ASCE 7-22 16
3.6.2.1.1. Espectro NEC 24 zona sísmica y factor de zona NEC 24.....16
3.6.2.1.2. Espectro ASCE 7-22.....30
3.6.2.2.....Análisis dinámico no lineal Tiempo – Historia 34

CAPÍTULO IV.....27

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....27
4.1. RSN960_NORTHR_LOS000.AT2 (Según la NEC 24).....27
4.2. COALINGA.H_H-CAK270.AT2 (Según ASCE 7-22).....29
4.3. Curvas de Análisis dinámico Incremental (IDA) Análisis con NEC 24.....31
4.4. Curvas de Análisis dinámico Incremental (IDA) Análisis con ASCE 7-22.....32
4.5. CURVAS DE FRAGILIDAD COLAPSO (Según NEC 24 y ASCE 7-22)….39
4.5.1. Curva de fragilidad – componente 1 (Este-Oeste).....39
4.5.2. Curva de fragilidad – componente 2 (Norte-Sur).....39

CAPÍTULO V.....53

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.....53
5.1. Conclusiones.....53

5.2. Recomendaciones.....54
5.3. Bibliografía.....55
5.4. Anexos.....60

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Sismos en el Ecuador.....5

TABLA 2. Objetivos de Desempeño para Edificaciones Nuevas NEC 2024.....9

TABLA 3. Resistencia a compresión del hormigón.....15

TABLA 4. Acero empleado en la consultoría.....15

TABLA 5. Cargas muertas de la estructura.....16

TABLA 6. Categoría de Riesgo de Construcciones y edificios del NEC 24.....18

TABLA 7. Perfiles de Suelo para Diseño Sísmico NEC 24.....19

TABLA 8. Valores propios de la zona sísmica (Z) NEC 24.....19

TABLA 9. Parámetros de Aceleraciones Espectrales para Diseño NEC 24.....19

TABLA 10. Coeficientes NEC 24 Coeficiente de amplificación de suelo de la zona de periodo corto.....19

TABLA 11. Coeficientes F_d NEC 24 factor que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca, con los efectos de sitio.....19

TABLA 12. Coeficientes F_s NEC 24 factor que toma en cuenta el comportamiento no lineal de los suelos, el contenido de frecuencia del movimiento sísmico.....20

TABLA 13. Resumen Datos para Diseño Sísmico.....20

TABLA 14. Cálculos para en Espectro Elástico Aceleración para Carga Horizontal....21

TABLA 15. Cargas muerta, viva, sísmica y desplazamientos estructura.....21

TABLA 16. Fracción de la Carga Viva Considerada en el Cálculo del Peso Sísmico...23

TABLA 17. Análisis, Restricciones y Peso Sísmico.....23

TABLA 18. Parámetros Ct y x para el cálculo del Periodo de vibración aproximado...24

TABLA 19. Cálculo del Período Fundamental de vibración aproximado (Ta).....24

TABLA 20. Cálculo del período Computado (Tcomp) en seg.....25

TABLA 21. Determinación del Periodo Fundamental de Vibración, T.....25

TABLA 22. Determinación de la Aceleración Espectral para el Cortante Basal (Sat). .25

TABLA 23. Factor de Importancia Sísmica, Ie.....26

TABLA 24. Sistemas Estructurales Permitidos.....27

TABLA 25. Cálculo del Cortante Basal de diseño y mínimo.....28

TABLA 26. Distribución Vertical de Fuerzas Laterales.....28

TABLA 27. Distribución de la fuerza lateral por piso.....29

TABLA 28. Datos calculados según ASCE 7-22.....31

TABLA 29. Factores de importancia por categoría de riesgo de edificaciones y otras estructuras para cargas sísmicassegún ASCE 7-22.....31

TABLA 30. Datos calculados según ASCE 7-22.....31

TABLA 31. Registros sísmicos ingresados en el programa ETABS.....32

TABLA 32. Recorte registro sísmico.....32

TABLA 33. Derivas máximas EW (Análisis según NEC 24).....33

TABLA 34. Derivas máximas NS (Análisis según NEC 24).....33

TABLA 35. Derivas máximas EW.....33

TABLA 36. Derivas máximas NS.....33

TABLA 37. Media y desviación estándar EW.....45

TABLA 38. Media y desviación estándar NS.....45

TABLA 39. Media y desviación estándar EW.....45

TABLA 40. Media y desviación estándar NS.....50

TABLA 41. Probabilidad de daño NEC 24 vs ASCE 7-22.....50

TABLA 42. Datos Espectro NEC 24.....50

TABLA 43. Datos Espectro ASCE 7-22.....50

TABLA 44. DERIVAS COALINGA.H_H_EW NEC 24.....51

TABLA 45. DERIVAS COALINGA.H_H_NS NEC 24.....51

TABLA 46. DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_EW NEC 24.....51

TABLA 47. DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_NS NEC 24.....51

TABLA 48. DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_EW NEC 24.....55

TABLA 49. DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_NS NEC 24.....55

TABLA 50. Derivas máximas EW (Análisis según NEC 24).....55

TABLA 51. Derivas máximas NS (Análisis según NEC 24).....56

TABLA 52. INTERPOLACIÒN SPLINE CUBIC NEC 24.....56

TABLA 53. Datos probabilísticos de los niveles de desempeño E-W NEC 24.....56

TABLA 54. Datos probabilísticos de los niveles de desempeño N-S NEC 24.....57

TABLA 55. DERIVAS COALINGA.H_H_EW ASCE 7-22.....57

TABLA 56. DERIVAS COALINGA.H_H_NS ASCE 7-22.....57

TABLA 57. DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_ ASCE 7-22.....58

TABLA 58. DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_NS ASCE 7-22.....58

TABLA 59. DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_EW ASCE 7-22.....58

TABLA 60. DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_NS ASCE 7-22.....60

TABLA 61. Derivas máximas EW.....60

TABLA 62. Derivas máximas NS.....60

TABLA 63. INTERPOLACIÒN SPLINE CUBIC ASCE 7-22.....61

TABLA 64. Datos probabilísticos de los niveles de desempeño E-W ASCE 7-22.....61

TABLA 65. Datos probabilísticos de los niveles de desempeño N-S ASCE 7-22.....61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Métodos de Análisis Estructural.....20

Figura 2. Espectro de Diseño Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC_SE_DS_2024) 20

Figura 3. Detalle de los resultados obtenidos por medio del análisis dinámico incremental (adaptado de D'Ayala et al.,2015).....20

Figura 4. Representación gráfica general de curvas de fragilidad, estados de daño límite21

Figura 5. Ubicación proyecto.....21

Figura 6. Vista en planta Centro comercial.....14

Figura 7. Vista en Elevación Centro comercial.....15

Figura 8. Zonificación Sísmica NEC 24.....16

Figura 9. Desplazamientos (δ) modelo matemático estructural en el software (ETABS)22

Figura 10. Carga Muerta (WD) modelo matemático estructural en el software (ETABS)22

Figura 11. Carga Viva (WL) modelo matemático estructural en el software (ETABS). 22

Figura 12. Carga Sísmica ⟦(F⟧_i) modelo matemático estructural en el software (ETABS) 23

Figura 13. Espectro de diseño NEC 24.....30

Figura 14. Curvas de peligro sísmico, Ambato.....31

Figura 15. Espectro de diseño ASCE 7-22.....31

Figura 16. Modelo isométrico o tridimensional de la estructura o edificación.....31

Figura 17. Acelerograma corregido por línea base y filtrado COALINGA EW SeismoSignal 31

Figura 18. Acelerograma corregido por línea base y filtrado COALINGA NS SeismoSignal. 31

Figura 19. Acelerograma corregido por línea base y filtrado IWATE EW SeismoSignal.32

Figura 20. Acelerograma corregido por línea base y filtrado IWATE NS SeismoSignal32

Figura 21. Acelerograma corregido por línea base y filtrado NORTHR WE SeismoSignal. 32

Figura 22. Acelerograma corregido por línea base y filtrado NORTHR NS SeismoSignal. 32

Figura 23. Acelerograma sin escalar.....32

Figura 24. Acelerogramas escalados al espectro de diseño SeismoMatch.....32

Figura 25. Acelerogramas escalado SeismoMatch.....33

Figura 26. Promedio de todos los acelerogramas escalados.....33

Figura 27. Acelerograma ingresado ETABS COALINGA EW NEC 24.....33

Figura 28. Acelerograma ingresado ETABS COALINGA NS NEC 24.....33

Figura 29. Acelerograma ingresado ETABS IWATE EWNEC 24.....34

Figura 30. Acelerograma ingresado ETABS IWATE NS NEC 24.....34

Figura 31. Acelerograma ingresado ETABS NORTHR EW NEC 24.....34

Figura 32. Acelerograma ingresado ETABS NORTHR NS NEC 24.....34

Figura 33. Acelerogramas ingresados al programa ETABS NEC 24.....34

Figura 34. Acelerograma ingresado ETABS COALINGA EW ASCE 7-22.....35

Figura 35. Acelerograma ingresado ETABS COALINGA NSASCE 7-22.....35

Figura 36. Acelerograma ingresado ETABS IWATE EWASCE 7-22.....35

Figura 37. Acelerograma ingresado ETABS IWATE NSASCE 7-22.....38

Figura 38. Acelerograma ingresado ETABS NORTHR EWASCE 7-22.....39

Figura 39. Acelerograma ingresado ETABS NORTHR NSASCE 7-22.....39

Figura 40. Acelerogramas ingresados al programa ETABS ASCE 7-22.....40

Figura 41. Configuración de rótulas plásticas en columnas.....40

Figura 42. Configuración de rótulas plásticas columnas compuestas.....41

Figura 43. Distanciamiento de los Hinge 1 y 2 (rótulas plásticas) en columnas.....41

Figura 44. Distanciamiento rótulas plásticas en columnas.....41

Figura 45. Datos rótulas plásticas columna.....42

Figura 46. Configuración rótulas plásticas vigas.....42

Figura 47. Distanciamiento de los Hinge 1 y 2 (rótulas plásticas) en vigas.....42

Figura 48. Configuración rótulas plásticas vigas.....43

Figura 49. Información datos rótulas plásticas vigas.....43

Figura 50. Función rampa.....43

Figura 51. Caso Gravitacional TH.....44

Figura 52. Casos de carga dinámica NEC 24.....47

Figura 53. Configuración caso dinámico COALINGA EW NEC 24.....48

Figura 54. Configuración caso dinámico COALINGA NS NEC 24.....49

Figura 55. Configuración caso dinámico IWATE EWNEC 24.....49

Figura 56. Configuración caso dinámico IWATE NS NEC 24.....50

Figura 57. Configuración caso dinámico NORTHR EWNEC 24.....50

Figura 58. Configuración caso dinámico NORTHR NS NEC 24.....50

Figura 59. Configuración de parámetros no lineales.....50

Figura 60. Registro sísmico recortado.....51

Figura 61. Configuración caso dinámico COALINGA EW ASCE 7-22.....52

Figura 62. Configuración caso dinámico COALINGA NSASCE 7-22.....52

Figura 63. Configuración caso dinámico IWATE EWASCE 7-22.....52

Figura 64. Configuración caso dinámico IWATE NSASCE 7-22.....52

Figura 65. Configuración caso dinámico NORTHR EW ASCE 7-22.....53

Figura 66. Configuración caso dinámico NORTHR NSASCE 7-22.....53

Figura 67. Configuración de parámetros no lineales.....53

Figura 68. Formación de rotulas plásticas - NORTHR NS.....53

Figura 69. Deformación de los elementos estructurales - NORTHR NS.....54

Figura 70. Respuestas máximas no lineales - NORTHR NS.....54

Figura 71. Modelo de histéresis isotrópica bajo carga cíclica creciente.....54

Figura 72. Configuración De Hinge Viga B3699.....54

Figura 73. Selección tipo de histéresis Isotrópico.....55

Figura 74. Hinge Resultados Rotula Derecha B3699 H4.....55

Figura 75. Hinge Resultados Rotula Izquierdo B3699 H4.....55

Figura 76. Parametric Steel P-M2-M3 seleccionado para columna.....55

Figura 77. Curva de histéresis a utilizar columna- NORTHR NS.....55

Figura 78. Resultados curva de histéresis de columna - NORTHR NS.....55

Figura 79. Formación de rotulas plásticas - COALINGA NS.....56

Figura 80. Deformación de los elementos estructurales - COALINGA NS.....56

Figura 81. Respuestas máximas no lineales - COALINGA NS.....56

Figura 82. Configuración Hinge Viga B3699.....56

Figura 83. Selección tipo de histéresis Isotrópico.....57

Figura 84. Hinge Resultados Viga B3966 H3Rotula Izquierda.....57

Figura 85. Hinge Resultados Viga B3966 H3 Rotula Derecha.....57

Figura 86. Parametric Steel P-M2-M3 seleccionado para columna.....57

Figura 87. Curva de histéresis a utilizar columna- NORTHR NS.....58

Figura 88. Curva de histéresis de columna - NORTHR NS.....58

Figura 89. Curva IDA EW.....58

Figura 90. Curva IDA NS.....58

Figura 91. Curvas IDA EW.....59

Figura 92. Curvas IDA NS.....59

Figura 93. Curva de fragilidad EW-NEC.....59

Figura 94. Curva de fragilidad EW-ASCE.....59

Figura 95. Curva de fragilidad NS-NEC.....60

Figura 96. Curva de fragilidad NS-ASCE.....60

Figura 97. Probabilidad de daño NEC 24 vs ASCE 7-22 Componente EW.....60

Figura 98. Probabilidad de daño NEC 24 vs ASCE 7-22 Componente EW.....60

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Aceleración espectral para el modo x.....8

Ecuación 2: Período en el cual inicia la zona de aceleración espectral constante en el espectro correspondiente al sismo de diseño.....8

Ecuación 3: Aceleración espectral para el modo x.....8

Ecuación 4: Período de control, el cual corresponde a la intersección de la zona de aceleración espectral constante y velocidad espectral constante.....12

Ecuación 5: Período de esquina, el cual corresponde a la intersección de la zona de velocidad espectral constante y desplazamiento espectral constante.....12

Ecuación 6: Ecuación utilizada siempre y cuando la edificación no exceda de 12 pisos12

Ecuación 7: Ecuación se utilizada cuando la estructura tenga 12 pisos en adelante.....20

Ecuación 8: Período Computado (Tcomp) en seg.....20

Ecuación 9: Determinación de la Aceleración Espectral para el Cortante Basal (Sat)…27

Ecuación 10: Cortante Basal de Diseño.....27

Ecuación 11: Cortante Basal Mínimo.....28

Ecuación 12: Ac Distribución Vertical de Fuerzas Laterales.....29

Ecuación 13: parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño, 5 %amortiguado, en períodos cortos según ASCE 7- 22.....30

Ecuación 14parámetro de aceleración de la respuesta espectral de diseño en un periodo de 1 ssegún ASCE 7- 22.....31

Ecuación 15: según ASCE 7- 22.....31

Ecuación 16: según ASCE 7- 22.....31

Ecuación 17: Ecuación utilizada para períodos mayores que T_S y menores o iguales que T_L, el parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseñosegún ASCE 7- 22.....32

Ecuación 18: Método coeficiente de respuesta sísmica, Cs ASCE 7-22 Para 32

Ecuación 19: Método coeficiente de respuesta sísmica, Cs ASCE 7-22 Para 32

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la perseverancia para superar obstáculos y por proporcionar las oportunidades que me llevaron hasta este momento.

A mi familia por su apoyo incondicional y comprensión durante los momentos de dedicación para poder llevar a cabo este proyecto.

Aquellos docentes quienes con su conocimiento supieron guiarnos para ser mejores personas y profesionales.

Finalmente, a mis amigos y colegas quienes estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo.

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a todas las personas que han sido pilares fundamentales en mi camino hacia la consecución de este logro.

En primer lugar, quiero dedicar este trabajo a mi familia, cuyo apoyo y sacrificio han sido mi mayor inspiración y motivación.

A los docentes y mentores, cuya sabiduría y orientación fueron fundamentales en mi formación académica.

Por último, dedico este trabajo a todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido en mi crecimiento profesional y personal.

RESUMEN EJECUTIVO

Ambato está situada en una región geográfica con un alto riesgo de actividad sísmica, lo que representa un peligro para sus habitantes; esta investigación se centró en la estimación de la probabilidad de daño de la consultoría recibida por la Ilustre Municipalidad de Ambato para la construcción del Centro Comercial Ferroviario de la ciudad de Ambato utilizando el método de análisis tiempo-historia mediante la obtención de curvas de fragilidad al colapso a partir de la generación de curvas IDA, además, la estructura fue sometida a 3 registros sísmicos de sitio, cada una con sus 2 pares de registros debidamente escalados y corregidos. En esta investigación fue necesario seguir los lineamientos del ASCE 7-22, FEMA y NEC 2024. En el análisis del modelo se definió: El conservadurismo en ingeniería sísmica se mide prioritariamente por la capacidad de una norma de minimizar la probabilidad de colapso (CP) y de daños que pongan en riesgo la vida (LS). Para este caso, la propuesta NEC 24 estima probabilidades notablemente más altas para estos niveles de desempeño límites, especialmente en la dirección NS. Esto implica que la propuesta NEC 24 es más estricta o cautelosa en su evaluación, considerando que hay un riesgo mayor de que la estructura sufra daños graves. Se realizó 271 simulaciones dinámicas no lineales tiempo-historia. La alta frecuencia de terremotos en Ecuador exige el desarrollo de análisis estructurales más avanzados para una evaluación más precisa del comportamiento de las construcciones. Esta investigación promueve la aplicación de curvas de fragilidad al colapso como alternativa de mayor precisión con el propósito de tomar medidas preventivas para reducir pérdidas humanas y económicas.

DESCRIPTORES: ANALISIS DINAMICO, ASCE 7-22, CURVAS DE FRAGILIDAD, FEMA 273, NEC 2024, REGISTRO SÍSMICO.

ABSTRACT

Ambato is located in a geographical region with a high risk of seismic activity, which represents a danger to its inhabitants; this research focused on estimating the probability of damage from the consultancy received by the Municipality of Ambato for the construction of the Railway Commercial Center of the city of Ambato using the time-history analysis method by obtaining collapse fragility curves from the generation of IDA curves, in addition, the structure was subjected to 3 site seismic records, each with its 2 pairs of records duly scaled and corrected. This investigation required adherence to the guidelines of ASCE 7-22, FEMA, and NEC 2024. The model analysis defined the following: Conservatism in seismic engineering is primarily measured by a standard's ability to minimize the probability of collapse (CP) and life-threatening damage (LS). In this case, the NEC 24 proposal estimates significantly higher probabilities for these limiting performance levels, particularly in the north-south direction. This implies that the NEC 24 proposal is more stringent or cautious in its assessment, considering the greater risk of severe structural damage. A total of 271 nonlinear time-history dynamic simulations were performed. The high frequency of earthquakes in Ecuador necessitates the development of more advanced structural analyses for a more accurate assessment of building behavior. This research promotes the application of collapse fragility curves as a more precise alternative for implementing preventative measures to reduce human and economic losses.

KEYWORDS: DYNAMIC ANALYSIS, ASCE 7-22, FRAGILITY CURVES, FEMA 273, NEC 2024, SEISMIC RECORD.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

La vulnerabilidad sísmica es una medida que permite clasificar las estructuras acorde a sus características estructurales, esto se da mediante un rango de poca y alta vulnerabilidad, ante un registro sísmico. El rango antes mencionado nos indica el nivel de daño estructural, por lo que se recomienda realizar chequeos y estudios para entender el comportamiento de las estructuras ante un sismo **[1].**

1.2. Justificación

Para emplear un análisis de vulnerabilidad sísmica se pueden usar dos métodos: El primero es un chequeo visual rápido como lo propone FEMA 154 por sus siglas en inglés (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos de Norte América), este método consiste en la aplicación de matrices que da como resultados puntajes que define a la estructura si es o no vulnerable **[2].**

El segundo método es una comprobación cuantitativa de la estructura, para la antes mencionado se utiliza un análisis estático no lineal, este último es un proceso sucesivo de análisis estáticos incrementales, incrementando la carga hasta que la estructura alcanza ciertos límites de desplazamientos o se vuelve inestable. Con lo antes mencionado podemos determinar el desempeño de la estructura con las curvas de capacidad obtenidas de la estructura **[3].**

Es por esta razón que se ha optado por realizar una evaluación de vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de la Estructura Metálica del Centro Comercial Ferroviario de la ciudad de Ambato.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Evaluación comparativa del grado de vulnerabilidad sísmica entre la NEC 24 y la ASCE 7-22 de la estructura metálica del centro comercial ferroviario de la ciudad de Ambato.

1.3.2. Específicos

a) Obtener información precisa sobre la geometría, materiales, condiciones de apoyo y conexiones estructurales de la edificación existente; para garantizar que el modelo matemático estructural en el software (Etabs) represente con fidelidad la realidad.
b) Evaluar el comportamiento sísmico de la estructura mediante un análisis avanzado, considerando efectos no lineales (plastificación, degradación, rigidez variable) de los elementos estructurales.
c) Contrastar las respuestas estructurales obtenidas con las NEC 24 y ASCE 7-22 y definir cuál de ellas ofrece un diseño más seguro y resistente.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La vulnerabilidad sísmica estructural está relacionada con la susceptibilidad de los elementos estructurales al sufrir daño debido a un sismo. Este comprende el deterioro físico de los elementos o componentes que forman parte del sistema resistente o estructura [**4**].

El nivel de daño estructural que sufrirá una edificación depende tanto del comportamiento global como local de la estructura ante un evento sísmico. Este se encuentra relacionado con la configuración, características, calidad, esquema resistente y cargas actuantes de los materiales empleados en los elementos estructurales. El grado de daño estructural puede ser interpretado en términos cualitativos o cuantitativos, esto es de gran importancia para verificar el nivel de deterioro y colapso de una edificación [**4**].

Desde el punto de vista cualitativo, normalmente se establecen diferentes niveles de daño, fundamentados en la observación e identificación de deterioros característicos de los diversos elementos estructurales verificados después de la ocurrencia de un sismo. [**4**].

Se puede evaluar el daño estructural desde un punto de vista cuantitativo, utilizando parámetros que representan la respuesta estructural tales como, demanda de ductilidad, distorsiones de piso, energía disipada, deformaciones de los elementos etc. A través de estos se obtienen los llamados indicadores de daño los cuales pueden considerarse como una medida representativa de la degradación estructural, tanto a nivel local como global de la estructura. Cuando estos indicadores son normalizados respecto un estado de fallo específico, se denominan índices de daño (Yépez, 1996). La cuantificación del daño es un problema complejo, sobre el que no existe un criterio unificado, razón por la cual existe una gran diversidad de modelos e índices de daños, que nacen de un intento de facilitar su aplicación a un gran número de tipologías de edificios y estructuras de diferentes características. [**4**]

En primer lugar, se recopila la información de las estructuras con el fin de establecer una base de datos que incluya todos los parámetros requeridos para su aplicación. [**5**]

Se recopila también información detallada de las edificaciones a evaluar como son: sistema estructural, material de paredes, estado de conservación, año de construcción, el uso u ocupación que se le ha dado, material de cubierta y el número de pisos. De esta forma se pueden agrupar las edificaciones con la finalidad de asignarles su correspondiente tipología [**5**].
A todos estos estudios se suman los publicados por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, que ofrecen a los diseñadores una guía para el análisis de vulnerabilidad

sísmica de estructuras. Existen parámetros específicos que influyen en los resultados, las normativas pueden emplear algunos como la geometría de la estructura, elevación, tipo de cubierta, tipos de cargas, ductilidad, metodología de ensamblaje e irregularidades del suelo **[6].**

De estos parámetros se puede calcular la capacidad de carga, ductilidad y los demás parámetros pueden ser obtenidos con observación visual y medición en campo, **[7].** Con sustento en estos conocimientos se evaluó la vulnerabilidad sísmica de la estructura para el presente proyecto de investigación.

Para la detección de daños en una estructura metálica existen varios métodos no destructivos, como son inspección visual, inspección acústica, ultrasonido y otros, que para su aplicación requieren previamente conocer la localización del daño en la estructura, lo cual representa un inconveniente tanto en tiempo como en recursos. Para solventar esta situación se pueden utilizar técnicas como el análisis modal o un modelo numérico, aplicables al análisis de la vulnerabilidad de estructuras que se estudió en el trabajo de H. Acevedo, **[8].**

Del mismo modo, en otros estudios se ha encontrado que los resultados de incluir la interacción suelo – estructura refleja un aumento de los períodos de vibración y de distorsiones, este efecto se amplifica cuando se trata de suelos blandos. En el caso de las fuerzas de cortante basa l, este parámetro de control se disminuye. Sin embargo, también se destaca que existe una variación en diferente medida con respecto a las propiedades del suelo, para algunos casos podría ser indiferente la aplicación de interacción suelo – estructura, sin embargo, se requiere de un análisis minucioso para adoptar o descartar el criterio **[9].**

La caracterización de los suelos requiere de algunos parámetros como, por ejemplo, los valores de STP (StandartPenetration Test) obtenidos de los ensayos de suelo, de los cuales se derivan los cálculos de las propiedades como módulo cortante, velocidad de onda de corte, ángulo de fricción y el coeficiente de balasto. Los resultados de estos parámetros cambian con respecto a la profundidad de las muestras tomadas en campo, por lo que se aconseja que se manejen las mismas proporciones que serán analizadas con las condiciones de emplazamiento de la edificación **[10].**

2. FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA

2.1 Sismos significativos del Ecuador

Se observa en la siguiente tabla los terremotos más relevantes que ha presenciado en nuestro país.

Sitio del sismo	Magnitud	Año
Ambato	7.2 - 7.9	1698
Esmeraldas	8.8	1906
Riobamba	8.3	1797
Carchi	7.7	1898
Pedernales	7.9	1942

Tabla 1: Sismos en el Ecuador [**11**]

2.2 Métodos de Análisis Estructural

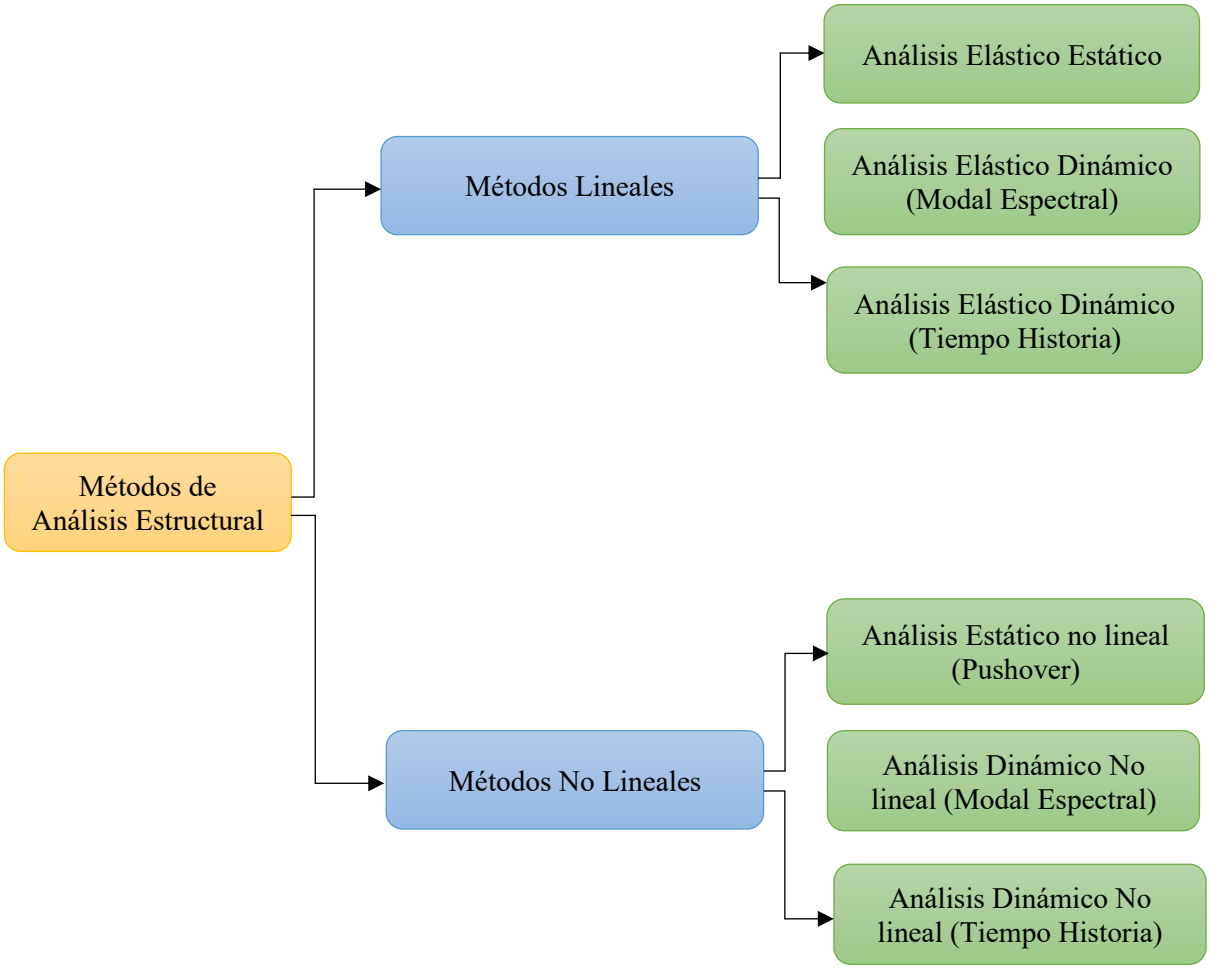


Figura 1: Métodos de Análisis Estructural [**12**]

2.3 Análisis Dinámico No lineal Tiempo - Historia

Este es el análisis que fue escogido para realizar la presente investigación. Este método es un análisis dinámico no lineal que busca determinar la respuesta estructural en el tiempo con la ayuda de un software de cálculo estructural.
Este método de análisis requiere una gran cantidad de registros acelerográficos los cuales nos lleva a obtener un gran número de simulaciones no lineales tiempo – historia sobre una estructura. También se utiliza sistemas con varios grados de libertad los cuales describen la respuesta estructural **[13].**

2.4 Demanda Sísmica

La demanda sísmica generalmente se representa por medio de un espectro de respuesta, el cual presenta la respuesta máxima de sistemas de un grado de libertad como una función de sus frecuencias y un mismo amortiguamiento.

En la ingeniería sísmica se ha utilizado un espectro de respuesta de aceleraciones en función del periodo para procedimientos de análisis y diseño de estructuras basados en las fuerzas. Sin embargo, durante los últimos años se ha identificado que los parámetros más relevantes en el diseño son los desplazamientos y las deformaciones. Por lo tanto, se ha promovido el uso de espectros de respuesta en el formato ADRS (Sa vs Sd) para propósitos de diseño basado en el desempeño sísmico **[14]**.

2.5 Espectro

El procedimiento de construcción de un espectro de respuesta se toma en consideración una serie de estructuras de un grado de libertad u osciladores simples con periodos de vibración diferentes, y con igual factor de amortiguamiento. Si todos estos osciladores son sometidos a la acción de un sismo utilizando un registro de aceleraciones, se producirá una respuesta diferente de cada uno de ellos, la cual puede ser representada a través de una historia de desplazamiento. Una vez que se ha calculado la respuesta de los osciladores es posible determinar el máximo de cada uno de ellos y volcarlos en un gráfico en función del periodo de vibración, para obtener así un espectro de respuesta **[15]**.

2.6 Espectro de respuesta elástica

Se define como espectro de respuesta elástica al máximo de un terremoto determinado, usualmente varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento, sometidas a una historia de aceleraciones dada. Las características de las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que es originado de la complejidad de las aceleraciones **[15]**.

2.7 Espectro de respuesta inelástica

Este espectro es similar a los anteriores, pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad presenta un comportamiento no lineal, es decir que la estructura pueda experimentar deformaciones en el rango plástico debido a los sismos.
Estos espectros representan la ductilidad requerida por un terremoto dado en función del periodo de vibración de la estructura y se grafica generalmente para distintos niveles de resistencia **[15]**.

2.8 Espectro de Diseño

Las estructuras no pueden ser diseñadas para resistir un sismo en particular, ya que los eventos sísmicos presentan características diferentes. Por lo antes mencionado el diseño resistente se realizará con espectros normalizados considerando eventos sísmicos de una zona.

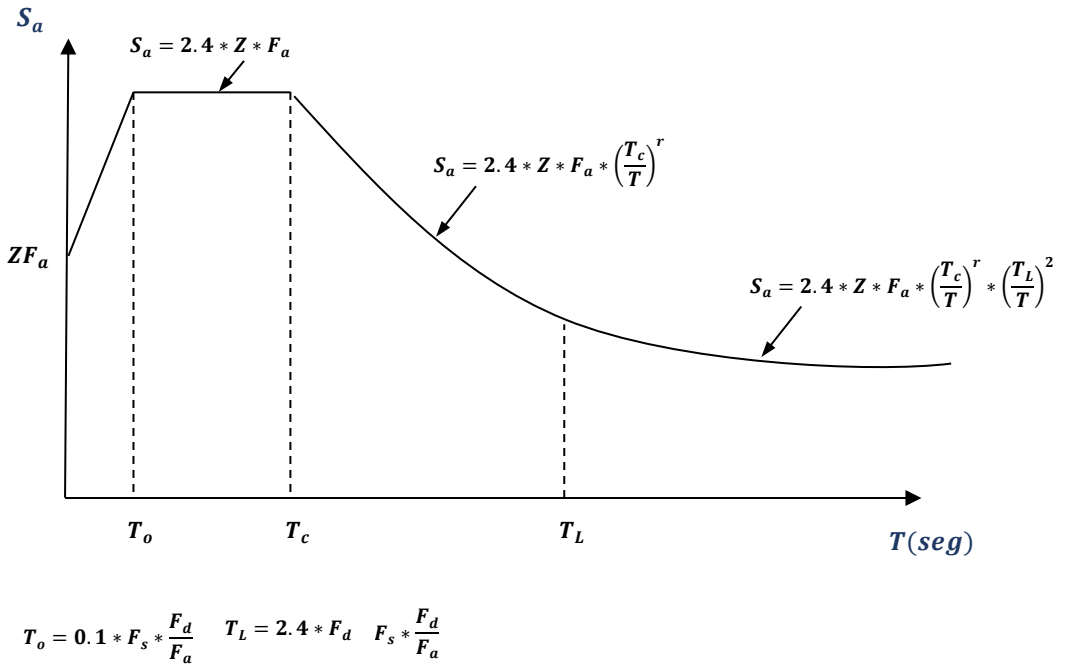


Figura 2: Espectro de Diseño Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC_SE_DS_2024)

2.9 Niveles de desempeño para Edificaciones

Los niveles de desempeño según la NEC 24, permite evaluar como un edificio se comportará durante y después de un terremoto en función a los diferentes criterios:

Operacional (1-A)

Se define como el estado de daño posterior al sismo en el que la estructura permanece segura para su uso, no existe deriva permanente y mantiene su resistencia y rigidez previas al sismo. Los servicios básicos y los componentes no estructurales nos indica la funcionalidad que tenía el edificio antes del sismo. NEC_SE_DS_2024

Ocupacional Inmediata (1-B)

Es el estado de daño de un edificio después del sismo al igual que el anterior aquí no existe deriva permanente manteniendo la resistencia y rigidez previas al sismo.
Los servicios básicos permanecen disponibles en la estructura, aunque algunos sistemas pueden presentar fallas mecánicas. En este nivel los componentes no estructurales pueden sufrir daños y no funcionar de inmediato.
Los sistemas de acceso, así como los sistemas de iluminación de emergencia, alarma contra incendio y extinción de incendios permanecen disponibles y operables NEC_SE_DS_2024

Seguridad de Vida (3-C)

En este nivel se define como un estado posterior al sismo en el que el edificio tiene componentes estructurales dañados, pero conserva un margen de seguridad contra el inicio de un colapso parcial o total. Este margen está definido cuando los elementos que soportan cargas gravitacionales se mantienen funcionando, se observan grietas en muros, existen derivas residuales y daños en paredes divisorias. Las reparaciones de la edificación son económicamente viables.
Existe la posibilidad de caída de objetos no estructurales y daño extensivo en sistemas arquitectónicos, mecánicos, eléctricos e hidrosanitarios. Los componentes no estructurales pueden resultar dañados, pero el daño ocurrido no representa una amenaza para la seguridad de la vida. NEC 24

Prevención al Colapso (5-D)

Es el estado del daño posterior al sismo y se presenta componentes dañados en la estructura y continúa soportando cargas de gravedad, pero ya no conserva seguridad contra el colapso. Existe una resistencia y rigidez estructural no es capaz de soportar otro sismo, existen derivas permanentes cercanas a las establecidas como máximas en este documento, algunas salidas han sido bloqueadas por la caída de elementos no estructurales. El daño es severo y debe evacuarse de inmediato. En este nivel los componentes no estructurales están dañados y podría crear peligro de caída. NEC_SE_DS_2024

2.10 Niveles de amenaza

De acuerdo con la NEC – 2024 la verificación de desempeño se realiza para los siguientes niveles de amenaza sísmica:

Nivel de Amenaza Sísmica		Nivel de Desempeño			
Probabilidad de excedencia en 50 años	**Periodo de Retorno Tr (años)**	**Operacional**	**Ocupación Inmediata**	**Seguridad de Vida**	**Prevención de Colapso**
50%	72	a	b	c	d
20%	225	e	f	g	h
10%	475	i	j	k	l
2%	2475	m	n	o	p

Tabla 2: Objetivos de Desempeño para Edificaciones Nuevas NEC 2024

2.11 Acelerograma

Los acelerómetros o acelerógrafos permiten la obtención de un gráfico denominado (acelerograma), lo cual muestra la variación de aceleraciones en el lugar determinado. Son instrumentos que poseen tres sensores ortogonales y registran el movimiento del suelo en la componente vertical, norte-sur y este-oeste. Este tipo de instrumentos permiten el registro máximo de los eventos sísmicos, posteriormente los datos obtenidos son procesados y analizados, determinando los valores de aceleración máxima y su escala de intensidad, con las características que ha sido sometida las estructuras durante un sismo o un terremoto destructivo **[16]**.

2.12 Análisis dinámico incremental

El ADI (Análisis Dinámico Incremental) es un método paramétrico que se usa para estimar el comportamiento estructural ante cargas sísmicas. El método toma un modelo estructural y lo sujeta a uno o varios registros de movimiento de suelo, escalados a múltiples niveles de intensidad, produciendo una o varias curvas de respuesta de demanda contra nivel de intensidad. Este método integral para extraer la distribución condicional de la respuesta estructural (por ejemplo, derivas de entrepiso o aceleraciones máximas de cada piso del edificio), a partir de diferentes niveles de la demanda sísmica, desde un comportamiento elástico hasta el colapso global. Esto se logra sometiendo un modelo estructural a un análisis no lineal tiempo-historia bajo una serie de acelerogramas de eventos sísmicos los cuales son escalados de forma creciente para cada medida de intensidad hasta que se alcanza el colapso **[17]**.

2.13 Parámetro indicador de daño

Se requiere establecer apropiadamente parámetros indicadores de daño que diferencien claramente cada uno de los estados de daño por medio de los umbrales de los estados de daño. Para cuantificar el daño a partir de la respuesta de la estructura calculada por medio del análisis del modelo matemático para una demanda sísmica particular pueden ser empleados diversos parámetros: deformaciones unitarias, curvaturas, rotaciones, desplazamientos, derivas de entrepiso, cortante basal, energía absorbida, energía disipada, etc. **[18].**

2.14 Parámetro de intensidad sísmica

En cuanto a la aplicación del procedimiento, para cada sismo seleccionado se debe incrementar su amplitud y realizar un análisis no lineal tiempo-historia hasta que se produzca alguna condición de colapso: ocurre inestabilidad numérica en el análisis, la deriva de un piso excede los valores límites de colapso no simulados o existe un gran aumento en la deriva de un piso asociado con pequeños incrementos en la aceleración espectral (D'Ayala et al., 2015). Para cada uno de los análisis tiempo historia se registra la respuesta máxima de la estructura, la cual debe ser un parámetro consistente con el indicador de daño seleccionado, y se plotea en un gráfico que relaciona este resultado con el parámetro indicador de la medida de intensidad**[19].**

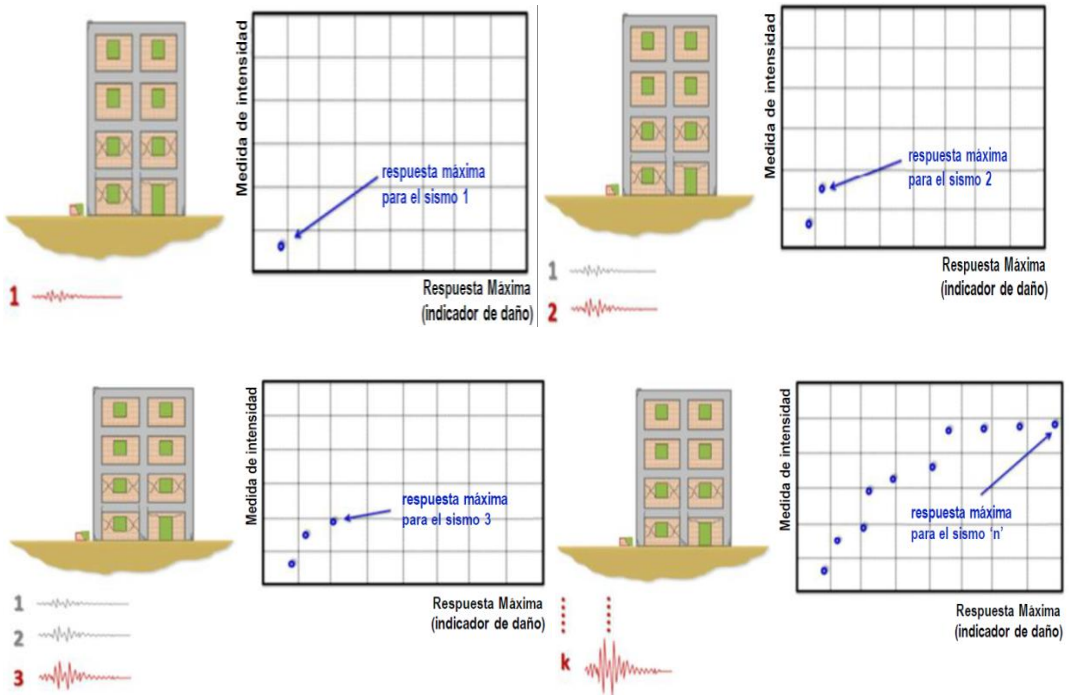


Figura 3: Detalle de los resultados obtenidos por medio del análisis dinámico incremental (adaptado de D'Ayala et al.,2015).**[19]**

2.15 Curvas de Fragilidad

Las curvas de fragilidad evalúan la probabilidad de colapso de una estructura cuando es expuesta por fuerzas laterales. También se puede expresar como una representación gráfica que muestra la relación entre la intensidad de un evento sísmico y la probabilidad de exceder un determinado estado de daño límite o un nivel de desempeño límite.**[20]**

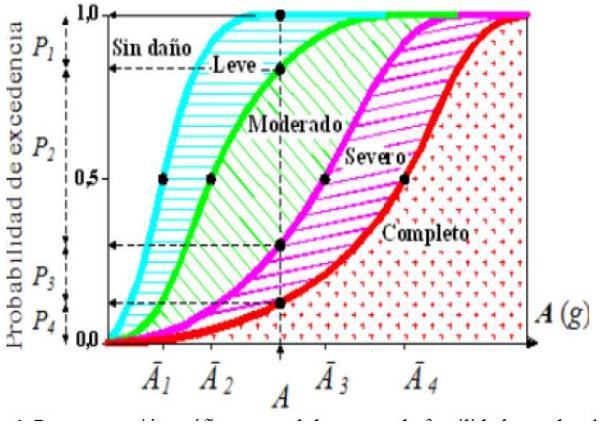


Figura 4: Representación gráfica general de curvas de fragilidad, estados de daño límite **[20].**

CAPITULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

En el presente proyecto experimental, los tipos de investigación que se usaron son: exploratorio, de campo y descriptiva.

Exploratorio: Se lo realizó para la obtención de información a través de inspecciones al edificio.

De campo: Abarca una investigación en la cual se realiza recolección de datos en el sitio de estudio del proyecto.

Descriptiva: Se utilizó este tipo de investigación debido a que los resultados obtenidos se describen y se comparan con valores determinados por las normas vigentes en el país.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	INTERPRETACIÓN
Análisis del grado de vulnerabilidad sísmica según la NEC 24.	Análisis avanzado, considerando efectos no lineales (plastificación, degradación, rigidez variable) de los elementos estructurales.	Comportamiento ante los Desplazamientos, deformaciones, tensiones, fuerzas.	Utilización de un software ingenieril de análisis.	Los valores resultantes determinando la respuesta dinámica de una estructura.

Análisis del grado de vulnerabilidad sísmica según la ASCE 7-22.	Análisis avanzado, considerando efectos no lineales (plastificación, degradación, rigidez variable) de los elementos estructurales.	Comportamiento ante los Desplazamientos, deformaciones, tensiones, fuerzas.	Utilización de un software ingenieril de análisis.	Los valores resultantes determinando la respuesta dinámica de una estructura.

3.2. Población o muestra:

No corresponde asociar una población y muestra al tema del presente plan de titulación.

3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

La estructura metálica del Centro Comercial Ferroviario de la Ciudad de Ambato presenta un grado de vulnerabilidad sísmica media al ser evaluada con las normas de diseño sísmico NEC 24 y ASCE 7-22.

3.4. Recolección de información:

Documental:

Este tipo de recolección de información se realizó a través de solicitudes a la Ilustre Municipalidad de Ambato para obtener documentos como: Planos Arquitectónicos o Estructurales, Memorias de Cálculo y todo lo relacionado a la Consultoría del Mercado en estudio. Además, se obtuvo los registros sísmicos de las estaciones cerca del lugar de estudio que contribuyeron al desarrollo de la investigación antes mencionada.

3.5. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Con los documentos facilitados por la Ilustre Municipalidad de Ambato el procesamiento se realizó de la siguiente manera:

- Revisión de los documentos obtenidos (planos arquitectónicos, planos estructurales, informes de cálculo) y observar todos los parámetros necesarios como lugar de ubicación, dimensiones, secciones de elementos estructurales, entre otros.
- Realización del modelamiento de la estructura en el programa ETABS conjuntamente con los parámetros citados anteriormente.
- Análisis del modelamiento de la estructura en estudio mediante un análisis no lineal.

- Desarrollo de las curvas de fragilidad en base a los distintos niveles de intensidad de daño.
- Definir la probabilidad de daño de la estructura empleando las curvas antes mencionadas.

3.6. Desarrollo del trabajo

Para el desarrollo de esta investigación se dividieron en tres fases, es decir, una fase por cada objetivo planteado los cuales se detallaron a continuación.

3.6.1. Primera Fase

Para dar inicio al proceso de desarrollo de tesis se solicitó mediante oficio al GAD MUNICIPALIDAD DE AMBATO la información necesaria de la consultoría recibida para la Construcción del Centro Comercial Ferroviario como planos arquitectónicos y estructurales, especificaciones técnicas y demás documentación referente a dicha estructura.

3.6.2. Segunda Fase

Se analizó la documentación proporcionada por el GAD MUNICIPALIDAD DE AMABATO para posterior modelar la estructura del Centro Comercial Ferroviario en el software de análisis estructural ETABS. Se realizó para iniciar un análisis estático para chequear desplazamientos, derivas, fuerzas laterales. A continuación, con los resultados obtenidos y de acuerdo con la NEC 24 y ASCE 7-22, se determinó el tipo de análisis no lineal que se utilizó.

A continuación, se muestra toda la información utilizada para el desarrollo del análisis estático.

Ubicación

El proyecto del CENTRO COMERCIAL se encuentra localizado en la Av. Colombia entre Bolivia y el Salvador de la ciudad de Ambato, en la provincia de Tungurahua.

El proyecto está destinado a áreas de comercio y consta de un subsuelo, una planta baja, una planta alta, una cubierta, la altura de entrepiso de todos los niveles es de alrededor de 4.68 metros y dividido de la siguiente manera:

- Se implantará 346 locales comerciales, ubicados en dos niveles sobre rasante.
- Cuenta con 25 puestos para comidas en el nivel 2.
- Área administrativa en la planta baja.
- Un nivel de estacionamientos en el subsuelo para 138 vehículos o 290 puestos provisionales para la feria.
- Adicionalmente cuenta con un salón de uso múltiple de 278.00 m2, (amoblado para 192 personas) ubicado en el subsuelo.



Figura 5: Ubicación proyecto

Vista en Planta Centro Comercial

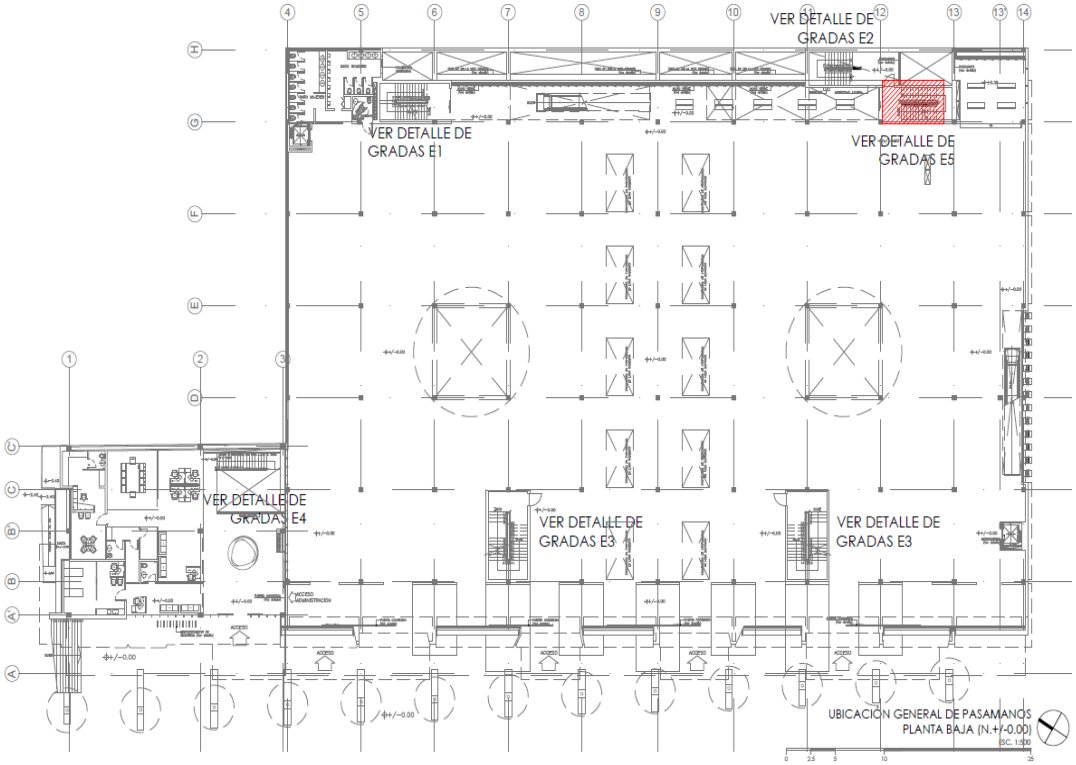


Figura 6: Vista en planta Centro comercial

Vista en Elevación Centro Comercial

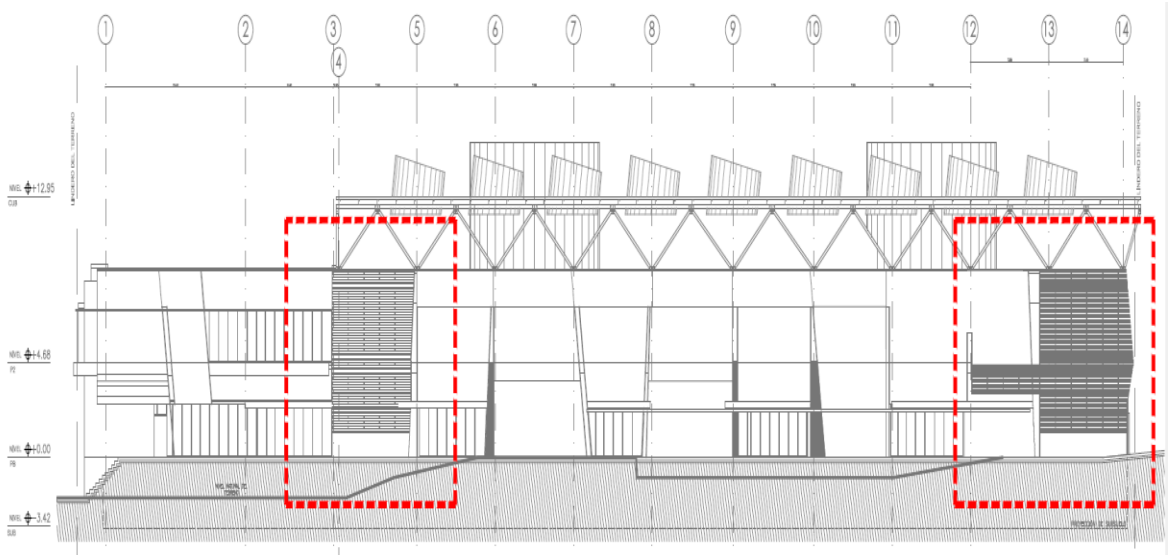


Figura 7: Vista en Elevación Centro comercial

Materiales

Concreto

Descripción	**Resistencia a la Compresión – 28 días** $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$
Replantillos	180
Plintos Aislados	240
Muros de Corte	240
Loseta	240
Losas de rampa	240

Tabla 3: Resistencia a compresión del hormigón consultoría (Memoria de Análisis y Diseño Estructural proyecto Centro Comercial – Consultor Ingeniero Alex Albuja Espinoza) **[21].**

Acero y acero de Refuerzo

Descripción	**ASTM**
Acero laminado en caliente	ASTM A572 Gr50
Acero laminado en caliente	ASTM A36
Tubería Estructural Redonda	ASTM A500 Gr B42
Varillas de Acero de Refuerzo	ASTM A706 – Fy=4200 $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$
Malla Electrosoldada	ASTM A185 o A497

Tabla 4: Acero empleado en la consultoría (Memoria de Análisis y Diseño Estructural proyecto Centro Comercial – Consultor Ingeniero Alex Albuja Espinoza) **[21].**

Cargas de diseño

Cargas Muertas Debidas a Peso Propio de la Estructura.

Las cargas muertas debidas al peso propio de la estructura se consideran directamente en el análisis, multiplicando al volumen de cada elemento estructural por el peso unitario del material. Los siguientes pesos unitarios fueron usados:

MATERIAL	PESO UNITARIO kg/m3
Acero estructural	7850
Concreto Reforzado	2400

Tabla 5: Cargas muertas de la estructura consultoría (Memoria de Análisis y Diseño Estructural proyecto Centro Comercial – Consultor Ingeniero Alex Albuja Espinoza) **[21].**

3.6.2.1. Cálculo del Espectro de diseño NEC 24 y ASCE 7-22

3.6.2.1.1. Espectro NEC 24

Factores y coeficientes

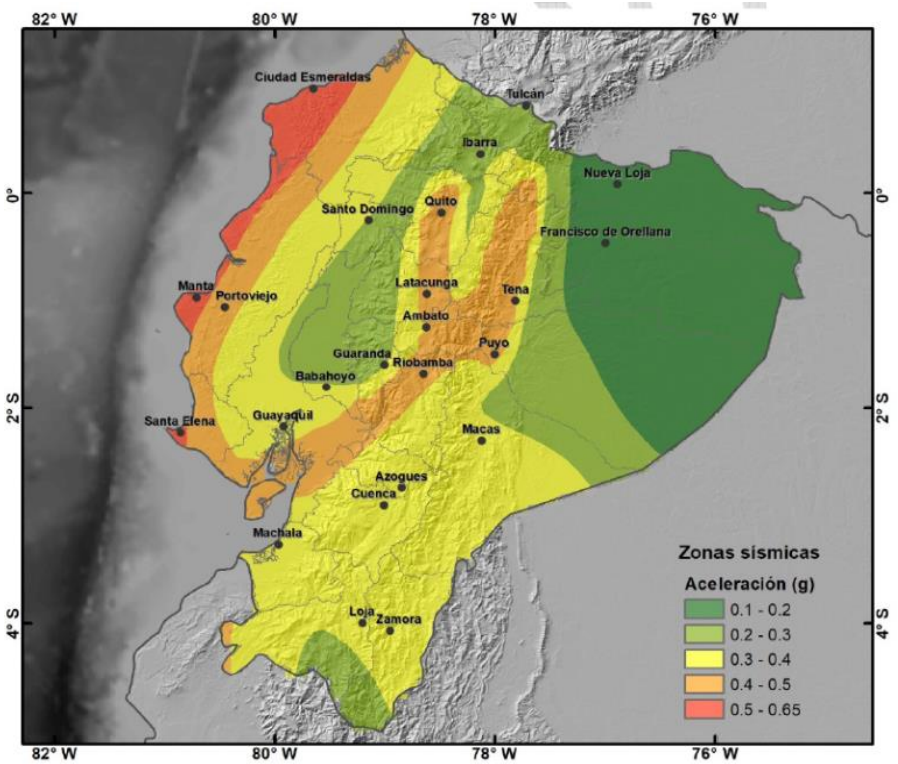


Figura 8: Zonificación Sísmica NEC 24

CATEGORÍA DE RIESGO DE EDIFICIOS Y OTRAS ESTRUCTURAS PARA INUNDACIONES, VIENTO, NIEVE, TERREMOTO Y CARGAS DE HIELO		
CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN	**EJEMPLOS**	**CATEGORÍA DE RIESGO**
Edificaciones que representan un riesgo bajo para la vida humana en caso de falla	-Instalaciones agrícolas -Ciertas Instalaciones Temporales -Instalaciones de almacenamiento menores	I
Todas las edificaciones, excepto aquellas clasificadas con categorías de riesgo I, III, y IV	-Residencias unifamiliares y bifamiliares que no clasifican dentro de NEC-SE-VIVIENDA. -Edificios de oficinas, apartamentos, centros comerciales y otras estructuras con capacidad menor a 300 personas	II
Edificaciones cuya falla podría representar un riesgo sustancial para la vida humana Edificaciones no incluidas en la categoría de riesgo IV con potencial de ocasionar un impacto económico sustancial y/o interrupción masiva de la vida civil cotidiana en caso de falla Edificaciones no incluidas en la categoría de riesgo IV (incluyendo pero no limitando a instalaciones que fabrican, procesan, manipulan, almacenan, usan o eliminan sustancias como combustibles, productos químicos peligrosos, desechos peligrosos o explosivos de cualquier tipo) que contienen sustancias tóxicas o explosivas.	-Edificios de oficinas, apartamentos, centros comerciales y otras estructuras con capacidad entre 300 y 5000 personas. -Museos, Iglesias. -Centros de almacenaje y abastecimientos de alimentos y productos de primera necesidad. -Todos los centros de educación: inicial, primaria, secundaria y superior. -Edificios públicos que requieren operar continuamente. -Centros de privación de libertad y reformatorios. -Albergues y centros de cuidado de adultos mayores. -Estaciones de generación de energía y otras instalaciones de servicios públicos no incluidos en la categoría IV.	III
Edificaciones designadas como instalaciones esenciales. Edificaciones cuyo colapso podría representar un peligro sustancial para la comunidad Edificaciones necesarias para mantener la funcionalidad de otras estructuras de la categoría de riesgo IV.	-Edificios y otras estructuras con capacidad mayor a 5000 personas. -Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. -Instalaciones de bomberos, rescates, ambulancias, y estaciones de policía y garajes para vehículos de emergencia. -Refugios de emergencia designados para terremotos, huracanes u otros. -Centros de preparación, comunicación y operación para emergencias y otras instalaciones requeridas para la respuesta de emergencia. -Estaciones de generación de energía y otras instalaciones de servicios públicos requeridas en una emergencia. -Estructuras auxiliares (que Incluyen, entre otras, torres de comunicación, tanques de almacenamiento de combustible, torres enfriamiento, estructuras de subestaciones eléctricas, tanques de almacenamiento de agua y bombeo contra incendios u otras estructuras que alberguen o soporte de agua y bombeo contra incendios u otras estructuras que alberguen o soporte agua u otro material o equipo de extinción de incendios) requeridos para la operación de estructuras de categoría IV durante una emergencia. -Torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo y hangares de aeronaves de emergencia	IV

	-Estructuras estratégicas (centros de control de presas y embalses, plataformas y refinerías petroleras, entre otros) - Edificios y otras estructuras que tienen funciones críticas de defensa nacional (centros de planificación y toma de decisiones de gobierno, Fuerzas Armadas y Policía Nacional).	

Tabla 6: Categoría de Riesgo de Construcciones y edificios del NEC 24

Perfiles de Suelo para Diseño Sísmico		
Tipo de perfil	**Descripción**	**Definición**
A	Perfil de roca competente	Vs ≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca rigidez media	1500 m/s >Vs ≥ 760 m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o cualquiera de los dos criterios	1500 m/s >Vs ≥ 760 m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con	N ≥ 50.0 Su ≥ 100 kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > N ≥ 15.0 100 kPa > Su ≥ 50 kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	Vs < 180 m/s
	Perfiles con espesor H>3m de Arcillas Blandas	IP > 20 w ≥ 40% Su < 50 kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotécnico. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	

F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)
F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.

Tabla 7: Perfiles de Suelo para Diseño Sísmico NEC 24

Zona Sísmica	Coeficiente Z (Fracción de la Gravedad)
I	$0.1 \leq Z < 0.2$
II	$0.2 \leq Z < 0.3$
III	$0.3 \leq Z < 0.4$
IV	$0.4 \leq Z < 0.5$
V	$0.5 \leq Z < 0.65$

Tabla 8: Valores propios de la zona sísmica (Z) NEC 24

Se determina los valores propios del factor de zona sísmica (Z) que se acoge para el cálculo sísmico. Para la estructura en estudio se tomó 0.30

Coeficientes r	
Tipo de Región	r
Provincias de la Costa	1.2
Provincias de la Sierra y Oriente	1.0

Tabla 9: Parámetros de Aceleraciones Espectrales para Diseño NEC 24

Coeficientes de Perfil de Suelo

F_a: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto

Tipos de Perfil de Suelo	Zona Sísmica				
	I	II	III	IV	V
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.23	1.19	1.13
D	1.6	1.4	1.25	1.14	1
E	1.8	1.4	1.1	0.9	0.62

Tabla 10: Coeficientes F_a NEC 24

F_d: Factor que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientopara diseño en roca, con los efectos de sitio

Tipos de Perfil de Suelo	Zona Sísmica				
	I	II	III	IV	V
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.15	1.08	1
D	1.62	1.45	1.28	1.15	1
E	2.1	1.75	1.65	1.52	1.36

Tabla 11: Coeficientes F_dNEC 24

F_s: Factor que toma en cuenta el comportamiento no lineal de los suelo, el contenido de frecuencia del movimiento sísmico

Tipos de Perfil de Suelo	Zona Sísmica				
	I	II	III	IV	V
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.06	1.17	1.28
D	1.02	1.06	1.19	1.32	1.44
E	1.5	1.6	1.8	1.94	2.09

Tabla 12: Coeficientes F_sNEC 24

Condiciones por Requerir	Elementos por Requerir	Elementos de Respuesta
Región en donde se va a realizar el proyecto (r)	Provincias de la Sierra y Oriente	1.0
Zona Sísmica (Z)	III	0.3
Tipo de suelo en donde se emplazará la edificación	D	Perfiles de suelos rígidos
Coeficiente de respuesta del suelo (Fa)		1.25
Coeficiente de respuesta del suelo (Fd)		1.28
Coeficiente de respuesta del suelo (Fs)		1.19
Aceleración de la gravedad (cm/seg2)		1.00

Tabla 13: Resumen Datos para Diseño Sísmico.

Aceleración espectral para periodos de vibración menor a To

$$S_a = Z * F_a \qquad \textbf{Ec.1}$$
$$S_a = 0.30 * 1.25$$
$$S_a = 0.375$$

Período en el cual inicia la zona de aceleración espectral constante en el espectro correspondiente al sismo de diseño.

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a} \qquad \textbf{Ec.2}$$
$$T_o = 0.1 * 1.19 * \frac{1.28}{1.25}$$
$$T_o = 0.122$$

$$S_a = 2.4 * Z * F_a \qquad \textbf{Ec. 3}$$
$$S_a = 2.4 * 0.30 * 1.25$$
$$S_a = 0.900$$

Período de control, el cual corresponde a la intersección de la zona de aceleración espectral constante y velocidad espectral constante.

$$T_c = 0.45 * F_s * \frac{F_d}{F_a} \qquad \textbf{Ec. 4}$$
$$T_c = 0.45 * 1.19 * \frac{1.28}{1.25}$$
$$T_c = 0.548$$

Período de esquina, el cual corresponde a la intersección de la zona de velocidad espectral constante y desplazamiento espectral constante.

$$T_L = 2.4 * F_d \qquad \textbf{Ec. 5}$$
$$T_L = 2.4 * 1.28$$
$$T_L = 3.072$$

Cálculos para en Espectro Elástico Aceleración para Carga Horizontal			
		to	0.000
Ec.1	$S_a = Z * F_a$	**Sao**	0.375
Ec.2	$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$	**To**	0.122
Ec.3	$S_a = 2.4 * Z * F_a$	**Sa**	0.900
Ec.4	$T_c = 0.45 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$	**Tc**	0.548
Ec. 5	$T_L = 2.4 * F_d$	**TL**	3.072

Tabla 14: Cálculos para en Espectro Elástico Aceleración para Carga Horizontal

PISO	DESPLAZAMIENTOS (δ)	CARGA MUERTA (WD)	CARGA VIVA (WL)	SUMATORIA (W_x)	CARGA SISMICA (F_i)	DESPLAZAMIENTO (δ)	$W_x * \delta^2$	$F_i * \delta$
	mm	**Ton**	**Ton**	**Ton**	**Ton**	**m**	**Ton*m2**	**Ton*m**
1	0.42	9083.06	5426.95	14510.01	1183.89	0.00042	0.00255	16.405
2	8.21	4683.40	2762.55	7445.95	859.42	0.00821	0.50188	11.715
3	13.63	1140.51	654.21	1794.72	282.48	0.01363	0.33341	2.320
4	13.86	183.76	400.26	584.02	96.56	0.01386	0.11211	0.041
Σ	**36.12 mm**	**15090.73 Ton**	**9243.97 Ton**	**24334.70 Ton**	**2422.35 Ton**	**0.0361 m**	**0.950 Ton*m2**	**12.742 Ton*m**
	0.0361 m	**147988.75 kN**	**90651.93 kN**	**238640.69 kN**	**23755.06 kN**		**9.317 kN*m2**	**124.952 kN*m**

Tabla 15: Cargas muerta, viva, sísmica y desplazamientos estructura

Se definen desplazamientos, carga reactiva, carga sísmica obtenidos del análisis estático.

Desplazamientos (δ)

Story Response

Story	Elevation mm	Location	X-Dir mm	Y-Dir mm
N + 13.03 (+1...	15880	Top	0.463	13.857
N + 9.25 (+12...	12600	Top	0.47	13.631
N + 4.68 (+8.1)	8100	Top	0.265	8.212
N + 0.00 (+3....	3420	Top	0.039	0.42
N - 3.42 (+0.00)	0	Top	3.211E-07	9.612E-06

Figura 9: Desplazamientos (δ) modelo matemático estructural en el software (ETABS)

Carga Muerta (WD)

Story Forces

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Forces

Filter: ([Output Case] = 'CM') AND ([Location] = 'Bottom')

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-mm	MX tonf-mm	MY tonf-mm
N + 13.03 (+1...	CM	Combination		Bottom	183.7584	0	0	-0.004352	5484011.97	-11094335.85
N + 9.25 (+12....	CM	Combination		Bottom	1140.5119	-2.598E-06	1.313E-06	0.32	26132974.47	-54044420.03
N + 4.68 (+8.1)	CM	Combination		Bottom	4683.4002	-6.607E-06	0.0001	4.48	119483078.16	-244280164
N + 0.00 (+3.4...	CM	Combination		Bottom	9083.0595	-6.604E-06	0.0001	4.48	234693036.27	-482056136

Record: << < 1 > >> of 4 Add Tables... Done

Figura 10: Carga Muerta (WD) modelo matemático estructural en el software (ETABS)

Carga Viva (WL)

Story Forces

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Forces

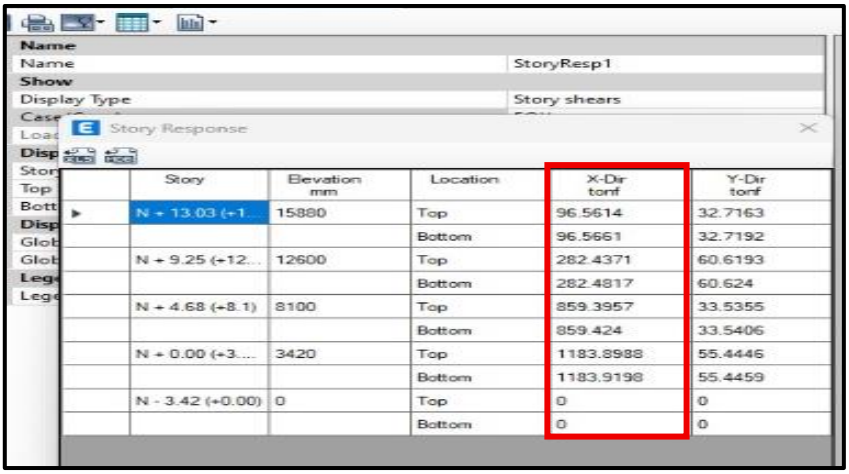
Filter: ([Output Case] = 'L') AND ([Location] = 'Bottom')

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-mm	MX tonf-mm	MY tonf-mm
N + 13.03 (+1...	L	LinStatic		Bottom	400.26	0	0	-0.001168	11968708.53	-24329907
N + 9.25 (+12....	L	LinStatic		Bottom	654.2111	-6.948E-07	0	0.09	16174165.19	-30648082.25
N + 4.68 (+8.1)	L	LinStatic		Bottom	2762.5513	-1.794E-06	1.47E-05	0.88	75029439.76	-143024451
N + 0.00 (+3.4...	L	LinStatic		Bottom	5426.9493	-1.797E-06	1.47E-05	0.89	144679575.5	-288878770

Record: << < 1 > >> of 4 Add Tables... Done

Figura 11: Carga Viva (WL) modelo matemático estructural en el software (ETABS)

Carga Sísmica (F_i)



Story	Elevation mm	Location	X-Dir tonf	Y-Dir tonf
N + 13.03 (+1...	15880	Top	96.5614	32.7163
		Bottom	96.5661	32.7192
N + 9.25 (+12...	12600	Top	282.4371	60.6193
		Bottom	282.4817	60.624
N + 4.68 (+8.1)	8100	Top	859.3957	33.5355
		Bottom	859.424	33.5406
N + 0.00 (+3....	3420	Top	1183.8988	55.4446
		Bottom	1183.9198	55.4459
N - 3.42 (+0.00)	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Figura 12: Carga Sísmica (F_i) modelo matemático estructural en el software (ETABS)

Fracción de la Carga Viva Considerada en el Cálculo del Peso Sísmico	
Descripción	**XL**
Azoteas marquesinas y techos	0.00
Edificaciones para uso residencial, de oficinas, hoteles o restaurantes.	0.15
Edificaciones destinadas al sector de salud, educación o similares.	0.25
Edificaciones destinadas a bodegas, salas de archivos o almacenamiento.	0.25
Edificaciones destinadas para cines, teatros, salas de reuniones o de congresos, centros comerciales, estacionamientos o construcciones que tenga alta probabilidad de aglomeración de personas.	0.30

Tabla 16: Fracción de la Carga Viva Considerada en el Cálculo del Peso Sísmico

Método de Análisis, Restricciones y Peso Sísmico		
Condiciones por Requerir	**Elementos por Requerir (editable)**	**Elementos de Respuesta**
Carga Muerta total de la edificación, peso propio, cargas permanentes fijas (WD) en kN	147988.75	Ingrese valor
Fracción de carga viva del peso sísmico (XL)	Edif. alta aglomeración y parqueadero	0.30
Carga Viva total de la edificación (WL) en kN	90651.93	Ingrese valor
Peso Sísmico (W) en kN	**175184.3327**	

Tabla 17: Análisis, Restricciones y Peso Sísmico

Parámetros Ct y X para el cálculo del Periodo de vibración aproximado		
Descripción	**Ct**	**x**
Pórticos residenciales a momento de acero	0.0724	0.80
Pórticos residenciales a momento de hormigón	0.0466	0.90
Pórticos arriostrados excéntricamente de acero	0.0731	0.75
Pórticos con arriostramiento con pandeo restringido	0.0731	0.75
Otros sistemas estructurales	0.0488	0.75

Tabla 18: Parámetros Ct y x para el cálculo del Periodo de vibración aproximado

Periodo Fundamental Aproximado, Ta

$$T_a = \mathrm{C}_t * h_n^X \qquad \textbf{Ec. 6}$$
$$T_a = 0.1N \qquad \textbf{Ec. 7}$$

Donde:
T_a es el periodo de vibración aproximadamente
C_t factor dado por la tabla18
h_n altura de la estructura
x factor dado por la tabla 18
N número de pisos de la edificación

$T_a = \mathrm{C}_t * h_n^X$ para edificaciones hasta 12 pisos

$$T_a = 0.0724 * 16.45^{0.30}$$
$$T_a = 0.680$$

Método de Análisis Estático Lineal $T_a = \mathrm{C}_t * h_n^X$ $T_a = 0.1N$		
Período Fundamental Aproximado, Ta		
Condiciones por Requerir	**Elementos por Requerir**	**Elementos de Respuesta**
Número de pisos de la edificación desde la base del suelo hasta el nivel más alto resistente a carga sísmica (N)	4	Ingrese valor
Altura de piso promedio	4.68	Ingrese valor
Factor (Ct)	Pórt. residenciales a momento de acero	0.0724
Factor (X)		0.80
Altura de la Estructura desde la base hasta nivel más alto resistente a carga sísmica (hn) en m	16.45	Ingrese valor
Período Fundamental de vibración aproximado (Ta) en seg Seleccionado	**0.680**	**Fórmula hasta 12 pisos**

Tabla 19: Cálculo del Período Fundamental de vibración aproximado (Ta)

$$T_{comp} = 2 * \pi * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} W_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^{N} F_i \delta_i}} \quad \textbf{Ec.8}$$

$$T_{comp} = 2 * \pi * \sqrt{\frac{9.317\ kN * m^2}{9.80\ \frac{m}{seg^2} * 124.952 kN * m}}$$

$$T_{comp} = 0.54806\ \text{seg}$$

Período Computado, $T_{comp} = 2 * \pi * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} W_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^{N} F_i \delta_i}}$ **Ec.8**		
Condiciones por Requerir	**Elementos por Requerir**	**Elementos de Respuesta**
Sumatoria del Peso sísmico de piso Wi, (kN)	238640.69	Ingrese valor sumatorias
Sumatoria del Desplazamiento de piso i por carga sísmica δi, (m)	0.04	Ingrese valor sumatorias
Sumatoria de la Carga sísmica aplicada en el piso Fi, (kN)	23755.06	Ingrese valor sumatorias
Período Computado (Tcomp) en seg	**0.548060**	**Fórmula hasta 12 pisos**

Tabla 20: Cálculo del período Computado (Tcomp) en seg

Determinación del Periodo Fundamental de Vibración, T

Determinación del Periodo Fundamental de Vibración, T		
Condición	Periodo para el cálculo del cortante basal, V, y otros cálculos de resistencia	Periodo T para cálculos de desplazamientos o derivas
Tcomp ≤ Ta	Ta	Ta
Ta <Tcomp<CuTa	Tcomp	Tcomp
Tcomp ≥ CuTa	CuTa	Tcomp

Tabla 21: Determinación del Periodo Fundamental de Vibración, T

Determinación del Período Fundamental de Vibración, T		
Condiciones por Requerir	**Elementos por Requerir**	**Elementos de Respuesta**
Coeficiente Cu	1.4	
(Cu Ta)	0.9259	
Tcomp ≤ Ta	**0.6613**	Periodo Elegido
Ta <Tcomp< Cu Ta	0.0000	No
Tcomp ≥Cu Ta	0.0000	No
Período Fundamental de Vibración (T) en seg	**0.6613**	
Aceleración Espectral para el Cortante Basal (Sat)	**0.7462**	

Tabla 22: Determinación de la Aceleración Espectral para el Cortante Basal (Sat)

$$S_{at} = 2.4 * Z * F_a * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \qquad \textbf{Ec.9}$$

$$S_{at} = 2.4 * 0.30 * 1.25 * \left(\frac{0.55}{0.66}\right)^1$$

$$S_{at} = 0.75$$

Factor de Importancia Sísmica

Tabla C4.1 Sección de la Tabla 1.4 del Capitulo NEC-SE-CG	
Categoría de Riesgo	**Factor de Importancia Sísmica, Ie**
I	1.00
II	1.00
III	1.25
IV	1.50

Tabla 23: Factor de Importancia Sísmica, Ie

Sistemas Estructurales Permitidos							
Sistema Estructural Resistente a Carga Sísmica	**Documentos de Referencia**	**R**	**Ω₀**	**Cd**	**Altura máxima permitida (m), hn**		
					Categoría de Diseño Sísmico (CDS)		
					C	**D**	**EF**
SISTEMAS RELATIVAMENTE RÍGIDOS							
Pórticos arriostrados excéntricamente de acero	NEC-SE-AC: 6.3, AISC 341-16: F3	8	2	4	SL	50	30
Pórticos especiales arriostrados concéntricamente de acero	NEC-SE-AC: 6.2, AISC 341-16: F2	6	2	5	SL	50	30
Pórticos ordinarios arriostrados concéntricamente de acero	NEC-SE-AC: 6.1, AISC 341-16: F1	3.25	2	3.25	SL	10	NP
Muros estructurales especiales de hormigón	ACI 318-19: 18.10	6	2.5	5	SL	50	30
Pórticos con arriostramientos con pandeo restringido	NEC-SE-AC: 6.4, AISC 341-16: F4	8	2.5	5	SL	50	30
Muros especiales de cortante en acero	NEC-SE-AC: 6.5, AISC 341-16: F5	7	2	6	SL	50	30
PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTO							
Pórticos especiales resistentes a momento en acero	NEC-SE-AC: 5.3, AISC 341-16: E3	8	3	5.5	SL	SL	SL
Pórticos intermedios resistentes a momento en acero	NEC-SE-AC: 5.2, AISC 341-16: E2	4.5	3	4	SL	12	NP
Pórticos ordinarios resistentes a momentos en acero	NEC-SE-AC: 5.1, AISC 341-16: E1	3.5	3	3	10	NP	NP
Pórticos especiales resistentes a momentos en hormigón	ACI 318-19: 18.6, 18.7, 18.8	8	3	5.5	SL	SL	SL

Pórticos resistentes a momento con vigas de acero y columna tubular de acero rellena de hormigón	AISC 341-16: Cap. G Lai et. al. (2020)	3.5	3	3	10	NP	NP
SISTEMAS DUALES CON PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTO ESPECIALES CAPACES DE RESISTIR AL MENOS EL 25% DE LA CARGA SÍSMICA							
Sistema dual con pórtico especiales resistentes a momento y Pórticos especiales arriostrados concéntricamente de acero	-	8	2.5	4	SL	SL	SL
Sistema dual con pórticos especiales resistentes a momento Pórticos especiales arriostrados concéntricamente de acero	-	7	2.5	5.5	SL	SL	SL
Sistema dual con pórticos especiales resistentes a momento y Muros estructurales especiales de hormigón	-	7	2.5	5.5	SL	SL	SL
Sistema dual con pórticos especiales resistentes a momento y pórticos con arriostramientos con pandeo restringido	-	8	2.5	5	SL	SL	SL
Sistema dual con pórticos especiales resistentes a momento y muros especiales de cortante en acero	-	8	2.5	6.5	SL	SL	SL
E. SISTEMAS DUALES CON PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO INTERMEDIOS CAPACES DE RESISTIR AL MENOS EL 25% DE LA CARGA SISMICA							
Sistema dual con pórticos intermedios resistentes a momento y Pórticos especiales arriostrados concéntricamente de acero	-	6	2.5	5	SL	SL	SL
Sistema dual con pórticos intermedios resistentes a momento y Muros estructurales especiales de hormigón	-	6.5	2.5	5	SL	SL	SL
F. SISTEMAS DUALES CON PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO CON VIGAS DE ACERO Y COLUMNA TUBULAR DE ACERO RELLENA DE HORMIGON							
Los valores de R, Cd, y Ωo, así como las limitaciones en altura, y las categorías de riesgo sísmico aplicables, para sistemas duales con pórticos resistentes a momento con vigas de acero y columna tubular rellena de hormigón, serán los valores de R, Cd, y Ωo, que correspondan al sistema estructural rígido del sistema dual.							

Tabla 24: Sistemas Estructurales Permitidos

Cortante Basal de Diseño

$$V = \frac{I_e * S_{aT}}{R} * \mathrm{W} \qquad \textbf{Ec.10}$$

Donde:

V cortante basal de diseño
S_{aT} aceleración espectral correspondiente al periodo T
R factor de reducción de respuesta sísmica
W peso sísmico
T periodo de vibración de la estructura
I_e factor de importancia sísmica

Desarrollo

$$V = \frac{1.25 * 0.75}{8} * 175184.33$$

$$\boldsymbol{V = 20426.70\ kN}$$

Cortante Basal Mínimo

$$V_{min} = \frac{I_e * Z * F_a}{8} * W \geq 0.03 * W \qquad \textbf{Ec.11}$$

Donde:
V_{min} cortante basal mínimo de diseño
F_a coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto
W peso sísmico
Z aceleración máxima esperada en roca para el sismo de diseño
I_e factor de importancia sísmica

Desarrollo

$$V_{min} = \frac{I_e * Z * F_a}{8} * W \geq 0.03 * W$$

$$V_{min} = \frac{1.50 * 0.30 * 1.25}{8} * 175184.33 \geq 0.03 * 175184.33$$

$$V_{min} = 10264.70 \geq 5255.53$$

$$\boldsymbol{V_{min} = 10264.71\ kN}$$

Cortante Basal de Diseño, $V = \frac{I_e * S_{aT}}{R}$			
Cortante Basal Mínimo, Vmin $V_{min} = \frac{I_e * Z * F_a}{8} * W \geq 0.03 * W$			
Condiciones por Requerir	**Elementos por Requerir**		**Elementos de Respuesta**
Factor de Importancia sísmica	Edificaciones cuya falla podría representar un riesgo sustancial para la vida humana y edificaciones no incluidas en la categoría de riesgo IV.	III	1.25
Factor de Reducción de respuesta sísmica	Pórticos arriostrados excéntricamente de acero		8.00
Peso Sísmico (W) en kN	175184.33		
Cortante Basal de Diseño (V) en kN	**20426.70**		
Cortante Basal Mínimo (Vmin) en kN	10264.71	5255.53	**Ok**
	10264.71		

Tabla 25: Cálculo del Cortante Basal de diseño y mínimo

Distribución Vertical de Fuerzas Laterales

T(s)	k
T≤0.5	1
0.5<T<2.5	0.75+0.50T
T≥2.5	2

Tabla 26: Distribución Vertical de Fuerzas Laterales

Período Fundamental de Vibración (T)= 0.6613

$$k = 0.75 + 0.50 * 0.6613$$
$$k = 1.08$$
$$F_x = \frac{W_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k} * V \qquad \textbf{Ec.12}$$

F_x fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura
h_x altura medida desde la base al piso x de la estructura
h_i altura medida desde la base al piso i de la estructura
n número de pisos de la estructura
V cortante basal de diseño
k coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura
$W_i$es la porción del peso sísmico localizado o asignado al nivel i
$W_x$porción del peso sísmico localizado o asignado al nivel x

Desarrollo

Piso	h_x(m)	h_x^k	W_x (Ton)	W_x (kN)	$W_x h_x^k$ (kN*m)	$F_x = \frac{W_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k} * V$(kN)
1	3.42	3.776622907	14510.01	142295.3151	537395.7464	6762.26089
2	8.1	9.58889306	7445.95	73020.19787	700182.8685	8810.67492
3	12.6	15.45726155	1794.72	17600.28062	272052.1409	3423.33851
4	15.88	19.84804704	584.02	5727.308934	113675.8972	1430.42828
					$\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k =$ **1623306.653 kN*m**	$\sum F_x =$ **20426.7026 kN**

Tabla 27: Distribución de la fuerza lateral por piso

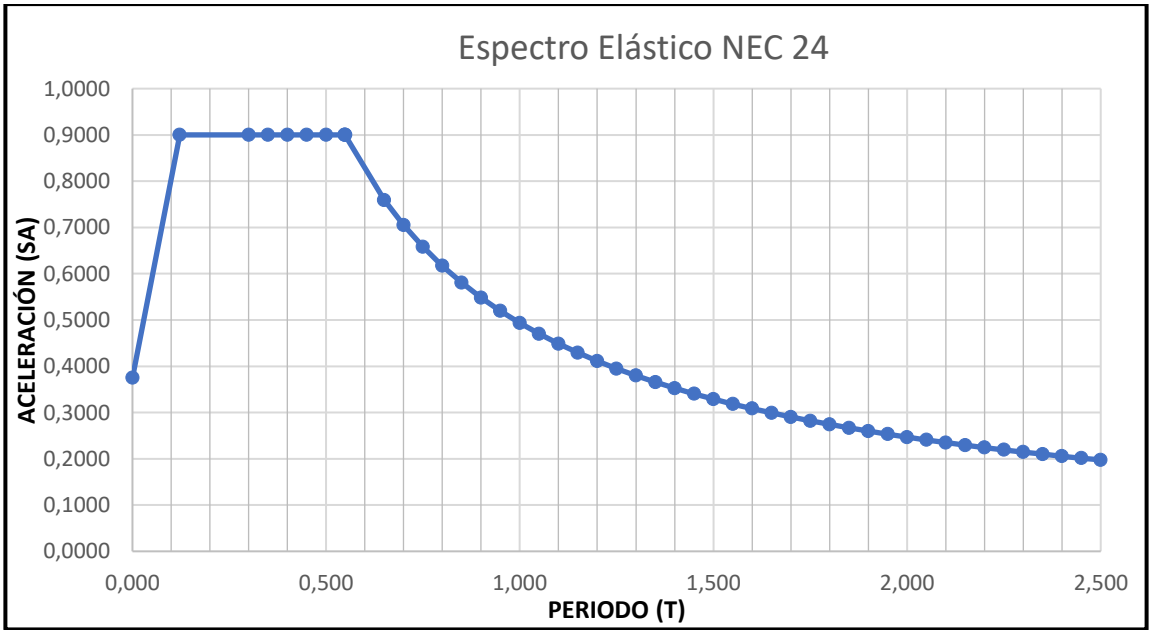


Figura 13: Espectro de diseño NEC 24

3.6.2.1.2. Espectro ASCE 7-22

Parámetros de diseño del espectro sísmico multi-período (ASCE 7-22)

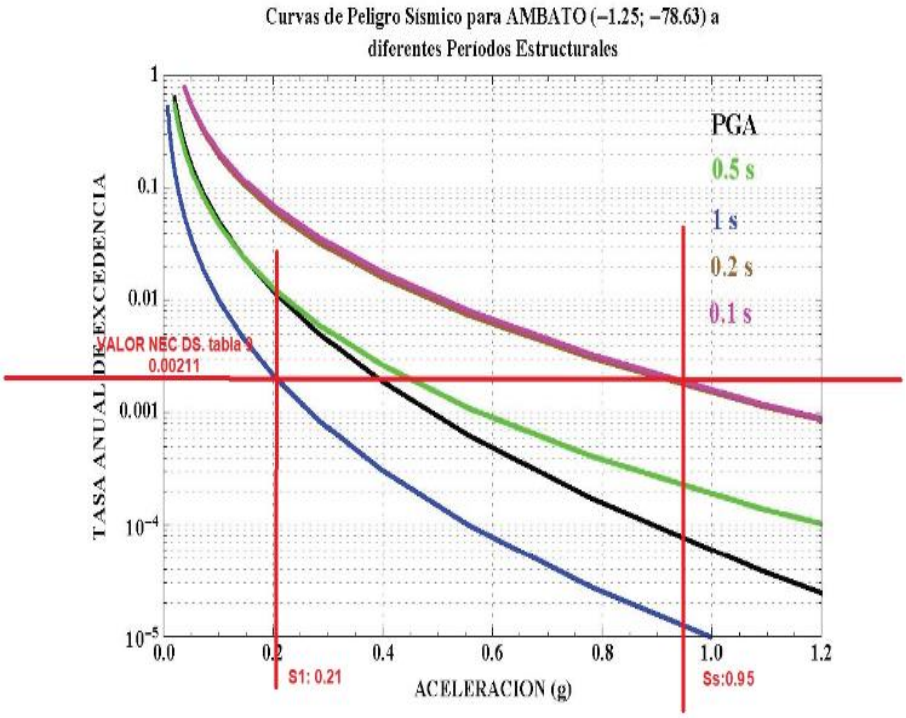


Figura 14: Curvas de peligro sísmico, Ambato

	DATOS	
Periodo de la Estructura	T (s)	0.43
	Fa	1.25
	Ss	0.96
	S1	0.22
	Fv	2.20

Tabla 28: Datos estructura según ASCE 7-22

S_s Parámetro de aceleración de respuesta espectral MCER (Máximo terremoto considerado como objetivo de riesgo asignado) mapeado.

S_1 Parámetro de aceleración de respuesta espectral MCER (Máximo terremoto considerado como objetivo de riesgo asignado) mapeado en un período de 1 s.

T Periodo fundamental de la estructura

S_{DS} Parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño, 5 %amortiguado, en períodos cortos.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} * S_{MS} \qquad \textbf{Ec.13}$$
$$S_{DS} = \frac{2}{3} * 1.20$$
$$S_{DS} = 0.80$$

S_{D1} parámetro de aceleración de la respuesta espectral de diseño en un periodo de 1 s

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1} \qquad \textbf{Ec.14}$$
$$S_{D1} = \frac{2}{3} * 0.48$$
$$S_{D1} = 0.32$$

$$T_0 = 0.2\left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}}\right) \qquad \textbf{Ec.15}$$
$$T_0 = 0.2\left(\frac{0.32}{0.80}\right)$$
$$T_0 = 0.08$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \qquad \textbf{Ec.16}$$
$$T_S = \frac{0.32}{0.80}$$
$$T_S = 0.40$$

Ecuación utilizada para períodos mayores que T_S y menores o iguales que T_L, el parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \qquad \textbf{Ec.17}$$
$$S_a = \frac{0.32}{0.43}$$
$$S_a = 0.744$$

S_a 5% de aceleración de respuesta espectral de diseño amortiguadaparámetro en cualquier período

Ecuación utilizada para períodos mayores que T_L

$$S_a = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2}$$

T_L = Los períodos de transición de largo plazo

T_L para los Estados Unidos

Categoría de riesgo	Factor de importancia sísmica, Ie
I	1.00
II	1.00
III	1.25
IV	1.50

Tabla 29: Factores de importancia por categoría de riesgo de edificaciones y otras estructuras para cargas sísmicassegún ASCE 7-22

RESUMEN DE DATOS CALCULADOS	
T0	0.08
T (s)	0.43
SMS	1.20
SM1	0.48
SDS	0.80
SD1	0.32
TS	0.40
TL	3.00
R	8
Ie	1.25
W_x (kN)	238640.69

Tabla 30: Datos calculados según ASCE 7-22

S_{MS} parámetro de aceleración de respuesta espectral amortiguado al 5%en períodos cortos ajustados por los efectos del sitio

S_{M1}parámetro de aceleración de respuesta espectral amortiguado al 5%en un período de 1 s ajustado por los efectos del sitio.

Método coeficiente de respuesta sísmica, Cs ASCE 7-22

Para $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T*\left(\frac{R}{I_e}\right)} \qquad \textbf{Ec.18}$$

Para $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}*T_L}{T^2*\left(\frac{R}{I_e}\right)} \qquad \textbf{Ec.19}$$

Desarrollo Para $T \leq T_L 0.43 \leq 3$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T*\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_s = \frac{0.32}{0.43 * \left(\frac{8}{1.25}\right)}$$

$$C_s = 0.116$$

Fuerza lateral sísmica ASCE $7 - 22 = C_s * W_x$

Fuerza lateral sísmica ASCE $7 - 22 = 27748.917$ kN

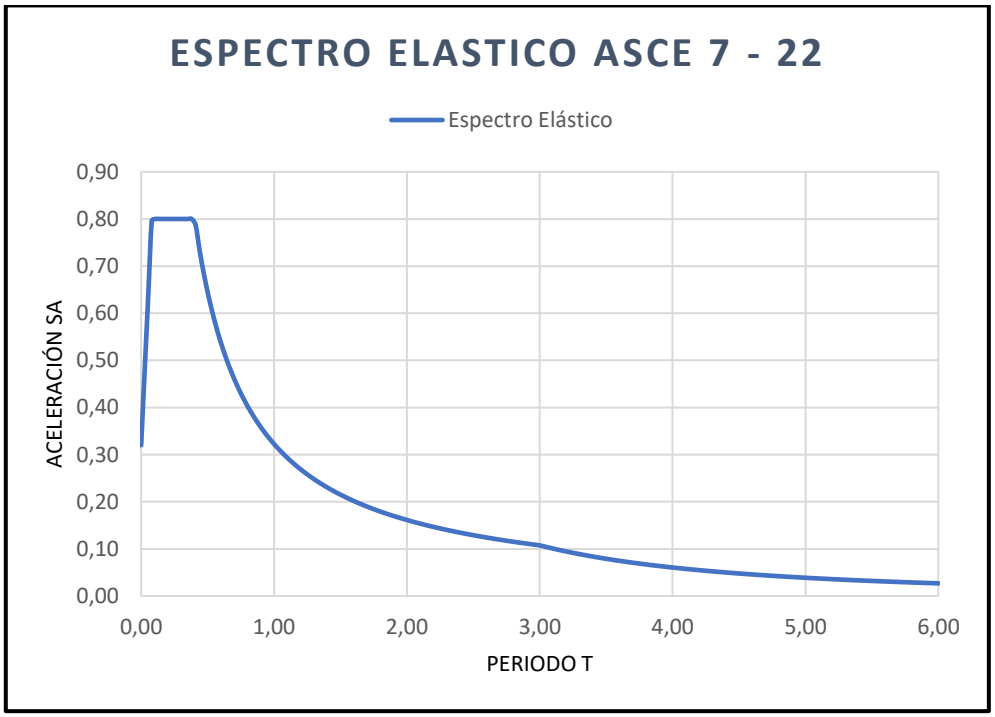


Figura 15: Espectro de diseño ASCE 7-22

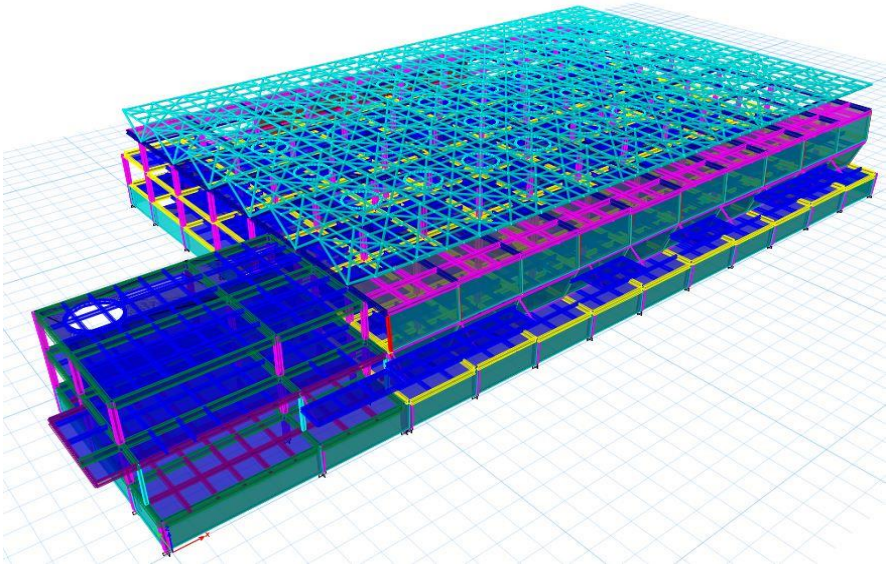


Figura 16: Modelo isométrico o tridimensional de la estructura o edificación

3.6.2.2 Análisis dinámico no lineal Tiempo - Historia

Se cargo los 3 registros sísmicos correspondientes al programa ETABS en sus respectivas direcciones E-W y N-S como se observa a continuación.

LUGAR	Año	Estación	Componente 1	Componente 2	Magnitud	PGA máx E-O (g)	PGA máx N-S (g)
Coalinga-01	1983	Cantua Creek School	COALINGA.H_H-CAK360.AT2	COALINGA.H_H-CAK270.AT2	6.36	0.282	0.23
Northridge-01	1994	Canyon Country-W-LostCany	RSN960_NORTHR_LOS270.AT2	RSN960_NORTHR_LOS000.AT2	6.69	0.47	0.41
Iwate_Japan	2008	IWTH20	SN5652_IWATE_IWTH20EW.AT2	RSN5652_IWATE_IWTH20NS.AT2	6.9	0.242	0.26

Tabla 31: Registros sísmicos ingresados en el programa ETABS

Para el ANLD TH se seleccionó registros sísmicos considerando factores como magnitud sísmica, tipo de suelo, mecanismo de falla entre otros, además de su respectiva corrección y escalado de los acelerogramas y que también se realizó la configuración de los parámetros no lineales y los casos de carga para el posterior análisis.

Acelerograma corregido por línea base y filtrado COALINGA EW SeismoSignal

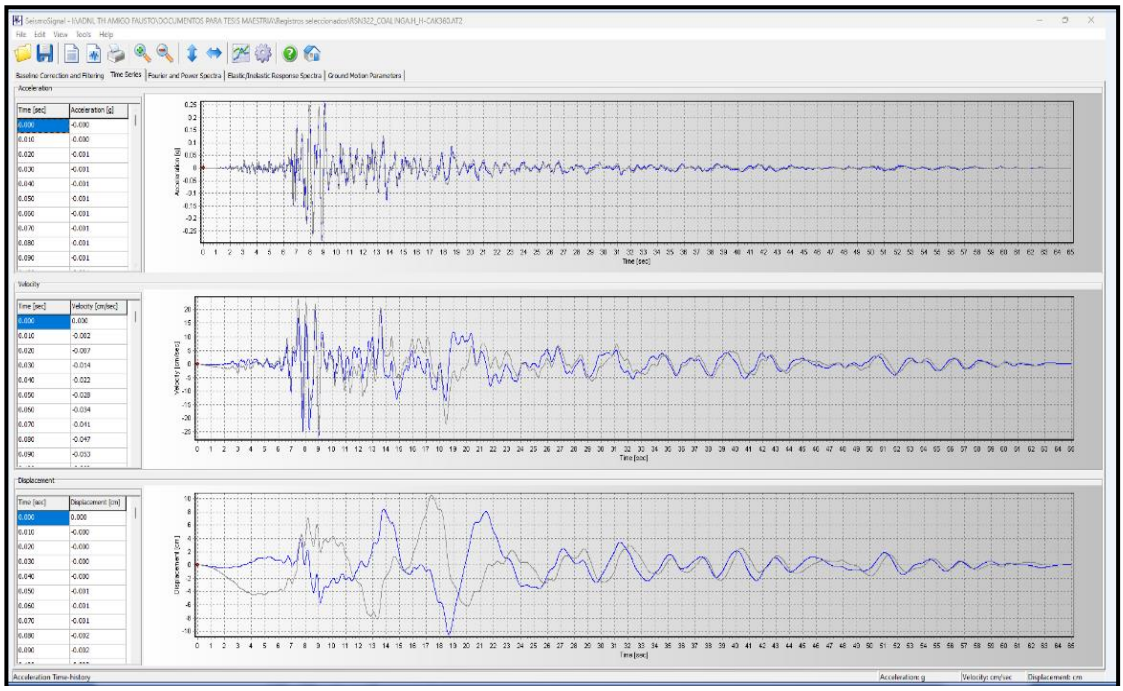


Figura 17: Acelerograma corregido por línea base y filtrado COALINGA EW SeismoSignal

Acelerograma corregido por línea base y filtrado COALINGA NS SeismoSignal

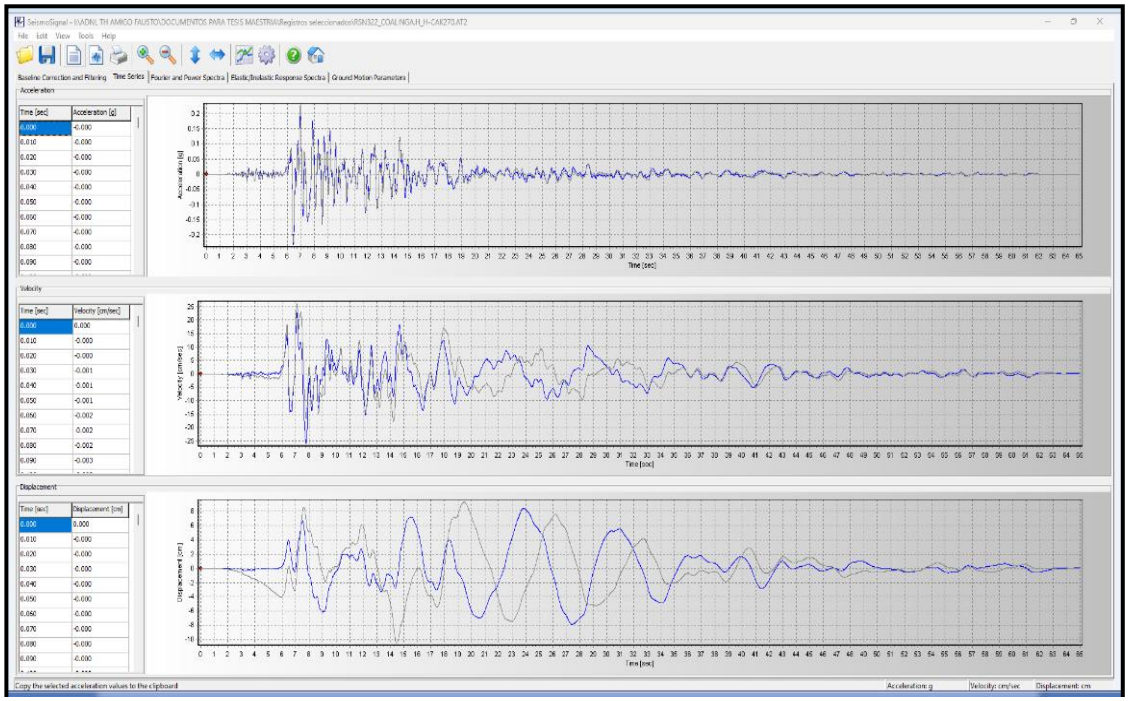


Figura 18: Acelerograma corregido por línea base y filtrado COALINGA NS SeismoSignal

Acelerograma corregido por línea base y filtrado IWATE EW SeismoSignal

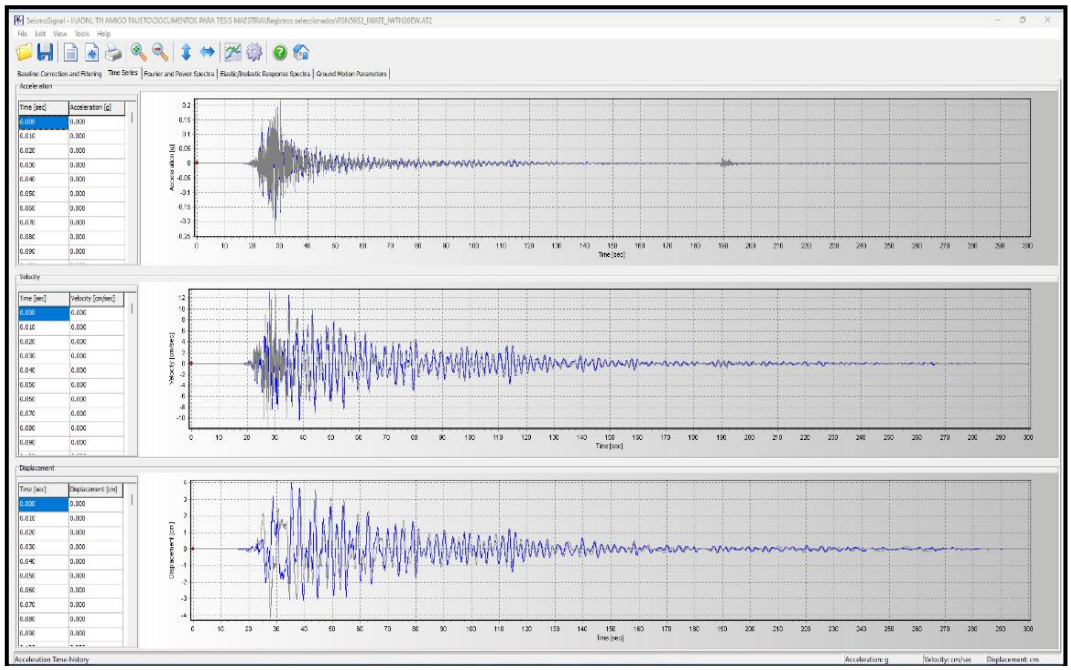


Figura 19: Acelerograma corregido por línea base y filtrado IWATE EW SeismoSignal

Acelerograma corregido por línea base y filtrado IWATE NS SeismoSignal

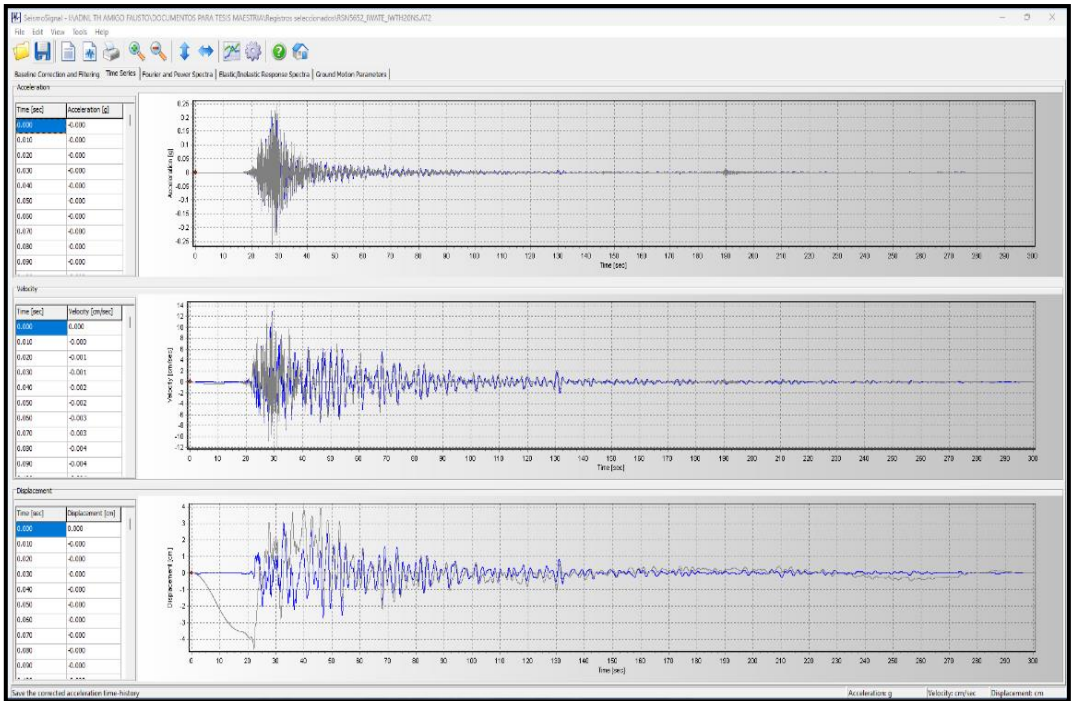


Figura 20: Acelerograma corregido por línea base y filtrado IWATE NS SeismoSignal

Acelerograma corregido por línea base y filtrado NORTHR WE SeismoSignal

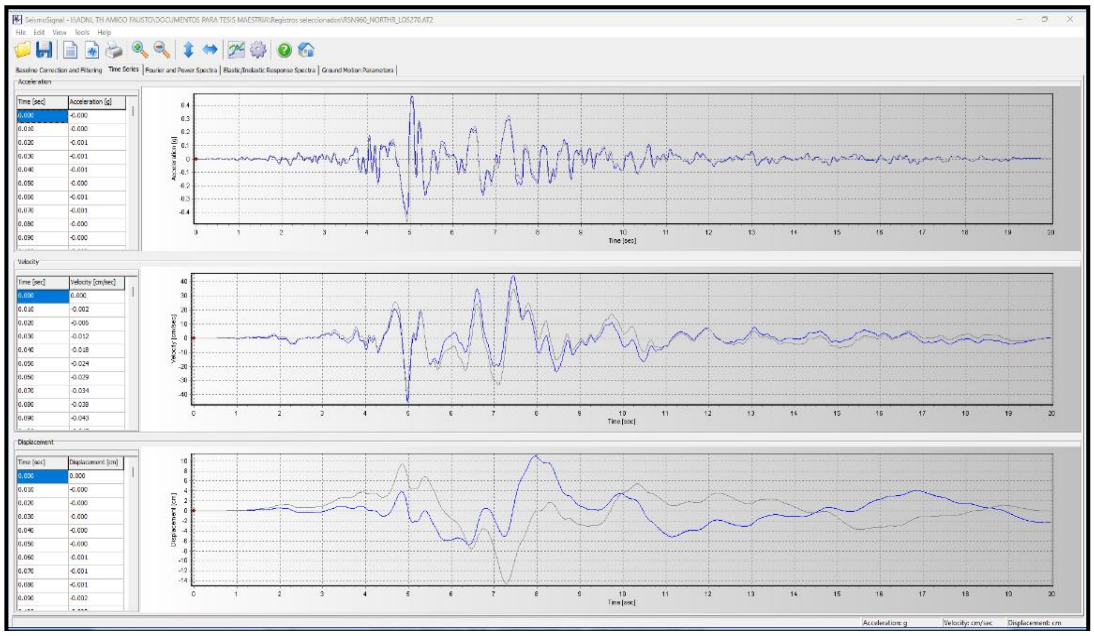


Figura 21: Acelerograma corregido por línea base y filtrado NORTHR WE SeismoSignal

Acelerograma corregido por línea base y filtrado NORTHR NS SeismoSignal

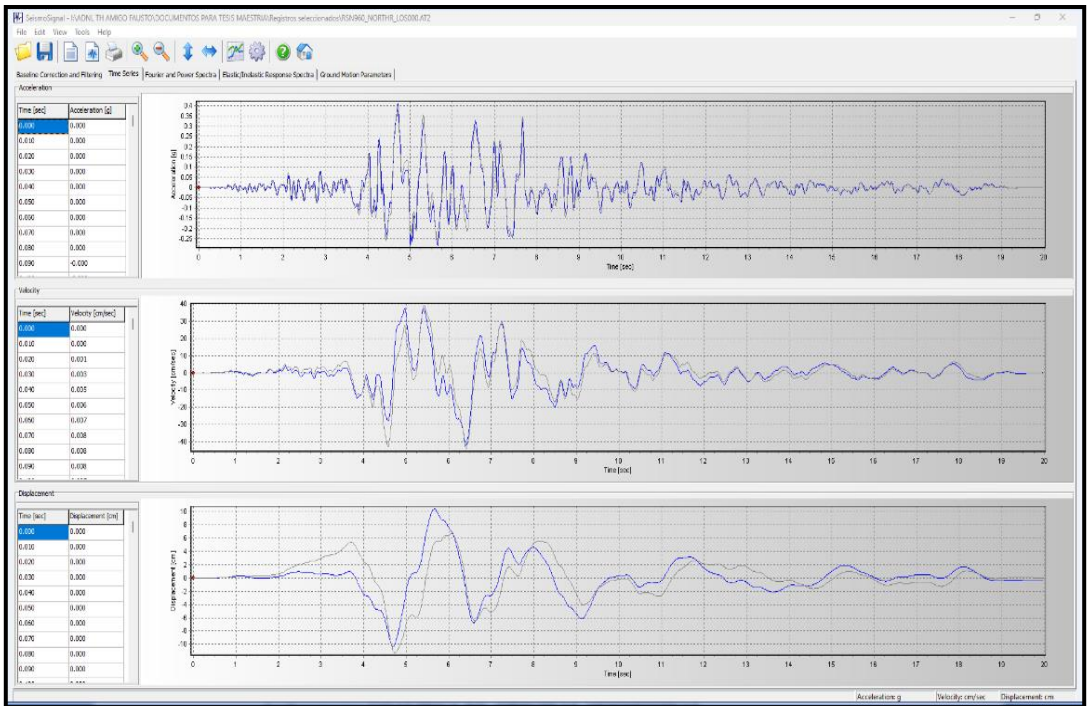


Figura 22: Acelerograma corregido por línea base y filtrado NORTHR NS SeismoSignal

Acelerograma sin escalar

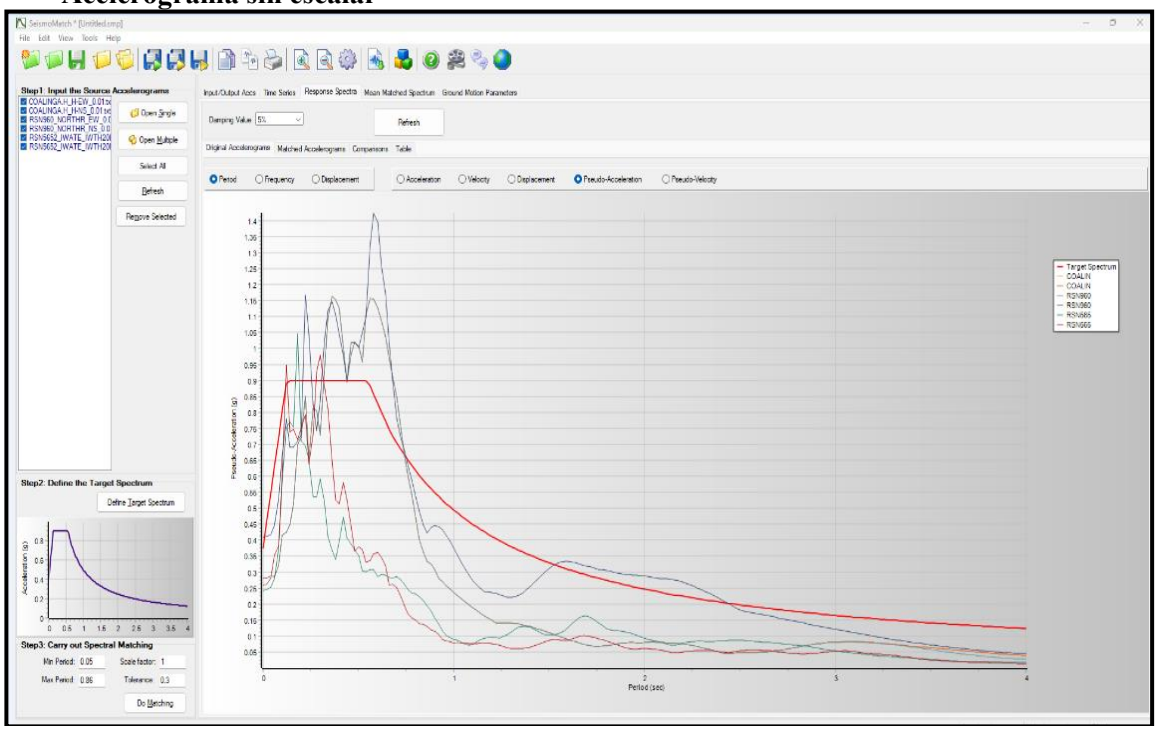


Figura 23: Acelerograma sin escalar

Acelerogramas escalados al espectro de diseño SeismoMatch

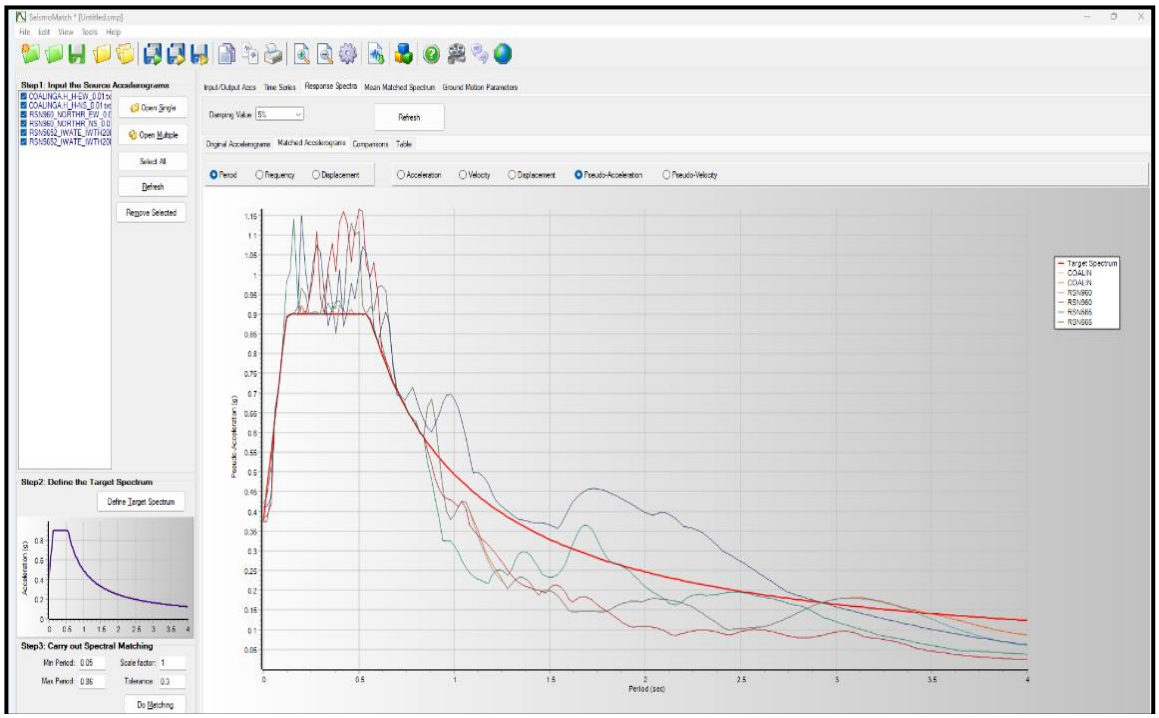


Figura 24: Acelerogramas escalados al espectro de diseño SeismoMatch

Acelerogramas escalado SeismoMatch

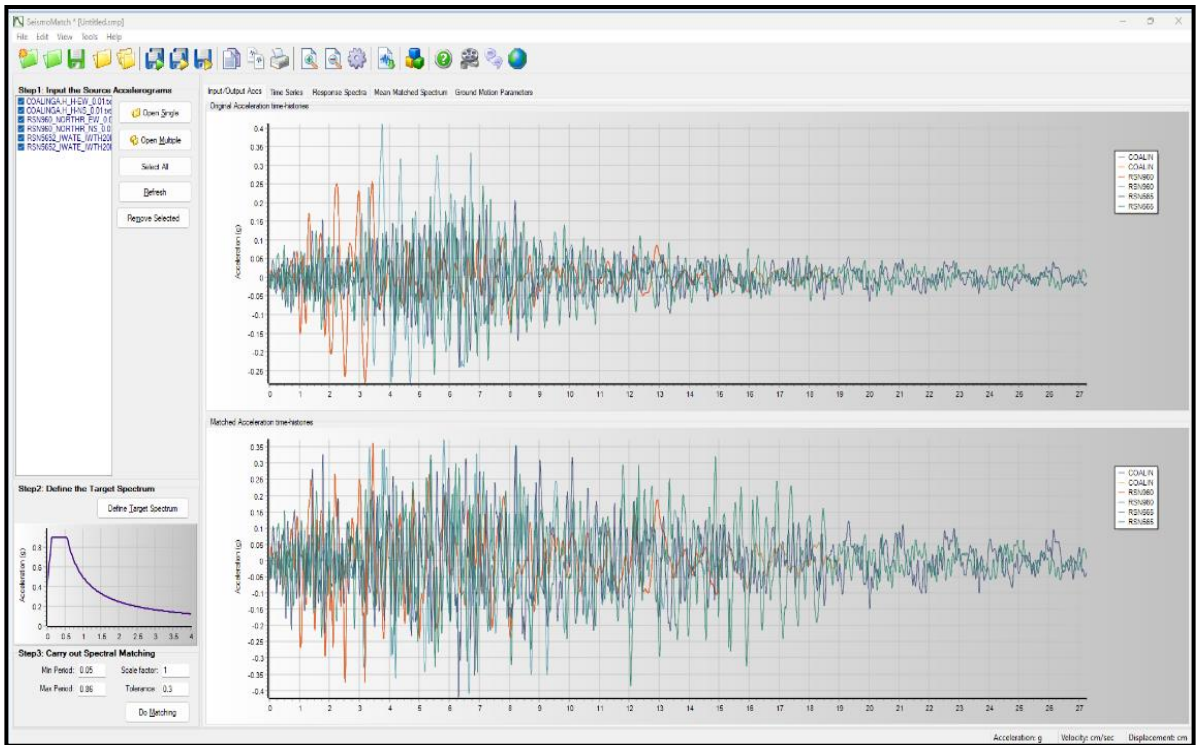


Figura 25: Acelerogramas escalado SeismoMatch

Se realizó un recorte de los acelerogramas considerando solo el rango más relevante de acuerdo con la intensidad de arias 5% y 95%.

LUGAR	Año	Estación	Componente 1	Componente 2	Magnitud	PGA Max	PGA máx	Intervalo (s)	
						E-O (g)	N-S (g)	inicio	fin
Coalinga-01	1983	Cantua Creek School	COALINGA.H_H-CAK360.AT2	COALINGA.H_H-CAK270.AT2	6.36	0.282	0.23	5.69	24.7
Northridge-01	1994	Canyon Country - W LostCany	RSN960_NORTHR_LOS270.AT2	RSN960_NORTHR_LOS000.AT2	6.69	0.47	0.41	0.96	16.01
Iwate_ Japan	2008	IWTH20	RSN5652_IWATE_IWTH20EW.AT2	RSN5652_IWATE_IWTH20NS.AT2	6.9	0.242	0.26	19.29	47.12

Tabla 32: Intervalo de recorte de acelerogramas.

En la siguiente figura se observa el rango seleccionado para el recorte del acelerograma.

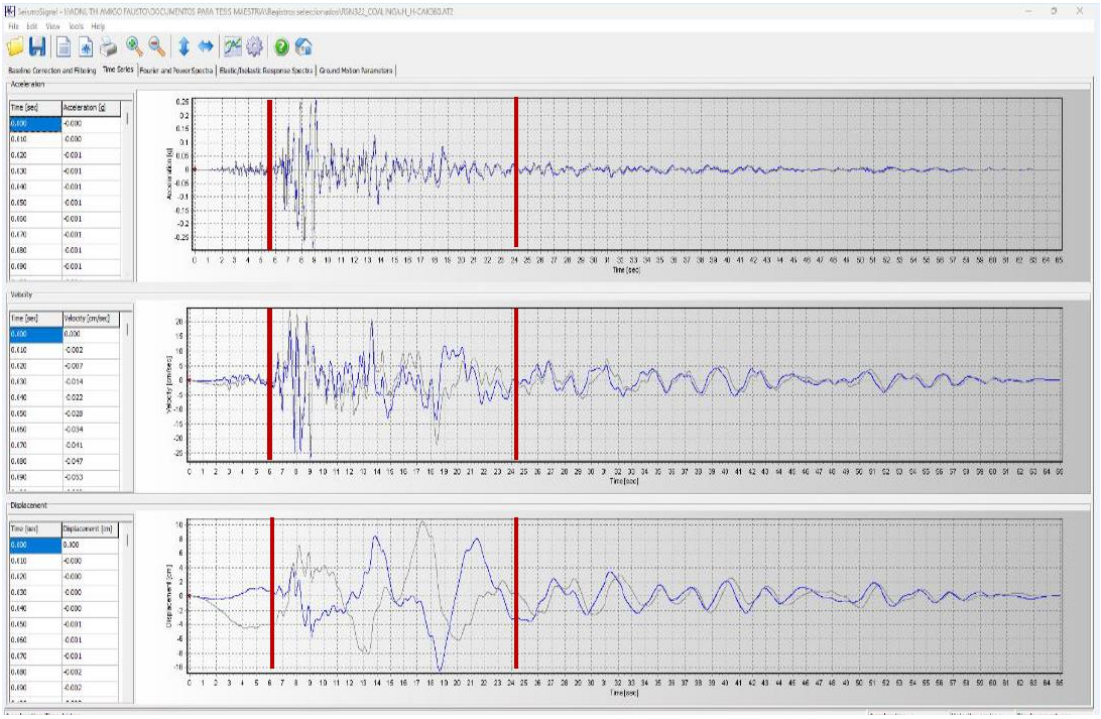


Figura 26: Selección para el recorte de acelerograma.

Promedio de todos los acelerogramas escalados

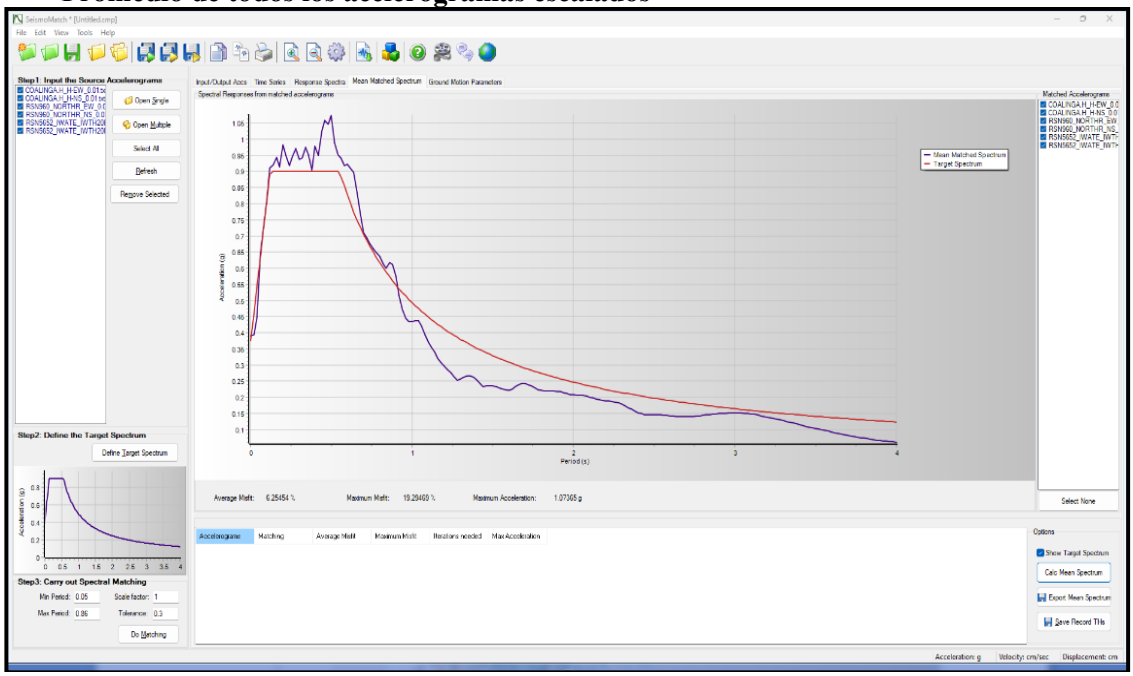


Figura 27: Promedio de todos los acelerogramas escalados

Configuración de los acelerogramas ingresados NEC 24

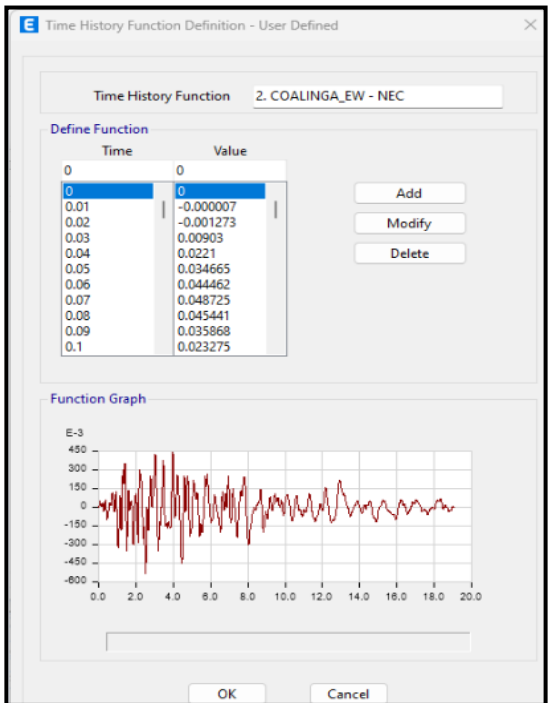


Figura 28: ETABS COALINGA EW

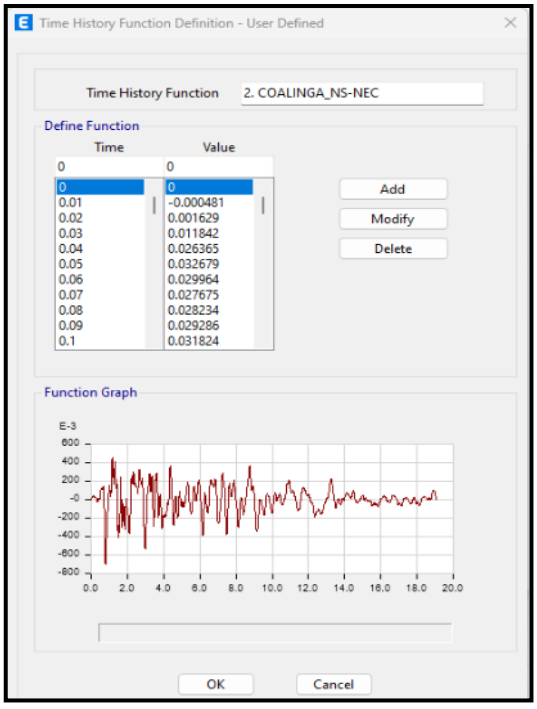


Figura 29: ETABS COALINGA NS

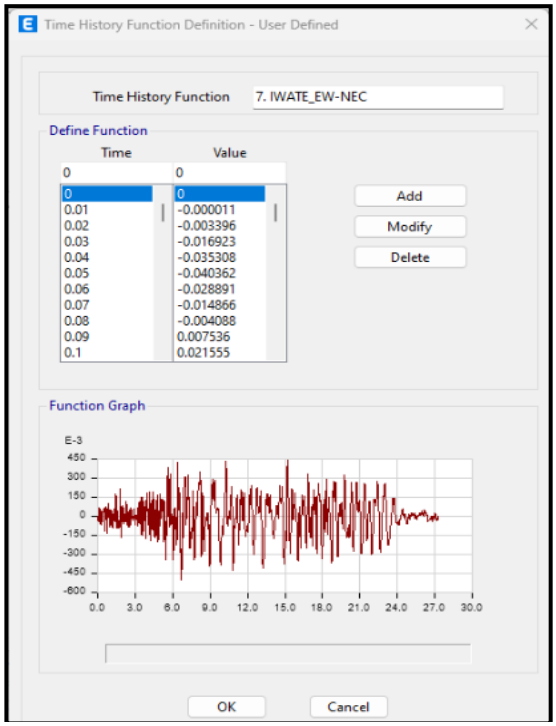


Figura 30: ETABS IWATE EW

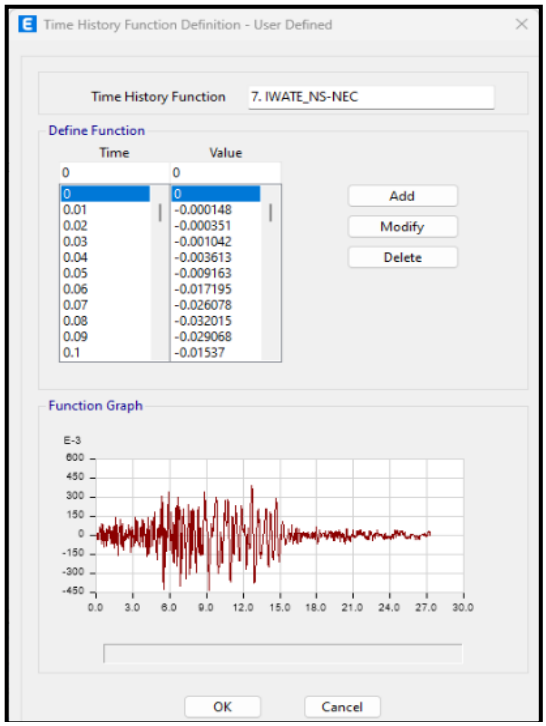


Figura 31: ETABS IWATE NS

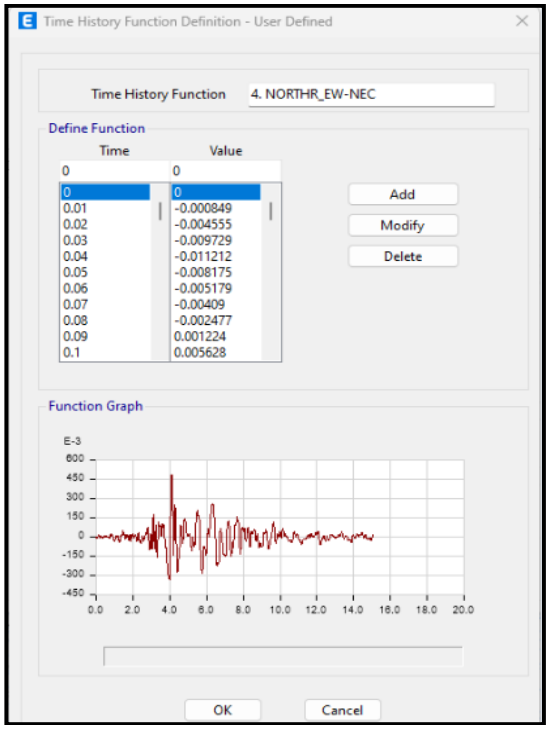


Figura 32: ETABS NORTHR EW

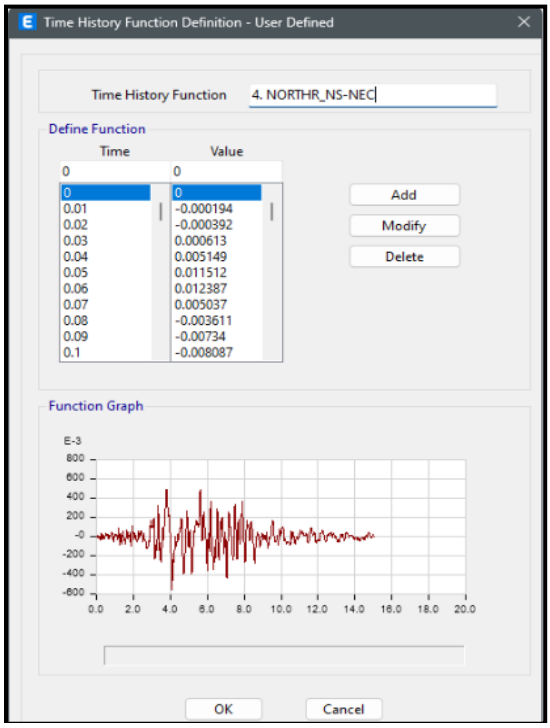


Figura 33: ETABS NORTHR NS

Acelerogramas ingresados al programa ETABS NEC 24

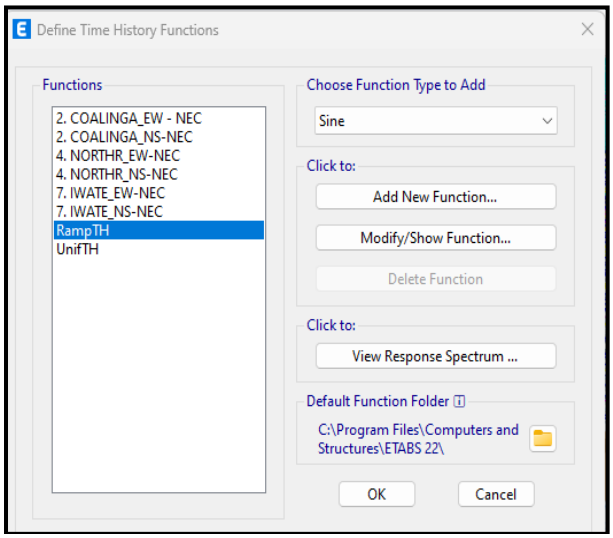


Figura 34: Acelerogramas ingresados al programa ETABS NEC 24

Configuración de los acelerogramas ingresados ASCE 7-22

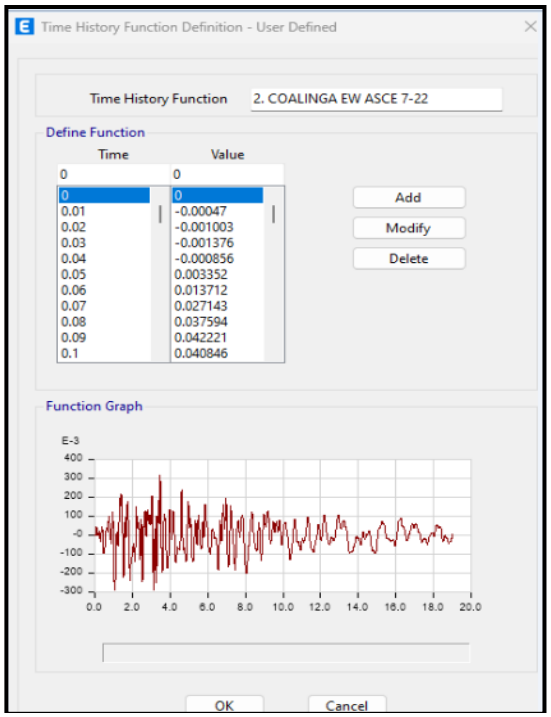


Figura 35: ETABS COALINGA EW

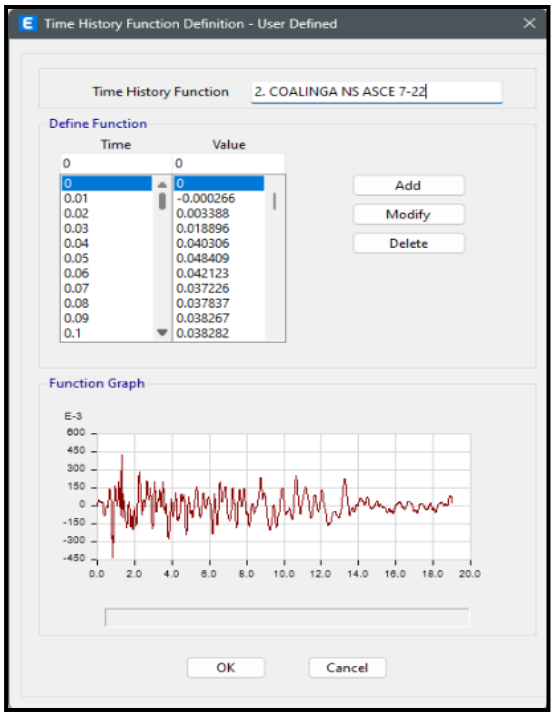


Figura 36: ETABS COALINGANS

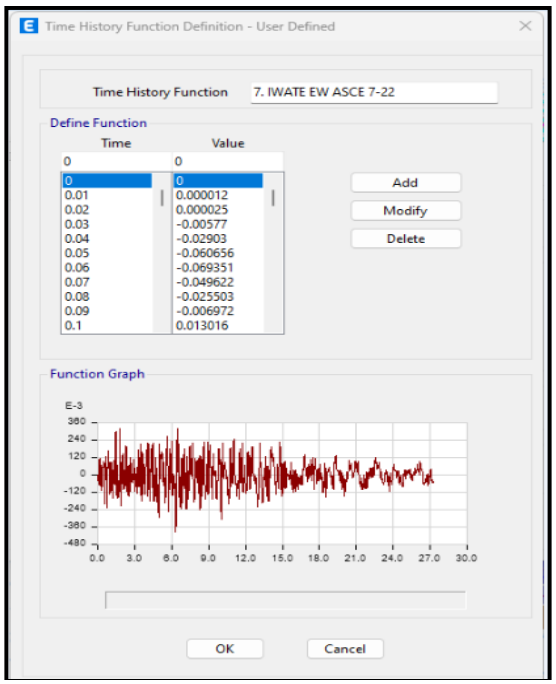


Figura 37: ETABS IWATE EW

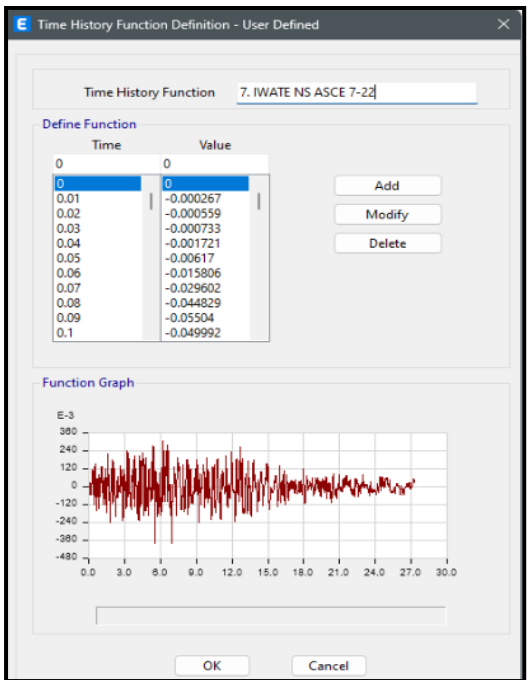


Figura 38: ETABS IWATE NS

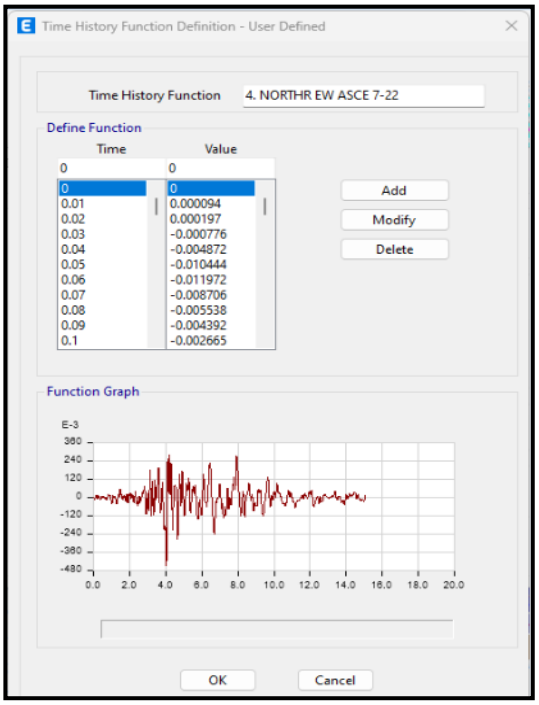


Figura 39: ETABS NORTHR EW

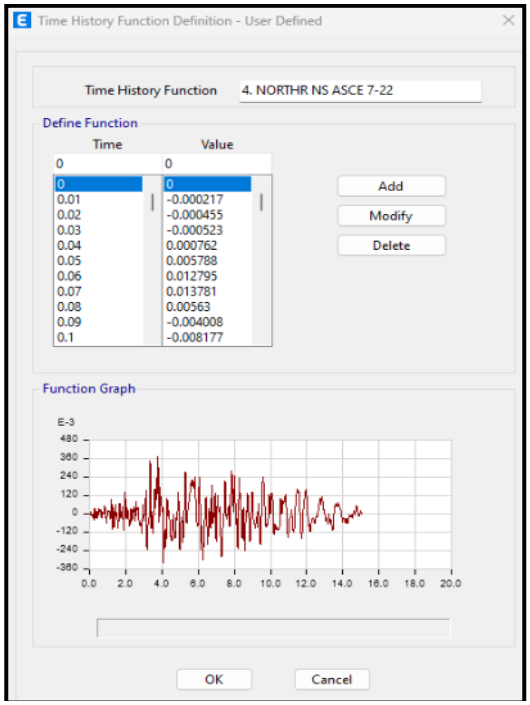


Figura 40: ETABS NORTHR NS

Acelerogramas ingresados al programa ETABS ASCE 7-22

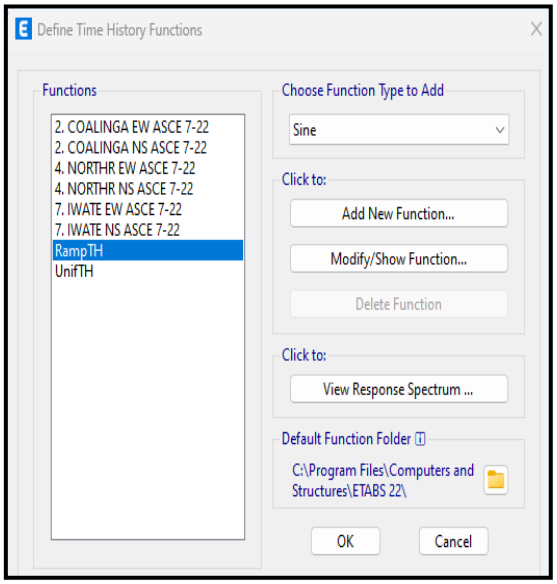


Figura 41: Acelerogramas ingresados al programa ETABS ASCE 7-22

Rótulas plásticas ASC 7-22 Y NEC 24
Configuración Rótulas Plásticas Columna

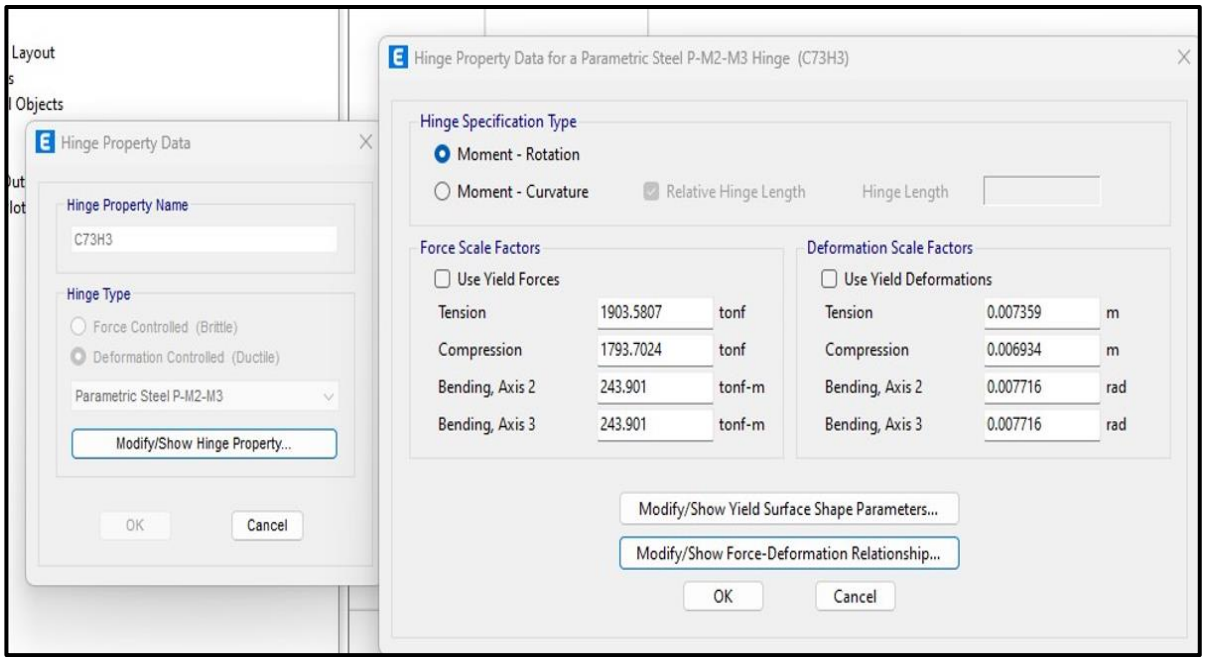


Figura 42: Configuración de rótulas plásticas en columnas

Configuración Rótulas Plásticas Columna Compuesta

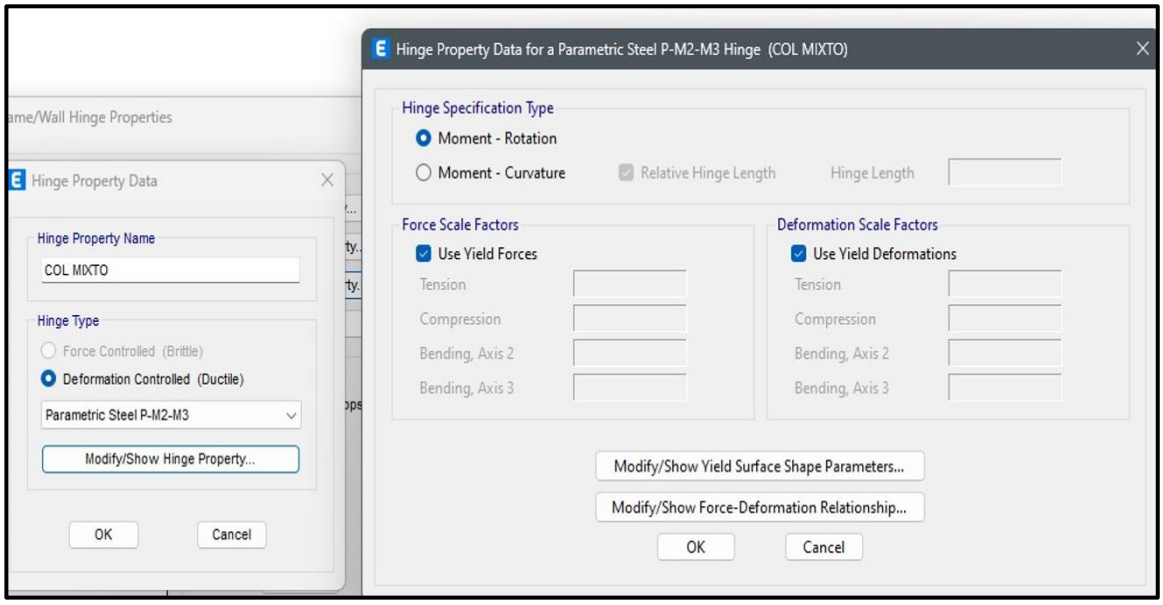


Figura 43: Configuración de rótulas plásticas columnas compuestas

Distancia Rótulas Plásticas Columnas y configuración en el programa ETABS

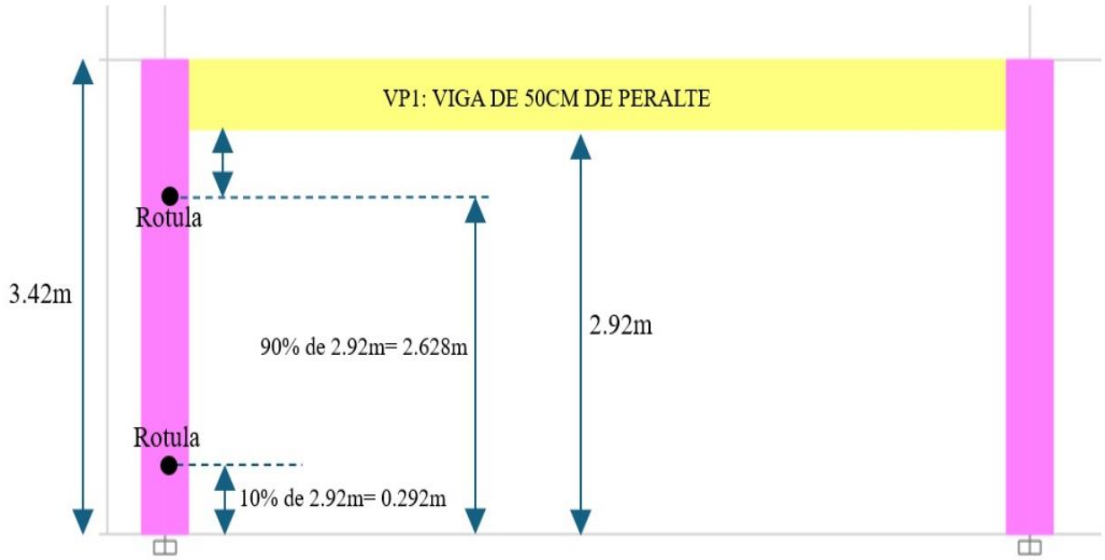


Figura 44: Distanciamiento de los Hinge 1 y 2 (rótulas plásticas) en columnas

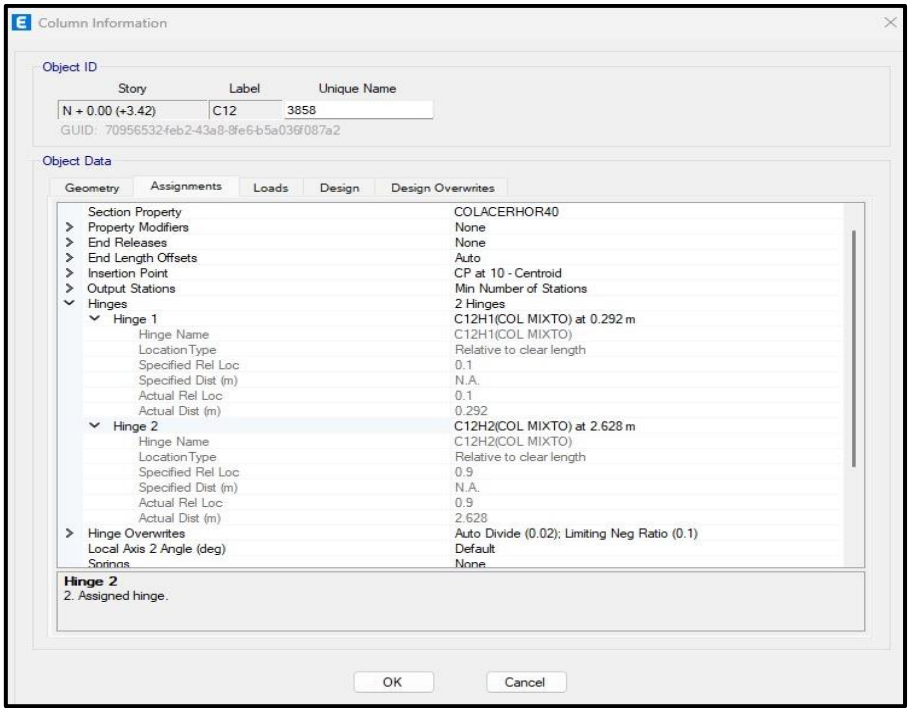


Figura 45: Distanciamiento rótulas plásticas en columnas

Información de propiedades de rótulas plásticas columna

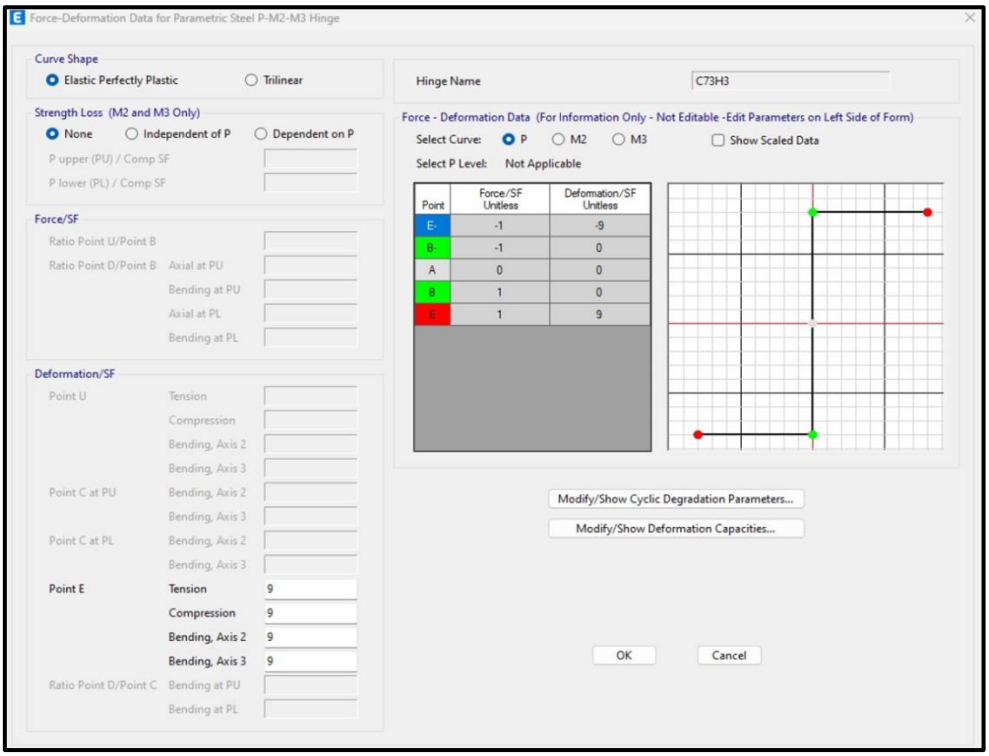


Figura 46: Datos rótulas plásticas columna

Configuración Rótulas Plásticas Vigas

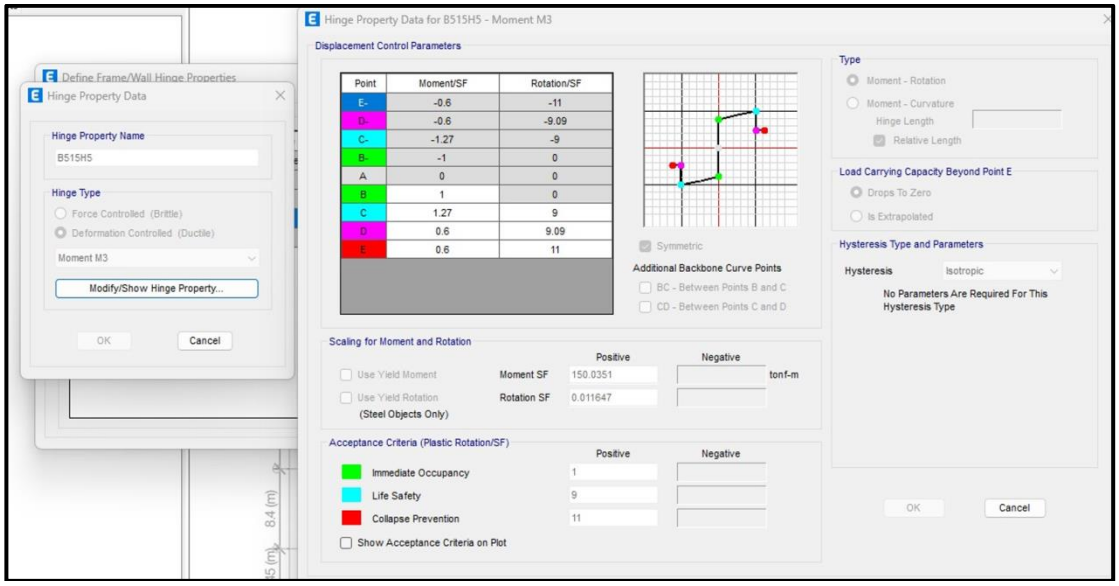


Figura 47: Configuración rótulas plásticas vigas

Distancia Rótulas Plásticas Vigas y configuración en el programa ETABS

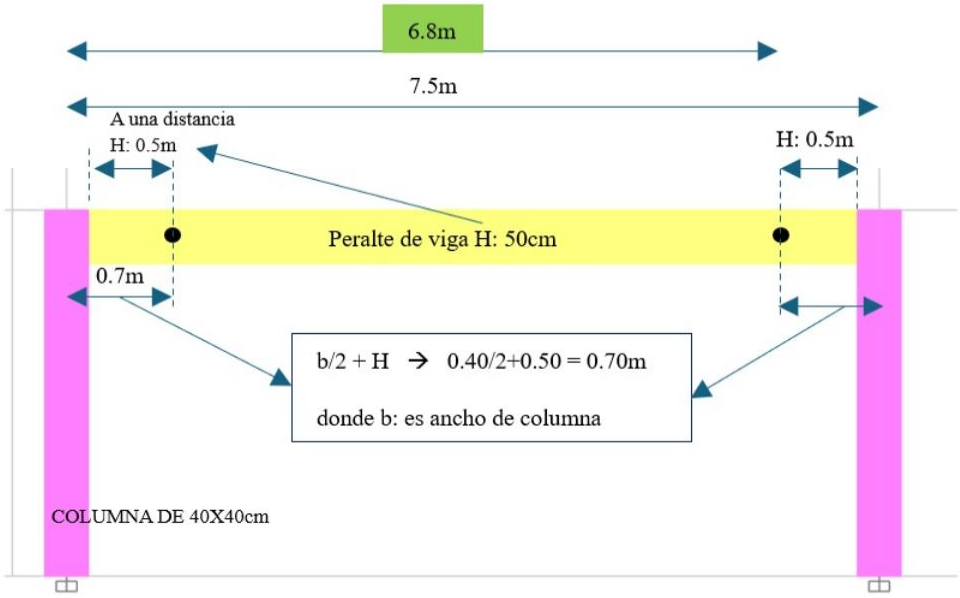


Figura 48: Distanciamiento de los Hinge 1 y 2 (rótulas plásticas) en vigas

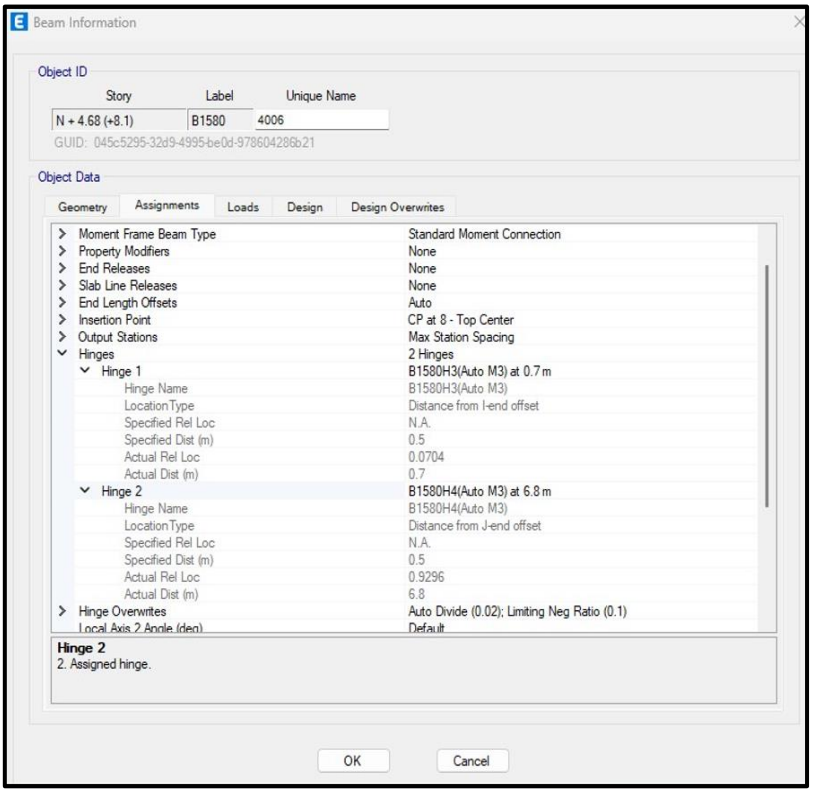


Figura 49: Configuración rótulas plásticas vigas

Configuración de distancia en los extremos de rotula

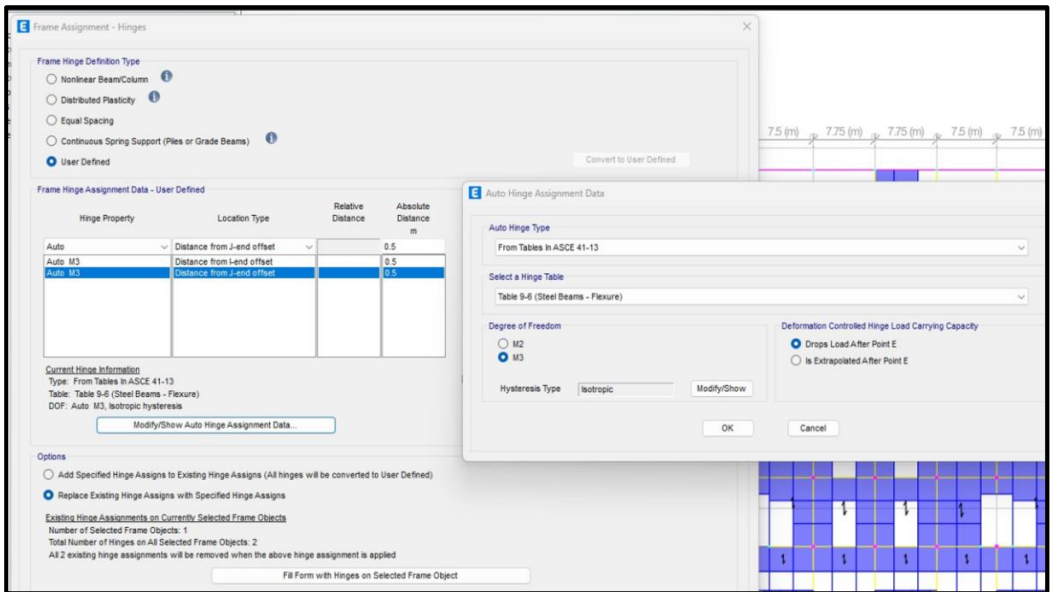


Figura 50: Información datos rótulas plásticas vigas

Configuración Función rampa

Para el caso de carga por gravedad es necesario la definición de una función rampa el cual permite convertir las cargas estáticas iníciales en cargas dinámicas (condición inicial relevante para el ADNL), los cuales fueron útiles para la configuración de caso de carga tiempo-historia posterior. Además, en el análisis dinámico no lineal, se debe tener en cuenta que no se aplica el principio de superposición. Por lo tanto, es esencial desarrollar una función que incluya el peso de la estructura (carga gravitacional), transformándola en cargas laterales.

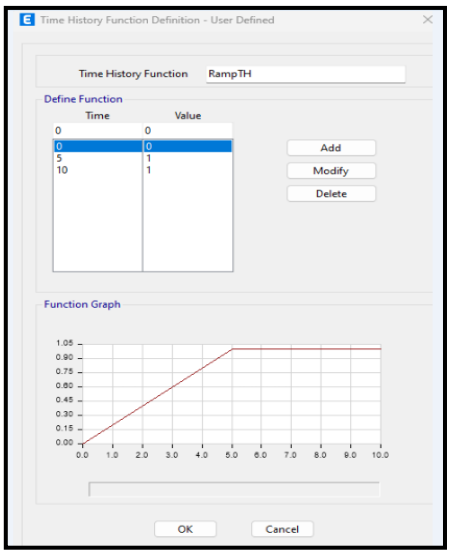


Figura 51: Función rampa

Configuración Caso Gravitacional TH NEC 24 Y ASCE 7-22

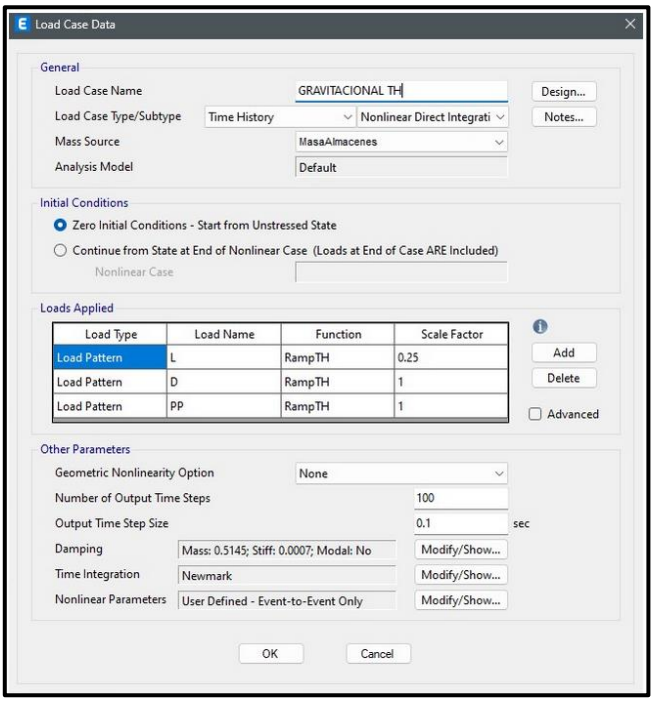


Figura 52: Caso de carga por gravedad TH

Configuración Casos de carga dinámica NEC 24

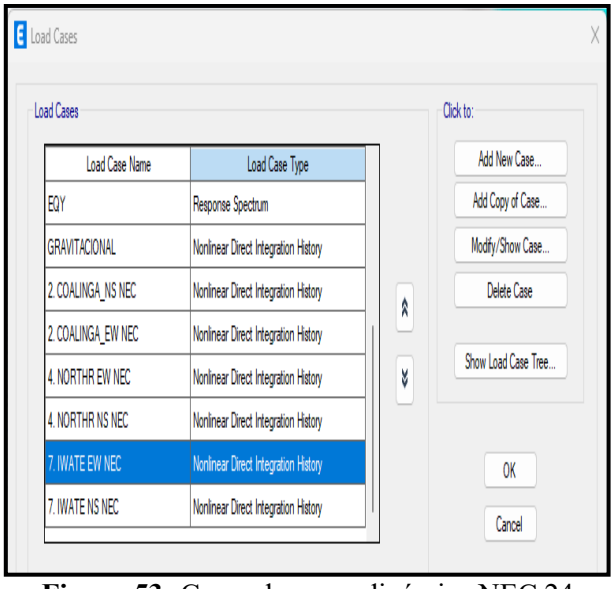


Figura 53: Casos de carga dinámica NEC 24

Configuración Casos Dinámicos NEC 24

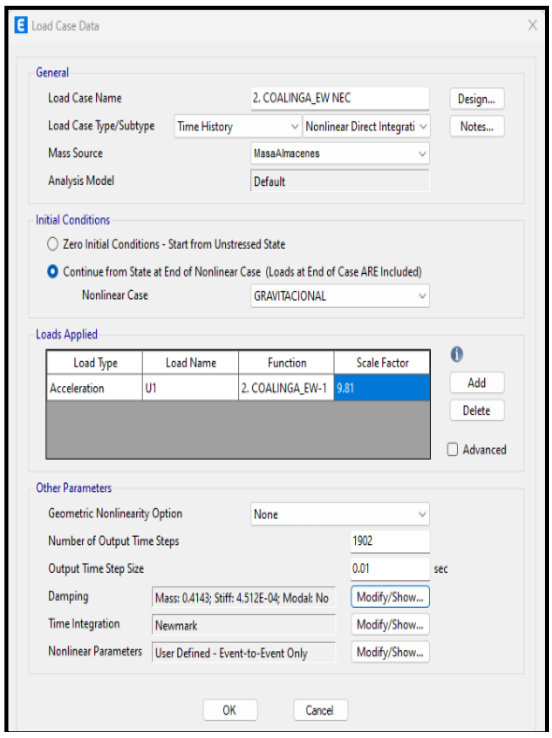


Figura 54: COALINGA EW NEC 24

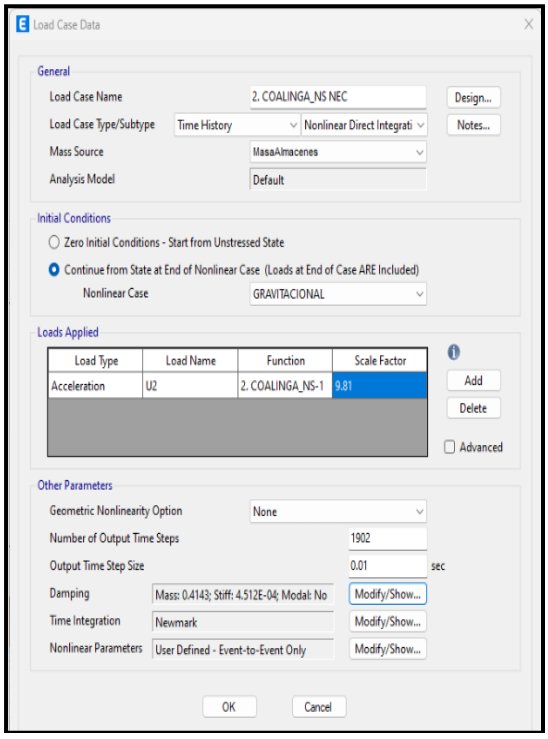


Figura 55: COALINGA NS NEC 24

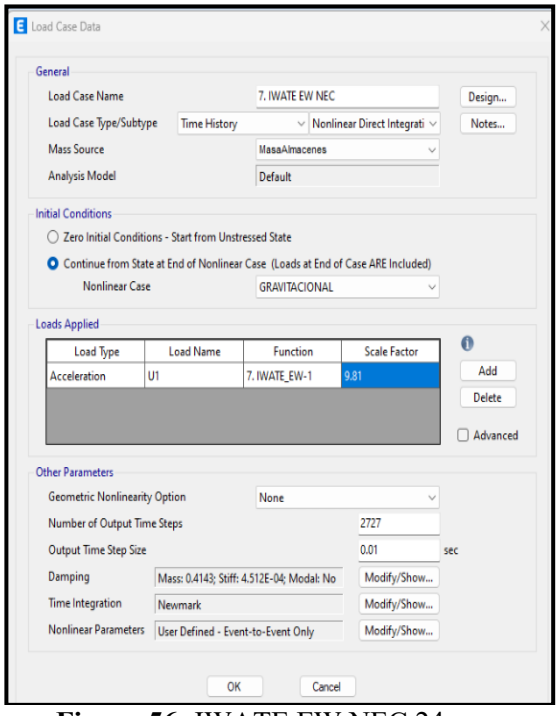


Figura 56: IWATE EW NEC 24

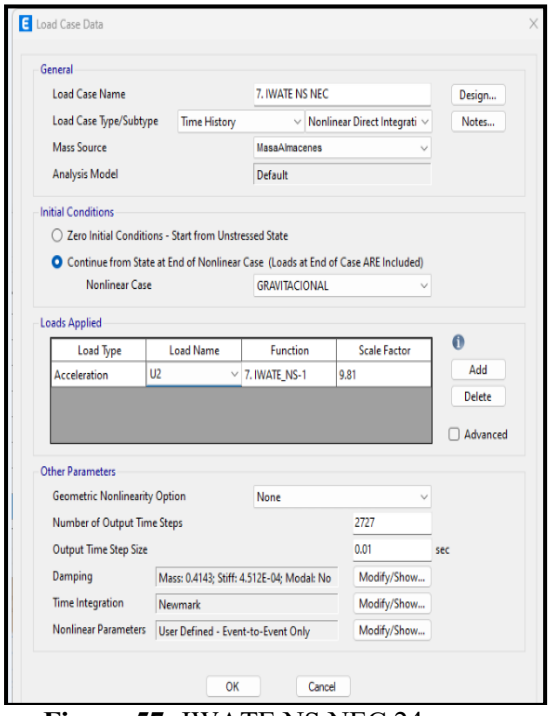


Figura 57: IWATE NS NEC 24

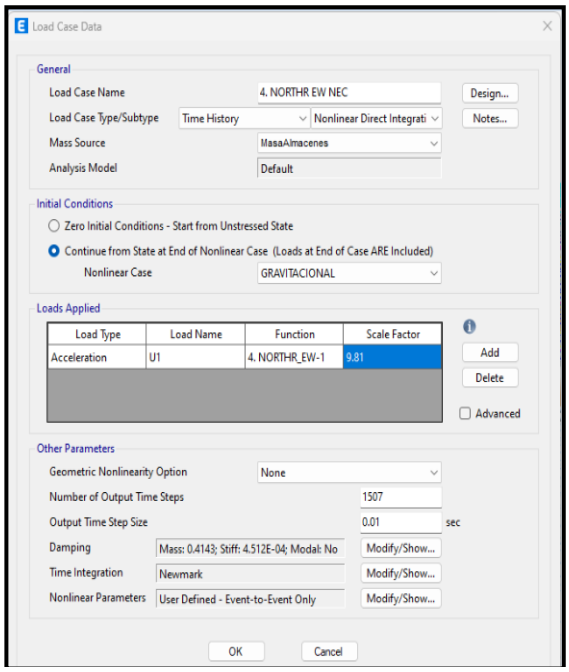


Figura 58: NORTHR EW NEC 24

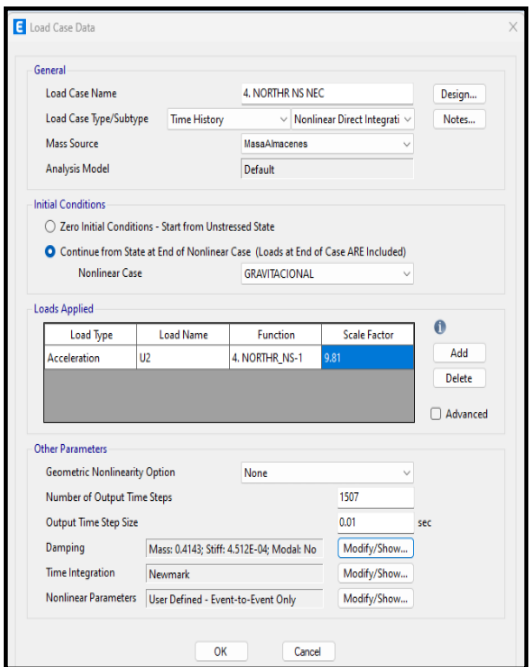


Figura 59: NORTHR NS NEC 24

Configuración de parámetros no lineales

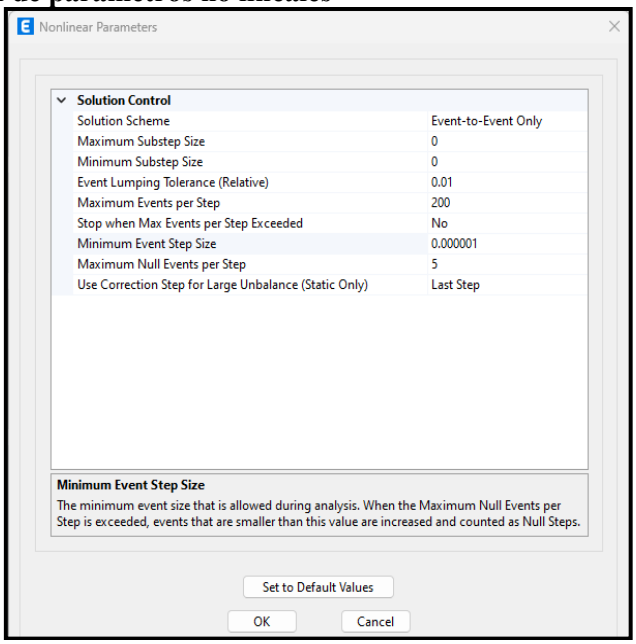


Figura 60: Configuración de parámetros no lineales

Configuración Casos Dinámicos ASCE7-22

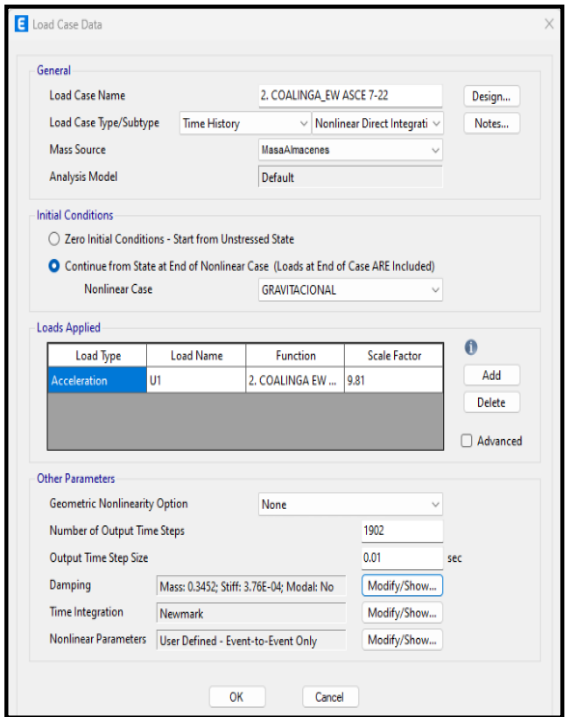


Figura 61: COALINGA EW ASCE 7-22

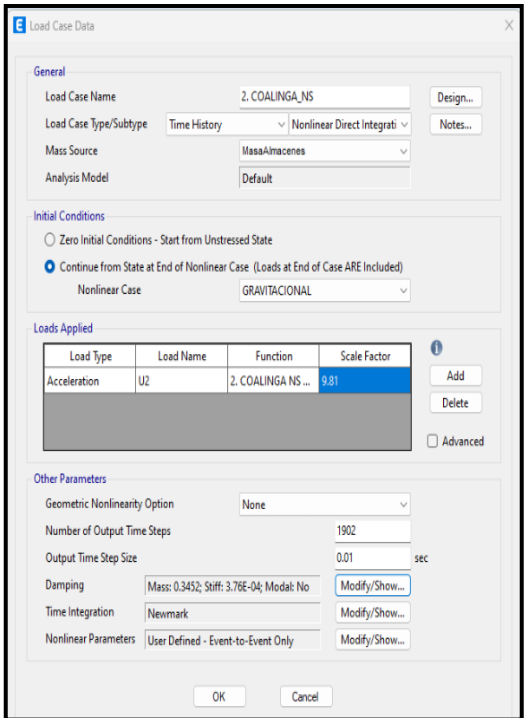


Figura 62: COALINGA NS ASCE

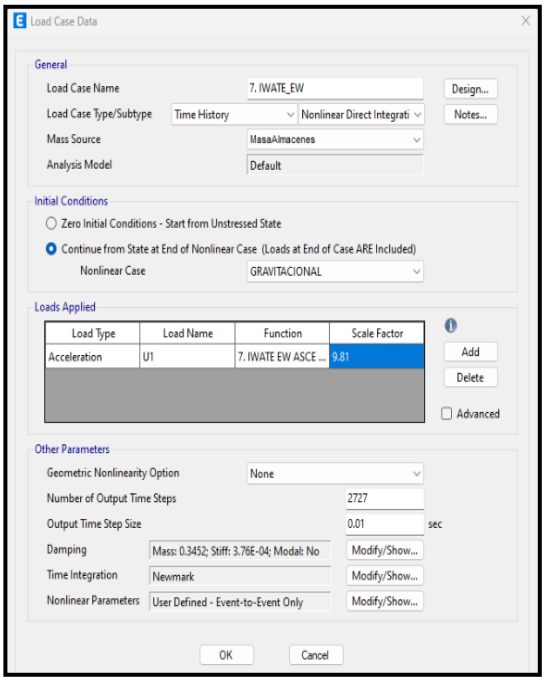


Figura 63: IWATE EW ASCE 7-22

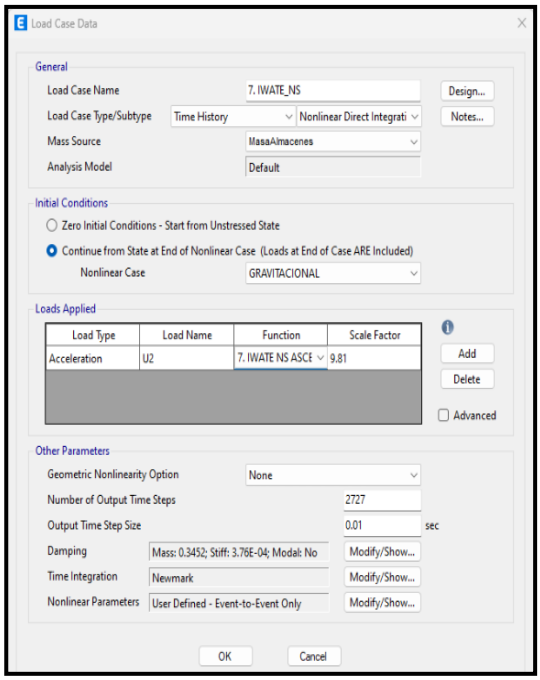


Figura 64: IWATE NS ASCE 7-22

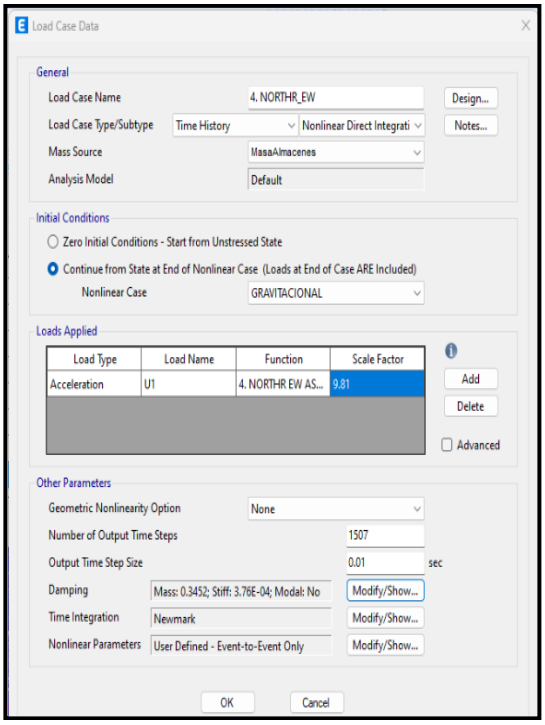


Figura 65: NORTHR EW ASCE 7-22

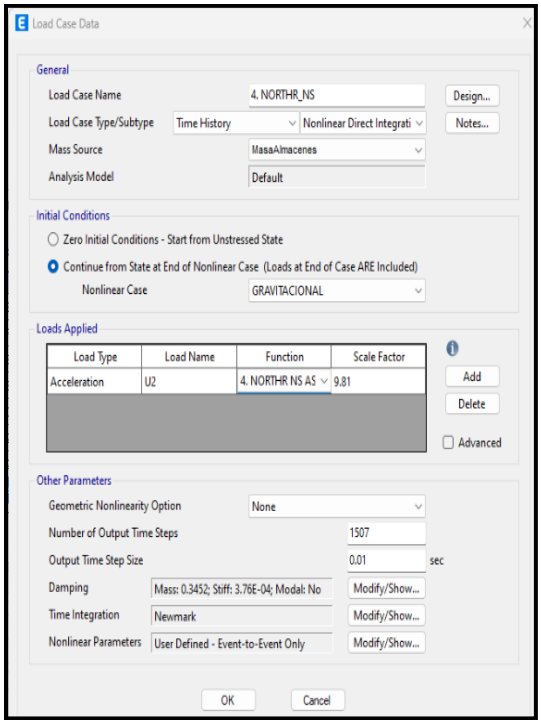


Figura 66: NORTHR NS ASCE 7-22

Configuración de parámetros no lineales

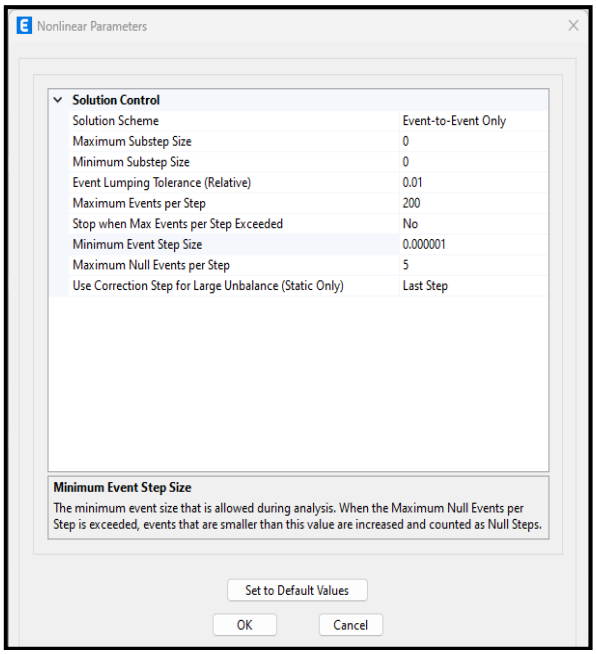


Figura 67: Configuración de parámetros no lineales

3.6.3. Tercera Fase

En esta fase para estimar un diseño eficiente entre la NEC 24 y la ASCE 7-22 se consideró el uso de curvas de fragilidad al colapso (resultados no lineales) de acuerdo con FEMA P-56-1 y tomando en consideración los criterios de evaluación estructural (FEMA 273).

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo los resultados se dividieron en 3 fases, donde cada fase representa los resultados obtenidos por cada objetivo planteado en esta investigación.

4.1. Primera Fase

De acuerdo con el primer objetivo, se obtuvo toda la información necesaria a través de la documentación proporcionada por el GADMA, lo que permitió la representación del modelo matemático en el programa ETABS para su posterior análisis estructural.

4.2. Segunda Fase

En esta fase se estableció los resultados no lineales de la estructura utilizando un método avanzado de análisis dinámico no lineal tiempo historia considerando solo las respuestas máximas (NEC 24 Y ASCE 7-22) de los sismos más significativos empleados en esta investigación.

A continuación, se detallan los resultados de las respuestas máximas (derivas, desplazamiento) de los siguientes sismos: RSN960_NORTHR_LOS000.AT2 en la componente 2 (norte-sur) de acuerdo con la configuración de la NEC 24 y el registro sísmico COALINGA.H_H-CAK270.AT2 en la componente 2 (norte-sur) de acuerdo con la configuración de ASCE 7-22.

4.2.1. RSN960_NORTHR_LOS000.AT2 (Según la NEC 24)

En la siguiente figura se pudo observar el comportamiento inelástico de los elementos estructurales tanto de vigas y columnas en el instante (3,92 segundos) del acelerograma (RSN960_NORTHR_LOS000.AT2) que genera las máximas respuestas no lineales en la estructura. Además, se observó la formación de rótulas plásticas (color cian) en las columnas como se aprecia en la siguiente figura.

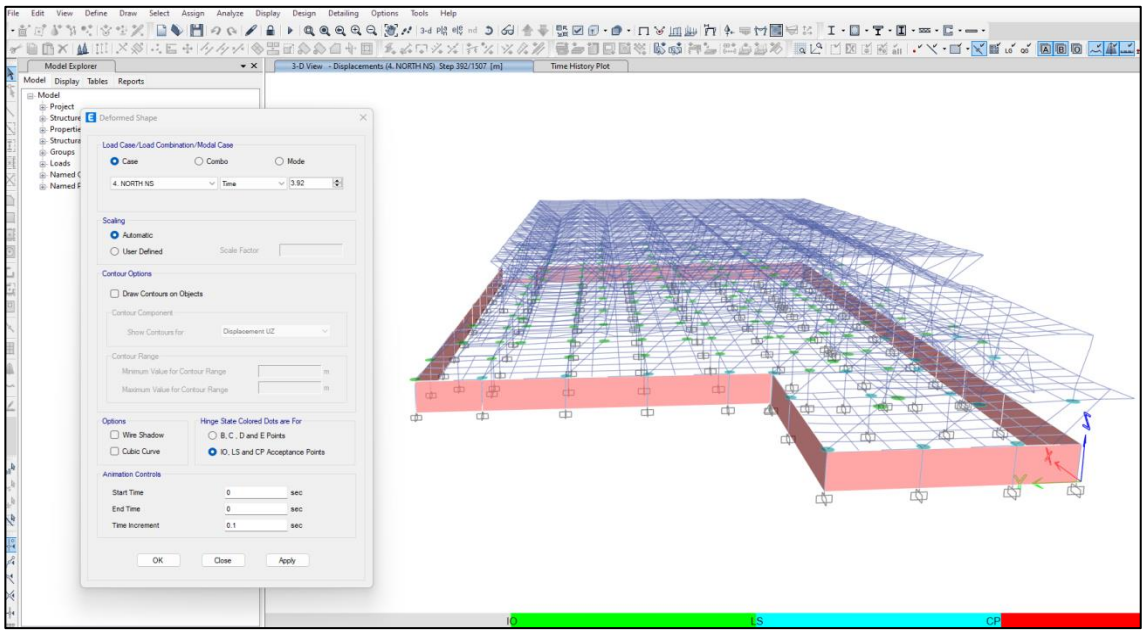


Figura 68: Formación de rotulas plásticas - NORTHR NS.

Además, se presenta las deformaciones de la estructura sometida al acelerograma RSN960_NORTHR_LOS000.AT2 como se observa a continuación.

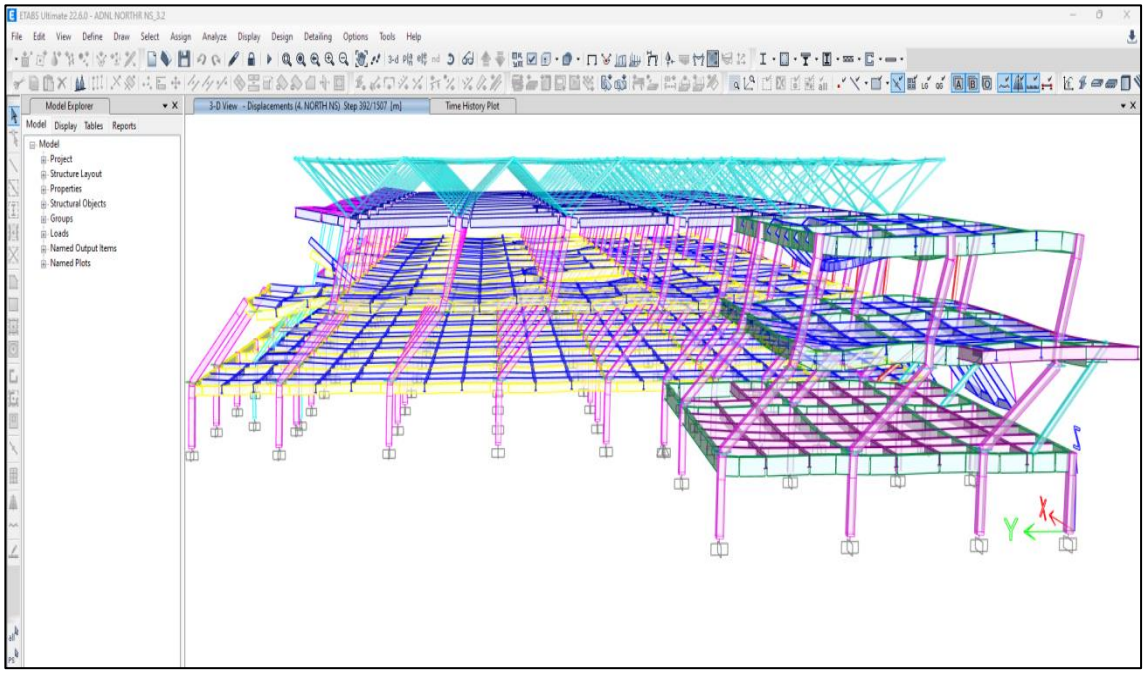


Figura 69: Deformación de los elementos estructurales - NORTHR NS.

En la siguiente figura se observa las respuestas no lineales del registro sísmico mencionado en el instante máximo del acelerograma con un desplazamiento de 28 cm en el nivel +12.6m.

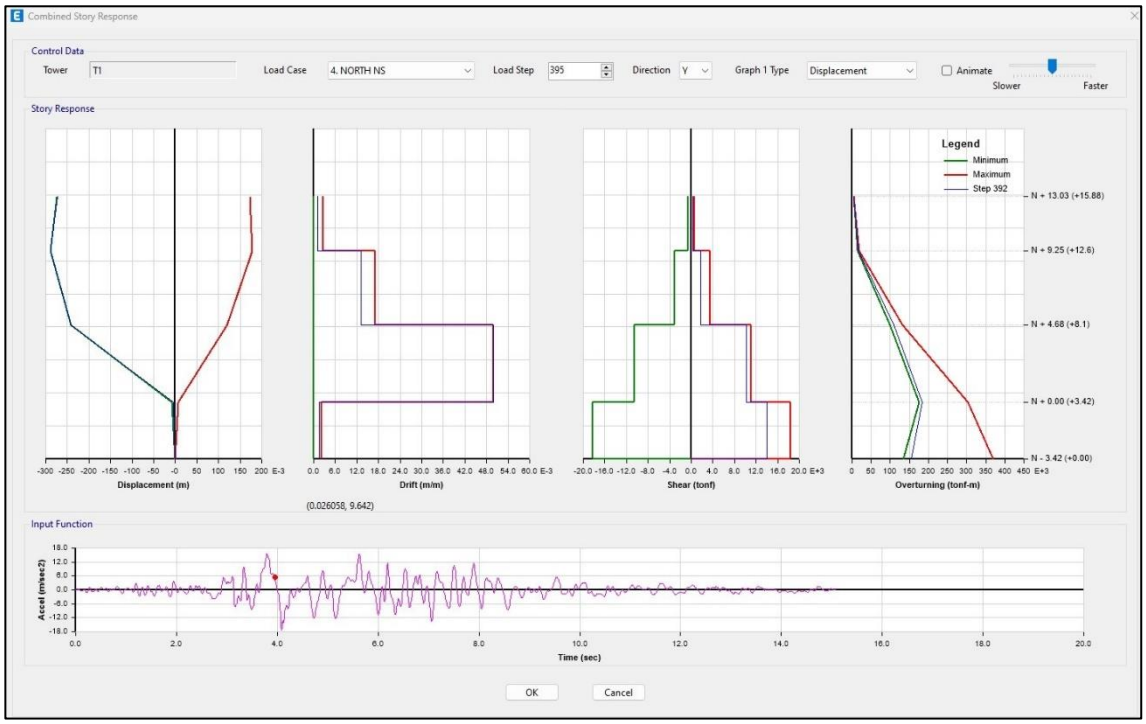


Figura 70: Respuestas máximas no lineales - NORTHR NS.

Además, se estableció el modelo de histéresis utilizado y su comportamiento en los elementos estructurales, los cuales representan el comportamiento de la estructura bajo cargas extremas, también se observa la plasticidad, degradación y disipación de energía debido al sismo. **[22].**

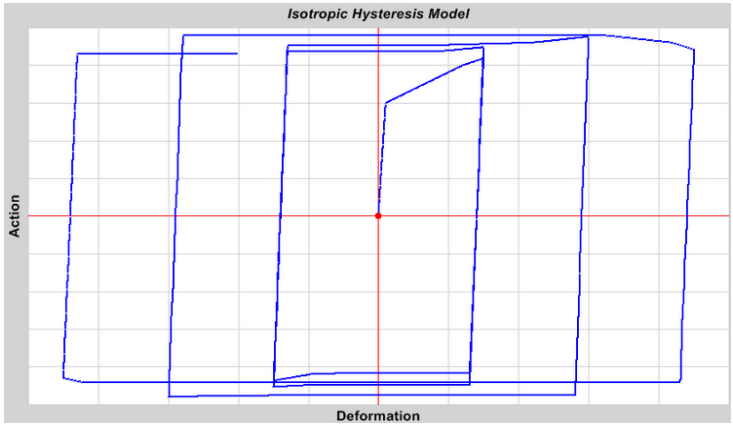


Figura 71: Modelo de histéresis isotrópica bajo carga cíclica creciente

Configuración y propiedades de rotula plástica en viga

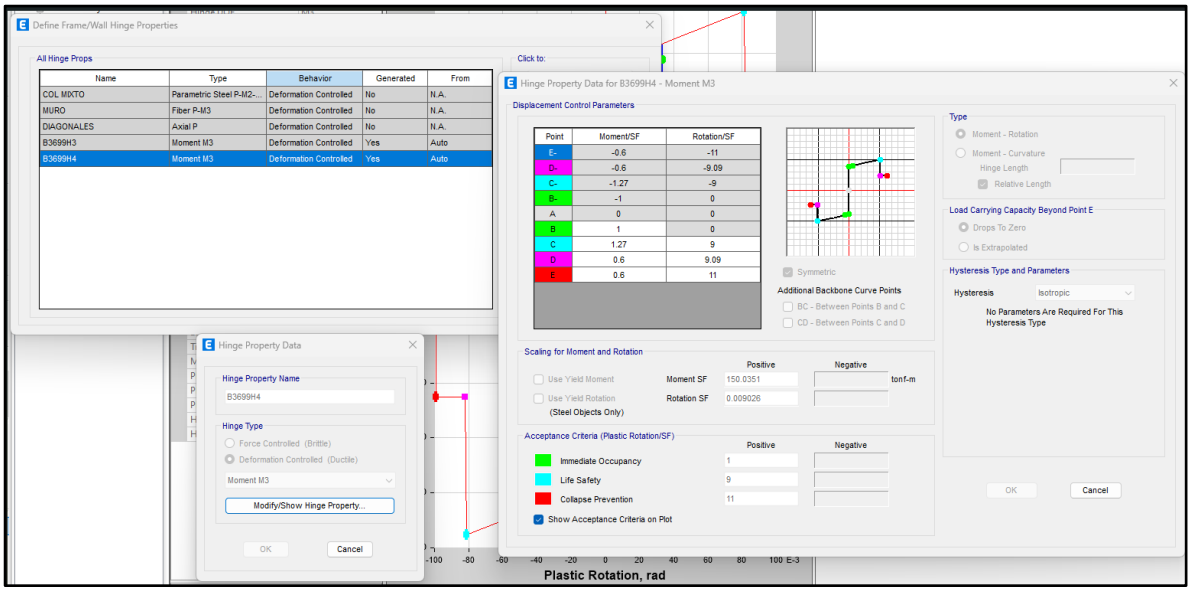


Figura 72: Configuración de Hinge Viga B3699

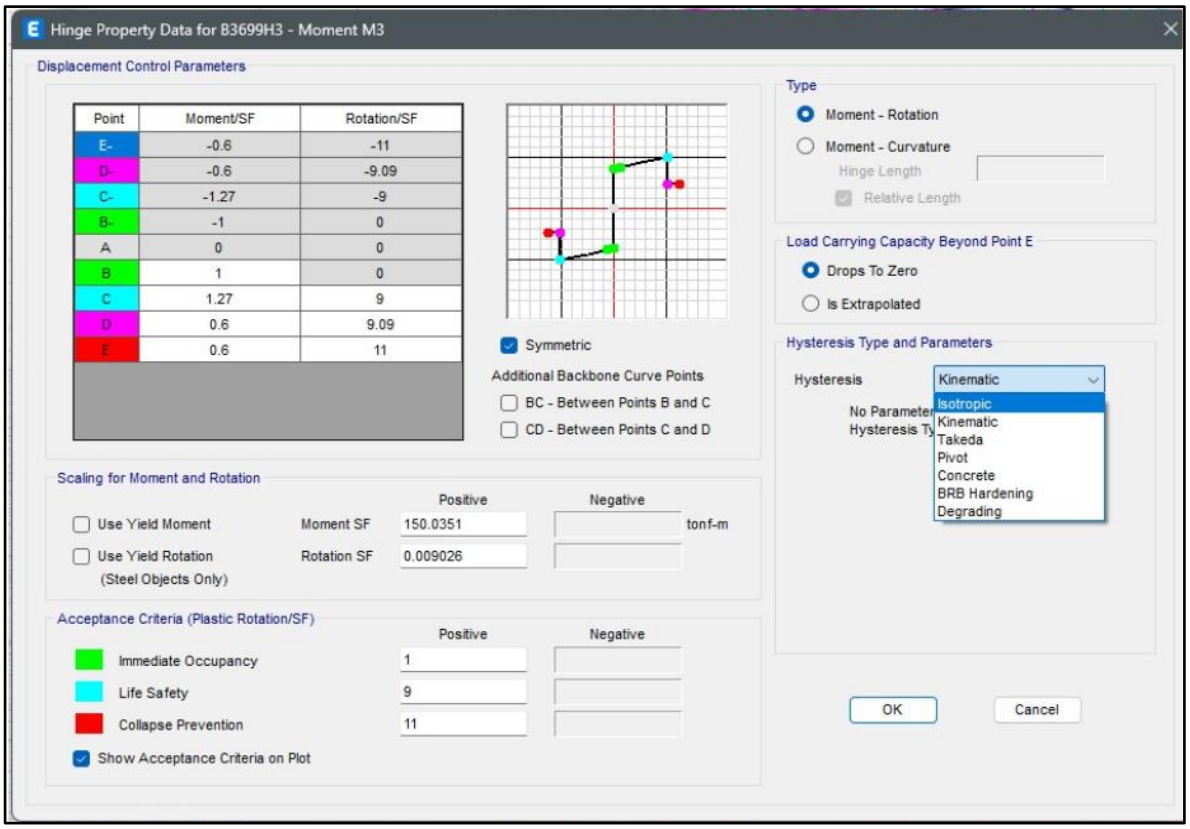


Figura 73: Selección tipo de histéresis Isotrópico

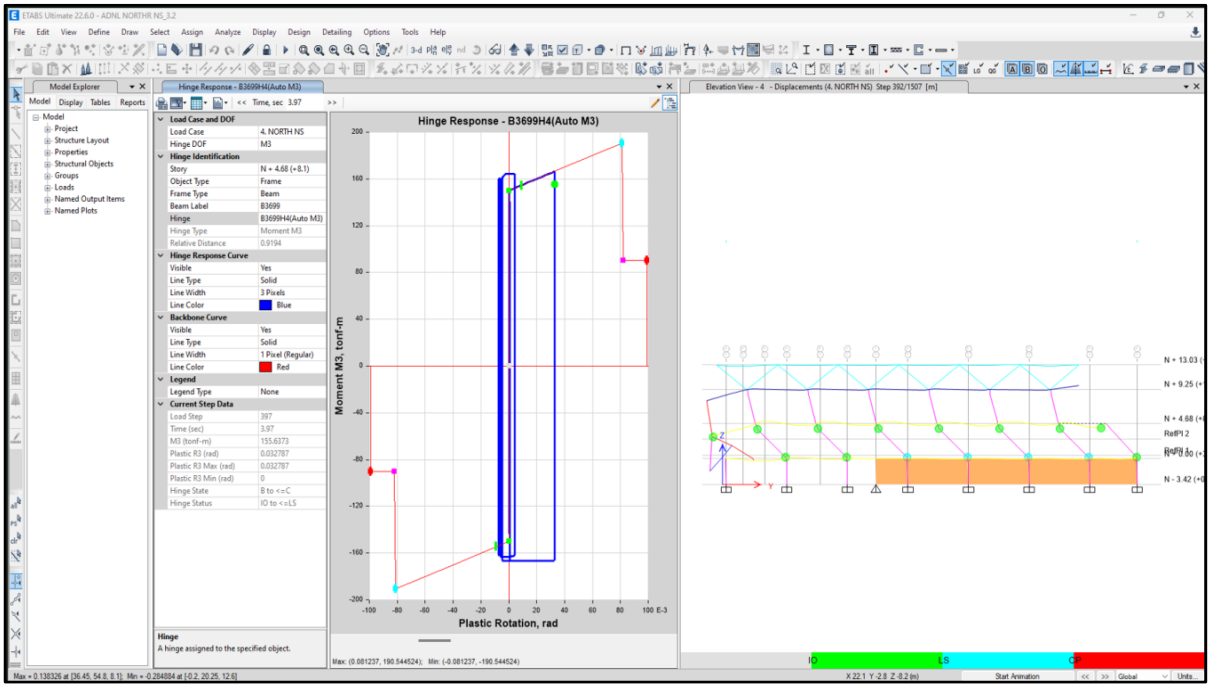


Figura 74: Hinge Resultados Rotula Derecha B3699 H4

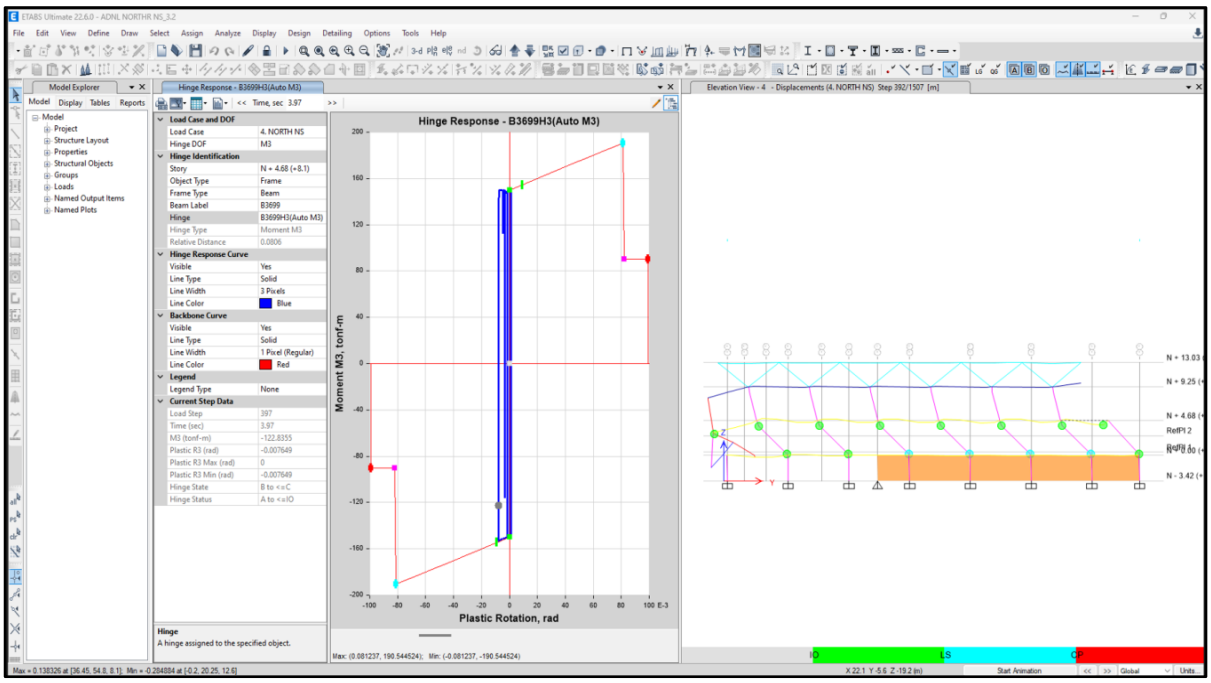


Figura 75: Hinge Resultados Rotula Izquierdo B3699 H4

Configuración y propiedad de rotula en columna compuesta

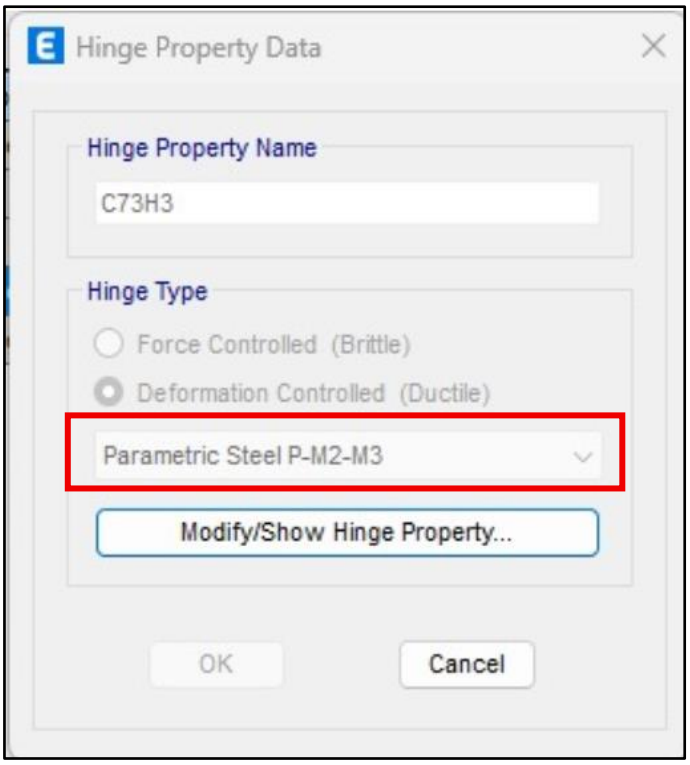


Figura 76: Parametric Steel P-M2-M3 seleccionado para columna

Parametric Steel P-M2-M3: El objetivo principal de este estudio es evaluar el comportamiento de rótulas plásticas distribuidas en elementos Frame mediante el análisis no lineal, estático y dinámico en el programa ETABS.

El parámetro P-M2-M3 utiliza la teoría de plasticidad para modelar la interacción P-M2-M3. Esta limita a propiedades de sección doblemente simétricas y utiliza una definición paramétrica simple de la superficie. Se puede especificar la degradación de energía histéresis, lo que la hace más adecuada que el método isotrópico para cargas cíclicas extensas. Hay dos versiones disponibles, una para secciones de marco de acero y otra para secciones de marco de hormigón armado. Estos dos tipos difieren solo en la superficie de fluencia utilizada. El parámetro de acero P-M2-M3 está diseñada para modelar secciones de acero, mientras que el parámetro de hormigón P-M2-M3 está diseñada para modelar secciones de hormigón armado **[23].**

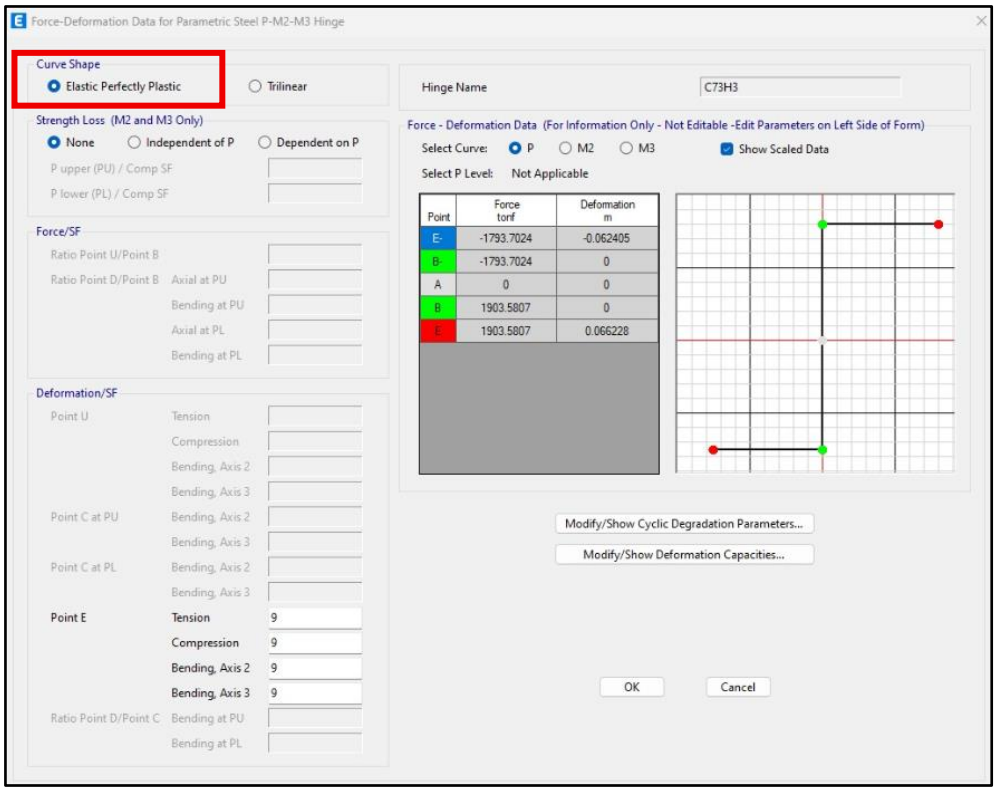


Figura 77: Curva de histéresis a utilizar columna- NORTHR NS

También se puede observar el comportamiento histérico de una de las columnas previo al colapso generado ante la acción sísmica.

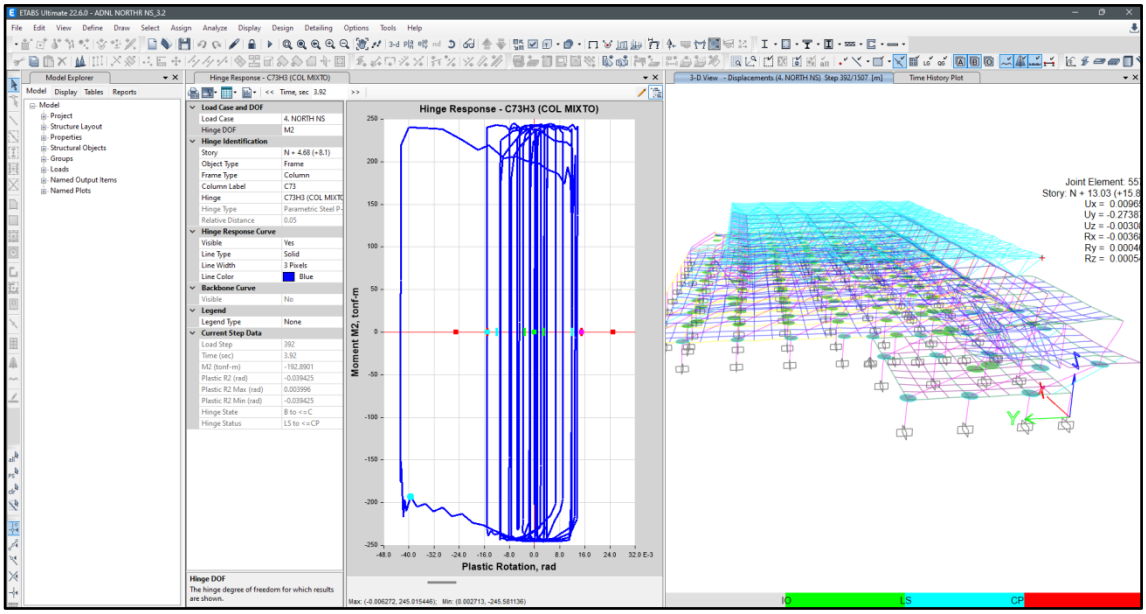


Figura 78: Resultados curva de histéresis de columna - NORTHR NS

4.2.2. COALINGA.H_H-CAK270.AT2 (Según ASCE 7-22)

En la siguiente figura se pudo observar el comportamiento inelástico de los elementos estructurales tanto de vigas y columnas en el instante (4,89 segundos) del acelerograma (coalinga.h_h-cak270.at2**)** que genera las máximas respuestas no lineales en la estructura. Se observó la formación de rótulas plásticas (color rojo CP) en las columnas como se aprecia en la siguiente figura.

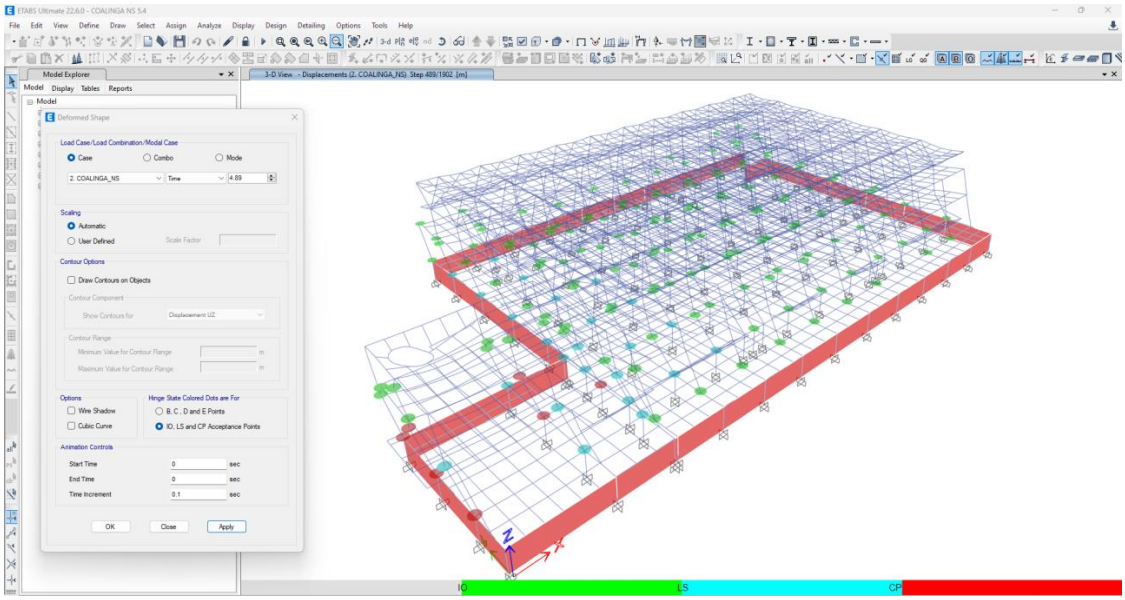


Figura 79: Formación de rotulas plásticas - COALINGA NS.

Además, se presenta las deformaciones de la estructura sometida al acelerograma coalinga.h_h-cak270.at2 como se tiene en la siguiente figura.

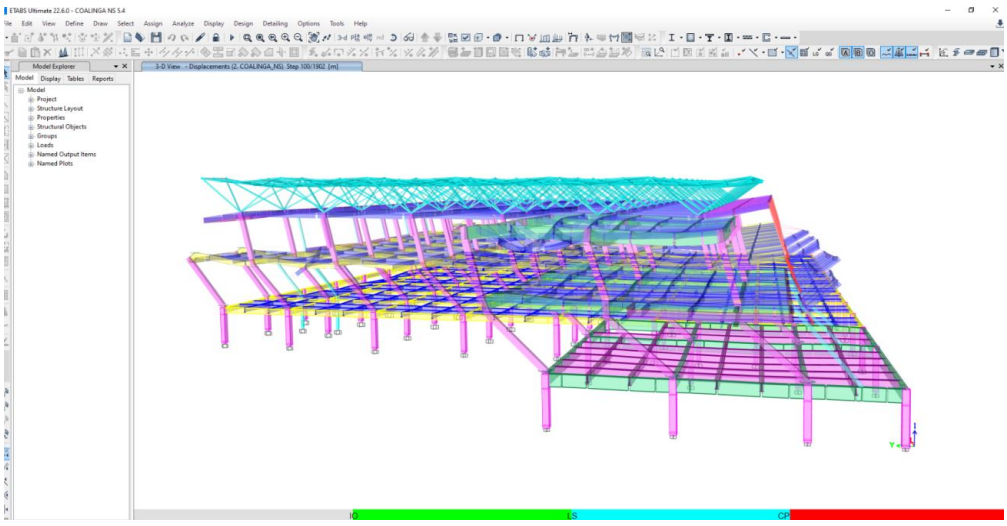


Figura 80: Deformación de los elementos estructurales - COALINGA NS

En la siguiente figura se observa las respuestas no lineales del registro sísmico mencionado en el instante máximo del acelerograma como un desplazamiento de 31 cm en el nivel +12.6m.

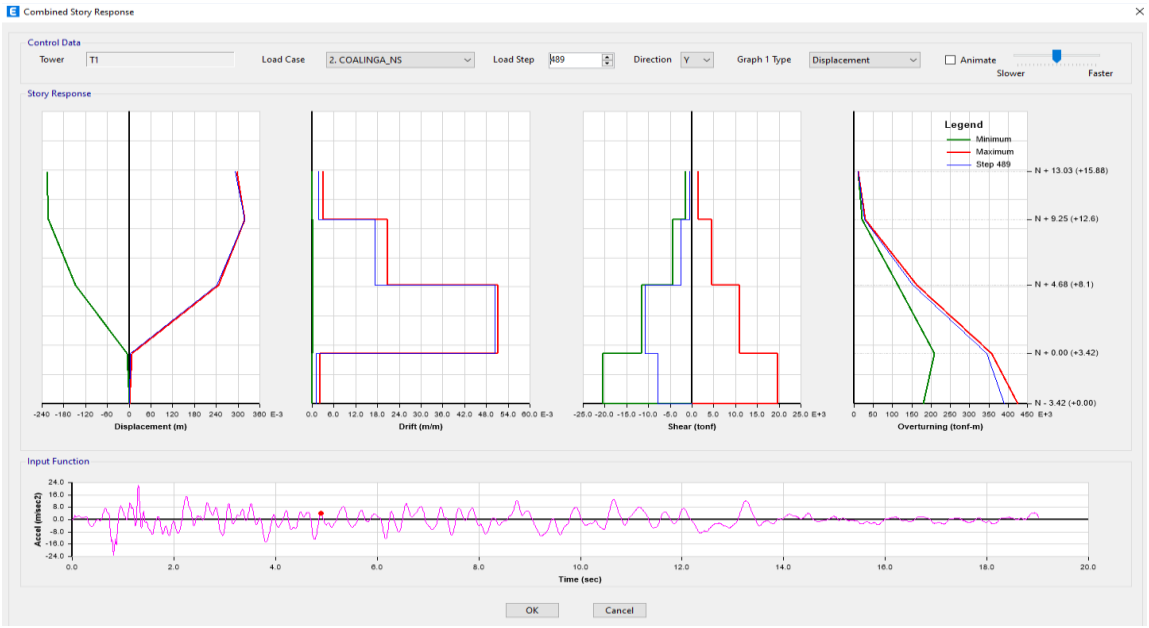


Figura 81: Respuestas máximas no lineales - COALINGA NS.

Configuración y propiedades de rotula en viga

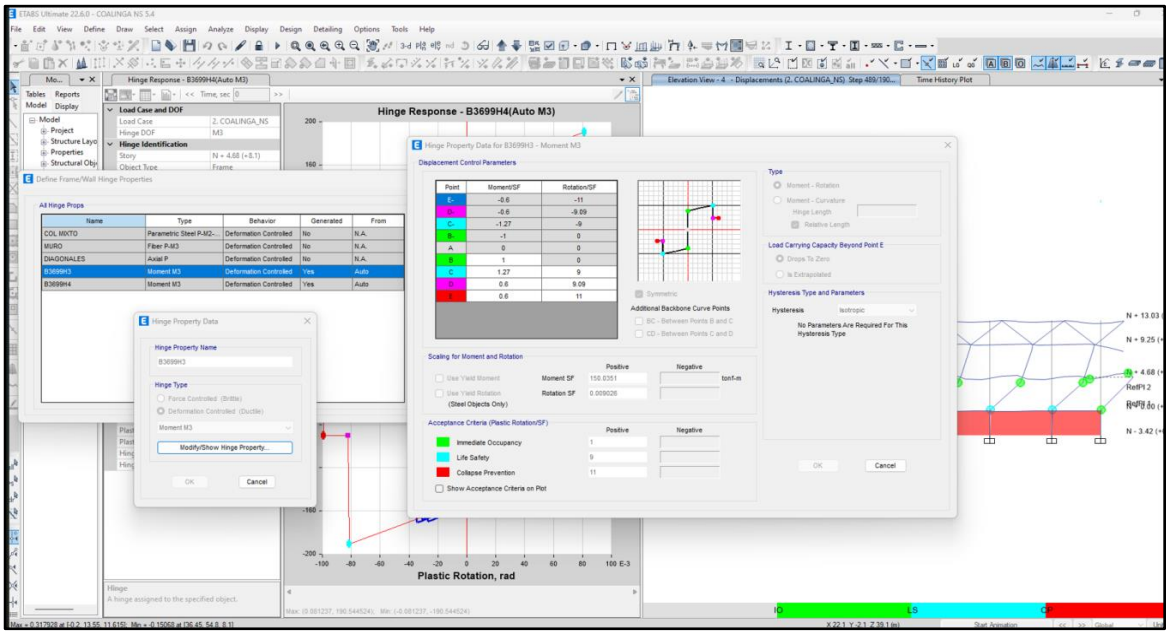


Figura 82: Configuración Hinge Viga B3699

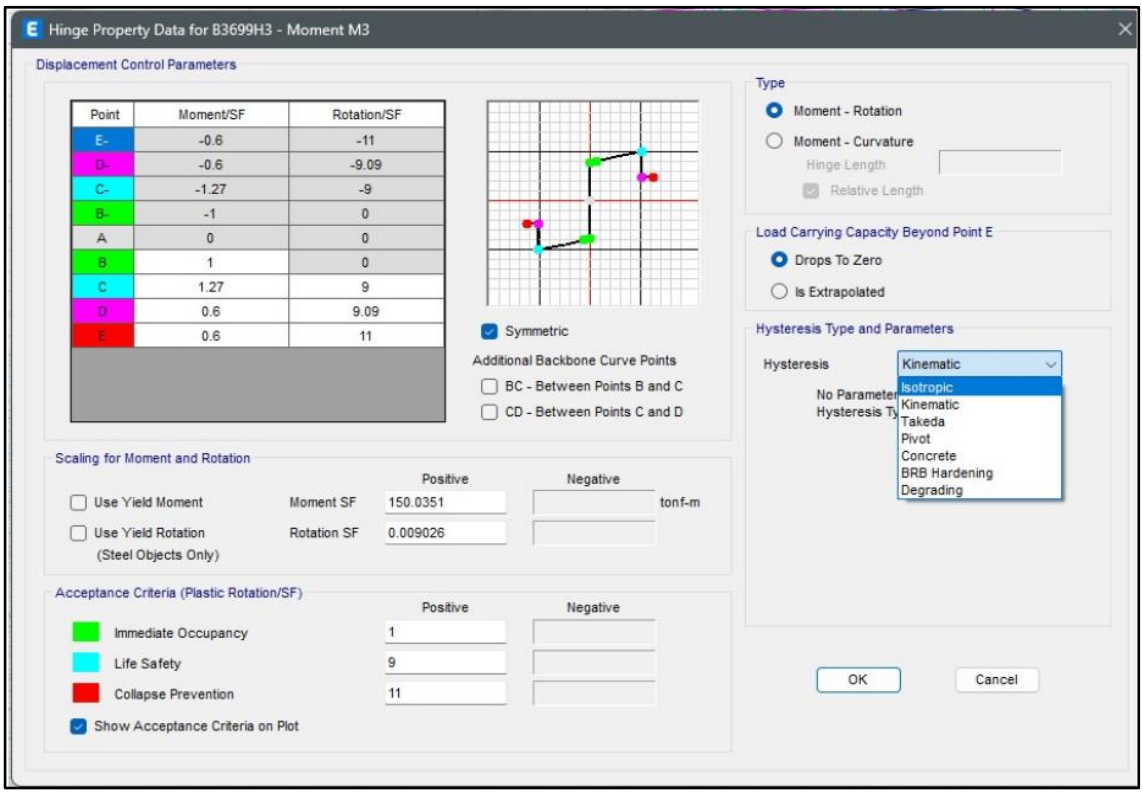


Figura 83: Selección tipo de histéresis Isotrópico

Comportamiento histérico en columna compuesta.

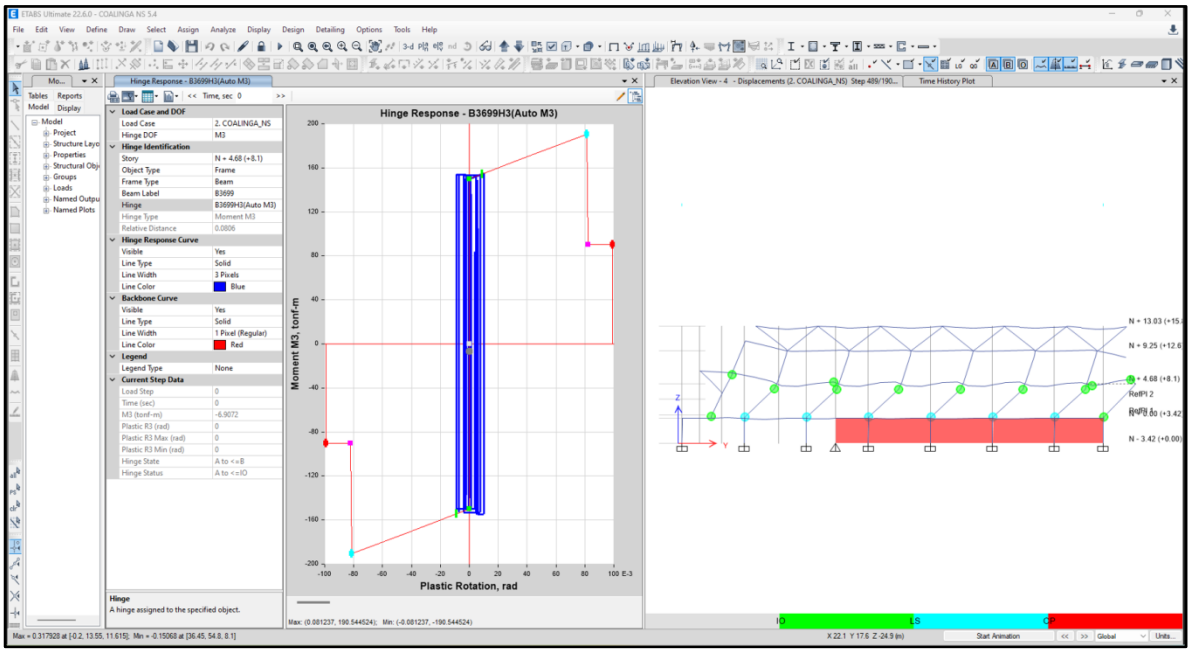


Figura 84: Hinge Resultados Viga B3966 H3Rotula Izquierda

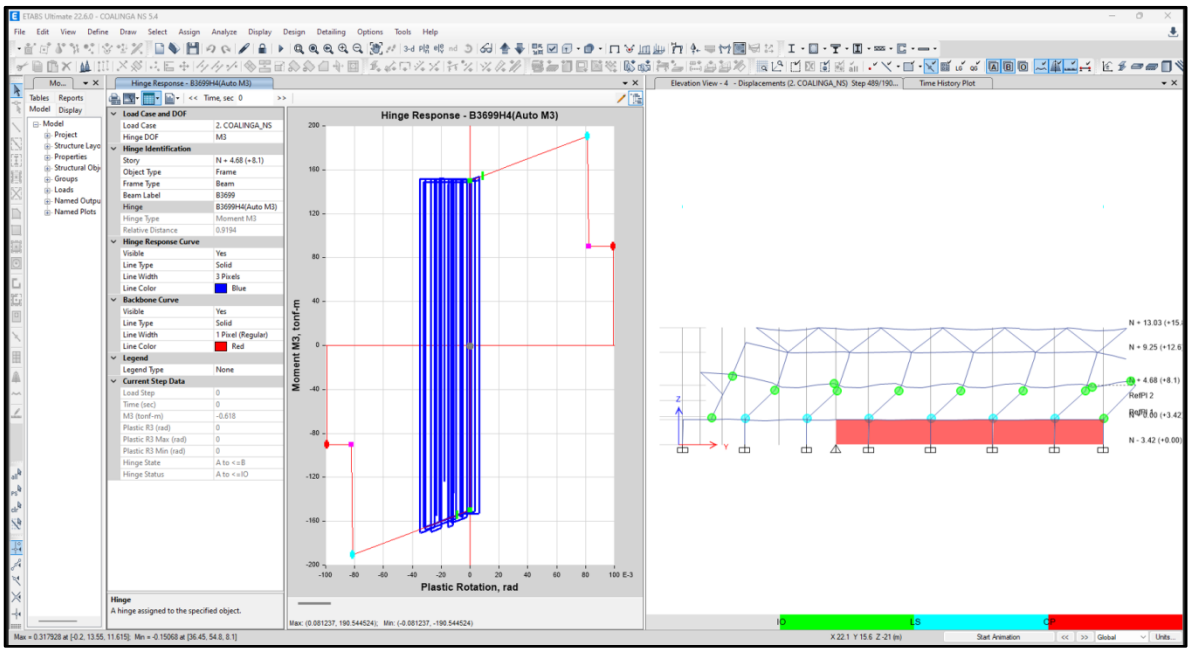


Figura 85: Hinge Resultados Viga B3966 H3 Rotula Derecha

También se puede observar el comportamiento histérico de una de las columnas previo al colapso generado ante la acción sísmica.

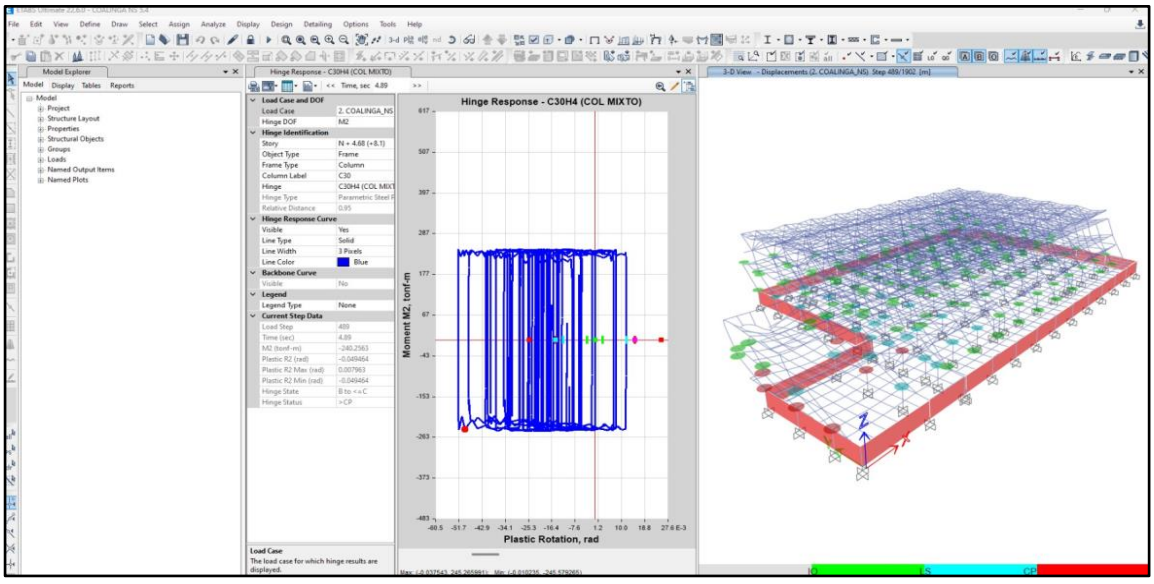


Figura 88: Curva de histéresis de columna - NORTHR NS.

Configuración y propiedad de rotula en columna compuesta

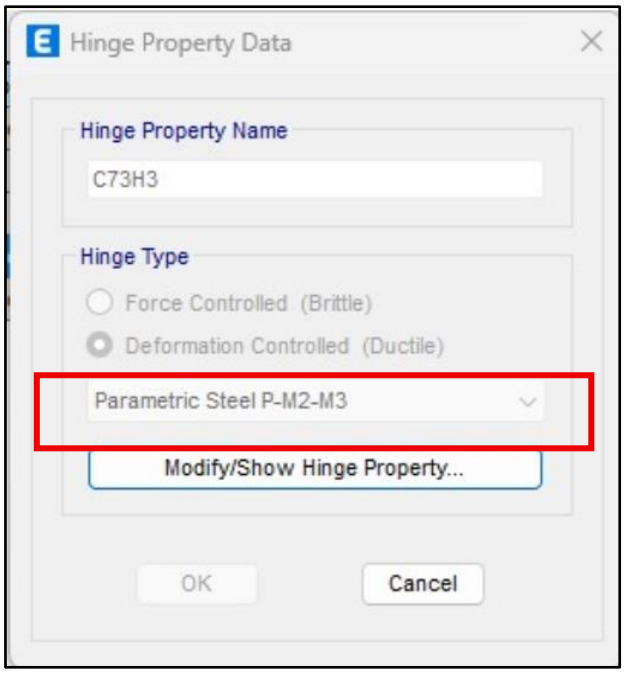


Figura 86: Parametric Steel P-M2-M3 seleccionado para columna

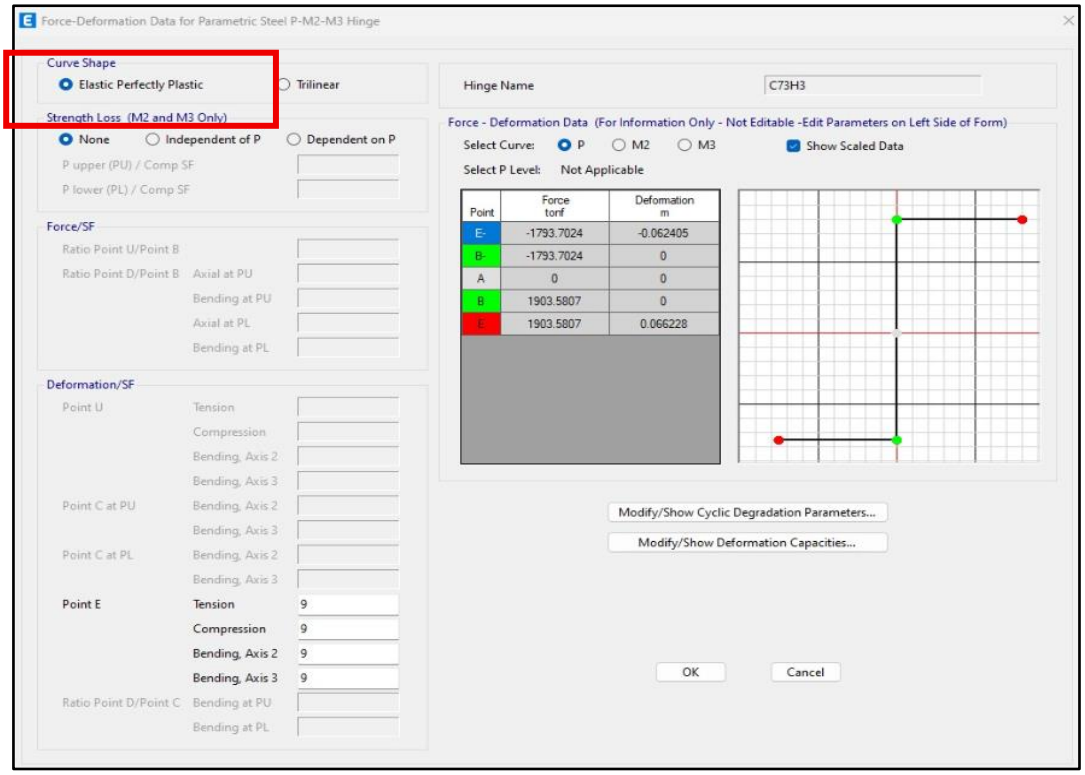


Figura 87: Curva de histéresis a utilizar columna- NORTHR NS

4.3. Tercera Fase

En esta fase consideró niveles de desempeño límites de acuerdo con FEMA 273, además, se contrastó los resultados obtenidos entre la NEC 24 y la ASCE 7-22 luego de realizar un análisis no lineal dinámico establecido en la fase 2 con el objetivo de estimar un diseño eficiente entre ambas normas utilizando curvas de fragilidad al colapso.

Para el desarrollo de curvas de fragilidad se estableció curvas IDA como se definió a continuación.

4.3.1. Curvas de Análisis dinámico Incremental (IDA) Según Análisis con la NEC 24

Para desarrollar las curvas de fragilidad, es necesario obtener las respuestas no lineales de la estructura que para este caso mediante un análisis dinámico no lineal en el dominio del tiempo (análisis time history). Este análisis simula la respuesta de la estructura ante un conjunto de registros sísmicos, considerando tanto la no linealidad del comportamiento material como las deformaciones plásticas que se producen en los elementos estructurales.

A continuación, se presenta mediante tablas las respuestas no lineales máximas (deriva) de la estructura de análisis.

Una vez obtenidas las respuestas no lineales máximas, se grafica las curvas IDA (Incremental Dynamic Analysis) en sus dos componentes, que representan la relación entre la intensidad de la carga sísmica (aceleración espectral) y los parámetros de daño (derivas).

Tabla 33: Derivas máximas EW (Análisis según NEC 24).

DERIVAS MÁXIMAS "EW"										
Aceleración	0 g	0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.80 g	1.00 g	1.20 g	1.40 g	1.60 g	1.80 g
COALINGA.H_H_EW	0	0.004303	0.007704	0.0109	0.01332	0.01546	0.01713	0.0187	0.019	0.021
NORTHR_STN020.AT2_EW	0	0.002755	0.004436	0.00644	0.008881	0.01057	0.0132	0.0149	0.015	0.017
RSN5652_IWATE_IWTH20_EW	0	0.003579	0.007369	0.01049	0.013053	0.01523	0.01656	0.0187	0.019	0.021

2.00 g	2.20 g	2.40 g	2.60 g	2.80 g	3.00 g	3.20 g	3.40 g	3.60 g	3.80 g	4.00 g	4.20 g	4.40 g	4.60 g	4.80 g	5.00 g	5.20 g
0.022	0.022	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.032	0.035	0.037	0.041	0.045	0.048	0.051			
0.018	0.019	0.019	0.021	0.021	0.023	0.024	0.026	0.029	0.031	0.033	0.036	0.038	0.041	0.045	0.048	0.0515
0.023	0.024	0.027	0.027	0.031	0.036	0.039	0.043	0.045	0.049	0.053	0.057					

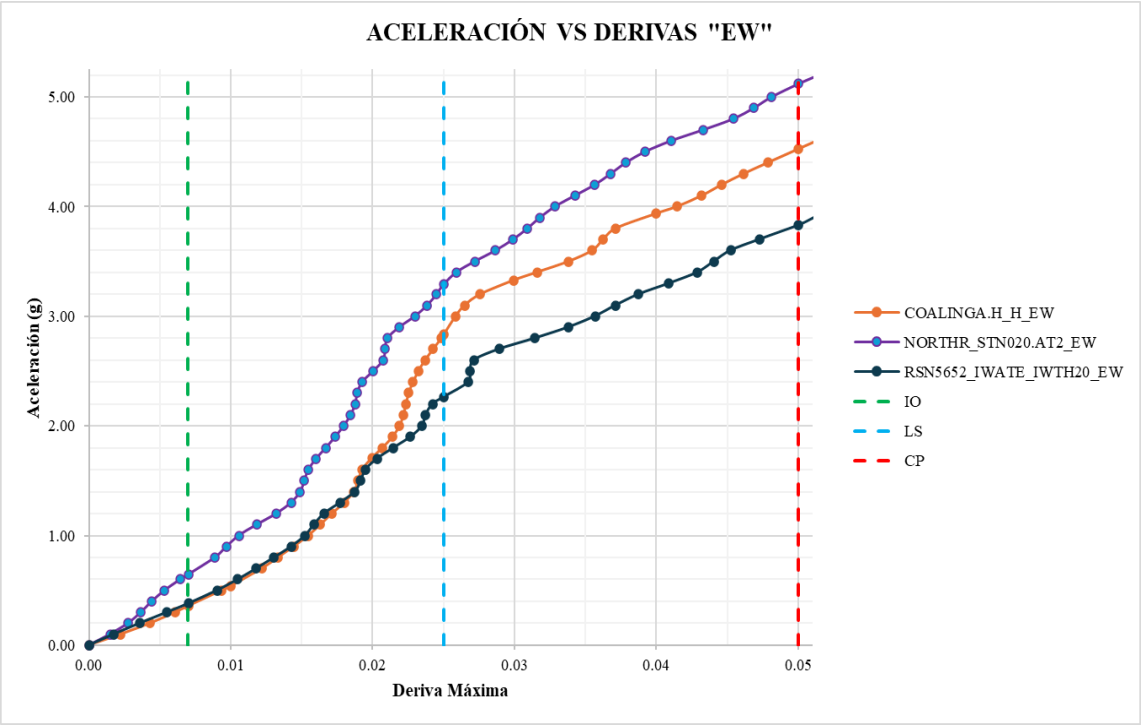


Figura 89: Curva IDA EW.

Tabla 34: Derivas máximas NS (Análisis según NEC 24)

DERIVAS MÁXIMAS "NS"														
Aceleración	**0 g**	**0.20 g**	**0.40 g**	**0.60 g**	**0.80 g**	**1.00 g**	**1.20 g**							
COALINGA.H_H_NS	0	0.003284	0.006349	0.00942	0.011944	0.01376	0.01603							
NORTHR_STN020.AT2_NS	0	0.002595	0.004806	0.00746	0.009835	0.01195	0.01412							
RSN5652_IWATE_IWTH20_NS	0	0.002982	0.005906	0.00857	0.011552	0.01379	0.0199							
1.40 g	**1.60 g**	**1.80 g**	**2.00 g**	**2.20 g**	**2.40 g**	**2.60 g**	**2.80 g**	**3.00 g**	**3.20 g**	**3.40 g**	**3.60 g**	**3.80 g**	**4.00 g**	
0.0188	0.021	0.023	0.025	0.028	0.031	0.034	0.037	0.041	0.043	0.047	0.05			
0.0176	0.019	0.022	0.025	0.029	0.034	0.038	0.042	0.044	0.05					
0.0232	0.026	0.028	0.03	0.032	0.035	0.036	0.038	0.041	0.043	0.045	0.048	0.049	0.051	

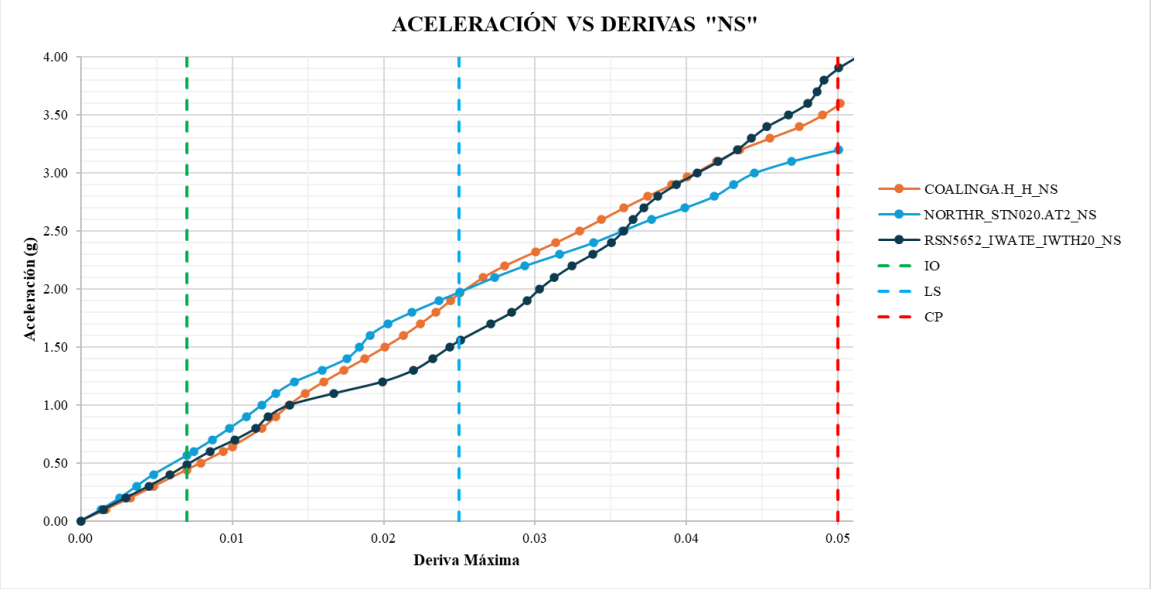


Figura 90: Curva IDA NS.

Según las gráficas anteriores, se puede apreciar que al inicio la curva muestra un comportamiento elástico; sin embargo, a medida que incrementa la intensidad sísmica, la forma de la curva cambia hacia un comportamiento no lineal, lo que indica que la estructura entra en el rango inelástico.

Las líneas segmentadas representan el límite del nivel de desempeño como son: Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de vida (LS) y Prevención al colapso (CP) para marcos resistentes a momento en acero de acuerdo con los criterios de FEMA 273.

4.3.2 Curvas de Análisis dinámico Incremental (IDA) Según Análisis con la ASCE 7-22

A continuación, se presenta mediante tablas las respuestas no lineales máximas (deriva) de la estructura de análisis.

Una vez obtenidas las respuestas no lineales máximas, se grafica las curvas IDA (Incremental Dynamic Analysis) en sus dos componentes, que representan la relación entre la intensidad de la carga sísmica (aceleración espectral) y los parámetros de daño (derivas).

Tabla 35: Derivas máximas EW.

DERIVAS MÁXIMAS "EW"											
Aceleración	0 g	0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.80 g	1.00 g	1.20 g	1.40 g	1.60 g	1.80 g	2.00 g
COALINGA.H_H_EW	0	0.002508	0.005238	0.0075	0.009851	0.01221	0.01361	0.01425	0.01525	0.01632	0.017849
NORTHR_STN020.AT2_EW	0	0.001578	0.00323	0.00476	0.006433	0.00794	0.00968	0.0111	0.01231	0.01385	0.01523
RSN5652_IWATE_IWTH20_EW	0	0.002407	0.004872	0.0072	0.009845	0.01193	0.01353	0.01552	0.01645	0.01769	0.018534

2.20 g	2.40 g	2.60 g	2.80 g	3.00 g	3.20 g	3.40 g	3.60 g	3.80 g	4.00 g	4.20 g	4.40 g	4.60 g	4.80 g	5.00 g
0.01823	0.01898	0.01965	0.02171	0.02345	0.0246	0.02531	0.025796	0.02606	0.02645	0.026972	0.02742	0.02797	0.02821	0.02854
0.016776	0.018344	0.020165	0.02224	0.02368	0.02534	0.02626	0.02749	0.02852	0.02912	0.030608	0.03122	0.03214	0.03323	0.03371
0.019243	0.020213	0.021313	0.02191	0.02275	0.02362	0.02431	0.025321	0.02584	0.02636	0.02842	0.0291	0.02985	0.03073	0.03173

5.20 g	5.40 g	5.60 g	5.80 g	6.00 g	6.20 g	6.40 g	6.60 g	6.80 g	7.00 g	7.20 g	7.40 g	7.60 g
0.03006	0.03065	0.031242	0.031797	0.03222	0.03315	0.034896	0.03615	0.037851	0.03909	0.04289	0.04531	0.0526
0.03914	0.04433	0.047326	0.049354									
0.03274	0.03355	0.034598	0.035683	0.03764	0.03975	0.041823	0.04312	0.045987	0.04823	0.05264		

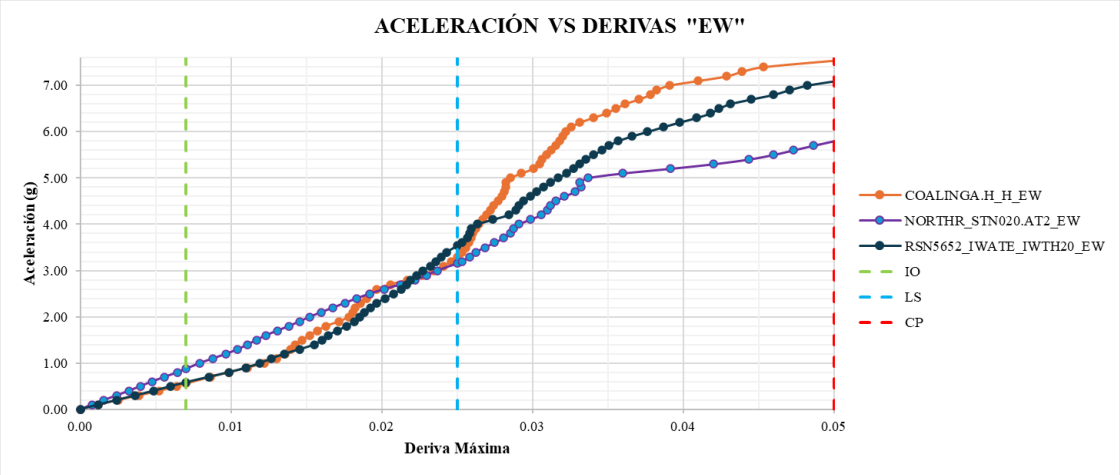


Figura 91: Curvas IDA EW.

Tabla 36: Derivas máximas NS.

DERIVAS MÁXIMAS "NS"																
Aceleración / Registro	0 g	0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.80 g	1.00 g	1.20 g	1.40 g	1.60 g	1.80 g	2.00 g	2.20 g	2.40 g	2.60 g	2.80 g	3.00 g
COALINGA.H_H_NS	0	0.002684	0.004521	0.00769	0.009856	0.0129	0.01427	0.01679	0.01832	0.02001	0.021658	0.02362	0.024864	0.026326	0.02757	0.02882
NORTHR_STN020.AT2_NS	0	0.002777	0.005213	0.00836	0.00842	0.01354	0.01499	0.01668	0.017212	0.01921	0.020701	0.02132	0.022542	0.023368	0.0234	0.02368
RSN5652_IWATE_IWTH20_NS	0	0.002545	0.004566	0.00740	0.009455	0.01236	0.01386	0.0158	0.016958	0.01753	0.018744	0.019211	0.019696	0.020354	0.02156	0.02209

3.20 g	3.40 g	3.60 g	3.80 g	4.00 g	4.20 g	4.40 g	4.60 g	4.80 g	5.00 g	5.20 g	5.40 g	5.60 g	5.80 g	6.00 g	6.20 g	6.40 g	6.60 g
0.03066	0.03143	0.032318	0.03423	0.03575	0.03712	0.03962	0.04157	0.0443	0.04643	0.04822	0.05127						
0.02388	0.02464	0.024662	0.02654	0.02738	0.029212	0.03049	0.03317	0.03542	0.03761	0.04056	0.04258	0.045312	0.048233	0.05237			
0.02278	0.02348	0.024712	0.02576	0.02639	0.027121	0.02964	0.03047	0.03194	0.03384	0.03665	0.03694	0.037596	0.03889	0.04231	0.04439	0.04784	0.05073

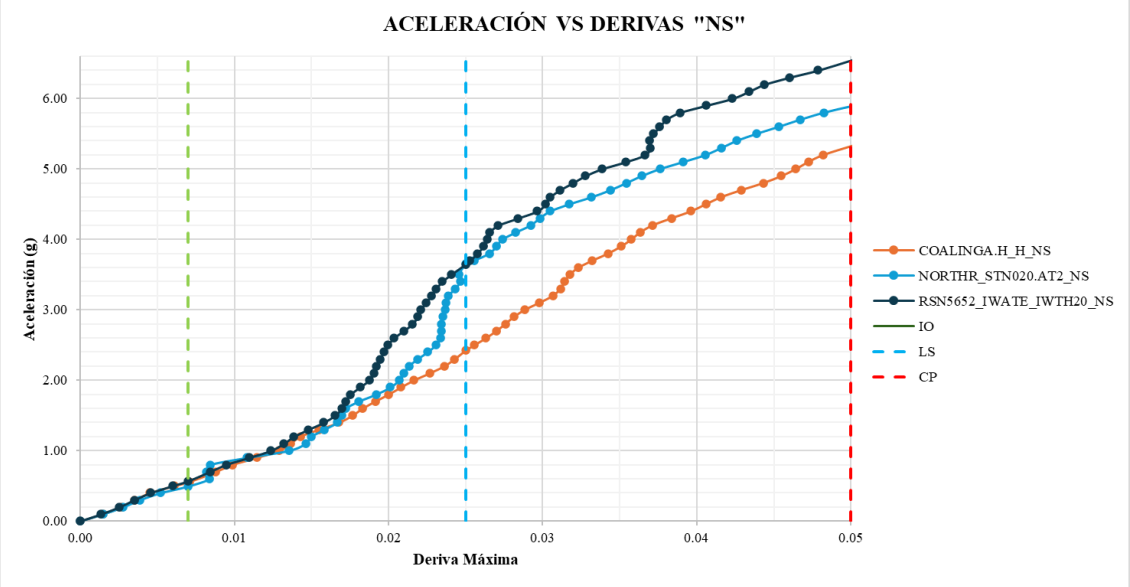


Figura 92: Curvas IDA NS.

Según las gráficas anteriores, se puede apreciar que al inicio la curva muestra un comportamiento elástico; sin embargo, a medida que incrementa la intensidad sísmica, la forma de la curva cambia hacia un comportamiento no lineal, lo que indica que la estructura entra en el rango inelástico.

Las líneas segmentadas representan el límite del nivel de desempeño como son: Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de vida (LS) y Prevención al colapso (CP) para marcos resistentes a momento en acero de acuerdo con los criterios de FEMA 273.

4.3.3. CURVAS DE FRAGILIDAD AL COLAPSO (Según NEC 24 y ASCE 7-22)

Una vez obtenido las curvas IDA, se procedió a obtener un conjunto de puntos discretos (aceleración espectral) en cada intersección o cruce con los límites de desempeño. Utilizando una hoja de cálculo en Excel y usando la función DISTR.LOGNORM(x, media, desviación estándar, acumulado) se desarrolló las curvas de fragilidad.

Además, se estableció factores como la media y desviación estándar para cada curva del nivel de desempeño. Para la desviación estándar se tomó a consideración incertidumbres como dispersión por modelado y construcción de acuerdo con los criterios de FEMA P 58-1 para el desarrollo de curvas de fragilidad.

A continuación, define la tabla de los factores mencionados para un adecuado ajuste de la curva.

Factores: Media y Desviación Estándar (Según NEC 24)

Tabla 37: Media y desviación estándar EW.

	IO	LS	CP
μ	0.4296	3.2670	4.4287
β	0.6011	0.4959	0.4937

Tabla 38: Media y desviación estándar NS.

	IO	LS	CP
μ	0.4929	1.8110	3.5446
β	0.4886	0.4894	0.4821

Factores: Media y Desviación Estándar (Según ASCE 7-22)

Tabla 39: Media y desviación estándar EW.

	IO	LS	CP
μ	0.6444	3.3260	6.7267
β	0.5463	0.4752	0.4905

Tabla 40: Media y desviación estándar NS.

	IO	LS	CP
μ	0.5392	3.1224	5.8832
β	0.4776	0.5233	0.4830

Una vez considerado todo lo antes mencionado, se procedió al desarrollo de las curvas de fragilidad en sus dos componentes.

4.3.4. Curva de fragilidad – componente 1 (Este-Oeste)

De acuerdo con la siguiente figura se puede observar que para una intensidad sísmica máxima de 0.9g, la estructura puede presentar una probabilidad de 10.93% de no sufrir daño, un 88.6% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de ocupación inmediata (estructura habitable y funcional), un 0.41% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de seguridad de vida (grietas visibles

pero funcional), y un 0.06% de probabilidad de daño y de llegar a un nivel de desempeño de prevención al colapso (daños severos).

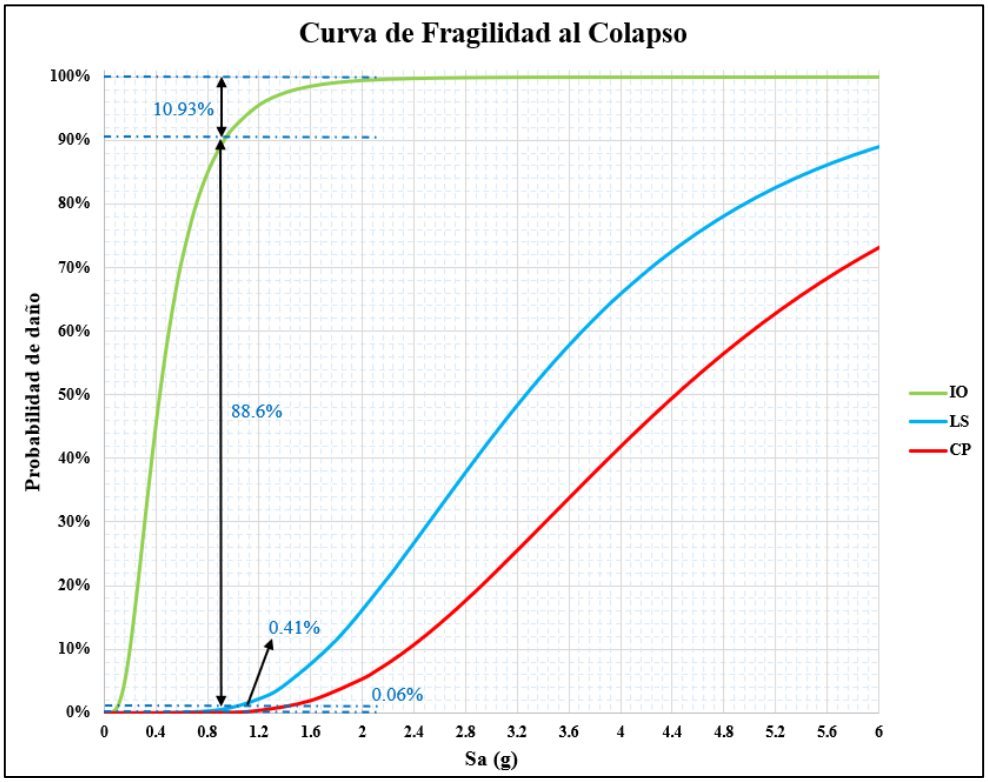


Figure 93: Curva de fragilidad EW-NEC

De acuerdo con la siguiente figura se puede observar que para una intensidad sísmica máxima de 0.8g, la estructura puede presentar una probabilidad de 34.60% de no sufrir daño, un 65.26% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de ocupación inmediata (estructura habitable y funcional), un 0.1392% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de seguridad de vida (grietas visibles pero funcional), y un 0.0008% de probabilidad de daño y de llegar a un nivel de desempeño de prevención al colapso (daños severos).

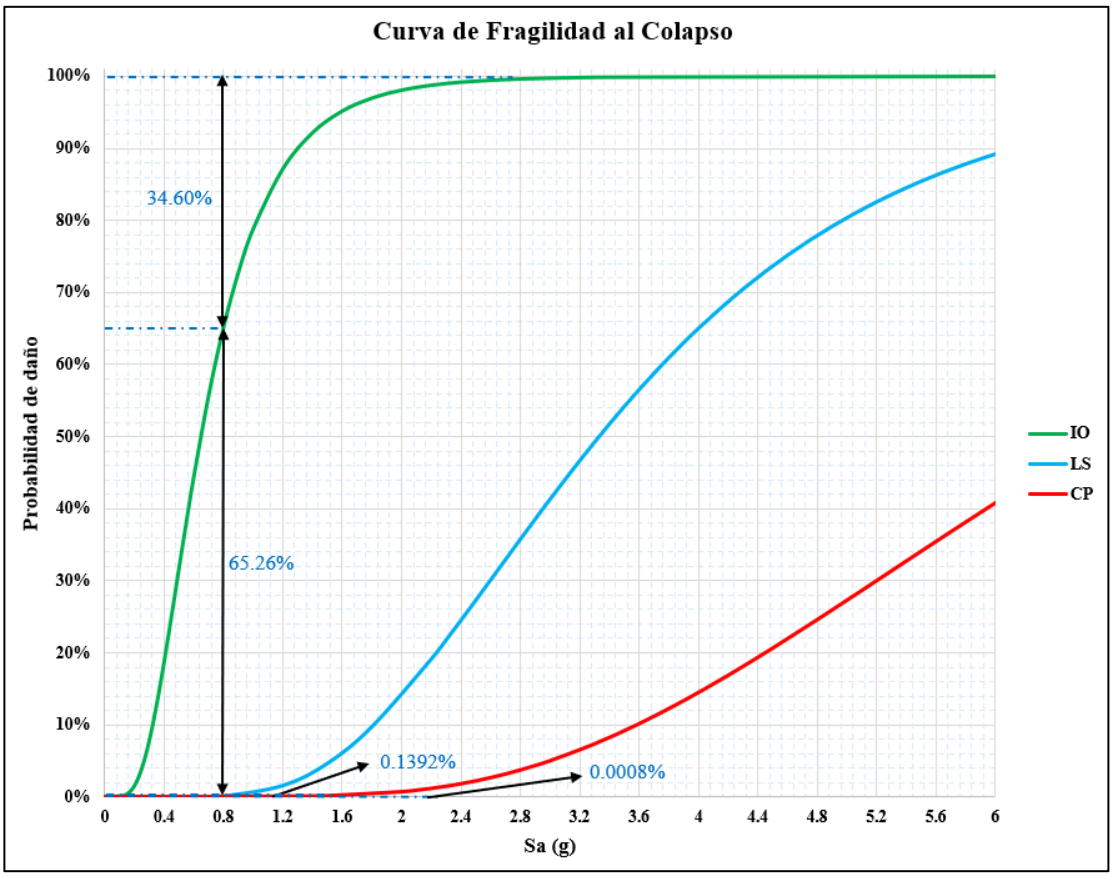


Figura 94: Curva de fragilidad EW-ASCE

4.3.5. Curva de fragilidad – componente 2 (Norte-Sur)

De acuerdo con la siguiente figura se puede observar que para una intensidad sísmica máxima de 0.9g, la estructura puede presentar una probabilidad de 10.89% de no sufrir daño, un 81.46% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de ocupación inmediata (estructura habitable y funcional), un 7.43% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de seguridad de vida (grietas visibles pero funcional), y un 0.22% de probabilidad de daño y de llegar a un nivel de desempeño de prevención al colapso (daños severos).

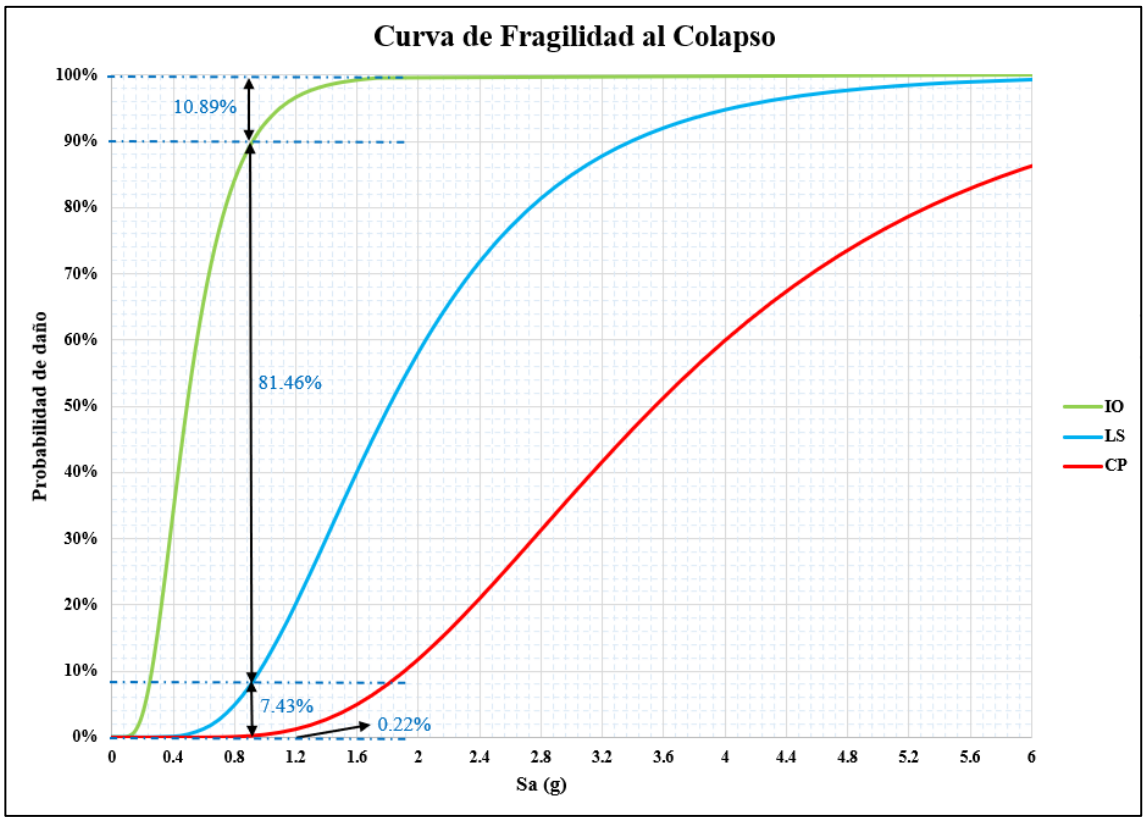


Figura 96: Curva de fragilidad NS-NEC.

De acuerdo con la siguiente figura se puede observar que para una intensidad sísmica máxima de 0.8g, la estructura puede presentar una probabilidad de 20.44% de no sufrir daño, un 79.1% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de ocupación inmediata (estructura habitable y funcional), un 0.458% de probabilidad de daño y de permanecer en un nivel de desempeño de seguridad de vida (grietas visibles pero funcional), y un 0.002% de probabilidad de daño y de llegar a un nivel de desempeño de prevención al colapso (daños severos).

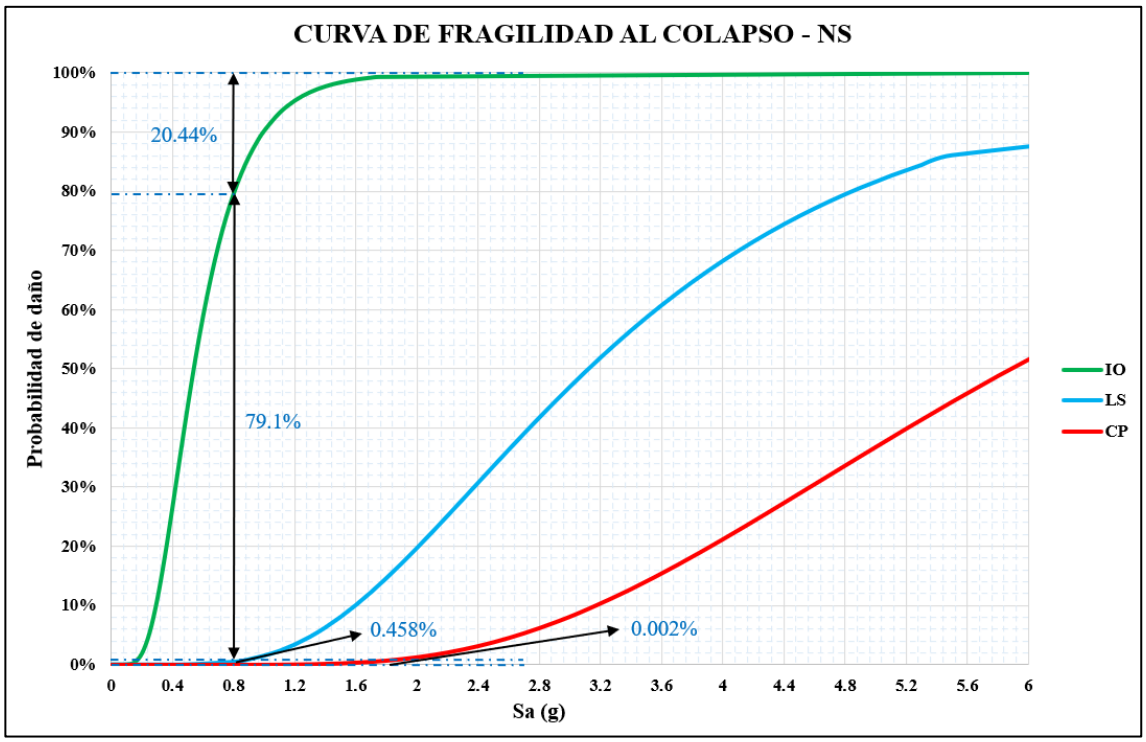


Figura 96: Curva de fragilidad NS-ASCE.

4.3.6 Discusión

Tabla 41: Probabilidad de daño NEC 24 vs ASCE 7-22.

	EW		NS	
	NEC	ASCE	NEC	ASCE
Sin daño	10.93%	34.60%	10.89%	20.44%
IO	88.60%	65.26%	81.46%	79.10%
LS	0.41%	0.1392%	7.43%	0.46%
CP	0.06%	0.0008%	0.22%	0.002%

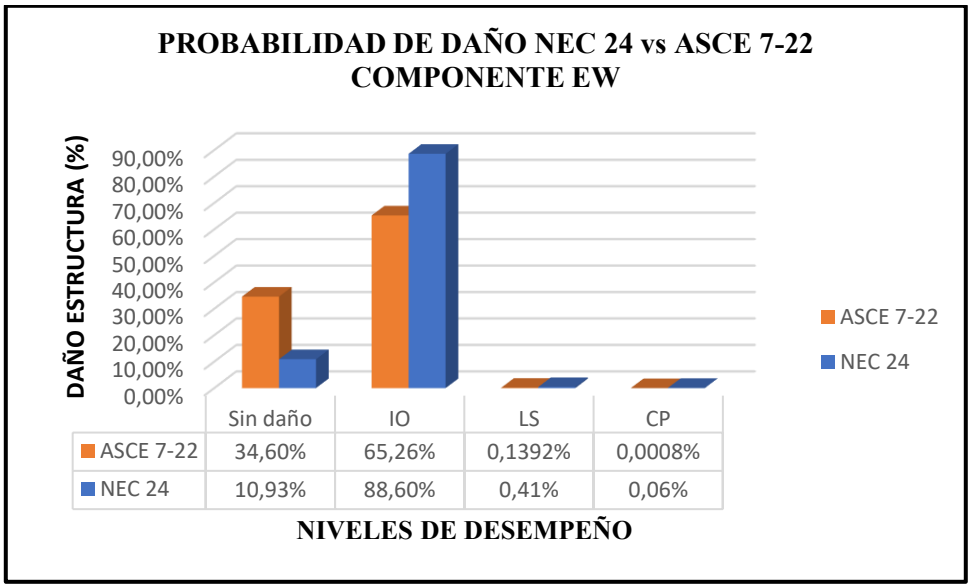


Figura 97: Probabilidad de daño NEC 24 vs ASCE 7-22 Componente EW

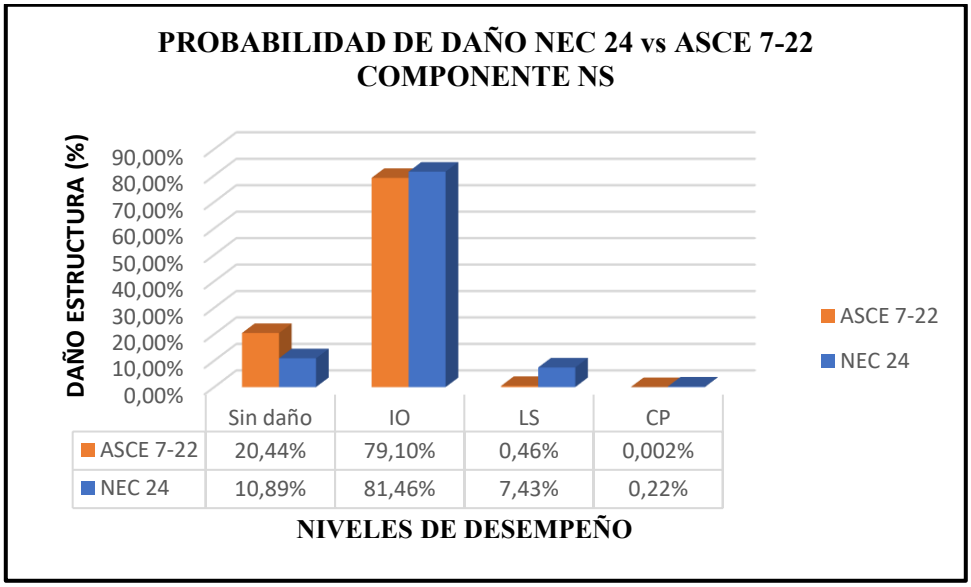


Figura 98: Probabilidad de daño NEC 24 vs ASCE 7-22 Componente EW

De acuerdo con las gráficas anteriores que muestra las probabilidades de daño entre la NEC y ASCE basándose en las gráficas de curva de fragilidad definidas anteriormente, se puede discutir lo siguiente:

- **Estado "Sin daño"**

La NEC establece una probabilidad significativamente menor de permanecer sin daño estructural en comparación con la ASCE. Por ejemplo, en la dirección E-W, la NEC estima un 10.93% frente a un 34.60% de la ASCE. Esto supone que, según la NEC, es mucho menos probable que la estructura no sufra daño durante el sismo.

- **Ocupación Inmediata "IO"**
  Se establece que es el estado de daño más probable para ambos criterios. La NEC presume una probabilidad mayor para este nivel de desempeño (88.60% E-W, 81.46% N-S) en comparación con la ASCE (65.26% E-W, 79.10% N-S). Esto supone que la NEC centra la mayor parte de la probabilidad en un daño leve (IO), mientras que la ASCE al presentar una probabilidad más baja en IO y más alta en el estado de "Sin daño", considera que el comportamiento de la estructura es mejor.

- **Seguridad de Vida "LS" y Prevención de Colapso "CP"**
  Se define cual sería más conservador (NEC o ASCE) considerando la seguridad estructural.

  Dirección EW: Las probabilidades de daño severo (LS + CP) son muy bajas para ambas normas, pero la NEC (0.47%) estima una mayor probabilidad de daño que la ASCE (0.14%).

  Dirección NS: La diferencia es notable. La NEC estima una probabilidad combinada de daño severo (LS + CP) del 7.65%, mientras que la ASCE estima en apenas un 0.462%.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.

5.1. Conclusiones

- Con base en los resultados del análisis dinámico no lineal, se observó inicialmente la formación de rótulas plásticas en las columnas, lo cual podría afectar la estabilidad estructural y aumentar el riesgo de un posible colapso.
- La NEC 24 estima probabilidades de daño estructural notablemente más altas lo que permite priorizar y minimizar la probabilidad de colapso (CP) y de daños que pongan en riesgo la vida (LS) para estos niveles de desempeño límites, especialmente en la dirección NS. Esto implica que la propuesta de la NEC 24 es más estricta o cautelosa en su evaluación, considerando que hay un riesgo mayor de que la estructura sufra daños graves.
- Se concluye que la NEC 24 estima un diseño estructural más seguro y adaptado a las condiciones reales del país, debido a que considera características sísmicas de cada zona. En este caso para Ambato, la norma define su ubicación en una zona de alta intensidad sísmica, lo que permite establecer parámetros de diseño más precisos y exigentes para garantizar un mejor desempeño estructural.
- La ASCE 7-22 realiza una consideración más general del peligro sísmico sin considerar en detalle las particularidades locales que la NEC 24 toma en consideración.
- Las diferencias entre ambas normas pueden deberse a que la propuesta NEC 24 utiliza espectros sísmicos o criterios de diseño más exigentes para la ubicación específica (zona con alta peligrosidad sísmica) en comparación con los criterios generales de la ASCE 7-22, que podrían estar calibrados para un contexto diferente.
- Los resultados obtenidos en esta investigación son estimaciones de la vulnerabilidad que la estructura pueda presentar durante diferentes escenarios sísmicos, además en las simulaciones no se consideró el tipo de conexión de acuerdo con los planos correspondientes.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis del comportamiento de las conexiones ente columna y viga de la estructura puesto que para esta investigación se consideraron conexiones rígidas.
- En áreas con alta amenaza sísmica, se recomienda efectuar un análisis sismorresistente, además, se sugiere evaluar el comportamiento de las edificaciones cuando operan dentro del rango no lineal.
- Se sugiere realizar un análisis dinámico no lineal en el dominio del tiempo para estructuras especiales o de gran relevancia, ya que, aunque este tipo de estudio implica un alto costo computacional, tiempo y recursos económicos, sus resultados

representan con mayor precisión el comportamiento real de la estructura cuando se definen correctamente los parámetros de análisis.

5.3. Bibliografía

[1] Ministrerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, "Peligro sísmico Diseño sismo Resistente parte 1," Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/02/NE C-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte1.pdf.

[2] K: Project Participants, Federal Emergency Management Agency, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, Washington: FEMA 154, 2015.

[3] Ministerio de desarrollo Urbano y Vivienda., Guía Práctica para la evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, Quito: MIDUVI, 2016.

[4]https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93538/13CAPITULO4.pdf?sequence=13&isAllowed=y

[5] http://cimogsys.espoch.edu.ec/direccion-ublicaciones/public/docs/books/2023-01-18-133019-L2022-011.pdf

[6] E. T. Hernández y J. S. G. Carrera, «COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE ACERO DURANTE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 2017», Rev. Ing. Sísmica, n.o 101, Art. n.o 101, dic. 2019, doi: 10.18867/ris.101.499.

[7] L. M. B. Sánchez y E. R. Angulo, «Análisis De Los Daños En Viviendas Y Edificios Comerciales Durante La Ocurrencia Del Sismo Del 19 De septiembre De 2017», Rev. Ing. Sísmica, n.o 101, Art. n.o 101, dic. 2019, doi: 10.18867/ris.101.508.

[8] H. Acevedo, Uscátegui, J., & Gómez, S. (2017). Metodología para la detección de fallas en una estructura entramada metálica empleando las técnicas de análisis modal y PSO. Revista UIS Ingenierías, 16(2), 43–50. https://doi.org/10.18273/revuin.v16n2-2017004.

[9] C. Neyra and G. Romero, "Influencia de la interacción suelo - estructura en el análisis sísmico en edificaciones aporticadas sobre zapatas aisladas debido al cambio de geometría y condiciones geotécnicas," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2022.

[10] D. López and J. Botero, "Análisis de la respuesta dinámica estructural considerando los efectos de la interacción suelo estructura limitada a los requisitos de la NEC-SE-DS-2015," Universidad EAFIT, 2020.

[11] https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Ecuador

[12] ASCE 41-17

[13] R. E. Alas Fernández y S. O. Grijalva Portal, “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental”, Tesis de Maestría, Universidad de El Salvador, 2018.

[14] R. Santana. “Diseño sísmico por desempeño de estructuras de albañilería confinada”. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2012.

[15] A.B. Núñez Palacios, “Diseño por desempeño de un edificio de hormigón armado utilizando el método de análisis tiempo-historia”, Universidad Técnica de Ambato, 2018.

[16] https://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografosRed Nacional de Acelerógrafos (RENAC) - Instituto Geofísico - EPN

[17] Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). Incremental dynamicanalysis. Earthquakeengineering&structuraldynamics, 31(3), 491-514.

[18] M. Roger et al., “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental”, Tesis de Maestría, Universidad de El Salvador, junio,2018.

[19] (D’Ayala et al., 2015).

[20] R. E. Alas Fernández y S. O. Grijalva Portal, “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental”, Tesis de Maestría, Universidad de El Salvador, 2018.

[21] Consultoría aprobada en la Ilustre Municipalidad de Ambato

22] https://es.scribd.com/document/569326013/L01-Modelos-Hystereticos

[23] https://es.scribd.com/document/522963713/Capacidades-de-Modelamiento-No-Lineal-de-ETABS

5.4. Anexos

ESPECTRO NEC 2024

ESPECTRO PARA ANÁLISIS DINÁMICO		
	Elástico	Reducido
T	Sa	Sa
seg.	(g)	(g)
0	0.480	0.078
0.03	0.648	0.105
0.06	0.816	0.133
0.15	1.190	0.193
0.2	1.190	0.193
0.25	1.190	0.193
0.3	1.190	0.193
0.35	1.190	0.193
0.4	1.190	0.193
0.45	1.190	0.193
0.5	1.190	0.193
0.55	1.190	0.193
0.6	1.190	0.193
0.65	1.190	0.193
0.7	1.187	0.193
0.75	1.108	0.180
0.8	1.039	0.169
0.85	0.978	0.159
0.9	0.923	0.150
0.95	0.875	0.142
1	0.831	0.135
1.05	0.791	0.129
1.1	0.756	0.123
1.15	0.723	0.117
1.2	0.693	0.113
1.25	0.665	0.108
1.3	0.639	0.104
1.35	0.616	0.100
1.4	0.594	0.096
1.45	0.573	0.093
1.5	0.554	0.090
1.55	0.536	0.087
1.6	0.519	0.084
1.65	0.504	0.082
1.7	0.489	0.079
1.75	0.475	0.077
1.8	0.462	0.075
1.85	0.449	0.073
1.9	0.437	0.071
1.95	0.426	0.069
2	0.416	0.068
2.05	0.405	0.066
2.1	0.396	0.064
2.15	0.387	0.063
2.2	0.378	0.061
2.25	0.369	0.060
2.3	0.361	0.059
2.35	0.354	0.057
2.4	0.346	0.056
2.45	0.339	0.055
2.5	0.332	0.054
3	0.277	0.045
4	0.208	0.034
5	0.166	0.027
6	0.139	0.023

Tabla 42: Datos Espectro NEC 24

ANÁLISIS ESPECTRO ASCE 7-22

T	Sa
0.00	0.30
0.15	0.76
0.25	0.76
0.40	0.76
0.50	0.62
0.60	0.51
0.70	0.44
0.80	0.39
0.90	0.34
1.00	0.31
1.10	0.28
1.20	0.26
1.30	0.24
1.40	0.22
1.50	0.21
1.60	0.19
1.70	0.18
1.80	0.17
1.90	0.16
2.00	0.15
2.10	0.15
2.20	0.14
2.30	0.13
2.40	0.13
2.50	0.12
2.60	0.12
2.70	0.11
2.80	0.11
2.90	0.11
3.00	0.10
3.10	0.10
3.20	0.10
3.30	0.09
3.40	0.09
3.50	0.09
3.60	0.09
3.70	0.08
3.80	0.08
3.90	0.08
4.00	0.08
4.10	0.08
4.20	0.07
4.30	0.07
4.40	0.07
4.50	0.07
4.60	0.07
4.70	0.07
4.80	0.06
4.90	0.06
5.00	0.06
5.10	0.06
5.20	0.06
5.30	0.06
5.40	0.06
5.50	0.06
5.60	0.06
5.70	0.05
5.80	0.05
5.90	0.05
6.00	0.05

Tabla 43: Datos Espectro ASCE 7-22

DERIVAS COALINGA.H_H_EW NEC 24

COALINGA.H_H_EW										
Aceleración Deriva	**0,20 g**	**0,40 g**	**0,60 g**	**0,80 g**	**1,00 g**	**1,20 g**	**1,40 g**	**1,60 g**	**1,80 g**	**2,00 g**
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)	0,000588	0,000854	0,00139	0,001592	0,001802	0,002152	0,002294	0,002397	0,002429	0,00241
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)	0,002527	0,004827	0,006824	0,007586	0,009297	0,010826	0,01108	0,011892	0,012252	0,012803
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)	0,004303	0,007704	0,010898	0,01332	0,015464	0,017129	0,018669	0,019254	0,020691	0,021896
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)	0,000186	0,000329	0,00044	0,000535	0,000605	0,000663	0,000722	0,000774	0,000807	0,000877
Base - 3.42 (+0.00)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	**2,40 g**	**2,60 g**	**2,80 g**	**3,00 g**	**3,20 g**	**3,40 g**	**3,60 g**	**3,80 g**	**4,00 g**	**4,20 g**	**4,40 g**	**4,60 g**
0,002415	0,002447	0,002496	0,002379	0,002401	0,002472	0,002389	0,002416	0,002329	0,002548	0,00264	0,002712	0,002784
0,013371	0,013532	0,013794	0,013951	0,014264	0,014833	0,015064	0,01554	0,015864	0,016023	0,016415	0,016894	0,017546
0,022339	0,022838	0,023698	0,024839	0,02584	0,027588	0,03158	0,03548	0,037128	0,041465	0,044622	0,047864	0,051324
0,000972	0,000102	0,001033	0,001054	0,01086	0,001135	0,001184	0,001215	0,001255	0,001289	0,001319	0,0013894	0,0014541
0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 44: DERIVAS COALINGA.H_H_EW NEC 24

DERIVAS COALINGA.H_H_NS NEC 24

COALINGA.H_H_NS										
Aceleración Deriva	**0,00 g**	**0,20 g**	**0,40 g**	**0,60 g**	**0,80 g**	**1,00 g**	**1,20 g**	**1,40 g**	**1,60 g**	**1,80 g**
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000376	0,000764	0,001151	0,001491	0,001762	0,00207	0,002364	0,002635	0,002841
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,002517	0,004893	0,007269	0,009499	0,011222	0,012531	0,013611	0,014455	0,014987
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,003284	0,006349	0,009416	0,011944	0,013758	0,016034	0,018757	0,021305	0,02344
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,00019	0,000376	0,000562	0,000736	0,000904	0,001062	0,001213	0,001344	0,00147
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,00 g	**2,20 g**	**2,40 g**	**2,60 g**	**2,80 g**	**3,00 g**	**3,20 g**	**3,40 g**	**3,60 g**
0,003033	0,003073	0,00325	0,003402	0,003662	0,003868	0,004175	0,004351	0,004512
0,015505	0,017213	0,017573	0,018084	0,020037	0,021214	0,022283	0,023453	0,024213
0,025402	0,027982	0,031348	0,034386	0,037409	0,040567	0,043499	0,047452	0,050142
0,001599	0,001746	0,001866	0,001994	0,002136	0,002265	0,002381	0,002412	0,002484
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 45: DERIVAS COALINGA.H_H_NS NEC 24

DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_EW NEC 24

NORTHR_STN020.AT2_EW										
Aceleración Deriva	**0,20 g**	**0,40 g**	**0,60 g**	**0,80 g**	**1,00 g**	**1,20 g**	**1,40 g**	**1,60 g**	**1,80 g**	**2,00 g**
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)	0,000315	0,000626	0,000914	0,001248	0,001524	0,001741	0,001758	0,001776	0,001792	0,002145
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)	0,001988	0,002794	0,003829	0,005559	0,006866	0,008109	0,008943	0,0096279	0,010276	0,010865
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)	0,002755	0,004436	0,006443	0,008881	0,010565	0,013203	0,01489	0,015465	0,016697	0,017954
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)	0,000085	0,00019	0,000278	0,000381	0,000464	0,00056	0,00059	0,000627	0,00068	0,000728
Base - 3.42 (+0.00)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	**2,40 g**	**2,60 g**	**2,80 g**	**3,00 g**	**3,20 g**	**3,40 g**	**3,60 g**	**3,80 g**	**4,00 g**
0,002402	0,002454	0,002484	0,0025	0,002519	0,002535	0,002596	0,002631	0,002685	0,002715
0,011192	0,012145	0,01297	0,013306	0,014014	0,014791	0,015468	0,01612	0,016987	0,017456
0,018771	0,019254	0,020744	0,021048	0,022971	0,024494	0,02589	0,028654	0,030897	0,032846
0,000769	0,000785	0,000814	0,000848	0,009846	0,000906	0,009644	0,001005	0,001038	0,001089
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4,20 g	**4,40 g**	**4,60 g**	**4,80 g**	**5,00 g**	**5,20 g**
0,002798	0,002801	0,00278	0,0028465	0,002897	0,002921
0,018156	0,019021	0,019825	0,0204123	0,020981	0,021424
0,035664	0,037841	0,041027	0,045412	0,048122	0,051465
0,00114	0,001189	0,001223	0,0012865	0,001321	0,013765
0	0	0	0	0	0

Tabla 46: DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_EW NEC 24

DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_NS NEC 24

NORTHR_STN020.AT2_NS									
Aceleración Deriva	**0,00 g**	**0,20 g**	**0,40 g**	**0,60 g**	**0,80 g**	**1,00 g**	**1,20 g**	**1,40 g**	**1,60 g**
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000239	0,000573	0,000718	0,001055	0,001122	0,00121	0,001306	0,001457
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,001837	0,003844	0,005563	0,007542	0,008997	0,009083	0,001022	0,011196
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,002595	0,004806	0,007456	0,009835	0,011946	0,014123	0,017558	0,019082
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,000199	0,000351	0,000592	0,000699	0,00087	0,001138	0,001205	0,001374
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0

1,80 g	2,00 g	2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g
0,001587	0,001878	0,002082	0,002145	0,002225	0,002349	0,002445	0,002551
0,011887	0,012454	0,013683	0,014289	0,015302	0,015945	0,016451	0,017143
0,021869	0,025481	0,029336	0,033859	0,037662	0,041841	0,044485	0,050027
0,001555	0,001624	0,001792	0,001846	0,001916	0,001977	0,0020054	0,002091
0		0	0	0	0	0	0

Tabla 47: DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_NS NEC 24

DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_EW NEC 24

RSN5652_IWATE_IWTH20_EW										
Aceleración Deriva	**0,20 g**	**0,40 g**	**0,60 g**	**0,80 g**	**1,00 g**	**1,20 g**	**1,40 g**	**1,60 g**	**1,80 g**	**2,00 g**
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)	0,000443	0,000862	0,001191	0,001665	0,001945	0,002324	0,002472	0,002582	0,0026012	0,002628
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)	0,00229	0,003428	0,005128	0,008411	0,009875	0,010262	0,017641	0,011303	0,011947	0,012048
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)	0,003579	0,007369	0,010491	0,013053	0,015234	0,016561	0,018741	0,019489	0,021467	0,023481
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)	0,000148	0,000222	0,000332	0,000553	0,000605	0,000652	0,000724	0,000765	0,000812	0,000854
Base - 3.42 (+0.00)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g	4,00 g	4,20 g
0,002638	0,002641	0,002698	0,002733	0,002806	0,002847	0,002952	0,002988	0,002994	0,003002	0,003011
0,012909	0,013474	0,013916	0,014537	0,015413	0,015945	0,016006	0,016245	0,016564	0,016894	0,017105
0,024215	0,026744	0,027148	0,031454	0,035672	0,03874	0,042879	0,045241	0,04946	0,05264	0,056578
0,000897	0,000924	0,000965	0,00984	0,001016	0,0010517	0,001086	0,00112	0,001145	0,001167	0,001197
0	0	0	0	0	0	0				0

Tabla 48: DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_EW NEC 24

DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_NS NEC 24

RSN5652_IWATE_IWTH20_NS											
Aceleración Deriva	**0,00 g**	**0,20 g**	**0,40 g**	**0,60 g**	**0,80 g**	**1,00 g**	**1,20 g**	**1,40 g**	**1,60 g**	**1,80 g**	**2,00 g**
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000237	0,000645	0,000712	0,001058	0,001147	0,001654	0,001842	0,002011	0,002154	0,002274
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,002162	0,004391	0,006243	0,008549	0,009952	0,013198	0,013745	0,01484	0,015012	0,015551
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,002982	0,005906	0,008565	0,011552	0,013787	0,019901	0,023246	0,0256	0,02846	0,030307
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,000184	0,000342	0,000556	0,000668	0,000912	0,001214	0,001345	0,001465	0,001548	0,001639
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0		0	0	0

2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g	4,00 g
0,002301	0,002368	0,002484	0,002622	0,0027456	0,00291	0,002964	0,003012	0,003083	0,003112
0,015845	0,016281	0,016742	0,017043	0,017254	0,017511	0,017864	0,018264	0,018811	0,019416
0,032451	0,035006	0,036464	0,038097	0,040684	0,043332	0,045312	0,047981	0,049067	0,051234
0,001698	0,001732	0,001758	0,001793	0,0018012	0,001882	0,019351	0,019615	0,002007	0,002155
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 49: DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_NS NEC 24

DERIVAS MÁXIMAS "EW"										
Aceleración	0 g	0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.80 g	1.00 g	1.20 g	1.40 g	1.60 g	1.80 g
COALINGA.H_H_EW	0	0.004303	0.007704	0.0109	0.01332	0.01546	0.01713	0.0187	0.019	0.021
NORTHR_STN020.AT2_EW	0	0.002755	0.004436	0.00644	0.008881	0.01057	0.0132	0.0149	0.015	0.017
RSN5652_IWATE_IWTH20_EW	0	0.003579	0.007369	0.01049	0.013053	0.01523	0.01656	0.0187	0.019	0.021

2.00 g	2.20 g	2.40 g	2.60 g	2.80 g	3.00 g	3.20 g	3.40 g	3.60 g	3.80 g	4.00 g	4.20 g	4.40 g	4.60 g	4.80 g	5.00 g	5.20 g
0.022	0.022	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.032	0.035	0.037	0.041	0.045	0.048	0.051			
0.018	0.019	0.019	0.021	0.021	0.023	0.024	0.026	0.029	0.031	0.033	0.036	0.038	0.041	0.045	0.048	0.0515
0.023	0.024	0.027	0.027	0.031	0.036	0.039	0.043	0.045	0.049	0.053	0.057					

Tabla 50: Derivas máximas EW (Análisis según NEC 24)

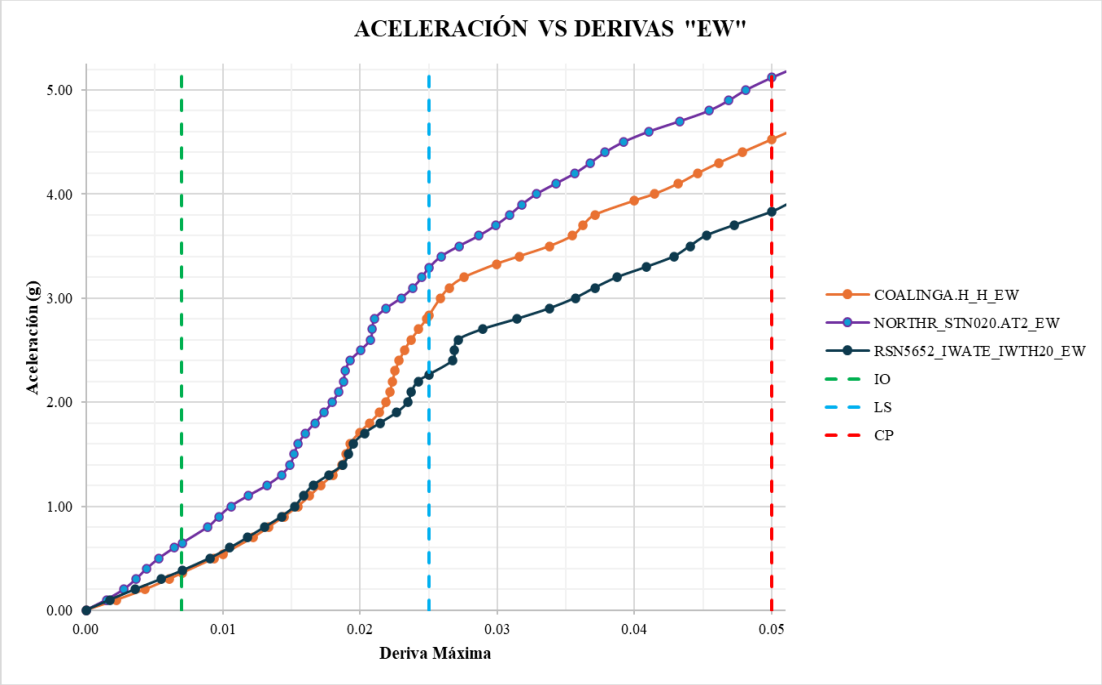
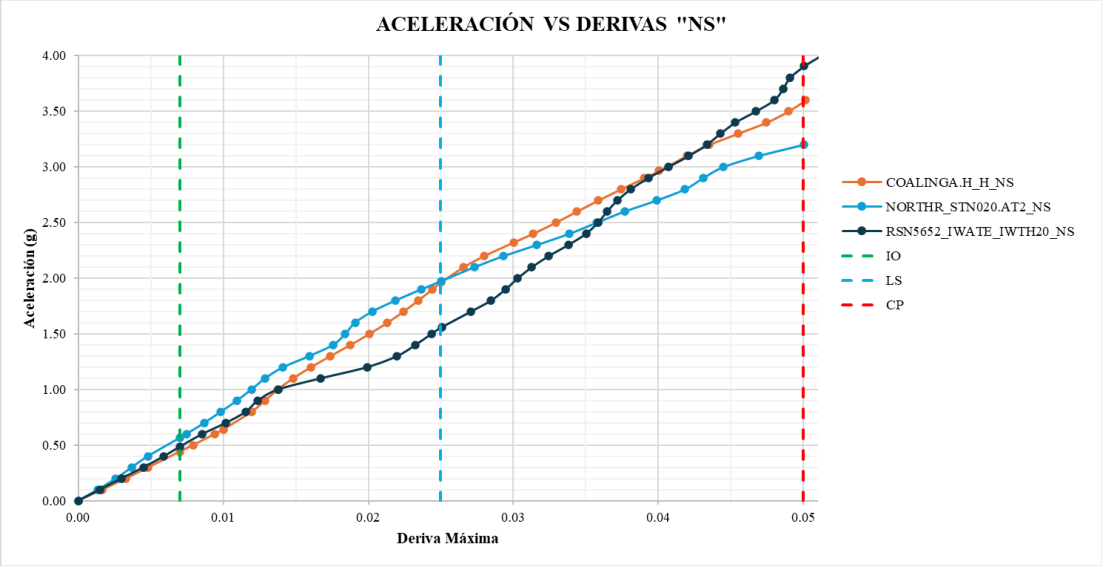


Tabla 33: Derivas máximas NS (Análisis según NEC 24)

DERIVAS MÁXIMAS "NS"							
Aceleración	0 g	0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.80 g	1.00 g	1.20 g
COALINGA.H_H_NS	0	0.003284	0.006349	0.00942	0.011944	0.01376	0.01603
NORTHR_STN020.AT2_NS	0	0.002595	0.004806	0.00746	0.009835	0.01195	0.01412
RSN5652_IWATE_IWTH20_NS	0	0.002982	0.005906	0.00857	0.011552	0.01379	0.0199

1.40 g	1.60 g	1.80 g	2.00 g	2.20 g	2.40 g	2.60 g	2.80 g	3.00 g	3.20 g	3.40 g	3.60 g	3.80 g	4.00 g
0.0188	0.021	0.023	0.025	0.028	0.031	0.034	0.037	0.041	0.043	0.047	0.05		
0.0176	0.019	0.022	0.025	0.029	0.034	0.038	0.042	0.044	0.05				
0.0232	0.026	0.028	0.03	0.032	0.035	0.036	0.038	0.041	0.043	0.045	0.048	0.049	0.051

Tabla 51: Derivas máximas NS (Análisis según NEC 24)



INTERPOLACIÒN SPLINE CUBIC NEC 24

COALINGA.H_H_EW							
EW				NS			
X	Y	SPLINE X	SPLINE Y	X	Y	SPLINE X	SPLINE Y
0	0	0	0	0	0	0	0
0,004303	0,2	0,1	0,002242	0,003284	0,2	0,1	0,001666
0,007704	0,4	0,2	0,004303	0,006349	0,4	0,2	0,003284
0,010898	0,6	0,3	0,006071	0,009416	0,6	0,3	0,004825
0,01332	0,8	0,357	0,007004	0,011944	0,8	0,442	0,007000
0,015464	1	0,5	0,009358	0,013758	1	0,5	0,007904
0,017129	1,2	0,54	0,009999	0,016034	1,2	0,6	0,009416

0,018669	1,4	0,7	0,012181	0,018757	1,4	0,641	0,010000
0,019254	1,6	0,8	0,013320	0,021305	1,6	0,8	0,011944
0,020691	1,8	0,9	0,014440	0,02344	1,8	0,9	0,012869
0,021896	2	1	0,015464	0,025402	2	1	0,013758
0,022339	2,2	1,1	0,016318	0,027982	2,2	1,1	0,014810
0,022838	2,4	1,2	0,017129	0,031348	2,4	1,2	0,016034
0,023698	2,6	1,3	0,017993	0,034386	2,6	1,3	0,017380
0,024839	2,8	1,4	0,018669	0,037409	2,8	1,4	0,018757
0,02584	3	1,5	0,018969	0,040567	3	1,5	0,020078
0,027588	3,2	1,6	0,019254	0,043499	3,2	1,6	0,021305
0,03158	3,4	1,71	0,019965	0,047452	3,4	1,7	0,022422
0,03548	3,6	1,8	0,020691	0,050142	3,6	1,8	0,023440
0,037128	3,8	1,9	0,021395			1,9	0,024397
0,041465	4	2	0,021896			1,965	0,025037
0,044622	4,2	2,1	0,022168			2,1	0,026573
0,047864	4,4	2,2	0,022339			2,2	0,027982
0,051324	4,6	2,3	0,022549			2,321	0,030003
		2,4	0,022838			2,4	0,031348
		2,5	0,023218			2,5	0,032913
		2,6	0,023698			2,6	0,034386
		2,7	0,024268			2,7	0,035865
		2,8	0,024839			2,8	0,037409
		2,831	0,025000			2,9	0,039026
		3	0,025840			2,965	0,040048
		3,1	0,026488			3,1	0,041948
		3,2	0,027588			3,2	0,043499
		3,326	0,029914			3,3	0,045480
		3,4	0,031580			3,4	0,047452
		3,5	0,033823			3,5	0,048953
		3,6	0,035480			3,6	0,050142
		3,7	0,036231				
		3,8	0,037128				
		3,935	0,039975				
		4	0,041465				
		4,1	0,043204				

		4,2	0,044622				
		4,3	0,046176				
		4,4	0,047864				
		4,525	0,050022				
		4,6	0,051324				

NORTHR_STN020.AT2_EW							
EW				NS			
X	Y	SPLINE X	SPLINE Y	X	Y	SPLINE X	SPLINE Y
0	0	0	0	0	0	0	0
0,002755	0,2	0,1	0,001489	0,002595	0,2	0,1	0,001350
0,004436	0,4	0,2	0,002755	0,004806	0,4	0,2	0,002595
0,006443	0,6	0,3	0,003664	0,007456	0,6	0,3	0,003688
0,008881	0,8	0,4	0,004436	0,009835	0,8	0,4	0,004806
0,010565	1	0,5	0,005336	0,011946	1	0,566	0,007005
0,013203	1,2	0,6	0,006443	0,014123	1,2	0,6	0,007456
0,01489	1,4	0,645	0,007011	0,017558	1,4	0,7	0,008690
0,015465	1,6	0,8	0,008881	0,019082	1,6	0,8	0,009835
0,016697	1,8	0,9	0,009700	0,021869	1,8	0,9	0,010937
0,017954	2	1	0,010565	0,025481	2	1	0,011946
0,018771	2,2	1,1	0,011839	0,029336	2,2	1,1	0,012880
0,019254	2,4	1,2	0,013203	0,033859	2,4	1,2	0,014123
0,020744	2,6	1,3	0,014248	0,037662	2,6	1,3	0,015917
0,021048	2,8	1,4	0,014890	0,041841	2,8	1,4	0,017558
0,022971	3	1,5	0,015189	0,044485	3	1,5	0,018415
0,024494	3,2	1,6	0,015465	0,050027	3,2	1,6	0,019082
0,02589	3,4	1,7	0,016005			1,7	0,020262
0,028654	3,6	1,8	0,016697			1,8	0,021869
0,030897	3,8	1,9	0,017361			1,9	0,023650
0,032846	4	2	0,017954			1,974	0,025005
0,035664	4,2	2,1	0,018450			2,1	0,027322
0,037841	4,4	2,2	0,018771			2,2	0,029336
0,041027	4,6	2,3	0,018916			2,3	0,031626
0,045412	4,8	2,4	0,019254			2,4	0,033859
0,048122	5	2,5	0,020044			2,5	0,035753
0,051465	5,2	2,6	0,020744			2,6	0,037662
		2,7	0,020879			2,7	0,039881
		2,8	0,021048			2,8	0,041841
		2,9	0,021871			2,9	0,043087
		3	0,022971			3	0,044485
		3,1	0,023848			3,1	0,046919
		3,2	0,024494			3,2	0,050027

		3,29	0,025003				
		3,4	0,025890				
		3,5	0,027195				
		3,6	0,028654				
		3,7	0,029891				
		3,8	0,030897				
		3,9	0,031790				
		4	0,032846				
		4,1	0,034248				
		4,2	0,035664				
		4,3	0,036778				
		4,4	0,037841				
		4,5	0,039202				
		4,6	0,041027				
		4,7	0,043295				
		4,8	0,045412				
		4,9	0,046874				
		5	0,048122				
		5,12	0,050025				
		5,2	0,051465				

RSN5652_IWATE_IWTH20_EW							
EW				NS			
X	Y	SPLINE X	SPLINE Y	X	Y		SPLINE Y
0	0	0	0	0	0	0	0
0,003579	0,2	0,1	0,001754	0,002982	0,2	0,1	0,001484
0,007369	0,4	0,2	0,003579	0,005906	0,4	0,2	0,002982
0,010491	0,6	0,3	0,005501	0,008565	0,6	0,3	0,004488
0,013053	0,8	0,38	0,007009	0,011552	0,8	0,4	0,005906
0,015234	1	0,5	0,009030	0,013787	1	0,486	0,007009
0,016561	1,2	0,6	0,010491	0,019901	1,2	0,6	0,008565
0,018741	1,4	0,7	0,011806	0,023246	1,4	0,7	0,010183
0,019489	1,6	0,8	0,013053	0,0256	1,6	0,8	0,011552
0,021467	1,8	0,9	0,014261	0,02846	1,8	0,9	0,012378
0,023481	2	1	0,015234	0,030307	2	1	0,013787
0,024215	2,2	1,1	0,015855	0,032451	2,2	1,1	0,016712
0,026744	2,4	1,2	0,016561	0,035006	2,4	1,2	0,019901
0,027148	2,6	1,3	0,017703	0,036464	2,6	1,3	0,021975
0,031454	2,8	1,4	0,018741	0,038097	2,8	1,4	0,023246
0,035672	3	1,5	0,019166	0,040684	3	1,5	0,024357
0,03874	3,2	1,6	0,019489	0,043332	3,2	1,56	0,025074
0,042879	3,4	1,7	0,020299	0,045312	3,4	1,7	0,027073
0,045241	3,6	1,8	0,021467	0,047981	3,6	1,8	0,028460
0,04946	3,8	1,9	0,022664	0,049067	3,8	1,9	0,029466
0,05264	4	2	0,023481	0,051234	4	2	0,030307
0,056578	4,2	2,1	0,023732			2,1	0,031276
		2,2	0,024215			2,2	0,032451
		2,265	0,025035			2,3	0,033794
		2,4	0,026744			2,4	0,035006
		2,5	0,026857			2,5	0,035832

		2,6	0,027148			2,6	0,036464
		2,7	0,028908			2,7	0,037173
		2,8	0,031454			2,8	0,038097
		2,9	0,033795			2,9	0,039299
		3	0,035672			3	0,040684
		3,1	0,037134			3,1	0,042099
		3,2	0,038740			3,2	0,043332
		3,3	0,040895			3,3	0,044278
		3,4	0,042879			3,4	0,045312
		3,5	0,044055			3,5	0,046725
		3,6	0,045241			3,6	0,047981
		3,7	0,047255			3,7	0,048591
		3,83	0,050017			3,8	0,049067
		3,9	0,051131			3,905	0,050050
		4	0,052640			4	0,051234
		4,1	0,054487				
		4,2	0,056578				

Tablas 52: INTERPOLACIÒN SPLINE CUBIC NEC 24

Datos probabilísticos de los niveles de desempeño E-W NEC 24

IO	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,05	0,02%
0,1	0,77%
0,15	4,00%
0,2	10,17%
0,25	18,39%
0,3	27,51%
0,35	36,66%
0,4	45,27%
0,45	53,07%
0,5	59,96%
0,55	65,95%
0,6	71,08%
0,7	79,17%
0,8	84,95%
0,9	89,07%
1	92,01%
1,2	95,63%
1,4	97,53%
1,6	98,56%

LS	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,5	0,01%
0,9	0,47%
1,2	2,17%
1,4	4,37%
1,8	11,47%
2,2	21,26%
2,3	23,96%
2,4	26,70%
2,5	29,47%
2,6	32,26%
2,7	35,04%
2,8	37,79%
2,9	40,51%
3	43,18%
3,2	48,33%
3,4	53,21%
3,6	57,76%
3,8	61,97%
4	65,84%

CP	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,9	0,06%
1,2	0,41%
1,6	1,96%
2	5,37%
2,1	6,54%
2,2	7,82%
2,3	9,22%
2,4	10,73%
2,5	12,34%
2,6	14,04%
2,7	15,81%
2,8	17,65%
2,9	19,56%
3	21,51%
3,3	27,56%
3,6	33,74%
3,9	39,84%
4,2	45,72%
4,5	51,29%

1,8	99,14%	4,3	71,02%	4,8	56,48%
2	99,47%	4,6	75,49%	5,1	61,25%
2,2	99,67%	4,9	79,32%	5,4	65,60%
2,4	99,79%	5,2	82,57%	5,7	69,54%
2,6	99,86%	5,5	85,32%	6	73,07%
2,8	99,91%	5,8	87,65%	6,3	76,23%
3	99,94%	6,1	89,60%	6,6	79,05%
3,2	99,96%	6,4	91,24%	6,9	81,54%
3,4	99,97%	6,5	91,73%	7,2	83,75%
6	100,00%	8	96,45%	8	88,45%

Tablas 52: Datos probabilísticos de los niveles de desempeño E-W NEC 24

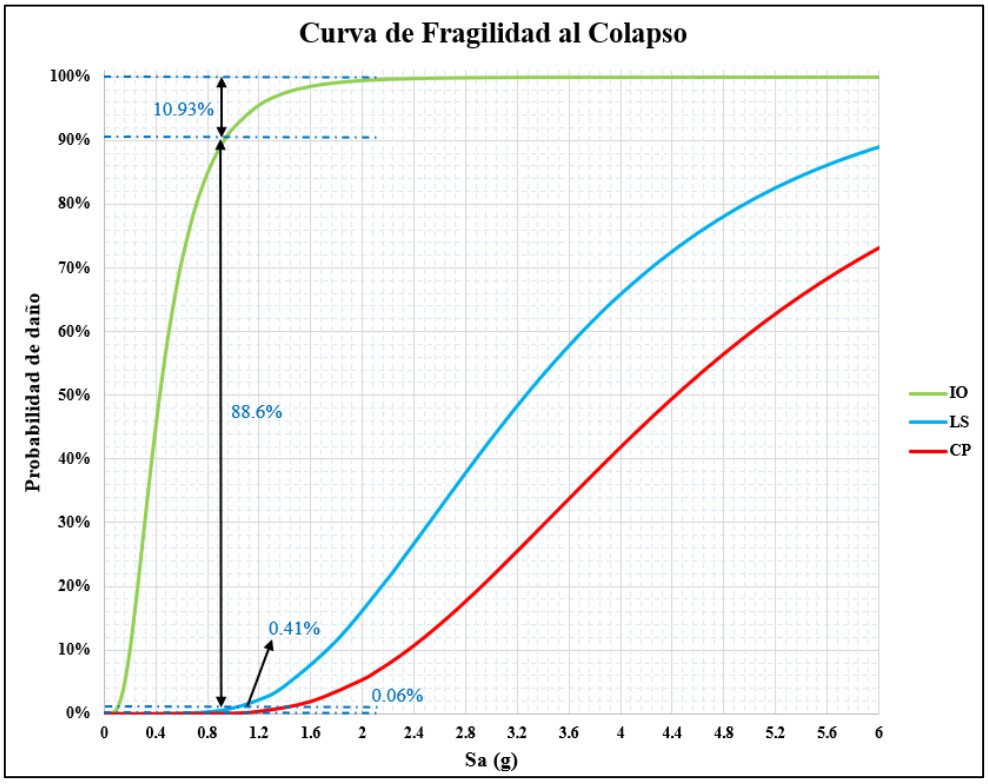


Figure 75: Curva de fragilidad EW-NEC

Datos probabilísticos de los niveles de desempeño N-S NEC 24

IO	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,05	0,00%
0,1	0,05%
0,15	0,75%
0,2	3,25%
0,25	8,24%
0,3	15,48%
0,35	24,18%
0,4	33,46%
0,45	42,61%
0,5	51,17%
0,55	58,88%
0,6	65,64%
0,65	71,44%
0,7	76,36%
0,75	80,49%
0,8	83,92%
0,85	86,76%
0,9	89,11%
0,95	91,04%
1	92,62%
1,1	94,98%
1,2	96,57%
1,3	97,64%
1,4	98,37%
1,5	98,86%
1,6	99,20%
1,7	99,44%
1,75	100%
6	100%

LS	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,1	0,00%
0,3	0,01%
0,5	0,43%
0,7	2,61%
0,9	7,65%
1,1	15,42%
1,3	24,91%
1,5	35,01%
1,7	44,86%
1,9	53,90%
2,1	61,89%
2,3	68,73%
2,5	74,50%
2,7	79,27%
2,9	83,20%
3,1	86,39%
3,3	88,99%
3,5	91,09%
3,7	92,78%
3,9	94,15%
4,1	95,25%
4,3	96,14%
4,5	96,85%
4,7	97,43%
4,9	97,90%
5,1	98,28%
5,3	98,59%
5,5	98,84%
6	99,28%

CP	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,1	0,00%
0,3	0,00%
0,5	0,00%
0,7	0,04%
0,9	0,22%
1,1	0,76%
1,3	1,87%
1,5	3,72%
1,7	6,37%
1,9	9,79%
2,1	13,88%
2,3	18,48%
2,5	23,45%
2,7	28,62%
2,9	33,86%
3,1	39,05%
3,4	46,56%
3,7	53,55%
4	59,90%
4,3	65,57%
4,6	70,56%
4,9	74,91%
5,2	78,67%
5,5	81,89%
5,8	84,65%
6,1	86,99%
6,4	88,98%
6,7	90,67%
8	95,43%

Tablas 53: Datos probabilísticos de los niveles de desempeño N-S NEC 24

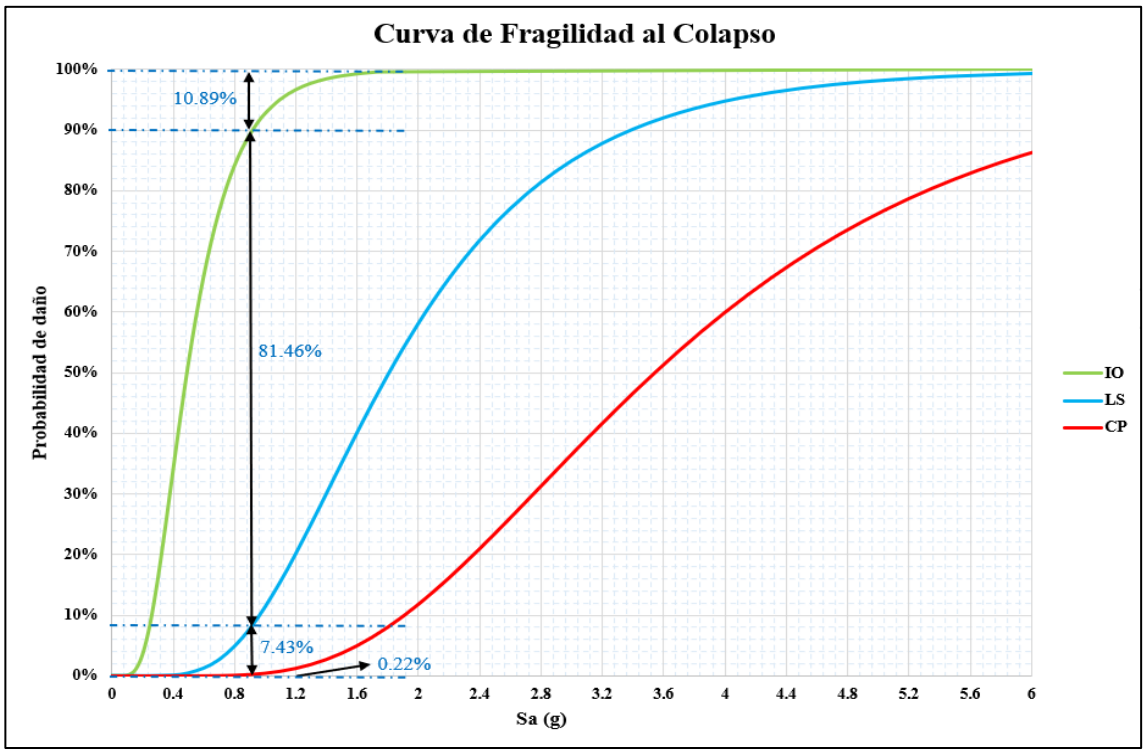


Figure 77: Curva de fragilidad NS-NEC.

Resultados Análisis No lineal TH-ASCE 7-22

DERIVAS COALINGA.H_H_EW ASCE 7-22

COALINGA.H_H_EW										
Aceleración / Deriva	0,00 g	0,20 g	0,40 g	0,60 g	0,80 g	1,00 g	1,20 g	1,40 g	1,60 g	1,80 g
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,00041	0,000984	0,001234	0,001682	0,002005	0,002265	0,002431	0,002664	0,002789
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,001675	0,003451	0,004957	0,006651	0,008112	0,009191	0,009532	0,010494	0,010923
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,002508	0,005238	0,0075	0,009851	0,012209	0,013613	0,01425	0,015247	0,016322
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,0001	0,000236	0,000303	0,000391	0,000481	0,000518	0,000512	0,00062	0,000671
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,00 g	2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g
0,002964	0,002974	0,003062	0,00301	0,003042	0,002984	0,002948	0,0029152	0,002963	0,002907
0,011236	0,011594	0,011988	0,01224	0,01305	0,01374	0,01411	0,014561	0,014985	0,015312
0,017849	0,01823	0,01898	0,01965	0,021706	0,023451	0,024603	0,025312	0,025796	0,026056
0,000719	0,000792	0,0008	0,000821	0,000886	0,000923	0,000961	0,000979	0,000998	0,001082
0	0	0	0	0		0	0	0	0

4,00 g	4,20 g	4,40 g	4,60 g	4,80 g	5,00 g	5,20 g	5,40 g	5,60 g	5,80 g
0,002933	0,00296	0,002898	0,002871	0,002845	0,002889	0,002853	0,002812	0,00277	0,002753
0,015882	0,016084	0,016482	0,016901	0,017243	0,017562	0,017835	0,01793	0,018011	0,018072
0,026454	0,026972	0,027423	0,027967	0,028211	0,028536	0,030062	0,030653	0,031242	0,031797
0,001098	0,001162	0,001196	0,001238	0,0012862	0,001312	0,001346	0,001398	0,001401	0,001445
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6,00 g	6,20 g	6,40 g	6,60 g	6,80 g	7,00 g	7,20 g	7,40 g	7,60 g
0,002932	0,003067	0,003078	0,000309	0,003121	0,003132	0,00313	0,003184	0,003198
0,018235	0,018446	0,018612	0,018806	0,019011	0,01934	0,001964	0,02031	0,020741
0,032219	0,033153	0,034896	0,036153	0,037851	0,039087	0,042892	0,045313	0,05261
0,001842	0,001509	0,001536	0,001567	0,001586	0,001624	0,0016841	0,001721	0,001862
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablas 54: DERIVAS COALINGA.H_H_EW ASCE 7-22

DERIVAS COALINGA.H_H_NS ASCE 7-22

COALINGA.H_H_NS											
Aceleración Deriva	0,00 g	0,20 g	0,40 g	0,60 g	0,80 g	1,00 g	1,20 g	1,40 g	1,60 g	1,80 g	2,00 g
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000185	0,000354	0,000555	0,000748	0,000914	0,001021	0,001225	0,001434	0,001685	0,001892
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,002007	0,003652	0,005763	0,006922	0,009558	0,001132	0,012116	0,013245	0,013852	0,014287
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,002684	0,004521	0,007688	0,009856	0,012903	0,014265	0,016793	0,01832	0,020012	0,021658
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,000186	0,000263	0,000552	0,000742	0,000897	0,000924	0,001098	0,001165	0,001201	0,001267
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g	4,00 g
0,002036	0,002314	0,002465	0,002562	0,002656	0,002689	0,002761	0,002812	0,002885	0,002947
0,014855	0,015098	0,015321	0,015684	0,015979	0,016235	0,016779	0,016988	0,017356	0,017647
0,02362	0,024864	0,026326	0,02757	0,028822	0,030655	0,031428	0,032318	0,034234	0,035751
0,001356	0,001461	0,001502	0,001555	0,001621	0,001734	0,001776	0,001832	0,001876	0,001922
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4,20 g	4,40 g	4,60 g	4,80 g	5,00 g	5,20 g	5,40 g
0,002989	0,003051	0,003063	0,003069	0,003074	0,003102	0,003174
0,017865	0,018222	0,018642	0,019324	0,019811	0,020231	0,020747
0,03712	0,03962	0,041565	0,044301	0,04643	0,048221	0,051266
0,001928	0,001934	0,001938	0,00194	0,001942	0,002	0,002095
0	0	0	0	0	0	0

Tablas 55: DERIVAS COALINGA.H_H_NS ASCE 7-22

DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_ ASCE 7-22

NORTHR_STN020.AT2_EW											
Aceleración Deriva	0,00 g	0,20 g	0,40 g	0,60 g	0,80 g	1,00 g	1,20 g	1,40 g	1,60 g	1,80 g	2,00 g
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000354	0,000547	0,000756	0,000942	0,001259	0,001535	0,001758	0,001953	0,002156	0,002254
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,001077	0,002411	0,003162	0,004128	0,005247	0,006532	0,007331	0,008412	0,009274	0,001021
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,001578	0,00323	0,004757	0,006433	0,007937	0,009684	0,011104	0,012313	0,013845	0,01523
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,000071	0,000098	0,00021	0,002895	0,000349	0,000403	0,000488	0,000596	0,000619	0,000664
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g	4,00 g	4,20 g
0,002397	0,002418	0,002451	0,002245	0,002428	0,002441	0,002439	0,002434	0,002431	0,00244	0,002423
0,010734	0,011625	0,012127	0,012842	0,013353	0,01374	0,014243	0,014521	0,014758	0,014866	0,014976
0,016776	0,018344	0,020165	0,022236	0,023679	0,025336	0,026264	0,02749	0,028522	0,029123	0,030608
0,000749	0,000802	0,000852	0,000824	0,000909	0,000922	0,000939	0,000941	0,000946	0,000981	0,00105
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4,40 g	4,60 g	4,80 g	5,00 g	5,20 g	5,40 g	5,60 g	5,80 g	6,00 g	6,20 g	6,40 g
0,0024	0,002442	0,002482	0,002542	0,002659	0,002668	0,002674	0,002682	0,002691	0,002701	0,002739
0,015102	0,015306	0,015712	0,015984	0,016343	0,016821	0,017233	0,017786	0,018127	0,01888	0,01914
0,031218	0,032137	0,033225	0,033712	0,034589	0,03569	0,03785	0,039139	0,044332	0,047326	0,050043
0,001086	0,001159	0,001182	0,001265	0,001325	0,001365	0,001401	0,001434	0,001472	0,001497	0,001509
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablas 56: DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_ ASCE 7-22

DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_NS ASCE 7-22

NORTHR_STN020.AT2_NS											
Aceleración Deriva	0,00 g	0,20 g	0,40 g	0,60 g	0,80 g	1,00 g	1,20 g	1,40 g	1,60 g	1,80 g	2,00 g
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000211	0,000456	0,000633	0,00842	0,001001	0,001263	0,001428	0,001624	0,001832	0,002077
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,00191	0,003747	0,005633	0,007354	0,009134	0,001024	0,011228	0,011831	0,012232	0,012927
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,002777	0,005213	0,008358	0,001032	0,013536	0,014994	0,016675	0,017212	0,019212	0,020701
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,000192	0,000341	0,00057	0,006873	0,000893	0,009545	0,001045	0,001123	0,00122	0,001269
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g	4,00 g	4,20 g
0,002074	0,002142	0,002257	0,002274	0,002293	0,002323	0,002379	0,002417	0,002478	0,002568	0,002612
0,013345	0,013785	0,014114	0,015223	0,015989	0,016354	0,017638	0,018084	0,018231	0,018354	0,018464
0,02132	0,022542	0,023368	0,0234	0,02368	0,023884	0,024641	0,024662	0,026535	0,02738	0,029212
0,001386	0,001465	0,001568	0,001635	0,001784	0,001821	0,019201	0,001965	0,001988	0,002022	0,002088
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4,40 g	4,60 g	4,80 g	5,00 g	5,20 g	5,40 g	5,60 g	5,80 g	6,00 g
0,002719	0,002776	0,002865	0,002995	0,003012	0,003046	0,003084	0,003122	0,003173
0,018596	0,018712	0,018871	0,01903	0,019342	0,019358	0,019761	0,02024	0,020505
0,030492	0,033165	0,035421	0,037607	0,040564	0,042581	0,045312	0,048233	0,052367
0,002154	0,002184	0,002212	0,002283	0,002301	0,002349	0,024123	0,024861	0,002505
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablas 57: DERIVAS NORTHR_STN020.AT2_NS ASCE 7-22

DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_EW ASCE 7-22

RSN5652_IWATE_IWTH20_EW											
Aceleración Deriva	0,00 g	0,20 g	0,40 g	0,60 g	0,80 g	1,00 g	1,20 g	1,40 g	1,60 g	1,80 g	2,00 g
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000344	0,000742	0,001036	0,001356	0,001696	0,001812	0,00194	0,002032	0,002113	0,00226
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,001765	0,003542	0,005226	0,006895	0,008676	0,009548	0,01133	0,01174	0,01299	0,013241
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,002407	0,004872	0,007198	0,009845	0,01193	0,01353	0,015521	0,016445	0,017686	0,018534
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,000106	0,000263	0,000313	0,000452	0,000517	0,000586	0,000669	0,000762	0,000804	0,000864
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g	4,00 g	4,20 g
0,002386	0,002546	0,002601	0,002714	0,002851	0,002919	0,002935	0,003045	0,003161	0,003189	0,003223
0,013845	0,014584	0,015239	0,015862	0,016123	0,01642	0,016895	0,017002	0,017116	0,017235	0,017586
0,019243	0,020213	0,021313	0,021913	0,022751	0,023618	0,024312	0,025321	0,025841	0,026362	0,02842
0,000899	0,000934	0,00098	0,000995	0,001021	0,001062	0,001098	0,001102	0,001137	0,001162	0,001198
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4,40 g	4,60 g	4,80 g	5,00 g	5,20 g	5,40 g	5,60 g	5,80 g	6,00 g
0,003284	0,003325	0,003456	0,003548	0,003589	0,0036735	0,003798	0,00386	0,003923
0,017707	0,017901	0,001801	0,018452	0,018975	0,0195805	0,020205	0,020744	0,021673
0,029096	0,029845	0,030731	0,031727	0,032735	0,0335471	0,034598	0,035683	0,037642
0,001228	0,001272	0,001302	0,001324	0,001394	0,0014393	0,001488	0,001539	0,001676
0	0	0	0	0	0	0	0	0

6,20 g	6,40 g	6,60 g	6,80 g	7,00 g	7,20 g
0,004012	0,004163	0,004173	0,004274	0,00431	0,004394
0,021895	0,022102	0,022648	0,023675	0,021029	0,024465
0,039746	0,041823	0,04312	0,045987	0,048231	0,05264
0,001788	0,001802	0,001862	0,001972	0,002073	0,002187
0	0	0	0	0	0

Tablas 58: DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_EW ASCE 7-22

DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_NS ASCE 7-22

RSN5652_IWATE_IWTH20_NS											
Aceleración Deriva	0,00 g	0,20 g	0,40 g	0,60 g	0,80 g	1,00 g	1,20 g	1,40 g	1,60 g	1,80 g	2,00 g
Nv. 4 + 13.03 (+15.88)		0,000173	0,000331	0,00052	0,000689	0,000847	0,000101	0,001251	0,001534	0,001738	0,001956
Nv. 3 + 9.25 (+12.6)		0,001845	0,003745	0,005268	0,007012	0,008418	0,009514	0,010338	0,010895	0,011751	0,012642
Nv. 2 + 4.68 (+8.1)		0,002545	0,004566	0,007397	0,009455	0,012362	0,013862	0,015802	0,016958	0,017532	0,018744
Nv. 1 + 0.00 (+3.42 m)		0,000188	0,000331	0,000544	0,000702	0,000885	0,000932	0,001082	0,0011635	0,001283	0,001341
Base - 3.42 (+0.00)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2,20 g	2,40 g	2,60 g	2,80 g	3,00 g	3,20 g	3,40 g	3,60 g	3,80 g	4,00 g	4,20 g
0,002063	0,002165	0,002219	0,002297	0,002329	0,002359	0,002385	0,002413	0,002424	0,002438	0,00245
0,013456	0,014344	0,015323	0,015897	0,016131	0,016342	0,016653	0,01671	0,01689	0,016989	0,017049

0,019211	0,019696	0,020354	0,021557	0,022091	0,022784	0,023475	0,024712	0,025757	0,02639	0,027121
0,001387	0,001418	0,001478	0,015239	0,001599	0,001632	0,001689	0,00173	0,001778	0,001821	0,001858
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4,40 g	4,60 g	4,80 g	5,00 g	5,20 g	5,40 g	5,60 g	5,80 g	6,00 g	6,20 g	6,40 g	6,60 g
0,002475	0,002489	0,002496	0,002534	0,002577	0,002599	0,002633	0,002667	0,00281	0,002957	0,003032	0,003294
0,017307	0,017684	0,018593	0,018894	0,019023	0,019433	0,019633	0,019894	0,020675	0,021189	0,02343	0,025852
0,029641	0,030474	0,031943	0,03384	0,036651	0,036938	0,037596	0,03889	0,042312	0,044391	0,04784	0,050734
0,001898	0,001953	0,002063	0,002183	0,002232	0,002343	0,002383	0,002474	0,002674	0,002701	0,00289	0,003091
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablas 59: DERIVAS RSN5652_IWATE_IWTH20_NS ASCE 7-22

DERIVAS MÁXIMAS "EW"											
Aceleración	0 g	0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.80 g	1.00 g	1.20 g	1.40 g	1.60 g	1.80 g	2.00 g
COALINGA.H_H_EW	0	0.002508	0.005238	0.0075	0.009851	0.01221	0.01361	0.01425	0.01525	0.01632	0.017849
NORTHR_STN020.AT2_EW	0	0.001578	0.00323	0.00476	0.006433	0.00794	0.00968	0.0111	0.01231	0.01385	0.01523
RSN5652_IWATE_IWTH20_EW	0	0.002407	0.004872	0.0072	0.009845	0.01193	0.01353	0.01552	0.01645	0.01769	0.018534

2.20 g	2.40 g	2.60 g	2.80 g	3.00 g	3.20 g	3.40 g	3.60 g	3.80 g	4.00 g	4.20 g	4.40 g	4.60 g	4.80 g	5.00 g
0.01823	0.01898	0.01965	0.02171	0.02345	0.0246	0.02531	0.025796	0.02606	0.02645	0.026972	0.02742	0.02797	0.02821	0.02854
0.016776	0.018344	0.020165	0.02224	0.02368	0.02534	0.02626	0.02749	0.02852	0.02912	0.030608	0.03122	0.03214	0.03323	0.03371
0.019243	0.020213	0.021313	0.02191	0.02275	0.02362	0.02431	0.025321	0.02584	0.02636	0.02842	0.0291	0.02985	0.03073	0.03173

5.20 g	5.40 g	5.60 g	5.80 g	6.00 g	6.20 g	6.40 g	6.60 g	6.80 g	7.00 g	7.20 g	7.40 g	7.60 g
0.03006	0.03065	0.031242	0.031797	0.03222	0.03315	0.034896	0.03615	0.037851	0.03909	0.04289	0.04531	0.0526
0.03914	0.04433	0.047326	0.049354									
0.03274	0.03355	0.034598	0.035683	0.03764	0.03975	0.041823	0.04312	0.045987	0.04823	0.05264		

Tablas 60: Derivas máximas EW.

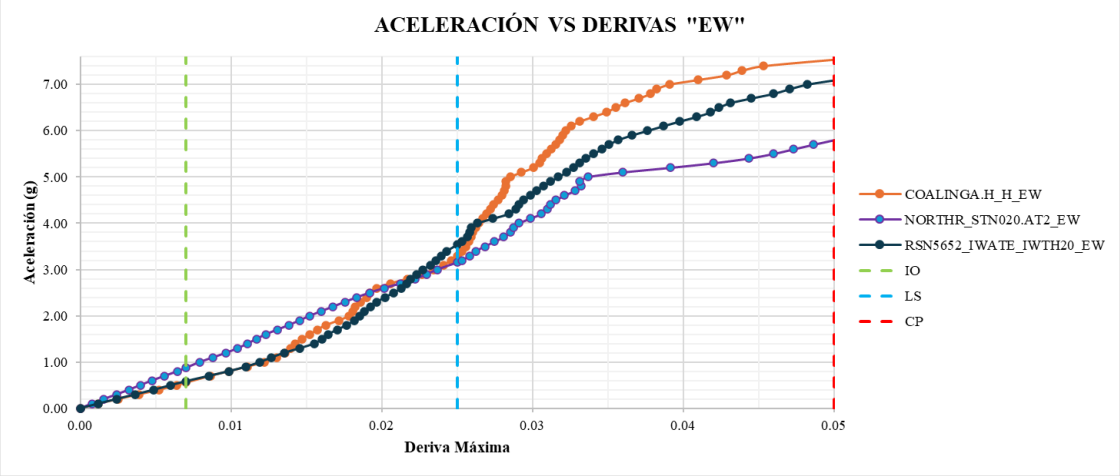


Figure 73: Curvas IDA EW.

DERIVAS MÁXIMAS "NS"																	
Aceleración / Registro	0 g	0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.80 g	1.00 g	1.20 g	1.40 g	1.60 g	1.80 g	2.00 g	2.20 g	2.40 g	2.60 g	2.80 g	3.00 g
COALINGA.H_H_NS	0	0.002684	0.004521	0.00769	0.009856	0.0129	0.01427	0.01679	0.01832	0.02001	0.021658	0.02362	0.024864	0.026326	0.02757	0.02882
NORTHR_STN020.AT2_NS	0	0.002777	0.005213	0.00836	0.00842	0.01354	0.01499	0.01668	0.017212	0.01921	0.020701	0.02132	0.022542	0.023368	0.0234	0.02368
RSN5652_IWATE_IWTH20_NS	0	0.002545	0.004566	0.00740	0.009455	0.01236	0.01386	0.0158	0.016958	0.01753	0.018744	0.019211	0.019696	0.020354	0.02156	0.02209

3.20 g	3.40 g	3.60 g	3.80 g	4.00 g	4.20 g	4.40 g	4.60 g	4.80 g	5.00 g	5.20 g	5.40 g	5.60 g	5.80 g	6.00 g	6.20 g	6.40 g	6.60 g
0.03066	0.03143	0.032318	0.03423	0.03575	0.03712	0.03962	0.04157	0.0443	0.04643	0.04822	0.05127						
0.02388	0.02464	0.024662	0.02654	0.02738	0.029212	0.03049	0.03317	0.03542	0.03761	0.04056	0.04258	0.045312	0.048233	0.05237			
0.02278	0.02348	0.024712	0.02576	0.02639	0.027121	0.02964	0.03047	0.03194	0.03384	0.03665	0.03694	0.037596	0.03889	0.04231	0.04439	0.04784	0.05073

Tablas 61: Derivas máximas NS.

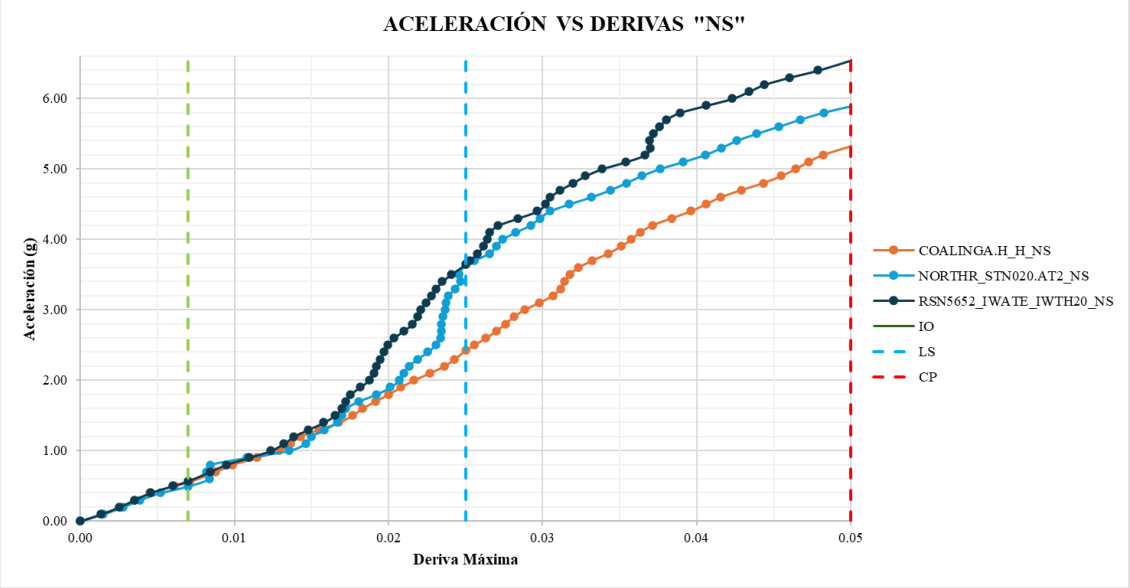


Figure 74: Curvas IDA NS.

COALINGA.H_H_EW							
EW				NS			
X	Y	SPLINE X	SPLINE Y	X	Y	SPLINE X	SPLINE Y
0	0	0	0	0	0	0	0
0,002508	0,2	0,1	0,001219	0,002684	0,2	0,1	0,001473
0,005238	0,4	0,2	0,002508	0,004521	0,4	0,2	0,002684
0,0075	0,6	0,3	0,003895	0,007688	0,6	0,3	0,003527
0,009851	0,8	0,4	0,005238	0,009856	0,8	0,4	0,004521
0,012209	1	0,5	0,006407	0,012903	1	0,5	0,006093
0,013613	1,2	0,555	0,007008	0,014265	1,2	0,56	0,007098
0,01425	1,4	0,7	0,008642	0,016793	1,4	0,7	0,008770
0,015247	1,6	0,8	0,009851	0,01832	1,6	0,8	0,009856
0,016322	1,8	0,9	0,011091	0,020012	1,8	0,9	0,011444
0,017849	2	1	0,012209	0,021658	2	1	0,012903

0,01823	2,2	1,1	0,013055	0,02362	2,2	1,1	0,013629
0,01898	2,4	1,2	0,013613	0,024864	2,4	1,2	0,014265
0,01965	2,6	1,3	0,013941	0,026326	2,6	1,3	0,015478
0,021706	2,8	1,4	0,014250	0,02757	2,8	1,4	0,016793
0,023451	3	1,5	0,014720	0,028822	3	1,5	0,017655
0,024603	3,2	1,6	0,015247	0,030655	3,2	1,6	0,018320
0,025312	3,4	1,7	0,015726	0,031428	3,4	1,7	0,019137
0,025796	3,6	1,8	0,016322	0,032318	3,6	1,8	0,020012
0,026056	3,8	1,9	0,017150	0,034234	3,8	1,9	0,020809
0,026454	4	2	0,017849	0,035751	4	2	0,021658
0,026972	4,2	2,1	0,018101	0,03712	4,2	2,1	0,022672
0,027423	4,4	2,2	0,018230	0,03962	4,4	2,2	0,023620
0,027967	4,6	2,3	0,018586	0,041565	4,6	2,3	0,024286
0,028211	4,8	2,4	0,018980	0,044301	4,8	2,423	0,025015
0,028536	5	2,5	0,019223	0,04643	5	2,5	0,025573
0,030062	5,2	2,6	0,019650	0,048221	5,2	2,6	0,026326
0,030653	5,4	2,7	0,020577	0,051266	5,4	2,7	0,026992
0,031242	5,6	2,8	0,021706			2,8	0,027570
0,031797	5,8	2,9	0,022673			2,9	0,028121
0,032219	6	3	0,023451			3	0,028822
0,033153	6,2	3,1	0,024091			3,1	0,029775
0,034896	6,4	3,2	0,024603			3,2	0,030655
0,036153	6,6	3,3	0,024997			3,3	0,031151
0,037851	6,8	3,4	0,025312			3,4	0,031428
0,039087	7	3,5	0,025585			3,5	0,031751
0,042892	7,2	3,6	0,025796			3,6	0,032318
0,045313	7,4	3,7	0,025933			3,7	0,033225
0,05261	7,6	3,8	0,026056			3,8	0,034234
		3,9	0,026228			3,9	0,035084
		4	0,026454			4	0,035751
		4,1	0,026716			4,1	0,036327
		4,2	0,026972			4,2	0,037120
		4,3	0,027192			4,3	0,038344
		4,4	0,027423			4,4	0,039620
		4,5	0,027703			4,5	0,040588
		4,6	0,027967			4,6	0,041565
		4,7	0,028140			4,7	0,042886
		4,8	0,028211			4,8	0,044301
		4,9	0,028245			4,9	0,045487
		5	0,028536			5	0,046430
		5,1	0,029281			5,1	0,047242
		5,2	0,030062			5,2	0,048221
		5,3	0,030457			5,33	0,050095
		5,4	0,030653			5,4	0,051266
		5,5	0,030920				
		5,6	0,031242				
		5,7	0,031545				
		5,8	0,031797				

		5,9	0,031997				
		6	0,032219				
		6,1	0,032564				
		6,2	0,033153				
		6,3	0,034027				
		6,4	0,034896				
		6,5	0,035514				
		6,6	0,036153				
		6,7	0,037059				
		6,8	0,037851				
		6,9	0,038260				
		7	0,039087				
		7,1	0,040977				
		7,2	0,042892				
		7,3	0,043915				
		7,4	0,045313				
		7,54	0,050023				
		7,6	0,052610				

NORTHR_STN020.AT2_EW							
EW				NS			
X	Y	SPLINE X	SPLINE Y	X	Y	SPLINE X	SPLINE Y
0	0	0	0	0	0	0	0
0,001578	0,2	0,1	0,000777	0,002777	0,2	0,1	0,001476
0,00323	0,4	0,2	0,001578	0,005213	0,4	0,2	0,002777
0,004757	0,6	0,3	0,002413	0,008358	0,6	0,3	0,003861
0,006433	0,8	0,4	0,003230	0,00842	0,8	0,4	0,005213
0,007937	1	0,5	0,003988	0,013536	1	0,495	0,007005
0,009684	1,2	0,6	0,004757	0,014994	1,2	0,6	0,008358
0,011104	1,4	0,7	0,005600	0,016675	1,4	0,7	0,008168
0,012313	1,6	0,8	0,006433	0,017212	1,6	0,8	0,008420
0,013845	1,8	0,876	0,007004	0,019212	1,8	0,9	0,010811
0,01523	2	1	0,007937	0,020701	2	1	0,013536
0,016776	2,2	1,1	0,008806	0,02132	2,2	1,1	0,014630
0,018344	2,4	1,2	0,009684	0,022542	2,4	1,2	0,014994
0,020165	2,6	1,3	0,010451	0,023368	2,6	1,3	0,015828
0,022236	2,8	1,4	0,011104	0,0234	2,8	1,4	0,016675
0,023679	3	1,5	0,011687	0,02368	3	1,5	0,016948
0,025336	3,2	1,6	0,012313	0,023884	3,2	1,6	0,017212
0,026264	3,4	1,7	0,013066	0,024641	3,4	1,7	0,018081
0,02749	3,6	1,8	0,013845	0,024662	3,6	1,8	0,019212
0,028522	3,8	1,9	0,014544	0,026535	3,8	1,9	0,020120
0,029123	4	2	0,015230	0,02738	4	2	0,020701
0,030608	4,2	2,1	0,015986	0,029212	4,2	2,1	0,021007

0,031218	4,4	2,2	0,016776	0,030492	4,4	2,2	0,021320
0,032137	4,6	2,3	0,017553	0,033165	4,6	2,3	0,021883
0,033225	4,8	2,4	0,018344	0,035421	4,8	2,4	0,022542
0,033712	5	2,5	0,019198	0,037607	5	2,5	0,023073
0,039139	5,2	2,6	0,020165	0,040564	5,2	2,6	0,023368
0,044332	5,4	2,7	0,021245	0,042581	5,4	2,7	0,023408
0,047326	5,6	2,8	0,022236	0,045312	5,6	2,8	0,023400
0,050043	5,8	2,9	0,022977	0,048233	5,8	2,9	0,023532
		3	0,023679	0,052367	6	3	0,023680
		3,16	0,025047			3,1	0,023725
		3,2	0,025336			3,2	0,023884
		3,3	0,025843			3,3	0,024320
		3,4	0,026264			3,4	0,024641
		3,5	0,026835			3,5	0,024547
		3,6	0,027490			3,65	0,025027
		3,7	0,028091			3,7	0,025540
		3,8	0,028522			3,8	0,026535
		3,9	0,028760			3,9	0,026985
		4	0,029123			4	0,027380
		4,1	0,029860			4,1	0,028259
		4,2	0,030608			4,2	0,029212
		4,3	0,030993			4,3	0,029809
		4,4	0,031218			4,4	0,030492
		4,5	0,031575			4,5	0,031724
		4,6	0,032137			4,6	0,033165
		4,7	0,032831			4,7	0,034389
		4,8	0,033225			4,8	0,035421
		4,9	0,033132			4,9	0,036416
		5	0,033712			5	0,037607
		5,1	0,035995			5,1	0,039118
		5,2	0,039139			5,2	0,040564
		5,3	0,042030			5,3	0,041604
		5,4	0,044332			5,4	0,042581
		5,5	0,045992			5,5	0,043875
		5,6	0,047326			5,6	0,045312
		5,7	0,048665			5,7	0,046690
		5,8	0,050043			5,8	0,048233
						5,895	0,050071
						6	0,052367

RSN5652_IWATE_IWTH20_EW							
EW				NS			
X	Y	SPLINE X	SPLINE Y	X	Y		SPLINE Y
0	0	0	0	0	0	0	0

0,002407	0,2	0,1	0,001191	0,002545	0,2	0,1	0,001355
0,004872	0,4	0,2	0,002407	0,004566	0,4	0,2	0,002545
0,007198	0,6	0,3	0,003656	0,007397	0,6	0,3	0,003505
0,009845	0,8	0,4	0,004872	0,009455	0,8	0,4	0,004566
0,01193	1	0,5	0,006014	0,012362	1	0,5	0,005996
0,01353	1,2	0,584	0,00700	0,013862	1,2	0,569	0,006999
0,015521	1,4	0,7	0,008523	0,015802	1,4	0,7	0,008407
0,016445	1,6	0,8	0,009845	0,016958	1,6	0,8	0,009455
0,017686	1,8	0,9	0,010993	0,017532	1,8	0,9	0,010944
0,018534	2	1	0,011930	0,018744	2	1	0,012362
0,019243	2,2	1,1	0,012698	0,019211	2,2	1,1	0,013200
0,020213	2,4	1,2	0,013530	0,019696	2,4	1,2	0,013862
0,021313	2,6	1,3	0,014581	0,020354	2,6	1,3	0,014806
0,021913	2,8	1,4	0,015521	0,021557	2,8	1,4	0,015802
0,022751	3	1,5	0,016045	0,022091	3	1,5	0,016525
0,023618	3,2	1,6	0,016445	0,022784	3,2	1,6	0,016958
0,024312	3,4	1,7	0,017042	0,023475	3,4	1,7	0,017203
0,025321	3,6	1,8	0,017686	0,024712	3,6	1,8	0,017532
0,025841	3,8	1,9	0,018170	0,025757	3,8	1,9	0,018140
0,026362	4	2	0,018534	0,02639	4	2	0,018744
0,02842	4,2	2,1	0,018873	0,027121	4,2	2,1	0,019050
0,029096	4,4	2,2	0,019243	0,029641	4,4	2,2	0,019211
0,029845	4,6	2,3	0,019685	0,030474	4,6	2,3	0,019434
0,030731	4,8	2,4	0,020213	0,031943	4,8	2,4	0,019696
0,031727	5	2,5	0,020802	0,03384	5	2,5	0,019958
0,032735	5,2	2,6	0,021313	0,036651	5,2	2,6	0,020354
0,0335471	5,4	2,7	0,021637	0,036938	5,4	2,7	0,020972
0,034598	5,6	2,8	0,021913	0,037596	5,6	2,8	0,021557
0,035683	5,8	2,9	0,022294	0,03889	5,8	2,9	0,021872
0,037642	6	3	0,022751	0,042312	6	3	0,022091
0,039746	6,2	3,1	0,023213	0,044391	6,2	3,1	0,022420
0,041823	6,4	3,2	0,023618	0,04784	6,4	3,2	0,022784
0,04312	6,6	3,3	0,023945	0,050734	6,6	3,3	0,023092
0,045987	6,8	3,4	0,024312			3,4	0,023475
0,048231	7	3,54	0,025029			3,5	0,024057
0,05264	7,2	3,6	0,025321			3,648	0,025000
		3,7	0,025668			3,7	0,025284
		3,8	0,025841			3,8	0,025757
		3,9	0,025938			3,9	0,026140
		4	0,026362			4	0,026390
		4,1	0,027383			4,1	0,026560
		4,2	0,028420			4,2	0,027121
		4,3	0,028896			4,3	0,028390

		4,4	0,029096			4,4	0,029641
		4,5	0,029418			4,5	0,030178
		4,6	0,029845			4,6	0,030474
		4,7	0,030282			4,7	0,031113
		4,8	0,030731			4,8	0,031943
		4,9	0,031213			4,9	0,032755
		5	0,031727			5	0,033840
		5,1	0,032254			5,1	0,035383
		5,2	0,032735			5,2	0,036651
		5,3	0,033133			5,3	0,036983
		5,4	0,033547			5,4	0,036938
		5,5	0,034065			5,5	0,037184
		5,6	0,034598			5,6	0,037596
		5,7	0,035076			5,7	0,038011
		5,8	0,035683			5,8	0,038890
		5,9	0,036588			5,9	0,040578
		6	0,037642			6	0,042312
		6,1	0,038676			6,1	0,043382
		6,2	0,039746			6,2	0,044391
		6,3	0,040886			6,3	0,046005
		6,4	0,041823			6,4	0,047840
		6,5	0,042384			6,55	0,050077
		6,6	0,043120			6,6	0,050734
		6,7	0,044504				
		6,8	0,045987				
		6,9	0,047039				
		7	0,048231				
		7,095	0,050075				
		7,2	0,052640				

Tablas 62: INTERPOLACIÒN SPLINE CUBIC ASCE 7-22

Datos probabilísticos de los niveles de desempeño E-W ASCE 7-22

IO	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,05	0,00%
0,1	0,03%
0,15	0,38%
0,2	1,61%
0,25	4,15%
0,3	8,08%
0,35	13,19%
0,4	19,14%
0,45	25,55%
0,5	32,12%
0,55	38,60%
0,6	44,80%
0,7	56,02%
0,8	65,40%
0,9	72,96%
1	78,94%
1,2	87,25%
1,4	92,23%
1,6	95,20%
1,8	97,00%
2	98,09%
2,2	98,77%
2,4	99,20%
2,6	99,47%
2,8	99,64%
3	99,76%
3,2	99,83%
3,4	99,88%
6	100,00%

LS	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,5	0,00%
0,8	0,14%
1,2	1,60%
1,5	4,69%
1,8	9,82%
2,2	19,22%
2,3	21,88%
2,4	24,62%
2,5	27,40%
2,6	30,22%
2,7	33,04%
2,8	35,86%
2,9	38,65%
3	41,41%
3,2	46,76%
3,4	51,85%
3,6	56,61%
3,8	61,04%
4	65,11%
4,3	70,56%
4,6	75,25%
4,9	79,25%
5,2	82,65%
5,5	85,51%
5,8	87,90%
6,1	89,91%
6,4	91,58%
6,5	92,07%
8	96,76%

CP	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,8	0,00071%
1,4	0,07%
1,5	0,11%
2	0,67%
2,1	0,88%
2,2	1,13%
2,3	1,43%
2,4	1,78%
2,5	2,18%
2,6	2,63%
2,7	3,14%
2,8	3,70%
2,9	4,31%
3	4,98%
3,3	7,32%
3,6	10,12%
3,9	13,32%
4,2	16,85%
4,5	20,62%
4,8	24,57%
5,1	28,62%
5,4	32,71%
5,7	36,78%
6	40,78%
6,3	44,69%
6,6	48,45%
6,9	52,07%
7,2	55,51%
10	79,06%

Tablas 63: Datos probabilísticos de los niveles de desempeño E-W ASCE 7-22

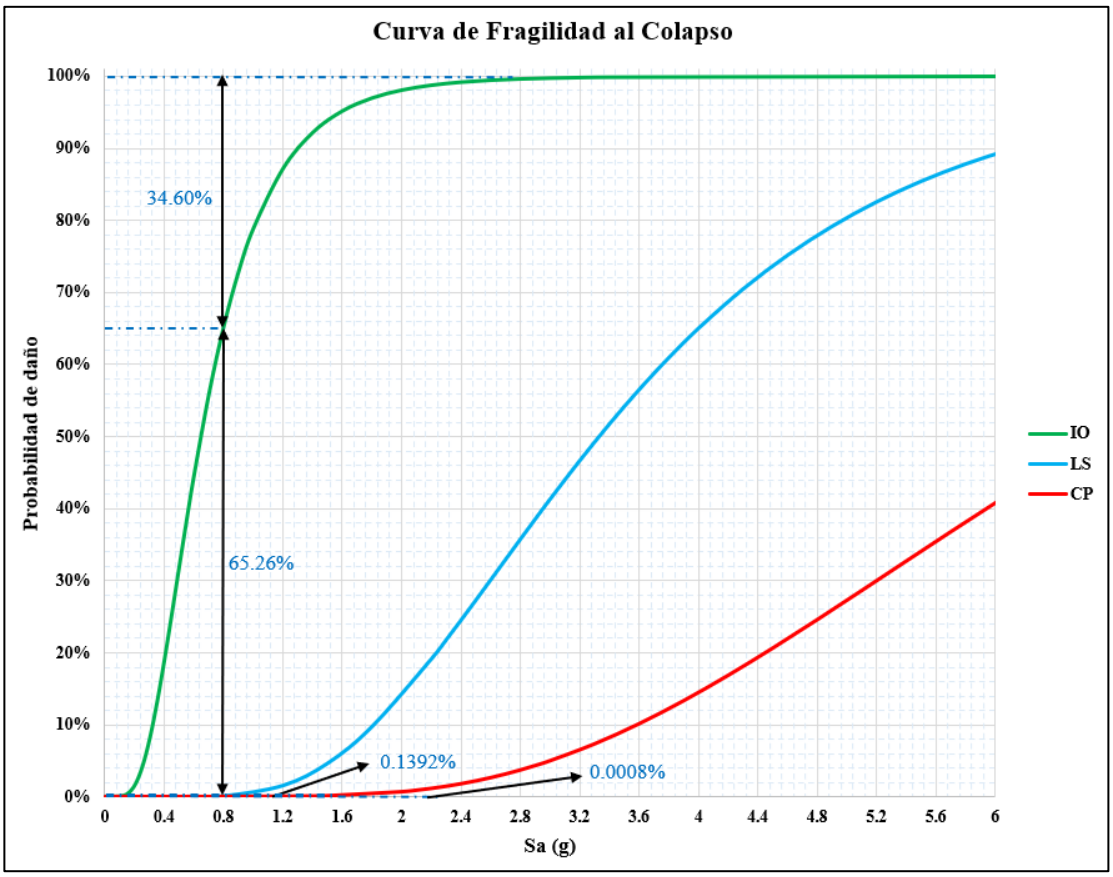


Figure 76: Curva de fragilidad EW-ASCE

Datos probabilísticos de los niveles de desempeño NS ASCE 7-22

IO	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,05	0,00%
0,1	0,03%
0,15	0,38%
0,2	1,61%
0,25	4,15%
0,3	8,08%
0,35	13,19%
0,4	19,14%
0,45	25,55%
0,5	32,12%
0,55	38,60%
0,6	44,80%
0,7	56,02%
0,8	65,40%
0,9	72,96%
1	78,94%
1,2	87,25%
1,4	92,23%
1,6	95,20%
1,8	97,00%
2	98,09%
2,2	98,77%
2,4	99,20%
2,6	99,47%
2,8	99,64%
3	99,76%
3,2	99,83%
3,4	99,88%
6	100,00%

LS	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,5	0,00%
0,8	0,14%
1,2	1,60%
1,5	4,69%
1,8	9,82%
2,2	19,22%
2,3	21,88%
2,4	24,62%
2,5	27,40%
2,6	30,22%
2,7	33,04%
2,8	35,86%
2,9	38,65%
3	41,41%
3,2	46,76%
3,4	51,85%
3,6	56,61%
3,8	61,04%
4	65,11%
4,3	70,56%
4,6	75,25%
4,9	79,25%
5,2	82,65%
5,5	85,51%
5,8	87,90%
6,1	89,91%
6,4	91,58%
6,5	92,07%
8	96,76%

CP	
Sa (g)	**Probabilidad (%)**
0,001	0,00%
0,8	0,00071%
1,4	0,07%
1,5	0,11%
2	0,67%
2,1	0,88%
2,2	1,13%
2,3	1,43%
2,4	1,78%
2,5	2,18%
2,6	2,63%
2,7	3,14%
2,8	3,70%
2,9	4,31%
3	4,98%
3,3	7,32%
3,6	10,12%
3,9	13,32%
4,2	16,85%
4,5	20,62%
4,8	24,57%
5,1	28,62%
5,4	32,71%
5,7	36,78%
6	40,78%
6,3	44,69%
6,6	48,45%
6,9	52,07%
7,2	55,51%
10	79,06%

Tablas 64: Datos probabilísticos de los niveles de desempeño N-S ASCE 7-22

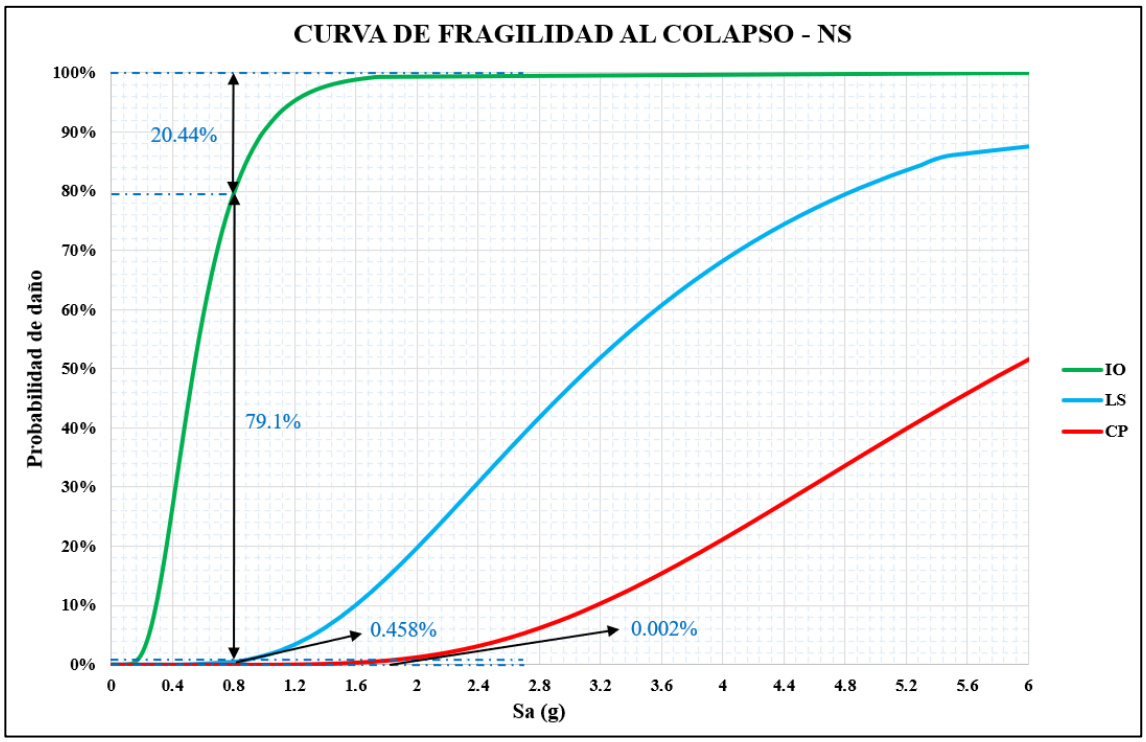


Figure 78: Curva de fragilidad NS-ASCE.