UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

"Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, 2024"

Para optar el título profesional de:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
Bach. Alex JORGE ALDONATE

ASESOR:
Msc. Ing. Rubén Américo YACHAPA CONDEÑA

AYACUCHO - PERÚ

2026

Resumen

En la actualidad existe una brecha relevante entre la práctica constructiva y la normativa vigente. Se toma como caso de estudio una edificación esencial de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, perteneciente a la categoría A2 en zona sísmica 2, construida en 2024.

La presente investigación empleó un enfoque cuantitativo con alcance explicativo, con el objetivo de evaluar el desempeño de una edificación "esencial" construida con sistema aporticado, usando la norma técnica E.030 diseño Sismorresistente, ASCE/SEI 41-13, FEMA 440 y VISION 2000 de la SEAOC. La metodología comprende la asignación de modelos constitutivos de materiales como el concreto y el acero, creación de secciones, configuración de Rigidez efectiva en flexión y cortante para columnas y vigas, configuración estructural, asignación de patrones de carga lateral, creación de casos de carga gravitacional no lineal y caso de carga de Pushover en dirección X e Y, asignación de plasticidad concentrada y distribuida tipo fibra. Se obtuvo la curva de capacidad para el Pushover en dirección X e Y, puntos de desempeño según FEMA 440, puntos de desempeño según ASCE 41-13, historial de deformaciones en los materiales de los elementos estructurales.

De los resultados de la investigación se concluye que la edificación pese a su reciente construcción (2024), no satisface los lineamientos de la Norma E.030 debido a que las derivas inelásticas en la dirección Y exceden el límite permisible de 0.007. En el rango no lineal, la edificación alcanza desempeño Operacional para sismo ocasional, pero Seguridad de Vida y Prevención de Colapso para sismo raro y muy raro respectivamente, niveles inaceptables para una edificación esencial según VISION 2000.

Los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440 son relativamente mayores que los obtenidos mediante ASCE 41-13 para los diferentes niveles de demanda sísmica, lo que conlleva a la estimación de estados de desempeño más críticos dentro de la curva de capacidad sectorizada, evidenciando un enfoque más conservador.

El estudio plantea 2 alternativas de reforzamiento para mejorar el desempeño de la edificación frente a diferentes niveles de demanda sísmica conforme a los lineamientos de VISION 2000.

Palabras Claves: Análisis estático no lineal, Pushover, Desempeño Sísmico, Curva de capacidad.

Abstract

Currently, there is a significant gap between construction practices and current regulations. This study examines an essential building belonging to the School of Agricultural Engineering at UNSCH, classified as category A2 in seismic zone 2, and constructed in 2024.

This research employed a quantitative approach with an explanatory scope to evaluate the performance of an "essential" building constructed with a frame system, using the E.030 Seismic-Resistant Design technical standard, ASCE/SEI 41-13, FEMA 440, and SEAOC VISION 2000. The methodology includes assigning constitutive models for materials such as concrete and steel, creating cross-sections, configuring effective flexural and shear stiffness for columns and beams, structural configuration, assigning lateral load patterns, creating nonlinear gravity load cases and pushover load cases in the X and Y directions, and assigning concentrated and distributed fiber-type plasticity. The pushover capacity curve was obtained for the X and Y directions, along with performance points according to FEMA 440, performance points according to ASCE 41-13, and the deformation history of the structural elements' materials.

The research results conclude that the building, despite its recent construction (2024), does not meet the guidelines of Standard E.030 because the inelastic drifts in the Y direction exceed the permissible limit of 0.007. In the nonlinear range, the building achieves Operational performance for occasional earthquakes, but Life Safety and Collapse Prevention for rare and very rare earthquakes, respectively unacceptable levels for an essential building according to VISION 2000.

The performance points obtained using FEMA 440 are relatively higher than those obtained using ASCE 41-13 for the different levels of seismic demand, leading to the estimation of more critical performance states within the sectorized capacity curve, demonstrating a more conservative approach.

The study proposes two reinforcement alternatives to improve the building's performance against different levels of seismic demand, in accordance with the VISION 2000 guidelines.

Keywords: Nonlinear static analysis, Pushover, Seismic performance, Capacity curve.

Introducción

De acuerdo con el Informe Económico de la Construcción N° 90 de la Cámara de Construcción (CAPECO, 2025), el 70% de viviendas a nivel nacional son informales; esta brecha evidencia un serio problema de seguridad. Las edificaciones construidas de forma empírica en terrenos inestables, que carecen de especificaciones técnicas y utilizan materiales deficientes, constituyen una amenaza constante tanto para la integridad física como para el patrimonio de los hogares peruanos (CAPECO, 2025). Este problema puede ocasionar cuantiosas pérdidas económicas y vidas humanas ante un evento extremo. La mayoría de las edificaciones esenciales están diseñadas bajo la norma E.030, que establece los lineamientos para el diseño sismorresistente; sin embargo, este diseño no garantiza la funcionalidad continua ante diferentes peligros sísmicos, y que puedan seguir operando después de sufrir daños, asegurando la integridad y seguridad de sus ocupantes. (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2000).

La edificación en cuestión fue construida en el 2024, lo que refleja claramente que esta edificación debe cumplir como mínimo los parámetros establecidos de la normativa E.030 Diseño Sismorresistente. La edificación fue construida como un sistema aporticado según expediente técnico; sin embargo, la norma actual establece que instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades pertenecen a la categoría A2(Edificaciones esenciales) cuya construcción en zona sísmica 2 debe pertenecer a cualquiera de los sistemas estructurales: Sistema Dual, Muro de concreto armado, Albañilería armada o albañilería confinada según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2019); no obstante, la edificación en cuestión fue construida como un sistema aporticado. Además, las derivas inelásticas por sismo dinámico en dirección Y están por encima del límite permisible 0.007 según norma. Entonces la edificación en estudio no cumple los requisitos de la norma E.030 de Diseño sismorresistente. Ante esta incertidumbre surge la necesidad de incorporar nuevas metodologías para garantizar la plena integridad y funcionalidad continua después de un evento extremo. Es así que el análisis no lineal nos ayuda a determinar la capacidad de una estructura frente a eventos sísmicos reales. La presente Tesis nos ayuda a determinar el desempeño de una edificación esencial para tomar las medidas de protección o disipación de energía y cumplir con los estándares que deben cumplir ante eventos extremos.

A mis queridos padres Rómulo y Guadalupe, por ser mi soporte en todo momento, por el aliento incondicional, por sus sabios consejos que hicieron posible este paso en mi vida profesional; a mi madre por creer en mí, por su compañía y su entrega para lograrlo; gracias a mis padres y familiares por ser mi inspiración y por hacer posible este logro más en mi vida y a todos los colaboradores de la presente investigación.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, y en especial a todos los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por brindar conocimientos en aras del progreso de nuestra región.

Al Ing. Sandro Paredes Chanhualla, Ing. Edgar Lujan Centeno, Ing. Percy Mendez Zaga; por la oportunidad que me brindaron para desarrollarme profesionalmente.

A la Ing. Milagros Tipe Anaya, Ing. Jhury Herbert León Sosa, Ing. Alfredo Quispe Ayala, Ing. Misael Ricalde Torres; especialistas en Estructuras, por impartir valiosas experiencias y enseñanzas en el área en mención.

Al Msc. Ing. Rubén Américo Yachapa Condeña , por su paciencia y apoyo en las diversas dificultades para la elaboración del presente trabajo de investigación, mis agradecimientos por transmitir sus conocimientos de la manera más cordial y amable.

Alex Jorge Aldonate

alex.jorge.16@unsch.edu.pe

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Ayacucho, Mayo de 2026

Índice general

Resumen ..... **i**
Abstract ..... **ii**
Introducción ..... **iii**
Dedicatoria ..... **iv**
Agradecimientos ..... **v**
Índice general ..... **vi**
Índice de figuras ..... **ix**
Índice de tablas ..... **xii**
I Planteamiento del problema **1**
1.1 Descripción del problema 1
1.2 Delimitación del problema 3
1.2.1 Temporal 3
1.2.2 Temática y unidad de análisis 3
1.3 Formulación del problema 3
1.3.1 Problema general 3
1.3.2 Problemas específicos 4
1.4 Justificación e importancia 4
1.4.1 Justificación 4
1.4.2 Importancia 4
1.5 Limitaciones de la investigación 5
1.6 Objetivos 5
1.6.1 Objetivo general 5
1.6.2 Objetivos específicos 5
II Marco teórico y conceptual **6**
2.1 Antecedentes Bibliográficos 6
2.1.1 Investigaciones internacionales 6
2.1.2 Investigaciones nacionales 7
2.2 Bases teóricas 8
2.2.1 Tipos de Análisis 8
2.2.1.1 Análisis Lineal Estático 8
2.2.1.2 Análisis Lineal Dinámico 8
2.2.1.3 Análisis No Lineal Estático 8
2.2.1.4 Análisis No Lineal Dinámico 8
2.2.2 Desempeño Sísmico 9
2.2.2.1 Niveles de Desempeño sísmico 9

2.2.2.2 Niveles de Demanda sísmica 13
2.2.2.3 Objetivos de desempeño sísmico 14
2.2.3 Análisis Estático No lineal Pushover 15
2.2.3.1 Curva de Capacidad 15
2.2.3.2 Punto de desempeño 16
2.2.3.3 Método de la linealización equivalente FEMA 440 16
2.2.3.4 Método del coeficiente de desplazamiento según el ASCE 41-13 26
2.2.4 Modelos inelásticos 27
2.2.5 Diagramas de modelos constitutivos 29
2.2.5.1 Modelo constitutivo del concreto 29
2.2.5.2 Modelo constitutivo del acero de refuerzo 30
2.3 Marco conceptual 31
2.3.1 Evaluación del desempeño sísmico 31
2.3.2 Relaciones Momento curvatura 32
2.3.2.1 Rótulas plásticas 32
III Método de la investigación 36
3.1 Enfoque 36
3.2 Alcance 36
3.3 Diseño de investigación 36
3.4 Población y Muestra 37
3.4.1 Población 37
3.4.2 Muestra 37
3.5 Hipótesis 37
3.5.1 Hipótesis general 37
3.5.2 Hipótesis específicas 37
3.6 Operacionalización de variables 38
3.6.1 Variables 38
3.7 Técnicas e instrumentos 39
3.7.1 Técnicas 39
3.7.2 Instrumentos 39
3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información 40
3.9 Desarrollo del trabajo de Tesis 40
3.9.1 Descripción del proyecto 40
3.9.2 Descripción de la edificación 41
3.9.3 Modelo elástico 44
3.9.3.1 Consideraciones de diseño 44
3.9.3.2 Análisis sísmico 45
3.9.4 Modelo inelástico 53

3.9.4.1 Configuración de modelo constitutivo del acero de refuerzo. 54
3.9.4.2 Configuración del modelo constitutivo del concreto 55
3.9.4.3 Rigidez efectiva 56
3.9.4.4 Patrón de cargas laterales 58
3.9.4.5 Demandas sísmicas 61
3.9.4.6 Casos no lineales y Cargas gravitacionales 63
3.9.4.7 Asignación de plasticidad concentrada y distribuida. 64
IV Resultados 66
4.1 Análisis e interpretación 66
4.1.1 Resultados de Curva de capacidad 66
4.1.2 Resultados de Punto de desempeño según FEMA 440 67
4.1.3 Resultados de Punto de desempeño según ASCE 41-13 70
4.1.4 Verificación de curva de capacidad en formato ADRS 73
4.1.5 Verificación de punto de desempeño según FEMA 440 75
4.1.6 Verificación de punto de desempeño según ASCE 41-13 82
4.1.7 Evaluación del desempeño sísmico 89
4.1.8 Evaluación de elementos estructurales 93
4.1.9 Reforzamiento y desempeño 97
4.2 Contrastación de Hipótesis 107
4.2.1 Hipótesis general 107
4.2.2 Hipótesis específicas 108
V Conclusiones 110
5.1 Conclusiones 110
5.2 Recomendaciones 111
5.3 Trabajos futuros 111
Bibliografía 112
Glosario 116
Acrónimos 117
Símbolos 118
Anexos 119
a) Matriz de consistencia 119
b) Cálculo del Punto de desempeño propuesto por FEMA440 119
c) Cálculo del Punto de desempeño por el Método de coeficientes de ASCE 41-13 119
d) Planos 119

Índice de figuras

Figura 1: Vivienda informal en zona no apta para edificación. 2
Figura 2: Sistema aporticado en Colegio Integrado Leoncio Prado del C.P. Champaccocha-Andahuaylas 2
Figura 3. Secuencia del proceso de Análisis Pushover. 16
Figura 4. Conversión del espectro de demanda en coordenadas ADRS. 17
Figura 5. Obtención del espectro de capacidad. 18
Figura 6. Punto de desempeño tentativo 19
Figura 7. Representación bilineal del espectro de capacidad. 20
Figura 8. Desplazamiento máximo estimado (Procedimiento A). 24
Figura 9. Desplazamiento máximo estimado (Procedimiento B) 25
Figura 10. Ubicación de los posibles PD usando MADRS (Método C). 25
Figura 11. Modelos de plasticidad idealizados para elementos viga-columna 28
Figura 12. Relación esfuerzo-deformación del concreto en condición confinada y no confinada. 29
Figura 13. Curva esfuerzo deformación del acero de refuerzo. 31
Figura 14. Sectorización de la curva de capacidad 32
Figura 15. Representación equivalente del daño estructural. 33
Figura 16. Curva generalizada Momento-curvatura. 34
Figura 17. Rangos de comportamiento elástico y deformación plástica controlada 34
Figura 18. Planimetría general 3D de la E.F.P. de Ingeniería Agrícola. 41
Figura 19. Ubicación del Bloque 2 41
Figura 20: Planta de Losa aligerada típica del Bloque 2. 42
Figura 21: Cuadro de vigas y columnas 42
Figura 22: Espectro de aceleraciones Sax, Say. 46
Figura 23: Propiedades no lineales del acero en Etabs v22. 55
Figura 24: Diagrama esfuerzo deformación de Concreto confinado y no confinado en Etabs v22. 56
Figura 25: Configuración no lineal de concreto. 56
Figura 26: Rigidez efectiva en columnas. 57
Figura 27: Rigidez efectiva en vigas 58
Figura 28: Distribución de carga vertical proporcional al modo fundamental. 59
Figura 29:Creación de patrones de carga para Pushover en X e Y. 60
Figura 30: Patrón de carga lateral en dirección Y proporcional al modo fundamental. 60

Figura 31: Patrón de carga lateral en dirección X proporcional al modo fundamental. 61
Figura 32: Caso de carga Gravitacional no lineal.....63
Figura 33: Caso de carga no lineal Pushover Y. 64
Figura 34: Asignación de rótulas concentradas en vigas 65
Figura 35: Asignación de plasticidad tipo fibra en columnas. 65
Figura 36: Curva de capacidad en la dirección X.....66
Figura 37: Curva de capacidad en la dirección Y.....66
Figura 38: Punto de desempeño para sismo ocasional en Dirección X según FEMA 440. 67
Figura 39: Punto de desempeño para sismo raro en Dirección X según FEMA440.....67
Figura 40: Punto de desempeño para sismo muy raro en Dirección X según FEMA 440. 68
Figura 41:Punto de desempeño para sismo ocasional en Dirección Y según FEMA 440.....69
Figura 42:Punto de desempeño para sismo raro en Dirección Y según FEMA 440.....69
Figura 43: Punto de desempeño para sismo muy raro en Dirección Y según FEMA 440. 70
Figura 44: Punto de desempeño para Sismo Muy Raro en dirección X según ASCE 41-13.....71
Figura 45: Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección X según ASCE 41-13 71
Figura 46: Punto de desempeño para Sismo Ocasional en dirección X según ASCE 41-13.....72
Figura 47: Punto de desempeño para Sismo muy Raro en dirección Y según ASCE 41-13. 72
Figura 48: Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección Y según ASCE 41-13. 73
Figura 49: Punto de desempeño para Sismo Ocasional en dirección Y según ASCE 41-13.....73
Figura 50:Curva de capacidad en formato ADRS dirección X. 74
Figura 51:Curva de capacidad en formato ADRS dirección Y. 75
Figura 52: Punto de desempeño para sismo Ocasional - dirección X 76
Figura 53:Punto de desempeño para Sismo Raro - dirección X 77
Figura 54:Punto de desempeño para Sismo muy Raro - dirección X 78
Figura 55:Punto de desempeño para Sismo Ocasional - dirección Y.....79
Figura 56: Punto de desempeño para Sismo Raro - dirección Y 80
Figura 57: Punto de desempeño para Sismo muy Raro - dirección Y 81
Figura 58: Comparación de P.D manual vs Etabs v22- Sismo muy Raro en Y 81
Figura 59:Punto de desempeño para Sismo muy Raro en dirección Y según asce41-13.....83
Figura 60:Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección Y según ASCE 41-13 84
Figura 61: Punto de desempeño para Sismo ocasional en dirección Y según ASCE 41-13.....85
Figura 62: Punto de desempeño para Sismo muy Raro en dirección X según ASCE 41-13 87

Figura 63:Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección X según ASCE 41-13 88
Figura 64:Punto de desempeño para Sismo ocasional en dirección X según ASCE 41-13.....88
Figura 65: Punto de desempeño según FEMA 440 y ASCE 41-13 en dirección Y. 90
Figura 66:Punto de desempeño según FEMA 440 y ASCE 41-13 en dirección X. 91
Figura 67: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección X. 92
Figura 68: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección Y. 92
Figura 69: Plastificación prematura de columnas.....94
Figura 70: Aplastamiento severo y pérdida de confinamiento en columnas. 94
Figura 71: Estado de daño para sismo muy raro en dirección Y.....95
Figura 72:Estado de una fibra de acero de columna 30x100 para el sismo muy raro en dirección Y. 96
Figura 73:Estado de una fibra de concreto de columna 30x100 para el sismo muy raro en dirección Y. ..96
Figura 74:Cuadro de columnas y Reforzamiento 1.....97
Figura 75: Distribución de columnas en planta según ejecución. 99
Figura 76: Sistema reforzado 1_Vista 3D 99
Figura 77: Sistema reforzado 1_vista en planta.....100
Figura 78: Desplazamiento por modo de vibración 1 , $TX = 0.354\ s$ 100
Figura 79: Desplazamiento por modo de vibración 2 , $TY = 0.294\ s$.....101
Figura 80: Desplazamiento por modo de vibración 3, $TZ = 0.246\ s$.....101
Figura 81: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección X. 102
Figura 82: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección Y. 102
Figura 83:Sistema reforzado 2_vista en planta.....103
Figura 84: Sistema reforzado 2_vista 3D.....104
Figura 85:Desplazamiento por modo de vibración 1 , $TX = 0.364\ s$.....104
Figura 86:Desplazamiento por modo de vibración 2, $TY = 0.132\ s$ 105
Figura 87:Desplazamiento por modo de vibración 3, $TZ = 0.097\ s$ 105
Figura 88: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección X. 106
Figura 89:Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección Y. 106
Figura 90: Planimetría en 3D.....121
Figura 91: Vista isométrica 1 del bloque B. 121
Figura 92: Vista isométrica 2 del bloque B. 122

Índice de tablas

Tabla 1: Eventos sísmicos en la zona del Cinturón de Fuego del Pacífico entre 1990 y 2021 1
Tabla 2. Estado de daños y niveles de desempeño. 10
Tabla 3. Niveles de desempeño para elementos estructurales. 11
Tabla 4. Niveles de desempeño para elementos no estructurales. 11
Tabla 5. Combinación de Niveles de Desempeño. 12
Tabla 6. Resumen de Niveles de Desempeño para una edificación. 12
Tabla 7. Umbrales de solicitación sísmica formulados por Visión 2000. 13
Tabla 8. Niveles de peligro sísmico según el ATC-40. 14
Tabla 9. Esquema matricial de desempeño propuesto por VISION 2000. 14
Tabla 10. Esquema matricial de desempeño propuesto por el ATC-40. 15
Tabla 11. Relaciones matemáticas del βeff 21
Tabla 12. Coeficientes para hallar el amortiguamiento efectivo. 21
Tabla 13: Ecuaciones generales optimizadas para βeff. 22
Tabla 14. Expresiones para el cálculo del periodo efectivo. 22
Tabla 15. Coeficientes para hallar el periodo efectivo. 22
Tabla 16: Ecuaciones optimizadas para Periodo efectivo 23
Tabla 17. Valores para factor de escala $C0$. 26
Tabla 18. Coeficiente de participación de masa efectiva. 27
Tabla 19: Ecuaciones para diagrama Esfuerzo Vs Deformación del concreto 30
Tabla 20: Ecuaciones para diagrama esfuerzo deformación del acero 31
Tabla 21. Umbrales y lineamientos de aceptación para análisis no lineales en vigas. 35
Tabla 22: Umbrales y lineamientos de aceptación para análisis no lineales en columnas. 35
Tabla 23. Operacionalización de variables. 38
Tabla 24. Cargas vivas mínimas repartidas. 43
Tabla 25. Materiales para el análisis elástico 44
Tabla 26: Factores de reducción de resistencia nominal. 44
Tabla 27: Factores para el diagrama del espectro de aceleraciones. 45
Tabla 28: Factor de amplificación sísmica 45
Tabla 29: Factor C y Aceleración espectral según el Periodo. 46

Tabla 30: Modos de vibración y factores de participación de masa modal. 47
Tabla 31: Fuerza cortante mínima en X. 48
Tabla 32: Fuerza cortante mínima en Y. 48
Tabla 33: Verificación de Irregularidad de rigidez o piso blando en dirección X. 48
Tabla 34: Verificación de Irregularidad de rigidez o piso blando en dirección Y. 49
Tabla 35: Verificación de irregularidad de resistencia o piso débil en dirección X,Y. 49
Tabla 36:Verificación de irregularidad de masa o peso. 50
Tabla 37: 1ra condición de irregularidad torsional, desplazamiento promedio relativo. 51
Tabla 38: 2da condición de irregularidad torsional, derivas. 51
Tabla 39: Verificación de irregularidad torsional extrema. 52
Tabla 40: Verificación de derivas. 53
Tabla 41: Parámetros para Diagrama esfuerzo vs deformación del acero. 54
Tabla 42: Valores para diagrama esfuerzo deformación del acero. 54
Tabla 43. Valores de rigidez efectiva. 57
Tabla 44 : Patrón de cargas proporcional a desplazamientos máximos por modo fundamental.60
Tabla 45:Aceleración máxima para zona 2. 61
Tabla 46: Espectro elástico para diferentes niveles de peligro sísmico. 62
Tabla 47: Resumen del punto de desempeño en Dirección X para diferentes peligros sísmicos. 68
Tabla 48: Resumen del punto de desempeño en Dirección Y para diferentes peligros sísmicos. 70
Tabla 49: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Ocasional - dirección X 75
Tabla 50:Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Ocasional en X 76
Tabla 51: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Raro - dirección X 77
Tabla 52: Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Raro en X 77
Tabla 53:Parámetros para Punto de desempeño Sismo muy Raro - dirección X 78
Tabla 54:Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo muy Raro en X 78
Tabla 55: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Ocasional - dirección Y 79
Tabla 56:Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Ocasional en Y 79
Tabla 57: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Raro - dirección Y 80
Tabla 58: Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Raro en Y 80
Tabla 59: Parámetros para Punto de desempeño Sismo muy Raro - dirección Y 81
Tabla 60:Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección X según fema 440. 82
Tabla 61:Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección Y según fema 440. 82

Tabla 62: Parámetros para PD por Sismo muy raro en dirección Y según asce41-13 83
Tabla 63:Parámetros para PD por Sismo raro en dirección Y según ASCE 41-13 84
Tabla 64: Parámetros para PD por Sismo ocasional en dirección Y según ASCE 41-13 85
Tabla 65: Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección Y según ASCE 41-13 86
Tabla 66: Parámetros para PD por Sismo muy raro en dirección X según ASCE 41-13 86
Tabla 67: Parámetros para PD por Sismo raro en dirección X según ASCE 41-13 86
Tabla 68: Parámetros para PD por Sismo ocasional en dirección X según ASCE 41-13 87
Tabla 69: Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección X según ASCE 41-13 89
Tabla 70: Objetivos de desempeño deseado y alcanzado por la edificación. 93
Tabla 71: Columnas a reforzar. 97
Tabla 72: Derivas inelásticas de sistema reforzado 1. 101
Tabla 73:Objetivos de desempeño deseado y alcanzado por Sistema reforzado 1-dirección x e y 103
Tabla 74: Derivas inelásticas de sistema reforzado 2. 105
Tabla 75:Objetivos de desempeño deseado y alcanzado por Sistema reforzado 2-dirección x e y 107

I Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Alrededor del 90% de los terremotos del mundo ocurren en el Anillo de Fuego del Pacífico, una situación que expone a los países de la región a una constante amenaza sísmica (Roque et al., 2023). En la Tabla 1 adaptado de Roque et al. (2023) se aprecia información detallada de datos sísmicos de 6 regiones del Cinturón de Fuego del Pacífico entre 1990 y 2021, lo que evidencia una alta actividad sísmica en la región.

Tabla 1: Eventos sísmicos en la zona del Cinturón de Fuego del Pacífico entre 1990 y 2021

Región	Fuente del catálogo de terremotos	Periodo	Número de eventos
Chile	Centro Sismológico Nacional (CSN)	2000 to 2021	~117,000
Japón	Japan Meteorological Agency (JMA)	1999 to 2019	~2,568,000
México	Servicio Sismológico Nacional (SSN)	1994 to 2020	~186,000
Nueva Zelanda	GeoNet	1994 to 2020	~525,000
Filipinas	Philippine Institute of Volcanology and Seismology Seismological Observation and Earthquake Prediction Division (PHIVOLCS)	1994 to 2020	~88,000
Sur de California	Southern California Earthquake Data Center (SCEDC)	1994 to 2020	~515,000

Fuente: Adaptado de (Roque et al., 2023).

Los eventos telúricos más devastadores han ocurrido en naciones pertenecientes a este cinturón, evaluados globalmente bajo la escala de magnitud de momento (M_w). Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2025), los casos más críticos son los terremotos de: Sumatra-Indonesia-2004 (9.1), Concepción-Chile-2010 (8.8), Tohoku-Japon-2011 (9), Bohol-Filipinas-2013 (7.1), Coquimbo-Chile-2015 (8.3) y muchos más seguido de cuantiosas pérdidas económicas y vidas humanas demostrando que uno de los problemas que puede paralizar la economía de un país, son los desastres ocasionados por un terremoto.

Asimismo, según el Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024), el Perú se encuentra en una zona altamente sísmica, como lo demuestran los devastadores terremotos de Huaraz (1970), Lima (1974), Nazca (1996), Pisco (2007), Loreto (2019) entre otros. Cerca del 70% de viviendas a nivel nacional son informales; esta brecha evidencia un serio problema de seguridad y vulnerabilidad de muchas construcciones peruanas, principalmente debido a deficiencias en el diseño, el mal proceso constructivo

y los materiales utilizados de acuerdo con el Informe Económico de la Construcción N° 90 de la Cámara de Construcción (CAPECO, 2025).

Figura 1: Vivienda informal en zona no apta para edificación.

Fuente: CAPECO(2025). *Informe Económico de la Construcción N° 90.*

Finalmente, existe una brecha relevante entre la práctica constructiva y la normativa vigente para edificaciones esenciales cuyas recientes construcciones no cumplen los lineamientos vigentes de la Norma E.030, al haber sido construidas como un sistema aporticado en una zona sísmica 2 con categoría A2, donde la normativa exige: Sistema Dual, Muro de concreto armado, Albañilería armada o albañilería confinada según MVCS (2019). La Figura 2 muestra claramente ésta problemática.

Figura 2: Sistema aporticado en Colegio Integrado Leoncio Prado del C.P. Champaccocha-Andahuaylas

Fuente: Gerencia Sub Regional Chanka (2025)

1.2 Delimitación del problema

La presente investigación se desarrollará en la nueva infraestructura de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga en el distrito Ayacucho, provincia Huamanga del departamento de Ayacucho.

1.2.1 Temporal

La presente investigación se desarrolló desde inicios del año 2025 hasta inicios del año 2026. Este intervalo temporal se establece en función del tiempo apropiado para la recolección de datos provenientes de fuentes confiables, procesamiento de datos, toma de decisiones con el objetivo de evaluar el desempeño sismorresistente de la estructura en mención.

1.2.2 Temática y unidad de análisis

La temática de la presente investigación es la evaluación el desempeño estructural de una edificación esencial. El nivel de desempeño se analizará con los objetivos de desempeño propuesto por el comité Vision 2000 de la SEAOC (Structural Engineers Association of California). Se aplicará cargas monotónicas crecientes para obtener la curva de capacidad, en ella se determinará el punto de desempeño según FEMA 440 y ASCE 41-13.

La unidad de análisis es el Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; el módulo será analizado con las metodologías mencionadas anteriormente para así obtener parámetros estructurales clave, tales como el Periodo, participación modal, desplazamientos máximos, derivas , curva de capacidad, puntos de desempeño y niveles de desempeño.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿De qué manera podrá evaluarse el desempeño sísmico del bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, frente a diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité Vision 2000 de la SEAOC?

1.3.2 Problemas específicos

1. ¿Cuál es el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH aplicando el procedimiento dado por FEMA440 y cómo evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica?
2. ¿Cómo se determina el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH empleando los criterios establecidos en la norma ASCE41-13 y cómo evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica?
3. ¿Cómo comparar el punto de desempeño de la edificación según FEMA440 y ASCE41-13 frente a diferentes niveles de demanda sísmica en la curva de capacidad sectorizada según VISION 2000?
4. ¿Cómo evaluar el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH para mejorar el desempeño sísmico según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica?

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación

Existe una brecha relevante entre la práctica constructiva y la normativa vigente para edificaciones esenciales, debido a que la edificación en mención pese a su reciente construcción en 2024, no cumple los lineamientos vigentes de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, al haber sido construida como un sistema aporticado en una zona sísmica 2 con categoría A2 (edificación esencial), donde la normativa exige sistema dual o de muros estructurales. Asimismo, la norma E.030 no brinda información detallada sobre el análisis sísmico no lineal de una edificación esencial. La presente investigación se justifica porque hoy en día existen metodologías más sofisticadas y eficientes para determinar el verdadero comportamiento de una edificación esencial en el rango inelástico ante diversas demandas sísmicas.

1.4.2 Importancia

La investigación es importante porque nos ayuda a identificar el desempeño de una edificación, de esta manera podemos identificar posibles fallas y realizar intervenciones de reforzamiento o

algún mecanismo de disipación de energía, para poder evitar daños estructurales considerables y pérdidas por daños ocasionados frente a diferentes peligros símicos.

1.5 Limitaciones de la investigación

En el presente estudio no se ha considerado la interacción suelo–estructura (ISE) en el análisis no lineal estático del edificio evaluado. Esta decisión ha sido adoptada de manera deliberada con el propósito de acotar el alcance de la investigación y centrar el análisis en el comportamiento no lineal de la superestructura, lo cual concuerda con el enfoque de las normativas FEMA 440 y ASC41-13 que priorizan la no linealidad estructural sobre la modelación del suelo.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Determinar el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH frente a diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité VISION 2000 de la SEAOC.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Determinar el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH mediante FEMA 440 y evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica.
2. Determinar el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH utilizando los criterios establecidos de la norma ASCE 41-13 y evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica.
3. Comparar los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440 y ASCE 41-13 frente a diferentes niveles de demanda sísmica, empleando la curva de capacidad sectorizada según los niveles de desempeño definidos en VISION 2000.
4. Proponer un sistema de reforzamiento para mejorar el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica.

II Marco teórico y conceptual

2.1 Antecedentes Bibliográficos

2.1.1 Investigaciones internacionales

Flores (2021), publicó el artículo "Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante análisis estático no lineal Pushover: Estudio de caso". (Artículo Científico), Universidad Privada del Valle-Bolivia; en la cual propone una metodología para evaluar la capacidad de una edificación sin cálculo estructural previo. Aplicando el análisis Pushover determinó el comportamiento y nivel de desempeño de la estructura, para lo cual fue necesario contar con las dimensiones de los elementos, la resistencia de los materiales y un estudio geotécnico que permitiera establecer la demanda sísmica según la Guía Boliviana de diseño sísmico.

En Ecuador, Ortega (2022) desarrolló, como tesis de pregrado en la Universidad Estatal del Sur de Manabí, una comparación entre el punto de desempeño de un edificio convencional y uno equipado con disipadores de energía tipo ADAS. Para ello diseñó un pórtico de 12 niveles conforme a la NEC-15 y el ACI 318-14, y evaluó ambos escenarios mediante Pushover, contrastando los resultados bajo los criterios de FEMA 440 y ASCE 41-13. Este antecedente resulta relevante porque valida el uso combinado de FEMA 440 y ASCE 41-13 como criterios complementarios de evaluación, tal como se plantea en la presente investigación. Sin embargo, Ortega (2022) centra su análisis en el efecto de un sistema de disipación de energía, mientras que el presente estudio evalúa el comportamiento de la edificación en su condición estructural actual como sistema aporticado y en un posible reforzamiento.

Lizarazo (2022), presentó la tesis "Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional mediante la aplicación del método de espectro de capacidad, diseñado según la norma sismorresistente colombiana (NSR-10). (Tesis de Maestría), Universidad Politécnica de Valencia. El análisis sísmico no lineal permitió obtener la curva de capacidad para evaluar el desempeño con los criterios FEMA 440 y N2. Los resultados evidenciaron una ductilidad limitada en la estructura, con una probabilidad considerable de alcanzar estados de colapso frente a la demanda sísmica de la NSR-10; dichas probabilidades de daño se estimaron cruzando las curvas

de fragilidad con el punto de desempeño obtenido del Pushover. Este antecedente aporta evidencia de que edificaciones con ductilidad limitada pueden presentar vulnerabilidades importantes ante sismos severos. Esta observación es coherente con la hipótesis de la presente investigación, en la que se sospecha que la edificación en estudio, pese a su reciente construcción, podría no alcanzar los niveles de desempeño exigidos para una edificación esencial.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Paredes (2016), evaluó mediante Pushover el desempeño de una vivienda en Lima, la cual cumplió con la norma E.030 y los rangos FEMA. Al ser vivienda común, sus exigencias de desempeño son menores a las de una edificación esencial como la del presente estudio. Esta diferencia de categoría explica por qué los resultados de ambas investigaciones podrían no ser comparables directamente. Su aporte principal es confirmar que el cumplimiento normativo local no garantiza por sí solo un buen desempeño sísmico.

Gallardo (2023), realizó la tesis "Análisis estático y dinámico no lineal en el desempeño sismorresistente de un colegio diseñado bajo la norma E.030 en Ferreñafe". Gallado (2023) Comparó análisis estático y dinámico no lineal en un colegio de Ferreñafe diseñado bajo la norma E.030, identificando la ubicación de rótulas plásticas. Comparte con la presente tesis el enfoque en edificaciones educativas bajo la misma norma. Sin embargo, mientras Gallardo contrasta tipos de análisis, aquí se contrastan metodologías normativas (FEMA 440 vs ASCE 41-13). Ambos enfoques resultan complementarios para evaluar el desempeño sísmico desde ángulos distintos.

Quispe (2018), presentó la tesis "Evaluación del Desempeño Sísmico del Laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSCH mediante métodos no lineales". Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. Esta tesis define los niveles de desempeño sísmico requeridos para edificios esenciales ante múltiples peligros sísmicos. La evaluación del desempeño sísmico se ejecuta siguiendo las sugerencias del comité VISION 2000 de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC). Se realiza un análisis sísmico detallado, incluyendo análisis estático no lineal (Pushover) y dinámico no lineal (IDA), considerando el peligro sísmico probabilístico del sitio. Los resultados se comparan con la norma E.030 y se escalan registros sísmicos peruanos permitiendo evaluar la vulnerabilidad de la estructura y proponer medidas de mejora.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Tipos de Análisis

Los métodos de análisis sísmico estructural, tal como se definen en normas como FEMA (Federal Emergencia Management Agency), se basan en diferentes hipótesis sobre el comportamiento de los materiales y las estructuras. Estos métodos pueden clasificarse en lineales y no lineales, dependiendo de si se considera o no la no linealidad del comportamiento de los materiales. Además, pueden ser estáticos o dinámicos, según el tipo de excitación sísmica considerada:

2.2.1.1 Análisis Lineal Estático

Bajo este enfoque, la estructura se somete a cargas estáticas asumiendo un comportamiento elástico, donde las tensiones resultan proporcionales a las deformaciones (Bolaños, 2014). Es el método más simplificado y no forma parte del procedimiento central de esta investigación, pero sirve como punto de partida conceptual para entender los métodos no lineales aplicados posteriormente.

2.2.1.2 Análisis Lineal Dinámico

El análisis dinámico lineal es un enfoque que evalúa la respuesta de una estructura ante cargas dinámicas (como sismos) utilizando principios de la mecánica lineal. Este tipo de análisis asume que el comportamiento de la estructura es elástico y que las propiedades del material son constantes durante la acción de la carga dinámica (Bolaños, 2014).

2.2.1.3 Análisis No Lineal Estático

El análisis estático no lineal es un procedimiento matemático que evalúa la respuesta de un sistema estructural bajo cargas estáticas considerando efectos no lineales como la plastificación de los materiales y los grandes desplazamientos (Bolaños, 2014).

2.2.1.4 Análisis No Lineal Dinámico

El análisis dinámico no lineal evalúa la respuesta de una estructura bajo cargas dinámicas considerando el comportamiento no lineal de los materiales y la geometría. Este enfoque es fundamental para simular con precisión la respuesta de estructuras durante eventos sísmicos, donde se pueden producir grandes deformaciones y cambios en la rigidez (Bolaños, 2014).

2.2.2 Desempeño Sísmico

El Comité VISION 2000 plantea que el diseño basado en desempeño requiere un análisis pormenorizado de la estructura, orientado a asegurar que esta resista sismos de distinta intensidad sin llegar al colapso y conservando su capacidad funcional; en otras palabras, el daño experimentado no debe sobrepasar ciertos límites predefinidos (SEAOC,1995).

Bajo este enfoque, verificar el desempeño estructural implica comprobar que tanto los componentes estructurales como los no estructurales permanezcan dentro de los límites de daño fijados por los objetivos de desempeño sísmico establecidos (Alcedo & Cruz, 2024).

2.2.2.1 Niveles de Desempeño sísmico

Estos niveles describen el grado de daño que podría experimentar una estructura frente a un sismo, y se definen considerando tres aspectos: el posible deterioro físico de los elementos estructurales y no estructurales; el riesgo que dicho deterioro representa para la integridad de los ocupantes; y la capacidad de la edificación para seguir operando una vez ocurrido el evento sísmico (Quispe, 2018).

En términos generales, reflejan la respuesta esperada de la estructura ante un sismo, integrando aspectos de seguridad, funcionalidad y nivel de daño (FEMA 440, 2005).

2.2.2.1.1 Propuesta del comité VISION 2000 SEAOC

Los niveles de desempeño son fundamentales para evaluar la seguridad de las edificaciones ante eventos sísmicos. Se denomina niveles de desempeño a una expresión del daño máximo para una edificación para un nivel de sismo de diseño específico. Se considera la condición del elemento estructural y elemento no estructural. Se definen cinco niveles de desempeño (SP-1 a SP-5). Cada nivel define el límite para un rango de daño, el cual cumple las necesidades básicas del usuario como continuidad de función, condición para la reparación, seguridad entre otros (Taipe, 2003 citado por Gresia, 2019).

En la Tabla 2 adaptado de SEAOC (1995) se muestra las principales características relacionadas a los niveles de desempeño y su relación con los estados de daño, además se muestra la descripción de daños.

Tabla 2. Estado de daños y niveles de desempeño.

Estado De daño	Nivel de Desempeño		Descripción de los daños
Despreciable	**SP-1**	**Totalmente Operacional**	Daño estructural y no estructural casi imperceptible. Las rutas de evacuación y todas las instalaciones siguen operando con normalidad.
Leve	**SP-2**	**Operacional**	Se presentan fisuras en los elementos estructurales, junto con daños de intensidad leve a moderada en contenidos y componentes arquitectónicos. Los sistemas de evacuación y seguridad continúan funcionando sin restricciones.
Moderado	**SP-3**	**Seguridad de vida**	Algunos elementos sufren daños de nivel moderado, con reducción de la resistencia y rigidez del sistema resistente ante cargas laterales, aunque este se mantiene operativo. Ciertos componentes no estructurales y contenidos podrían resultar afectados, siendo posible que se requiera un cierre temporal de la edificación.
Severo	**SP-4**	**Pre-Colapso**	Los elementos estructurales presentan daños de consideración, con falla de componentes secundarios, no estructurales y contenidos. En algunos casos, podría requerirse la demolición de la edificación.
Completo	**SP-5**	**Colapso**	Se registra pérdida parcial o total de la capacidad de soporte, con colapso parcial o total de la estructura, sin posibilidad de reparación.

Fuente: Adaptado de SEAOC (1995). *Performance Based Seismic Engineering of Buildings.*

2.2.2.1.2 Propuesta de ATC-40

Las guías ATC-40 y FEMA-356, desarrolladas en colaboración por el ATC y el CUREE (Consorcio de Universidades para la investigación en ingeniería sísmica), son ampliamente utilizadas en la industria de la construcción para evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones. Estas guías utilizan una matriz de niveles de desempeño alfanuméricos para definir los límites de daño aceptables tanto para la estructura como para los elementos no estructurales, facilitando así la toma de decisiones en el diseño (Ojeda & López, 2021).

La Tabla 3 recoge los estados de desempeño definidos para los elementos estructurales, en la Tabla 4 se muestra los niveles de Desempeño para componentes no estructurales. Por su parte, la Tabla 5 integra ambas clasificaciones para elementos componentes y no estructurales, obteniendo de esta forma la Tabla 6 donde se puede observar un cuadro resumen de niveles de desempeño y la descripción de daños según el ATC-40 (1996).

Tabla 3. Niveles de desempeño para elementos estructurales.

NIVELES DE DESEMPEÑO PARA COMPONENTES ESTRUCTURALES		
SP-1	**OCUPACIÓN INMEDIATA**	Deterioro estructural mínimo. Riesgo de lesión prácticamente nulo. No se requieren trabajos de reparación.
SP-2	**CONTROL DE DAÑO**	Franja de daño posterior al sismo comprendida entre SP-1 y SP-3.
SP-3	**SEGURIDAD DE VIDA**	Deterioro estructural considerable. Baja probabilidad de lesiones fatales. Se requieren reparaciones estructurales de gran magnitud.
SP-4	**SEGURIDAD LIMITADA**	Franja de daño posterior al sismo comprendida entre SP-3 y SP-5.
SP-5	**ESTABILIDAD ESTRUCTURAL**	Deterioro estructural próximo al colapso. Riesgo elevado de lesiones. Alta posibilidad de que la reparación resulte técnica y económicamente inviable.
SP-6	**NO CONSIDERADO**	Categoría de referencia para casos en que no se efectúa una evaluación sísmica de tipo estructural.

Fuente: Elaboración propia a partir del ATC 40(1996).

Tabla 4. Niveles de desempeño para elementos no estructurales.

NIVELES DE DESEMPEÑO PARA COMPONENTES NO ESTRUCTURALES		
NP-A	**OPERACIONAL**	El deterioro en los componentes no estructurales resulta prácticamente inexistente.
NP-B	**OCUPACIÓN INMEDIATA**	Los sistemas no estructurales conservan su posición original. Existe la posibilidad de que equipos y maquinaria vean restringida su operatividad. Determinados servicios externos podrían no estar disponibles.
NP-C	**SEGURIDAD DE VIDA**	Se presentan daños considerables en elementos no estructurales, siendo posible que equipos y maquinaria requieran ser sustituidos.
NP-D	**AMENAZA-PELIGRO REDUCIDO**	El deterioro en componentes no estructurales resulta severo. Los parapetos y muros perimetrales de mampostería presentan afectaciones importantes, sin llegar al colapso ni comprometer la integridad de las personas.
NP-E	**NO CONSIDERADO**	Categoría de referencia empleada cuando no se efectúa una evaluación de los elementos no estructurales.

Fuente: Adaptado del ATC 40(1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.*

Tabla 5. Combinación de Niveles de Desempeño**.**

Niveles de desempeño no estructural	**Niveles de desempeño estructural**					
	SP-1 Ocupación inmediata	**SP-2 Daño controlado**	**SP-3 Seguridad**	**SP.-4 Seguridad limitada**	**SP-5 Estabilidad estructural**	**SP-6 No considerado**
NP-A Operacional	**1-A Operacional**	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación inmediata	**1-B Ocupación inmediata**	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad	1-C	2-C	**3-C Seguridad**	4-C	5-C	6-C
NP-D Amenaza	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No considerado	NR	NR	3-E	4-E	**5-E Estabilidad estructural**	No aplicable

Fuente: Adaptado del ATC-40(1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.*

Tabla 6. Resumen de Niveles de Desempeño para una edificación.

NIVELES DE DESEMPEÑO		
1-A	**OPERACIONAL**	Corresponde al nivel de desempeño vinculado con la funcionalidad de la edificación. El deterioro estructural resulta muy reducido, sin que exista riesgo para el funcionamiento del edificio.
1-B	**OCUPACIÓN INMEDIATA**	Nivel exigido para edificaciones de carácter esencial. La seguridad de los ocupantes queda garantizada, aunque el contenido podría presentar un daño leve.
3-C	**SEGURIDAD DE VIDA**	La amenaza a la seguridad de los ocupantes, derivada de daños en elementos estructurales o no estructurales, resulta sumamente reducida.
5-E	**ESTABILIDAD ESTRUCTURAL**	El margen de seguridad frente a cargas laterales se encuentra al límite, con una probabilidad alta de colapso ante réplicas; la seguridad de los ocupantes ya no queda garantizada.

Fuente: Adaptado del ATC-40(1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.*

Además de los niveles de desempeño mencionados existen otros niveles de Desempeño Sísmico según el FEMA-273, FEMA 356 y demás normativas; teniendo en común 4 desempeños claves: Totalmente Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de vida y Prevención de Colapso.

2.2.2.2 Niveles de Demanda sísmica

El desempeño sísmico de una edificación está directamente relacionado con la demanda sísmica, la cual se cuantifica en términos probabilísticos a través de parámetros como la intensidad sísmica, la aceleración pico y los espectros de respuesta, asociados a un determinado periodo de retorno (SEAOC, 1995). El Periodo de retorno está relacionado al tiempo de exposición en años y la probabilidad de excedencia por medio de la ecuación 2.1 dado a continuación:

$$T = -\frac{t}{ln(1-p)} \tag{2.1}$$

Donde:

T : Periodo medio de retorno en años

p : Probabilidad de excedencia (%/100)

t : Tiempo de exposición en años

2.2.2.2.1 Propuesta del comité VISION 2000

La SEAOC (1995), mediante su comisión Visión 2000, estratifica la amenaza telúrica en cuatro categorías distintas. Dicha catalogación (ATC 40) atiende al intervalo de recurrencia, la tasa de superación y la vida útil estructural recopilados en la Tabla 7.

Tabla 7. Umbrales de solicitación sísmica formulados por Visión 2000.

Demanda	Periodo de Recurrencia T(anual)	Tasa de excedencia temporal (p, t)
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	970 años	10% en 100 años

Fuente: Modificado a partir de SEAOC (1995).

2.2.2.2.2 Propuesta del ATC-40

Según lo propuesto por el ATC-40 (1996), es utilizar tres niveles de movimiento sísmico para el diseño estructural: sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, cuyas principales características se plasman en las siguientes líneas y se muestra un resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Niveles de peligro sísmico según el ATC-40.

Demanda	Periodo de Recurrencia T(anual)	Tasa de excedencia temporal (p, t)
Servicio (SE)	72 años	50% en 50 años
Diseño (DE)	475 años	10% en 50 años
Máximo (ME)	975 años	5% en 50 años

Fuente: Adaptado del ATC-40(1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.*

2.2.2.3 Objetivos de desempeño sísmico

Constituyen la representación de la respuesta estructural óptima o del estado límite meta que una edificación debe satisfacer ante una solicitación telúrica específica. Estas metas se configuran acoplando diversos niveles de daño esperado con escenarios particulares de peligro sísmico, diferenciándose según la vulnerabilidad y uso de la estructura (SEAOC, 1995).

Diversos investigadores definen estas metas sismorresistentes mediante esquemas matriciales de comportamiento (ASCE 41-13). Dichas estructuras operacionales entrelazan de manera directa los estados de daño estructural con la intensidad de la amenaza o severidad sísmica.

2.2.2.3.1 Propuesta del comité VISION 2000

El organismo SEAOC (1995) establece los umbrales de protección sugeridos para variadas infraestructuras clasificadas según su vulnerabilidad en estándar, prioritarias o de alta seguridad, evaluando las diversas solicitaciones dinámicas factibles a las que se exponen, cuyos criterios analíticos se estructuran detalladamente en la Tabla 9.

Tabla 9. Esquema matricial de desempeño propuesto por VISION 2000.

1. Edif. comunes **2. Edif. esenciales** **3. Inst. protección crítica.** **0. Respuesta inadmisible**.		***Estado Límite de desempeño***			
		Totalmente Operacional	*Operacional (IO)*	*Seguridad de vida (LS)*	*Prevención de Colapso (CP)*
Amenaza	Frecuente (T=43 años)	**1**	**0**	**0**	**0**
	Ocasional (T=72 años)	**2**	**1**	**0**	**0**
	Raro (T=475 años)	**3**	**2**	**1**	**0**
	Muy raro (T=970 años)	**-**	**3**	**2**	**1**

Fuente: Elaboración propia a partir de SEAOC (1995).

2.2.2.3.2 Propuesta del ATC-40

La norma ATC-40 (1996) define diferentes niveles de desempeño para las estructuras, considerando la combinación de la resistencia de la edificación y la intensidad del sismo. Estos niveles se asignan según criterios como la funcionalidad, el costo y la importancia de la estructura. En la Tabla 10 se muestra los objetivos de seguridad básicos para la mayoría de los edificios.

Tabla 10. Esquema matricial de desempeño propuesto por el ATC-40.

Movimiento sísmico	**Estado Límite de desempeño**			
	Operacional	**Ocupación inmediata**	**Seguridad**	**Estabilidad estructural**
Servicio (SE)				
Diseño (DE)			X	
Máximo (ME)				X

Fuente: Adaptado del ATC-40(1996).

2.2.3 Análisis Estático No lineal Pushover

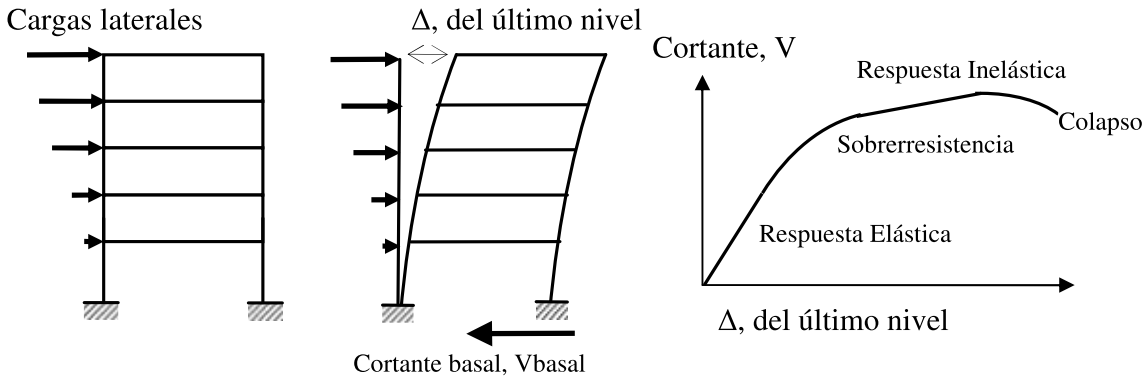
El procedimiento estático inelástico constituye una metodología simplificada orientada a evaluar la curva de capacidad resistente ante las demandas dinámicas inducidas por sismos. Esta aproximación analítica somete al modelo a una distribución de fuerzas laterales vectoriales incrementadas monotónicamente, extendiéndose el empuje progresivo hasta alcanzar el umbral de carga máxima o la inestabilidad global del sistema (Loa, et al., 2017 citado por Olivos, 2018).

2.2.3.1 Curva de Capacidad

La curva de capacidad, obtenida típicamente a través de un análisis Pushover, ilustra gráficamente la relación entre la deformación lateral máxima que puede soportar una estructura y la fuerza lateral correspondiente (ver Figura 3). Este diagrama es fundamental para evaluar la ductilidad de la estructura y determinar los puntos críticos donde se formarán las rótulas plásticas, lo que define su mecanismo de falla (Tunque & Colos, 2020).

La forma en que se distribuyen las fuerzas laterales a lo largo de una estructura (constante, lineal, parabólica y otros) tiene un impacto directo en la definición de su curva de capacidad. Dada la diversidad de patrones de carga posibles, una estrategia común consiste en analizar la estructura bajo al menos dos distribuciones de carga diferentes y construir una curva de capacidad envolvente, que englobe los resultados de ambos análisis (Arévalo & Bermúdez, 2007).

Figura 3. Secuencia del proceso de Análisis Pushover.



Fuente: Arango, Paz, & Duque (2009).

2.2.3.2 Punto de desempeño

Según las directrices del ATC 40 (1995), es el estado límite máximo de una edificación frente a una determinada acción sísmica se define como punto de desempeño, localizándose sobre la curva de capacidad espectral. Debido a que esta condición geométrica describe el comportamiento real ante un sismo específico, intercepta simultáneamente al espectro de demanda estructural. Para obtener el punto de desempeño existen diversos métodos, sin embargo, definiremos los dos métodos más usados:

- Método de la linealización equivalente FEMA 440 (mejora del ATC 40).
- Método del coeficiente de desplazamiento (ASCE 41-13) (mejora del FEMA 356).

2.2.3.3 Método de la linealización equivalente FEMA 440

El documento FEMA 440 presenta una modificación al tradicional Método del Espectro de Capacidad (ATC-40), proponiendo una técnica denominada Linealización Equivalente Mejorada para un análisis más preciso de la respuesta sísmica de las estructuras (De La Cruz, 2021). Para poder desarrollar la metodología del FEMA 440, desarrollaremos en primer lugar el método del espectro de capacidad planteada inicialmente por el ATC-40.

2.2.3.3.1 Método del espectro de capacidad del ATC-40

Se basa en una simplificación del comportamiento no lineal de la estructura, reemplazándolo por un modelo lineal equivalente. Este proceso utiliza los principios del análisis modal para obtener una representación aproximada de las características globales del sistema (De La Cruz, 2021). Para usar el "Método del espectro de capacidad propuesto por el ATC-40 es necesario convertir

la curva de capacidad, que está en términos del cortante basal y desplazamiento del techo, a un espectro de capacidad, que es una representación de la curva de capacidad en un formato ADRS de espectro de respuesta aceleración-desplazamiento (Sa versus Sd) (Fuentes, 2018).

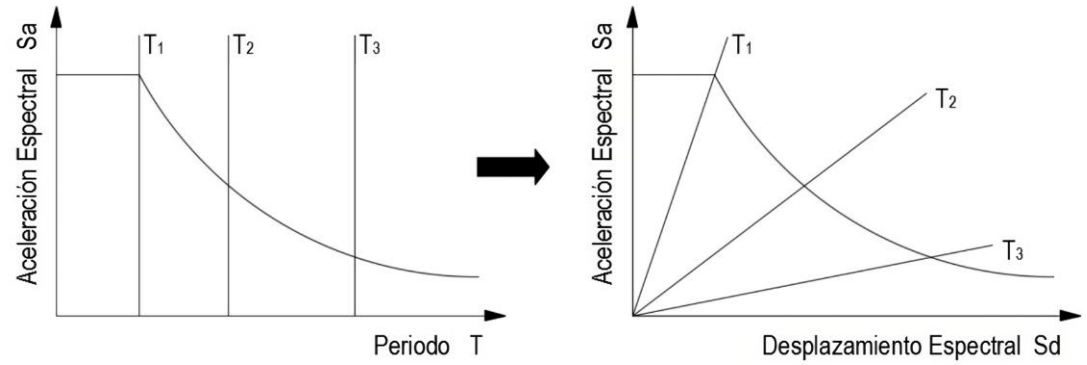
El FEMA 440 (2005) adopta el procedimiento del método del espectro de capacidad propuesta por el ATC-40 que se detalla a continuación:

Conversión del espectro de demanda al formato ADRS

La Figura 4a, muestra el espectro de demanda en formato S_a *vs* T, las líneas verticales T_1, T_2, T_3, representa periodos constantes, mientras que en la Figura 4b se presenta el espectro de demanda en el formato ADRS, estos periodos se representan por líneas inclinadas que parten desde el origen. Para transformar un espectro de respuesta desde su representación convencional de aceleración espectral en función del período, es necesario calcular el desplazamiento espectral (Sdi) correspondiente a cada valor de Ti; dicho cálculo se realiza mediante la ecuación 2.2 planteado según el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC) (Fuentes, 2018).

$$S_d = \frac{S_a T^2}{4\pi^2} g \tag{2.2}$$

Figura 4. Conversión del espectro de demanda en coordenadas ADRS.



(a) Espectro de demanda en formato Sa vs T (b) Espectro de demanda en formato ADRS

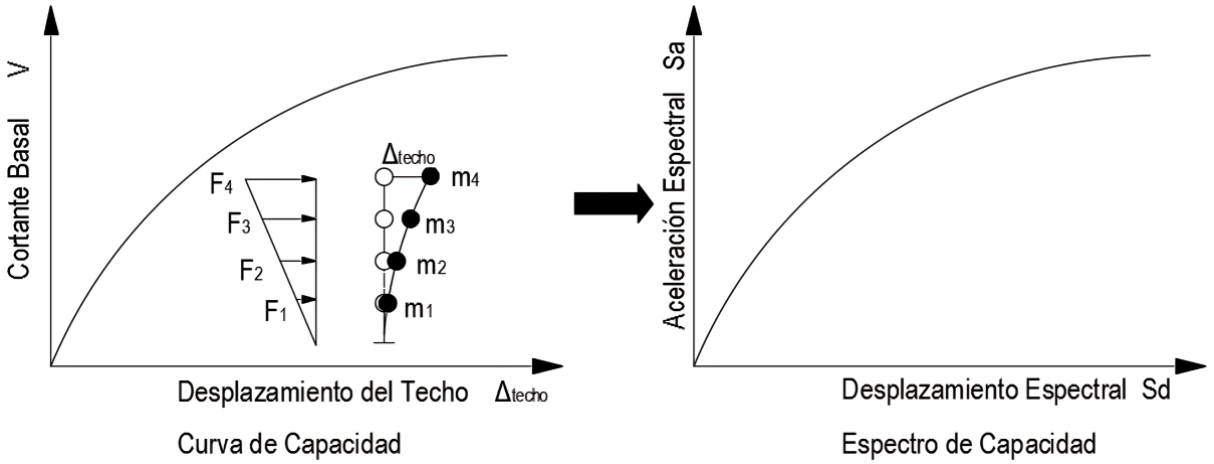
Fuente: Adaptado de (Fuentes, 2018).

Conversión de la curva de capacidad en espectro de capacidad

Una vez obtenida la curva de capacidad, esta debe expresarse en coordenadas espectrales (ADRS) para representar el comportamiento de la estructura mediante un sistema equivalente de un grado de libertad, empleando las propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración (ver Figura 5). Conforme al procedimiento establecido en el ATC-40 (1996), dicha transformación se

realiza mediante las ecuaciones que permiten determinar el factor de participación modal, la masa modal efectiva y las coordenadas espectrales de aceleración y desplazamiento, las cuales se presentan a continuación.

Figura 5. Obtención del espectro de capacidad.



Fuente: Quispe(2018).

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(\omega_i \phi_{i1})/g}{\sum_{i=1}^{n}(\omega_i \phi_{i1}^2)/g}\right] \tag{2.3}$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(\omega_i \phi_{i1})/g\right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{n}\omega_i/g\right]\left[\sum_{i=1}^{n}(\omega_i \phi_{i1}^2)/g\right]} \tag{2.4}$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \tag{2.5}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{techo}}}{PF_1 \phi_{\text{techo},1}} \tag{2.6}$$

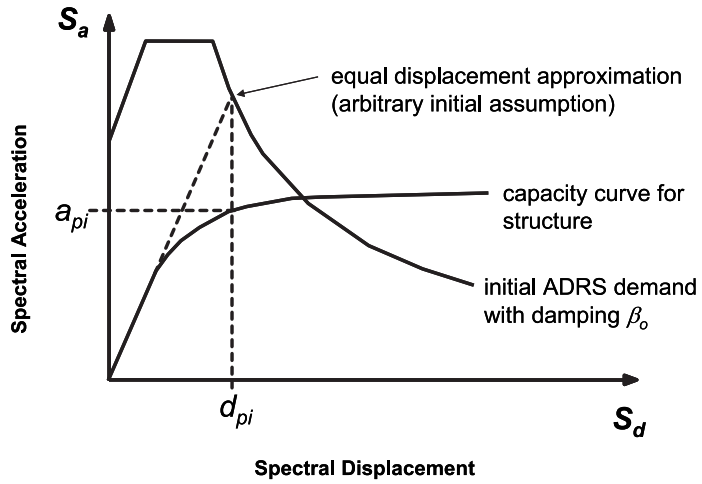
Donde:

PF_1 : Factor de participación modal para el primer modo natural.
α_1 : Coeficiente de masa modal para el primer modo.
ω_i : Peso en el nivel i
ϕ_{i1} : forma del modo 1 en el piso i
n : Nivel más alto de la estructura
V : Cortante basal
W : Peso muerto más porcentaje de carga viva considerado, Peso Total
Δ_{techo} : Desplazamiento en el techo o tope
S_a : Aceleración espectral
S_d : Desplazamiento espectral
$\Delta_{techo,1}$: Forma del modo 1 en el nivel más alto, valor modal en el techo

Representación bilineal del espectro de capacidad

De acuerdo con el Fema 440 (2005), la idealización bilineal de la curva de capacidad constituye una aproximación del comportamiento no lineal de la estructura, manteniendo una equivalencia entre la energía disipada por la curva original y la representación simplificada. Para definir esta idealización se adopta inicialmente un punto de desempeño estimado (a_{pi}, d_{pi}), el cual permite prolongar la rigidez inicial hasta su intersección con el espectro de demanda (Figura 6). A partir de esta condición se determina el desplazamiento espectral correspondiente d_{pi}, cuya proyección sobre el espectro de capacidad permite obtener la aceleración espectral a_{pi} asociada para la construcción de la representación bilineal.

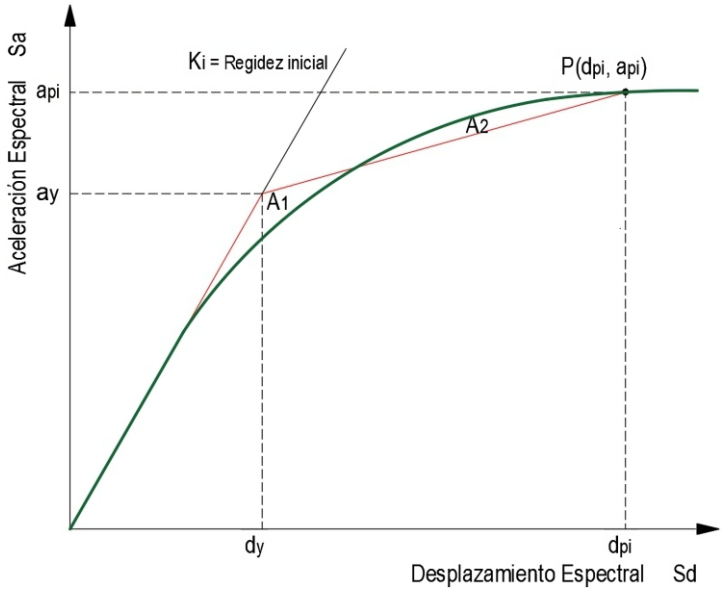
Figura 6. Punto de desempeño tentativo



Fuente: FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

De acuerdo con el procedimiento establecido en el FEMA 440 (2005), la representación bilineal de la curva de capacidad se obtiene conservando la rigidez elástica inicial de la estructura, la cual se proyecta desde el origen hasta definir el punto de fluencia equivalente. Posteriormente, se traza un segundo segmento que pasa por el punto de desempeño tentativo (a_{pi}, d_{pi}), de manera que la representación simplificada reproduzca adecuadamente el comportamiento global de la curva original. La ubicación del punto de fluencia equivalente (a_y, d_y) se ajusta de manera iterativa procurando que las áreas comprendidas entre la curva de capacidad y la representación bilineal sean aproximadamente equivalentes (Figura 7). Este criterio de equivalencia energética permite que ambas representaciones desarrollen una capacidad de disipación de energía semejante, garantizando una aproximación adecuada del comportamiento inelástico de la estructura durante el análisis.

Figura 7. Representación bilineal del espectro de capacidad.



Fuente: (Quispe, 2018)

La representación bilineal del espectro de capacidad, define el periodo inicial t_0 , el desplazamiento de fluencia d_y , y la aceleración de cedencia a_y , dichos parámetros pueden cambiar para diferentes suposiciones (a_{pi}, d_{pi}). Se calcula los valores de rigidez post-elástica α y la ductilidad μ, con las siguientes fórmulas:

$$\alpha = \frac{\left(a_{pi} - a_y\right) / \left(d_{pi} - d_y\right)}{a_y / d_y} \tag{2.7}$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \tag{2.8}$$

Parámetros para la linealización equivalente

El documento Fema 440 (2005), reemplaza el sistema no lineal dinámico por un sistema lineal con igual comportamiento en términos de respuesta máxima y energía disipada. El manual del ATC 40 (1995) sentó las bases de este concepto; sin embargo, Chopra y Goel (2000), han evidenciado que el método del ATC-40 subestimaba desplazamientos para muchos casos de periodo y ductilidad. Es así que el FEMA 440 corrige y calibra el amortiguamiento y periodo efectivo basado en simulaciones no lineales reales. Por un lado, el periodo efectivo actúa cuando la estructura se vuelve más flexible debido a la plastificación y formación de rótulas que conlleva a la degradación de rigidez y por lo tanto mayor periodo. Por otro lado, el amortiguamiento efectivo representa energía disipada por histéresis.

Amortiguamiento efectivo $\boldsymbol{\beta_{eff}}$. El nivel de amortiguamiento efectivo depende del modelo adoptado y de la ductilidad. Dicho parámetro se expresa como un porcentaje del amortiguamiento crítico cuya formulación se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Relaciones matemáticas del β_{eff}

Ductilidad	***Expresión de*** $\boldsymbol{\beta_{eff}}$	**Ecuación**
$1.0 < \mu < 4.0$	$\beta_{eff} = A(\mu-1)^2 + B(\mu-1)^3 + \beta_0$	(2.9)
$4.0 < \mu < 6.5$	$\beta_{eff} = C + D(\mu-1) + \beta_0$	(2.10)
$\mu > 6.5$	$\beta_{eff} = E\dfrac{[F(\mu-1)-1]}{[F(\mu-1)]^2}\left(\dfrac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 + \beta_0$	(2.11)

Fuente: Adaptado de FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

Donde:

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo
T_{eff} : Periodo efectivo
β_0 : Amortiguamiento inicial
T_0 : Periodo fundamental de vibración

De acuerdo con el documento FEMA 440 (2005), los coeficientes *(A, B, C, D, E, F)* dependen de las propiedades histeréticas asociadas a la curva de capacidad del sistema equivalente de un grado de libertad y la rigidez post-elástica α tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Coeficientes para hallar el amortiguamiento efectivo.

Model	*α (%)*	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
Bilinear hysteretic	0	3.2	–0.66	11	0.12	19	0.73
Bilinear hysteretic	2	3.3	–0.64	9.4	1.1	19	0.42
Bilinear hysteretic	5	4.2	–0.83	10	1.6	22	0.40
Bilinear hysteretic	10	5.1	–1.1	12	1.6	24	0.36
Bilinear hysteretic	20	4.6	–0.99	12	1.1	25	0.37
Stiffness degrading	0	5.1	–1.1	12	1.4	20	0.62
Stiffness degrading	2	5.3	–1.2	11	1.6	20	0.51
Stiffness degrading	5	5.6	–1.3	10	1.8	20	0.38
Stiffness degrading	10	5.3	–1.2	9.2	1.9	21	0.37
Stiffness degrading	20	4.6	–1.0	9.6	1.3	23	0.34
Strength degrading	-3[a]	5.3	–1.2	14	0.69	24	0.90
Strength degrading	–5[a]	5.6	–1.3	14	0.61	22	0.90

a. Negative values of post-elastic stiffness should be limited to α_c, as discussed in Section 4.3

Fuente: FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

Los coeficientes presentados en la Tabla 12 han sido calibrados para ajustarse a los resultados experimentales obtenidos de modelos idealizados de osciladores que exhiben un comportamiento histerético claramente definido. En el caso de modelos estructurales cuyos elementos presentan

comportamientos histeréticos diferentes, no resulta evidente la selección del coeficiente apropiado. Ante esta incertidumbre, se recomienda emplear las ecuaciones generales calibradas:

Tabla 13: Ecuaciones generales optimizadas para β_{eff}.

Ductilidad	***Expresión de*** $\boldsymbol{\beta_{eff}}$	**Ecuación**
$1.0 < \mu < 4.0$	$\beta_{eff} = 4.9(\mu-1)^2 - 1.1(\mu-1)^3 + \beta_0$	(2.12)
$4.0 < \mu < 6.5$	$\beta_{eff} = 14.0 + 0.32(\mu-1) + \beta_0$	(2.13)
$\mu > 6.5$	$\beta_{eff} = 19\left[\frac{0.64(\mu-1)-1}{[0.64(\mu-1)]^2}\right]\left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 + \beta_0$	(2.14)

Fuente: Adaptado de FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

Periodo efectivo T_{eff}

Conforme al documento FEMA 440 (2005), las expresiones para determinar el periodo efectivo en los distintos modelos histeréticos se presentan a continuación:

Tabla 14. Relaciones matemáticas del periodo efectivo.

Ductilidad	***Expresión*** $\boldsymbol{T_{eff}}$	**Ecuación**
$1.0 < \mu < 4.0$	$T_{eff} = [G(\mu-1)^2 + H(\mu-1)^3 + 1]T_0$	(2.15)
$4.0 < \mu < 6.5$	$T_{eff} = [I + J(\mu-1) + 1]T_0$	(2.16)
$\mu > 6.5$	$T_{eff} = \left\{K\left[\sqrt{\frac{\mu-1}{1+L(\mu-2)}} - 1\right] + 1\right\}T_0$	(2.17)

Fuente: Adaptado de FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

De acuerdo con el FEMA 440 (2005), los valores de los coeficientes *(G, H, I, J, K, L)* están en función de las características histeréticas de la curva de capacidad del oscilador de 1 grado de libertad y la rigidez post-elástica α tal como se indica en la Tabla 15.

Tabla 15. Coeficientes para hallar el periodo efectivo.

Model	α(%)	G	H	I	J	K	L
Bilinear hysteretic	0	0.11	–0.017	0.27	0.090	0.57	0.00
Bilinear hysteretic	2	0.10	–0.014	0.17	0.12	0.67	0.02
Bilinear hysteretic	5	0.11	–0.018	0.09	0.14	0.77	0.05
Bilinear hysteretic	10	0.13	–0.022	0.27	0.10	0.87	0.10
Bilinear hysteretic	20	0.10	–0.015	0.17	0.094	0.98	0.20
Stiffness degrading	0	0.17	–0.032	0.10	0.19	0.85	0.00
Stiffness degrading	2	0.18	–0.034	0.22	0.16	0.88	0.02
Stiffness degrading	5	0.18	–0.037	0.15	0.16	0.92	0.05
Stiffness degrading	10	0.17	–0.034	0.26	0.12	0.97	0.10
Stiffness degrading	20	0.13	–0.027	0.11	0.11	1.0	0.20
Strength degrading	–3[a]	0.18	–0.033	0.17	0.18	0.76	–0.03
Strength degrading	–5[a]	0.20	–0.038	0.25	0.17	0.71	–0.05

a.Negative values of post-elastic stiffness may be limited to α_c, as discussed in Section 4.3

Fuente: FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

Ante la incertidumbre sobre el comportamiento histerético del sistema, corresponde aplicar las ecuaciones generales optimizadas del FEMA 440, sin distinguir modelo o la rigidez post-elástica α .

Tabla 16: Ecuaciones optimizadas para Periodo efectivo.

Ductilidad	***Expresión*** T_{eff}	**Ecuación**
$1.0 < \mu < 4.0$	$T_{eff} = \{0.20(\mu-1)^2 - 0.038(\mu-1)^3 + 1\}T_0$	(2.18)
$4.0 < \mu < 6.5$	$T_{eff} = [0.28 + 0.13(\mu-1) + 1]T_0$	(2.19)
$\mu > 6.5$	$T_{eff} = \left\{0.89\left[\sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0.05(\mu-2)}} - 1\right] + 1\right\}T_0$	(2.20)

Fuente: Adaptado de FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

A partir de los valores obtenidos para β_{eff} y T_{eff}, puede afirmarse que el FEMA 440 propone un procedimiento de linealización equivalente perfeccionado, construido tras evaluar críticamente la metodología planteada originalmente en el ATC-40. Su propósito es estimar la demanda máxima de desplazamiento de un sistema no lineal representándolo mediante un sistema lineal equivalente, caracterizado por un periodo efectivo (T_{eff}) y un amortiguamiento efectivo (β_{eff}). Estos parámetros dependen de las propiedades de la curva de capacidad, del periodo y amortiguamiento inicial de la estructura, y de la ductilidad demandada (μ).

A partir de este paso, el FEMA 440(2005) propone 3 procedimientos para identificar una solución:

Método A (iteración directa). El primer procedimiento planteado por el FEMA 440 (2005) consiste en un proceso iterativo orientado a determinar el "PD", sin ajustar los espectros de demanda ADRS calculados para cada nivel de β_{eff} que los haga coincidir con el espectro de capacidad. Su desarrollo, ilustrado en la Figura 8, sigue la secuencia siguiente:

- Se Modifica la demanda inicial ADRS, considerando el β_{eff}:

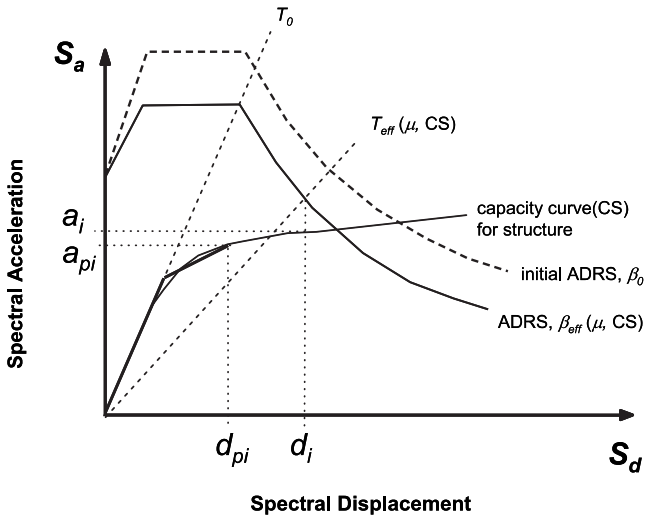
$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}T_0 \tag{2.21}$$

$$B = \frac{4}{5.6 - ln\beta_{eff}(in\%)} \tag{2.22}$$

- En el punto donde el periodo efectivo radial T_{eff} intercepta la curva de demanda para β_{eff}, resulta el desplazamiento máximo estimado y aceleración respectivamente (d_i, a_i).
- Finalmente, el desplazamiento estimado d_i debe estar en el margen de tolerancia respecto a la suposición inicial d_{pi} :

$$0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi} \tag{2.23}$$

Figura 8. Desplazamiento máximo estimado (Procedimiento A).



Fuente: FEMA 440 (2005). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.

Método B (intersección con demanda espectral modificada)

- Al igual que en el procedimiento A, se ajusta la demanda ADRS inicial en función del β_{eff}.
- A continuación, las ordenadas de aceleración del espectro de demanda se multiplican por el factor de modificación M, dejando inalteradas las coordenadas de desplazamiento:

$$M = \left(\frac{T_{eff}}{T_{\text{sec}}}\right)^2 = \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 \left(\frac{T_0}{T_{\text{sec}}}\right)^2 \tag{2.24}$$

$$\left(\frac{T_0}{T_{\text{sec}}}\right)^2 = \frac{1+\alpha(\mu-1)}{\mu} \tag{2.25}$$

- Con la curva (MADRS) ya obtenida, la aceleración y el desplazamiento máximos se determinan en el punto donde esta interseca al espectro de capacidad.
- El valor estimado de desplazamiento d_i debe estar en el margen de tolerancia respecto a la suposición inicial d_{pi} ; la ecuación se ve en el procedimiento A.

La Figura 9 es la representación gráfica del procedimiento B.

Método C (lugar geométrico de posibles PD)

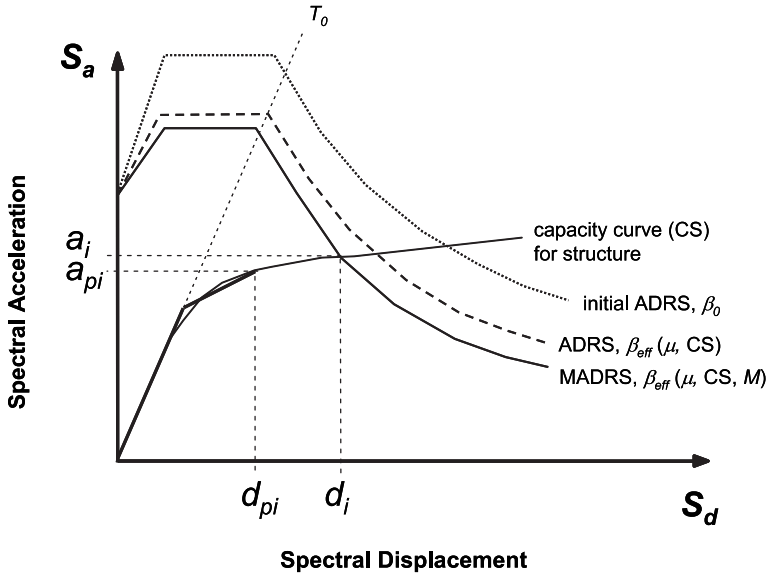
- Se ajusta la demanda inicial ADRS, considerando el β_{eff} similar al método A y B.
- Multiplicar las coordenadas de aceleración del espectro de demanda (ADRS) por el factor de modificación M, para obtener la curva MADRS.
- Generar un posible punto de desempeño mediante la intersección del período secante

radial, con la demanda modificada.

- Variar el valor inicial supuesto del "PD" y repetir los pasos del proceso para obtener un conjunto de posibles soluciones.
- El "PD" final queda establecido mediante el encuentro del lugar geométrico de los puntos y el espectro de capacidad.

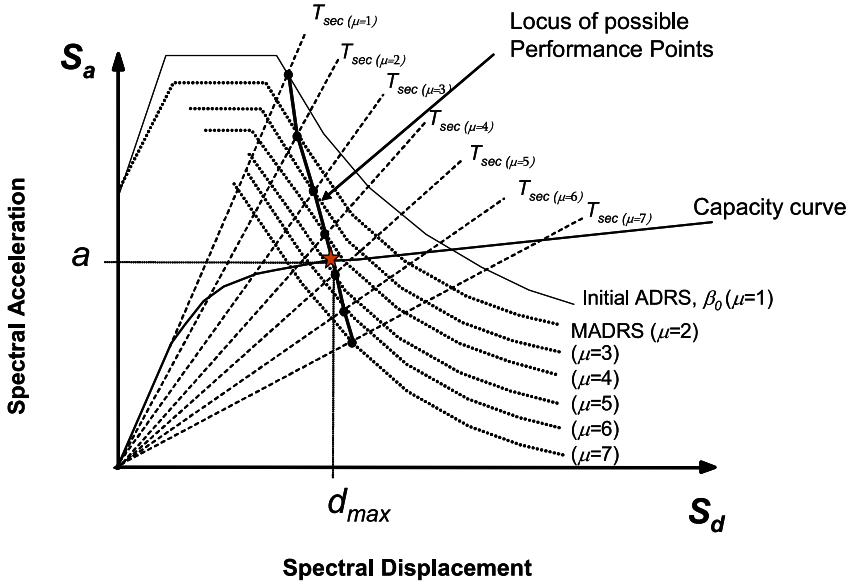
La Figura 10 es la representación gráfica del procedimiento C.

Figura 9. Desplazamiento máximo estimado (Procedimiento B).



Fuente: FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

Figura 10. Ubicación de los posibles PD usando MADRS (Método C).



Fuente: FEMA 440 (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.*

2.2.3.4 Método del coeficiente de desplazamiento según el ASCE 41-13

El método del coeficiente de desplazamiento ofrece una metodología numérica directa para determinar la demanda de desplazamiento estructural. Esta técnica evita la necesidad de transformar la curva de capacidad a coordenadas espectrales y se encuentra limitada a edificios con geometría regular sin incidencia relevante de modos superiores ni de torsión (Quispe, 2018). El ASCE 41-13 detalla el desplazamiento objetivo δ_t tal como se muestra en la ecuación 2.26:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \tag{2.26}$$

Parámetros:

C_0: factor de escala que vincula los desplazamientos espectrales obtenidos de un modelo simplificado (SDOF) con los desplazamientos máximos del techo de un edificio complejo (MDOF).

Tabla 17. Valores para factor de escala $\boldsymbol{C_0}$.

N° Pisos	Edificios de Cortante		Otros edificios
	Estado de carga triangular	Estado de carga uniforme	Cualquier estado de carga
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

Fuente: Adaptado de ASCE 41-13 (2013).

C_1: factor de escala que vincula los desplazamientos máximos inelásticos con resultados obtenidos de una respuesta lineal elástica, este factor se muestra en la ecuación 2.27:

$$C_1 = 1 + \frac{U_{strength} - 1}{aT_e^2} \tag{2.27}$$

$a = 130$, para clasificación de sitio A o B (Roca)

$a = 90$, para clasificación de sitio C (Suelo denso y roca blanda)

$a = 60$, para clasificación de sitio D, E, F (Suelos rígidos, arcillosos o sin clasificación)

T_e: Periodo fundamental efectivo como se detalla en la ecuación 2.28:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \tag{2.28}$$

Donde: T_i : Periodo fundamental elástico.

K_i : Rigidez lateral elástica del edificio.

K_e : Rigidez lateral efectiva del edificio.

$U_{strength}$: factor que vincula la demanda de resistencia elástica con el coeficiente de resistencia, según se define en la ecuación 2.29:

$$U_{strength} = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \tag{2.29}$$

Donde:

S_a : Pseudoceleración correspondiente al periodo fundamental y la tasa de amortiguamiento crítico asignada en el eje bajo estudio.

V_y : Cortante de fluencia en la representación bilineal de la edificación.

W : Pesos sísmico efectivo (carga permanente + % de carga viva correspondiente).

C_m : Coeficiente de participación de masa efectiva de acuerdo con la Tabla 18.

Nota: Para Periodo mayores a 1 s, $C_m = 1.0$

Tabla 18. Coeficiente de participación de masa efectiva.

N° Niveles	Marcos de concreto	Muros a cortante	Piers-Spandrel de CA
1 a 2	1.0	1.0	1.0
>=3	0.9	0.8	0.8

Fuente: Elaboración propia a partir de ASCE 41-13 (2013).

C_2: Coeficiente corrector que incorpora la influencia del estrechamiento del lazo histerético, la degradación de rigidez y la reducción de resistencia sobre el desplazamiento máximo de respuesta, se calcula según la ecuación 2.30 propuesto en la normativa ASCE 41-13(2013):

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800}\left(\frac{U_{strength} - 1}{T_e}\right)^2 \tag{2.30}$$

Nota: Para Periodo mayores a 0.7 s, $C_2 = 1.0$

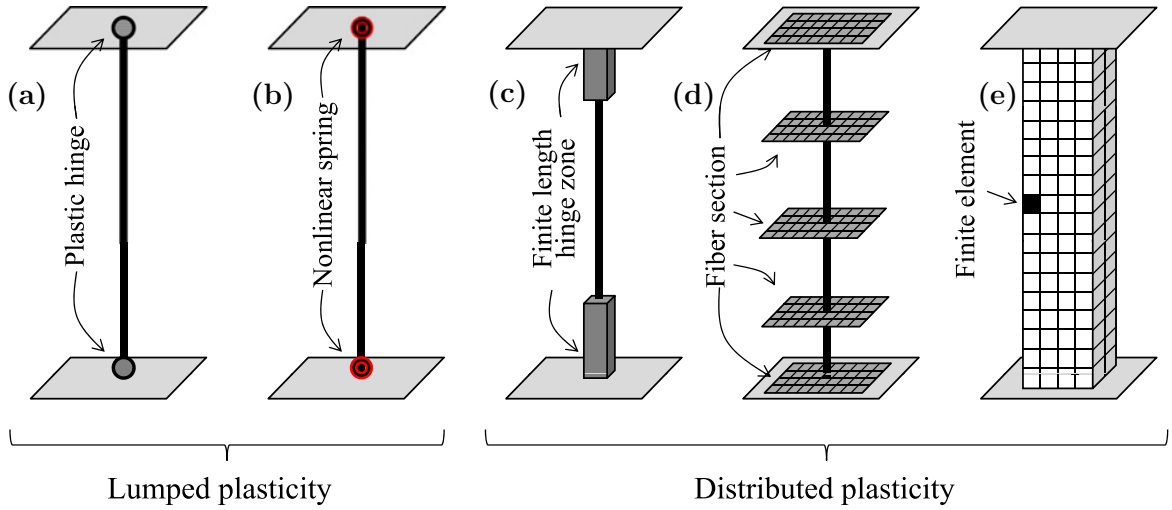
2.2.4 Modelos inelásticos

La caracterización de los modelos de componentes estructurales inelásticos se fundamenta en la forma en que se distribuye la deformación plástica a lo largo de las secciones transversales y la longitud de los elementos. La Figura 11 presenta una comparación de cinco modelos idealizados comúnmente empleados para simular la respuesta inelástica de elementos estructurales como vigas y columnas (Deierlein et al. , 2010).

Modelos con Plasticidad concentrada. En este grupo se encuentra la articulación rígido plástica y el resorte inelástico con propiedades histeréticas, ambos concentran las deformaciones inelásticas en el extremo del elemento (ver figura 11a y 11b). Estas articulaciones de longitud cero concentran la plasticidad con un modelo momento-rotación (Deierlein et al. , 2010).

Modelos con plasticidad distribuida. En la figura 11c se muestra una articulación con longitud fija o variable designada en los extremos del elemento, esta articulación tiene deformaciones a lo largo de su longitud porque captura la propagación de fluencia de forma más realista que las articulaciones concentradas. En la figura 11d se aprecia el modelo de fibras que distribuye la plasticidad través de secciones transversales a lo largo de la longitud del elemento, estas fibras distribuidas no predicen la rotación de bisagras, pero informan las deformaciones en las fibras de acero y concreto de la sección transversal. Finalmente se observa en la figura 11e el modelo más complejo que discretiza el miembro en elementos finitos a través de secciones transversales a lo largo de la longitud del miembro, estos elementos finitos tienen propiedades no lineales; sin embargo, representa el modelo más sofisticado con el mayor desafío en recursos computacionales donde las deformaciones son más difíciles de interpretar con relación a los criterios de aceptación (Deierlein et al. , 2010).

Figura 11. Modelos de plasticidad idealizados para elementos viga-columna



Fuente: Adaptación de Deierlein et al. (2010)

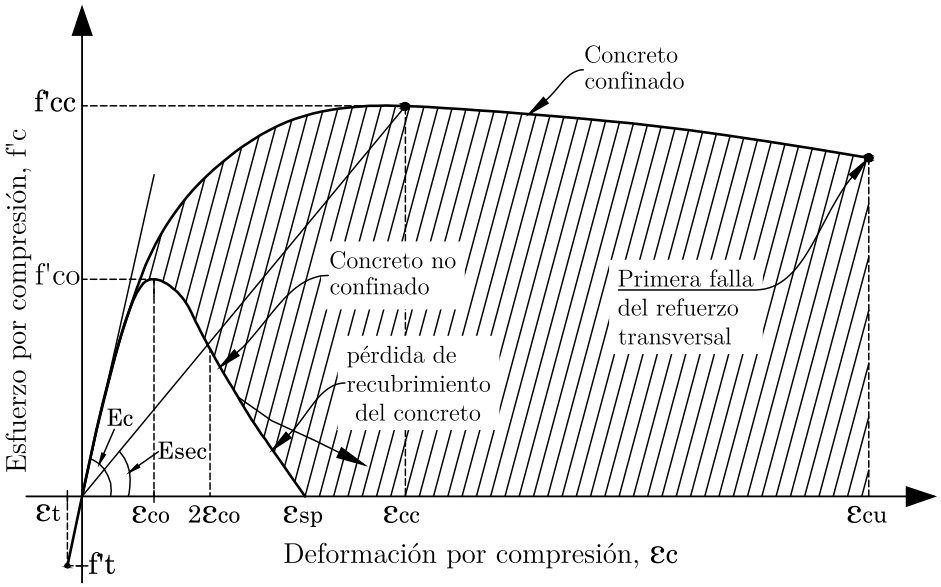
2.2.5 Diagramas de modelos constitutivos

2.2.5.1 Modelo constitutivo del concreto

Por tratarse de un material compuesto, el concreto armado presenta un comportamiento notablemente distinto al del concreto simple, condicionado por la presencia del refuerzo de acero. El estado de esfuerzos generado por los estribos y el acero longitudinal eleva de forma considerable la ductilidad y la capacidad de deformación del material previo a la falla. Reproducir con precisión este comportamiento no lineal exige tomar en cuenta el efecto del confinamiento del concreto. Al respecto, la bibliografía especializada ofrece diversas propuestas entre ellas las de Kent y Park, Roy y Sozen, Sargin, Mander, entre otras (Palomino, 2018).

Para efectos de este estudio se adoptó el modelo de esfuerzo deformación de Mander et al. (1988), en la cual se describe el comportamiento del concreto bajo compresión axial considerando la influencia del refuerzo de confinamiento. La Figura 12 es la representación gráfica propuesta por Mander et al. (1988), que muestra una curva continua donde alcanza una capacidad máxima con una deformación de $\varepsilon_{co} = 0.002$, correspondiente a la resistencia característica del concreto. Posteriormente, la curva desciende bruscamente hasta una deformación de $2\varepsilon_{co}$, representando la pérdida de recubrimiento y la consecuente disminución de la capacidad resistente (Barrientos, 2022). En la Tabla 19 adaptado según Mander et al. (1988), se expresan las ecuaciones para concreto confinado y no confinado.

Figura 12. Relación esfuerzo-deformación del concreto en condición confinada y no confinada.



Fuente: Elaboración propia según Mander et al. (1988)

Tabla 19: Ecuaciones para diagrama Esfuerzo Vs Deformación del concreto

Descripción	***Ecuación***	
f para concreto confinado:	$f = \frac{f'_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r} \ , x = \frac{e}{e_{cc}} \ , r = \frac{E_c}{E_c - f'_{cc}/e_{cc}}$	(2.31)
f para concreto no confinado:	$f = \frac{f'_c \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r} \ , x = \frac{e}{e_{c0}} \ , r = \frac{E_c}{E_c - f'_c/e_{c0}}$	(2.32)
Resistencia del concreto confinado:	$f'_{cc} = f'_c \left[2.254\sqrt{1 + 7.94\frac{f'_l}{f'_c}} - 2\frac{f'_l}{f'_c} - 1.254 \right]$	(2.33)
Deformación pico del C. Confinado:	$e_{cc} = e_0 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right]$	(2.34)
Factor de efectividad:	$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right)\left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right)\left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{(1 - \rho_{cc})}$	(2.35)
Cuantía volumétrica transversal:	$\rho_s = \frac{A_{s(x,y)}}{s(d_c, b_c)}$	(2.36)
Presión lateral:	$f_l = k_e \rho_s f_y$	(2.37)

Fuente: Adaptado de Mander et al. (1988)

Donde:

w'_i: Distancia libre sin confinar

s': Separación de estribos

b_c, d_c: Dimensiones del núcleo confinado

e_{c0}: Deformación pico del Concreto No Confinado:

ρ_{cc}: Cuantía de refuerzo vertical

r: Parámetro de curva r

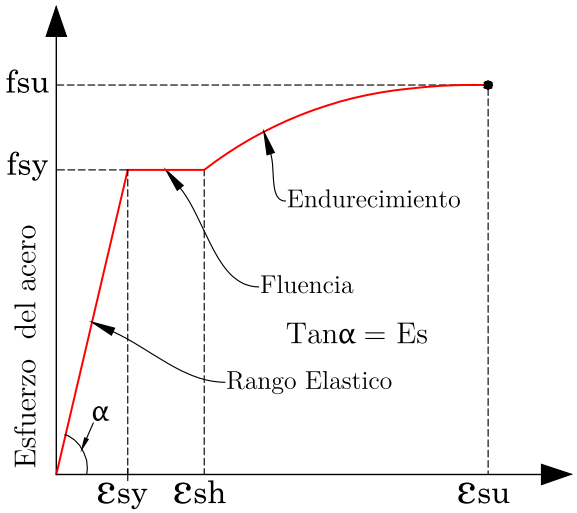
n: número de espaciamientos w'_i

2.2.5.2 Modelo constitutivo del acero de refuerzo

El modelo propuesto por Park y Paulay (1975) reproduce con mayor fidelidad la respuesta del acero de refuerzo. Dicha curva esfuerzo-deformación inicia con un tramo elástico perfecto hasta alcanzar el punto de fluencia, continúa con una meseta de fluencia sin incremento aparente de esfuerzo, y finaliza con una fase de endurecimiento por deformación, representada mediante una parábola que se extiende hasta la deformación de rotura o agotamiento del material (Palomino, 2018). Este modelo constitutivo está representado por las ecuaciones de la Tabla 20, que muestra las 3 zonas: zona elástica, zona plástica y la zona con endurecimiento donde: f_s (esfuerzo del acero para una deformación dada), ε_s (deformación unitaria del acero), f_{sy} (esfuerzo de fluencia del acero), ε_{sy} (deformación de fluencia

del acero), ε_{sh} (deformación al inicio del endurecimiento), ε_{su} (deformación última), f_{su} (esfuerzo último), P (parámetro que controla el endurecimiento el acero).

Figura 13. Curva esfuerzo deformación del acero de refuerzo.



Fuente: Elaboración propia a partir de Park y Paulay (1975)

Tabla 20: Ecuaciones para diagrama esfuerzo deformación del acero

Para $0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}$	$f_s = \frac{f_{sy}\varepsilon_s}{\varepsilon_{sy}}$	(2.38)
Para $\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}$	$f_s = f_{sy}$	(2.39)
Para $\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$	$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy})\left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}}\right)^P$	(2.40)

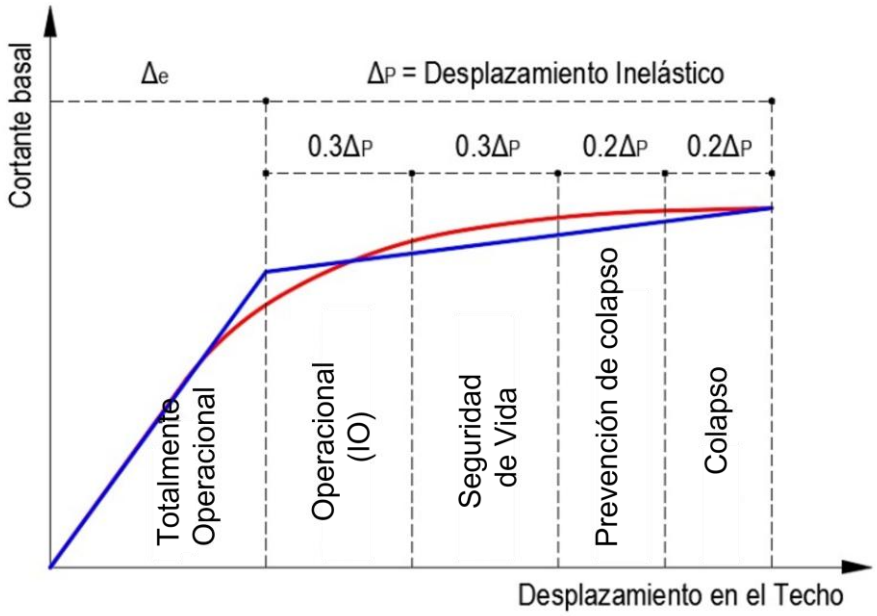
Fuente: Adaptado de Park y Paulay (1975)

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Evaluación del desempeño sísmico

Para evaluar el desempeño sísmico de la edificación, identificaremos el punto de desempeño y la ubicaremos dentro de la sectorización la curva de capacidad propuesta por el Comité VISION 2000 de la SEAOC. La curva de capacidad se divide en zona elástica e inelástica. La zona elástica Δ_e se determina con el punto de fluencia efectivo a través de una idealización bilineal de la curva de capacidad. La zona inelástica Δ_p se divide en 4 sectores distribuidas en porcentaje de 30%, 30%,20% y 20% asociadas a niveles de desempeño: Ocupación inmediata, Seguridad de vida, prevención de colapso y colapso. Con esta metodología se estima el desempeño de una edificación, ver Figura 14.

Figura 14. Sectorización de la curva de capacidad



Fuente: Adaptado de SEAOC (1995)

2.3.2 Relaciones Momento curvatura

El vínculo momento-curvatura (M- ϕ) resulta esencial dentro del análisis no lineal, sea estático o dinámico, pues gobierna la rigidez de las ramas del diagrama histerético y, en consecuencia, refleja la no linealidad propia del material. Su trazado depende directamente de los modelos constitutivos empleados para el concreto y el acero (Palomino, 2018). De acuerdo con lo planteado por Aguiar (2003), construir este diagrama exige verificar, de manera simultánea, que las deformaciones resulten compatibles entre sí, que las fuerzas internas se mantengan equilibradas y que exista equilibrio de momentos en la sección analizada.

Para determinar el comportamiento no lineal de los elementos estructurales, es necesario descifrar el porqué y la dinámica del colapso, una manera de entender estos mecanismos es el comportamiento de rotulas plásticas concentradas.

2.3.2.1 Rótulas plásticas

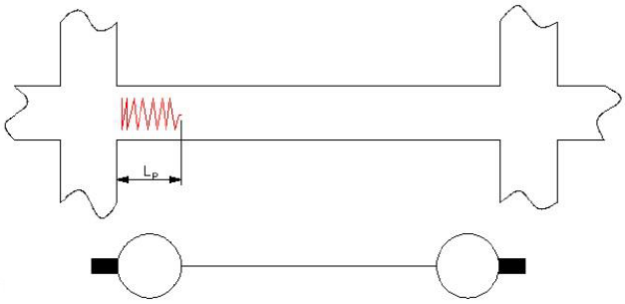
La rótula plástica es una noción de uso frecuente en el análisis estructural: se presenta en el instante en que una sección deja de poder tomar momento flector adicional, pasando a experimentar únicamente rotación (Cisneros, 2014). En la realidad no existe la rótula plástica, pero es una definición que se utiliza en el campo de la Ingeniería Sísmica para encontrar fórmulas

que simplifican algún problema (Aguiar, 2003). La elección del modelo de plasticidad para representar una rótula depende directamente de la precisión que se busque en los resultados. Cuando basta con concentrar el daño en un único punto mediante una relación momento-rotación, resulta suficiente el modelo de plasticidad concentrada; en cambio, si se necesita incorporar la extensión real de la zona dañada, el modelo de plasticidad distribuida es la opción más adecuada.

En una rótula concentrada se prevén deformaciones de gran magnitud, manifestadas como desplazamientos por flexión o cortante a medida que el elemento se aproxima a su capacidad resistente límite, ya sea bajo carga dinámica variable en función del tiempo o carga estática incremental. En vigas y columnas suele adoptarse el criterio de ubicar estas rótulas al 0.05 y al 0.95 de la longitud del elemento, con el fin de que su formación ocurra próxima a la cara del elemento y se evite dentro del nudo (Palomino, 2018).

Bajo esta idealización, la rótula plástica queda definida como una región puntual donde se concentra toda la deformación inelástica junto con el daño estructural, permitiendo simplificar el análisis. Su longitud equivalente, Lp, siempre resulta inferior a la extensión real de la zona afectada, L(Figura 15). Paulay & Priestley (1992) sugieren, para vigas y columnas de dimensiones convencionales, un valor aproximado de Lp ≈ 0.5h, tomando h como el peralte del elemento.

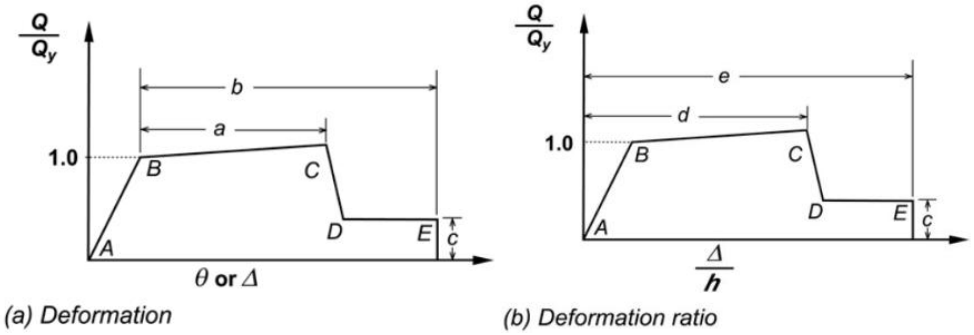
Figura 15. Representación equivalente del daño estructural.



Fuente: Fuentes (2018).

Para comprender y determinar el comportamiento de las rótulas plásticas se necesita el diagrama momento curvatura de cada sección. Con ese propósito, la presente investigación adoptó los diagramas normalizados del ASCE 41-13 que es una evolución y mejora de los códigos FEMA 273 (1997) , FEMA 356 (2000). El programa Etabs v22 asigna rótulas plásticas de manera automática para comprender el comportamiento no lineal de cada elemento estructural.

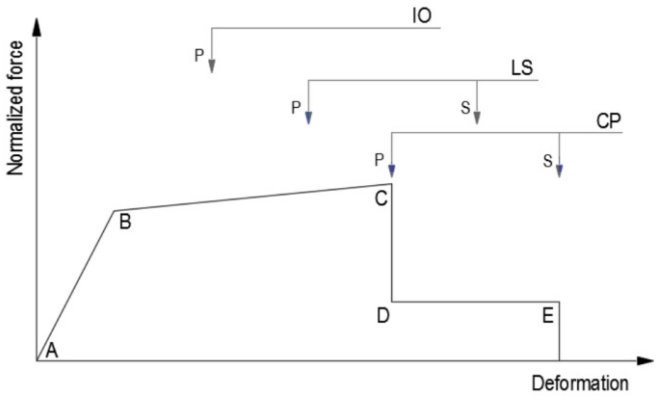
Figura 16. Curva generalizada Momento-curvatura.



Fuente: ASCE 41-13 (2013)

La Figura 16 muestra cómo se idealiza la curva momento-curvatura, distinguiéndose en ella varios tramos característicos. Entre A y B se ubica la rama elástica, hasta llegar al punto B, donde la sección fluye y da inicio a la plastificación. A continuación, el segmento BC refleja el endurecimiento por deformación, con una pendiente reducida entre 0 y 10 % de la elástica. Finalmente, entre C y D se produce una caída notoria de la resistencia, hasta el punto E, donde la sección agota completamente su capacidad (De La Cruz, 2021). Por otro lado, en la Figura 17 se asocian los criterios de aceptación para la deformación tanto de componentes primarios como secundarios con los distintos niveles de desempeño: ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención de colapso. El ASCE 41-13 (2013) denomina a estos umbrales IO, LS y CP, correspondientes respectivamente a dichos tres niveles.

Figura 17. Rangos de comportamiento elástico y deformación plástica controlada.



Fuente: ASCE 41-13 (2013)

Cuando la respuesta estructural se ubica entre los puntos B e IO, esto significa que la edificación está en condiciones de seguir funcionando después del sismo. Si, en cambio, dicha respuesta cae entre IO y LS, queda asegurada la integridad de los ocupantes; mientras que alcanzar el estado CP implica que la estructura, aunque dañada, evitó el colapso total (Quispe, 2018).

Los valores numéricos de la Figura 16 corresponden a los umbrales de desempeño normados por el estándar ASCE 41-13 sintetizados dentro de la Tabla 21 y Tabla 22.

Tabla 21. Umbrales y lineamientos de aceptación para análisis no lineales en vigas.

Condiciones			Parámetros de Modelado			Criterios de Aceptación*		
			Ángulo de Rotación Plástica (radianes)		Relación de Resistencia Residual	Ángulo de Rotaciones Plásticas (radianes)		
Condición i. Vigas controladas por flexión						Nivel de Desempeño		
(ρ-ρ')/ρbal	Refuerzo transversal	V / (bw·d·√f'c)	a	b	c	IO	LS	CP
≤0.0	C	≤ 3(0.25)	0.025	0.050	0.200	0.010	0.025	0.050
≤0.0	C	≥ 6(0.5)	0.020	0.040	0.200	0.005	0.020	0.040
≥0.5	C	≤ 3(0.25)	0.020	0.030	0.200	0.005	0.020	0.030
≥0.5	C	≥ 6(0.5)	0.015	0.020	0.200	0.005	0.015	0.020
≤0.0	NC	≤ 3(0.25)	0.020	0.030	0.200	0.005	0.020	0.030
≤0.0	NC	≥ 6(0.5)	0.010	0.015	0.200	0.002	0.010	0.015
≥0.5	NC	≤ 3(0.25)	0.010	0.015	0.200	0.005	0.010	0.015
≥0.5	NC	≥ 6(0.5)	0.005	0.010	0.200	0.002	0.005	0.010
Condición ii. Vigas controladas por cortante								
Espaciamiento de estribos ≤ d/2			0.0030	0.020	0.2	0.0015	0.010	0.020
Espaciamiento de estribos > d/2			0.0030	0.010	0.2	0.0015	0.005	0.010
Condición iii. Vigas controladas por desarrollo inadecuado o empalme a lo largo de la luz								
Espaciamiento de estribos ≤ d/2			0.0030	0.020	0.0	0.0015	0.010	0.020
Espaciamiento de estribos > d/2			0.0030	0.010	0.0	0.0015	0.005	0.010
Condición iv. Vigas controladas por anclaje inadecuado en el nudo viga-columna								
Todos los casos			0.0150	0.030	0.2	0.0100	0.020	0.030

Fuente: Elaboración propia basado en ASCE 41-13 (2013)

Tabla 22: Umbrales y lineamientos de aceptación para análisis no lineales en columnas.

Condiciones			Parámetros de Modelado			Criterios de Aceptación*		
			Ángulo de Rotaciones Plásticas (radianes))		Relación de Resistencia Residual	Ángulo de Rotaciones Plásticas (radianes)		
						Nivel de Desempeño		
			a	b	c	IO	LS	CP
Condición i. (Columnas con refuerzo transversal — controladas por flexión)								
P/(Ag·f'c)	ρ = Av/(bw·s)							
≤0.1	≥0.006		0.035	0.060	0.200	0.005	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006		0.010	0.010	0	0.003	0.009	0.010
≤0.1	0.002		0.027	0.034	0.200	0.005	0.027	0.034
≥0.6	0.002		0.005	0.005	0	0.002	0.004	0.005
Condición ii. (Columnas con refuerzo transversal — controlados por Flexión + corte)								
P/(Ag·f'c)	ρ = Av/(bw·s)	V/(bw·d·√f'c)						
≤0.1	≥0.006	≤3 (0.25)	0.032	0.060	0.200	0.005	0.045	0.060
≤0.1	≥0.006	≥6 (0.5)	0.025	0.060	0.200	0.005	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006	≤3 (0.25)	0.010	0.010	0	0.003	0.009	0.010
≥0.6	≥0.006	≥6 (0.5)	0.008	0.008	0	0.003	0.007	0.008
≤0.1	≤0.0005	≤3 (0.25)	0.012	0.012	0.200	0.005	0.010	0.012
≤0.1	≤0.0005	≥6 (0.5)	0.006	0.006	0.200	0.004	0.005	0.006
≥0.6	≤0.0005	≤3 (0.25)	0.004	0.004	0	0.002	0.003	0.004
≥0.6	≤0.0005	≥6 (0.5)	0	0	0	0	0	0
Condición iii. (Columnas con refuerzo transversal)								
P/(Ag·f'c)	ρ = Av/(bw·s)							
≤0.1	≥0.006		0	0.060	0	0	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006		0	0.008	0	0	0.007	0.008
≤0.1	≤0.0005		0	0.006	0	0	0.005	0.006
≥0.6	≤0.0005		0	0	0	0	0	0
Condición iv. Columnas controladas por desarrollo o empalme inadecuado a lo largo de la altura libre								
P/(Ag·f'c)	ρ = Av/(bw·s)							
≤0.1	≥0.006		0	0.060	0.400	0	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006		0	0.008	0.400	0	0.007	0.008
≤0.1	≤0.0005		0	0.006	0.200	0	0.005	0.006
≥0.6	≤0.0005		0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir del ASCE 41-13 (2013)

III Método de la investigación

3.1 Enfoque

La presente investigación es de enfoque cuantitativo, por lo que se busca conocer la realidad a través de la recolección de datos y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis; este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población (Borja, 2012).

3.2 Alcance

De acuerdo con Hernández et al. (2014), el objetivo principal de la investigación explicativa es comprender las causas subyacentes de los fenómenos, estableciendo relaciones causales entre las variables y proporcionando una explicación coherente de por qué ocurren los eventos. Bajo esta premisa, la investigación tiene un alcance explicativo por la participación de variables independientes y dependientes que buscan la explicación del problema.

En esta investigación se busca evaluar el desempeño sísmico de la edificación mediante el análisis estático no lineal empleando la carga incremental monotónica Pushover. Para ello aplicaremos las normativas FEMA 440 y ASCE 41-13 para determinar el desempeño sísmico de la estructura global como también la evaluación de elementos estructurales.

3.3 Diseño de investigación

Tiene un diseño no experimental, por la observación pasiva de fenómenos en su entorno natural, sin intervención alguna por parte del investigador. A diferencia de los estudios experimentales, en este tipo de investigación no se manipulan deliberadamente las variables independientes para analizar sus efectos sobre las variables dependientes. En un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza (Hernández et al. , 2014).

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

Nuestra Población en general es el proyecto "Mejoramiento de los servicios de formación profesional en Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho".

3.4.2 Muestra

Se analizará el bloque 2 de la especialidad de estructuras de la nueva infraestructura de la Escuela de Formación profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.5 Hipótesis

3.5.1 Hipótesis general

El desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH es inaceptable frente a diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité VISION 2000 de la SEAOC.

3.5.2 Hipótesis específicas

1. Los puntos de desempeño obtenidos mediante la normativa FEMA 440 no cumplen con los niveles de desempeño objetivo establecidos para edificaciones esenciales según los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC, frente a diferentes niveles de demanda sísmica.
2. Los puntos de desempeño obtenidos mediante el método de los coeficientes del ASCE 41-13 no cumplen con los niveles de desempeño objetivo establecidos para edificaciones esenciales según los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC, frente a diferentes niveles de demanda sísmica.
3. El método de linealización equivalente mejorado presenta una tendencia a estimar mayores desplazamientos espectrales en el punto de desempeño en comparación con el método de los coeficientes, debido a la incorporación explícita del amortiguamiento efectivo asociado a la

disipación de energía histerética, lo que puede conducir a una evaluación más conservadora del desempeño estructural ante diferentes niveles de demanda sísmica.

4. El sistema de reforzamiento propuesto mejora el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH frente a diferentes niveles de demanda sísmica conforme a los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC.

3.6 Operacionalización de variables

La operacionalización se refiere al proceso de definir cómo se medirán las variables en un estudio, especificando los procedimientos para la recolección de datos (Hernández et al. , 2014). La operacionalización de variables precisa de manera resumida los procedimientos para obtener los objetivos planteados de una investigación estableciendo la interrelación de variables acompañado de indicadores y unidades de medición tal como muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Operacionalización de variables.

	VARIABLE	INDICADOR	MEDICIÓN
Independientes:	Demanda sísmica	Espectro sísmico ($Sa\ vs\ T$)	$g\ vs\ s$
	Resistencia	Curva de capacidad ($V\ vs\ \Delta$)	$tonf\ vs\ m$
	Propiedades no lineales de los materiales	Modelos constitutivos	$kgf/cm^2\ vs\ m/m$
Dependientes:	Desempeño sísmico	Niveles de desempeño	Totalmente Operacional Operacional (IO) Seguridad de vida (LS) Prevención de colapso (CP) Colapso

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1 Variables

Una variable puede definirse como un atributo o característica que puede asumir distintos valores y que es susceptible de medición. Este concepto es aplicable a una amplia gama de elementos,

desde seres vivos hasta fenómenos naturales, que permite cuantificar y analizar las diferencias existentes entre ellos (Hernández et al. , 2014).

Variables independientes: Demanda sísmica, Resitencia, propiedades no lineales de materiales.
Variables dependientes: Desempeño sísmico.

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, se estructuró un proceso de investigación compuesto por tres fases secuenciales: recolección de información, simulación computacional y evaluación de los resultados.

- **Recolección de información.** Para esta investigación se usó la técnica de análisis documental para la recolección de datos proveniente de fuentes confiables como: Expediente técnico contractual, planos ejecutados, libros, tesis, artículos, normativas, revistas entre otros.
- **Simulación computacional.** Se realiza el modelamiento sísmico para determinar el desempeño sismorresistente de la edificación mediante el análisis estático no lineal empleando los lineamientos de las normativas FEMA 440 Y ASCE 41-13. Para dicho modelamiento se usó Etabs v22.
- **Análisis de resultados.** Se interpreta los resultados obtenidos y se realiza la contrastación de hipótesis planteadas.

3.7.2 Instrumentos

Las herramientas que facilitan la aplicación de técnicas de recolección y procesamiento de información en la presente investigación son:

-Laptop corei7 12th generación, tarjeta de video RTX 3070 8GB.
-Hojas de cálculo (Excel, mathcad prime)
-Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems (Etabs v22)
-AutoCAD v21

3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

La presente investigación usa la estadística descriptiva. La estadística descriptiva tiene como objetivo sintetizar la información contenida en un conjunto de datos, mediante técnicas de recuento, ordenación y representación gráfica las cuales simplifican la complejidad de los datos. Estos procedimientos permiten extraer conclusiones preliminares, hacer proyecciones o estimaciones a partir de los parámetros obtenidos (Johnson & Kuby, 2021).

3.9 Desarrollo del trabajo de Tesis

En este apartado de la investigación se aborda la edificación objeto de estudio. La evaluación del Bloque 2 de la nueva infraestructura de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH 2024, se realiza conforme a los criterios establecidos por el comité VISION 2000 de la SEAOC. Se detallan las consideraciones que se adoptaron, como los niveles de desempeño establecidos y niveles de desempeño objetivos para las edificaciones según su categoría ante diferentes niveles de peligro sísmico.

3.9.1 Descripción del proyecto

La nueva Infraestructura de la escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, contempla 07 bloques y obras exteriores distribuidos en un área de terreno de 13,146 m2 y cuenta un perímetro de 577.12 m. Este proyecto se encuentra en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. Uno de los bloques que constituye este proyecto es el Bloque 2 o bloque académico, este módulo es el más indicado para el objeto de estudio, pues se trata de una edificación esencial de vital importancia cuyo propósito es mantener la funcionalidad continua después de un evento sísmico con diferentes intensidades.

El Mencionado proyecto tuvo sus inicios en el 2023, lo que refleja claramente que los bloques y/o módulos del proyecto deben cumplir como mínimo los parámetros establecidos en la normativa E.030 Diseño Sismorresistente la cual establece que instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades pertenecen a la categoría A2-Edificaciones esenciales donde la normativa exige sistema dual, muros estructurales o albañilería confinada para zona sísmica 2.

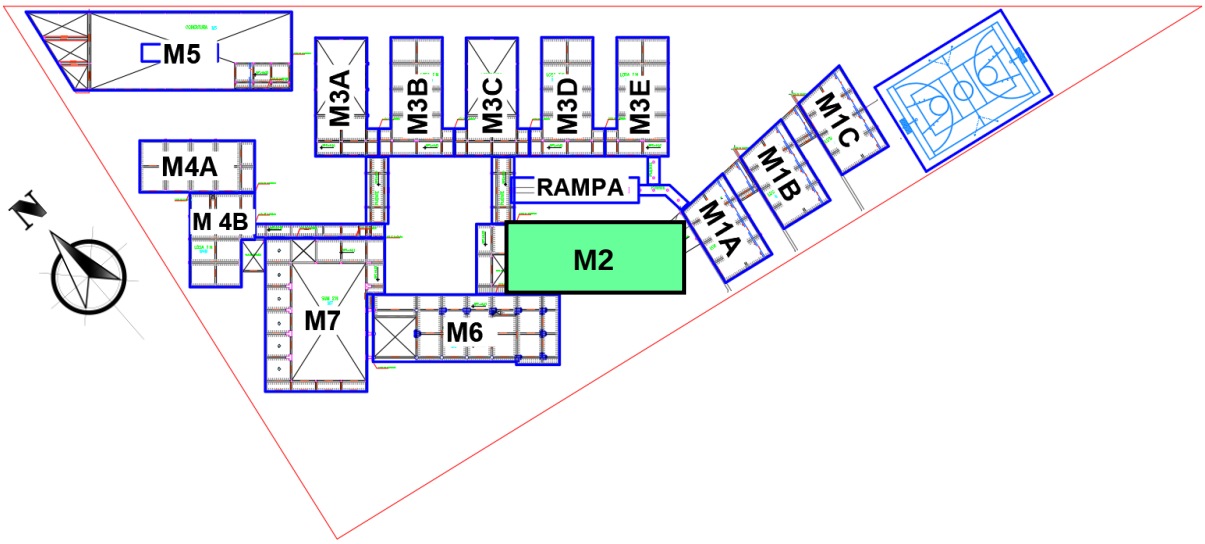
Figura 18. Planimetría general 3D de la E.F.P. de Ingeniería Agrícola.

Fuente: Extraído del Expediente Técnico del proyecto.

3.9.2 Descripción de la edificación

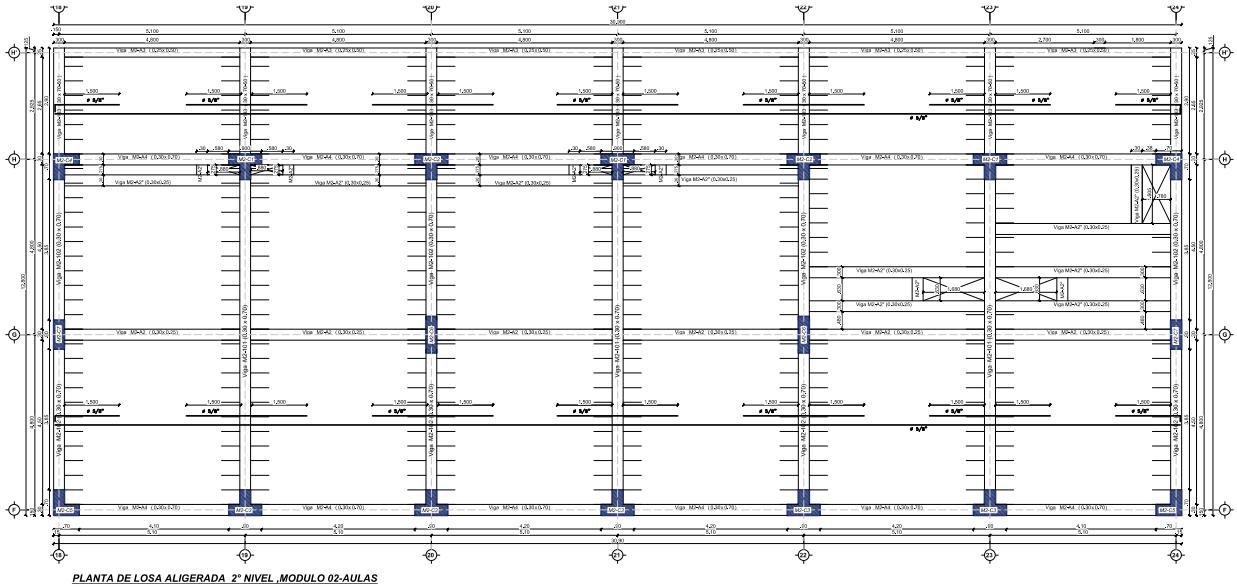
El Bloque 2 de la nueva infraestructura de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH 2024, consta de 3 niveles la cual cuenta con 4 aulas, 1 centro de cómputo, 1 laboratorio de acondicionamiento territorial con oficina incluida, depósito de materiales y SS.HH en el 1° y 2° nivel . La altura de entrepiso es de 4.08 m , 3.74 m y 3.74 m para el 1°, 2° y 3° nivel respectivamente según el expediente técnico. Está formado por un sistema aporticado con R=8 en la dirección X-X y en la dirección Y-Y.

Figura 19. Ubicación del Bloque 2



Fuente: Extraído del expediente técnico

Figura 20: Planta de Losa aligerada típica del Bloque 2.

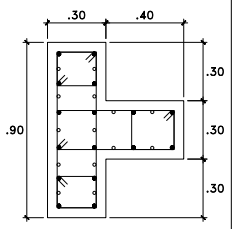
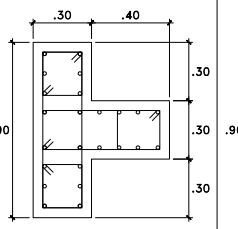
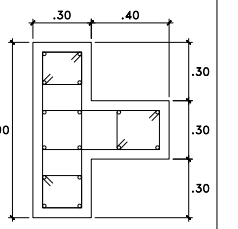
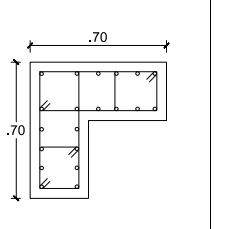


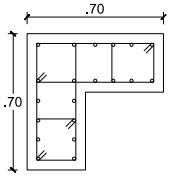
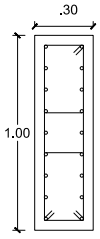
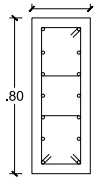
Fuente: Extraído del expediente técnico del proyecto.

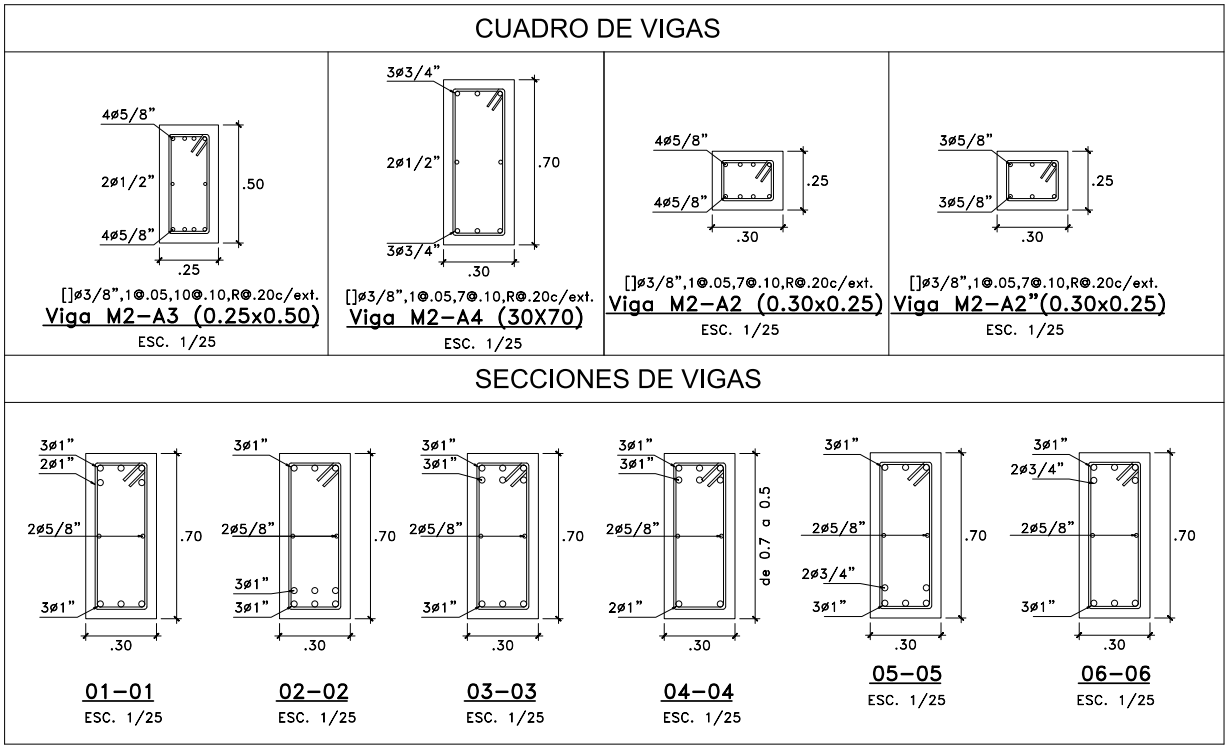
En la Figura 20 ,se detalla el plano estructural en planta de la losa aligerada típica del Bloque 2 compuesta por viguetas, vigas y columnas. El cuadro de columnas,cuadro de vigas y secciones se muestra en Figura 21. Esta información se encuentra compilado de manera completa en los anexos.

Figura 21: Cuadro de vigas y columnas

CUADRO DE COLUMNAS

SEGUNDO PISO Y TERCER PISO				
PRIMER PISO				
ESTRIBOS Ø	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	4 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
Ø ACERO	16 Ø 1"+14 Ø 3/4"	24 Ø 3/4"	16 Ø 3/4"	20 Ø 3/4"
a x b	0.30x0.90+0.30x0.40	0.30x0.90+0.30x0.40	0.30x0.90+0.30x0.40	0.30x0.70+0.30x0.40
Nro	03	02	05	02
TIPO	M2-C1	M2-C2	M2-C3	M2-C4

SEGUNDO PISO Y TERCER PISO			
PRIMER PISO			
ESTRIBOS Ø	4 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	3 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	3 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
Ø ACERO	20 Ø 5/8"	18 Ø 5/8"	14 Ø 5/8"
a x b	0.30x0.70+0.30x0.40	0.30x1.00	0.30x0.80
Nro	02	02	02
TIPO	M2-C5	M2-C6	M2-C7



Fuente: Extraído del Expediente Técnico del proyecto.

Los elementos que conforman los pórticos son columnas rectangulares de 30cmx100cm y 30cmx80cm; columnas en ''T'' de 90cmx70cm con espesor de 30 cm; columnas en ''L'' de 70cmx70cm con espesor de 30 cm. Las vigas principales constan de 30cmx70cm, vigas acarteladas de 30cmx70cm-50cm, vigas secundarias de 30cmx70cm, vigas chatas de 30cmx25cm, vigas de borde de 25cmx50cm. El sistema estructural consta de losas aligeradas de 25 cm de espesor en todos los niveles. La carga muerta está compuesta por el peso propio de los elementos estructurales y acabados (120 kgf/m^2). Además, se considerará las cargas vivas de acuerdo a la norma E.020 Cargas que se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Cargas vivas mínimas repartidas.

USO	**Carga Viva**
Sala de cómputo	250 kgf/m^2
Aulas	250 kgf/m^2
Laboratorios	300 kgf/m^2
Escaleras y corredores	400 kgf/m^2
Almacenaje	500 kgf/m^2
Carga viva de techo	100 kgf/m^2

Fuente: Adaptado de MVCS (2006). *Norma técnica* E.020-*Cargas del RNE.*

La cimentación es en base a zapatas de peralte 60 cm conectadas con vigas de cimentación principales de 50cmx120cm y 50cmx60cm para vigas de cimentación secundarias. Según el estudio de mecánica de suelos nos indica un suelo intermedio (S2).

3.9.3 Modelo elástico

Para poder entender el comportamiento no lineal de la edificación y la evaluación del desempeño sísmico, es necesario realizar el análisis dinámico lineal o modal espectral según lo estipulado en la norma E.030 de Diseño sismorresistente.

3.9.3.1 Consideraciones de diseño

Materiales: se contempla el acero de refuerzo corrugado grado 60 y concreto armado.

Tabla 25. Materiales para el análisis elástico

Propiedades de Materiales	**Valor**
Es: Módulo de elasticidad del acero	$2.1 \times 10^6\ kgf/cm^2$
fy: Esfuerzo de fluencia del acero	$4200\ kgf/cm^2$
Ec: Módulo de elasticidad del concreto	$15000\sqrt{f'c}\ \ kgf/cm^2$
f'c: Resistencia del concreto a compresión	$210\ kgf/cm^2$
$\boldsymbol{\mu}$**:** Módulo de poisson	0.2

Fuente: Elaboración propia

Factores de reducción: la resistencia de diseño se obtiene multiplicando la resistencia nominal de los elementos estructurales con los factores de reducción de la Tabla 26 a continuación:

Tabla 26: Factores de reducción de resistencia nominal.

Solicitación	**Factor de reducción φ**
Flexión sin carga axial	0.9
Tracción con o sin flexión	0.9
Cortante	0.85
Torsión	0.85
Compresión con o sin flexión	
Elementos con espirales	0.75
Elementos con estribos	0.70

Fuente: Adaptado de MVCS (2009). *Norma técnica E.060-Concreto armado del RNE.*

Combinaciones de carga:

Se implementará combinaciones de carga según lo estipulado en la norma técnica E.060-Concreto armado del RNE, tal como se muestra a continuación:

Combinación 1: 1.4CM + 1.7CV

Combinación 2: 1.25(CM+CV) + SDx

Combinación 3: 1.25(CM+CV) - SDx

Combinación 4: 1.25(CM+CV) + SDy

Combinación 5: 1.25(CM+CV) - SDy

Combinación 6: 0.9CM + SDx

Combinación 7: 0.9CM – SDx

Combinación 8: 0.9CM + SDy

Combinación 9: 0.9CM – SDy

Combinación 10: Envolvente

3.9.3.2 Análisis sísmico

Los parámetros para obtener el espectro sísmico en la dirección X-X , Y-Y se presentan en la Tabla 27 ; el factor de amplificación sísmica se detalla en la Tabla 28.

Tabla 27: Factores para el diagrama del espectro de aceleraciones.

Parámetros		
Descripción	Dirección X-X	Dirección Y-Y
Parámetro de sitio (Z) (Zona 2)	0.25	0.25
Factor de uso (U) (Edificación esencial A2)	1.5	1.5
Factor de suelo (S) (Suelo intermedio)	1.2	1.2
Periodo de acuerdo al tipo de suelo (Tp)	0.6	0.6
Periodo de acuerdo al tipo de suelo (Tl)	2	2
Coef. básico de reducción de fuerzas sísmicas (Ro)	8	8
Factor de irregularidad en altura (Ia)	1	1
Factor de irregularidad en planta (Ip)	1	0.75
Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)	7.2	5.4
Aceleración de la gravedad (g)	1	1

Fuente: Elaboración propia

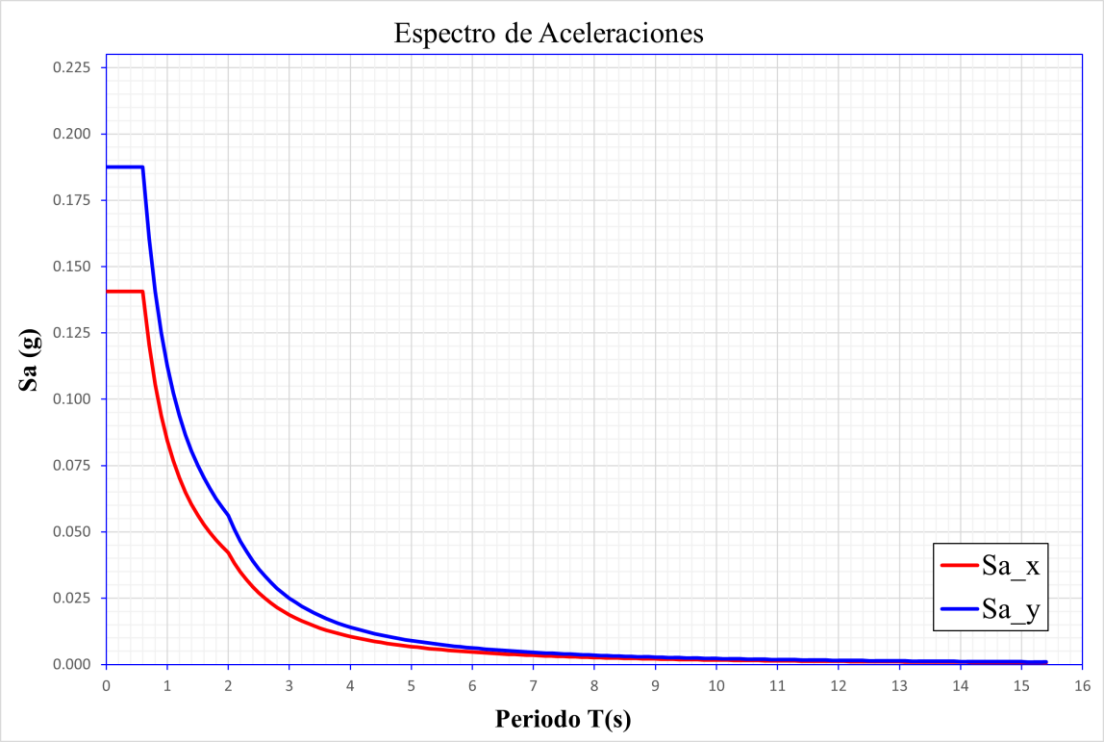
Factor de amplificación sísmica C. Establece lo siguiente:

Tabla 28: Factor de amplificación sísmica

$\boldsymbol{T < T_p}$	$C = 2.5$
$\boldsymbol{T_p < T < T_l}$	$C = 2.5\left(\frac{T_p}{T}\right)$
$\boldsymbol{T > T_p}$	$C = 2.5\left(\frac{T_p \times T_p}{T^2}\right)$

Fuente: Adaptado del MVCS (2018). *Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE.*

Figura 22: Espectro de aceleraciones Sax, Say.



Fuente: Elaboración propia

El espectro de aceleraciones esta dado por la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g \tag{3.1}$$

En la Tabla 29 se observa el factor C, Sax, Say de acuerdo al periodo.

Tabla 29: Factor C y Aceleración espectral según el Periodo.

T (s)	C	Sax (g)	Say (g)
0	2.500	0.1406	0.1875
0.1	2.500	0.1406	0.1875
0.2	2.500	0.1406	0.1875
0.3	2.500	0.1406	0.1875
0.4	2.500	0.1406	0.1875
0.5	2.500	0.1406	0.1875
0.6	2.500	0.1406	0.1875
0.7	2.143	0.1205	0.1607
0.8	1.875	0.1055	0.1406
0.9	1.667	0.0938	0.1250
1	1.500	0.0844	0.1125
1.2	1.250	0.0703	0.0938
1.4	1.071	0.0603	0.0804
1.6	0.938	0.0527	0.0703
1.8	0.833	0.0469	0.0625
2	0.750	0.0422	0.0563
2.5	0.480	0.0270	0.0360
3	0.333	0.0188	0.0250

T (s)	C	Sax (g)	Say (g)
3.5	0.245	0.0138	0.0184
4	0.188	0.0105	0.0141
5	0.120	0.0068	0.0090
8	0.047	0.0026	0.0035
11	0.025	0.0014	0.0019
15	0.013	0.0008	0.0010

Fuente: Elaboración propia

Modos de vibración: Los modos de vibración representan las formas propias de oscilación del sistema estructural, asociadas a sus correspondientes frecuencias naturales y factores de participación modal de masa. Estos modos describen la respuesta dinámica de la edificación ante solicitaciones sísmicas.

Se usará una configuración de 3 grados de libertad por cada nivel : 2 grados de libertad (traslacionales-ortogonales) y uno rotacional alrededor del eje vertical, lo cual permite capturar adecuadamente los efectos de traslación y torsión de la estructura.

De acuerdo con los lineamientos de la Norma E.030, se han considerado suficientes modos de vibración hasta alcanzar una participación de masa acumulada no menor al 90% en cada dirección principal. En este estudio, dicho criterio se cumple con la consideración de los primeros nueve modos de vibración, cuyos parámetros dinámicos se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30: Modos de vibración y factores de participación de masa modal.

Mode	Period (sec)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.578	0.0376	0.7393	0.1427	0.0376	0.7393	0.1427
2	0.525	0.7353	0.1079	0.1005	0.7729	0.8472	0.2432
3	0.469	0.1691	0.0786	0.6921	0.942	0.9257	0.9353
4	0.166	0.0055	0.0473	0.004	0.9475	0.973	0.9392
5	0.156	0.0386	0.0137	0.0071	0.9861	0.9867	0.9464
6	0.137	0.0085	0.0051	0.0468	0.9946	0.9918	0.9932
7	0.085	0.0024	0.0027	0.0005	0.9971	0.9945	0.9937
8	0.082	0.0025	0.0044	0.0002	0.9995	0.9989	0.9939
9	0.072	0.0005	0.0011	0.0061	1	1	1

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

En la Tabla 30 se puede observar el modo fundamental en la dirección Y, con el 73.93 % de masa participativa modal y con un periodo fundamental de T=0.578 s, el 2do modo es en la dirección X, con el 73.53 % de masa participativa modal y con un periodo T=0.525 s.

Fuerza cortante mínima: De acuerdo con la Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, la fuerza cortante Dinámica en el primer entrepiso no debe ser menor que el 80% de la fuerza cortante Estática en edificaciones regulares y no menor que el 90% en edificaciones irregulares, si es así se debe escalar la fuerza cortante dinámica al menos al 80% y 90% en edificaciones regulares e irregulares respectivamente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En la Tabla 31 y Tabla 32 se muestra la fuerza cortante estática y fuerza cortante dinámica en la dirección X e Y para el primer entrepiso, del cual podemos concluir que no necesitamos escalar el sismo dinámico.

Tabla 31: Fuerza cortante mínima en X.

Output Case	Case Type	FX (tonf)	FY(tonf)	SDx/Sex>0.8	Cumple
SEx	LinStatic	-118.2992	0	1.321	Si
SDx	LinRespSpec	156.2413	33.1584		

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

Tabla 32: Fuerza cortante mínima en Y.

Output Case	Case Type	FX(tonf)	FY(tonf)	SDy/Sey>0.9	Cumple
SEy	LinStatic	1.29E-05	-157.7602	1.283	Si
SDy	LinRespSpec	44.2112	202.3591		

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

Irregularidades en altura:

- ***Irregularidad de rigidez o piso blando***

  La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, indica que una estructura es irregular si la rigidez lateral de un entrepiso es menor al 70% de la rigidez lateral del entrepiso superior o menor que el 80% de la rigidez lateral promedio de los 3 niveles superiores adyacentes (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). Los resultados se verifican en la Tabla 33 y Tabla 34, del cual podemos concluir que no hay irregularidad de rigidez en las direcciones X, Y respectivamente; y por lo tanto el valor de $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

Tabla 33: Verificación de Irregularidad de rigidez o piso blando en dirección X.

Nivel	$V_{piso}(tonf)$	$\Delta_d(m)$	$\Delta_{d-rel}\ (m)$	K_i(tonf/m)	$0.7K_{i+1}$ (tonf/m)	$K_i < 0.7K_{i+1}$, ¿Cumple?
Story3	51.7756	0.010195	0.00175	29586.0571	0	-
Story2	114.2949	0.008445	0.003063	37314.6915	20710.24	NO
Story1	156.2342	0.005382	0.005382	29029.0227	26120.284	NO

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

Tabla 34: Verificación de Irregularidad de rigidez o piso blando en dirección Y.

Nivel	V_{piso}(tonf)	$\Delta_d(m)$	Δ_{d-rel} (m)	K_i(tonf/m)	$0.7K_{i+1}$ (tonf/m)	$K_i < 0.7K_{i+1}$, ¿Cumple?
Story3	68.7607	0.016001	0.002464	27906.1282	0	-
Story2	149.8352	0.013537	0.005321	28159.2182	19534.2898	NO
Story1	202.3505	0.008216	0.008216	24628.834	19711.4527	NO

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

Como la edificación es de 3 niveles, la verificación del 80% de la rigidez lateral promedio de los 3 niveles superiores al 1er entrepiso no es posible, por lo que no se hará esta verificación.

- **Irregularidad de resistencia o piso débil.**

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, refiere que una estructura es irregular si la fuerza cortante de un entrepiso es menor al 80% de la fuerza cortante del entrepiso inmediato superior (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En la Tabla 35 se puede observar que No existe irregularidad de resistencia, de manera que $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

Tabla 35: Verificación de irregularidad de resistencia o piso débil en dirección X,Y.

Dirección	Piso	V_i(tonf)	$0.8V_{i+1}$(tonf)	$V_i < 0.8V_{i+1}$, ¿Cumple?
X	Story3	51.7756	0	-
	Story2	114.2949	41.42048	NO
	Story1	156.2342	91.43592	NO
Y	Story3	68.7607	0	-
	Story2	149.8352	55.00856	NO
	Story1	202.3505	119.86816	NO

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

- ***Irregularidad extrema de rigidez.***

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, indica que una estructura es irregular si la rigidez lateral de un entrepiso es menor al 60% de la rigidez lateral del entrepiso superior o menor que el 70% de la rigidez lateral promedio de los 3 niveles superiores adyacentes (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019).Dado que no existe irregularidad de rigidez, se concluye que no existe irregularidad extrema de rigidez, entonces $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

- ***Irregularidad extrema de resistencia.***

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, menciona que una estructura es irregular si la fuerza cortante de un entrepiso es menor al 65% de la cortante del entrepiso inmediato superior (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). Puesto que no existe irregularidad de resistencia, se concluye que no existe irregularidad extrema de resistencia, entonces $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

- ***Irregularidad de masa o peso.***

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, señala que una estructura es irregular si el peso de un piso es mayor que 1.5 veces el peso del piso adyacente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En la Tabla 36 se puede distinguir que el peso del 2do piso es mayor a 1.5 veces el peso de la azotea, sin embargo, la norma indica que no se aplica en azoteas ni en sótanos, debido a esto, los valores de $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

Tabla 36: Verificación de irregularidad de masa o peso.

Dirección	Piso	P_i (tonf $-$ s^2/m)	$1.5P_{i+1}$ (tonf $-$ s^2/m)	$P_i > 1.5P_{i+1}$, ¿Cumple?
X,Y	Story3	34.1871	-	-
	Story2	51.6106	51.28065	SI
	Story1	53.33383	77.4159	NO

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

- ***Irregularidad geométrica vertical.***

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, menciona que una estructura es irregular si la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1.3 veces la dimensión del piso superior o adyacente, pero no se aplica en azoteas ni en sótanos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). Se puede observar en nuestra edificación, que las dimensiones de la losa no sufren reducciones considerables en los pisos superiores, por lo que $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

- ***Discontinuidad de sistemas resistentes.***

La Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente del RNE, indica que una estructura es irregular cuando la fuerza cortante que resisten los elementos estructurales es mayor al 10% de la fuerza cortante total y además presentan desalineamiento del eje mayor a 25% de la dimensión del elemento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En este caso no hay irregularidad por lo tanto $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

- ***Discontinuidad extrema de sistemas resistentes.***

La Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente del RNE, señala que una estructura es irregular cuando la fuerza cortante que resisten los elementos estructurales es mayor al 25% de la fuerza cortante total y además presentan desalineamiento del eje mayor a 25% de la dimensión del elemento (MVCS,2019). Las vigas y columnas no presentan discontinuidad por lo que corresponde $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$.

Según la Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente del RNE, se debe escoger el menor valor de las irregularidades en altura: $I_{ax} = 1.00$ e $I_{ay} = 1.00$

Irregularidades en Planta:

- ***Irregularidad torsional.***

Para cumplir la irregularidad torsional debe cumplir 2 condiciones en simultáneo. La 1ra condición indica que el máximo desplazamiento relativo de un entrepiso en el extremo es mayor que 1.3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos. Además, debe cumplir con la 2da condición: el máximo desplazamiento relativo de un extremo de entrepiso(deriva) debe ser mayor al 50% del desplazamiento máximo permisible. En la presente investigación se cuenta con una deriva máxima de 0.007 para edificaciones de concreto armado según la Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente del RNE.

Tabla 37: 1ra condición de irregularidad torsional, desplazamiento promedio relativo.

Dirección	Piso	Δ_{max-r}	Δ_{prom-r}	$1.3\Delta_{prom-r}$	$\Delta_{max-r} > 1.3\Delta_{prom-r}$ ¿Cumple?
X	Story3	0.001788	0.001649	0.00214	NO
	Story2	0.002944	0.002918	0.00379	NO
	Story1	0.006222	0.005691	0.00740	NO
Y	Story3	0.004228	0.003556	0.004623	NO
	Story2	0.007704	0.006288	0.008174	NO
	Story1	0.013851	0.010244	0.013317	SI

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

Tabla 38: 2da condición de irregularidad torsional, derivas.

Dirección	Piso	D_{max}	$50\%D_{perm}$	$D_{max} > 50\%D_{perm}$ ¿Cumple?
X	Story3	0.0034952	0.0035	NO
	Story2	0.0064192	0.0035	SI
	Story1	0.006596	0.0035	SI
Y	Story3	0.0057222	0.0035	SI
	Story2	0.0103632	0.0035	SI

	Story1	0.0116331	0.0035	SI

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

De la Tabla 37 y Tabla 38, podemos concluir que : $I_{px} = 1.00$ e $I_{py} = 0.75$.

- ***Irregularidad torsional extrema.***

Para cumplir la irregularidad torsional extrema debe cumplir 2 condiciones en simultáneo. La 1ra condición indica que el máximo desplazamiento relativo de un entrepiso en el extremo es mayor que 1.5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos. En la Tabla 39 se puede observar que no cumple la 1ra condición para existencia de irregularidad torsional extrema, puesto que la 1ra condición no cumple, los valores de $I_{px} = 1.00$ e $I_{py} = 1.00$.

Tabla 39: Verificación de irregularidad torsional extrema.

Dirección	Piso	Δ_{max-r}	Δ_{prom-r}	$1.5\Delta_{prom-r}$	$\Delta_{max-r} > 1.5\Delta_{prom-r}$ ¿Cumple?
X	Story3	0.001788	0.001649	0.00247	NO
	Story2	0.002944	0.002918	0.00438	NO
	Story1	0.006222	0.005691	0.00854	NO
Y	Story3	0.004228	0.003556	0.00533	NO
	Story2	0.007704	0.006288	0.00943	NO
	Story1	0.013851	0.010244	0.01537	NO

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

- ***Irregularidad esquinas entrantes***

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, menciona que una estructura es irregular cuando existe esquinas entrantes que son mayores al 20% de la dimensión total en planta en cada dirección (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). La edificación en estudio no cuenta con esquinas entrantes por lo que $I_{px} = 1.00$ e $I_{py} = 1.00$.

- ***Irregularidad de discontinuidad del diafragma***

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, indica que una estructura es irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o varían de rigidez incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En la presenta investigación, la edificación no presenta irregularidad por esquinas entrantes y por lo tanto $I_{px} = 1.00$ e $I_{py} = 1.00$.

- ***Irregularidad de sistemas no paralelos.***

La Norma técnica E.030-Diseño sismorresistente del RNE, señala que una estructura es irregular cuando los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos entre sí (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En la presente investigación, todos los elementos resistentes son paralelos, por lo que corresponde $I_{px} = 1.00$ e $I_{py} = 1.00$.

- ***Resumen de Irregularidades***

Según la Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente del RNE, se debe escoger el menor valor de las irregularidades en altura y planta: $I_{ax} = 1.00$, $I_{ay} = 1.00$, $I_{px} = 1.00$, $I_{py} = 0.75$.

Verificación de Derivas:

En concordancia con la Norma técnica E.030 de Diseño sismorresistente del RNE, establece que para estructurales regulares e irregulares los desplazamientos laterales calculados en el análisis elástico se calculan multiplicando por 0.75R y 0.85R respectivamente como muestra la Tabla 40.

Tabla 40: Verificación de derivas.

Direc.	Piso	D_e	$D_i = D_e(0.75R)$	D_{perm}	$D_i < D_{perm}$ ¿Cumple?
X	Story3	0.000514	0.003084	0.0007	SI
	Story2	0.000944	0.005664	0.0007	SI
	Story1	0.00097	0.00582	0.0007	SI
Direc.	Piso	D_e	$D_i = D_e(0.85R)$	D_{perm}	$D_i < D_{perm}$ ¿Cumple?
Y	Story3	0.001122	0.0057222	0.0007	SI
	Story2	0.002032	0.0103632	0.0007	NO
	Story1	0.002281	0.0116331	0.0007	NO

Fuente: Adaptado de Etabs v22.

De este modo, se concluye que las derivas en la dirección X cumple satisfactoriamente con lo establecido en la norma; sin embargo se observa que en la dirección Y presenta derivas muy por encima del límite máximo permitido por la norma E.030. Se realizará un análisis más riguroso en la dirección X e Y para determinar el desempeño real de la edificación.

3.9.4 Modelo inelástico

Para poder realizar el modelo y evaluar el comportamiento en el rango inelástico, es necesario definir adecuadamente las propiedades no lineales de los materiales como el acero de refuerzo y concreto, es decir la gráfica esfuerzo deformación para lo cual existen modelos o leyes constitutivos.

3.9.4.1 Configuración de modelo constitutivo del acero de refuerzo.

Para representar la curva esfuerzo deformación del acero de refuerzo, se emplean modelos constitutivos tales como :

- Modelo elastoplástico perfecto.
- Modelo Trilineal.
- Modelo elastoplástico con endurecimiento curvo.

En la presente investigación se adoptará el modelo elastoplástico con endurecimiento curvo. Este modelo constitutivo fue desarrollado por Park y Paulay (1975), que considera 3 comportamientos del acero: zona elástica, una meseta en la zona de fluencia y una zona de endurecimiento representada por una parábola tal como se mostró en la Figura 13 de la sección 2.2.5.2 . En la Tabla 41 se muestran los parámetros para obtener el diagrama esfuerzo vs deformación del acero. Estos valores corresponden a rangos típicos de ensayos para acero dúctil conforme a la norma ASTM A615, luego se procede a insertar los datos en Etabs v22 como muestra la Figura 23.

Tabla 41: Parámetros para Diagrama esfuerzo vs deformación del acero.

Parámetros	**Valor**
Es: Módulo de elasticidad del acero	$2.1 \times 10^6\ kgf/cm^2$
fy: Esfuerzo de fluencia del acero	$4200\ kgf/cm^2$
Fu: Esfuerzo ultimo	$6300\ kgf/cm^2$
ε_s: deformación de fluencia del acero	0.002
ε_{sh}: inicio de endurecimiento	0.008
ε_{su}: Deformación última	0.1

Fuente: Adaptado de ASTM A615

Con los parámetros antes mencionados se procede a calcular f_s , de esta forma se obtiene:

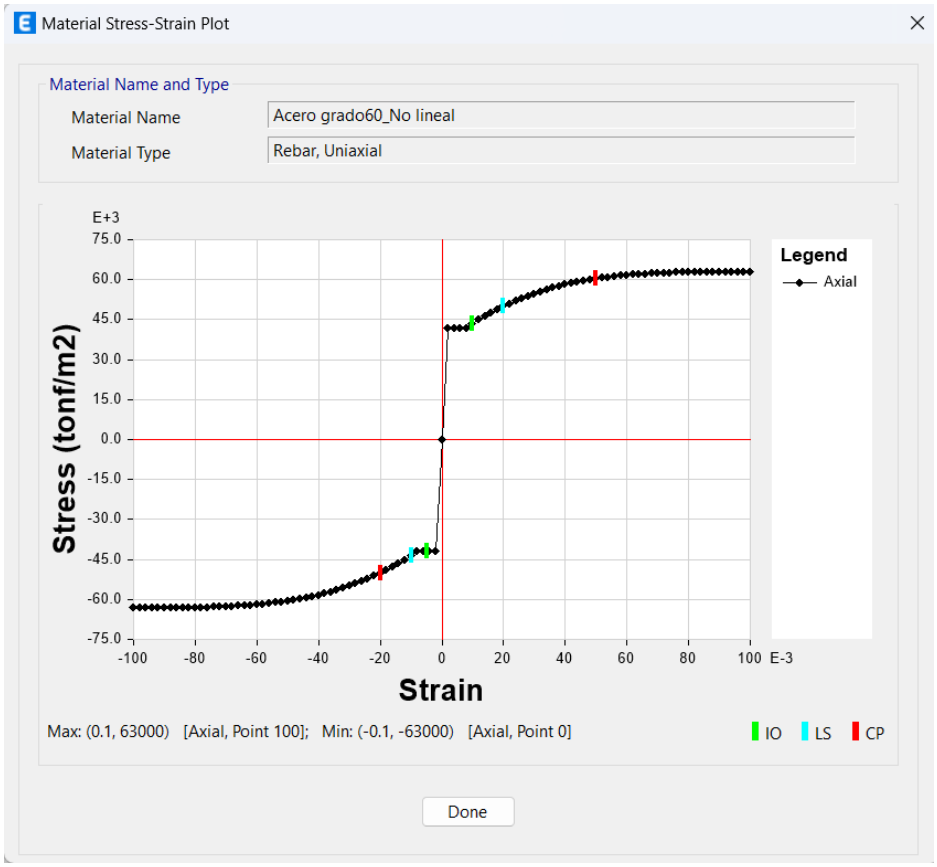
Tabla 42: Valores para diagrama esfuerzo deformación del acero.

ε_s	f_s	ε_s	f_s
0.000	0.00	0.000	0.00
0.004	4200.00	-0.004	-4200.00
0.008	4200.00	-0.008	-4200.00
0.012	4500.49	-0.012	-4500.49
0.016	4769.03	-0.016	-4769.03
0.020	5007.72	-0.020	-5007.72
0.024	5218.65	-0.024	-5218.65
0.028	5403.82	-0.028	-5403.82
0.032	5565.22	-0.032	-5565.22
0.036	5704.76	-0.036	-5704.76
0.040	5824.32	-0.040	-5824.32

0.044	5925.70	-0.044	-5925.70
0.048	6010.65	-0.048	-6010.65
0.052	6080.89	-0.052	-6080.89
0.056	6138.05	-0.056	-6138.05
0.060	6183.70	-0.060	-6183.70
0.064	6219.35	-0.064	-6219.35
0.068	6246.43	-0.068	-6246.43
0.072	6266.31	-0.072	-6266.31
0.076	6280.28	-0.076	-6280.28
0.080	6289.53	-0.080	-6289.53
0.084	6295.18	-0.084	-6295.18
0.088	6298.23	-0.088	-6298.23
0.092	6299.57	-0.092	-6299.57
0.096	6299.96	-0.096	-6299.96
0.100	6300.00	-0.100	-6300.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23: Propiedades no lineales del acero en Etabs v22.

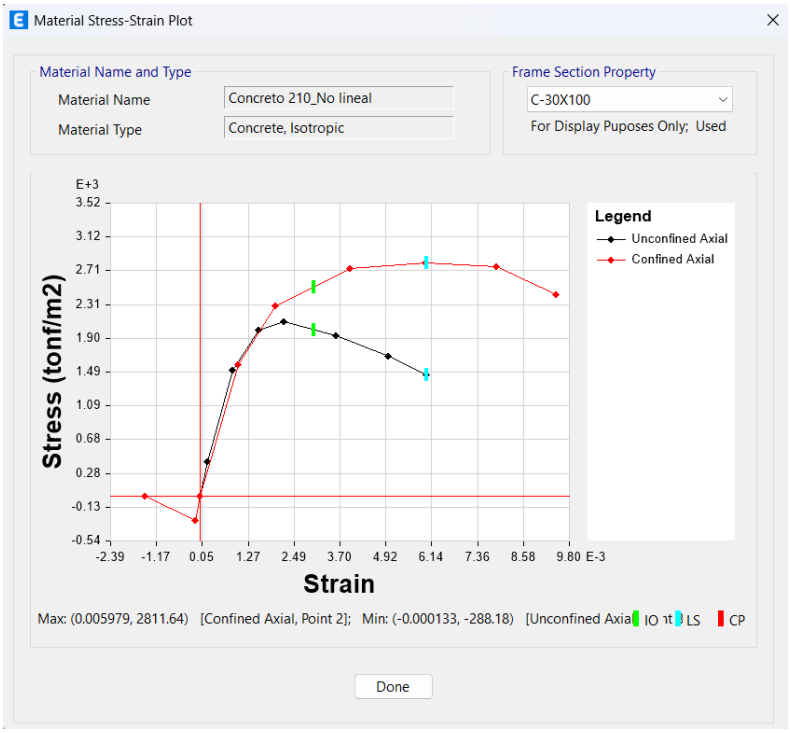


Fuente: Extraído de Etabs v22.

3.9.4.2 Configuración del modelo constitutivo del concreto

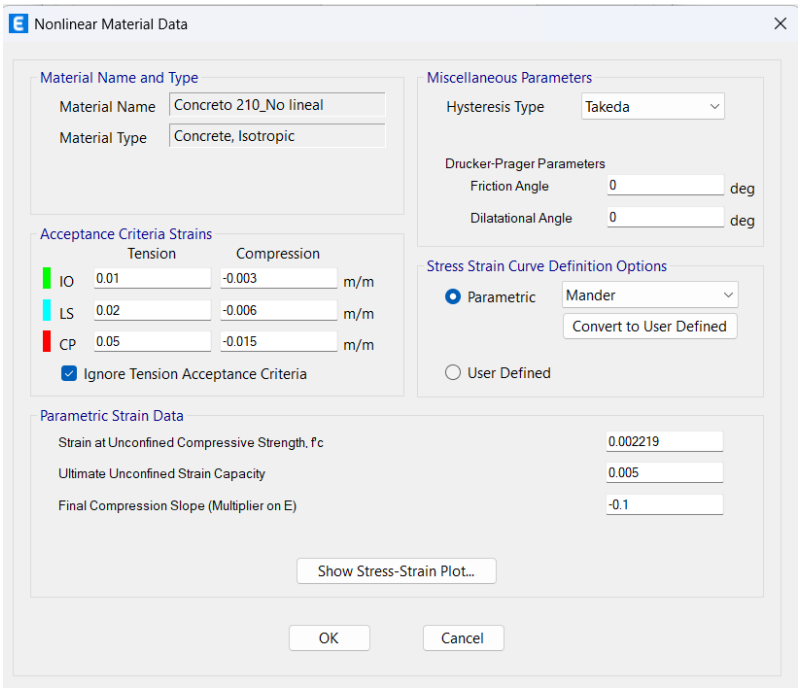
La presente investigación adopta el modelo constitutivo propuesto por Mander et al. (1988), que considera el concreto confinado y no confinado, tal como se mostró en la sección 2.2.5.1. De esta forma se configuró en Etabs v22 tal como se muestra en la Figura 24 y Figura 25.

Figura 24: Diagrama esfuerzo deformación de Concreto confinado y no confinado en Etabs v22.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 25: Configuración no lineal de concreto.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

3.9.4.3 Rigidez efectiva

En el análisis no lineal de estructuras, se debe considerar los efectos de agrietamiento en los elementos estructurales para lo cual se debe adoptar factores de reducción en la inercia y en el

área de la sección de los elementos estructurales. Para la presente investigación se optará factores de reducción del ASCE 41-13 (2013) , estos factores de rigidez efectiva tanto en flexión como en corte se muestran en la Tabla 43, cuyos valores se ingresarán en el programa Etabs v22 para obtener de manera confiable los desplazamientos y fuerzas internas.

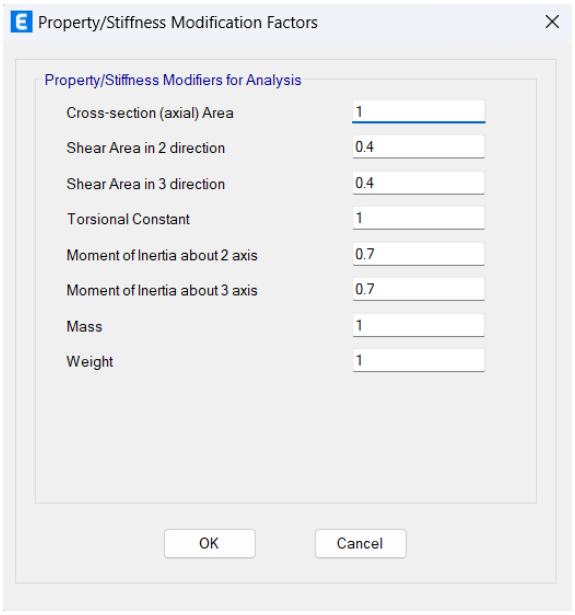
Tabla 43. Valores de rigidez efectiva.

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial rigidity
Beams-nonprestressed	$0.3E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_W$	-
Beams-prestressed	$E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_W$	-
Columns with compression caused by design gravity loads $\geq 0.5A_g f'_{cE}$	$0.7E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_W$	$E_{cE}A_g$
Columns with compression caused by design gravity loads $\leq 0.1A_g f'_{cE}$ or with tension	$0.3E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_W$	$E_{cE}A_g$ *(compression)* $E_{sE}A_s$ *(tension)*

Fuente: Adaptado de ASCE 41-13 (2013). *Seismic evaluation and retrofit of existing Buildings.*

De la Tabla 43 , se puede adoptar $0.7E_{cE}I_g$ para flexión y $0.4E_{cE}A_W$ para cortante en columnas; de esta forma se ingresan los factores de reducción a Etabs v22 tal como se muestra en la Figura 26. Sin embargo para la presente investigación no se configuró factores de reducción en la rigidez flexional y rigidez a cortante debido a que las columnas fueron modeladas con plasticidad distribuida tipo fibra.

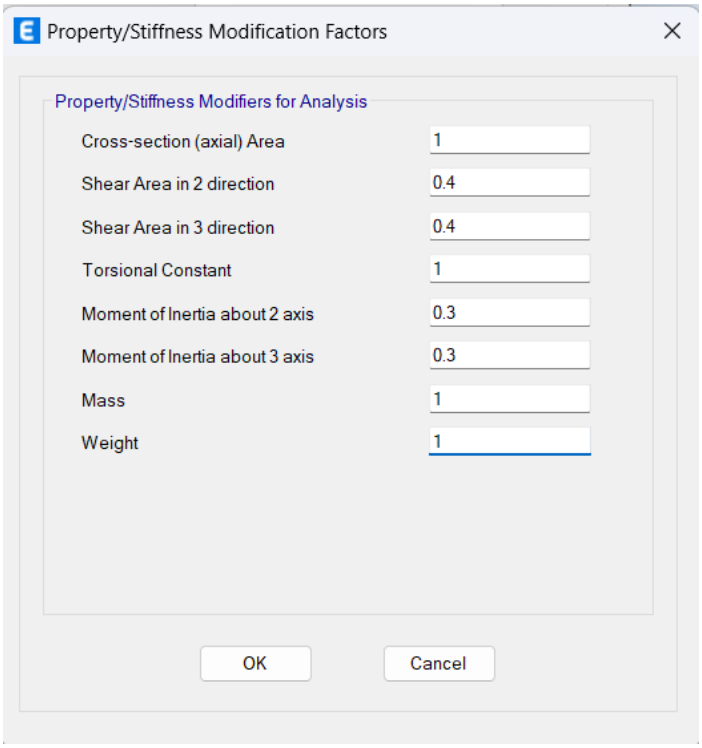
Figura 26: Rigidez efectiva en columnas.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

De la Tabla 43 , se adoptó $0.3E_{cE}I_g$ para flexión y $0.4E_{cE}A_W$ para cortante en vigas, tal como se muestra en la Figura 27.

Figura 27: Rigidez efectiva en vigas



Fuente: Extraído de Etabs v22.

3.9.4.4 Patrón de cargas laterales

El método del Pushover implica simular el colapso de una estructura previamente diseñada y con detalles de refuerzo conocidos. Esto se lleva a cabo aplicando gradualmente un patrón de cargas laterales en una dirección constante, y bajo cargas gravitacionales constantes, hasta que la edificación falla o se alcanza un límite de carga predefinido. El patrón de cargas laterales se incrementa de forma monotónica, mostrando la secuencia de agrietamiento, cedencia, falla, estados límites de servicio y el historial de deformación y cortantes plasmadas en la curva de capacidad (Fuentes, 2018).

Según FEMA (356) existen diferentes formas para asignar patrones de carga lateral, las más usadas son:

Caso a: Una distribución vertical de carga, proporcional a los valores de Cvx (factor de distribución de cargas). El uso de esta distribución es válido cuando la masa participativa en el modo fundamental es mayor a 75%.

$$C_{vx} = \frac{w_x (h_x)^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} \tag{3.2}$$

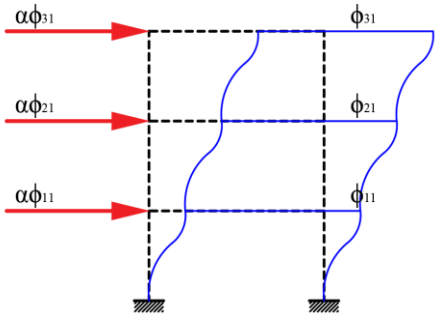
Caso b: Una distribución vertical de carga, proporcional a la forma del modo fundamental de vibración en la dirección bajo consideración. Es válido cuando la masa participativa en el modo fundamental es mayor a 75%.

Caso c: Una distribución vertical de carga, proporcional a la distribución de fuerzas de piso, calculadas al combinar respuestas modales de un análisis espectral del edificio, incluyendo suficientes modos que sumen al menos el 90% de la masa total del edificio. Deber ser utilizada cuando el periodo fundamental es mayor a 1 segundo ($T \geq 1\ seg$).

Caso d: Una distribución uniforme que consiste en fuerzas laterales en cada nivel proporcional a la masa total en cada nivel.

Para la presente investigación se usará el patrón de carga lateral del caso b, proporcional a la forma del modo fundamental. Lo cual indica que es válido cuando el modo fundamental tiene una masa participativa mayor al 75% , en este caso la masa participativa es del 79.44% .

Figura 28: Distribución de carga vertical proporcional al modo fundamental.



Fuente: Adaptado de FEMA 356 (2000).

Los desplazamientos máximos por piso según el modo fundamental se presentan en la Tabla 44. El patrón de carga elegido para el Pushover en dirección X y en dirección Y es de acuerdo a los desplazamientos ocasionados por el modo fundamental que tiene mayor participación en la dirección “Y”. El patrón de carga lateral se aplica de tal forma que la fuerza en el 3er nivel sea F=1 tonf para el desplazamiento respectivo del 3er nivel de acuerdo con el modo fundamental, de esta forma resultan fuerzas en el 2do y 3er nivel para el Pushover en X e Y tal como se muestra en la Tabla 44 . En la Figura 30 y Figura 31 se aprecia el ingreso de datos para patrón de

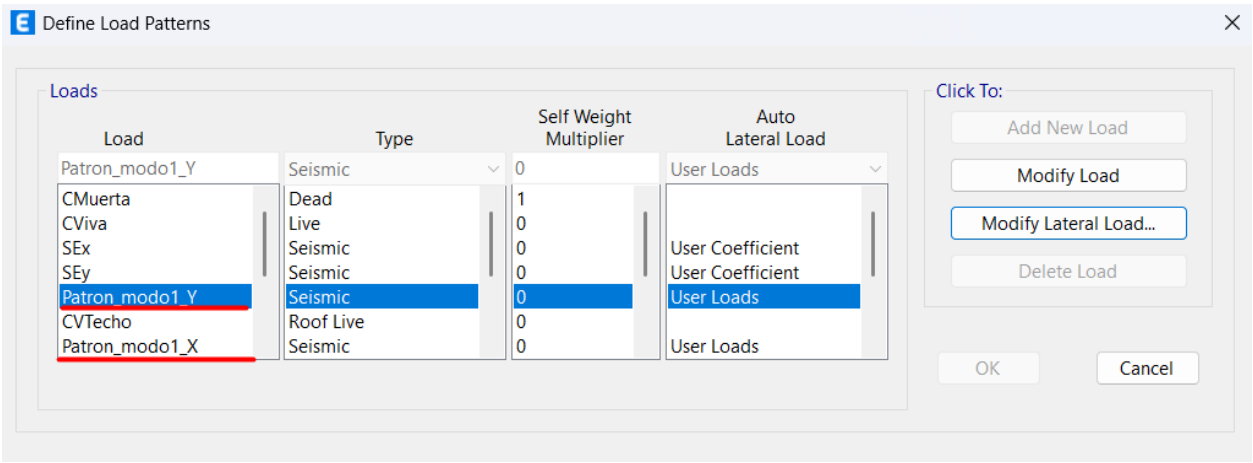
cargas en dirección X e Y en la definición de Load Patterns dentro del software Etabs v22.

Tabla 44 : Patrón de cargas proporcional a desplazamientos máximos por modo fundamental.

Piso	Elevación (m)	X_Dir (mm)	Y_Dir (mm)	Patrón de carga en X (kgf)	Patrón de carga en Y (kgf)
Story3	13.68	0.01	0.052	1000	1000
Story2	9.88	0.008	0.04	800.0000	769.230769
Story1	6.08	0.005	0.023	500	442.307692

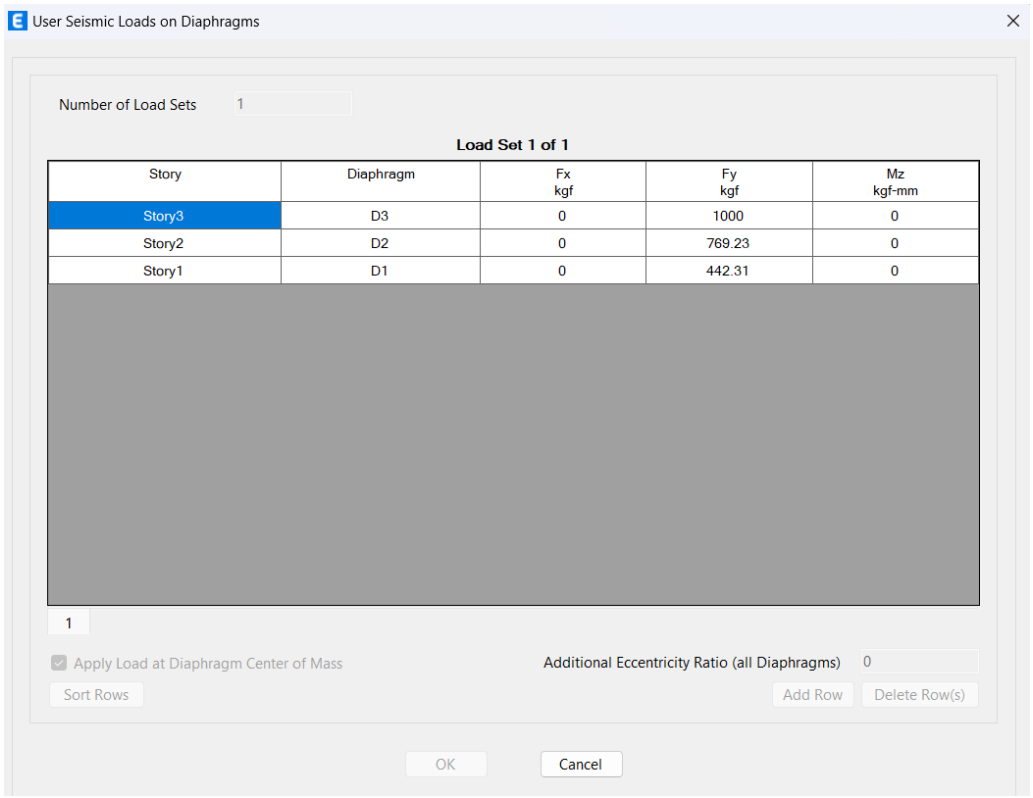
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Creación de patrones de carga para Pushover en X e Y.



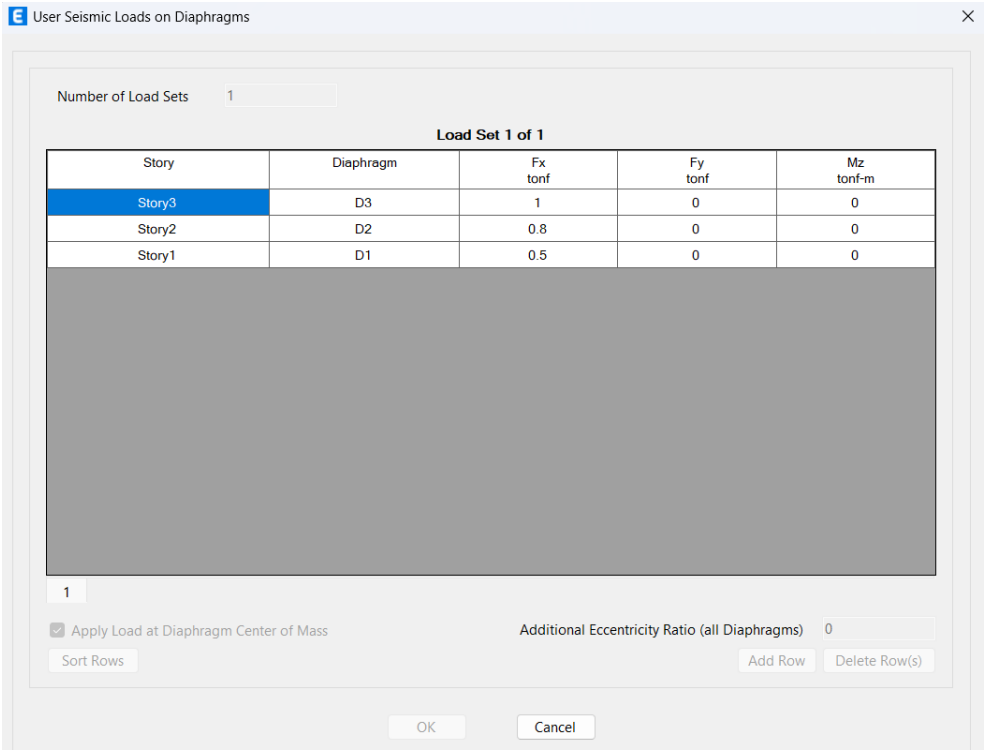
Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 30: Patrón de carga lateral en dirección Y proporcional al modo fundamental.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 31: Patrón de carga lateral en dirección X proporcional al modo fundamental.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

3.9.4.5 Demandas sísmicas

Para el análisis Pushover es necesario definir los espectros para los sismos Frecuente, Ocasional, raro y muy raro de acuerdo con los periodos de retorno propuesto por el comité VISION 2000 de la SEAOC.

Según Aguiar (2003) , para obtener el sismo frecuente se propone dividir por 3 el espectro del sismo raro; para el sismo ocasional se recomienda multiplicar el espectro del sismo frecuente por 1.4, y para el sismo muy raro se plantea multiplicar el espectro del sismo raro por 1.3. En la Tabla 45 se muestra la aceleración máxima de la zona 2 para diferentes niveles de peligro sísmico. En la Tabla 46 se aprecia el espectro sísmico de aceleraciones para diferentes niveles de peligro sísmico.

Tabla 45: Aceleración máxima para zona 2.

Demanda	T(años)	Aceleración
Sismo Frecuente	43 años	0.083 g
Sismo Ocasional	72 años	0.116 g
Sismo Raro	475 años	0.25 g
Sismo Muy raro	975 años	0.325 g

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Espectro elástico para diferentes niveles de peligro sísmico.

T (s)	C	S. Frecuente	S. Ocasional	S. Raro	S. muy Raro
0	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.02	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.04	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.06	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.08	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.1	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.12	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.14	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.16	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.18	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.2	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.25	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.3	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.35	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.4	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.45	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.5	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.55	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.6	2.500	0.375	0.53	1.125	1.463
0.65	2.308	0.346	0.48	1.038	1.350
0.7	2.143	0.321	0.45	0.964	1.254
0.75	2.000	0.300	0.42	0.900	1.170
0.8	1.875	0.281	0.39	0.844	1.097
0.85	1.765	0.265	0.37	0.794	1.032
0.9	1.667	0.250	0.35	0.750	0.975
0.95	1.579	0.237	0.33	0.711	0.924
1	1.500	0.225	0.32	0.675	0.878
1.1	1.364	0.205	0.29	0.614	0.798
1.2	1.250	0.188	0.26	0.563	0.731
1.3	1.154	0.173	0.24	0.519	0.675
1.4	1.071	0.161	0.23	0.482	0.627
1.5	1.000	0.150	0.21	0.450	0.585
1.6	0.938	0.141	0.20	0.422	0.548
1.7	0.882	0.132	0.19	0.397	0.516
1.8	0.833	0.125	0.18	0.375	0.488
1.9	0.789	0.118	0.17	0.355	0.462
2	0.750	0.113	0.16	0.338	0.439
2.25	0.593	0.089	0.12	0.267	0.347
2.5	0.480	0.072	0.10	0.216	0.281
2.75	0.397	0.060	0.08	0.179	0.232
3	0.333	0.050	0.07	0.150	0.195
4	0.188	0.028	0.04	0.084	0.110
5	0.120	0.018	0.03	0.054	0.070
6	0.083	0.013	0.02	0.038	0.049
7	0.061	0.009	0.01	0.028	0.036
8	0.047	0.007	0.01	0.021	0.027
9	0.037	0.006	0.01	0.017	0.022
10	0.030	0.005	0.01	0.014	0.018

Fuente: Elaboración propia.

3.9.4.6 Casos no lineales y Cargas gravitacionales

Según FEMA 356 (2000) , en su artículo 3.2.8 , establece la siguiente ecuación para la componente de la carga de gravedad.

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L) \tag{3.3}$$

Donde:

Carga muerta: $Q_D = D$

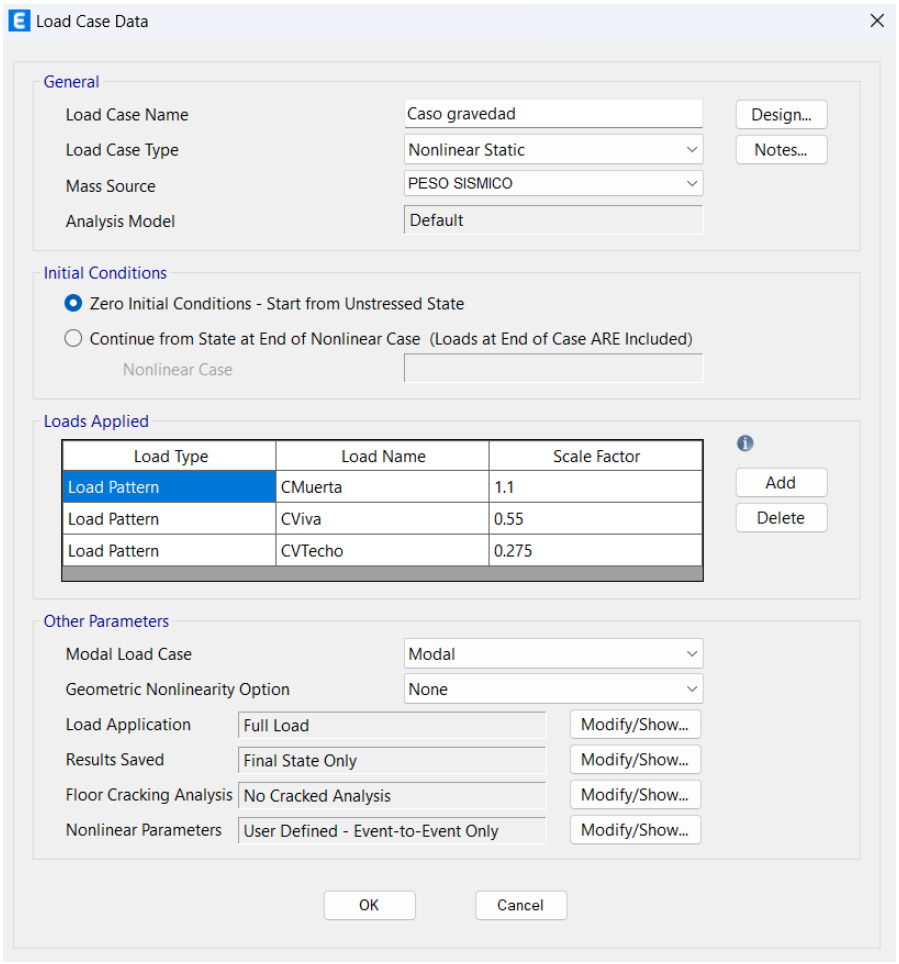
Carga viva: $Q_L = 0.50L + 0.25L_r$

De tal forma que la combinación de carga de gravedad será:

$$Q_G = 1.1D + 0.55L + 0.275L_r \tag{3.4}$$

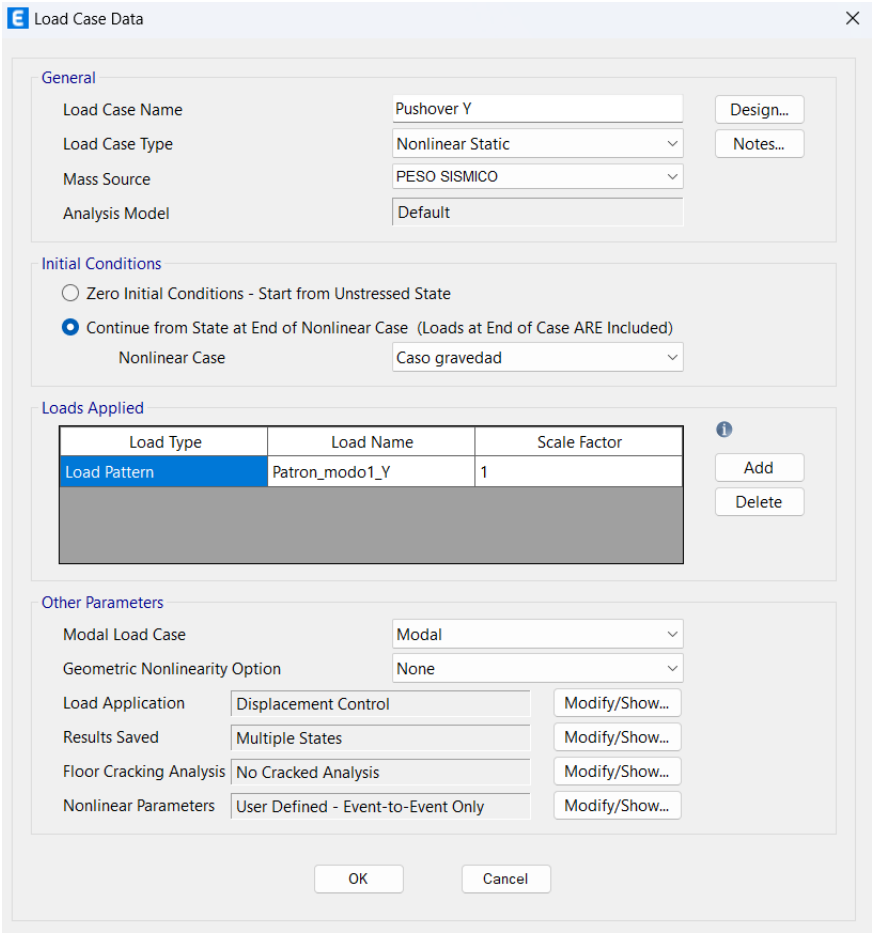
Para el análisis estático no lineal se crearán el caso de carga gravitacional no lineal y caso no lineal Pushover en el sentido del modo fundamental, tal como indica la Figura 32 y Figura 33.

Figura 32: Caso de carga Gravitacional no lineal.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 33: Caso de carga no lineal Pushover Y.



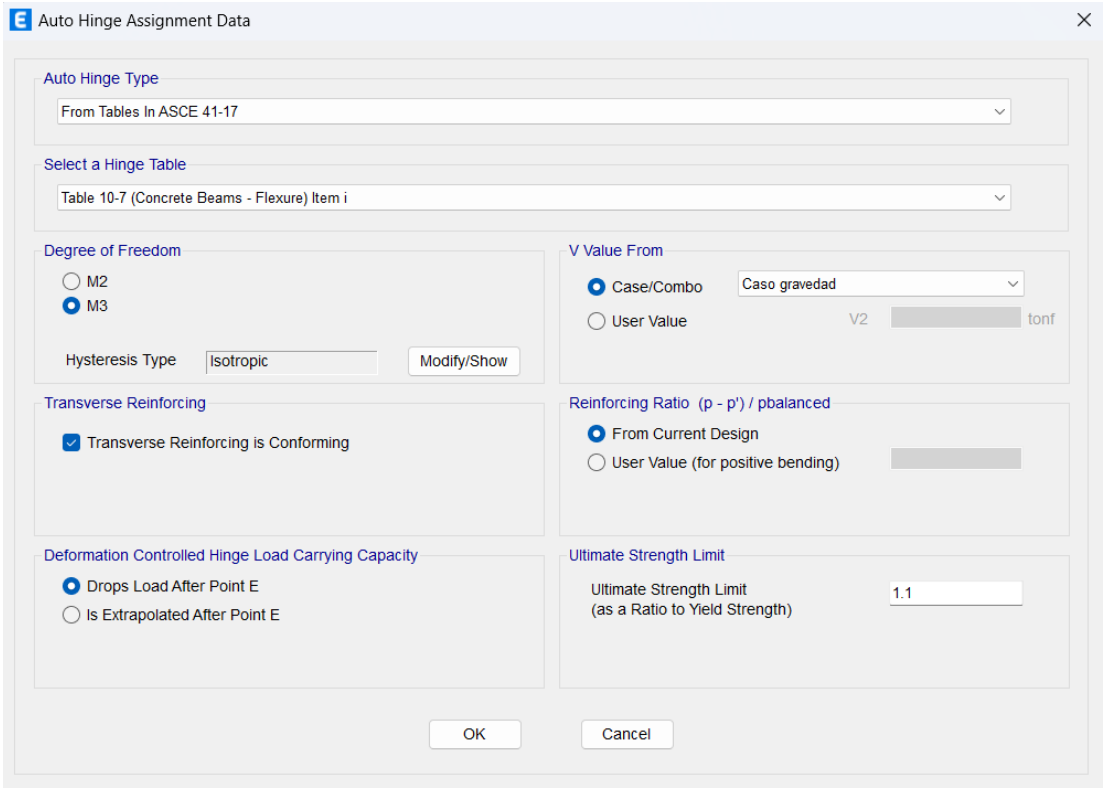
Fuente: Extraído de Etabs v22.

3.9.4.7 Asignación de plasticidad concentrada y distribuida.

Para poder evaluar el comportamiento no lineal de los elementos estructurales se ha asignado rótulas concentradas a las vigas y columnas según la normativa ASCE 41-13. Esta simulación arrojó resultados en donde no se alcanzó la convergencia deseada dando como resultado una curva de capacidad de tipo lineal que indica un comportamiento solo en el rango elástico.

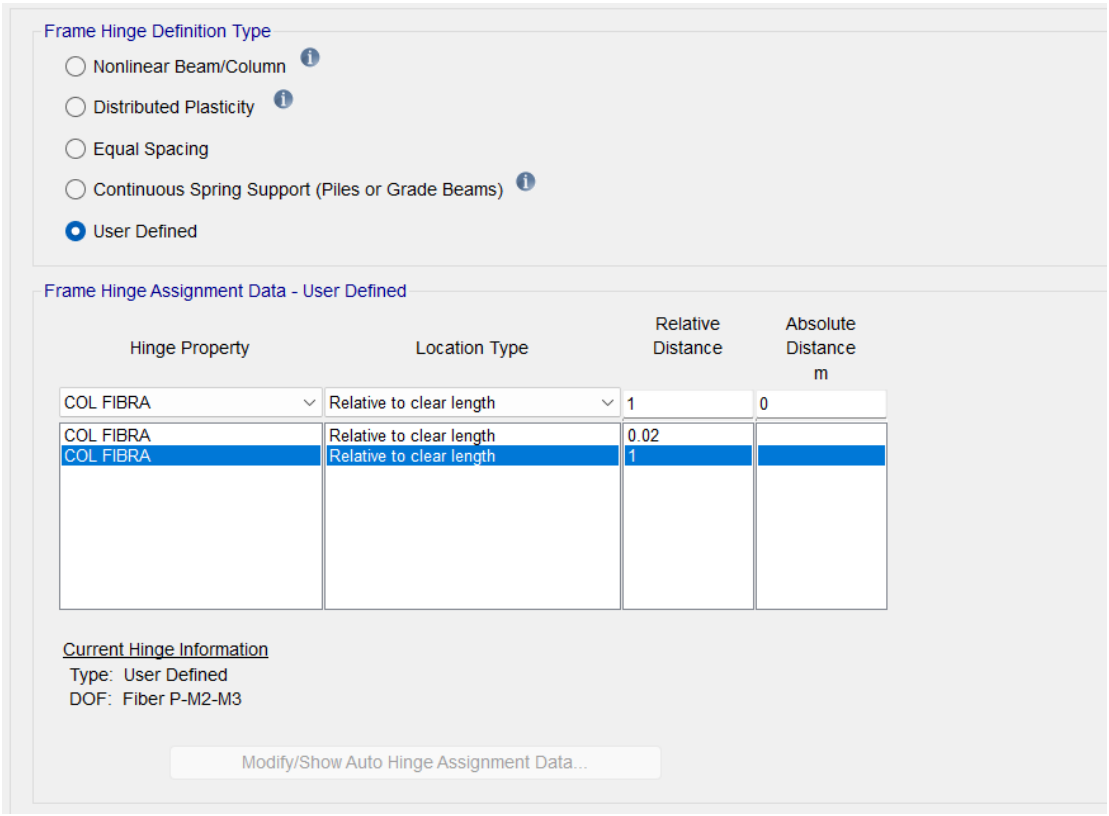
Debido a este inconveniente, se modeló las columnas con plasticidad distribuida tipo fibra con el objetivo de captar mejor el comportamiento no lineal de los elementos estructurales. Es decir, un enfoque híbrido de plasticidad: rótulas plásticas concentradas en las vigas y plasticidad distribuida tipo fibra en las columnas. Esta elección responde a que las columnas presentan secciones rectangulares en L y en T, cuyo comportamiento inelástico está fuertemente influenciado por la interacción axial–flexión y el confinamiento del concreto, aspectos que son representados de forma más precisa mediante modelos de fibras. La curva de capacidad obtenida del análisis Pushover es representativa del comportamiento global de la edificación.

Figura 34: Asignación de rótulas concentradas en vigas



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 35: Asignación de plasticidad tipo fibra en columnas.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

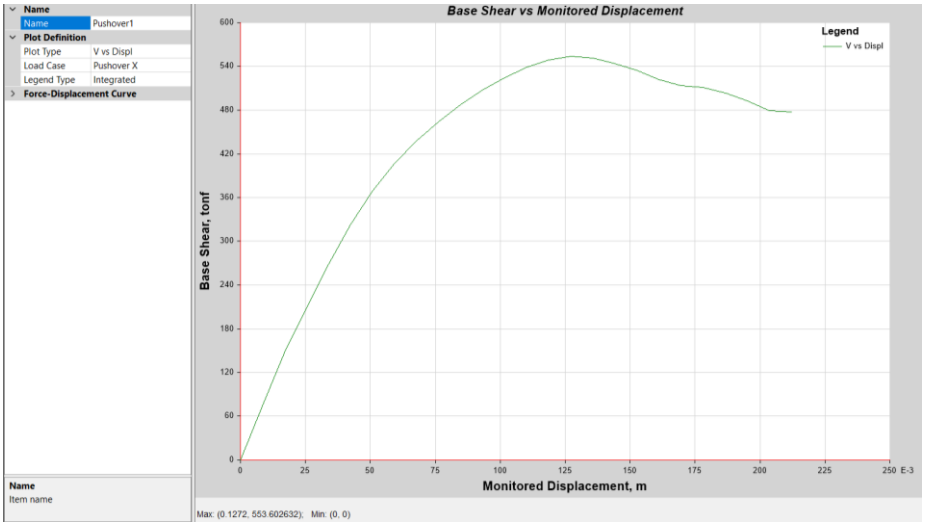
IV Resultados

4.1 Análisis e interpretación

4.1.1 Resultados de Curva de capacidad

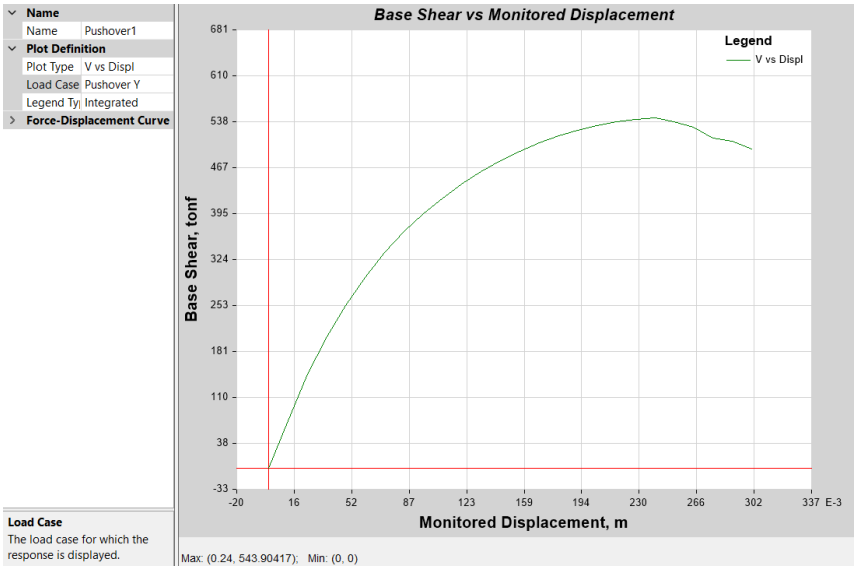
Se presentan los resultados al aplicar el análisis Pushover en la dirección X e Y de acuerdo al patrón de carga en relación al modo fundamental. Se obtiene resultados de la fuerza cortante basal vs el desplazamiento de control en el centro de masa del último nivel tal como se muestra en la Figura 36 y Figura 37 .

Figura 36: Curva de capacidad en la dirección X.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 37: Curva de capacidad en la dirección Y.

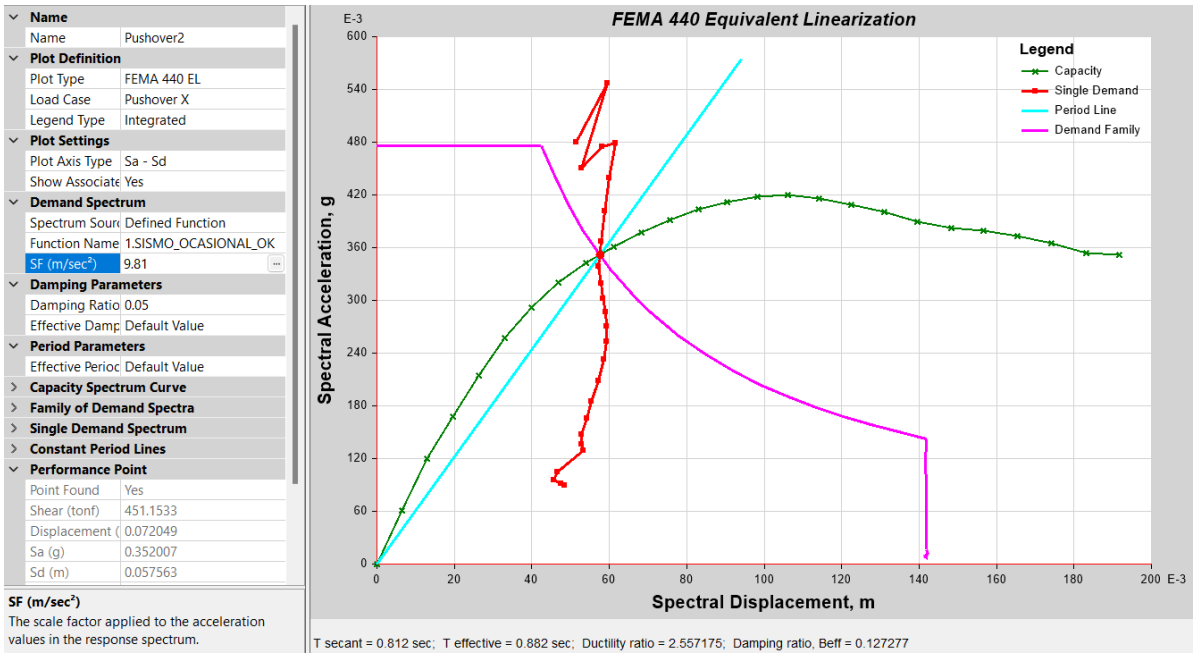


Fuente: Extraído de Etabs v22.

4.1.2 Resultados de Punto de desempeño según FEMA 440

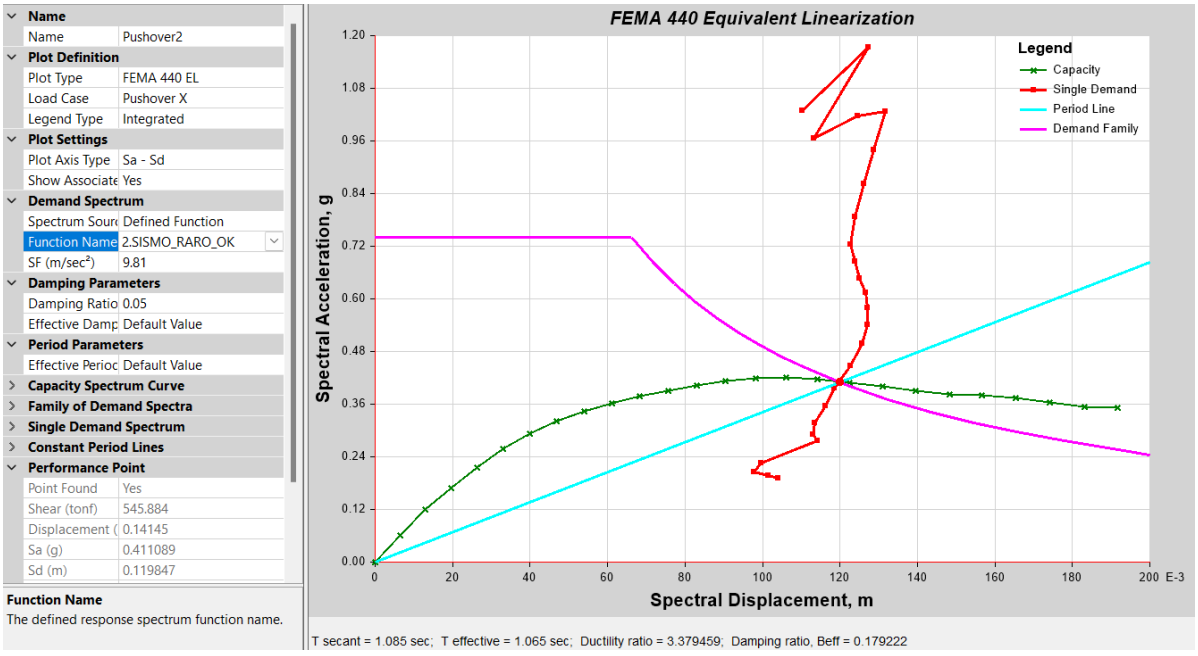
Para determinar el Punto de desempeño se utilizó el método de la linealización equivalente del FEMA440. El punto de desempeño obtenido en la curva de capacidad generada por el Pushover en la dirección X para los diferentes niveles de demanda sísmica: sismo ocasional, sismo raro y sismo muy raro; se puede apreciar en la Figura 38, Figura 39 y Figura 40 respectivamente.

Figura 38: Punto de desempeño para sismo ocasional en Dirección X según FEMA 440.



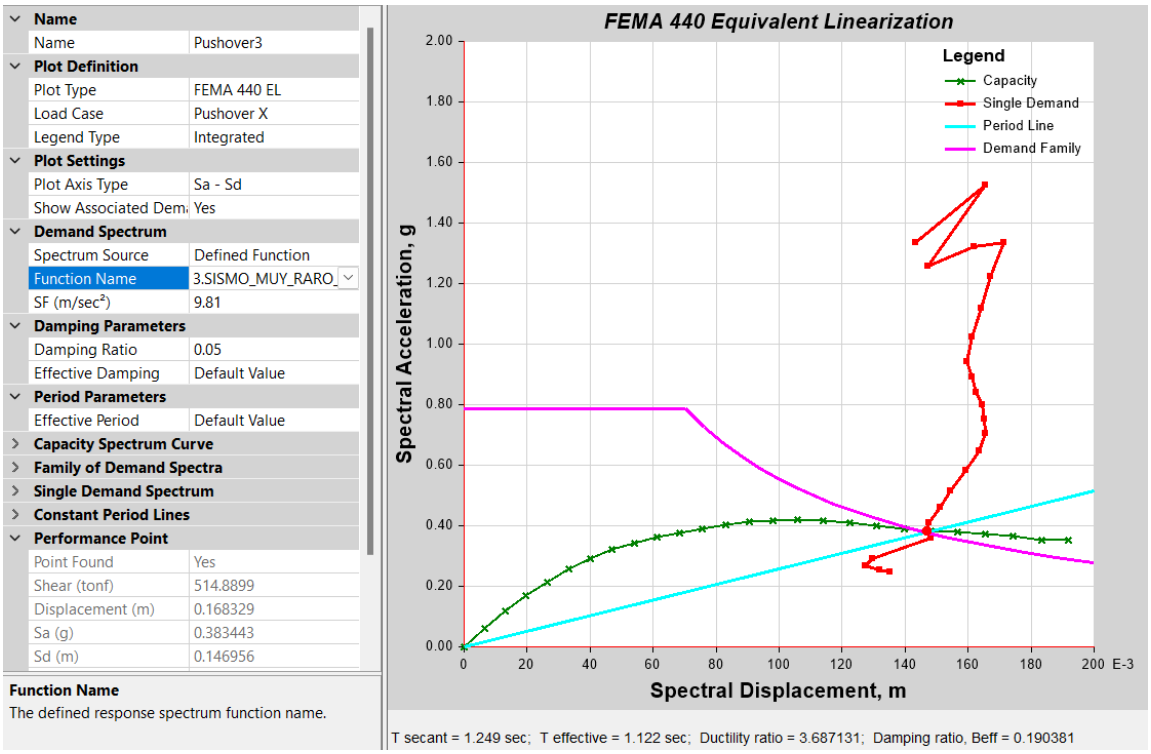
Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 39: Punto de desempeño para sismo raro en Dirección X según FEMA440.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 40: Punto de desempeño para sismo muy raro en Dirección X según FEMA 440.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

En la Tabla 47 se puede apreciar la fuerza cortante, desplazamiento, aceleración espectral, desplazamiento espectral, amortiguamiento efectivo para cada nivel de peligro sísmico por el Pushover en la dirección X.

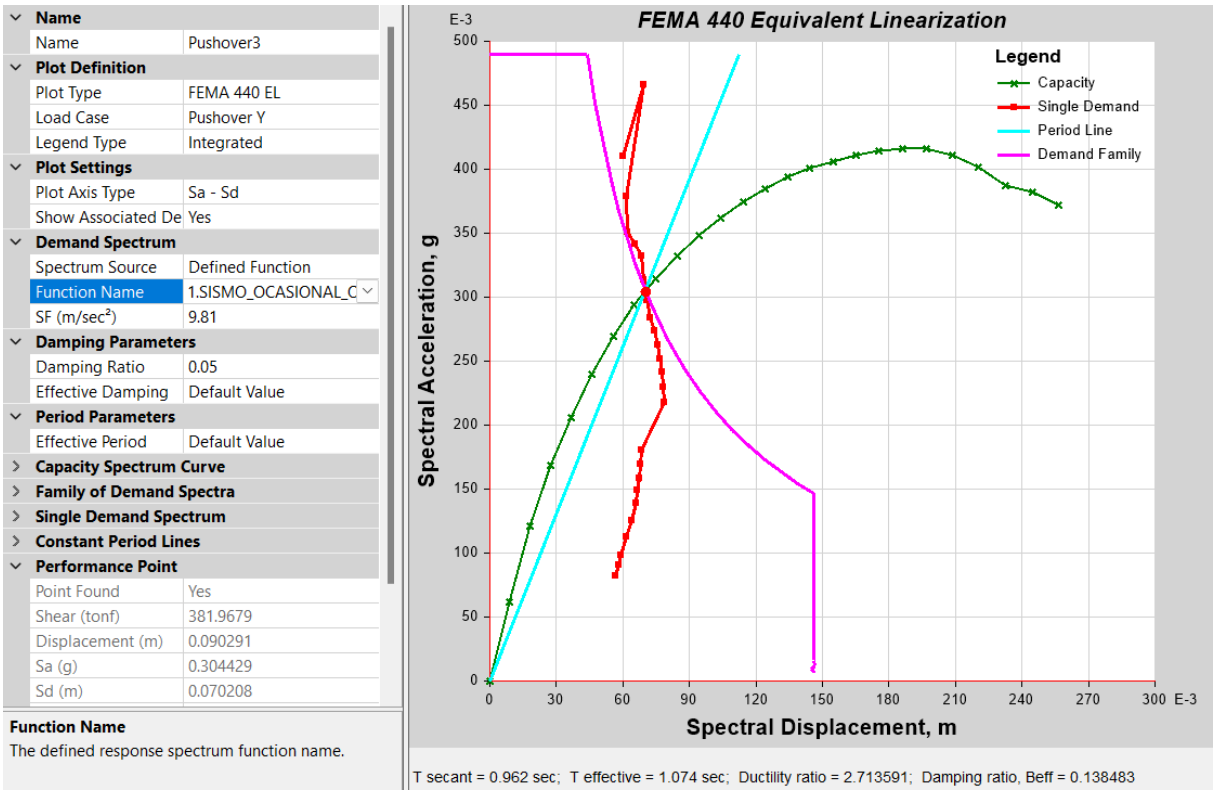
Tabla 47: Resumen del punto de desempeño en Dirección X para diferentes peligros sísmicos.

Demanda sísmica	F. Cortante $(tonf)$	Desplazamiento (cm)	Sa (g)	Sd (cm)	B_{eff} (%)
Sismo Ocasional	451.15	7.20	0.352	5.756	0.127
Sismo Raro	545.88	14.14	0.411	11.98	0.179
Sismo Muy raro	514.88	16.83	0.383	14.69	0.189

Fuente: Extraído de Etabs v22.

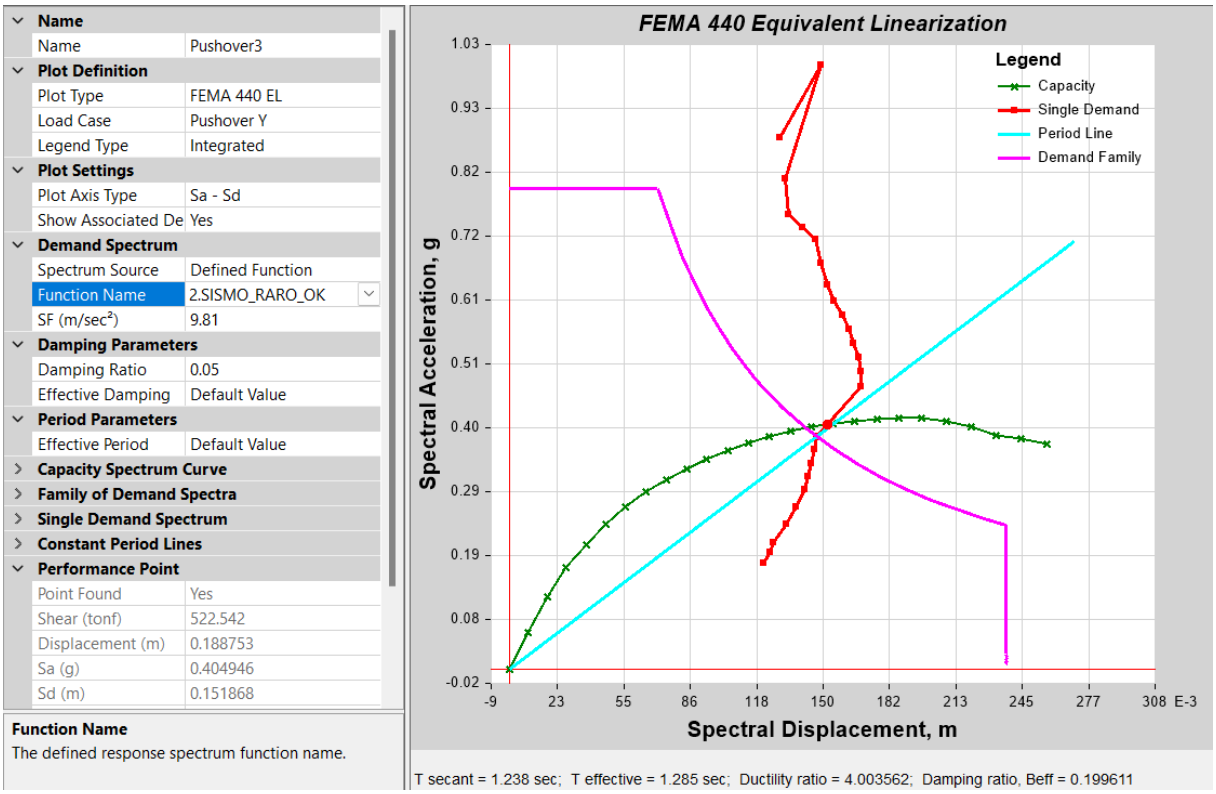
De igual forma en la dirección Y. El punto de desempeño obtenido en la curva de capacidad generada por el Pushover en la dirección Y para los diferentes niveles de demanda sísmica se puede apreciar en la Figura 41, Figura 42 y Figura 43. Este método propuesto por FEMA 440 el cual representa una mejora sustancial respecto al método original del ATC-40 determina el Punto de Desempeño Sísmico mediante la intersección de la Curva de Capacidad en formato ADRS con el Espectro de Demanda reducido por amortiguamiento efectivo equivalente, el cual es función de la ductilidad.

Figura 41: Punto de desempeño para sismo ocasional en Dirección Y según FEMA 440.



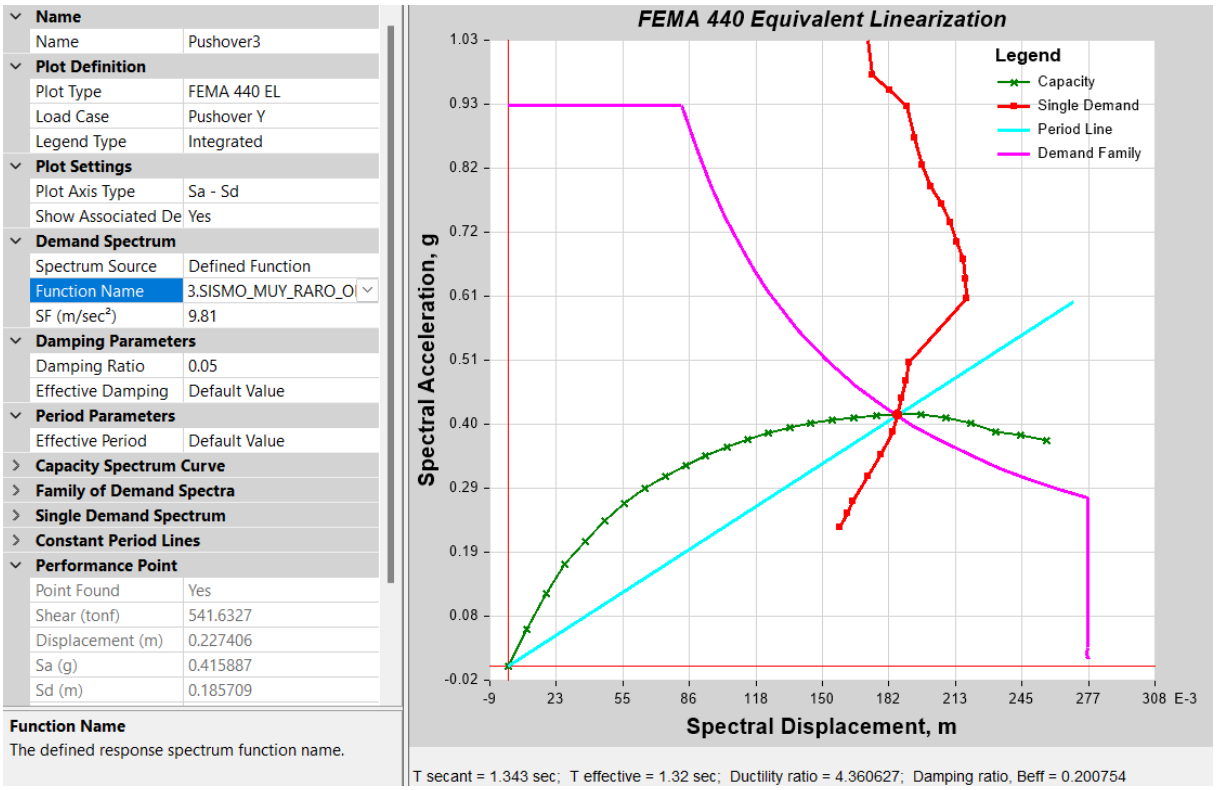
Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 42: Punto de desempeño para sismo raro en Dirección Y según FEMA 440.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 43: Punto de desempeño para sismo muy raro en Dirección Y según FEMA 440.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

En la Tabla 48 se puede apreciar la fuerza cortante, desplazamiento, aceleración espectral, desplazamiento espectral, amortiguamiento efectivo para cada nivel de peligro sísmico por el Pushover en la dirección Y.

Tabla 48: Resumen del punto de desempeño en Dirección Y para diferentes peligros sísmicos.

Demanda sísmica	F. Cortante $(tonf)$	Desplazamiento (cm)	Sa (g)	Sd (cm)	B_{eff} (%)
Sismo Ocasional	381.96	9.02	0.304	0.07	0.1389
Sismo Raro	522.54	18.87	0.405	15.18	0.198
Sismo Muy raro	541.63	22.74	0.4158	18.57	0.20

Fuente: Extraído de Etabs v22.

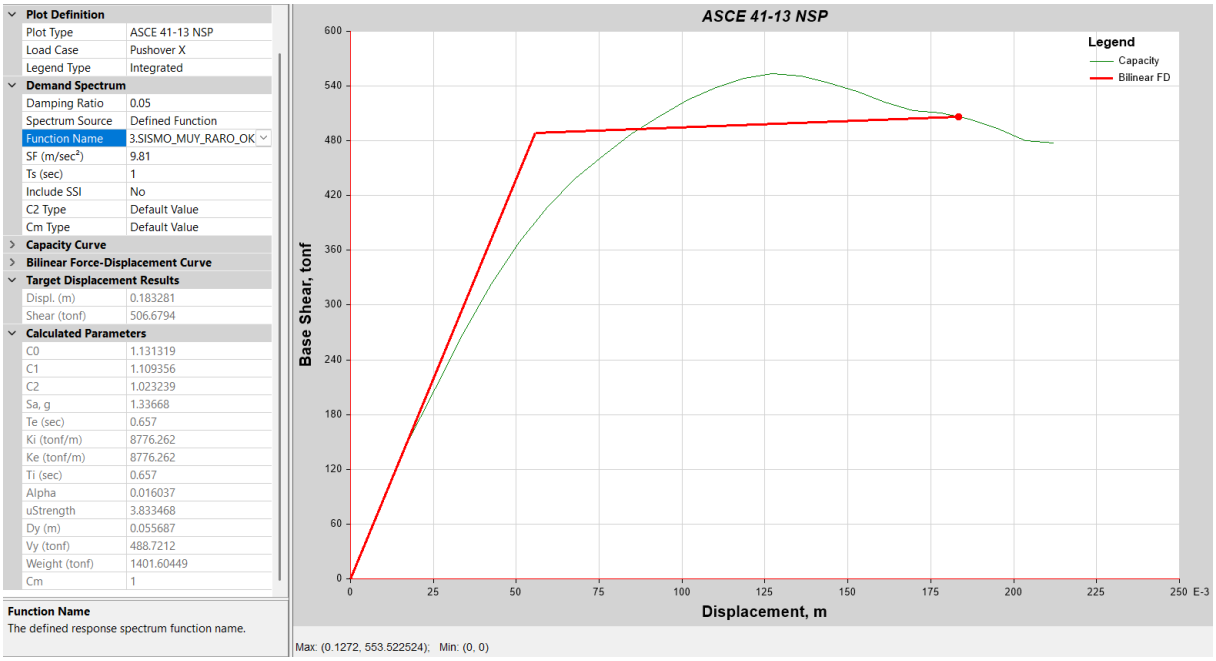
4.1.3 Resultados de Punto de desempeño según ASCE 41-13

El Punto de desempeño según el método de coeficientes propuesto por el ASCE 41-13 recoge las bases teóricas del Fema 273 y Fema 440, la cual se caracteriza por calcular el desplazamiento objetivo δ_t. De acuerdo con la norma ASCE 41-13 (2013), se determina el punto de desempeño de la edificación mediante la modificación del desplazamiento elástico a través de factores que incorporan la degradación de rigidez y la disipación de energía, los cuales han sido obtenidos

mediante calibración con resultados experimentales y análisis dinámicos no lineales de sistemas estructurales con comportamiento histerético representativo.

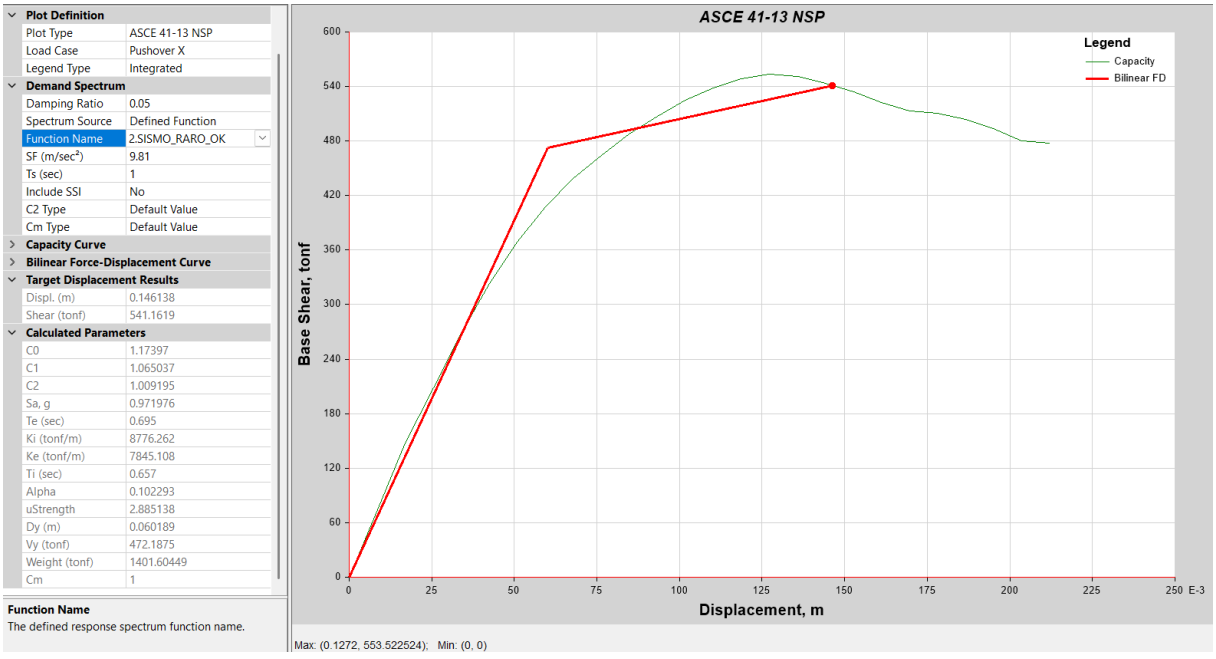
Los puntos de desempeño para sismo muy raro, sismo raro y sismo ocasional en dirección X se muestran en la Figura 44, Figura 45 y Figura 46 respectivamente.

Figura 44: Punto de desempeño para Sismo Muy Raro en dirección X según ASCE 41-13



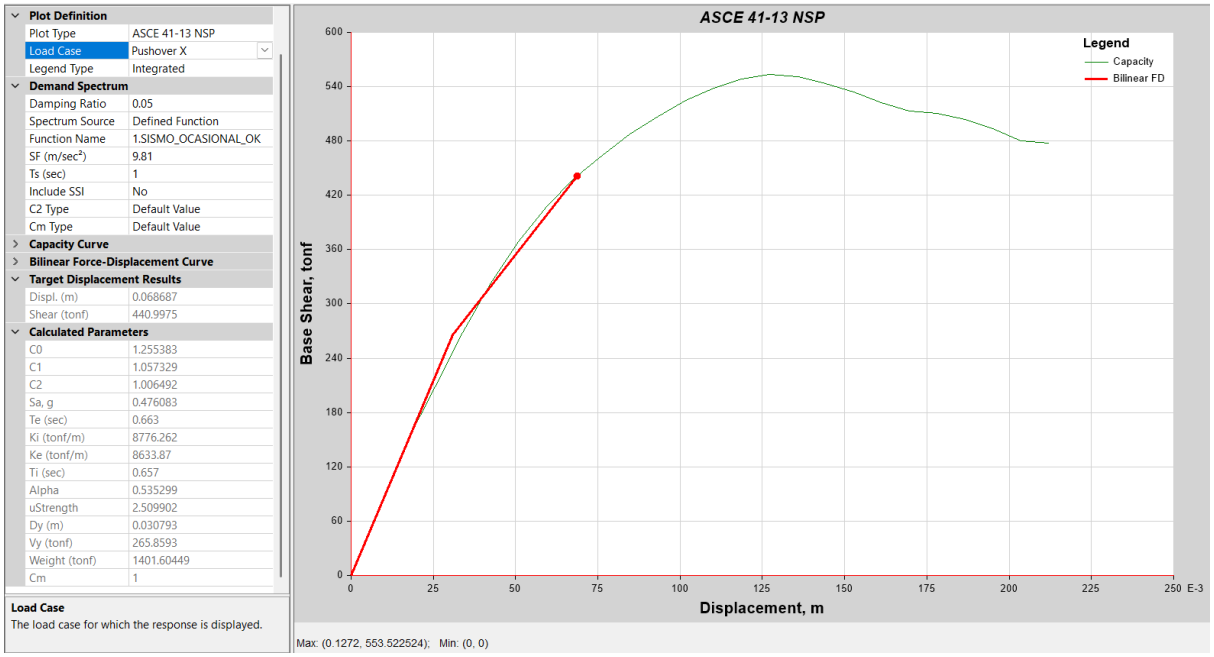
Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 45: Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección X según ASCE 41-13



Fuente: Extraído de Etabs v22.

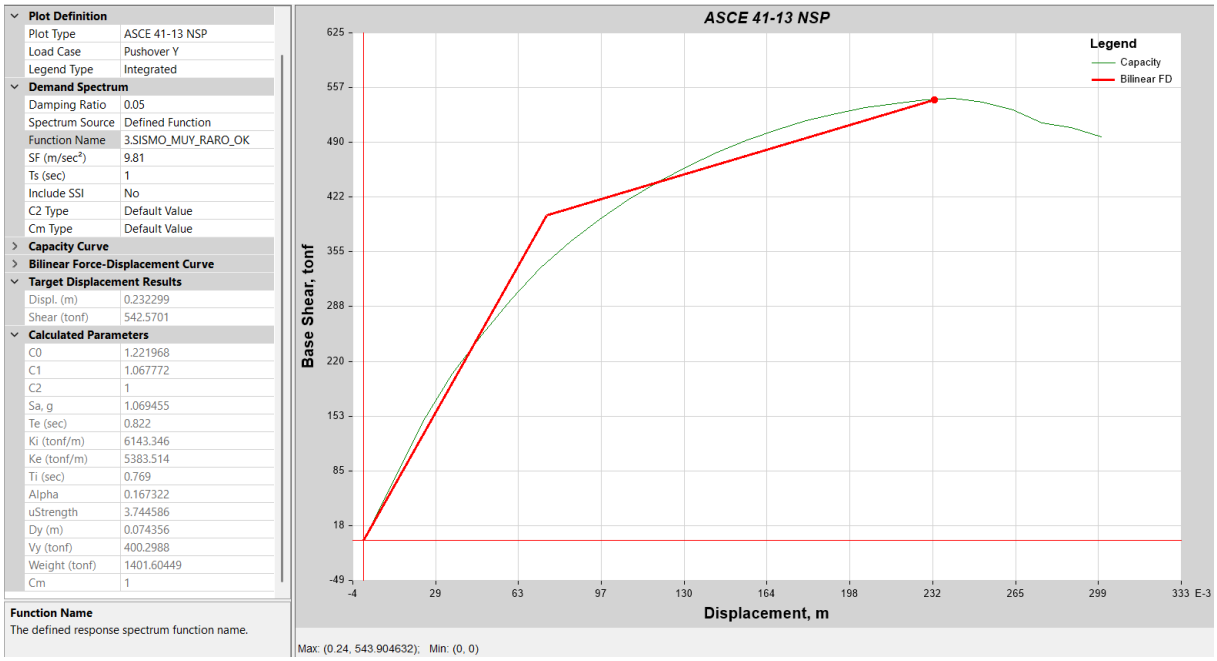
Figura 46: Punto de desempeño para Sismo Ocasional en dirección X según ASCE 41-13



Fuente: Extraído de Etabs v22.

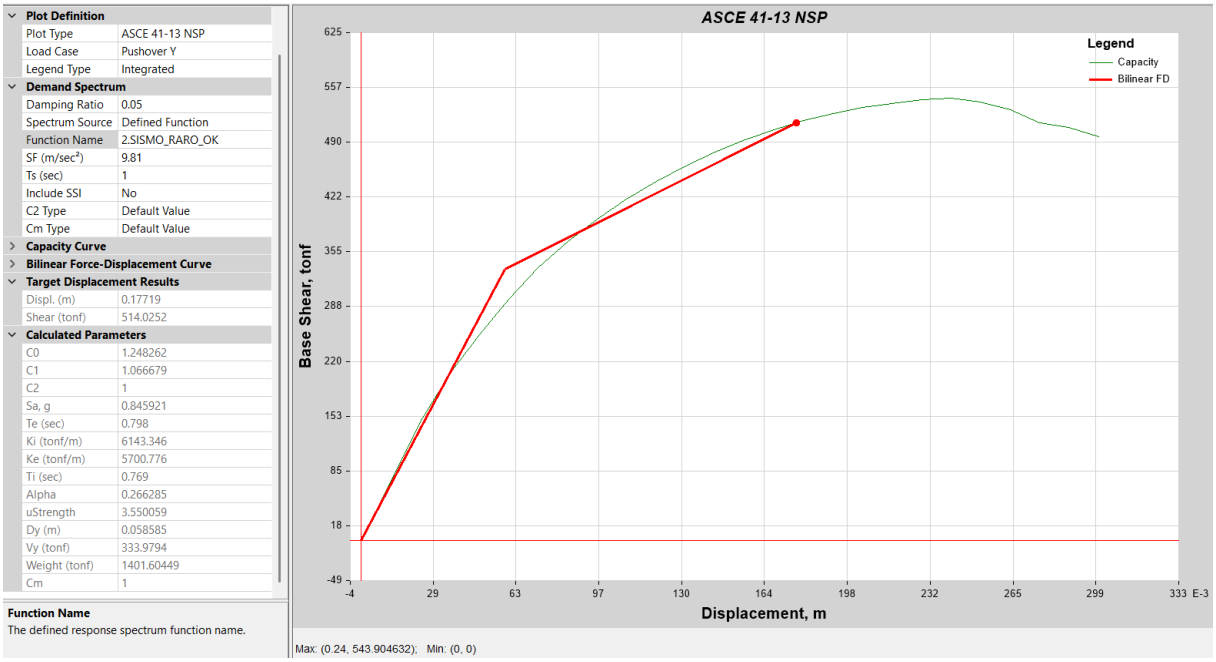
De igual modo, los puntos de desempeño para sismo muy raro, sismo raro y sismo ocasional en dirección Y se muestran en la Figura 47, Figura 48 y Figura 49 respectivamente.

Figura 47: Punto de desempeño para Sismo muy Raro en dirección Y según ASCE 41-13.



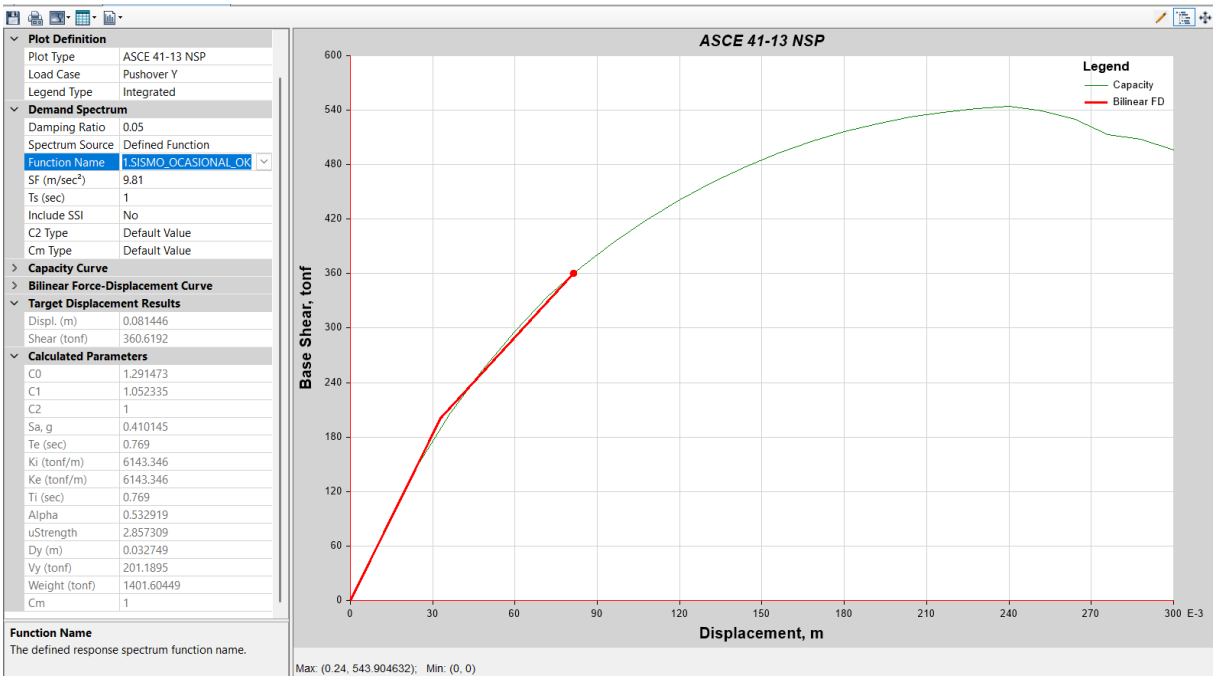
Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 48: Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección Y según ASCE 41-13.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 49: Punto de desempeño para Sismo Ocasional en dirección Y según ASCE 41-13.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Estos resultados se verificarán más adelante, con el objetivo de contrastar los resultados proporcionados por Etabs v22.

4.1.4 Verificación de curva de capacidad en formato ADRS

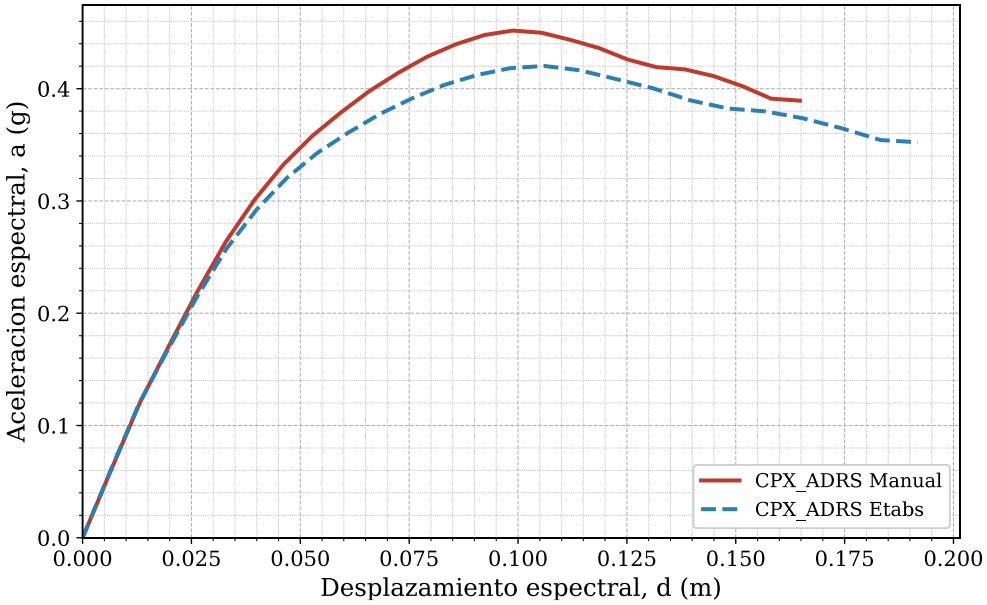
Para poder verificar los resultados proporcionados por Etabs v22, se tomará los resultados de la

curva de capacidad obtenidos por el Pushover en dirección X e Y, y transformar el desplazamiento del punto de control y la cortante en la base, a coordenadas espectrales: desplazamiento espectral(m) y aceleración espectral(g).

En la Figura 50 y Figura 51 se ilustra la comparación entre la curva de capacidad en formato ADRS en dirección X e Y respectivamente: proporcionado por Etabs v22 y resuelto manualmente a través de las ecuaciones 2.3 - 2.6 de la sección 2.2.3.3.1 cuyo procedimiento se detalla en los anexos. La pequeña diferencia entre la curva ADRS obtenida mediante el ATC-40 y la proporcionada por Etabs radica en que el procedimiento del ATC-40 asume una forma modal constante (modo fundamental) usando ϕ_{i1} fijo, PF_1 y α_1 constante, la cual indica una forma modal , una masa y un desplazamiento único; en cambio Etabs v22 emplea procedimientos numéricos más avanzados que consideran la fisuración, plastificación, redistribución de rigidez lo que modifica la forma de la deformada en cada paso del Pushover y consecuentemente significa que el SDOF cambia en cada paso.

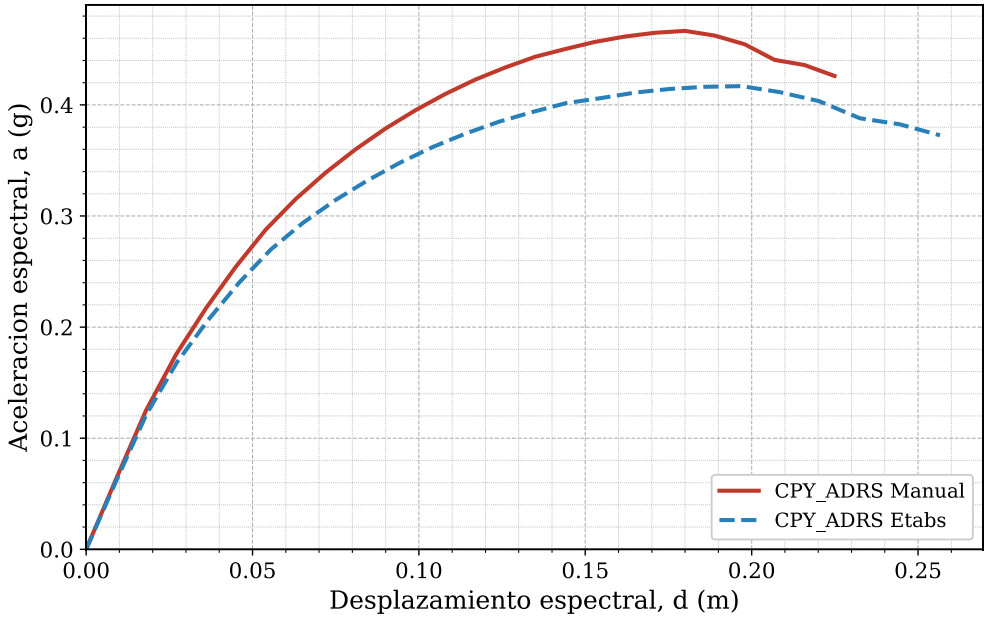
En tal sentido, durante el análisis Pushover, la estructura experimenta degradación progresiva de rigidez, lo que altera la distribución de desplazamientos y rompe la hipótesis de forma modal constante. Sin embargo la tendencia general de la curva de capacidad en formato ADRS se mantiene consistente, aunque se observan diferencias en magnitud dado que un método es analítico simplificado y el otro es numérico no lineal.

Figura 50: Curva de capacidad en formato ADRS dirección X.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51: Curva de capacidad en formato ADRS dirección Y.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Verificación de punto de desempeño según FEMA 440

Por lo tanto, para fines de comprobación del punto de desempeño según el fema440, se adoptará la curva de capacidad más realista proporcionada por Etabs v22.

Para determinar el punto desempeño en la curva de capacidad proporcionada por el Pushover en dirección x e y, se usará las ecuaciones de 2.12 – 2.14 para calcular el amortiguamiento efectivo y las ecuaciones 2.18 – 2.20 para determinar el periodo efectivo. Además se sigue el procedimiento planteado por el FEMA 440 visto en la sección 2.2.3.3.1 donde se usarán los métodos A (iteración directa) y B(intersección con MADRS).

Sismo Ocasional en dirección X:

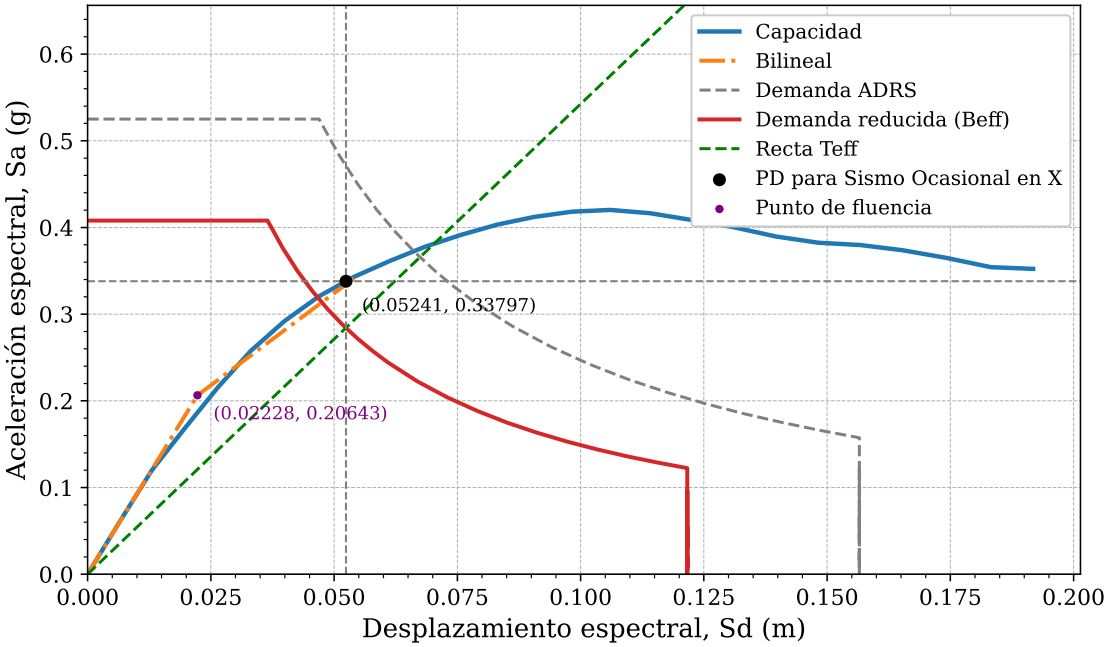
Tabla 49: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Ocasional - dirección X

Parámetros de Evaluación			
$K_0\ (g/m)$	9.2658	$T_0\ (s)$	0.6570
$d_{pi}\ (m)$	0.055	$\beta_{eff}(\%)$	12.0850
$a_{pi}\ (g)$	0.3455	B_β	1.2870
$d_y\ (m)$	0.0223	$K_{sec}\ (g/m)$	6.2818
$a_y\ (g)$	0.2064	$T_{sec}\ (s)$	0.8004
α	0.4587	$T_{eff}\ (s)$	0.8614
μ	2.4687	M	1.1583

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 49 se visualiza los parámetros con el cual se obtuvo el Punto de desempeño donde la recta del T_{eff} interseca a la demanda reducida por β_{eff} tal como se observa en la Figura 52, de aquí se toma la coordenada del desplazamiento espectral para hallar la aceleración espectral de la curva de capacidad en formato ADRS. En la Tabla 50 se detalla la comparación del punto de desempeño obtenido manualmente y obtenido de Etabs v22 cuya información detallada se encuentra en los anexos.

Figura 52: Punto de desempeño para sismo Ocasional - dirección X



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Ocasional en X

Punto de desempeño manual	**Comparación de Punto de desempeño**	
$d_i = 0.05241m$, $a_i = 0.33797g$	Manual	Etabs v22
Condición: $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$	$d_i = 0.05241m$	$d_i = 0.05756m$
$0.05225m \leq 0.05241m \leq 0.05775m$=>OK	$a_i = 0.33797\ g$	$a_i = 0.3520\ g$

Fuente: Elaboración propia.

Sismo Raro en dirección X:

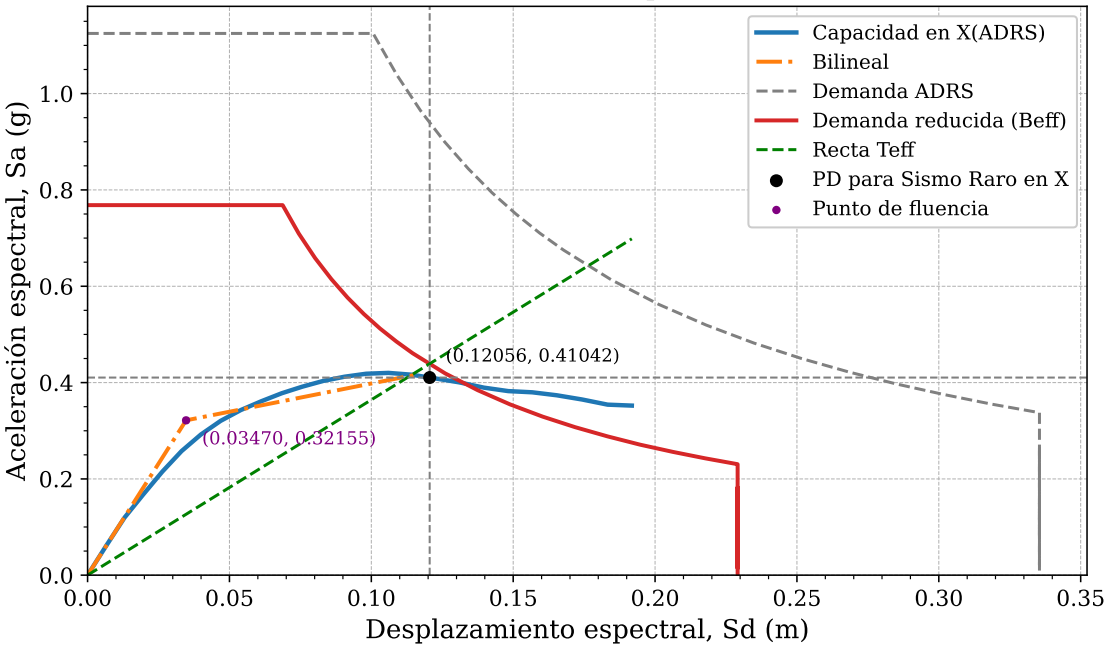
De igual forma se presenta los parámetros para cálculo del punto de desempeño para Sismo Raro en dirección X según FEMA 440 tal como se muestra en la Tabla 51, determinación del punto de desempeño tal como se visualiza en la Figura 53 y comparación de resultados como se puede detallar en la Tabla 52.

Tabla 51: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Raro - dirección X

Parámetros de Evaluación			
$K_0\ (g/m)$	9.2658	$T_0\ (s)$	0.6570
$d_{pi}\ (m)$	0.115	$\beta_{eff}(\%)$	17.6070
$a_{pi}\ (g)$	0.4156	B_β	1.4643
$d_y\ (m)$	0.0347	$K_{sec}\ (g/m)$	3.6139
$a_y\ (g)$	0.3216	$T_{sec}\ (s)$	1.0553
α	0.1264	$T_{eff}\ (s)$	1.0513
μ	3.3138	M	0.9925

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53: Punto de desempeño para Sismo Raro - dirección X



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52: Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Raro en X

Punto de desempeño manual	**Comparación de Punto de desempeño**	
$d_i = 0.12056m$, $a_i = 0.41042g$	Manual	Etabs v22
Condición: $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$	$d_i = 0.12056m$	$d_i = 0.11982m$
$0.10925m \leq 0.12056m \leq 0.12075m$=>OK	$a_i = 0.41042g$	$a_i = 0.41103\ g$

Fuente: Elaboración propia.

Sismo muy Raro en dirección X:

De igual forma se presenta los parámetros para cálculo del punto de desempeño para sismo muy

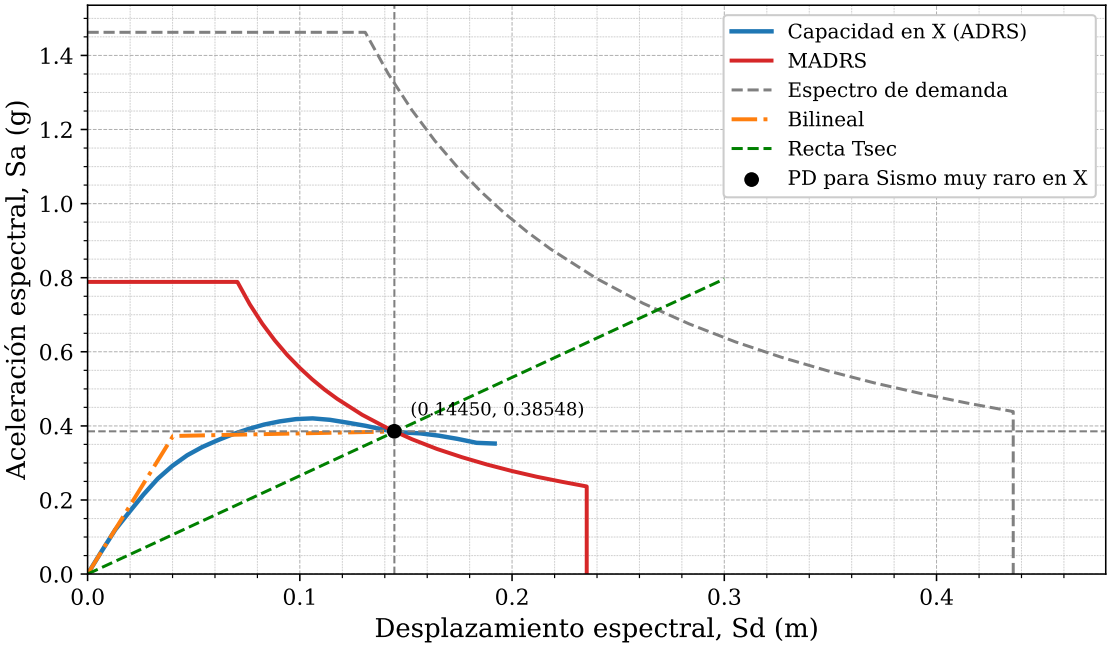
raro en dirección x según FEMA 440 tal como se muestra en la Tabla 53, determinación del punto de desempeño tal como se visualiza en la Figura 54 y comparación de resultados como se detalla en la Tabla 54 .

Tabla 53: Parámetros para Punto de desempeño Sismo muy Raro - dirección X

Parámetros de Evaluación			
$K_0\ (g/m)$	9.2658	$T_0\ (s)$	0.6570
$d_{pi}\ (m)$	0.145	$\beta_{eff}(\%)$	18.8049
$a_{pi}\ (g)$	0.385	B_β	1.5004
$d_y\ (m)$	0.0402	$K_{sec}\ (g/m)$	2.6552
$a_y\ (g)$	0.3727	$T_{sec}\ (s)$	1.2311
α	0.0126	$T_{eff}\ (s)$	1.1073
μ	3.6046	M	0.8090

Fuente: Elaboración propia.

Figura 54: Punto de desempeño para Sismo muy Raro - dirección X



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54: Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo muy Raro en X

Punto de desempeño manual	**Comparación de Punto de desempeño**	
$d_i = 0.14450m$, $a_i = 0.38548g$	Manual	Etabs v22
Condición: $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$	$d_i = 0.14450m$	$d_i = 0.14684m$
$0.13775m \leq 0.14450m \leq 0.15225m$=>OK	$a_i = 0.38548g$	$a_i = 0.38329\ g$

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo se presenta los resultados del punto de desempeño para sismo Ocasional, sismo raro y sismo muy raro en la dirección Y tal como se muestra a continuación.

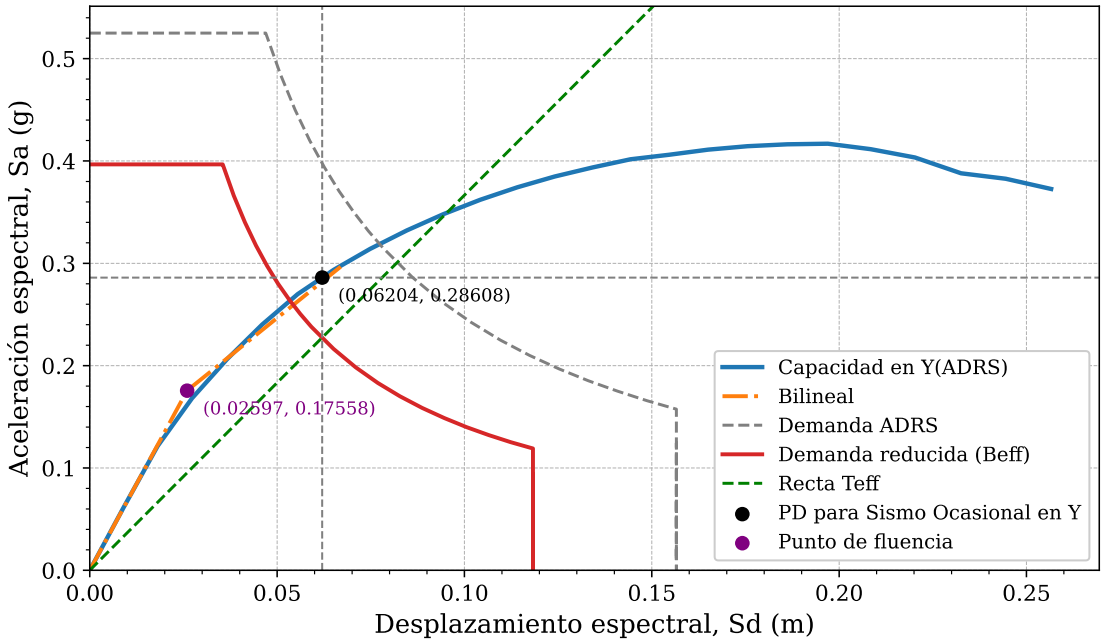
Sismo ocasional en dirección Y:

Tabla 55: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Ocasional - dirección Y

Parámetros de Evaluación			
$K_0\ (g/m)$	6.7596	$T_0\ (s)$	0.7689
$d_{pi}\ (m)$	0.065	$\beta_{eff}(\%)$	12.9860
$a_{pi}\ (g)$	0.294	B_β	1.3175
$d_y\ (m)$	0.0251	$K_{sec}\ (g/m)$	4.5231
$a_y\ (g)$	0.1695	$T_{sec}\ (s)$	0.9433
α	0.4614	$T_{eff}\ (s)$	1.0410
μ	2.5928	M	1.2181

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55: Punto de desempeño para Sismo Ocasional - dirección Y



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56: Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Ocasional en Y

Punto de desempeño manual	**Comparación de Punto de desempeño**	
$d_i = 0.06204m$, $a_i = 0.28608g$	Manual	Etabs v22
Condición: $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$	$d_i = 0.06204m$	$d_i = 0.07021m$
$0.06175m \leq 0.06204m \leq 0.06825m$=>OK	$a_i = 0.28608g$	$a_i = 0.30443\ g$

Fuente: Elaboración propia.

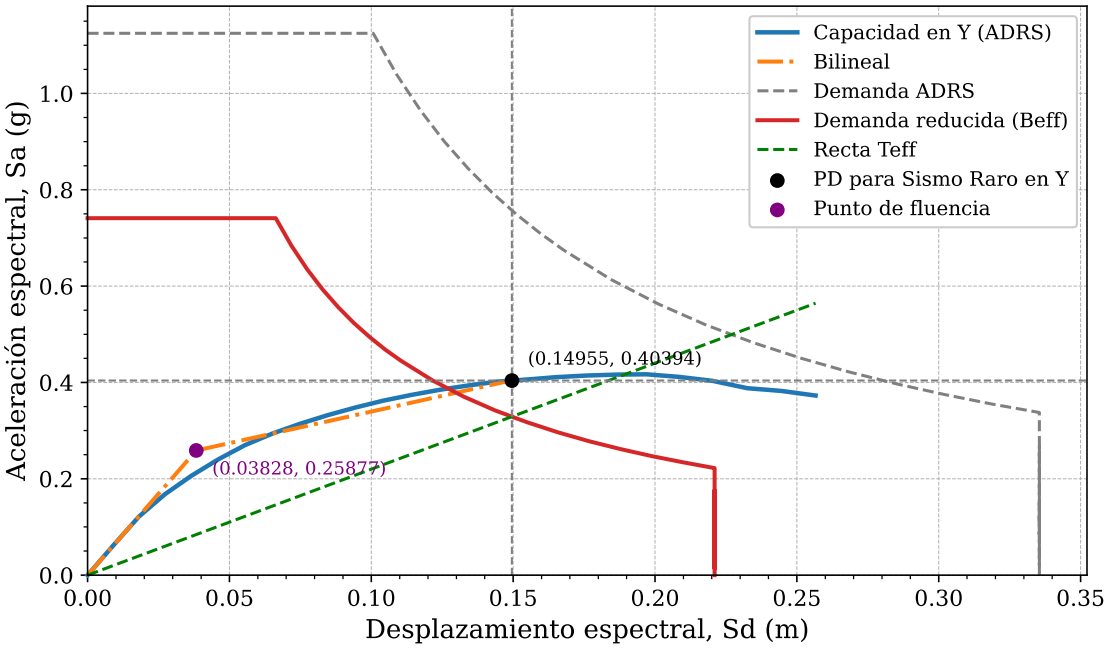
Sismo Raro en dirección Y:

Tabla 57: Parámetros para Punto de desempeño Sismo Raro - dirección Y

Parámetros de Evaluación			
$K_0\ (g/m)$	6.7596	$T_0\ (s)$	0.7689
$d_{pi}\ (m)$	0.15	$\beta_{eff}(\%)$	19.3847
$a_{pi}\ (g)$	0.40412	B_β	1.5177
$d_y\ (m)$	0.0384	$K_{sec}\ (g/m)$	2.6941
$a_y\ (g)$	0.2596	$T_{sec}\ (s)$	1.2222
α	0.1916	$T_{eff}\ (s)$	1.3505
μ	3.9056	M	1.2211

Fuente: Elaboración propia.

Figura 56: Punto de desempeño para Sismo Raro - dirección Y



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58: Comparación de P.D manual vs Etabs v22 - Sismo Raro en Y

Punto de desempeño manual	**Comparación de Punto de desempeño**	
$d_i = 0.14955m$, $a_i = 0.40394g$	Manual	Etabs v22
Condición: $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$	$d_i = 0.14955m$	$d_i = 0.15187m$
$0.1425m \leq 0.12056m \leq 0.1575m$=>OK	$a_i = 0.40394g$	$a_i = 0.40495\ g$

Fuente: Elaboración propia.

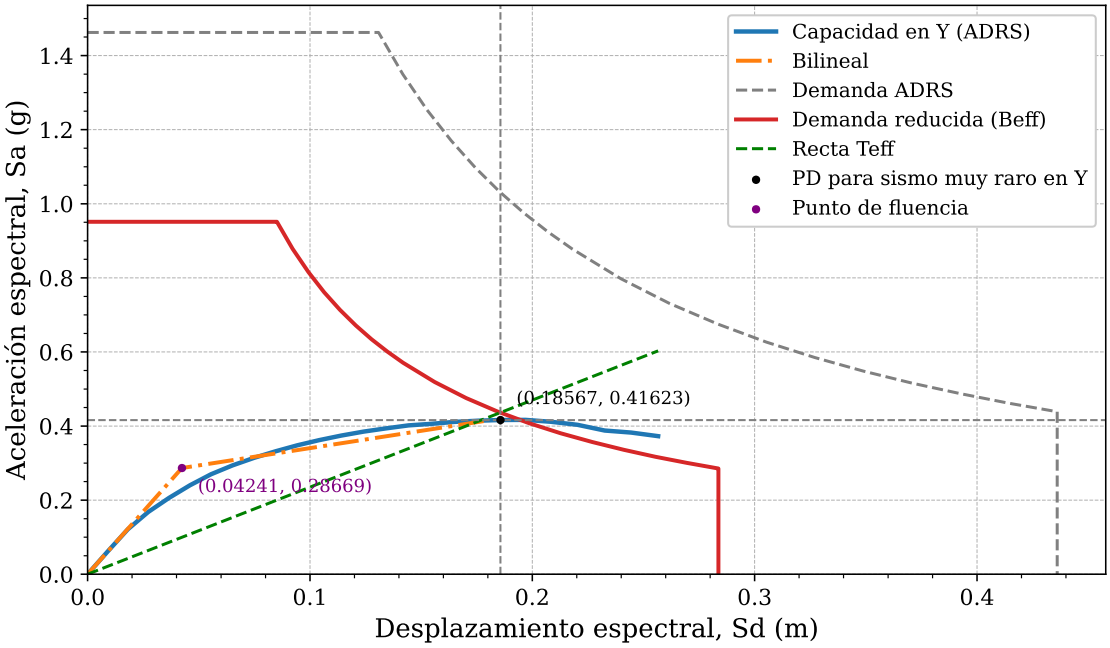
Sismo muy Raro en dirección Y:

Tabla 59: Parámetros para Punto de desempeño Sismo muy Raro - dirección Y

Parámetros de Evaluación			
$K_0\ (g/m)$	6.7596	$T_0\ (s)$	0.7689
$d_{pi}\ (m)$	0.18	$\beta_{eff}(\%)$	20.0396
$a_{pi}\ (g)$	0.415	B_β	1.5371
$d_y\ (m)$	0.0424	$K_{sec}\ (g/m)$	2.3056
$a_y\ (g)$	0.2864	$T_{sec}\ (s)$	1.3212
α	0.1383	$T_{eff}\ (s)$	1.3090
μ	4.2486	M	0.9817

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57: Punto de desempeño para Sismo muy Raro - dirección Y



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58: Comparación de P.D manual vs Etabs v22- Sismo muy Raro en Y

Punto de desempeño manual	**Comparación de Punto de desempeño**	
$d_i = 0.18567m$, $a_i = 0.41623g$	Manual	Etabs v22
Condición: $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$	$d_i = 0.18567m$	$d_i = 0.1857m$
$0.171m \leq 0.18567m \leq 0.189m$=>OK	$a_i = 0.41623g$	$a_i = 0.4158\ g$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60: Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección X según fema 440.

Comparación de Punto de desempeño		
Demanda	**Manual**	**Etabs v22**
Sismo muy raro en dirección X	$d_i = 0.14450m$	$d_i = 0.14684m$
	$a_i = 0.38548g$	$a_i = 0.38329\ g$
Sismo raro en dirección X	$d_i = 0.12056m$	$d_i = 0.11982m$
	$a_i = 0.41042g$	$a_i = 0.41103\ g$
Sismo Ocasional en dirección X	$d_i = 0.05241m$	$d_i = 0.05756m$
	$a_i = 0.33797\ g$	$a_i = 0.3520\ g$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61: Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección Y según fema 440.

Comparación de Punto de desempeño		
Demanda	**Manual**	**Etabs v22**
Sismo muy raro en dirección Y	$d_i = 0.18567m$	$d_i = 0.1857m$
	$a_i = 0.41623g$	$a_i = 0.4158\ g$
Sismo raro en dirección Y	$d_i = 0.14955m$	$d_i = 0.15187m$
	$a_i = 0.40394g$	$a_i = 0.40495\ g$
Sismo Ocasional en dirección Y	$d_i = 0.06204m$	$d_i = 0.07021m$
	$a_i = 0.28608g$	$a_i = 0.30443\ g$

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 60 y Tabla 61, se aprecia una alta fiabilidad del uso de Etabs v22 para el cálculo del punto de desempeño ya que está respaldada por el cálculo manual donde se evidencia la consistencia en la aplicación del método de linealización equivalente mejorado del FEMA 440.

4.1.6 Verificación de punto de desempeño según ASCE 41-13

Para contrastar y verificar el punto desempeño en la curva de capacidad proporcionada por el Pushover en dirección X e Y, se usará las siguientes ecuaciones: 2.26 – 2.30. Además, se sigue el procedimiento planteado por el método de los coeficientes visto en la sección 2.2.3.4.

El método de los coeficientes propuesto por el ASCE 41-13 propone definir el desplazamiento último D_u y fuerza cortante basal último V_u para determinar al área debajo de la curva de capacidad. Luego se calcula el desplazamiento de fluencia D_y y cortante basal de fluencia V_y para graficar la bilineal de tal forma que el área debajo de la bilineal sea igual al área debajo de la

curva de capacidad y que la bilineal corte a la curva de capacidad en $(0.6D_y, 0.6V_y)$ cuya pendiente es K_e.

Sismo muy raro en dirección Y:

En la Tabla 62 se visualiza los parámetros con el cual se obtuvo el Punto de desempeño para el Sismo muy raro en la dirección Y tal como se muestra a continuación:

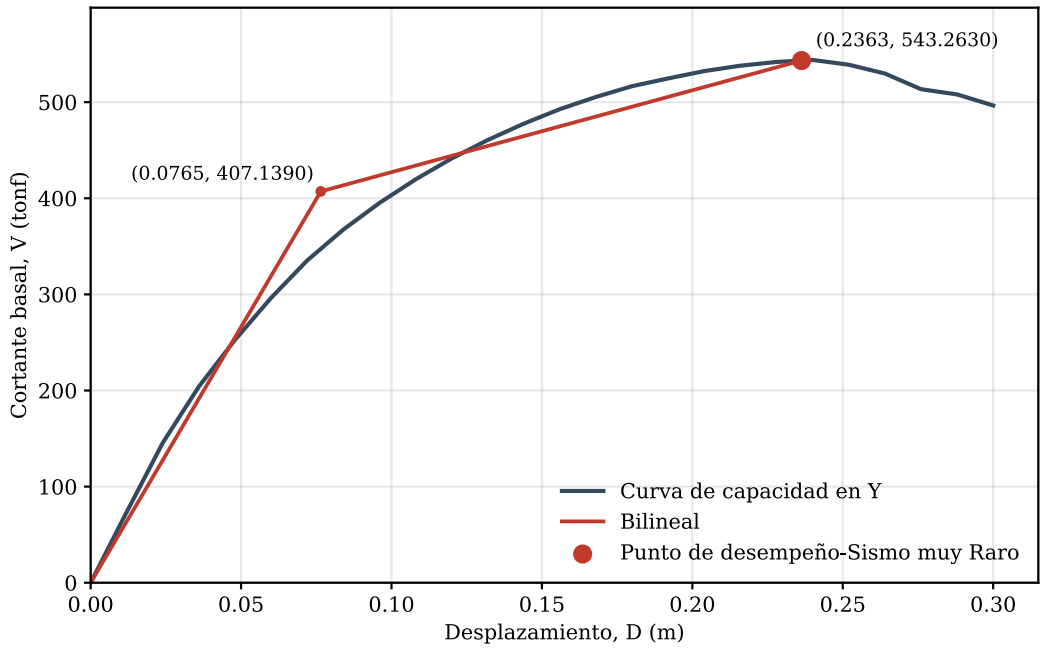
Tabla 62: Parámetros para PD por Sismo muy raro en dirección Y según asce41-13

Parámetros de control			
$D_u\ (m)$	0.3000	$T_i(s)$	0.7630
$V_u\ (tonf)$	496.5484	$W(tonf)$	1401.6045
$D_y\ (m)$	0.1046	a	60.0000
$V_y\ (tonf)$	508.9781	$U_{strength}$	2.5367
$K_e\ (tonf/m)$	4865.9473	C_0	1.2219
$K_i\ (tonf/m)$	6143.3500	C_1	1.0348
$T_e\ (s)$	0.8573	C_2	1.0000
$Sa\ (g)$	1.0235	C_m	0.9000

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 59 se ilustra el desplazamiento objetivo o punto de desempeño para el sismo muy raro en la dirección Y según el método de los coeficientes.

Figura 59: Punto de desempeño para Sismo muy Raro en dirección Y según asce41-13



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma se muestra a continuación los parámetros, la ilustración gráfica para el Sismo raro y Sismo ocasional en la dirección Y.

Sismo Raro en dirección Y:

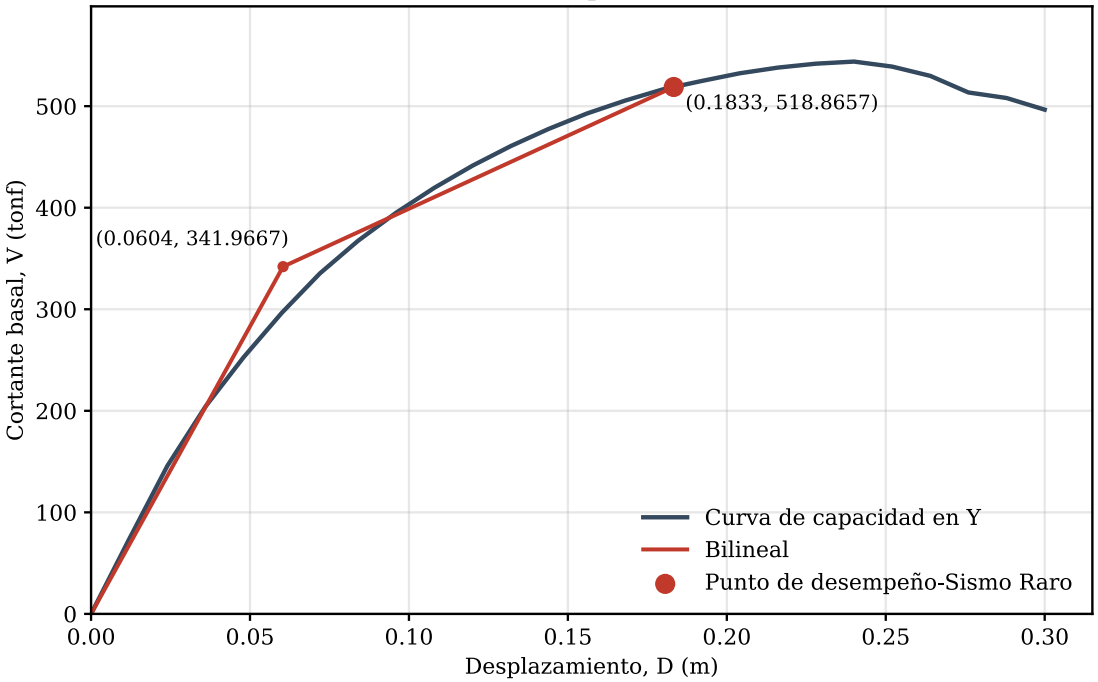
Tabla 63: Parámetros para PD por Sismo raro en dirección Y según ASCE 41-13

Parámetros de control			
$D_u\ (m)$	0.3000	$T_i(s)$	0.7630
$V_u\ (tonf)$	496.5484	$W(tonf)$	1401.6045
$D_y\ (m)$	0.1046	a	60.0000
$V_y\ (tonf)$	508.9781	$U_{strength}$	1.9513
$K_e\ (tonf/m)$	4865.9473	C_0	1.2482
$K_i\ (tonf/m)$	6143.3500	C_1	1.0216
$T_e\ (s)$	0.8573	C_2	1.0000
$Sa\ (g)$	0.7873	C_m	0.9000

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 60 se ilustra el desplazamiento objetivo o punto de desempeño para el sismo raro en la dirección Y según el método de los coeficientes.

Figura 60: Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección Y según ASCE 41-13



Fuente: Elaboración propia.

Sismo Ocasional en dirección Y:

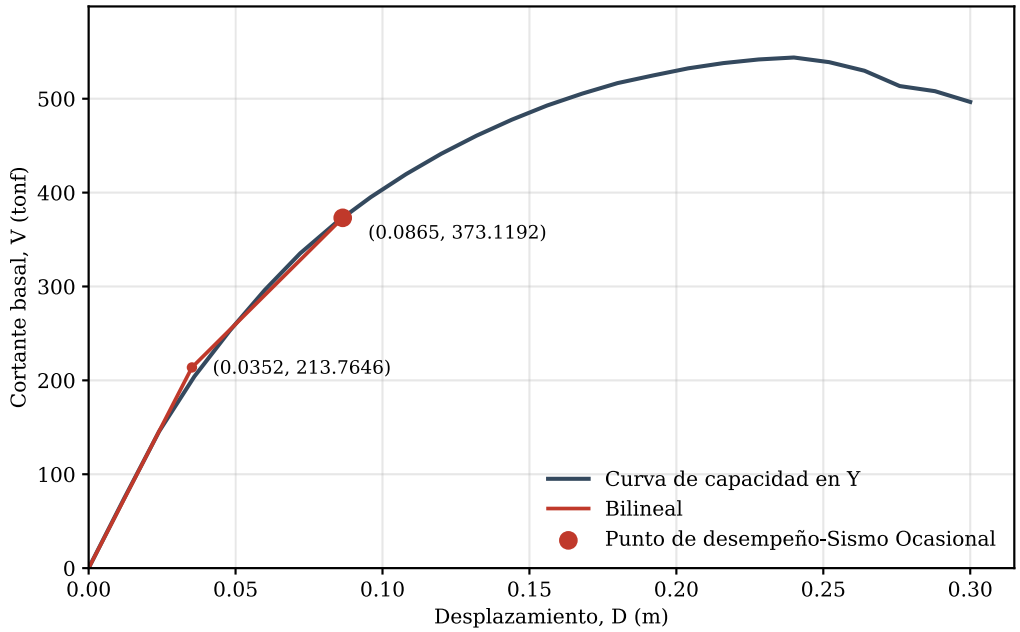
Tabla 64: Parámetros para PD por Sismo ocasional en dirección Y según ASCE 41-13

Parámetros de control			
$D_u\ (m)$	0.3000	$T_i(s)$	0.7630
$V_u\ (tonf)$	496.5484	$W(tonf)$	1401.6045
$D_y\ (m)$	0.1046	a	60.0000
$V_y\ (tonf)$	508.9781	$U_{strength}$	0.9106
$K_e\ (tonf/m)$	4865.9473	C_0	1.2914
$K_i\ (tonf/m)$	6143.3500	C_1	0.9980
$T_e\ (s)$	0.8573	C_2	1.0000
$Sa\ (g)$	0.3674	C_m	0.9000

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 61 se ilustra el desplazamiento objetivo o punto de desempeño para el sismo Ocasional en la dirección Y según el método de los coeficientes.

Figura 61: Punto de desempeño para Sismo ocasional en dirección Y según ASCE 41-13



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 65 se distingue la comparación de resultados del punto de desempeño según el método de los coeficientes para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección Y, observándose una buena correlación entre los valores obtenidos por Etabs v22 y el procedimiento manual. Con esta tabla se verifica que los resultados proporcionados por Etabs v22 son confiables.

Tabla 65: Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección Y según ASCE 41-13

Comparación de Punto de desempeño		
Demanda	**Manual**	**Etabs v22**
Sismo muy raro en dirección Y	$\delta_t = 0.2363\ m$	$\delta_t = 0.2322\ m$
	$V_t = 543.2630\ tonf$	$V_t = 542.5701\ tonf$
Sismo raro en dirección Y	$\delta_t = 0.1833\ m$	$\delta_t = 0.1772\ m$
	$V_t = 518.8657\ tonf$	$V_t = 514.0252\ tonf$
Sismo Ocasional en dirección Y	$\delta_t = 0.08646\ m$	$\delta_t = 0.0814m$
	$V_t = 373.1192\ tonf$	$V_t = 360.6192\ tonf$

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros de control para Sismo muy Raro, Raro y Ocasional, en dirección X:

En la Tabla 66, Tabla 67 y Tabla 68 se muestran los parámetros para calcular el Punto de desempeño para sismo muy raro, sismo raro y ocasional en dirección X.

Tabla 66: Parámetros para PD por Sismo muy raro en dirección X según ASCE 41-13

Parámetros de control			
$D_u\ (m)$	0.2120	$T_i(s)$	0.6650
$V_u\ (tonf)$	477.0644	$W(tonf)$	1401.6045
$D_y\ (m)$	0.0716	a	60.0000
$V_y\ (tonf)$	544.2944	$U_{strength}$	2.8456
$K_e\ (tonf/m)$	7598.6939	C_0	1.1313
$K_i\ (tonf/m)$	8776.2618	C_1	1.0602
$T_e\ (s)$	0.7147	C_2	1.0000
$Sa\ (g)$	1.2278	C_m	0.9000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67: Parámetros para PD por Sismo raro en dirección X según ASCE 41-13

Parámetros de control			
$D_u\ (m)$	0.2120	$T_i(s)$	0.6650
$V_u\ (tonf)$	477.0644	$W(tonf)$	1401.6045
$D_y\ (m)$	0.0716	a	60.0000
$V_y\ (tonf)$	544.2944	$U_{strength}$	2.1889
$K_e\ (tonf/m)$	7598.6939	C_0	1.1740
$K_i\ (tonf/m)$	8776.2618	C_1	1.0388
$T_e\ (s)$	0.7147	C_2	1.0000
$Sa\ (g)$	0.9445	C_m	0.9000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68: Parámetros para PD por Sismo ocasional en dirección X según ASCE 41-13

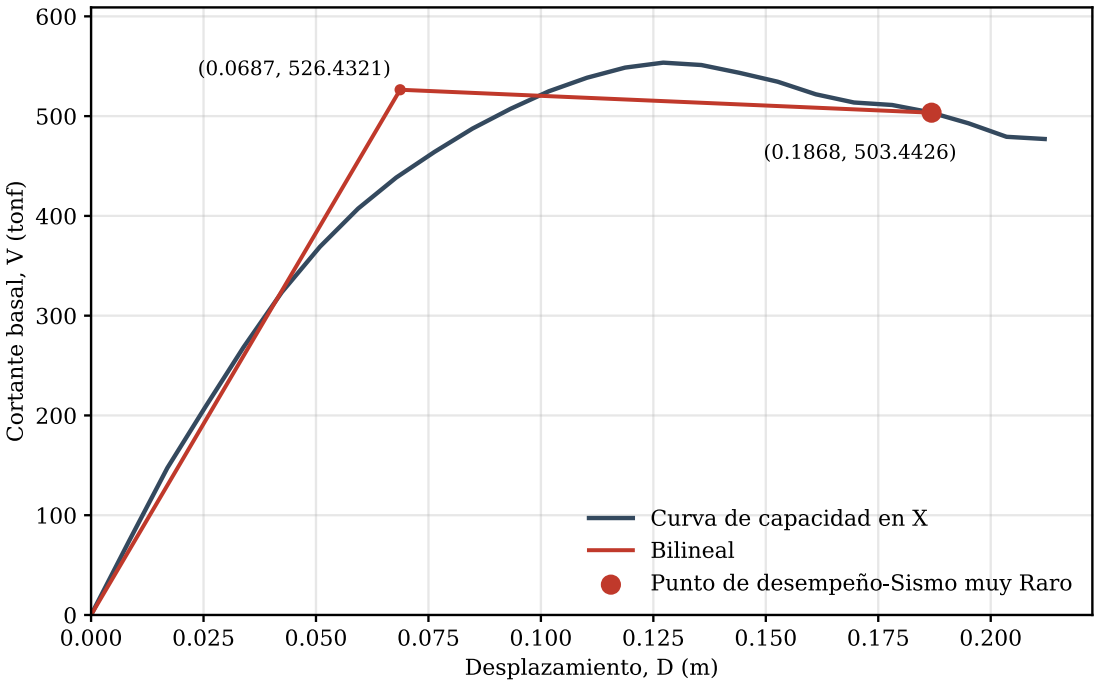
Parámetros de control			
$D_u\ (m)$	0.2120	$T_i(s)$	0.6650
$V_u\ (tonf)$	477.0644	$W(tonf)$	1401.6045
$D_y\ (m)$	0.0716	a	60.0000
$V_y\ (tonf)$	544.2944	$U_{strength}$	1.0215
$K_e\ (tonf/m)$	7598.6939	C_0	1.2553
$K_i\ (tonf/m)$	8776.2618	C_1	1.0007
$T_e\ (s)$	0.7147	C_2	1.0000
$Sa\ (g)$	0.4408	C_m	0.9000

Fuente: Elaboración propia.

Desplazamiento objetivo para Sismo muy raro, Raro y Ocasional en dirección X:

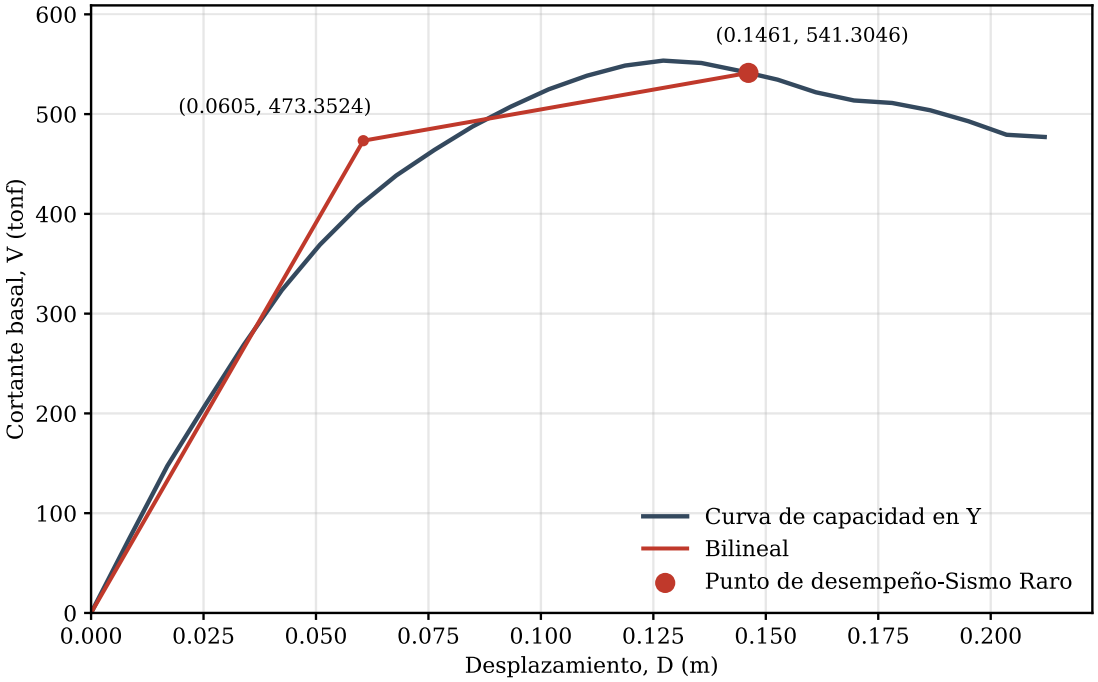
En la Figura 62 , Figura 63 y Figura 64 se distingue el punto de desplazamiento objetivo para el sismo muy raro, sismo raro y sismo ocasional en dirección X plasmado en la curva de capacidad resuelto por el método de los coeficientes del ASCE 41-13. Además se visualiza la bilineal que corta a la curva de capacidad en (0.6dy,0.6Vy), este punto representa el 60% del punto de fluencia efectivo (dy, Vy) con una pendiente Ke (rigidez efectiva) . El punto de fluencia efectivo marca el inicio del comportamiento inelástico de la estructura.

Figura 62: Punto de desempeño para Sismo muy Raro en dirección X según ASCE 41-13



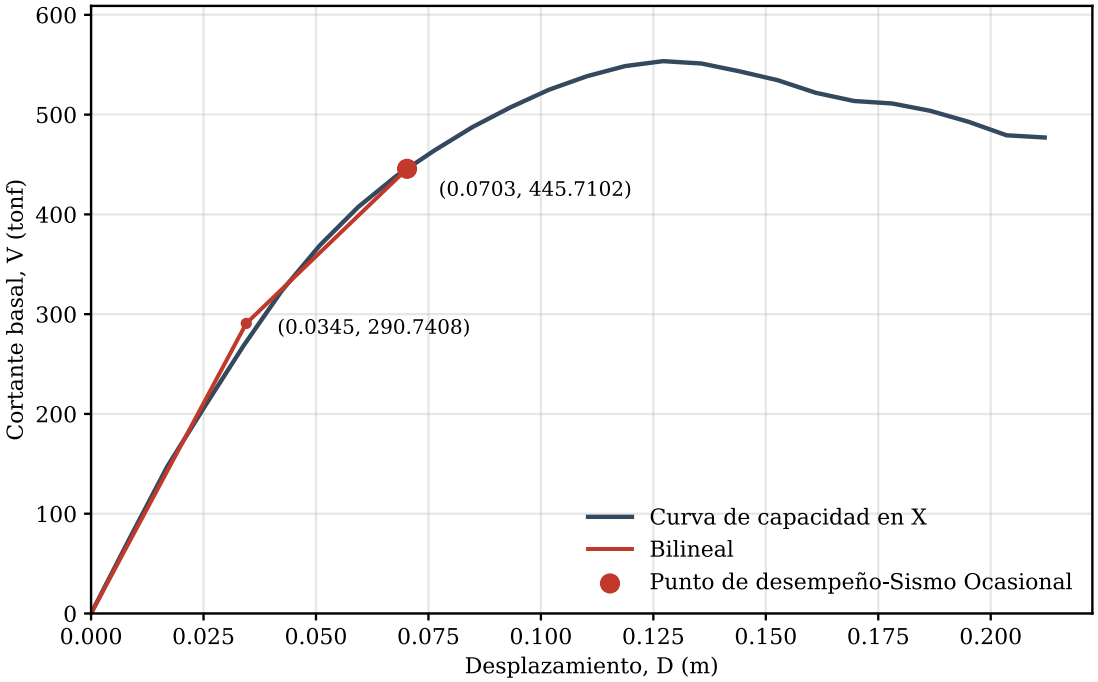
Fuente: Elaboración propia.

Figura 63: Punto de desempeño para Sismo Raro en dirección X según ASCE 41-13



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64: Punto de desempeño para Sismo ocasional en dirección X según ASCE 41-13



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 69 se visualiza la comparación de resultados del punto de desempeño según el método de los coeficientes para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección X, observándose una buena correlación entre los valores obtenidos por Etabs v22 y el procedimiento manual. Con esta tabla se verifica que los resultados proporcionados por Etabs v22 son confiables.

Tabla 69: Resumen comparativo de PD. manual vs Etabs v22 en dirección X según ASCE 41-13

Comparación de Punto de desempeño		
Demanda	**Manual**	**Etabs v22**
Sismo muy raro en dirección X	$\delta_t = 0.18685\ m$	$\delta_t = 0.18328\ m$
	$V_t = 503.4426\ tonf$	$V_t = 506.6794\ tonf$
Sismo raro en dirección X	$\delta_t = 0.14614\ m$	$\delta_t = 0.1461\ m$
	$V_t = 541.3046\ tonf$	$V_t = 541.1619\ tonf$
Sismo Ocasional en dirección X	$\delta_t = 0.07025\ m$	$\delta_t = 0.0687\ m$
	$V_t = 445.7102\ tonf$	$V_t = 440.9975\ tonf$

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Evaluación del desempeño sísmico

Para sectorizar la curva de capacidad según comité VISION 2000 de la SEAOC, se debe de calcular el desplazamiento de fluencia efectivo, con la cual se determina el punto donde la estructura comienza a incursionar en el rango inelástico. Este punto de fluencia se obtiene al trazar una curva bilineal cuya área debajo debe ser igual al área debajo de la curva de capacidad. Aguiar (2003) menciona que existen varios métodos para trazar la curva bilineal:

- Método de la rigidez tangente Horizontal.
- Método de las rigideces tangentes.
- Métodos de las áreas iguales.
- Ajuste por mínimos cuadrados.

Para la presente investigación, se usa el criterio de las áreas iguales. Cabe destacar que la recta que corresponde al rango elástico interseca a la curva de capacidad en 0.6Vy, por lo que se trabaja con una rigidez secante; además se sugiere usar trapecios elementales para calcular el área debajo de la curva de capacidad e igualar el área debajo de la Bilineal mediante iteraciones con el objetivo de determinar el desplazamiento efectivo o desplazamiento de fluencia Δ_e(Aguiar, 2003).

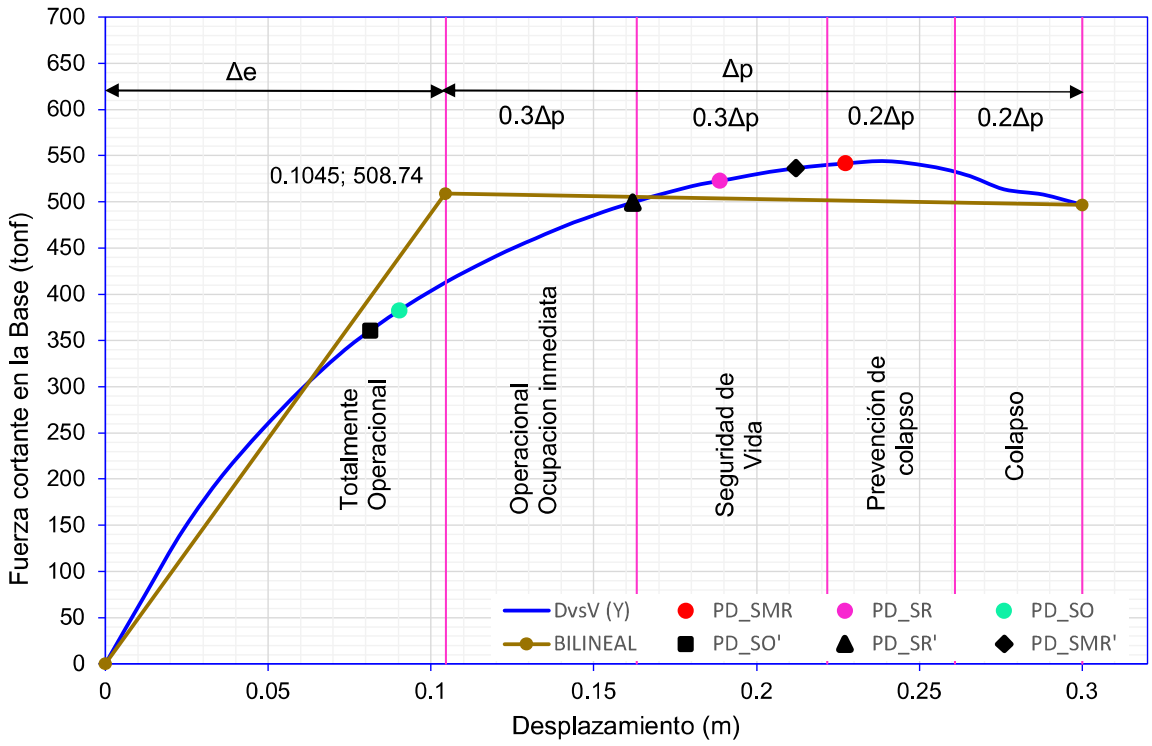
La sectorización de la curva de capacidad según el comité VISION 2000 es de la siguiente manera:

-Desde 0 hasta Δ_e= TOTALMENTE OPERACIONAL
-Desde Δ_e hasta $\Delta_e + 0.3\Delta_p$= OPERACIONAL-OCUPACIÓN INMEDIATA
-Desde $(\Delta_e + 0.3\Delta_p)$ hasta $(\Delta_e + 0.6\Delta_p)$ =SEGURIDAD DE VIDA
-Desde $(\Delta_e + 0.6\Delta_p)$ hasta $(\Delta_e + 0.8\Delta_p)$ =PREVENCIÓN DE COLAPSO
-Desde $(\Delta_e + 0.8\Delta_p)$ hasta $(\Delta_e + \Delta_p)$ = COLAPSO

En la Figura 65 se ilustra el punto de desempeño según el método del espectro de capacidad propuesto por FEMA 440 y el método de los coeficientes propuesto por ASCE 41-13 para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección Y. Se puede observar que el método de linealización equivalente modificado del FEMA 440 tiende a estimar mayores desplazamientos en el punto de desempeño en comparación con el método de los coeficientes, debido la incorporación del amortiguamiento efectivo asociado a la disipación de energía histerética. Los puntos de desempeño se diferencian de la siguiente manera:

● ● ● Puntos de desempeño según FEMA 440.
■ ▲ ◆ Puntos de desempeño según ASCE 41-13.

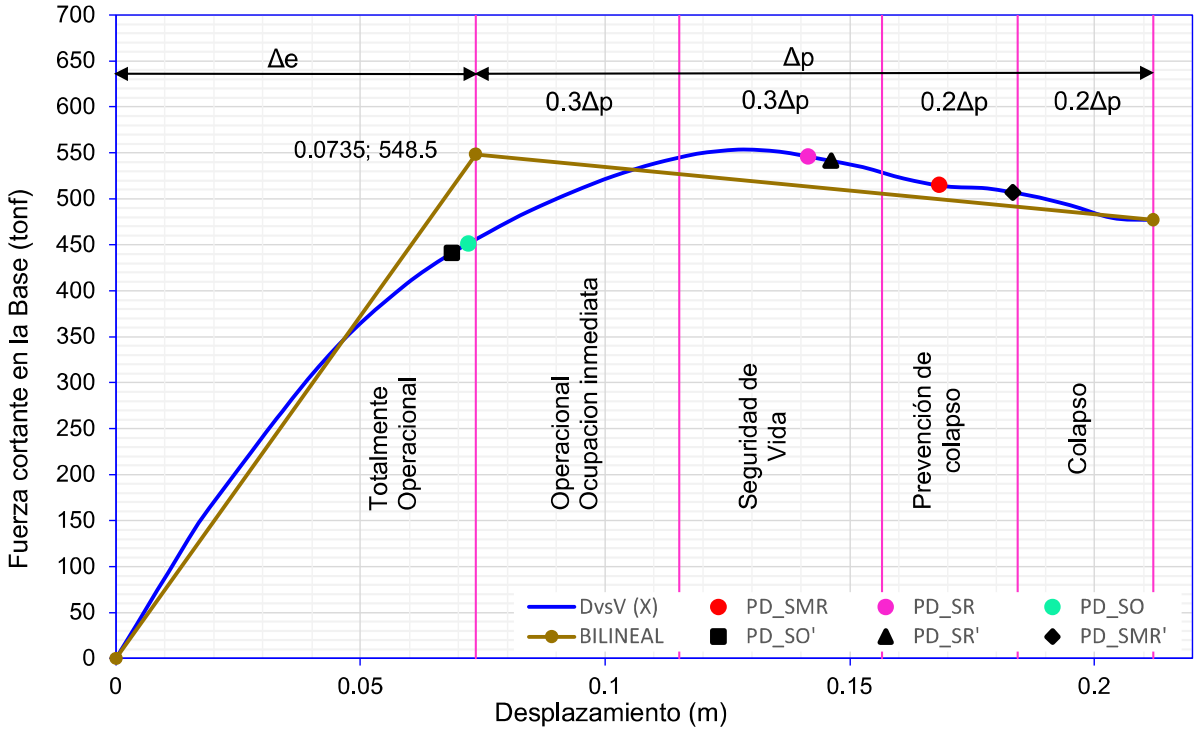
Figura 65: Punto de desempeño según FEMA 440 y ASCE 41-13 en dirección Y.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 66 se ilustra el punto de desempeño según el método del espectro de capacidad propuesto por FEMA 440 y el método de los coeficientes propuesto por ASCE 41-13 para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección X. Se puede apreciar que el método propuesto por FEMA 440 arrojó desplazamientos ligeramente menores al método de los coeficientes, lo que significa que FEMA 440 conduce a una evaluación más conservadora del desempeño.

Figura 66: Punto de desempeño según FEMA 440 y ASCE 41-13 en dirección X.

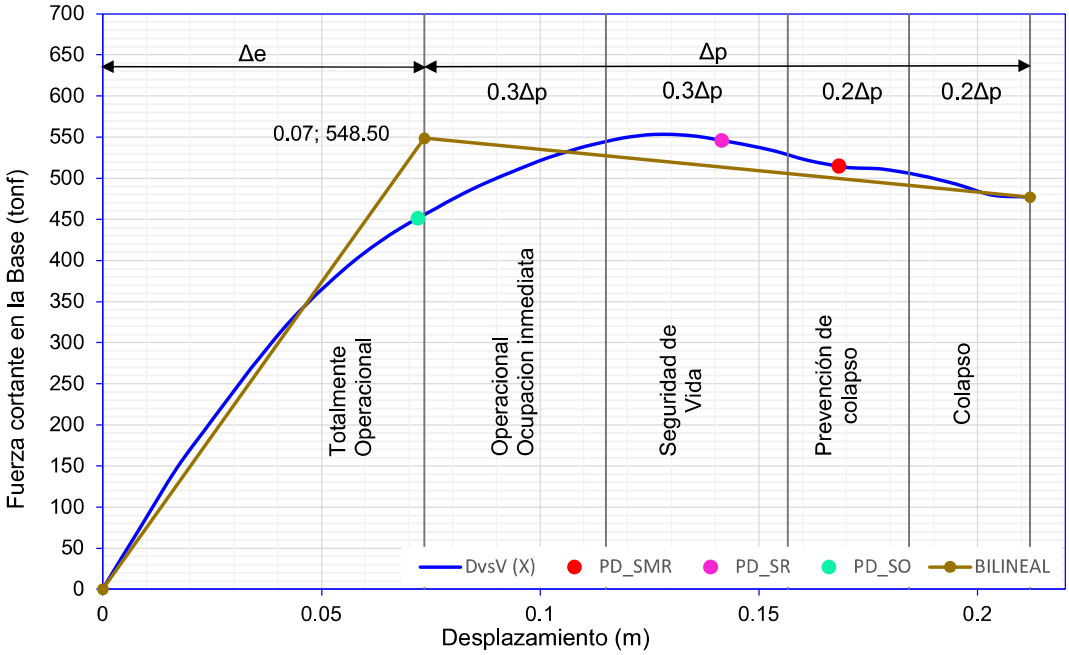


Fuente: Elaboración propia.

Para esta presente investigación, en la comparación de los puntos de desempeño obtenidos mediante los procedimientos establecidos por FEMA 440 y ASCE 41-13, se observa que el método basado en FEMA 440 puede conducir a mayores desplazamientos respecto a los obtenidos con ASCE 41-13, pero no siempre. Por un lado, FEMA 440 introduce modificaciones al método del espectro de capacidad lo cual desplaza el punto de desempeño hacia regiones de mayor deformación. Por otro lado, ASCE 41-13 emplea procedimientos más refinados, como el método de coeficientes que incorporan factores de modificación calibrados que pueden conducir a desplazamientos más moderados. Por lo que se adoptará los puntos de desempeño dado por el FEMA 440 cuyos desplazamientos son más conservadores.

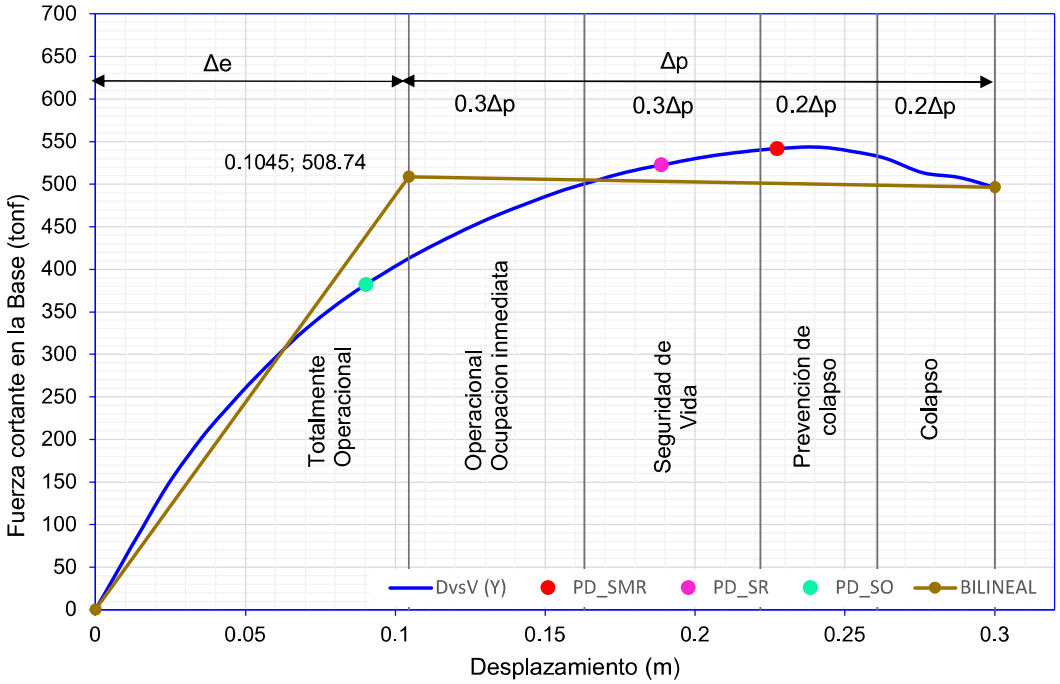
En la Figura 67 y Figura 68 se presenta la sectorización de la curva de capacidad, en la cual se muestra los puntos de desempeño para Sismo ocasional, Sismo raro y Sismo muy raro en la dirección X e Y respectivamente según FEMA 440 , donde se puede distinguir que para sismos ocasionales el punto de desempeño esta dentro del nivel de desempeño Totalmente operacional lo cual es aceptable, sin embargo para sismos raros y muy raros el nivel de desempeño de la edificación se encuentra en el nivel seguridad de vida (LS) y prevención de colapso respectivamente(CP) los cuales no corresponden a los objetivos de desempeño según vision 2000.

Figura 67: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección X.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección Y.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 70, se pintan los recuadros con color verde para señalar los objetivos de desempeño esperados para una edificación esencial y los X para indicar los objetivos de desempeño encontrados de la edificación en cuestión.

Tabla 70: Objetivos de desempeño deseado y alcanzado por la edificación.

DEMANDA SÍSMICA	NIVELES DE DESEMPEÑO				
	Totalmente Operacional	Operacional (OI)	Seguridad de vida	Prevención de colapso	Colapso
Sismo Frecuente					
Sismo Ocasional	x				
Sismo Raro			x		
Sismo Muy raro				x	

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de desempeño de la edificación para Sismo ocasional está en el rango Totalmente Operacional lo cual es conforme; presenta daño estructural despreciable y los servicios están operativos.

El nivel de desempeño de la edificación para Sismo raro está en el rango Seguridad de vida lo cual es inaceptable; el edificio presenta daños en elementos no estructurales y puede necesitar un cierre temporal.

El nivel de desempeño de la edificación para Sismo muy raro se encuentra en la zona de Prevención de colapso, lo cual es inaceptable; el edificio presenta daño severo en elementos estructurales que podría ameritar la demolición del edificio en cuestión.

Por lo tanto, es indispensable plantear una propuesta de reforzamiento estructural con el objetivo de satisfacer los criterios establecidos por el comité VISION 2000.

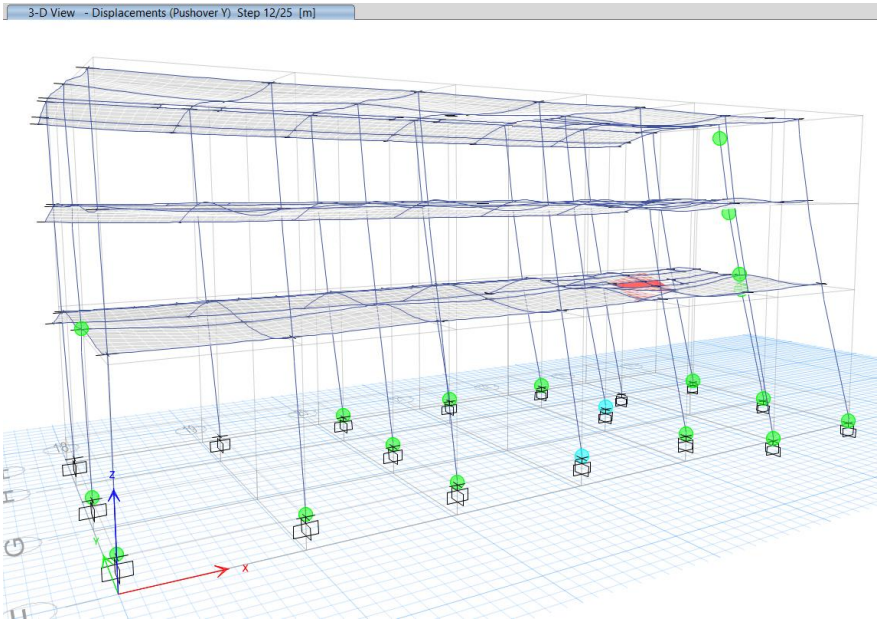
4.1.8 Evaluación de elementos estructurales

Durante el análisis Pushover, se observa que la incursión inelástica se inicia predominantemente en la base de las columnas del 1er nivel tal como se muestra en la Figura 69 , donde se evidencia concentración de daño estructural representada en la plastificación prematura de columnas. Por otro lado, las vigas permanecen mayormente en el rango elástico por ausencia de plastificación y tienen poca participación en la disipación de energía. En la Figura 70 se visualiza el patrón que indica claramente un mecanismo de falla de piso débil o columna débil-viga fuerte, lo cual no cumple el diseño por capacidad que busca garantizar la formación de plastificación en vigas como mecanismo principal de disipación de energía.

Asimismo, en la Figura 69 se puede observar la formación de rótulas plásticas de color verde para representar el daño estructural en el nivel “IO-Ocupación inmediata” lo cual indica micro

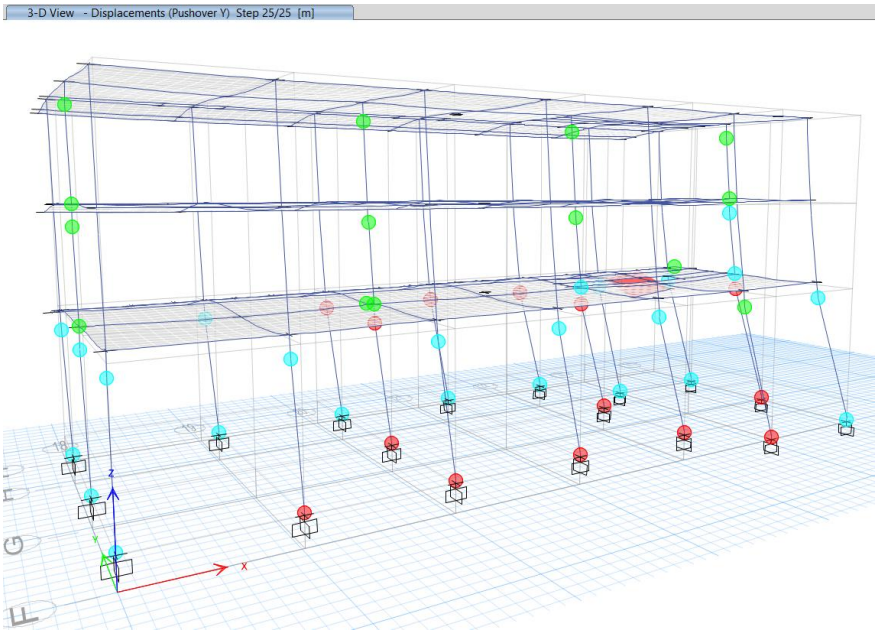
fisuración y el inicio de agrietamiento del concreto, inicio de fluencia en algunas barras longitudinales, sin embargo, no hay participación de vigas lo que indica poca capacidad de disipación de energía.

Figura 69: Plastificación prematura de columnas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 70: Aplastamiento severo y pérdida de confinamiento en columnas.



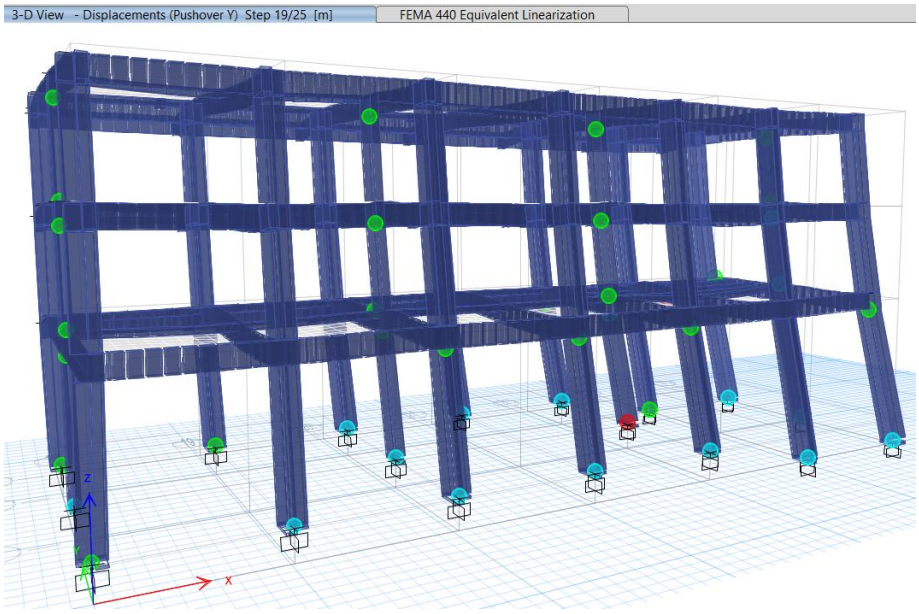
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 70 se visualiza la formación de rótulas plásticas de color rojo para representar el daño estructural en el nivel "CP-prevención de colapso" lo cual representa la degradación de la rigidez y concentración de daño severo caracterizada por el aplastamiento severo y pérdida de

confinamiento en las columnas como también deformaciones plásticas significativas en las fibras de acero. Este patrón confirma la falla tipo columna débil-viga fuerte donde la demanda sísmica no puede ser redistribuida a las vigas y es absorbida principalmente por las columnas.

Para poder representar el estado de daño real de la edificación bajo el nivel sísmico según formación de rótulas, se tomará como ejemplo el paso donde se determinó el punto de desempeño para el sismo muy raro en la dirección Y, lo cual ocurre en el step 19 aproximadamente tal como se mostró en la Figura 43. En la Figura 71 se visualiza el estado de plastificación para el step 19 donde se evidencia la formación de una rótula plástica de color rojo para representar el daño estructural en el nivel "CP-prevención de colapso" de una columna estructural; ésta es la clara evidencia del nivel de desempeño global de la edificación, obtenida a través de la sectorización de la curva de capacidad según VISION 2000 tal como se visualizó en la Figura 68, que ratifica que la edificación en mención se encuentra en el nivel Prevención de colapso para el sismo muy raro en dirección Y.

Figura 71: Estado de daño para sismo muy raro en dirección Y

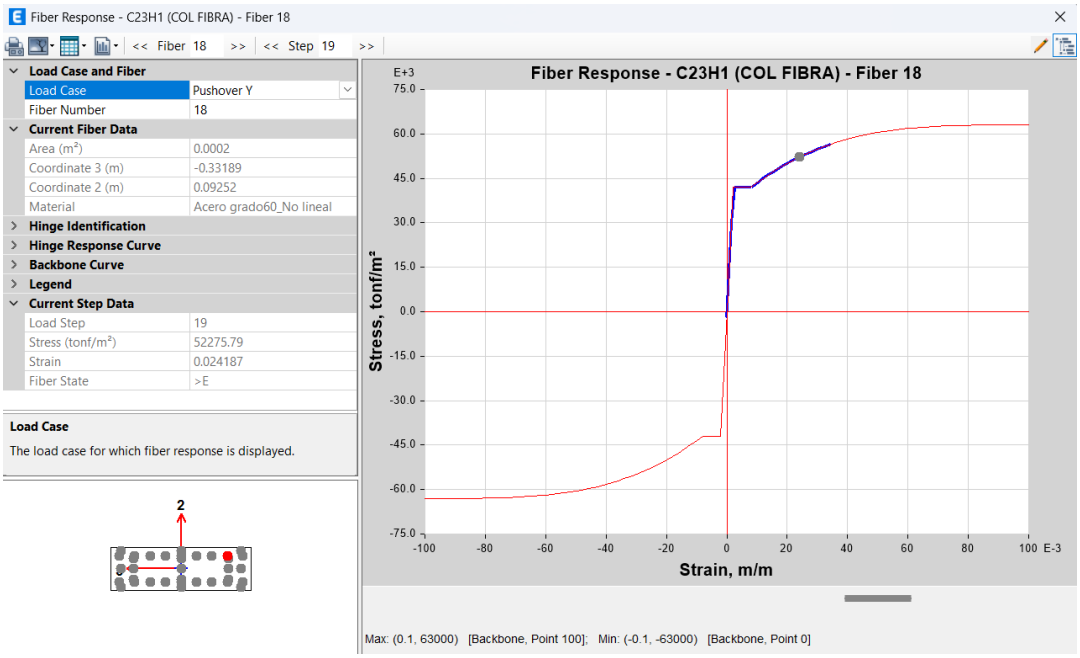


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 72 muestra el historial de deformaciones de la fibra 18 (acero), además se visualiza el estado de la fibra en el step 19, correspondiente al punto de desempeño para sismo muy raro en dirección Y, donde la fibra registró una deformación unitaria de ε_s= 0.024187 m/m. Este valor sitúa a la fibra en el estado denominado >E según la clasificación de Etabs v22, basada en los criterios de ASCE 41-17, lo que implica que la deformación supera la deformación unitaria última

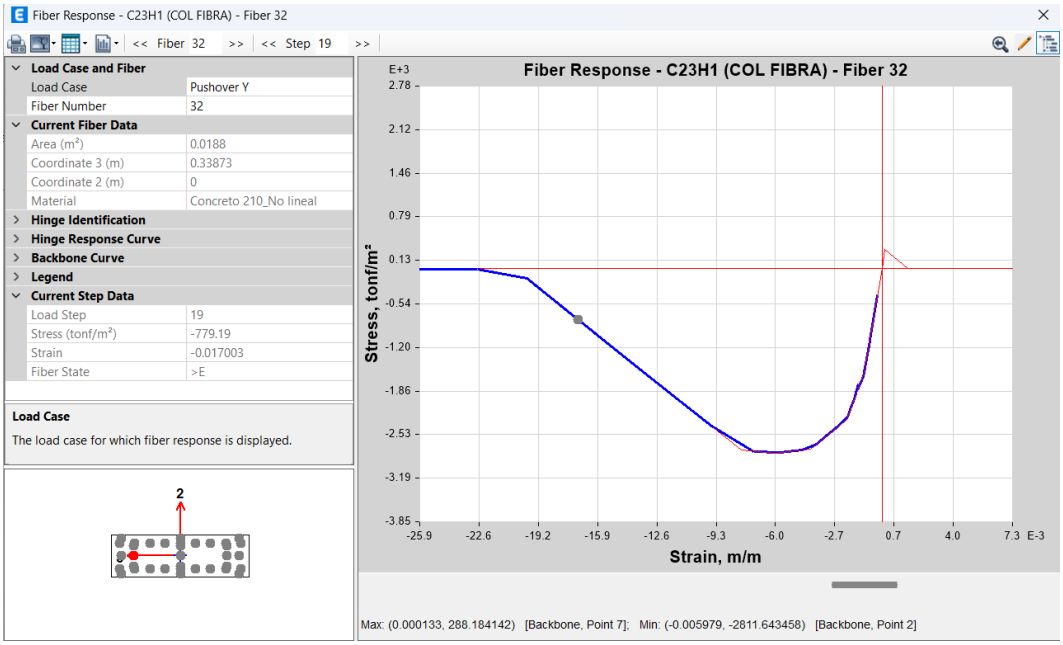
(ε_{su}) definida en la curva backbone del material. El estado >E se ubica más allá del nivel de Prevención de Colapso (CP), indicando que la capacidad deformacional de la fibra ha sido excedida, lo que implica la posibilidad de fractura del acero.

Figura 72: Estado de una fibra de acero de columna 30x100 para el sismo muy raro en dirección Y.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 73: Estado de una fibra de concreto de columna 30x100 para el sismo muy raro en dirección Y.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 73 muestra el historial de deformaciones de la fibra 32 (concreto), además se visualiza el estado de la fibra en el step 19 correspondiente al punto de desempeño para sismo muy raro

en dirección Y donde la fibra registró una deformación unitaria de $\varepsilon = -0.017003$ m/m (compresión) hallándose igualmente en el estado >E. La curva esfuerzo-deformación de la fibra indica una rama descendente pronunciada post-pico, con pérdida significativa de la resistencia a compresión, lo cual es indicativo de aplastamiento del concreto y degradación severa.

4.1.9 Reforzamiento y desempeño

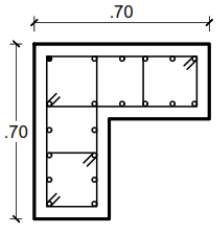
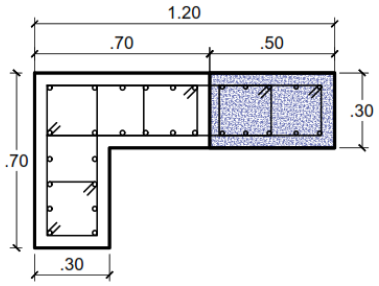
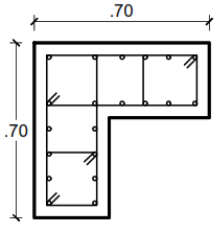
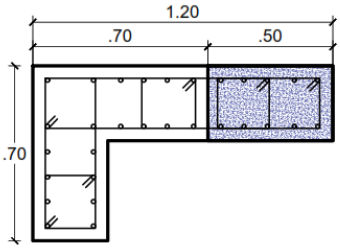
Debido a las deficiencias estructurales que presenta la edificación en cuestión se presentan dos alternativas de reforzamiento con tal de alcanzar los objetivos de desempeño según el comité vision 2000. Se implementa el reforzamiento en la dirección X-X e Y-Y de acuerdo a la Tabla 71.

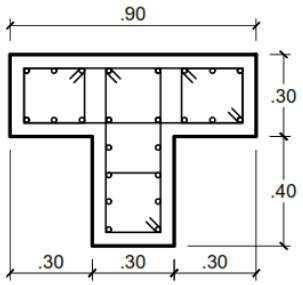
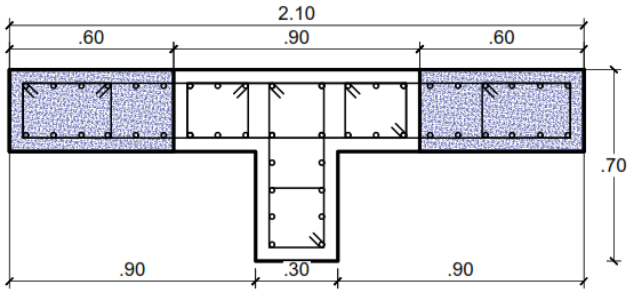
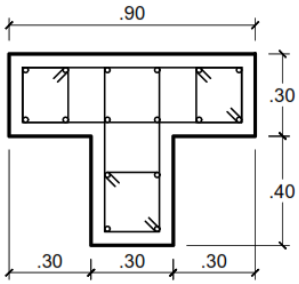
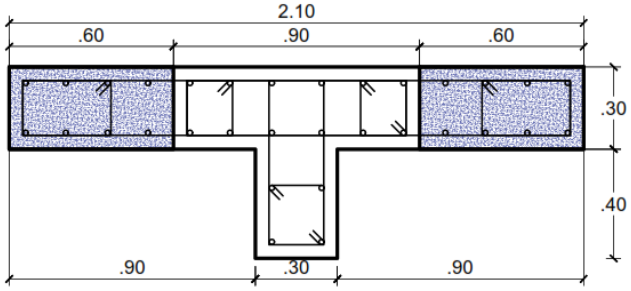
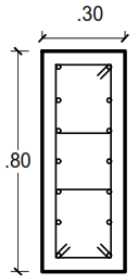
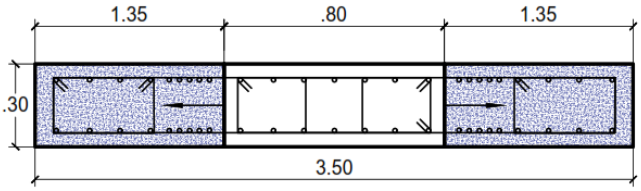
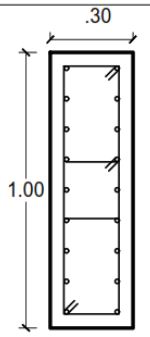
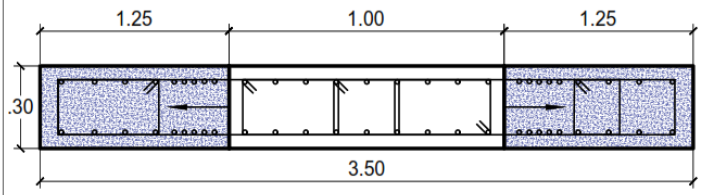
Tabla 71: Columnas a reforzar.

Dirección	Columna	Ubicación	N° de columnas
Y	M2-C7	Eje 18-18, Eje 24-24	2
	M2-C6	Eje 20-20, Eje 22-22	2
X	M2-C2	Eje H-H	2
	M2-C3	Eje F-F	2
	M2-C4	Eje H-H	2
	M2-C5	Eje F-F	2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 74: Cuadro de columnas y Reforzamiento 1

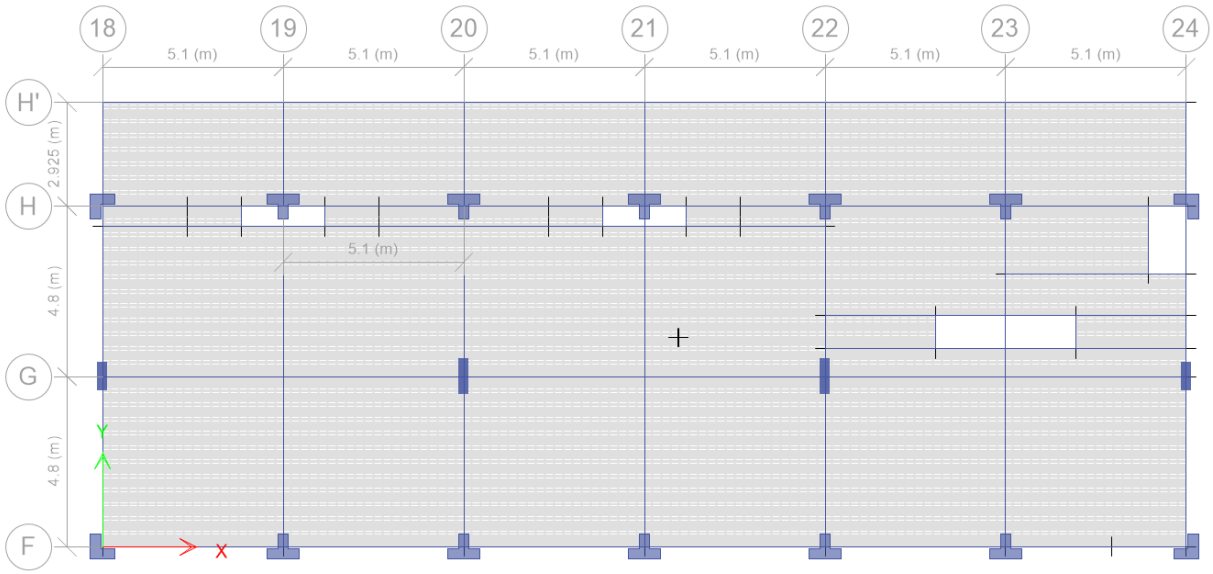
	CUADRO DE COLUMNAS	REFORZAMIENTO DE COLUMNAS
DIMENSIONES		
ESTRIBOS	4 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	6 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
ACERO	20 Ø 3/4"	30 Ø 3/4"
COLUMNA	M2-C4	M2-C4-R
DIMENSIONES		
ESTRIBOS	4 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	6 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
ACERO	20 Ø 5/8"	30 Ø 5/8"
COLUMNA	M2-C5	M2-C5-R

DIMENSIONES		
ESTRIBOS	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	8 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
ACERO	24 Ø 3/4"	48 Ø 3/4"
COLUMNA	M2-C2	M2-C2-R
DIMENSIONES		
ESTRIBOS	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	8 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
ACERO	16 Ø 3/4"	32 Ø 3/4"
COLUMNA	M2-C3	M2-C3-R
DIMENSIONES		
ESTRIBOS	3 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
ACERO	14 Ø 5/8"	62 Ø 5/8"
COLUMNA	M2-C7	M2-C7-R
DIMENSIONES		
ESTRIBOS	3 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
ACERO	18 Ø 5/8"	62 Ø 5/8"
COLUMNA	M2-C6	M2-C6-R

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 75 se muestra la configuración estructural inicial del bloque 2.

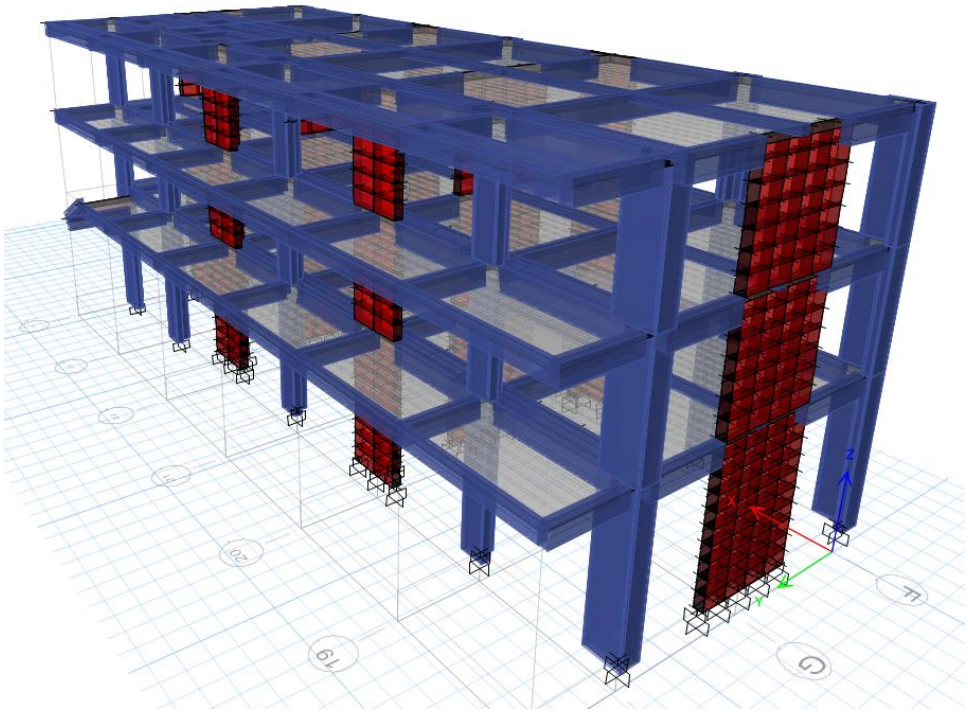
Figura 75: Distribución de columnas en planta según ejecución.



Fuente: Extraído de Etabs v22.

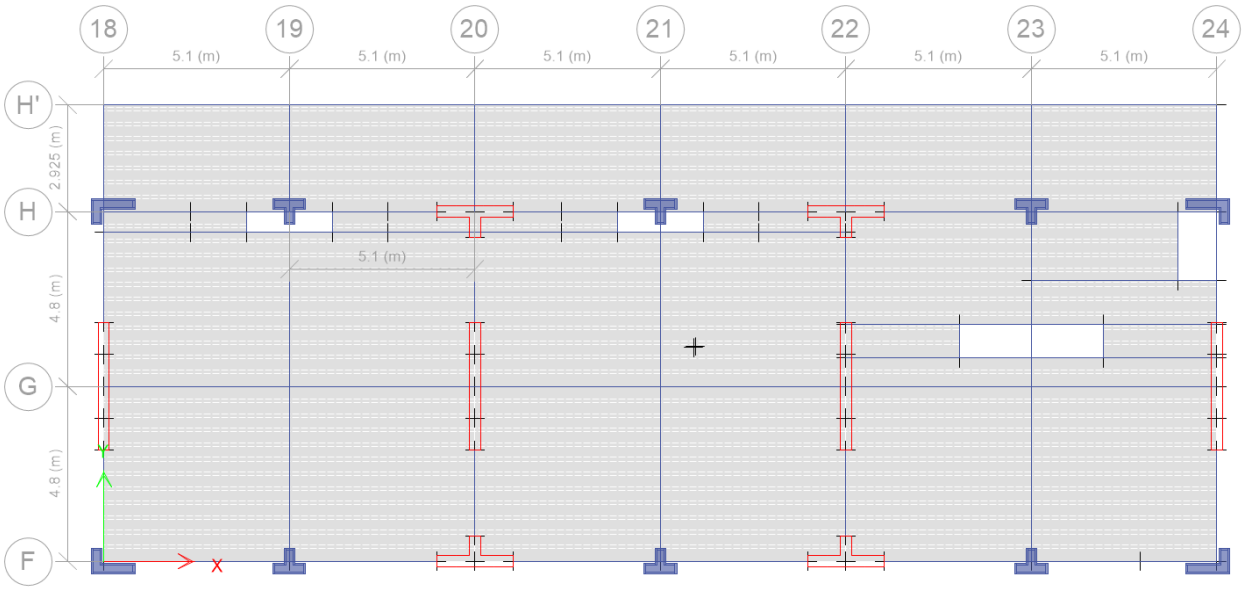
Con la implementación del sistema reforzado 1(ver Figura 76 y Figura 77), el sistema original pasa de un sistema aporticado (R=8) a un sistema Dual (R=7) en la dirección X y a un sistema de muros estructurales (R=6) en la dirección Y.

Figura 76: Sistema reforzado 1_Vista 3D



Fuente: Extraído de Etabs v22.

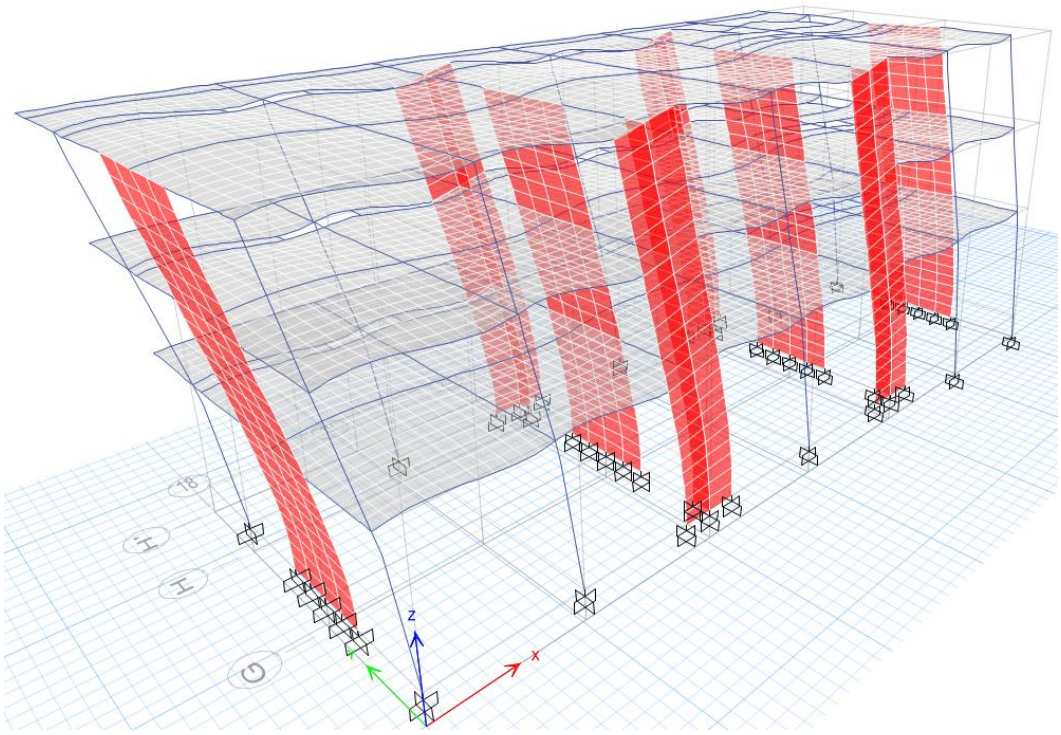
Figura 77: Sistema reforzado 1_vista en planta



Fuente: Extraído de Etabs v22.

A continuación, se muestran los modos de vibración predominantes del sistema reforzado 1 con su respectivo periodo. El modo fundamental consta de un periodo de $T = 0.354\ s$

Figura 78: Desplazamiento por modo de vibración 1 , $T_X = 0.354\ s$



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 79: Desplazamiento por modo de vibración 2 , $T_Y = 0.294\ s$

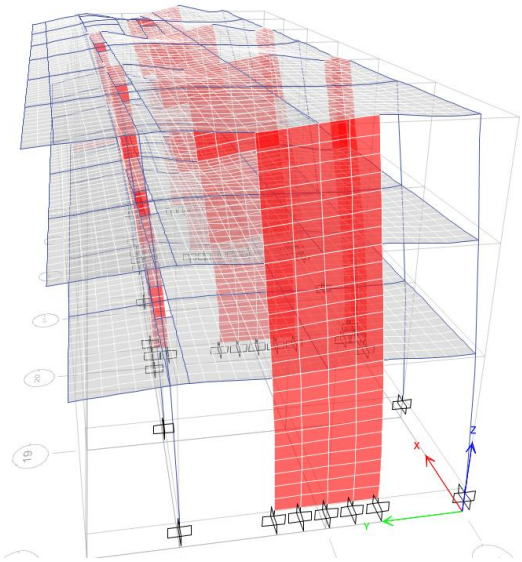
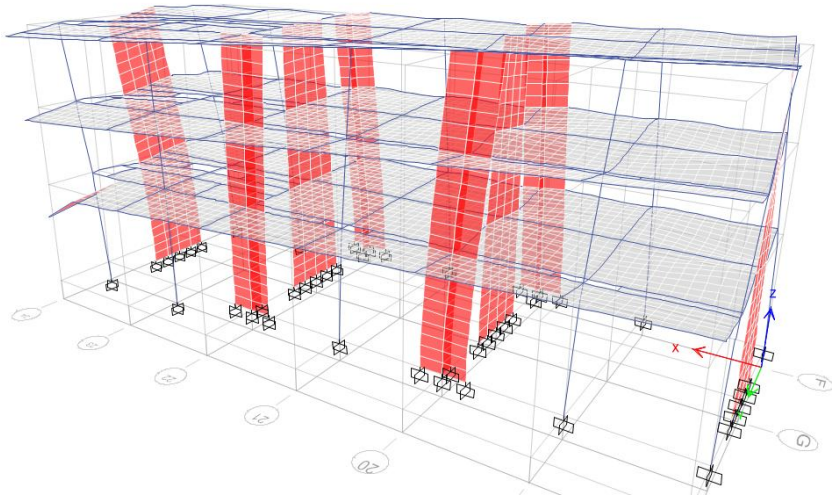


Figura 80: Desplazamiento por modo de vibración 3, $T_Z = 0.246\ s$



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Las derivas inelásticas resultantes están dentro del límite permisible según la Tabla 72.

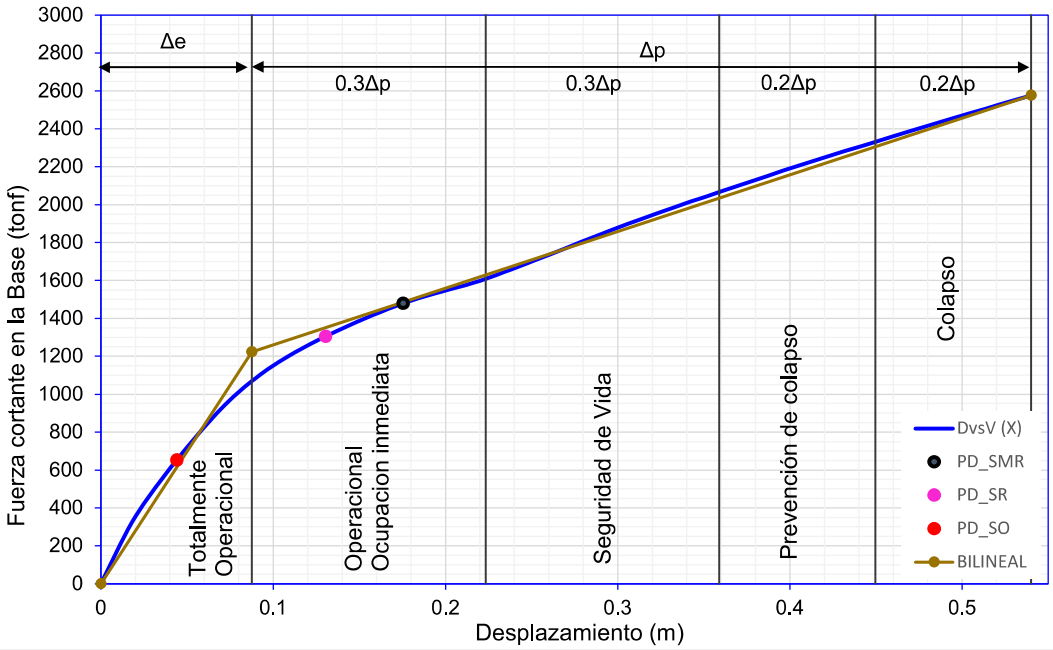
Tabla 72: Derivas inelásticas de sistema reforzado 1.

Direc.	Piso	D_e	$D_i = D_e\ (0.75 * R)$	D_{perm}	$D_i < D_{perm}$ *¿Cumple?*
X	Story3	0.000576	0.003024	0.0007	SI
	Story2	0.000648	0.003402	0.0007	SI
	Story1	0.000372	0.001953	0.0007	SI
Direc.	Piso	D_e	$D_i = D_e\ (0.85 * R)$	D_{perm}	$D_i < D_{perm}$ *¿Cumple?*
Y	Story3	0.000884	0.0033813	0.0007	SI
	Story2	0.000921	0.003522825	0.0007	SI
	Story1	0.000561	0.002145825	0.0007	SI

Fuente: Extraído de Etabs v22.

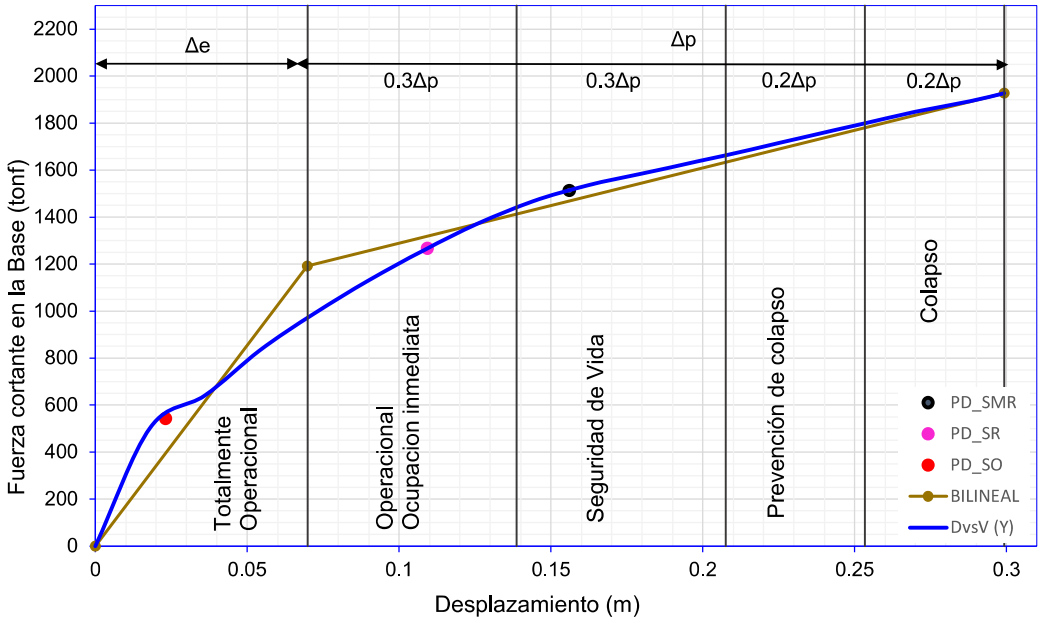
En la Figura 81 y Figura 82 y se aprecia la sectorización de la curva de capacidad para el sistema reforzado 1, en la cual se distingue los puntos de desempeño para Sismo ocasional, Sismo raro y Sismo muy raro en la dirección X y dirección Y respectivamente.

Figura 81: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección X.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 82: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección Y.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 73 , se pintan los recuadros con color verde para señalar los objetivos de desempeño esperados para una edificación esencial y los X para indicar los objetivos de desempeño alcanzado por la edificación para los diferentes niveles de peligro sísmico; donde se puede apreciar que el sistema reforzado 1 cumple los criterios de niveles de desempeño establecidos por el comité VISION 2000 de la SEAOC.

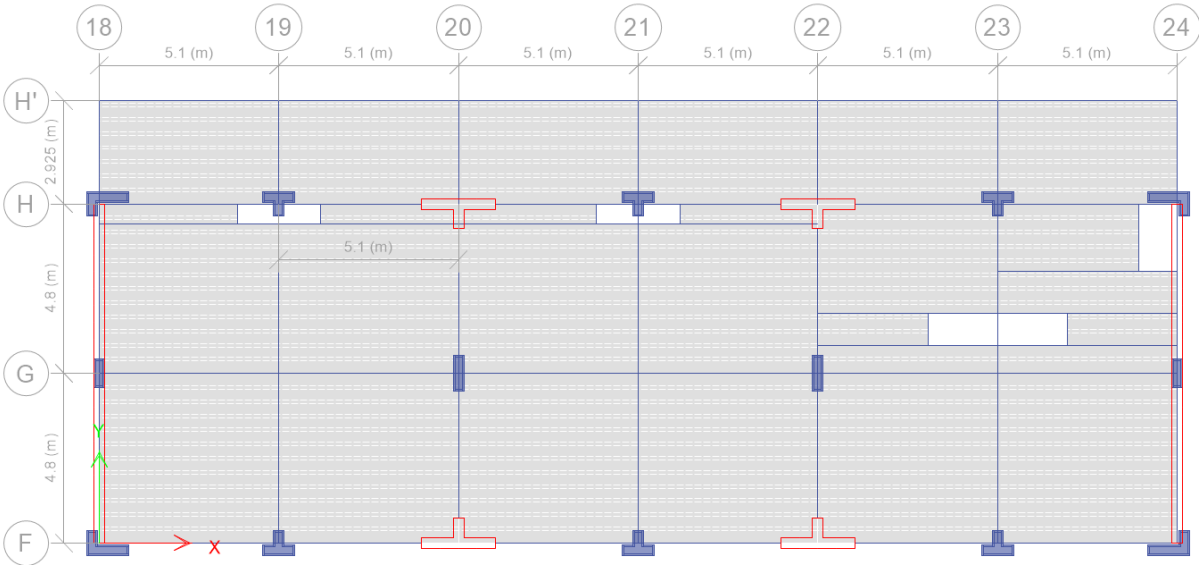
Tabla 73: Objetivos de desempeño deseado y alcanzado por Sistema reforzado 1-dirección x e y

DEMANDA SÍSMICA	**NIVELES DE DESEMPEÑO-DIRECCIÓN X**				
	Totalmente Operacional	Operacional (OI)	Seguridad de vida	Prevención de colapso	Colapso
Sismo Frecuente					
Sismo Ocasional	x				
Sismo Raro		x			
Sismo Muy raro		x			
DEMANDA SÍSMICA	**NIVELES DE DESEMPEÑO-DIRECCIÓN Y**				
	Totalmente Operacional	Operacional (OI)	Seguridad de vida	Prevención de colapso	Colapso
Sismo Frecuente					
Sismo Ocasional	x				
Sismo Raro		x			
Sismo Muy raro			x		

Fuente: Elaboración propia.

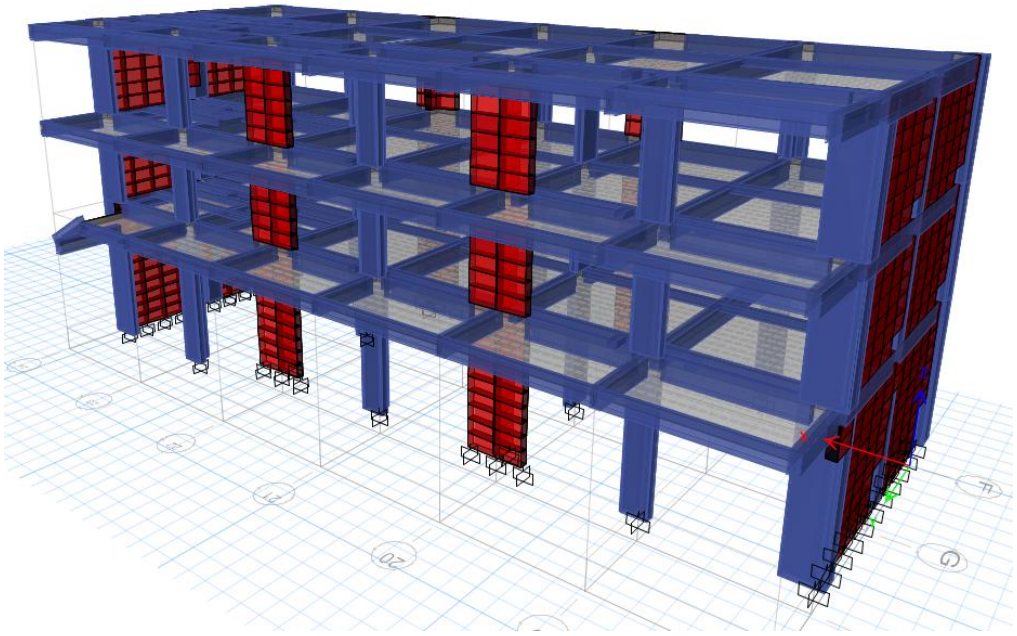
Con la implementación del sistema reforzado 2(ver Figura 83 y Figura 84), el sistema original pasa de un sistema aporticado (R=8) a un sistema Dual (R=7) en la dirección X y a un sistema de muros estructurales (R=6) en la dirección Y.

Figura 83: Sistema reforzado 2_vista en planta



Fuente: Extraído de Etabs v22.

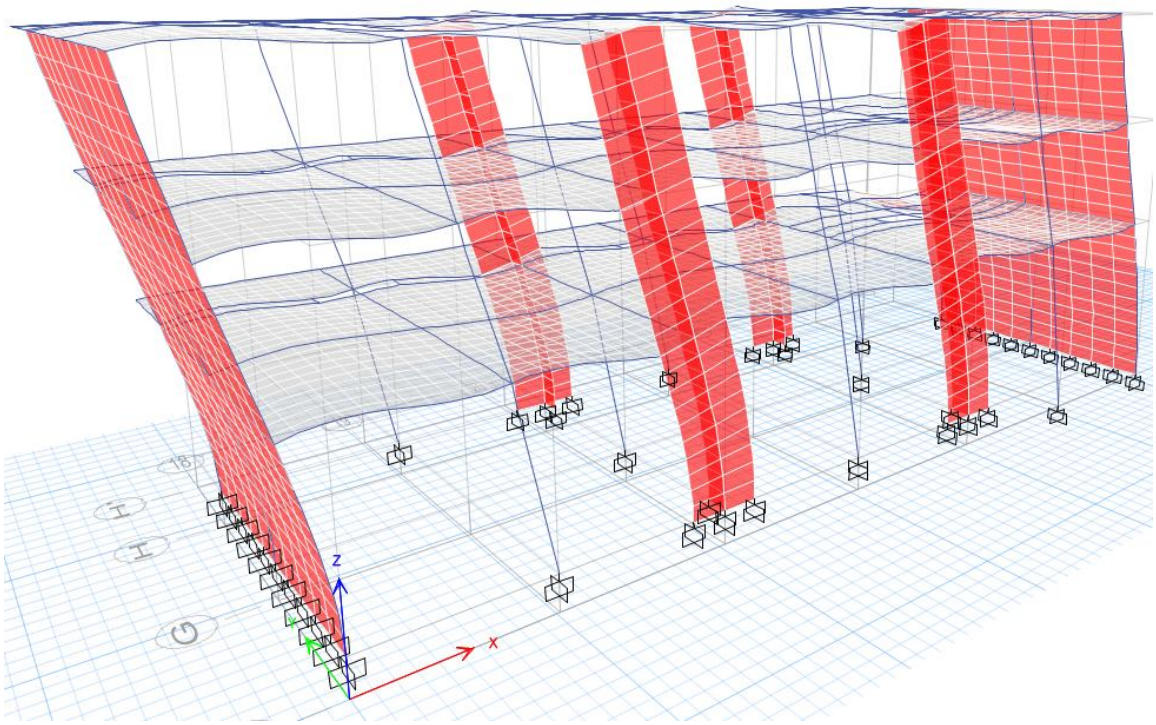
Figura 84: Sistema reforzado 2_vista 3D



Fuente: Extraído de Etabs v22.

A continuación, se muestran los modos de vibración predominantes del sistema reforzado 2 con su respectivo periodo. El modo fundamental consta de un periodo de $T = 0.364\ s$

Figura 85: Desplazamiento por modo de vibración 1 , $T_X = 0.364\ s$



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Figura 86: Desplazamiento por modo de vibración 2, $T_Y = 0.132\ s$

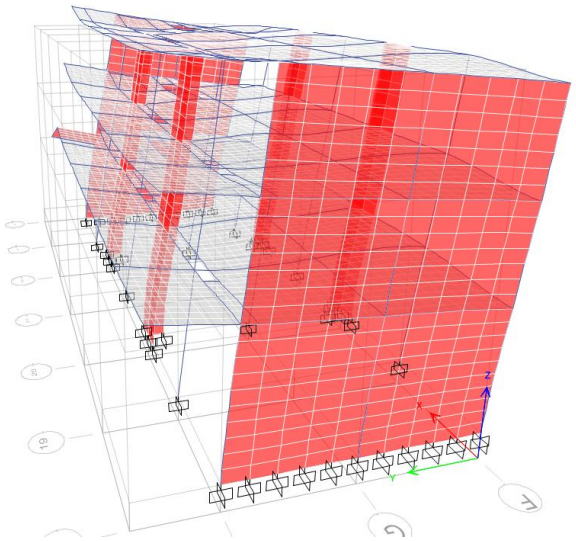
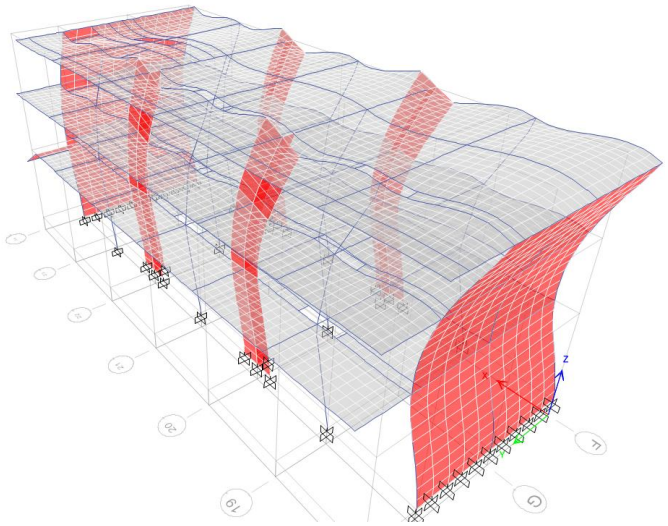


Figura 87: Desplazamiento por modo de vibración 3, $T_Z = 0.097\ s$



Fuente: Extraído de Etabs v22.

Las derivas inelásticas resultantes están dentro del límite permisible según la Tabla 74.

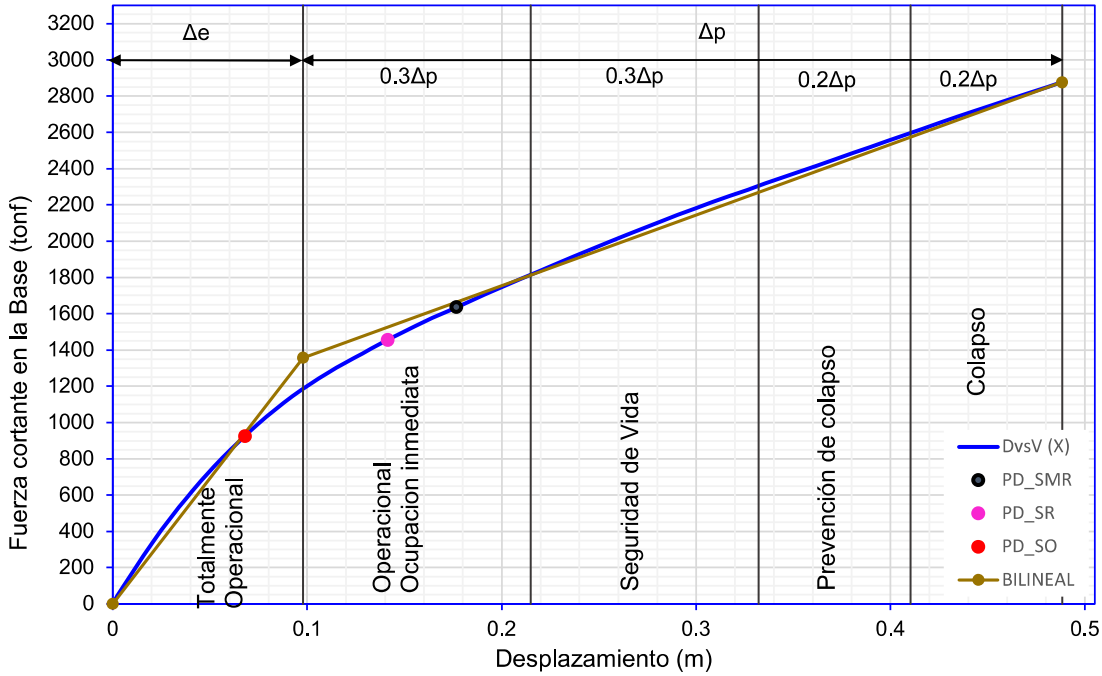
Tabla 74: Derivas inelásticas de sistema reforzado 2**.**

Direc.	Piso	D_e	$D_i = D_e\ (0.75 * R)$	D_{perm}	$D_i < D_{perm}$ *¿Cumple?*
X	Story3	0.000568	0.002982	0.0007	SI
	Story2	0.000646	1.92637E-06	0.0007	SI
	Story1	0.000387	7.45506E-10	0.0007	SI
Direc.	Piso	D_e	$D_i = D_e\ (0.75 * R)$	D_{perm}	$D_i < D_{perm}$ *¿Cumple?*
Y	Story3	9.90E-05	0.0004455	0.0007	SI
	Story2	0.000115	5.1233E-08	0.0007	SI
	Story1	9.10E-05	4.6622E-12	0.0007	SI

Fuente: Extraído de Etabs v22.

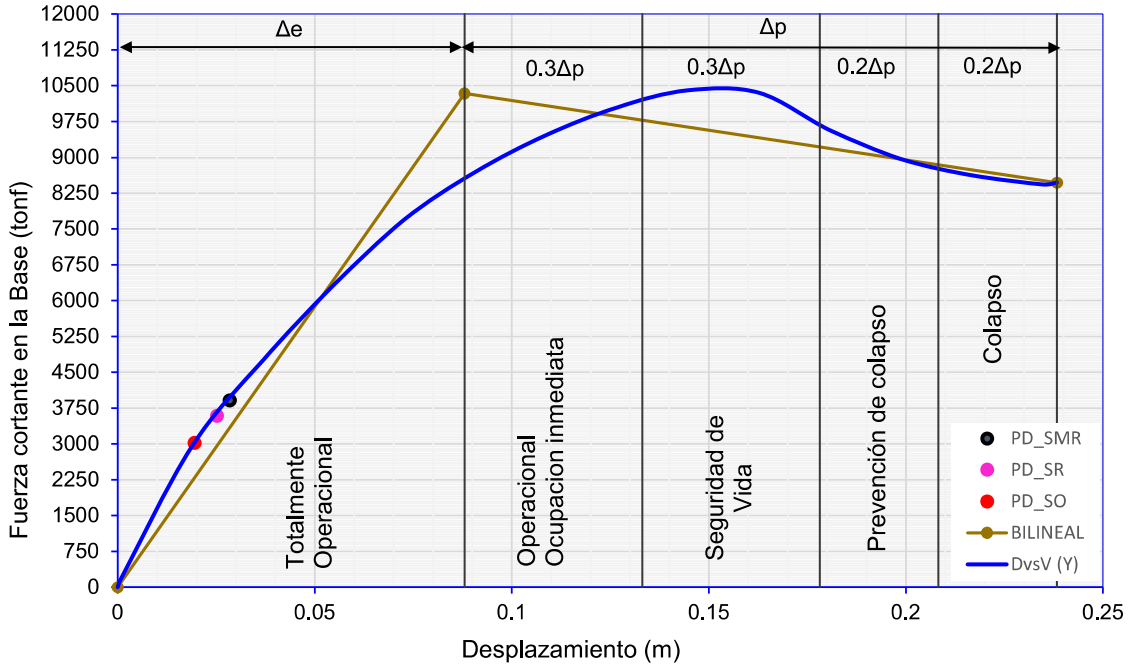
En la Figura 88 y Figura 89 se muestra la sectorización de la curva de capacidad para el sistema reforzado 2, donde se observa los puntos de desempeño para Sismo ocasional, Sismo raro y Sismo muy raro en la dirección X y dirección Y respectivamente.

Figura 88: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección X.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 89: Puntos de desempeño en la curva de capacidad sectorizada-Dirección Y.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 75, se pintan los recuadros con color verde para señalar los objetivos de desempeño esperados para una edificación esencial y los X para indicar los objetivos de desempeño alcanzado por la edificación para los diferentes niveles de peligro sísmico; donde se puede apreciar que el sistema reforzado 2 cumple satisfactoriamente los criterios de niveles de desempeño para una edificación esencial establecidos por el comité VISION 2000 de la SEAOC.

Tabla 75: Objetivos de desempeño deseado y alcanzado por Sistema reforzado 2-dirección x e y

DEMANDA SÍSMICA	**NIVELES DE DESEMPEÑO-DIRECCIÓN X**				
	Totalmente Operacional	Operacional (OI)	Seguridad de vida	Prevención de colapso	Colapso
Sismo Frecuente					
Sismo Ocasional	**x**				
Sismo Raro		**x**			
Sismo Muy raro		**x**			
DEMANDA SÍSMICA	**NIVELES DE DESEMPEÑO-DIRECCIÓN Y**				
	Totalmente Operacional	Operacional (OI)	Seguridad de vida	Prevención de colapso	Colapso
Sismo Frecuente					
Sismo Ocasional	**x**				
Sismo Raro	**x**				
Sismo Muy raro	**x**				

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Contrastación de Hipótesis

4.2.1 Hipótesis general

El desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH es inaceptable frente a diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité VISION 2000 de la SEAOC.

Regla de decisión: Se comparan las matrices de desempeño de la edificación y las matrices de desempeño para una edificación esencial establecidos por el comité VISION 2000.

Decisión: Se valida la hipótesis general, debido a que los resultados reflejan un desempeño deficiente e inaceptable para diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité VISION 2000.

4.2.2 Hipótesis específicas

1. Los puntos de desempeño obtenidos mediante la normativa FEMA 440 no cumplen con los niveles de desempeño objetivo establecidos para edificaciones esenciales según los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC, frente a diferentes niveles de demanda sísmica.

Regla de decisión: Se evaluará los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440, al ser ubicados sobre la curva de capacidad sectorizada según VISION 2000, para verificar si cumplen con los niveles de desempeño objetivo establecidos para cada nivel de demanda sísmica (sismo ocasional, raro y muy raro).

Decisión: Se valida la hipótesis parcialmente, debido a que los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440 cumple con los niveles de desempeño objetivo para sismo ocasional, pero no cumplen para los sismos raro y muy raro cuyo nivel de desempeño está en el rango seguridad de vida y prevención de colapso respectivamente, lo cual es inaceptable.

2. Los puntos de desempeño obtenidos mediante el método de los coeficientes del ASCE 41-13 no cumplen con los niveles de desempeño objetivo establecidos para edificaciones esenciales según los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC, frente a diferentes niveles de demanda sísmica.

Regla de decisión: Se evaluará si los puntos de desempeño obtenidos mediante el método de los coeficientes del ASCE 41-13, al ser proyectados sobre la curva de capacidad sectorizada según VISION 2000, se ubican dentro de los niveles de desempeño objetivo establecidos para cada nivel de demanda sísmica.

Decisión: Se valida la hipótesis parcialmente, debido a que los puntos de desempeño obtenidos mediante ASCE 41-13 cumplen con el nivel de desempeño esperado para el sismo ocasional y con los niveles de desempeño objetivo para sismo raro y muy raro en la dirección Y mas no con los niveles objetivo para sismo raro y muy raro en la dirección X.

3. El método de linealización equivalente mejorado presenta una tendencia a estimar mayores desplazamientos espectrales en el punto de desempeño en comparación con el método de los

coeficientes, debido a la incorporación explícita del amortiguamiento efectivo asociado a la disipación de energía histerética, lo que puede conducir a una evaluación más conservadora del desempeño estructural ante diferentes niveles de demanda sísmica.

Regla de decisión: Se compararán los desplazamientos de los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440 y ASCE 41-13 para los diferentes niveles de demanda sísmica evaluando además su ubicación sobre la curva de capacidad sectorizada según VISION 2000, a fin de determinar si el método FEMA 440 predice sistemáticamente mayores demandas de desplazamiento y niveles de desempeño más severos.

Decisión: La hipótesis queda parcialmente aceptada, debido a que los desplazamientos obtenidos mediante FEMA 440 son mayores que los obtenidos mediante ASCE 41-13 para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección Y, lo que conlleva a la estimación de estados de desempeño más críticos dentro de la curva de capacidad sectorizada, evidenciando un enfoque más conservador en la evaluación del comportamiento estructural. Sin embargo, los desplazamientos obtenidos mediante FEMA 440 son parcialmente menores que los obtenidos mediante ASCE 41-13 para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección X.

4. El sistema de reforzamiento propuesto mejora el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH frente a diferentes niveles de demanda sísmica conforme a los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC.

Regla de decisión: Se compara los niveles de desempeño en la curva de capacidad sectorizada de la edificación en estudio y la curva de capacidad sectorizada de los sistemas reforzados 1 y 2.

Decisión: Se valida la Hipótesis, debido a que los sistemas reforzados 1 y 2 cumplen con las exigencias del comité VISION 2000 para una edificación esencial.

V Conclusiones

5.1 Conclusiones

La edificación en cuestión fue construida en el 2024, lo que refleja claramente que esta edificación debe cumplir como mínimo los parámetros establecidos de la normativa E.030 Diseño Sismorresistente. La edificación fue construida como un sistema aporticado según expediente técnico; sin embargo, la norma actual establece que instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades pertenecen a la categoría A2-Edificaciones esenciales tal como se indica en el artículo 19 del capítulo III de la norma E.030. Esta edificación esencial perteneciente a la categoría A2 ubicada en la zona sísmica 2 debe pertenecer a cualquiera de los sistemas estructurales: Sistema Dual, Muro de concreto armado, Albañilería armada o albañilería confinada según el artículo 21; no obstante, la edificación en cuestión fue construida como un sistema aporticado. Además, las derivas inelásticas por sismo dinámico en dirección y están por encima del límite permisible 0.007 según norma. Entonces la edificación en estudio no cumple los requisitos de la norma E.030 de Diseño sismorresistente, por lo que se sometió a un análisis no lineal estático para determinar el desempeño global y local de la edificación después del desplazamiento de fluencia.

1. Los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440 cumple con los niveles de desempeño objetivo para sismo ocasional en la dirección X e Y; sin embargo, para sismos raros el desempeño se ubica en el rango Seguridad de Vida superando el nivel Operacional. Asimismo, ante sismos muy raros el desempeño alcanza el rango de Prevención de colapso, lo cual evidencia una condición inaceptable para edificaciones esenciales.

2. Los puntos de desempeño obtenidos mediante ASCE 41-13 cumplen con el nivel de desempeño esperado para el sismo ocasional en la dirección X e Y; asimismo, ante sismo raro y muy raro en la dirección Y , el desempeño cumple con los niveles de desempeño objetivo según VISION 2000; sin embargo, para sismos raros y muy raros en la dirección X, el desempeño se ubica en el rango seguridad de vida y prevención de colapso respectivamente

3. Los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440 son mayores que los obtenidos mediante ASCE 41-13 para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección Y, lo que conlleva a la estimación de estados de desempeño más críticos dentro de la curva de capacidad sectorizada, evidenciando un enfoque más conservador en la evaluación del comportamiento estructural. Sin embargo, los desplazamientos obtenidos mediante FEMA 440 son menores que los obtenidos mediante ASCE 41-13 para los niveles de demanda sísmica en la dirección X.

4. Los sistemas de reforzamiento 1 y 2 mejora el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH frente a diferentes niveles de demanda sísmica conforme a los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC.

5.2 Recomendaciones

Se insta a efectuar la intervención estructural de la edificación en estudio tal como se propone en esta investigación. Al hacerlo, se busca prevenir pérdidas económicas y salvar vidas.

Se exhorta a realizar estudios de análisis no lineal en edificaciones esenciales antiguas que siguen en pie al año 2025, los cuales son más vulnerables porque fueron construidas con normas antisísmicas antiguas.

Se recomienda implementar el análisis no lineal en edificaciones dentro de la normativa peruana E.030, debido a que las edificaciones diseñadas con la norma E.030 solo consideran un comportamiento lineal lo que conlleva a incertidumbres frente a sismos severos.

5.3 Trabajos futuros

Se pretende complementar el análisis no lineal estático con el análisis no lineal dinámico, con el objetivo de comparar resultados en el comportamiento de los materiales más allá del rango elástico.

Se puede implementar un sistema con disipadores histeréticos, viscosos y viscoelásticos con el objetivo de mejorar el desempeño de la edificación en conjunto.

Se sugiere evaluar el factor económico para el reforzamiento 1 y 2 planteado en la presente investigación.

Bibliografía

Aguiar, R. (2003). *Análisis Sísmico por Desempeño. Escuela Politécnica del Ejército.* Quito, Ecuador.

Alcedo, J. P., & Cruz, A. J. (2024). *Evaluación del desempeño sísmico mediante la aplicación de la metodología IDA en el Nuevo Hospital de Emergencias de Ate – Sector E.* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

Arango, S., Paz, A., & Duque, M. (2009). *Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño estructural de una estantería metalica.* (Artículo Científico). *EIA*, 139-154. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/41816267

Arévalo, J. C., & Bermúdez, W. F. (2007). *Niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura aporticada de concreto reforzado.* (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

ASCE 41-13. (2013). *Seismic evaluation and retrofit of existing Buildings.* American Society of Civil Engineers. Estados Unidos.

ASCE 41-17. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing Buildings.* American Society of Civil Engineers. Estados Unidos.

ATC 40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.* Applied Technology Council. California.

Barrientos, U. (2022). *Evaluación del desempeño sísmico y reforzamiento estructural con la norma ASCE/SEI 41-17 aplicado al pabellon "I" de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas.* (Para optar el Título Profesional de Ingeniero civil). Universidad Nacional de San cristobal de Huamanga, Ayacucho,Perú.

Bolaños, J. (2014). *Diseño y análisis estructural de edificaciones.* Universidad Nacional de Ingenieria, Lima.

Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros.* Chiclayo.

Cámara Peruana de la Construcción. (2025). *Informe Económico de la Construcción: Edición 90.* 15,16. Obtenido de https://iec.capeco.org/descargas/IEC90_060725.pdf

Cisneros, R. (2014). *Análisis y diseño sísmico por desempeño de la infraestructura de la escuela profesional de Ingeniería Civil.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho,Perú.

De La Cruz, G. G. (2021). *Evaluación del Desempeño Sismorresistente para la Mejora del Comportamiento Estructural del Laboratorio de la Escuela Profesional de Obstetricia,*

UNSCH, 2021. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho,Perú.

Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., & Willford, M. R. (2010). *Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design.* NEHRP seismic design technical brief, 4, 1-36.

FEMA 273. (1997). *Nehrp Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings.* Federal Emergency Management Agency. Estados Unidos.

FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings.* Federal Emergency Management Agency. Estados Unidos.

FEMA 440. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.* Federal Emergency Management Agency. Estados Unidos.

Flores, E. M. (2021). *Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante Análisis Estático No lineal Pushover: Estudio de caso.* (Artículo Científico). Journal Boliviano de Ciencias, 17(50), 56-90. doi:https://doi.org/10.52428/20758944.v17i50.20

Fuentes, N. F. (2018). *Desempeño sísmico de un edificio de cinco niveles de concreto armado mediante el análisis estático no lineal "Pushover".* (Para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz,Perú.

Gallardo, N. M. (2023). *Análisis estático y dinámico no lineal en el desempeño sismorresistente de un colegio diseñado bajo la norma E.030 en Ferreñafe.* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Ambiental). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo.

Gerencia Sub Regional Chanka. (2025). *Mejoramiento del servicio de educación secundaria, servicio de educación primaria y servicio de educación inicial en 3 unidades productoras de centro poblado Champaccocha distrito de San Jerónimo de la provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.* [Fotografía]. Obtenido de https://www.facebook.com/share/p/1JVv5eECw6/

Gobierno Regional de Ayacucho. (2023). *Mejoramiento de los servicios de formación profesional en Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho* [Expediente técnico].

Gresia, J. E. (2019). *Evaluación y comparación del desempeño sísmico de 3 edificaciones duales de concreto armado de diferentes alturas.* (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Perú.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología para la investigación* (Sexta ed.). México: McGraw Hill Education.

Instituto Geofísico del Perú. (2024). *Peligro por sismo.* Obtenido de https://www.igp.gob.pe/servicios/saspe/peligro_por_sismo.php

Johnson, R., & Kuby, P. (2021). *Estadistica Elemental.* Cengage Learning.

Lizarazo, O. M. (2022). *Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional mediante la aplicación del método de espectro de capacidad, diseñado según la norma sismorresistente colombiana (NSR-10).* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R. (1988). *Theoretical stress-strain model for confined concrete.* Journal of structural engineering. Journal of structural engineering, 114(8), 1804-1826. Obtenido de https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)

Mejia, E. (2005). *Metodología de la Investigación Científica.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma Técnica E.020-Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones.* El Peruano.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Tecnica E060-Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones.* El Peruano.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma Técnica E.030-Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.* El Peruano.

Núñez, A. B. (2017). *Diseño por desempeño de un edificio de hormigón armado utilizando el método de Análisis Tiempo Historia.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Ojeda, J. P., & López, J. A. (2021). *Desempeño sísmico de una edificación de concreto armado dual mediante el análisis no lineal en el tiempo ubicado en el distrito de Lince, departamento de Lima-Perú.* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Olivos, O. E. (2018). *Protección sísmica de edificaciones hospitalarias peruanas por aislamiento sísmico.* (Tesis para optar grado de Magíster en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Ortega, A. A. (2022). *Comparación del punto de desempeño de un edificio convencional versus un edificio con sistema de disipación de energía tipo ADAS, mediante un análisis estático no lineal.* (Tesis de pregrado). Universidad Estatal del sur de Manabí, Ecuador.

Palomino, G. M. (2018). *Verificación de la reducción de daños en edificios con disipadores sísmicos a través del análisis no lineal estático.* (Tesis para optar el título profesional de Ingenieria Civil). Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Perú.

Paredes, M. A. (2016). *Evaluación del Desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal Pushover.* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures.* Editorial John Wiley and Sons Inc. New York.

Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic design of reingforced concrete and masonry.* Editorial John Wiley and Sons Inc. New York.

Quispe, R. (2018). *Evaluación del desempeño sísmico del laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSCH mediante métodos no lineales.* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho,Perú.

Rodríguez, M. E., & Botero, J. C. (1995). *Comportamiento sísmico de estructuras considerando propiedades mecánicas de aceros de refuerzo Mexicanos.* Revista de Ingeniería Sísmica, Universidad Nacional Autónoma de México(49), 39-50.

Roque, P. J., Violanda, R. R., Bernido, C. C., & Soria, J. L. (2023). *Earthquake Occurrences in the Pacific Ring of Fire Exhibit a Collective Stochastic Memory for Magnitudes, Depths, and Relative Distances of Events. arXiv.* Obtenido de https://arxiv.org/abs/2304.00279

Ruiz, C. J. (2013). *Instrumentos y técnicas de investigación educativa.* Hiuston,Texas.

SEAOC. (1995). *Performance-based seismic engineering of buildings.* Structural Engineers Association of California - Vision 2000. Sacramento, CA.

Taipe, J. (2003). *Criterios de diseño por desempeño para la Norma Peruana de diseño sismorresistente.* (Tesis para optar el grado de Maestro con mención en Ingenieria Estructural). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Tunque, J. O., & Colos, E. (2020). *Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de Geología-UNSA.* (Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

United States Geological Survey. (2025). *Earthquake Catalog. USGS.* Estados Unidos. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/

Glosario

Peligro sísmico: Probabilidad de ocurrencia de movimientos sísmicos dentro de un periodo de tiempo en una determinada región, cuantificada por niveles de aceleración de suelo.

Vulnerabilidad sísmica: Medida que cuantifica el daño estructural, el modo de fallo y la capacidad resistente de una edificación bajo ciertos eventos sísmicos.

Pushover: Es una metodología para el análisis estático no lineal que consiste en la aplicación de cargas incrementales estáticas a una edificación hasta alcanzar el colapso.

Desempeño sísmico: Capacidad de la estructura para resistir una demanda sísmica especifica, interactuando entre la capacidad de la estructura y la demanda impuesta. Es el comportamiento objetivo que debe alcanzar la edificación ante una demanda sísmica.

Nivel de desempeño: Es el máximo nivel de daño para una edificación bajo un sismo determinado, caracterizada por la integridad estructural, seguridad de vida y operatividad.

Punto de desempeño: Es la intersección entre la demanda sísmica (espectro) y la curva de capacidad, que indica el desplazamiento máximo durante el sismo de diseño.

Curva de capacidad: Grafica la relación entre corte basal y el desplazamiento en el nivel superior, obtenido a través del análisis Pushover. Muestra rigidez inicial, resistencia máxima, desplazamiento de fluencia, degradación de rigidez y colapso.

Ductilidad: Capacidad de una estructura de deformarse plásticamente antes de alcanzar el colapso. Se calcula como la relación de entre el desplazamiento ultimo y el desplazamiento de fluencia.

Rigidez: La rigidez estructural es la relación entre una fuerza aplicada y el desplazamiento correspondiente en la dirección de esa fuerza, y corresponde a la pendiente inicial de la curva fuerza desplazamiento.

Acrónimos

PBSE	Performance Based Seismic Engineering (Ingeniería sísmica basada en desempeño)
ASCE/SEI	American Society of Civil Engineers of the Structural Engineering Institute (Sociedad americana de Ingenieros Civiles del Instituto de Ingeniería Estructural)
SEAOC	Structural Engineers Association of California (Asociación de Ingenieros Estructurales de California)
FEMA	Federal Emergency Management Agency (Agencia federal para el manejo de emergencias)
ATC	Applied Technology Council (Consejo de Tecnología Aplicada)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad americana para pruebas y materiales)
IO	Inmediate Ocupation (Ocupación inmediata)
LS	Life Safety (Seguridad de Vida)
CP	Collapse Prevention (Prevención de colapso)
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
NTP	Norma técnica peruana
ADRS	Aceleration Displacement Response Spectrum

Símbolos

K_e : Rigidez efectiva

T_e : Periodo efectivo

Δ_y : Desplazamiento de fluencia

V_y : Resistencia de fluencia

K_{el} : Rigidez elástica

PF_1 : Factor de participación modal para el primer modo natural

α_1 : Coeficiente de masa modal para el primer modo

W_1 : Peso en el nivel i

ϕ_{i1} : Forma del modo 1 en el piso i

n : Nivel más alto de la estructura

V : Cortante basal

W : Peso muerto más porcentaje de carga viva considerado

Δ_{techo} : Desplazamiento en el techo o tope

V_{base} : Cortante en la base

S_a : Aceleración espectral

S_d : Desplazamiento espectral

$\Delta_{techo,1}$: Forma del modo 1 en el nivel más alto

β_o : Amortiguamiento histerético

β_{eq} : Amortiguamiento viscoso equivalente

β_{eff} : Amortiguamiento viscoso efectivo

ε_s : Deformación unitaria del acero de refuerzo

ε_{su} : Deformación unitaria ultima del acero de refuerzo

ε_c : Deformación unitaria del concreto

ε_{cu} : Deformación unitaria ultima del concreto

f'_{cc} : Resistencia máxima del concreto confinado

f'_c : Resistencia máxima del concreto No confinado

f_y : Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

f_{su} : Esfuerzo último del acero de refuerzo

Anexos

a) Matriz de consistencia

Se detalla en la página siguiente, en la tabla Matriz de consistencia (ver tabla).

b) Cálculo del Punto de desempeño propuesto por FEMA440

c) Cálculo del Punto de desempeño por el Método de coeficientes de ASCE 41-13

d) Planos

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: "Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, 2024"

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿De qué manera podrá evaluarse el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, frente a diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité VISION 2000 de la SEAOC?	**OBJETIVO GENERAL** Determinar el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH frente a diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité VISION 2000 de la SEAOC.	**HIPÓTESIS GENERAL** El desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH es inaceptable frente a diferentes niveles de demanda sísmica según los lineamientos dados por el comité VISION 2000 de la SEAOC.	**Variables Independientes:** -Demanda sísmica -Resistencia -Propiedades no lineales de los materiales. **Variable dependiente:** -Desempeño Sísmico: **Indicadores:** **Niveles de desempeño** -Operacional -Ocupación Inmediata -Seguridad de vida -Prevención de colapso -Colapso	**ENFOQUE:** Cuantitativo **ALCANCE:** Explicativo **DISEÑO:** NO experimental **POBLACIÓN:** Proyecto: "Mejoramiento de los servicios de formación profesional en ingeniería agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho". **MUESTRA:** No probabilístico. Bloque 2 de la especialidad de estructuras. **TÉCNICAS** -Análisis documental -Simulación computacional -Análisis de resultados **INSTRUMENTOS** -Etabs v22 -AutoCAD v21 -Excel y Mathcad prime -Laptop Corei 7 12th , tarjeta de video RTX 3070 8GB. -Lista de cotejo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 1. ¿Cuál es el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH aplicando el procedimiento dado por FEMA440 y cómo evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica? 2. ¿Cómo se determina el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH empleando los criterios establecidos en la norma ASCE41-13 y cómo evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica? 3. ¿Cómo comparar el punto de desempeño de la edificación según FEMA440 y ASCE41-13 frente a diferentes niveles de demanda sísmica en la curva de capacidad sectorizada según VISION 2000? 4. ¿Cómo evaluar el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH para mejorar el desempeño sísmico según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica?	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS** 1. Determinar el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH mediante FEMA 440 y evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica. 2. Determinar el punto de desempeño del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH utilizando los criterios establecidos de la normativa ASCE 41-13 y evaluar el nivel de desempeño según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica. 3. Comparar los puntos de desempeño obtenidos mediante FEMA 440 y ASCE 41-13 frente a diferentes niveles de demanda sísmica, empleando la curva de capacidad sectorizada según los niveles de desempeño definidos en VISION 2000. 4. Proponer un sistema de reforzamiento para mejorar el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH según VISION 2000 frente a diferentes niveles de demanda sísmica.	**HIPÓTESIS ESPECÍFICOS** 1. Los puntos de desempeño obtenidos mediante la normativa FEMA 440 no cumplen con los niveles de desempeño objetivo establecidos para edificaciones esenciales según los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC, frente a diferentes niveles de demanda sísmica. 2. Los puntos de desempeño obtenidos mediante el método de los coeficientes del ASCE 41-13 no cumplen con los niveles de desempeño objetivo establecidos para edificaciones esenciales según los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC, frente a diferentes niveles de demanda sísmica. 3. El método de linealización equivalente mejorado presenta una tendencia a estimar mayores desplazamientos espectrales en el punto de desempeño en comparación con el método de los coeficientes, debido a la incorporación explícita del amortiguamiento efectivo asociado a la disipación de energía histerética, lo que puede conducir a una evaluación más conservadora del desempeño estructural ante diferentes niveles de demanda sísmica. 4. El sistema de reforzamiento propuesto mejora el desempeño sísmico del Bloque 2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH frente a diferentes niveles de demanda sísmica conforme a los lineamientos del comité VISION 2000 de la SEAOC.		

Figura 90: Planimetría en 3D

Figura 91: Vista isométrica 1 del bloque B.

Figura 92: Vista isométrica 2 del bloque B.

PUNTO DE DESEMPEÑO MEDIANTE FEMA 440

SISMO MUY RARO EN DIRECCION Y

Curva de capacidad en dirección Y, en coordenadas espectrales:

$$Sd = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.00904 \\ 0.01809 \\ 0.02729 \\ 0.03661 \\ 0.046 \\ 0.0555 \\ 0.06512 \\ 0.07482 \\ 0.08459 \\ 0.09437 \\ 0.10419 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sa = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.06151 \\ 0.12141 \\ 0.16823 \\ 0.20621 \\ 0.24013 \\ 0.26984 \\ 0.29374 \\ 0.31413 \\ 0.33206 \\ 0.34806 \\ 0.36211 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Valores iniciales para pdi, api

$$dp_i := 0.18\ m$$

$$ap_i := \text{linterp}(Sd, Sa, dp_i) = 0.4152\ g$$

$n := 19$ conteo: inicio en 0 hasta posición de dpi, api

Área debajo de la curva de capacidad

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(Sa_i + Sa_{i-1}\right) \cdot \left(Sd_i - Sd_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(ap_i + Sa_{n-1}\right) \cdot \left(dp_i - Sd_{n-1}\right)}{2} = 0.05433301\ g \cdot m$$

Rigidez incial

$$K_1 := \frac{Sa_1}{Sd_1} = 6.806\ \frac{g}{m} \qquad K_2 := \frac{Sa_2}{Sd_2} = 6.713\ \frac{g}{m} \qquad K_i := \frac{(K_1 + K_2)}{2} = 6.76\ \frac{g}{m}$$

Calculo del punto de fluencia

de prueba

$$d_y := 0.1\ m$$

Solver Restricciones

$$K_i \cdot \frac{d_y^{\,2}}{2} + \frac{(K_i \cdot d_y + ap_i) \cdot (dp_i - d_y)}{2} = A_{curva}$$

$$d_y := \text{find}(d_y) = 0.0423\ m$$

$$d_y = 0.042328\ m \qquad a_y := K_i \cdot d_y = 0.28612\ g$$

Periodo elástico

$$T_0 := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{Sd_1}{Sa_1}\right)^{0.5} = 0.76908\ s$$

Ductilidad

$$\mu := \frac{dp_i}{d_y} = 4.25253$$

Periodo efectivo

$$T_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| (0.2 \cdot (\mu - 1)^2 - 0.038 \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| (0.28 + 0.13 \cdot (\mu - 1) + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \left(0.89 \cdot \left(\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + 0.05 \cdot (\mu - 2)}} - 1\right) + 1\right) \cdot T_0 \right. \end{array} \right\| = 1.309614\ s$$

Amortiguamiento viscoso inicial elástico: disipación de energía antes de iniciar el comportamiento inelástico:

$$\beta_0 := 5$$

Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| 4.9 \cdot (\mu - 1)^2 - 1.1 \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| 14 + 0.32 \cdot (\mu - 1) + \beta_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| 19 \cdot \left(\frac{(0.64 \cdot (\mu - 1) - 1)}{(0.64 \cdot (\mu - 1))^2}\right) \cdot \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right) + \beta_0 \right. \end{array} \right\| = 20.040809$$

Coeficiente de amortiguamiento B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.537$$

Rigidez secante y periodo secante

$$K_{sec} := \frac{ap_i}{dp_i} = 2.30681\ \frac{g}{m}$$

$$Sd_i = \frac{T_i^2 \cdot Sa_i}{4 \cdot \pi^2} \qquad T_{sec} := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{dp_i}{ap_i}\right)^{0.5} = 1.321\ s$$

factor de modificación para la demanda MADRS

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right)^2 = 0.98278$$

ECUACIÓN PARA LA RECTA DEL PERIODO EFECTIVO

$$K_{eff} := \frac{4 \cdot \pi^2}{T_{eff}^2} = 2.34721\ \frac{g}{m}$$

$$Sa_{Teff}(sd) := K_{eff} \cdot sd$$

$$sd := 0\ m, 0.03\ m .. 0.3\ m$$

$$Sd1 := \text{vec}(sd) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.03 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.12 \\ 0.15 \\ 0.18 \\ 0.21 \\ 0.24 \\ 0.27 \\ 0.3 \end{bmatrix} m \qquad Sa1 := Sa_{Teff}(Sd1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.070416 \\ 0.140833 \\ 0.211249 \\ 0.281666 \\ 0.352082 \\ 0.422498 \\ 0.492915 \\ 0.563331 \\ 0.633748 \\ 0.704164 \end{bmatrix} g$$

Espectro de demanda para sismo muy raro

		DEMANDAS SISMICAS				
		Z=	0.25			
		U=	1.5			
		S=	1.2			

Salidas

$Sd2 := excel_{"J18:J65"} \cdot m$ $\qquad Sa2 := excel_{"I18:I65"} \cdot g$

$n_c := 36$ conteo: inicio en 0 hasta posición de 1er valor repetitivo de sd, para facilitar función linter

DEMANDA MODIFICADO POR β_{eff}

$$Sd2 := \frac{Sd2}{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000095 \\ 0.000378 \\ 0.000851 \\ 0.001513 \\ 0.002364 \\ 0.003404 \\ 0.004634 \\ 0.006052 \\ 0.00766 \\ 0.009457 \\ 0.014776 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sd2 := \text{submatrix}(Sd2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000095 \\ 0.000378 \\ 0.000851 \\ 0.001513 \\ 0.002364 \\ 0.003404 \\ 0.004634 \\ 0.006052 \\ 0.00766 \\ 0.009457 \\ 0.014776 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

$$Sa2 := \frac{Sa2}{B} = \begin{bmatrix} 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ \vdots \end{bmatrix} g \qquad Sa2 := \text{submatrix}(Sa2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ 0.95144 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Punto de desempeño

$$F1(x) := \text{linterp}(Sd1, Sa1, x)$$

$$F2(x) := \text{linterp}(Sd2, Sa2, x)$$

Solución más sencilla prueba

$x := 0.1\ m$

$F1(x) - F2(x) = 0$

$Sd_i := \text{find}(x) = 0.18579\ m$

$$\text{if}\left(0.95 \cdot dp_i \le Sd_i \le 1.05 \cdot dp_i, \text{“OK”}, \text{“nuevo dpi”}\right) = \text{“OK”}$$

PUNTO DE DESEMPEÑO_SISMO MUY RARO_DIRECCION Y

$Sd_i = 0.186\ m$ $\qquad Sa_i := \text{linterp}(Sd, Sa, Sd_i) = 0.416\ g$

SISMO RARO EN DIRECCION Y

Curva de capacidad en dirección Y, en coordenadas espectrales:

$$Sd = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.00904 \\ 0.01809 \\ 0.02729 \\ 0.03661 \\ 0.046 \\ 0.0555 \\ 0.06512 \\ 0.07482 \\ 0.08459 \\ 0.09437 \\ 0.10419 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sa = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.06151 \\ 0.12141 \\ 0.16823 \\ 0.20621 \\ 0.24013 \\ 0.26984 \\ 0.29374 \\ 0.31413 \\ 0.33206 \\ 0.34806 \\ 0.36211 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Valores iniciales para pdi, api

$dp_i := 0.15\ m$

$ap_i := \text{linterp}(Sd, Sa, dp_i) = 0.4041\ g$

$n := 16$ conteo: inicio en 0 hasta posición de dpi, api

Área debajo de la curva de capacidad

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(Sa_i + Sa_{i-1}\right) \cdot \left(Sd_i - Sd_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(ap_i + Sa_{n-1}\right) \cdot \left(dp_i - Sd_{n-1}\right)}{2} = 0.04201952\ g \cdot m$$

Rigidez inicial

$$K_1 := \frac{Sa_1}{Sd_1} = 6.806\ \frac{g}{m} \qquad K_2 := \frac{Sa_2}{Sd_2} = 6.713\ \frac{g}{m} \qquad K_i := \frac{(K_1 + K_2)}{2} = 6.76\ \frac{g}{m}$$

Calculo del punto de fluencia

Restricciones de prueba

$d_y := 0.1\ m$

$$K_i \cdot \frac{d_y^{\,2}}{2} + \frac{\left(K_i \cdot d_y + ap_i\right) \cdot \left(dp_i - d_y\right)}{2} = A_{curva}$$

Solver

$d_y := \text{find}(d_y) = 0.0384\ m$

$d_y = 0.038405\ m$ $\qquad a_y := K_i \cdot d_y = 0.259602\ g$

Periodo elástico

$$T_i := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{Sd_i}{Sa_i}\right)^{0.5} = 0.76908\ s$$

Ductilidad

$$\mu := \frac{dp_i}{d_y} = 3.90573$$

Periodo efectivo

$$T_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| (0.2 \cdot (\mu - 1)^2 - 0.038 \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| (0.28 + 0.13 \cdot (\mu - 1) + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \left(0.89 \cdot \left(\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + 0.05 \cdot (\mu - 2)}} - 1\right) + 1\right) \cdot T_0 \right. \end{array} \right\| = 1.350789\ s$$

Amortiguamiento viscoso inicial elástico: disipación de energía antes de iniciar el comportamiento inelástico:

$$\beta_0 := 5$$

Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| 4.9 \cdot (\mu - 1)^2 - 1.1 \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| 14 + 0.32 \cdot (\mu - 1) + \beta_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| 19 \cdot \left(\frac{(0.64 \cdot (\mu - 1) - 1)}{(0.64 \cdot (\mu - 1))^2}\right) \cdot \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right) + \beta_0 \right. \end{array} \right\| = 19.384767$$

Coeficiente de amortiguamiento B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.518$$

Rigidez secante y periodo secante

$$K_{sec} := \frac{ap_i}{dp_i} = 2.6942\ \frac{g}{m}$$

$$Sd_i = \frac{T_i^2 \cdot Sa_i}{4 \cdot \pi^2}$$

$$T_{sec} := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{dp_i}{ap_i}\right)^{0.5} = 1.2224\ s$$

$$Sd2 := \frac{Sd2}{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000074 \\ 0.000295 \\ 0.000663 \\ 0.001179 \\ 0.001842 \\ 0.002652 \\ 0.00361 \\ 0.004715 \\ 0.005968 \\ 0.007368 \\ 0.011512 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sd2 := \text{submatrix}(Sd2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000074 \\ 0.000295 \\ 0.000663 \\ 0.001179 \\ 0.001842 \\ 0.002652 \\ 0.00361 \\ 0.004715 \\ 0.005968 \\ 0.007368 \\ 0.011512 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

$$Sa2 := \frac{Sa2}{B} = \begin{bmatrix} 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ \vdots \end{bmatrix} g \qquad Sa2 := \text{submatrix}(Sa2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ 0.741238 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Punto de desempeño

$$F1(x) := \text{linterp}(Sd1, Sa1, x)$$

$$F2(x) := \text{linterp}(Sd2, Sa2, x)$$

$x := 0.1\ m$

$F1(x) - F2(x) = 0$

$Sd_i := \text{find}(x) = 0.14936\ m$

$$\text{if}\left(0.95 \cdot dp_i \le Sd_i \le 1.05 \cdot dp_i, \text{"OK"}, \text{"nuevo dpi"}\right) = \text{"OK"}$$

PUNTO DE DESEMPEÑO_SISMO RARO_DIRECCION Y

$Sd_i = 0.149\ m$ $\qquad Sa_i := \text{linterp}(Sd, Sa, Sd_i) = 0.404\ g$

SISMO OCASIONAL EN DIRECCION Y

Curva de capacidad en dirección Y, en coordenadas espectrales:

$$Sd = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.00904 \\ 0.01809 \\ 0.02729 \\ 0.03661 \\ 0.046 \\ 0.0555 \\ 0.06512 \\ 0.07482 \\ 0.08459 \\ 0.09437 \\ 0.10419 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sa = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.06151 \\ 0.12141 \\ 0.16823 \\ 0.20621 \\ 0.24013 \\ 0.26984 \\ 0.29374 \\ 0.31413 \\ 0.33206 \\ 0.34806 \\ 0.36211 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Valores iniciales para pdi, api

$dp_i := 0.065\ m$

$ap_i := \text{linterp}(Sd, Sa, dp_i) = 0.2934\ g$

$n := 7$ conteo: inicio en 0 hasta posición de dpi, api

Área debajo de la curva de capacidad

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(Sa_i + Sa_{i-1}\right) \cdot \left(Sd_i - Sd_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(ap_i + Sa_{n-1}\right) \cdot \left(dp_i - Sd_{n-1}\right)}{2} = 0.01137722\ g \cdot m$$

Rigidez inicial

$$K_1 := \frac{Sa_1}{Sd_1} = 6.806\ \frac{g}{m} \qquad K_2 := \frac{Sa_2}{Sd_2} = 6.713\ \frac{g}{m} \qquad K_i := \frac{(K_1 + K_2)}{2} = 6.76\ \frac{g}{m}$$

Calculo del punto de fluencia

Restricciones de prueba

$d_y := 0.1\ m$

$$K_i \cdot \frac{d_y^{\,2}}{2} + \frac{\left(K_i \cdot d_y + ap_i\right) \cdot \left(dp_i - d_y\right)}{2} = A_{curva}$$

Solver

$d_y := \text{find}(d_y) = 0.0252\ m$

$d_y = 0.025224\ m$ $\qquad a_y := K_i \cdot d_y = 0.170501\ g$

Periodo elástico

$$T_0 := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{Sd_1}{Sa_1}\right)^{0.5} = 0.76908\ s$$

Ductilidad

$$\mu := \frac{dp_i}{d_y} = 2.57694$$

Periodo efectivo

$$T_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| \left(0.2 \cdot (\mu-1)^2 - 0.038 \cdot (\mu-1)^3 + 1\right) \cdot T_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| \left(0.28 + 0.13 \cdot (\mu-1) + 1\right) \cdot T_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \left(0.89 \cdot \left(\sqrt{\frac{(\mu-1)}{1 + 0.05 \cdot (\mu-2)}} - 1\right) + 1\right) \cdot T_0 \right. \end{array} \right\| = 1.036978\ s$$

Amortiguamiento viscoso inicial elástico: disipación de energía antes de iniciar el comportamiento inelástico:

$$\beta_0 := 5$$

Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| 4.9 \cdot (\mu-1)^2 - 1.1 \cdot (\mu-1)^3 + \beta_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| 14 + 0.32 \cdot (\mu-1) + \beta_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| 19 \cdot \left(\frac{(0.64 \cdot (\mu-1) - 1)}{(0.64 \cdot (\mu-1))^2}\right) \cdot \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right) + \beta_0 \right. \end{array} \right\| = 12.871458$$

Coeficiente de amortiguamiento B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.314$$

Rigidez secante y periodo secante

$$K_{sec} := \frac{ap_i}{dp_i} = 4.51443\ \frac{g}{m}$$

$$Sd_i = \frac{T_i^2 \cdot Sa_i}{4 \cdot \pi^2} \qquad T_{sec} := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{dp_i}{ap_i}\right)^{0.5} = 0.9443\ s$$

factor de modificación para la demanda MADRS

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right)^2 = 1.20588$$

ECUACIÓN PARA LA RECTA DEL PERIODO EFECTIVO

$$K_{eff} := \frac{4 \cdot \pi^2}{T_{eff}^{\ 2}} = 3.74369 \ \frac{g}{m}$$

$$Sa_{Teff}(sd) := K_{eff} \cdot sd$$

$$sd := 0\ m, 0.03\ m .. 0.3\ m$$

$$Sd1 := \text{vec}(sd) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.03 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.12 \\ 0.15 \\ 0.18 \\ 0.21 \\ 0.24 \\ 0.27 \\ 0.3 \end{bmatrix} m \qquad Sa1 := Sa_{Teff}(Sd1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.112311 \\ 0.224621 \\ 0.336932 \\ 0.449242 \\ 0.561553 \\ 0.673864 \\ 0.786174 \\ 0.898485 \\ 1.010796 \\ 1.123106 \end{bmatrix} g$$

Espectro de demanda para sismo Ocasional

		DEMANDAS SISMICAS				
		Z=	0.25			
		U=	1.5			
		S=	1.2			

Salidas

$$Sd2 := excel_{"F18:F65"} \cdot m \qquad Sa2 := excel_{"E18:E65"} \cdot g$$

$n_c := 36$ conteo: inicio en 0 hasta posición de 1er valor repetitivo de sd, para facilitar función linter

DEMANDA MODIFICADO POR β_{eff}

$$Sd2 := \frac{Sd2}{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.00004 \\ 0.000159 \\ 0.000358 \\ 0.000636 \\ 0.000993 \\ 0.00143 \\ 0.001946 \\ 0.002542 \\ 0.003218 \\ 0.003972 \\ 0.006207 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sd2 := \text{submatrix}(Sd2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.00004 \\ 0.000159 \\ 0.000358 \\ 0.000636 \\ 0.000993 \\ 0.00143 \\ 0.001946 \\ 0.002542 \\ 0.003218 \\ 0.003972 \\ 0.006207 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

$$Sa2 := \frac{Sa2}{B} = \begin{bmatrix} 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ \vdots \end{bmatrix} g \qquad Sa2 := \text{submatrix}(Sa2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ 0.399655 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Punto de desempeño

$$F1(x) := \text{linterp}(Sd1, Sa1, x)$$

$$F2(x) := \text{linterp}(Sd2, Sa2, x)$$

Solución de prueba

$$x := 0.1\ m$$

$$F1(x) - F2(x) = 0$$

$$Sd_i := \text{find}(x) = 0.06185\ m$$

$$\text{if}\left(0.95 \cdot dp_i \le Sd_i \le 1.05 \cdot dp_i, \text{“OK”}, \text{“nuevo dpi”}\right) = \text{“OK”}$$

PUNTO DE DESEMPEÑO_SISMO OCASIONAL_DIRECCION Y

$$Sd_i = 0.062\ m \qquad Sa_i := \text{linterp}(Sd, Sa, Sd_i) = 0.286\ g$$

SISMO MUY RARO EN DIRECCION X

Curva de capacidad en dirección x, en coordenadas espectrales

$$Sd = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0065 \\ 0.01302 \\ 0.01967 \\ 0.02634 \\ 0.0331 \\ 0.03996 \\ 0.04693 \\ 0.054 \\ 0.06118 \\ 0.06839 \\ 0.07568 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sa = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0606 \\ 0.11987 \\ 0.16797 \\ 0.21499 \\ 0.25771 \\ 0.29219 \\ 0.32054 \\ 0.34305 \\ 0.3611 \\ 0.37767 \\ 0.39139 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Valores iniciales para pdi, api

$dp_i := 0.145\ m$

$ap_i := \text{linterp}(Sd, Sa, dp_i) = 0.3851\ g$

$n := 20$ conteo: inicio en 0 hasta posición de dpi, api

Área debajo de la curva de capacidad

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(Sa_i + Sa_{i-1}\right) \cdot \left(Sd_i - Sd_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(ap_i + Sa_{n-1}\right) \cdot \left(dp_i - Sd_{n-1}\right)}{2} = 0.04719193\ g \cdot m$$

Rigidez incial

$$K_1 := \frac{Sa_1}{Sd_1} = 9.322\ \frac{g}{m} \qquad K_2 := \frac{Sa_2}{Sd_2} = 9.21\ \frac{g}{m} \qquad K_i := \frac{(K_1 + K_2)}{2} = 9.266\ \frac{g}{m}$$

Calculo del punto de fluencia

Restricciones de prueba

$d_y := 0.1\ m$

$$K_i \cdot \frac{d_y^{\,2}}{2} + \frac{\left(K_i \cdot d_y + ap_i\right) \cdot \left(dp_i - d_y\right)}{2} = A_{curva}$$

Solver

$d_y := \text{find}(d_y) = 0.0402\ m$

$d_y = 0.040219\ m$ $\qquad a_y := K_i \cdot d_y = 0.372663\ g$

Periodo elástico

$$T_0 := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{Sd_1}{Sa_1}\right)^{0.5} = 0.65716\ s$$

Ductilidad

$$\mu := \frac{dp_i}{d_y} = 3.60525$$

Periodo efectivo

$$T_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| \left(0.2 \cdot (\mu-1)^2 - 0.038 \cdot (\mu-1)^3 + 1\right) \cdot T_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| \left(0.28 + 0.13 \cdot (\mu-1) + 1\right) \cdot T_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \left(0.89 \cdot \left(\sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0.05 \cdot (\mu-2)}} - 1\right) + 1\right) \cdot T_0 \right. \end{array} \right\| = 1.107655\ s$$

Amortiguamiento viscoso inicial elástico: disipación de energía antes de iniciar el comportamiento inelástico:

$$\beta_0 := 5$$

Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| 4.9 \cdot (\mu-1)^2 - 1.1 \cdot (\mu-1)^3 + \beta_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| 14 + 0.32 \cdot (\mu-1) + \beta_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| 19 \cdot \left(\frac{(0.64 \cdot (\mu-1)) - 1)}{(0.64 \cdot (\mu-1))^2}\right) \cdot \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right) + \beta_0 \right. \end{array} \right\| = 18.806959$$

Coeficiente de amortiguamiento B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.5005$$

Rigidez secante y periodo secante

$$K_{sec} := \frac{ap_i}{dp_i} = 2.65564\ \frac{g}{m}$$

$$Sd_i = \frac{T_i^2 \cdot Sa_i}{4 \cdot \pi^2} \qquad T_{scc} := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{dp_i}{ap_i}\right)^{0.5} = 1.2312\ s$$

factor de modificación para la demanda MADRS

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_{scc}}\right)^2 = 0.80936$$

ECUACIÓN PARA LA RECTA DEL PERIODO EFECTIVO

$$K_{eff} := \frac{4 \cdot \pi^2}{T_{eff}^2} = 3.28118\ \frac{g}{m}$$

$$Sa_{Teff}(sd) := K_{eff} \cdot sd$$

$$sd := 0\ m, 0.03\ m .. 0.3\ m$$

$$Sd1 := \mathrm{vec}(sd) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.03 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.12 \\ 0.15 \\ 0.18 \\ 0.21 \\ 0.24 \\ 0.27 \\ 0.3 \end{bmatrix} m \qquad Sa1 := Sa_{Teff}(Sd1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.098435 \\ 0.196871 \\ 0.295306 \\ 0.393741 \\ 0.492177 \\ 0.590612 \\ 0.689047 \\ 0.787482 \\ 0.885918 \\ 0.984353 \end{bmatrix} g$$

Espectro de demanda para sismo muy raro

		DEMANDAS SISMICAS				
		Z=	0.25			
		U=	1.5			
		S=	1.2			

$Sd2 := excel_{"J18:J65"} \cdot m$ $\qquad Sa2 := excel_{"I18:I65"} \cdot g$

$n_d := 36$ conteo: inicio en 0 hasta posición de 1er valor repetitivo de sd, para facilitar función linter

DEMANDA MADRS

$$Sd2 := \frac{M \cdot Sd2}{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000078 \\ 0.000314 \\ 0.000706 \\ 0.001255 \\ 0.00196 \\ 0.002823 \\ 0.003842 \\ 0.005018 \\ 0.006351 \\ 0.007841 \\ 0.012251 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sd2 := \text{submatrix}(Sd2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000078 \\ 0.000314 \\ 0.000706 \\ 0.001255 \\ 0.00196 \\ 0.002823 \\ 0.003842 \\ 0.005018 \\ 0.006351 \\ 0.007841 \\ 0.012251 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

$$Sa2 := \frac{M \cdot Sa2}{B} = \begin{bmatrix} 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ \vdots \end{bmatrix} g \qquad Sa2 := \text{submatrix}(Sa2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ 0.788858 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Punto de desempeño

$$F1(x) := \text{linterp}(Sd, Sa, x)$$

$$F2(x) := \text{linterp}(Sd2, Sa2, x)$$

Solución con datos de prueba

$x := 0.1\ m$

$F1(x) - F2(x) = 0$

$Sd_i := \text{find}(x) = 0.14465\ m$

$$\text{if}\left(0.95 \cdot dp_i \le Sd_i \le 1.05 \cdot dp_i, \text{“OK”}, \text{“nuevo dpl”}\right) = \text{“OK”}$$

PUNTO DE DESEMPEÑO_SISMO MUY RARO_DIRECCION X

$Sd_i = 0.145\ m$ $\qquad Sa_i := \text{linterp}(Sd, Sa, Sd_i) = 0.385\ g$

SISMO RARO EN DIRECCION X

Curva de capacidad en dirección x, en coordenadas espectrales

$$Sd = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0065 \\ 0.01302 \\ 0.01967 \\ 0.02634 \\ 0.0331 \\ 0.03996 \\ 0.04693 \\ 0.054 \\ 0.06118 \\ 0.06839 \\ 0.07568 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sa = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0606 \\ 0.11987 \\ 0.16797 \\ 0.21499 \\ 0.25771 \\ 0.29219 \\ 0.32054 \\ 0.34305 \\ 0.3611 \\ 0.37767 \\ 0.39139 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Valores iniciales para pdi, api

$dp_i := 0.115\ m$

$ap_i := \text{linterp}(Sd, Sa, dp_i) = 0.4156\ g$

$n := 17$ conteo: inicio en 0 hasta posición de dpi, api

Área debajo de la curva de capacidad

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(Sa_i + Sa_{i-1}\right) \cdot \left(Sd_i - Sd_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(ap_i + Sa_{n-1}\right) \cdot \left(dp_i - Sd_{n-1}\right)}{2} = 0.03517502\ g \cdot m$$

Rigidez incial

$$K_1 := \frac{Sa_1}{Sd_1} = 9.322\ \frac{g}{m} \qquad K_2 := \frac{Sa_2}{Sd_2} = 9.21\ \frac{g}{m} \qquad K_i := \frac{(K_1 + K_2)}{2} = 9.266\ \frac{g}{m}$$

Calculo del punto de fluencia

Resolución de prueba

$d_y := 0.1\ m$

$$K_i \cdot \frac{d_y^{\,2}}{2} + \frac{\left(K_i \cdot d_y + ap_i\right) \cdot \left(dp_i - d_y\right)}{2} = A_{curva}$$

Solver

$d_y := \text{find}(d_y) = 0.0347\ m$

$d_y = 0.035\ m$ $\qquad a_y := K_i \cdot d_y = 0.32155\ g$

Periodo elástico

$$T_0 := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{Sd_1}{Sa_1}\right)^{0.5} = 0.65716\ s$$

Ductilidad

$$\mu := \frac{dp_i}{d_y} = 3.31388$$

Periodo efectivo

$$T_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| (0.2 \cdot (\mu - 1)^2 - 0.038 \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| (0.28 + 0.13 \cdot (\mu - 1) + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \left(0.89 \cdot \left(\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + 0.05 \cdot (\mu - 2)}} - 1\right) + 1\right) \cdot T_0 \right. \end{array} \right\| = 1.05148\ s$$

Amortiguamiento viscoso inicial elástico: disipación de energía antes de iniciar el comportamiento inelástico:

$$\beta_0 := 5$$

Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| 4.9 \cdot (\mu - 1)^2 - 1.1 \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| 14 + 0.32 \cdot (\mu - 1) + \beta_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| 19 \cdot \left(\frac{(0.64 \cdot (\mu - 1) - 1)}{(0.64 \cdot (\mu - 1))^2}\right) \cdot \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right) + \beta_0 \right. \end{array} \right\| = 17.607347$$

Coeficiente de amortiguamiento B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.464$$

Rigidez secante y periodo secante

$$K_{sec} := \frac{ap_i}{dp_i} = 3.61397\ \frac{g}{m}$$

$$Sd_i = \frac{T_i^2 \cdot Sa_i}{4 \cdot \pi^2} \qquad T_{sec} := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{dp_i}{ap_i}\right)^{0.5} = 1.0554\ s$$

factor de modificación para la demanda MADRS

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right)^2 = 0.99254$$

ECUACIÓN PARA LA RECTA DEL PERIODO EFECTIVO

$$K_{eff} := \frac{4 \cdot \pi^2}{T_{eff}^2} = 3.64114 \ \frac{g}{m}$$

$$Sa_{Teff}(sd) := K_{eff} \cdot sd$$

$$sd := 0\ m, 0.03\ m .. 0.3\ m$$

$$Sd1 := \text{vec}(sd) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.03 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.12 \\ 0.15 \\ 0.18 \\ 0.21 \\ 0.24 \\ 0.27 \\ 0.3 \end{bmatrix} m \qquad Sa1 := Sa_{Teff}(Sd1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.109234 \\ 0.218468 \\ 0.327702 \\ 0.436936 \\ 0.54617 \\ 0.655404 \\ 0.764638 \\ 0.873873 \\ 0.983107 \\ 1.092341 \end{bmatrix} g$$

Espectro de demanda para sismo raro

		DEMANDAS SISMICAS				
		Z=	**0.25**			
		U=	**1.5**			
		S=	**1.2**			

Salidas

$$Sd2 := excel_{"H18:H65"} \cdot m \qquad Sa2 := excel_{"G18:G65"} \cdot g$$

$n_c := 36$ conteo: inicio en 0 hasta posición de 1er valor repetitivo de sd, para facilitar función linter

DEMANDA MODIFICADO POR β_{eff}

$$Sd2 := \frac{Sd2}{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000076 \\ 0.000305 \\ 0.000687 \\ 0.001222 \\ 0.001909 \\ 0.002749 \\ 0.003742 \\ 0.004887 \\ 0.006186 \\ 0.007636 \\ 0.011932 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sd2 := \text{submatrix}(Sd2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000076 \\ 0.000305 \\ 0.000687 \\ 0.001222 \\ 0.001909 \\ 0.002749 \\ 0.003742 \\ 0.004887 \\ 0.006186 \\ 0.007636 \\ 0.011932 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

$$Sa2 := \frac{Sa2}{B} = \begin{bmatrix} 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ \vdots \end{bmatrix} g \qquad Sa2 := \text{submatrix}(Sa2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ 0.768286 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Punto de desempeño

$$F1(x) := \text{linterp}(Sd1, Sa1, x)$$

$$F2(x) := \text{linterp}(Sd2, Sa2, x)$$

Resolución de prueba

$$x := 0.08\ m$$

$$F1(x) - F2(x) = 0$$

$$Sd_i := \text{find}(x) = 0.12056\ m$$

$$\text{if}\left(0.95 \cdot dp_i \le Sd_i \le 1.05 \cdot dp_i, \text{"OK"}, \text{"nuevo dpi"}\right) = \text{"OK"}$$

PUNTO DE DESEMPEÑO_SISMO RARO_DIRECCION X

$$Sd_i = 0.12056\ m \qquad Sa_i := \text{linterp}(Sd, Sa, Sd_i) = 0.41042\ g$$

SISMO OCASIONAL EN DIRECCION X

Curva de capacidad en dirección x, en coordenadas espectrales

$$Sd = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0065 \\ 0.01302 \\ 0.01967 \\ 0.02634 \\ 0.0331 \\ 0.03996 \\ 0.04693 \\ 0.054 \\ 0.06118 \\ 0.06839 \\ 0.07568 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sa = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0606 \\ 0.11987 \\ 0.16797 \\ 0.21499 \\ 0.25771 \\ 0.29219 \\ 0.32054 \\ 0.34305 \\ 0.3611 \\ 0.37767 \\ 0.39139 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Valores iniciales para pdi, api

$dp_i := 0.055\ m$

$ap_i := \text{linterp}(Sd, Sa, dp_i) = 0.3456\ g$

$n := 9$ conteo: inicio en 0 hasta posición de dpi, api

Área debajo de la curva de capacidad

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(Sa_i + Sa_{i-1}\right) \cdot \left(Sd_i - Sd_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(ap_i + Sa_{n-1}\right) \cdot \left(dp_i - Sd_{n-1}\right)}{2} = 0.01132943\ g \cdot m$$

Rigidez incial

$$K_1 := \frac{Sa_1}{Sd_1} = 9.322\ \frac{g}{m} \qquad K_2 := \frac{Sa_2}{Sd_2} = 9.21\ \frac{g}{m} \qquad K_i := \frac{(K_1 + K_2)}{2} = 9.266\ \frac{g}{m}$$

Calculo del punto de fluencia

Restricciones de prueba

$d_y := 0.1\ m$

$$K_i \cdot \frac{d_y^{\,2}}{2} + \frac{(K_i \cdot d_y + ap_i) \cdot (dp_i - d_y)}{2} = A_{curva}$$

Solver

$d_y := \text{find}(d_y) = 0.02227\ m$

$d_y = 0.02227\ m$ $\qquad a_y := K_i \cdot d_y = 0.20632\ g$

Periodo elástico

$$T_0 := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{Sd_1}{Sa_1}\right)^{0.5} = 0.65716\ s$$

Ductilidad

$$\mu := \frac{dp_i}{d_y} = 2.47001$$

Periodo efectivo

$$T_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| (0.2 \cdot (\mu - 1)^2 - 0.038 \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| (0.28 + 0.13 \cdot (\mu - 1) + 1) \cdot T_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \left(0.89 \cdot \left(\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + 0.05 \cdot (\mu - 2)}} - 1\right) + 1\right) \cdot T_0 \right. \end{array} \right\| = 0.861846\ s$$

Amortiguamiento viscoso inicial elástico: disipación de energía antes de iniciar el comportamiento inelástico:

$$\beta_0 := 5$$

Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 < \mu < 4 \\ \quad \left\| 4.9 \cdot (\mu - 1)^2 - 1.1 \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 \right. \\ \text{else if } \mu < 6.5 \\ \quad \left\| 14 + 0.32 \cdot (\mu - 1) + \beta_0 \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| 19 \cdot \left(\frac{(0.64 \cdot (\mu - 1) - 1)}{(0.64 \cdot (\mu - 1))^2}\right) \cdot \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right) + \beta_0 \right. \end{array} \right\| = 12.094293$$

Coeficiente de amortiguamiento B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.287$$

Rigidez secante y periodo secante

$$K_{sec} := \frac{ap_i}{dp_i} = 6.28287\ \frac{g}{m}$$

$$Sd_i = \frac{T_i^2 \cdot Sa_i}{4 \cdot \pi^2} \qquad T_{sec} := \left(4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{dp_i}{ap_i}\right)^{0.5} = 0.8005\ s$$

factor de modificación para la demanda MADRS

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right)^2 = 1.15925$$

ECUACIÓN PARA LA RECTA DEL PERIODO EFECTIVO

$$K_{eff} := \frac{4 \cdot \pi^2}{T_{eff}^2} = 5.41976 \ \frac{g}{m}$$

$$Sa_{Teff}(sd) := K_{eff} \cdot sd$$

$$sd := 0\ m, 0.03\ m .. 0.3\ m$$

$$Sd1 := \text{vec}(sd) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.03 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.12 \\ 0.15 \\ 0.18 \\ 0.21 \\ 0.24 \\ 0.27 \\ 0.3 \end{bmatrix} m \qquad Sa1 := Sa_{Teff}(Sd1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.162593 \\ 0.325185 \\ 0.487778 \\ 0.650371 \\ 0.812963 \\ 0.975556 \\ 1.138149 \\ 1.300741 \\ 1.463334 \\ 1.625927 \end{bmatrix} g$$

Espectro de demanda para sismo Ocasional

		DEMANDAS SISMICAS				
		Z=	0.25			
		U=	1.5			
		S=	1.2			

Salidas

$$Sd2 := excel_{"F18:F65"} \cdot m \qquad Sa2 := excel_{"E18:E65"} \cdot g$$

$n_c := 36$ conteo: inicio en 0 hasta posición de 1er valor repetitivo de sd, para facilitar función linter

DEMANDA MODIFICADO POR β_{eff}

$$Sd2 := \frac{Sd2}{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000041 \\ 0.000162 \\ 0.000365 \\ 0.000649 \\ 0.001013 \\ 0.001459 \\ 0.001986 \\ 0.002594 \\ 0.003283 \\ 0.004054 \\ 0.006334 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad Sd2 := \text{submatrix}(Sd2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.000041 \\ 0.000162 \\ 0.000365 \\ 0.000649 \\ 0.001013 \\ 0.001459 \\ 0.001986 \\ 0.002594 \\ 0.003283 \\ 0.004054 \\ 0.006334 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

$$Sa2 := \frac{Sa2}{B} = \begin{bmatrix} 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ \vdots \end{bmatrix} g \qquad Sa2 := \text{submatrix}(Sa2, 0, n_c, 0, 0) = \begin{bmatrix} 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ 0.407829 \\ \vdots \end{bmatrix} g$$

Punto de desempeño

$$F1(x) := \text{linterp}(Sd1, Sa1, x)$$

$$F2(x) := \text{linterp}(Sd2, Sa2, x)$$

Solución mas desfavorable de prueba

$$x := 0.08\ m$$

$$F1(x) - F2(x) = 0$$

$$Sd_i := \text{find}(x) = 0.05241\ m$$

$$\text{if}\left(0.95 \cdot dp_i \le Sd_i \le 1.05 \cdot dp_i, \text{"OK"}, \text{"nuevo dpi"}\right) = \text{"OK"}$$

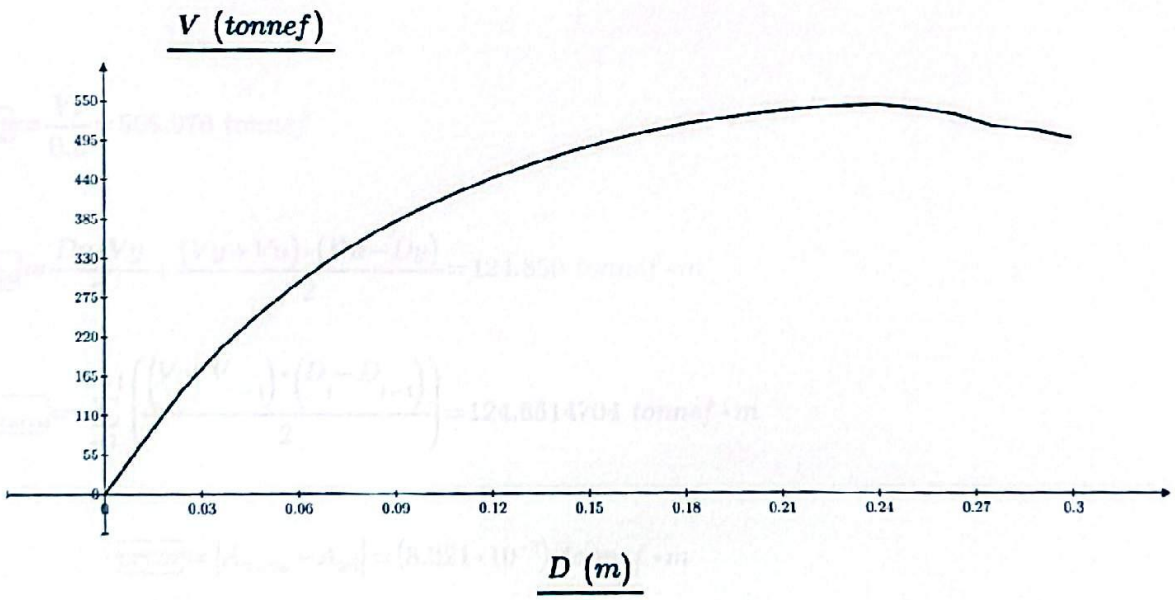
PUNTO DE DESEMPEÑO_SISMO OCASIONAL_DIRECCION X

$$Sd_i = 0.05241\ m \qquad Sa_i := \text{linterp}(Sd, Sa, Sd_i) = 0.33799\ g$$

PUNTO DE DESEMPEÑO-METODO DE LOS COEFICIENTES ASCE 41-13

CURVA DE CAPACIDAD EN DIRECCIÓN Y

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.012 \\ 0.024 \\ 0.036 \\ 0.048 \\ 0.06 \\ 0.072 \\ 0.084 \\ 0.096 \\ 0.108 \\ 0.12 \\ 0.132 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad V = \begin{bmatrix} 0 \\ 73.72 \\ 145.718 \\ 204.209 \\ 252.784 \\ 296.439 \\ 335.343 \\ 367.453 \\ 395.141 \\ 419.622 \\ 441.394 \\ 460.634 \\ \vdots \end{bmatrix} tonnef$$



$\text{length}(D) = 26$

$n := \text{rows}(D) = 26$ $\qquad D_u := D_{n-1} = 0.3\ m$ $\qquad V_u := V_{n-1} = 496.548\ tonnef$

ITERACIONES PARA CALCULAR DY, VY GLOBAL_DIRECCIÓN Y

ITERACIÓN 1

$n := \text{rows}(D) = 26$

$Dy := 0.10\ m$ $\qquad Di := 0.6 \cdot Dy = 0.06\ m$ $\qquad Du := D_{n-1} = 0.3\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 296.439\ tonnef$ $\qquad Vu := V_{n-1} = 496.548\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 494.065\ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 123.765\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) = 124.8514704\ tonnef \cdot m$$

$$error := A_{curva} - A_{bil} = 1.087\ tonnef \cdot m$$

ITERACIÓN n

$Dy = 0.1046\ m$ $\quad Di := 0.6 \cdot Dy = 0.063\ m$ $\quad Du = 0.3\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 305.387\ tonnef$ $\quad Vu = 496.548\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 508.978\ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 124.859\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) = 124.8514704\ tonnef \cdot m$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = \left(8.021 \cdot 10^{-3}\right) tonnef \cdot m$$

Por lo tanto : $\quad Dy = 0.1046\ m$ $\quad Vy = 508.978\ tonnef$

$D_y := Dy$ $\quad V_y := Vy$

DEMANDA SISMICA

$Z := 0.25$ $\quad U := 1.5$ $\quad S := 1.2$ $\quad T_p := 0.6\ s$ $\quad T_l := 2\ s$ $\quad R := 1$

$T := 0\ s, 0.01\ s .. 10\ s$

SISMO MUY RARO

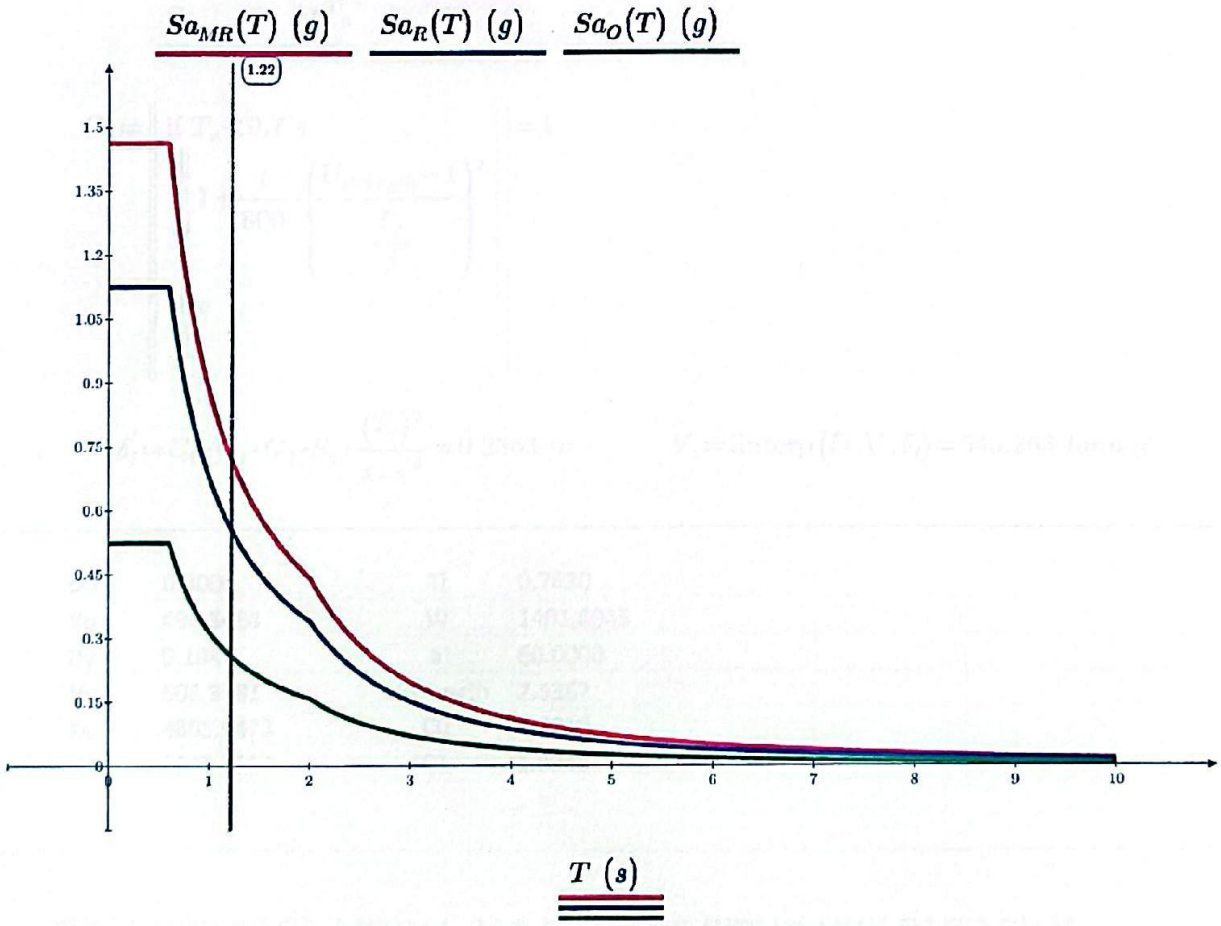
$$Sa_{MR}(T) := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T < T_p \\ \quad C \leftarrow 2.5 \\ \quad 1.3 \cdot \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \\ \text{else if } T < T_l \\ \quad C \leftarrow 2.5 \cdot \dfrac{T_p}{T} \\ \quad 1.3 \cdot \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \\ \text{else} \\ \quad C \leftarrow 2.5 \cdot \dfrac{T_p \cdot T_l}{T^2} \\ \quad 1.3 \cdot \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \end{array} \right\|$$

SISMO RARO

$$Sa_R(T) := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T < T_p \\ \quad C \leftarrow 2.5 \\ \quad \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \\ \text{else if } T < T_l \\ \quad C \leftarrow 2.5 \cdot \dfrac{T_p}{T} \\ \quad \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \\ \text{else} \\ \quad C \leftarrow 2.5 \cdot \dfrac{T_p \cdot T_l}{T^2} \\ \quad \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \end{array} \right\|$$

SISMO OCASIONAL

$$Sa_O(T) := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T < T_p \\ \quad C \leftarrow 2.5 \\ \quad \dfrac{1.4}{3} \cdot \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \\ \text{else if } T < T_l \\ \quad C \leftarrow 2.5 \cdot \dfrac{T_p}{T} \\ \quad \dfrac{1.4}{3} \cdot \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \\ \text{else} \\ \quad C \leftarrow 2.5 \cdot \dfrac{T_p \cdot T_l}{T^2} \\ \quad \dfrac{1.4}{3} \cdot \dfrac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \end{array} \right\|$$



PUNTO DE DESEMPEÑO PARA SISMO MUY RARO-Y

$D_y = 0.1046\ m$ $V_y = 508.978\ tonnef$ $T_i := 0.763\ s$

$$K_e := \frac{V_y}{D_y} = 4865.947 \ \frac{tonnef}{m}$$

$$K_i := \frac{V_1}{D_1} = 6143.35 \ \frac{tonnef}{m}$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.857 \ s \qquad S_a := Sa_{MR}(T_e) = 1.024 \ g$$

$C_0 := 1.2219$ $a := 60$ $W := 1401.60449 \ tonnef$ $C_m := 0.9$

$$U_{strength} := \frac{S_a \cdot C_m}{\frac{V_y}{W} \cdot g} = 2.53672$$

$$C_1 := 1 + \frac{(U_{strength} - 1) \cdot s^2}{a \cdot T_e^{\ 2}} = 1.034846$$

$$C_2 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T_e < 0.7 \ s \\ \quad \left\| 1 + \frac{1}{800} \cdot \left(\frac{U_{strength} - 1}{\frac{T_e}{s}} \right)^2 \right. \\ \text{else} \\ \quad \| 1 \end{array} \right\| = 1$$

$$\delta_t := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \frac{(T_e)^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.2363 \ m \qquad V_t := \text{linterp}(D, V, \delta_t) = 543.263 \ tonnef$$

Du	0.3000	Ti	0.7630				
Vu	496.5484	W	1401.6045				
Dy	0.1046	a	60.0000				
Vy	508.9781	Ustrength	2.5367				
Ke	4865.9473	C0	1.2219				
Ki	6143.3500	C1	1.0348				

ITERACIÓN PARA ACTUALIZAR DY,VY DE SISMO MUY RARO EN Y

ITERACIÓN 1

Ddesplazamiento objetivo

$n := 20$ Incluye valor interpolado $Du := \delta_t = 0.2363\ m$

$Vu := V_t = 543.263\ tonnef$

$Dy := 0.085\ m$ $Di := 0.6 \cdot Dy = 0.051\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 263.698\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 439.497\ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 93.024\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2} = 91.5139525\ tonnef \cdot m$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = 1.51\ tonnef \cdot m$$

ITERACIÓN n

$Dy := 0.0765\ m$ $Di := 0.6 \cdot Dy = 0.046\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 244.284\ tonnef$

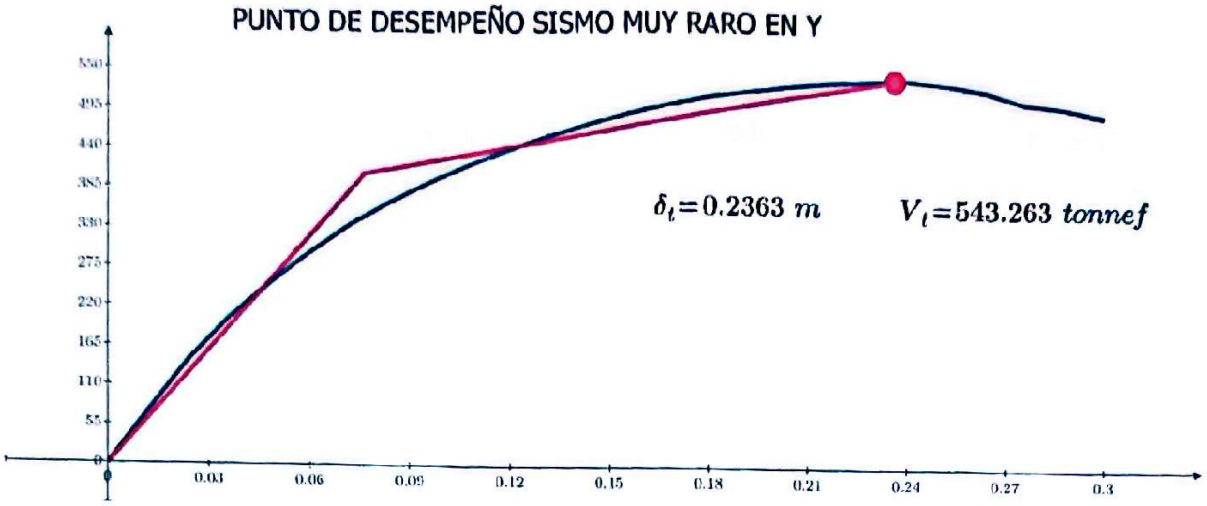
$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 407.139\ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 91.51\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2}$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = \left(3.901 \cdot 10^{-3}\right)\ tonnef \cdot m$$

$Dy = 0.0765\ m$ $Vy = 407.139\ tonnef$



PUNTO DE DESEMPEÑO PARA SISMO RARO-Y

$D_y = 0.1046\ m$ $V_y = 508.978\ tonnef$ $T_i := 0.763\ s$

$$K_e := \frac{V_y}{D_y} = 4865.947\ \frac{tonnef}{m}$$

$$K_i := \frac{V_1}{D_1} = 6143.35\ \frac{tonnef}{m}$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.8573\ s \qquad S_a := Sa_R(T_e) = 0.7873\ g$$

$C_0 := 1.2482$ $a := 60$ $C_m := 0.9$ $W := 1401.60449\ tonnef$

$$U_{strength} := \frac{S_a \cdot C_m}{\frac{V_y}{W} \cdot g} = 1.95132$$

$$C_1 := 1 + \frac{(U_{strength} - 1) \cdot s^2}{a \cdot T_e^{\,2}} = 1.021572$$

$$C_2 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T_e < 0.7\ s \\ \quad \left\| 1 + \frac{1}{800} \cdot \left(\frac{U_{strength} - 1}{\frac{T_e}{s}} \right)^2 \right. \\ \text{else} \\ \quad \| 1 \end{array} \right\| = 1$$

$\delta_t := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \frac{(T_e)^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.1833\ m$ $\quad V_t := \text{linterp}(D, V, \delta_t) = 518.8657\ tonnef$

Du	0.3000	Ti	0.7630
Vu	496.5484	W	1401.6045
Dy	0.1046	a	60.0000
Vy	508.9781	Ustrength	1.9513
Ke	4865.9473	C0	1.2482
Ki	6143.3500	C1	1.0216

ITERACIÓN PARA ACTUALIZAR DY,VY DE SISMO RARO EN Y

ITERACIÓN 1

Ddesplazamiento objetivo

$n := 15$ Incluye valor interpolado

$Du := \delta_t = 0.183\ m$

$Vu := V_t = 518.866\ tonnef$

$Dy = 0.07\ m$

$Di := 0.6 \cdot Dy = 0.042\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 228.496\ tonnef$

$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 380.827\ tonnef$

$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 64.296\ tonnef \cdot m$

$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2} = 63.2232766\ tonnef \cdot m$

$error := A_{curva} - A_{bil} = -1.073\ tonnef \cdot m$

ITERACIÓN n

$Dy := 0.0604\ m$ $\quad Di := 0.6 \cdot Dy = 0.036\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 205.18\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 341.967\ tonnef$$

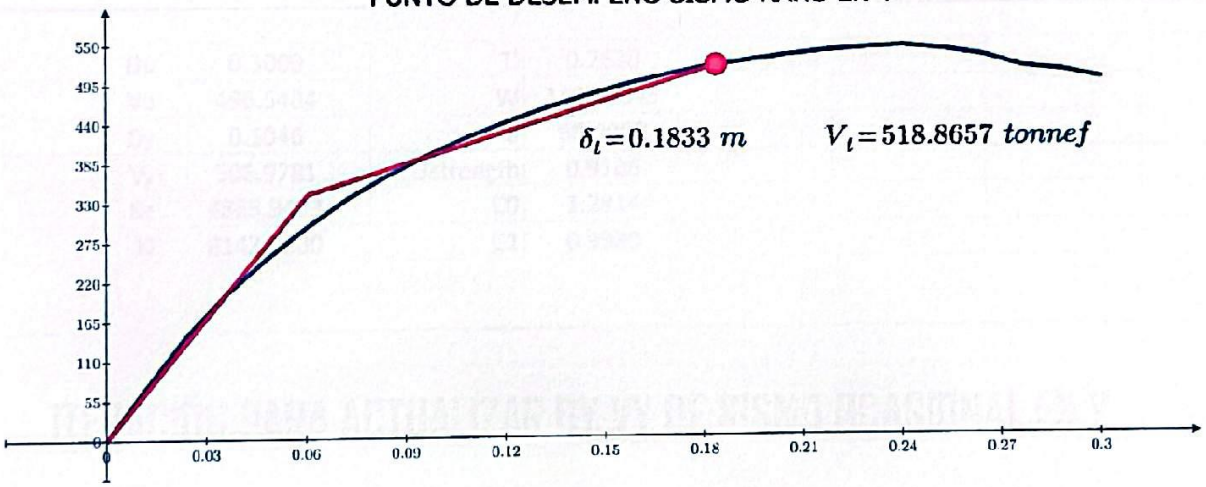
$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 63.225\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2}$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = \left(2.062 \cdot 10^{-3}\right)\ tonnef \cdot m$$

$Dy = 0.0604\ m$ $Vy = 341.9667\ tonnef$

PUNTO DE DESEMPEÑO SISMO RARO EN Y



PUNTO DE DESEMPEÑO PARA SISMO OCASIONAL-Y

$D_y = 0.1046\ m$ $V_y = 508.978\ tonnef$ $T_i := 0.763\ s$

$$K_e := \frac{V_y}{D_y} = 4865.947\ \frac{tonnef}{m}$$

$$K_i := \frac{V_1}{D_1} = 6143.35\ \frac{tonnef}{m}$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.857\ s \qquad S_a := Sa_O\left(T_e\right) = 0.367\ g$$

$C_0 := 1.2914$ $g := 60$ $C_m := 0.9$ $W := 1401.60449\ tonnef$

$$U_{strength} := \frac{S_a \cdot C_m}{\frac{V_y}{W} \cdot g} = 0.91062$$

$$C_1 := 1 + \frac{(U_{strength} - 1) \cdot s^2}{a \cdot T_e^{\,2}} = 0.997973$$

$$C_2 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T_e < 0.7\ s \\ \quad \left\| 1 + \frac{1}{800} \cdot \left(\frac{U_{strength} - 1}{\frac{T_e}{s}} \right)^2 \right. \\ \text{else} \\ \quad \| 1 \end{array} \right\| = 1$$

$$\delta_t := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \frac{(T_e)^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.08646\ m \qquad V_t := \text{linterp}(D, V, \delta_t) = 373.1192\ tonnef$$

Du	0.3000	Ti	0.7630				
Vu	496.5484	W	1401.6045				
Dy	0.1046	a	60.0000				
Vy	508.9781	Ustrength	0.9106				
Ke	4865.9473	C0	1.2914				
Ki	6143.3500	C1	0.9980				

ITERACIÓN PARA ACTUALIZAR DY,VY DE SISMO OCASIONAL EN Y

ITERACIÓN 1

Ddesplazamiento objetivo

$n := 8$ Incluye valor interpolado

$Du := \delta_t = 0.08646\ m$

$Vu := V_t = 373.119\ tonnef$

$Dy := 0.06\ m$

$Di := 0.6 \cdot Dy = 0.036\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 204.209\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 340.348\ tonnef$$

$$A_{bi} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 19.648\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2} = 18.8126557 \ tonnef \cdot m$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = 0.835 \ tonnef \cdot m$$

ITERACIÓN n

$$Dy := 0.03515 \ m \qquad Di := 0.6 \cdot Dy = 0.021 \ m$$

$$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 128.259 \ tonnef$$

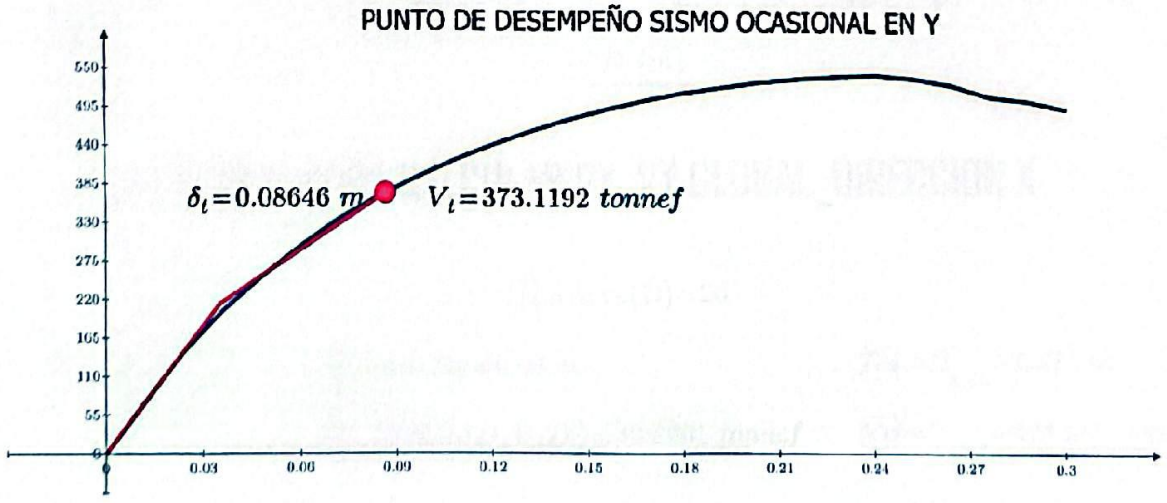
$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 213.765 \ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 18.812 \ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2}$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = \left(4.424 \cdot 10^{-4}\right) \ tonnef \cdot m$$

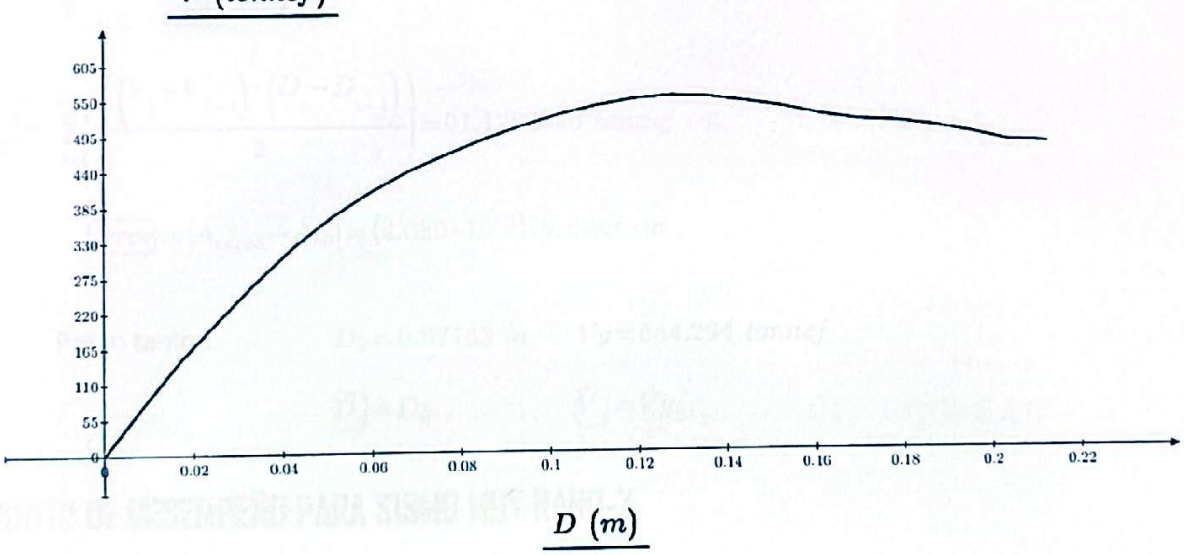
$$Dy = 0.03515 \ m \qquad Vy = 213.7646 \ tonnef$$



CURVA DE CAPACIDAD EN DIRECCIÓN X

$n := \text{rows}(D) = 26$ $\quad Du := D_{n-1} = 0.212\ m$ $\quad Vu := V_{n-1} = 477.064\ tonnef$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 8.48 \cdot 10^{-3} \\ 0.017 \\ 0.025 \\ 0.034 \\ 0.042 \\ 0.051 \\ 0.059 \\ 0.068 \\ 0.076 \\ 0.085 \\ 0.093 \\ \vdots \end{bmatrix} m \qquad V = \begin{bmatrix} 0 \\ 74.423 \\ 147.39 \\ 208.733 \\ 268.509 \\ 323.468 \\ 369.076 \\ 407.312 \\ 438.438 \\ 464.054 \\ 487.535 \\ 507.392 \\ \vdots \end{bmatrix} tonnef$$



ITERACIONES PARA CALCULAR DY, VY GLOBAL_DIRECCION X

ITERACIÓN 1

$n := \text{rows}(D) = 26$

$Dy := 0.10\ m$ $\quad Di := 0.6 \cdot Dy = 0.06\ m$ $\quad Du := D_{n-1} = 0.212\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 409.661\ tonnef$ $\quad Vu := V_{n-1} = 477.064\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 682.769\ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 99.089 \ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) = 91.1783846 \ tonnef \cdot m$$

$$error := A_{curva} - A_{bil} = -7.911 \ tonnef \cdot m$$

ITERACIÓN n

$Dy := 0.07163 \ m$ $\quad Di := 0.6 \cdot Dy = 0.043 \ m$ $\quad Du = 0.212 \ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 326.577 \ tonnef$ $\quad Vu = 477.064 \ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 544.294 \ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 91.178 \ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) = 91.1783846 \ tonnef \cdot m$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = \left(4.089 \cdot 10^{-4}\right) \ tonnef \cdot m$$

Por lo tanto : $\quad Dy = 0.07163 \ m$ $\quad Vy = 544.294 \ tonnef$

$D_y := Dy$ $\quad V_y := Vy$

PUNTO DE DESEMPEÑO PARA SISMO MUY RARO-X

$D_y = 0.0716 \ m$ $\quad V_y = 544.294 \ tonnef$ $\quad T_i := 0.665 \ s$

$$K_e := \frac{V_y}{D_y} = 7598.694 \ \frac{tonnef}{m}$$

$$K_i := \frac{V_1}{D_1} = 8776.262 \ \frac{tonnef}{m}$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.715 \ s \qquad S_a := Sa_{MR}(T_e) = 1.228 \ g$$

$C_d := 1.1313$ $\quad a := 60$ $\quad C_m := 0.9$ $\quad W := 1401.60449 \ tonnef$

$$U_{strength} := \frac{S_a \cdot C_m}{\frac{V_y}{W} \cdot g} = 2.8456$$

$$C_1 := 1 + \frac{(U_{strength} - 1) \cdot s^2}{a \cdot T_e^{\,2}} = 1.060224$$

$$C_2 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T_e < 0.7\ s \\ \quad \left\| 1 + \frac{1}{800} \cdot \left(\frac{U_{strength} - 1}{\frac{T_e}{s}} \right)^2 \right. \\ \text{else} \\ \quad \| 1 \end{array} \right\| = 1$$

$$\delta_t := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \frac{(T_e)^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.18685\ m \qquad V_t := \text{linterp}(D, V, \delta_t) = 503.4426\ tonnef$$

Du	0.2120	Ti	0.6650				
Vu	477.0644	W	1401.6045				
Dy	0.0716	a	60.0000				
Vy	544.2944	Ustrength	2.8456				
Ke	7598.6939	C0	1.1313				
Ki	8776.2618	C1	1.0602				

ITERACIÓN PARA ACTUALIZAR DY,VY DE SISMO MUY RARO EN X

ITERACIÓN 1

Desplazamiento objetivo

$n := 23$ Incluye valor interpolado

$Du := \delta_t = 0.18685\ m$

$Vu := V_t = 503.443\ tonnef$

$Dy := 0.075\ m$

$Di := 0.6 \cdot Dy = 0.045\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 337.452\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 562.419\ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 80.698 \ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2} = 78.9213461 \ tonnef \cdot m$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = 1.777 \ tonnef \cdot m$$

ITERACIÓN n

$Dy := 0.06871 \ m$ $\quad Di := 0.6 \cdot Dy = 0.041 \ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 315.859 \ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 526.432 \ tonnef$$

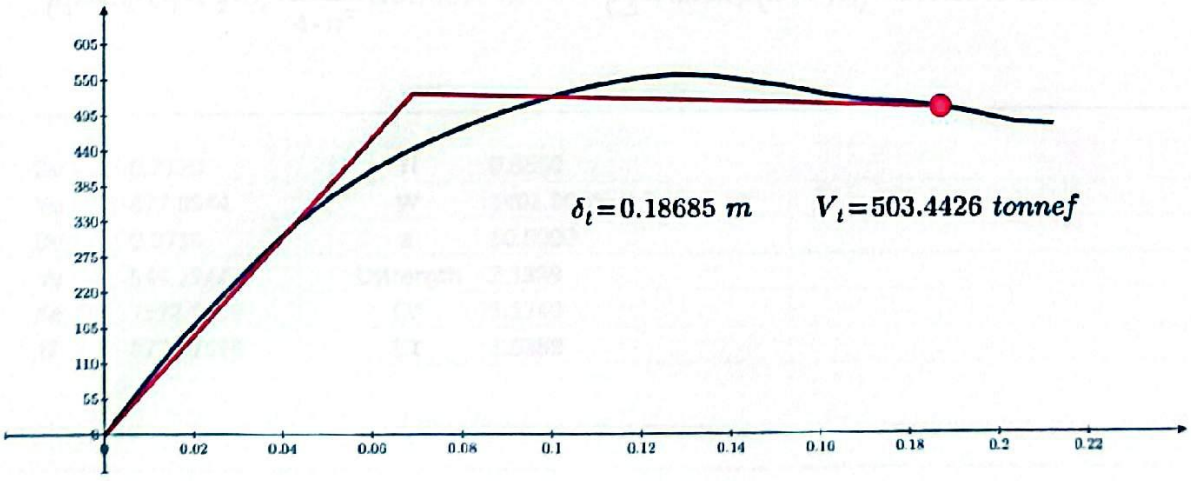
$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 78.92 \ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2}$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = \left(1.621 \cdot 10^{-3}\right) \ tonnef \cdot m$$

$Dy = 0.06871 \ m$ $\quad Vy = 526.4321 \ tonnef$

PUNTO DE DESEMPEÑO SISMO MUY RARO EN X



$\delta_t = 0.18685 \ m$ $\quad V_t = 503.4426 \ tonnef$

PUNTO DE DESEMPEÑO PARA SISMO RARO-X

$D_y = 0.0716\ m \qquad V_y = 544.294\ tonnef \qquad T_i := 0.665\ s$

$$K_e := \frac{V_y}{D_y} = 7598.694\ \frac{tonnef}{m}$$

$$K_i := \frac{V_1}{D_1} = 8776.262\ \frac{tonnef}{m}$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.715\ s \qquad S_a := Sa_R(T_e) = 0.944\ g$$

$C_0 := 1.17397 \qquad a := 60 \qquad C_m := 0.9 \qquad W := 1401.60449\ tonnef$

$$U_{strength} := \frac{S_a \cdot C_m}{\frac{V_y}{W} \cdot g} = 2.18893$$

$$C_1 := 1 + \frac{(U_{strength} - 1) \cdot s^2}{a \cdot T_e^{\,2}} = 1.038796$$

$$C_2 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T_e < 0.7\ s \\ \quad \left\| 1 + \frac{1}{800} \cdot \left(\frac{U_{strength} - 1}{\frac{T_e}{s}} \right)^2 \right. \\ \text{else} \\ \quad \| 1 \end{array} \right\| = 1$$

$$\delta_t := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \frac{(T_e)^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.14614\ m \qquad V_t := \text{linterp}(D, V, \delta_t) = 541.3046\ tonnef$$

Du	0.2120	Ti	0.6650				
Vu	477.0644	W	1401.6045				
Dy	0.0716	a	60.0000				
Vy	544.2944	Ustrength	2.1889				
Ke	7598.6939	C0	1.1740				
Ki	8776.2618	C1	1.0388				

ITERACION PARA ACTUALIZAR DY,VY DE SISMO RARO EN X

ITERACIÓN 1

Desplazamiento objetivo

$n := 18$ Incluye valor interpolado

$Du := \delta_t = 0.14614\ m$

$Vu := V_t = 541.305\ tonnef$

$Dy := 0.075\ m$

$Di := 0.6 \cdot Dy = 0.045\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 337.452\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 562.419\ tonnef$$

$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 60.348\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2} = 57.7594124\ tonnef \cdot m$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = 2.589\ tonnef \cdot m$$

ITERACIÓN n

$Dy := 0.06052\ m$ $Di := 0.6 \cdot Dy = 0.036\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 284.011\ tonnef$

$$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 473.352\ tonnef$$

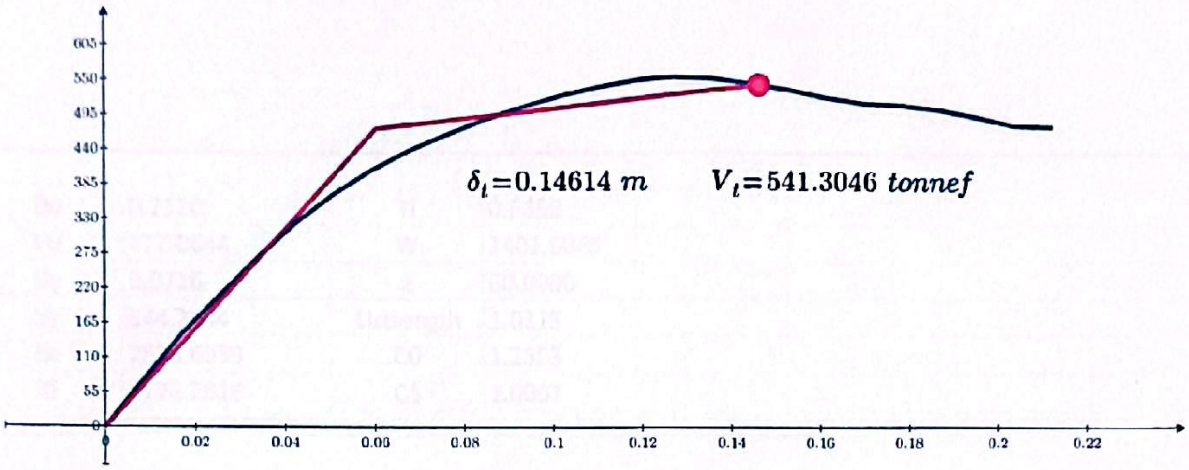
$$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 57.759\ tonnef \cdot m$$

$$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2}$$

$$error := \left| A_{curva} - A_{bil} \right| = \left(2.191 \cdot 10^{-5}\right)\ tonnef \cdot m$$

$Dy = 0.06052\ m$ $Vy = 473.3524\ tonnef$

PUNTO DE DESEMPEÑO SISMO RARO EN X



PUNTO DE DESEMPEÑO PARA SISMO OCASIONAL-X

$D_y = 0.0716\ m$ $V_y = 544.294\ tonnef$ $T_i := 0.665\ s$

$$K_e := \frac{V_y}{D_y} = 7598.694\ \frac{tonnef}{m}$$

$$K_i := \frac{V_1}{D_1} = 8776.262\ \frac{tonnef}{m}$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.715\ s \qquad S_a := Sa_O(T_e) = 0.441\ g$$

$C_0 := 1.2553$ $a := 60$ $C_m := 0.9$ $W := 1401.60449\ tonnef$

$$U_{strength} := \frac{S_a \cdot C_m}{\frac{V_y}{W} \cdot g} = 1.0215$$

$$C_1 := 1 + \frac{(U_{strength} - 1) \cdot s^2}{a \cdot T_e^{\,2}} = 1.000702$$

$$C_2 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } T_e < 0.7\ s \\ \quad \left\| 1 + \frac{1}{800} \cdot \left(\frac{U_{strength} - 1}{\frac{T_e}{s}} \right)^2 \right. \\ \text{else} \\ \quad \| 1 \end{array} \right\| = 1$$

$\delta_t := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \frac{(T_e)^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.07025\ m$ $V_t := \text{linterp}(D, V, \delta_t) = 445.7102\ tonnef$

Du	0.2120	Ti	0.6650				
Vu	477.0644	W	1401.6045				
Dy	0.0716	a	60.0000				
Vy	544.2944	Ustrength	1.0215				
Ke	7598.6939	C0	1.2553				
Ki	8776.2618	C1	1.0007				

ITERACIÓN PARA ACTUALIZAR DY,VY DE SISMO OCASIONAL EN X

ITERACIÓN 1

Desplazamiento objetivo

$n := 9$ Incluye valor interpolado $Du := \delta_t = 0.07025\ m$

$Vu := V_t = 445.71\ tonnef$

$Dy := 0.06\ m$ $Di := 0.6 \cdot Dy = 0.036\ m$

$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 281.989\ tonnef$

$Vy := \frac{Vi}{0.6} = 469.982\ tonnef$

$A_{bil} := \frac{Dy \cdot Vy}{2} + \frac{(Vy + Vu) \cdot (Du - Dy)}{2} = 18.791\ tonnef \cdot m$

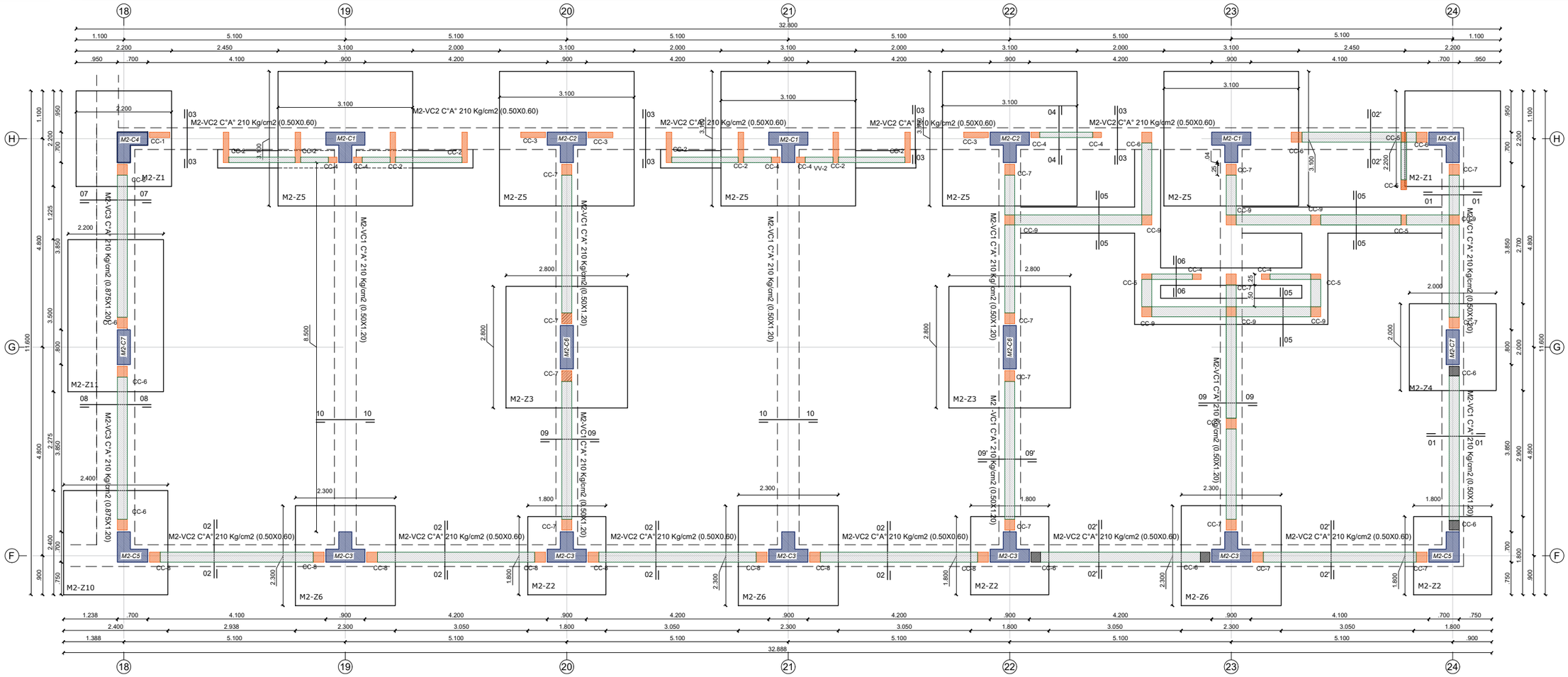
$A_{curva} := \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\left(V_i + V_{i-1}\right) \cdot \left(D_i - D_{i-1}\right)}{2} \right) + \frac{\left(Vu + V_{n-1}\right) \cdot \left(Du - D_{n-1}\right)}{2} = 18.1780056\ tonnef \cdot m$

$error := |A_{curva} - A_{bil}| = 0.613\ tonnef \cdot m$

ITERACIÓN n

$Dy := 0.0345\ m$ $Di := 0.6 \cdot Dy = 0.021\ m$

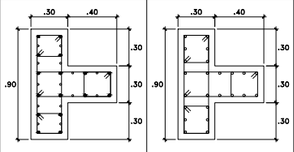
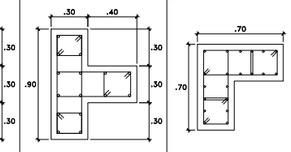
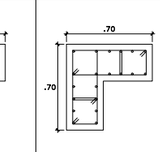
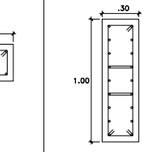
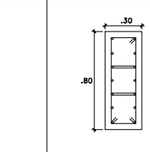
$Vi := \text{linterp}(D, V, Di) = 174.444\ tonnef$

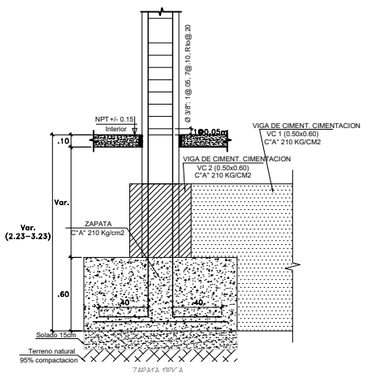


PLANTA DE CIMENTACION , MODULO 02-AULAS

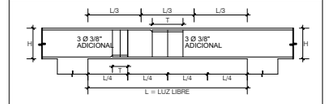
ESC.: 1/50

CUADRO DE COLUMNAS

SEGUNDO PISO Y TERCER PISO							
SOTANO PRIMER PISO							
ESTRIBOS Ø	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	5 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	4 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	4 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	3 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20	3 Ø 3/8": 1@.05, 7@.10, Rto@.20
Ø ACERO	16 Ø 1"+14 Ø 3/4"	24 Ø 3/4"	16 Ø 3/4"	20 Ø 3/4"	20 Ø 5/8"	18 Ø 5/8"	14 Ø 5/8"
a x b	0.30x0.90+0.30x0.40	0.30x0.90+0.30x0.40	0.30x0.90+0.30x0.40	0.30x0.70+0.30x0.40	0.30x0.70+0.30x0.40	0.30x1.00	0.30x0.80
Nro	03	02	05	02	02	02	02
TIPO	M2-C1	M2-C2	M2-C3	M2-C4	M2-C5	M2-C6	M2-C7



ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGUITUD DE TRASLAPE	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
	SUPERIOR (H<0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
T (m)	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65

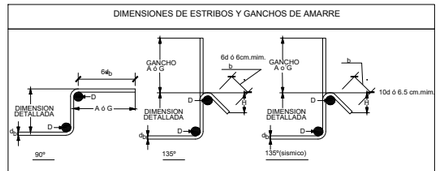
DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA

LONGUITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.16	0.20	0.25	0.35

DOBLADO DE ESTRIBOS

LONGUITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm.	8.0 cm.
	3/8"	4 cm.	12.0 cm.

DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE



Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm.)	GANCHO 135° H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50

DETALLE DE DOBLECES DEL ACERO DE REFUERZO

Ø ACERO Pulg.	Ø cm.	Ld cm.
1/4"	2.60	8.00
3/8"	6.00	12.00
5/8"	8.00	16.00
1/2"	10.00	20.00

RECUBRIMIENTOS

DESCRIPCIÓN	cm.
ZAPATAS	7.00
COLUMNAS Y VIGAS	4.00
VIGAS DE CIMENTACION	7.00
ALIGERADO Y VIGA CHATA	2.50

DESENCOFRADO

COLUMNAS	24 horas mínimo.
FONDO DE VIGAS Y LOSAS ALIG.	20 días mínimo
LATERAL DE VIGAS Y LOSA	24 horas mínimo
ARMADURAS	no deben soldarse.
ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS MONOLITICAMENTE.	

TRASLAPE Y EMPALMES

Ø	LOSAS VIGAS (cm)	COLUM. (cm)
6mm	30	30
3/8"	40	30
1/2"	50	40
5/8"	60	50
3/4"	70	60
1"	120	90

LOSAS Y VIGAS: No se permitirán empalmes en la zona superior(negativo) en una longitud de 1/4 de luz de la losa o viga a cada lado de la columna de apoyo.

EN COLUMNAS: Los empalmes L se ubicarán en el tercio central. No se empalmarán más del 50% de la armadura en una misma sección.

ESTRIBOS

Ø	l	Rmin
6mm	10cm	1.50cm
3/8"	13cm	2.00cm

DOSIFICACION DE MATERIALES PARA DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	TAMAÑO DE PIEDRA
CIMENTACION	CIMIENTO CORRIDO + ADICION DE PIEDRA GRANDE (Ø 8") EN 30%	f'c=100kg/cm2	1"
	ZAPATAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
SOBRECIMIENTOS	SOBRECIMIENTO CON ADICION DE PIEDRA MEDIANA (Ø 6") EN 25%	f'c=140kg/cm2	1"
	SOBRECIMIENTO ARMADO	f'c=175kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS VERTICALES	COLUMNAS, PLACAS Y MURO DE CONTENCION	f'c=210kg/cm2	1/2"
	FALSO PISO	f'c=100kg/cm2	1"
ELEMENTOS HORIZONTALES	PISO	f'c=140kg/cm2	1/2"
	VIGAS, LOSAS MACISAS Y ALIGERADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS INCLINADOS	GRADAS DE CONCRETO	f'c=210 kg/cm2	1/2"
	ESCALERAS REFORZADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AGREGADOS

AGREGADOS

- EL ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS DEBERA HACERSE EN LUGARES ADECUADOS QUE PERMITAN QUE EL MATERIAL SE CONSERVE LIBRE DE TIERRA O DE ELEMENTOS EXTRAÑOS.
- LOS AGREGADOS SE OBTENDRÁ EN FUENTES QUE DEBEN SER SOMETIDAS A LA APROBACIÓN DEL SUPERVISOR, Y DEBERA SER LIMPIA, DE GRANOS DUROS Y LIBRES DE CANTIDADES OBJETABLES DE POLVO, PIZARRAS, ARCILLAS, LIMOS, ÁLCALIS, MATERIAS ORGANICAS Ó SUSTANCIAS NOCIVAS.
- CADA AGREGADO SE ALMACENARA SEPARADO EN FORMA TAL QUE SE EVITE LA SEPARACIÓN Ó SEGREGACIÓN DE TAMAÑOS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESTRUCTURAS (COLUMNAS):

CONCRETO : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)
ACERO : fy = 4200 Kg/cm²
RECUBRIMIENTO MÍNIMO DEL REFUERZO = 4.00 cm
CONCRETO EN ZAPATAS : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL REFUERZO:

- Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores con una distancia libre entre capas igual al Ø b y no menor de 2.5 cm.
- Longitud de Traslape mínima = 30 cm.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONCRETO CICLOPEO
- CIMIENTO CORRIDOS :1:10 + 30% DE PIEDRA GRANDE DE TAM. MAX. 6"
- SOBRECIMIENTOS :1:8 PM + 25% DE PIEDRA MEDIANA DE TAM. MAX. 3"
- SOLADOS :1:12, CEM/HORM.

CONCRETO ARMADO
- CONCRETO COLUMNETAS Y VIGUETAS : f'c = 210kg/cm2
  ZAPATAS, VIGAS DE CONEXION, COLUMNAS VIGAS Y LOSA ALIGERADA : f'c = 210kg/cm2
- ACERO DE REFUERZO : fy = 4,200kg/cm2

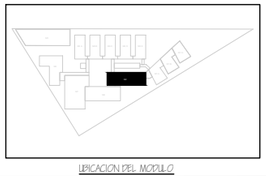
ALBAÑILERIA
- UNIDAD DE ALBAÑILERIA
- TABIQUES - Ladrillo KING kONG (Tipo 18 Huecos, TIPO IV) F'm = 50 kg/cm2 - Mortero : Mezcla = 1:5 Espesor Junta = 10 a 15 mm.

RECUBRIMIENTOS
- PLATEA DE CIMENTACIÓN : 7.0cm
- COLUMNAS Y VIGAS : 4.0cm
- ALIGERADOS Y VIGAS CHATAS : 2.5cm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VACIADO CONCRETO.

CONCRETO Y VACIADO

- DEL LUGAR DE MEZCLADO AL LUGAR DEL VACIADO EL CONCRETO SE TRANSPORTARÁ EN CARRETILLAS, EN LA FORMA MAS PRÁCTICA Y RAPIDA POSIBLE EVITANDO LA SEGREGAGIÓN DE LA MEZCLA.
- ANTES DE COMENZAR EL VACIADO DEL CONCRETO, LOS ENCOFRADOS DEBERAN LIMPIARSE Y HUMEDECERSE, DURANTE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.
- INMEDIATAMENTE DESPUES DE COLOCADO EL CONCRETO, SE PROTEGERÁ TODA LA SUPERFICIE DE LOS RAYOS SOLARES, HUMEDECIENDOLAS CONSTANTEMENTE DURANTE UN TIEMPO NO INFERIOR A DIEZ DIAS.
- LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO DEBE LLEVARSE A CABO CONTINUAMENTE COMPACTANDO ALREDEDOR DEL REFUERZO, EN LAS PARTES ESTRECHAS Y EN LAS ESQUINAS DE LAS FORMALETAS.



UBICACION DEL MODULO

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

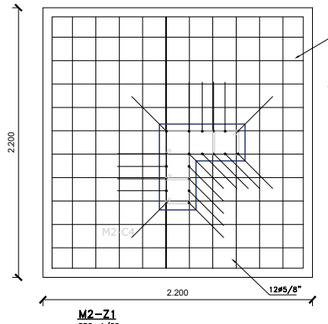
PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

UBICACION :
DPTO : AYACUCHO
PROVINCIA : HUAMANGA
DISTRITO : AYACUCHO
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

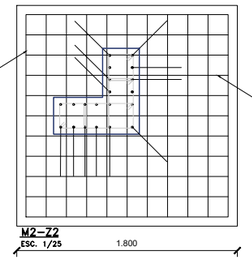
PLANO: PLANTA CIMENTACION
MODULO 2-AULAS

LAMINA Nº M2-E01-R

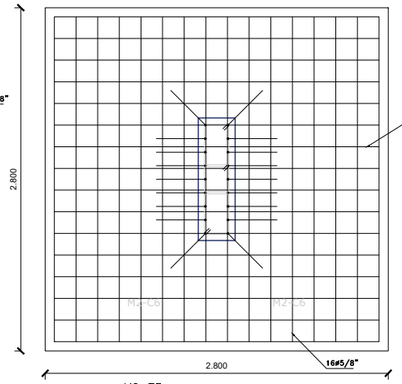
DIBUJO:
REVISADO : REVISION 1
ESCALA : INDICADA
FECHA : ABRIL DE 2024



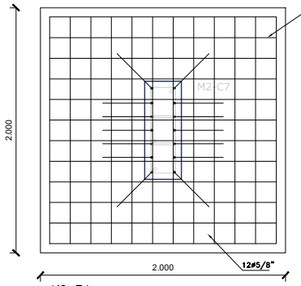
M2–Z1
ESC. 1/25



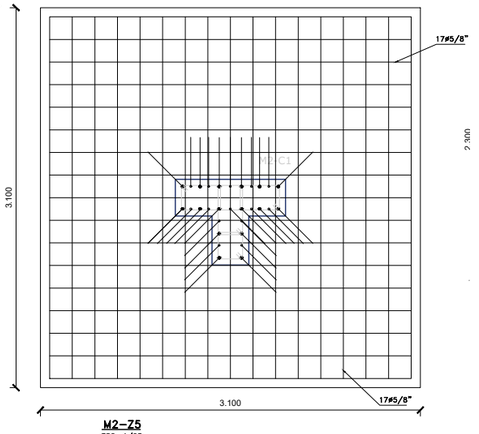
M2–Z2
ESC. 1/25



M2–Z3
ESC. 1/25



M2–Z4
ESC. 1/25

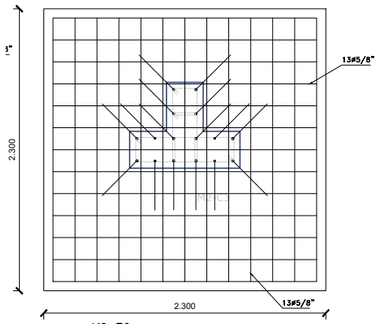


M2–Z5
ESC. 1/25

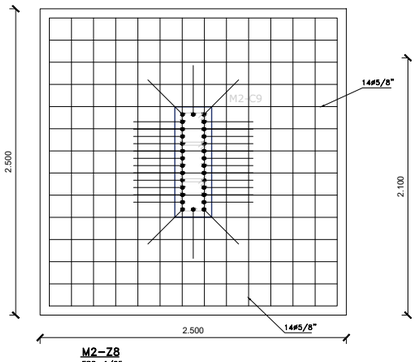
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VACIADO CONCRETO

CONCRETO Y VACIADO

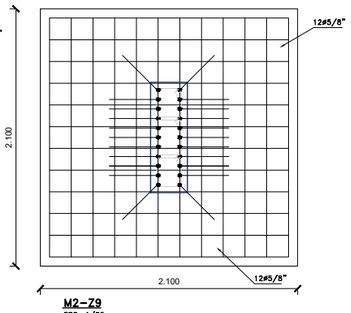
- DEL LUGAR DE MEZCLADO AL LUGAR DEL VACIADO EL CONCRETO SE TRANSPORTARÁ EN CARRETILLAS, EN LA FORMA MAS PRÁCTICA Y RAPIDA POSIBLE EVITANDO LA SEGREGAGIÓN DE LA MEZCLA.
- ANTES DE COMENZAR EL VACIADO DEL CONCRETO, LOS ENCOFRADOS DEBERAN LIMPIARSE Y HUMEDECERSE, DURANTE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.
- INMEDIATAMENTE DESPUES DE COLOCADO EL CONCRETO, SE PROTEGERÁ TODA LA SUPERFICIE DE LOS RAYOS SOLARES, HUMEDECIENDOLAS CONSTANTEMENTE DURANTE UN TIEMPO NO INFERIOR A DIEZ DIAS.
- LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO DEBE LLEVARSE A CABO CONTINUAMENTE COMPACTANDO ALREDEDOR DEL REFUERZO, EN LAS PARTES ESTRECHAS Y EN LAS ESQUINAS DE LAS FORMALETAS.



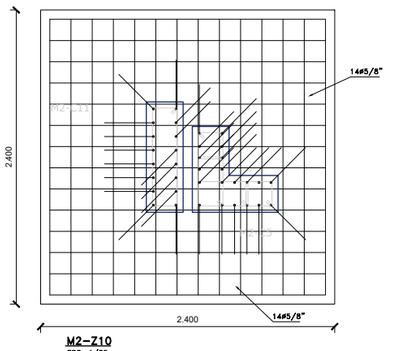
M2–Z6
ESC. 1/25



M2–Z8
ESC. 1/25



M2–Z9
ESC. 1/25



M2–Z10
ESC. 1/25

ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONCRETO CICLOPEO

CIMIENTO CORRIDOS	:1:10 + 30% DE PIEDRA GRANDE DE TAM. MAX. 6"
SOBRECIMIENTOS	:1:8 PM + 25% DE PIEDRA MEDIANA DE TAM. MAX. 3"
SOLADOS	:1:12, CEM/HORM.

CONCRETO ARMADO

CONCRETO	COLUMNETAS Y VIGUETAS	: f'c = 210kg/cm2
	ZAPATAS, VIGAS DE CONEXION, COLUMNAS VIGAS Y LOSA ALIGERADA	: f'c = 210kg/cm2
ACERO DE REFUERZO		: fy = 4.200kg/cm2

ALBAÑILERIA

UNIDAD DE ALBAÑILERIA

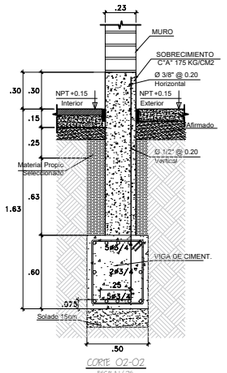
TABIQUES - Ladrillo KING KONG (Tipo 18 Huecos, TIPO IV)
f'm = 50 kg/cm2
- Mortero : Mezcla = 1:5 Espesor Junta = 10 a 15 mm.

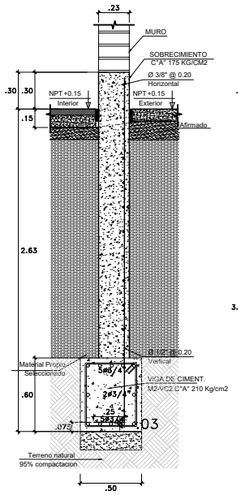
RECUBRIMIENTOS

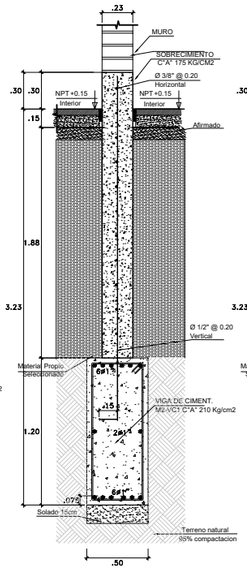
PLATEA DE CIMENTACIÓN	: 7.0cm
COLUMNAS Y VIGAS	: 4.0cm
ALIGERADOS Y VIGAS CHATAS	: 2.5cm

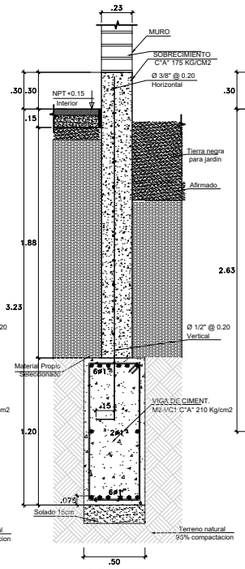
DOSIFICACION DE MATERIALES PARA DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO

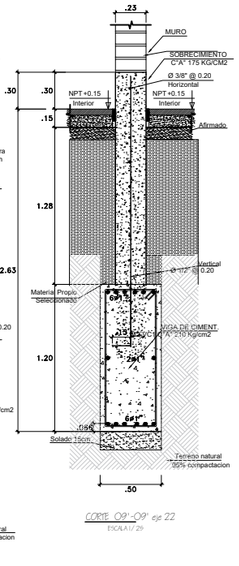
ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	TAMAÑO DE PIEDRA
CIMENTACION	CIMIENTO CORRIDO + ADICION DE PIEDRA GRANDE (Ø 8") EN 30%	f'c=100kg/cm2	1"
	ZAPATAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
SOBRECIMIENTOS	SOBRECIMIENTO CON ADICION DE PIEDRA MEDIANA (Ø 6") EN 25%	f'c=140kg/cm2	1"
	SOBRECIMIENTO ARMADO	f'c=175kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS VERTICALES	COLUMNAS, PLACAS Y MURO DE CONTENCION	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS HORIZONTALES	FALSO PISO	f'c=100kg/cm2	1"
	PISO	f'c=140kg/cm2	1/2"
	VIGAS, LOSAS MACISAS Y ALIGERADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS INCLINADOS	GRADAS DE CONCRETO	f'c=210 kg/cm2	1/2"
	ESCALERAS REFORZADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"

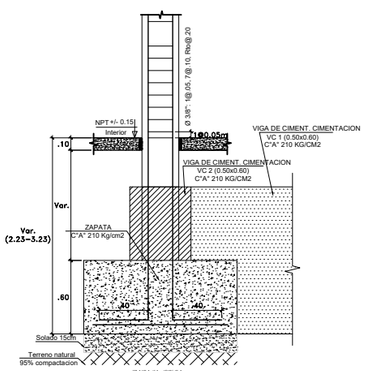












ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AGREGADOS

AGREGADOS

- EL ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS DEBERA HACERSE EN LUGARES ADECUADOS QUE PERMITAN QUE EL MATERIAL SE CONSERVE LIBRE DE TIERRA O DE ELEMENTOS EXTRAÑOS.
- LOS AGREGADOS SE OBTENDRÁ EN FUENTES QUE DEBEN SER SOMETIDAS A LA APROBACIÓN DEL SUPERVISOR, Y DEBERA SER LIMPIA, DE GRANOS DUROS Y LIBRES DE CANTIDADES OBJETABLES DE POLVO, PIZARRAS, ARCILLAS, LIMOS, ÁLCALIS, MATERIAS ORGANICAS Ó SUSTANCIAS NOCIVAS.
- CADA AGREGADO SE ALMACENARA SEPARADO EN FORMA TAL QUE SE EVITE LA SEPARACIÓN Ó SEGREGACIÓN DE TAMAÑOS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

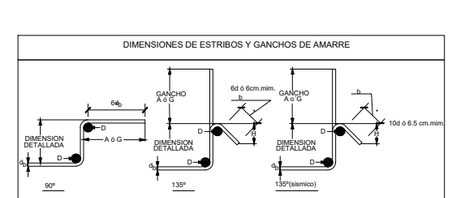
ESTRUCTURAS (COLUMNAS):

CONCRETO : fc = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)
ACERO : fy = 4200 Kg/cm²
RECUBRIMIENTO MINIMO DEL REFUERZO = 4.00 cm
CONCRETO EN ZAPATAS : fc = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL REFUERZO:

- Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores con una distancia libre entre capas igual al Ø b y no menor de 2.5 cm.
- Longitud de Traslape mínima = 30 cm.

DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE



Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A 6 Ø (cm)	GANCHO 135° A 6 Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A 6 Ø (cm.)	H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50

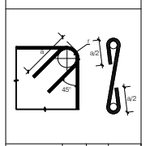
ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS

DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGUITUD DE TRASLAPE	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
	SUPERIOR (H<0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
T (m)	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65

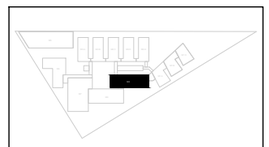
DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA

LONGUITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.16	0.20	0.25	0.35

DOBLADO DE ESTRIBOS



LONGUITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm.	8.0 cm.
	3/8"	4 cm.	12.0 cm.



UBICACION DEL MODULO

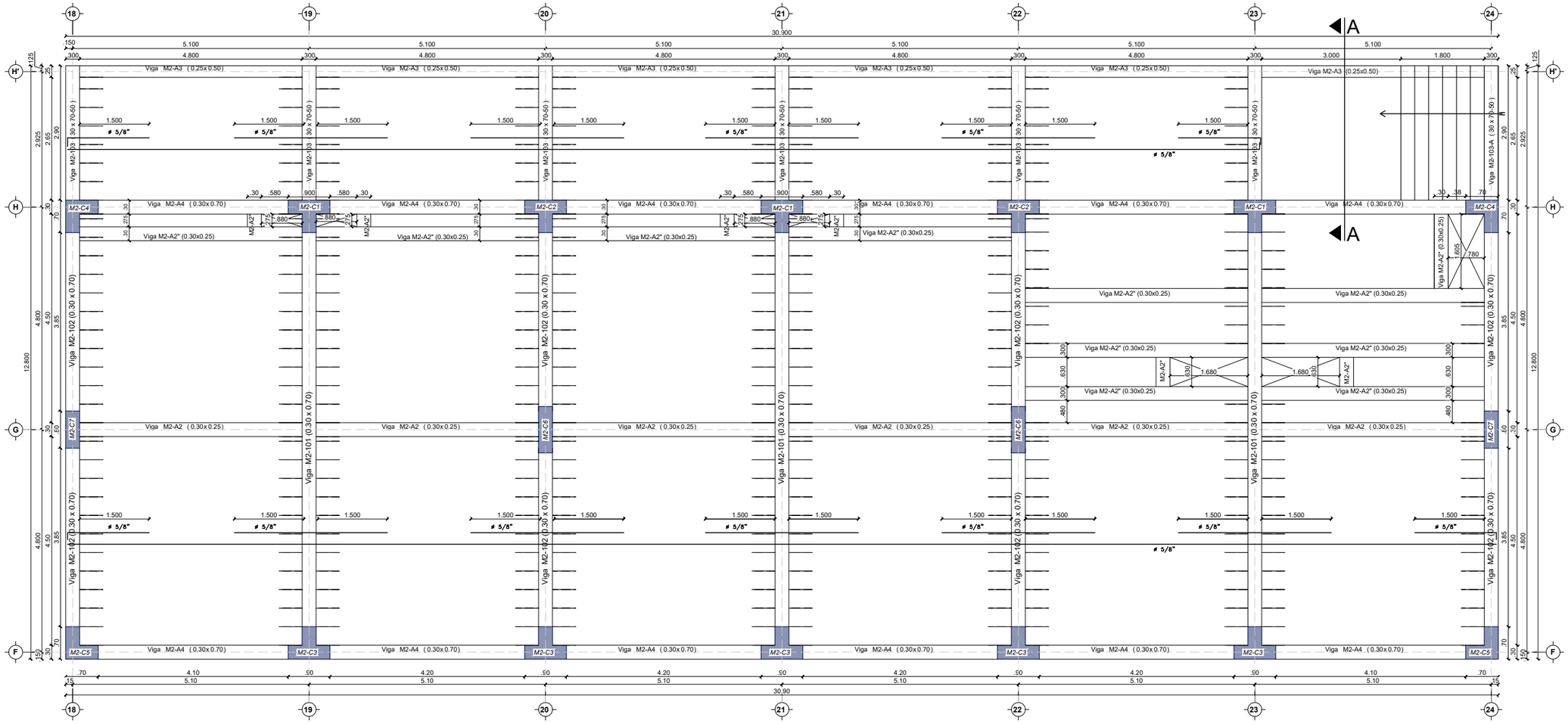
GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

UBICACION :
DPTO : AYACUCHO
PROVINCIA : HUAMANGA
DISTRITO : AYACUCHO
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

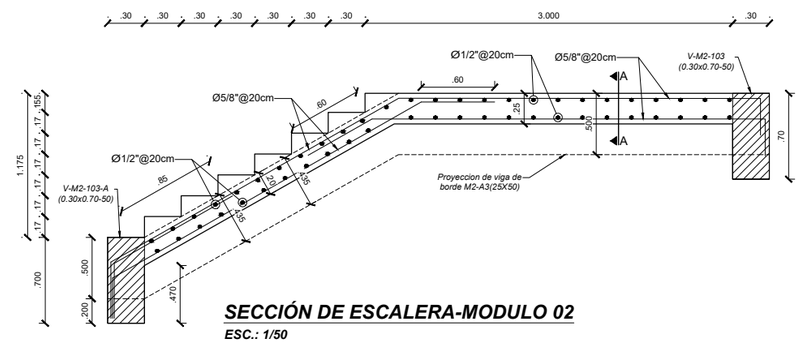
PLANO: DETALLE DE ZAPATAS
MODULO 2-AULAS
LAMINA Nº M2-E02-R

DIBUJO: | REVISADO : REVISION 1 | ESCALA : INDICADA | FECHA : ABRIL DE 2024



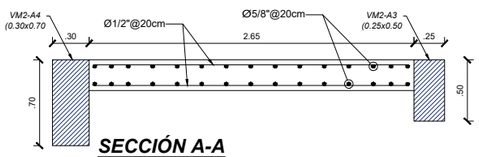
PLANTA DE LOSA ALIGERADA 1° NIVEL ,MODULO 02-AULAS

ESC.: 1/50



SECCIÓN DE ESCALERA-MODULO 02

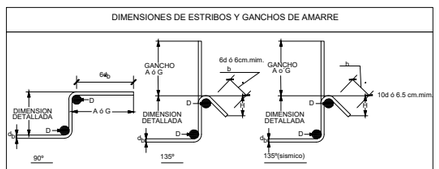
ESC.: 1/50



SECCIÓN A-A ESCALERA-MODULO 02

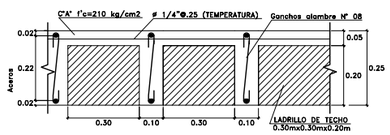
ESC.: 1/50

DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE



Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm.)	GANCHO 135° H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50



DETALLE TIPICO DE ALIGERADO h=0.25

Todos los Aligerados
Escala 1:10

BARRA.	e (cm)
3/8"-1"	2.5 Cm.
1 3/8"	3.5 Cm.

ESPACIAMIENTO LIBRE ENTRE BARRAS EN VIGAS

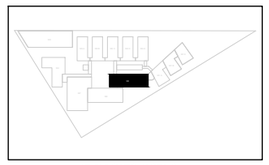
DETALLE DE DOBLECES DEL ACERO DE REFUERZO		
Ø ACERO Pulg.	Ø cm.	Ld cm.
1/4"	2.60	8.00
3/8"	6.00	12.00
5/8"	8.00	16.00
1/2"	10.00	20.00

RECUBRIMIENTOS	
DESCRIPCIÓN	cm.
ZAPATAS	7.00
COLUMNAS Y VIGAS	4.00
VIGAS DE CIMENTACION	7.00
ALIGERADO Y VIGA CHATA	2.50

DESENCOFRADO

COLUMNAS	24 horas mínimo.
FONDO DE VIGAS Y LOSAS ALIG.	20 días mínimo
LATERAL DE VIGAS Y LOSA	24 horas mínimo
ARMADURAS	no deben soldarse.

ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS MONOLITICAMENTE.



UBICACION DEL MODULO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VACIADO CONCRETO.

CONCRETO Y VACIADO

- DEL LUGAR DE MEZCLADO AL LUGAR DEL VACIADO EL CONCRETO SE TRANSPORTARÁ EN CARRETILLAS, EN LA FORMA MAS PRÁCTICA Y RAPIDA POSIBLE EVITANDO LA SEGREGAGIÓN DE LA MEZCLA.
- ANTES DE COMENZAR EL VACIADO DEL CONCRETO, LOS ENCOFRADOS DEBERAN LIMPIARSE Y HUMEDECERSE, DURANTE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.
- INMEDIATAMENTE DESPUES DE COLOCADO EL CONCRETO, SE PROTEGERÁ TODA LA SUPERFICIE DE LOS RAYOS SOLARES, HUMEDECIENDOLAS CONSTANTEMENTE DURANTE UN TIEMPO NO INFERIOR A DIEZ DIAS.
- LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO DEBE LLEVARSE A CABO CONTINUAMENTE COMPACTANDO ALREDEDOR DEL REFUERZO, EN LAS PARTES ESTRECHAS Y EN LAS ESQUINAS DE LAS FORMALETAS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AGREGADOS

AGREGADOS

- EL ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS DEBERA HACERSE EN LUGARES ADECUADOS QUE PERMITAN QUE EL MATERIAL SE CONSERVE LIBRE DE TIERRA O DE ELEMENTOS EXTRAÑOS.
- LOS AGREGADOS SE OBTENDRÁ EN FUENTES QUE DEBEN SER SOMETIDAS A LA APROBACIÓN DEL SUPERVISOR, Y DEBERA SER LIMPIA, DE GRANOS DUROS Y LIBRES DE CANTIDADES OBJETABLES DE POLVO, PIZARRAS, ARCILLAS, LIMOS, ÁLCALIS, MATERIAS ORGANICAS Ó SUSTANCIAS NOCIVAS.
- CADA AGREGADO SE ALMACENARA SEPARADO EN FORMA TAL QUE SE EVITE LA SEPARACIÓN Ó SEGREGACIÓN DE TAMAÑOS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESTRUCTURAS (COLUMNAS):

CONCRETO : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)
ACERO : fy = 4200 Kg/cm²
RECUBRIMIENTO MÍNIMO DEL REFUERZO = 4.00 cm
CONCRETO EN ZAPATAS : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL REFUERZO:

- Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores con una distancia libre entre capas igual al Ø b y no menor de 2.5 cm.
- Longitud de Traslape mínima = 30 cm.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONCRETO CICLOPEO

CIMIENTO CORRIDOS :1:10 + 30% DE PIEDRA GRANDE DE TAM. MAX. 6"
SOBRECIMIENTOS :1:8 PM + 25% DE PIEDRA MEDIANA DE TAM. MAX. 3"
SOLADOS :1:12, CEM/HORM.

CONCRETO ARMADO

CONCRETO COLUMNETAS Y VIGUETAS : f'c = 210kg/cm2
ZAPATAS, VIGAS DE CONEXION, COLUMNAS VIGAS Y LOSA ALIGERADA : f'c = 210kg/cm2
ACERO DE REFUERZO : fy = 4,200kg/cm2

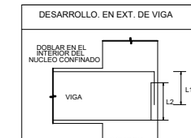
ALBAÑILERIA

UNIDAD DE ALBAÑILERIA
TABIQUES - Ladrillo KING KONG (Tipo 18 Huecos, TIPO IV)
F'm = 50 kg/cm2
- Mortero : Mezcla = 1:5 Espesor Junta = 10 a 15 mm.

RECUBRIMIENTOS

PLATEA DE CIMENTACIÓN : 7.0cm
COLUMNAS Y VIGAS : 4.0cm
ALIGERADOS Y VIGAS CHATAS : 2.5cm

DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA

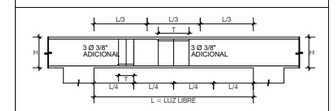


LONGITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.16	0.20	0.25	0.35

DOBLADO DE ESTRIBOS

LONGITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm	8.0 cm
	3/8"	4 cm	12.0 cm

ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGITUD DE TRASLAPE T (m)	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
	SUPERIOR (H>0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65

DOSIFICACION DE MATERIALES PARA DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	TAMAÑO DE PIEDRA
CIMENTACION	CIMIENTO CORRIDO + ADICION DE PIEDRA GRANDE (Ø 8") EN 30%	f'c=100kg/cm2	1"
	ZAPATAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
SOBRECIMIENTOS	SOBRECIMIENTO CON ADICION DE PIEDRA MEDIANA (Ø 6") EN 25%	f'c=140kg/cm2	1"
	SOBRECIMIENTO ARMADO	f'c=175kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS VERTICALES	COLUMNAS, PLACAS Y MURO DE CONTENCION	f'c=210kg/cm2	1/2"
	FALSO PISO	f'c=100kg/cm2	1"
ELEMENTOS HORIZONTALES	PISO	f'c=140kg/cm2	1/2"
	VIGAS, LOSAS MACISAS Y ALIGERADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS INCLINADOS	GRADAS DE CONCRETO	f'c=210 kg/cm2	1/2"
	ESCALERAS REFORZADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

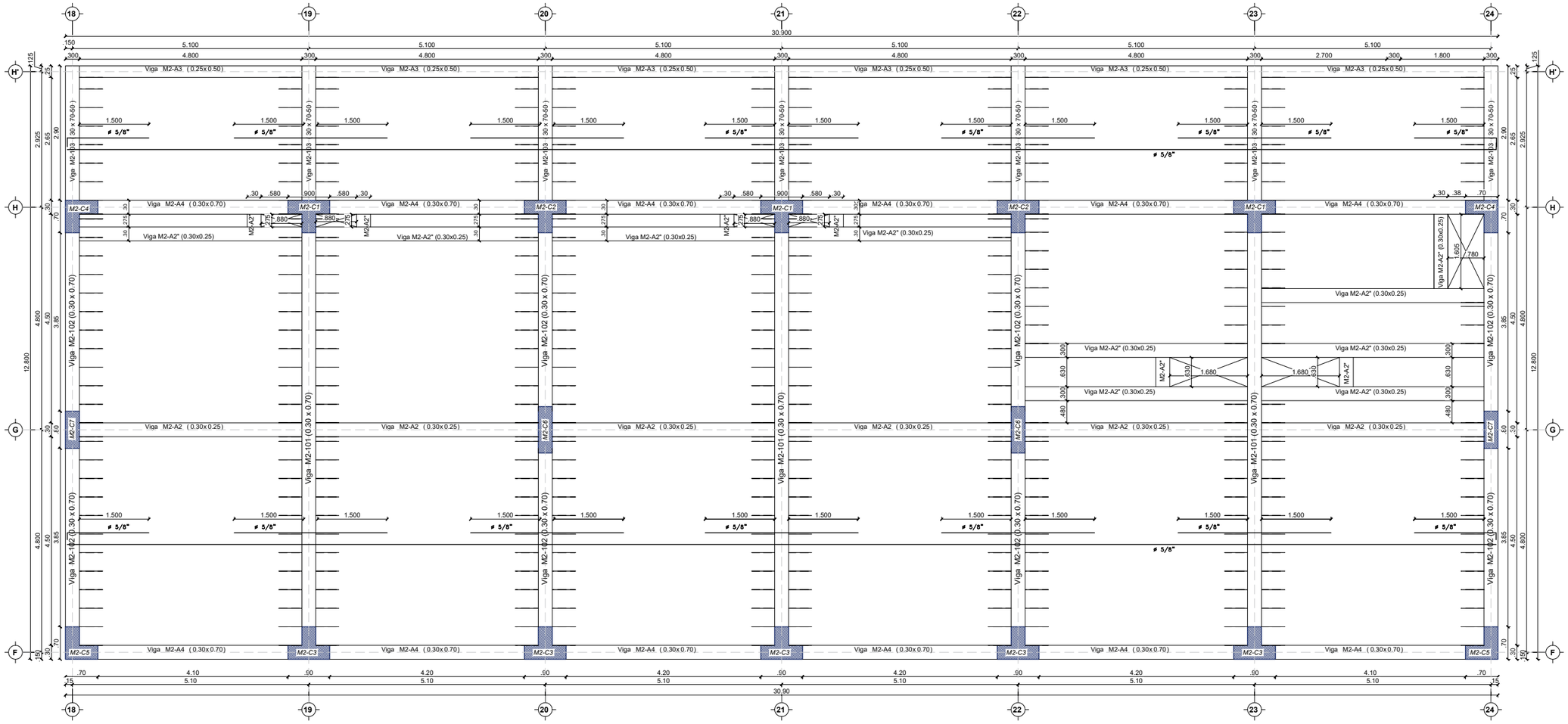
UBICACION :
DPTO : AYACUCHO
PROVINCIA : HUAMANGA
DISTRITO : AYACUCHO
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

PLANO: PLANTA LOSA ALIGERADA 1° NIVEL

MODULO 2-AULAS

LAMINA Nº M2-E04-R

DIBUJO:
REVISADO : REVISION 1
ESCALA : INDICADA
FECHA : ABRIL DE 2024



PLANTA DE LOSA ALIGERADA 2° NIVEL ,MODULO 02-AULAS

ESC.: 1/50

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VACIADO CONCRETO.

CONCRETO Y VACIADO

- DEL LUGAR DE MEZCLADO AL LUGAR DEL VACIADO EL CONCRETO SE TRANSPORTARÁ EN CARRETILLAS, EN LA FORMA MAS PRÁCTICA Y RAPIDA POSIBLE EVITANDO LA SEGREGAGIÓN DE LA MEZCLA.
- ANTES DE COMENZAR EL VACIADO DEL CONCRETO, LOS ENCOFRADOS DEBERAN LIMPIARSE Y HUMEDECERSE, DURANTE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.
- INMEDIATAMENTE DESPUES DE COLOCADO EL CONCRETO, SE PROTEGERÁ TODA LA SUPERFICIE DE LOS RAYOS SOLARES, HUMEDECIENDOLAS CONSTANTEMENTE DURANTE UN TIEMPO NO INFERIOR A DIEZ DIAS.
- LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO DEBE LLEVARSE A CABO CONTINUAMENTE COMPACTANDO ALREDEDOR DEL REFUERZO, EN LAS PARTES ESTRECHAS Y EN LAS ESQUINAS DE LAS FORMALETAS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AGREGADOS

AGREGADOS

- EL ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS DEBERA HACERSE EN LUGARES ADECUADOS QUE PERMITAN QUE EL MATERIAL SE CONSERVE LIBRE DE TIERRA O DE ELEMENTOS EXTRAÑOS.
- LOS AGREGADOS SE OBTENDRÁ EN FUENTES QUE DEBEN SER SOMETIDAS A LA APROBACIÓN DEL SUPERVISOR, Y DEBERA SER LIMPIA, DE GRANOS DUROS Y LIBRES DE CANTIDADES OBJETABLES DE POLVO, PIZARRAS, ARCILLAS, LIMOS, ÁLCALIS, MATERIAS ORGANICAS Ó SUSTANCIAS NOCIVAS.
- CADA AGREGADO SE ALMACENARA SEPARADO EN FORMA TAL QUE SE EVITE LA SEPARACIÓN O SEGREGACIÓN DE TAMAÑOS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESTRUCTURAS (COLUMNAS):

CONCRETO : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)
ACERO : fy = 4200 Kg/cm²
RECUBRIMIENTO MÍNIMO DEL REFUERZO = 4.00 cm
CONCRETO EN ZAPATAS : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL REFUERZO:

- Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores con una distancia libre entre capas igual al Ø b y no menor de 2.5 cm.
- Longitud de Traslape mínima = 30 cm.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONCRETO CICLOPEO

CIMIENTO CORRIDOS : 1:10 + 30% DE PIEDRA GRANDE DE TAM. MAX. 6"
SOBRECIMIENTOS : 1:8 PM + 25% DE PIEDRA MEDIANA DE TAM. MAX. 3"
SOLADOS : 1:12, CEM/HORM.

CONCRETO ARMADO

CONCRETO : COLUMNETAS Y VIGUETAS : f'c = 210kg/cm2
ZAPATAS, VIGAS DE CONEXION, COLUMNAS VIGAS Y LOSA ALIGERADA : f'c = 210kg/cm2
ACERO DE REFUERZO : fy = 4,200kg/cm2

ALBAÑILERIA

UNIDAD DE ALBAÑILERIA
TABIQUES - Ladrillo KING KONG (Tipo 18 Huecos, TIPO IV) f'm = 50 kg/cm2 - Mortero : Mezcla = 1:5 Espesor Junta = 10 a 15 mm.

RECUBRIMIENTOS

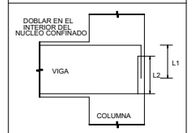
PLATEA DE CIMENTACIÓN : 7.0cm
COLUMNAS Y VIGAS : 4.0cm
ALIGERADOS Y VIGAS CHATAS : 2.5cm

DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE

Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

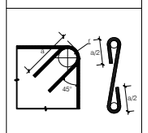
Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm.)	H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50

DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA

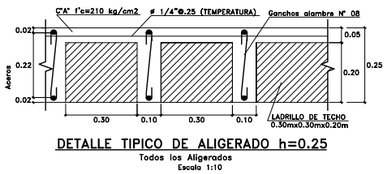


LONGITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.16	0.20	0.25	0.35

DOBLADO DE ESTRIBOS



LONGITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm.	8.0 cm.
	3/8"	4 cm.	12.0 cm.



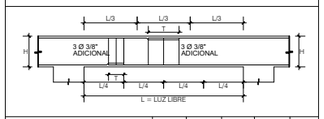
DETALLE TIPICO DE ALIGERADO h=0.25
Todos los Aligerados
Escala 1:10

ESPACIAMIENTO LIBRE ENTRE BARRAS EN VIGAS

DOSIFICACION DE MATERIALES PARA DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	TAMAÑO DE PIEDRA
CIMENTACION	CIMIENTO CORRIDO + ADICION DE PIEDRA GRANDE (Ø 8") EN 30%	f'c=100kg/cm2	1"
	ZAPATAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
SOBRECIMIENTOS	SOBRECIMIENTO CON ADICION DE PIEDRA MEDIANA (Ø 6") EN 25%	f'c=140kg/cm2	1"
	SOBRECIMIENTO ARMADO	f'c=175kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS VERTICALES	COLUMNAS, PLACAS Y MURO DE CONTENCION	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS HORIZONTALES	FALSO PISO	f'c=100kg/cm2	1"
	PISO	f'c=140kg/cm2	1/2"
	VIGAS, LOSAS MACISAS Y ALIGERADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS INCLINADOS	GRADAS DE CONCRETO	f'c=210 kg/cm2	1/2"
	ESCALERAS REFORZADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"

ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGUITUD DE TRASLAPE T (m)	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
	SUPERIOR (H<=0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65

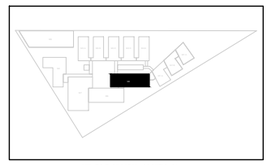
DETALLE DE DOBLECES DEL ACERO DE REFUERZO		
Ø ACERO Pulg.	Ø cm.	Ld cm.
1/4"	2.60	8.00
3/8"	6.00	12.00
5/8"	8.00	16.00
1/2"	10.00	20.00

RECUBRIMIENTOS	
DESCRIPCIÓN	cm.
ZAPATAS	7.00
COLUMNAS Y VIGAS	4.00
VIGAS DE CIMENTACION	7.00
ALIGERADO Y VIGA CHATA	2.50

LONGITUD DE EMPALME	
Ø ACERO Pulg.	cm.
3/8"	40.00
1/2"	50.00
5/8"	80.00
3/4"	100.00

DESENCOFRADO

COLUMNAS ..... 24 horas mínimo.
FONDO DE VIGAS Y LOSAS ALIG. ..... 20 dias mínimo
LATERAL DE VIGAS Y LOSA ..... 24 horas mínimo
ARMADURAS ..... no deben soldarse.
ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS MONOLITICAMENTE.



UBICACION DEL MODULO

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

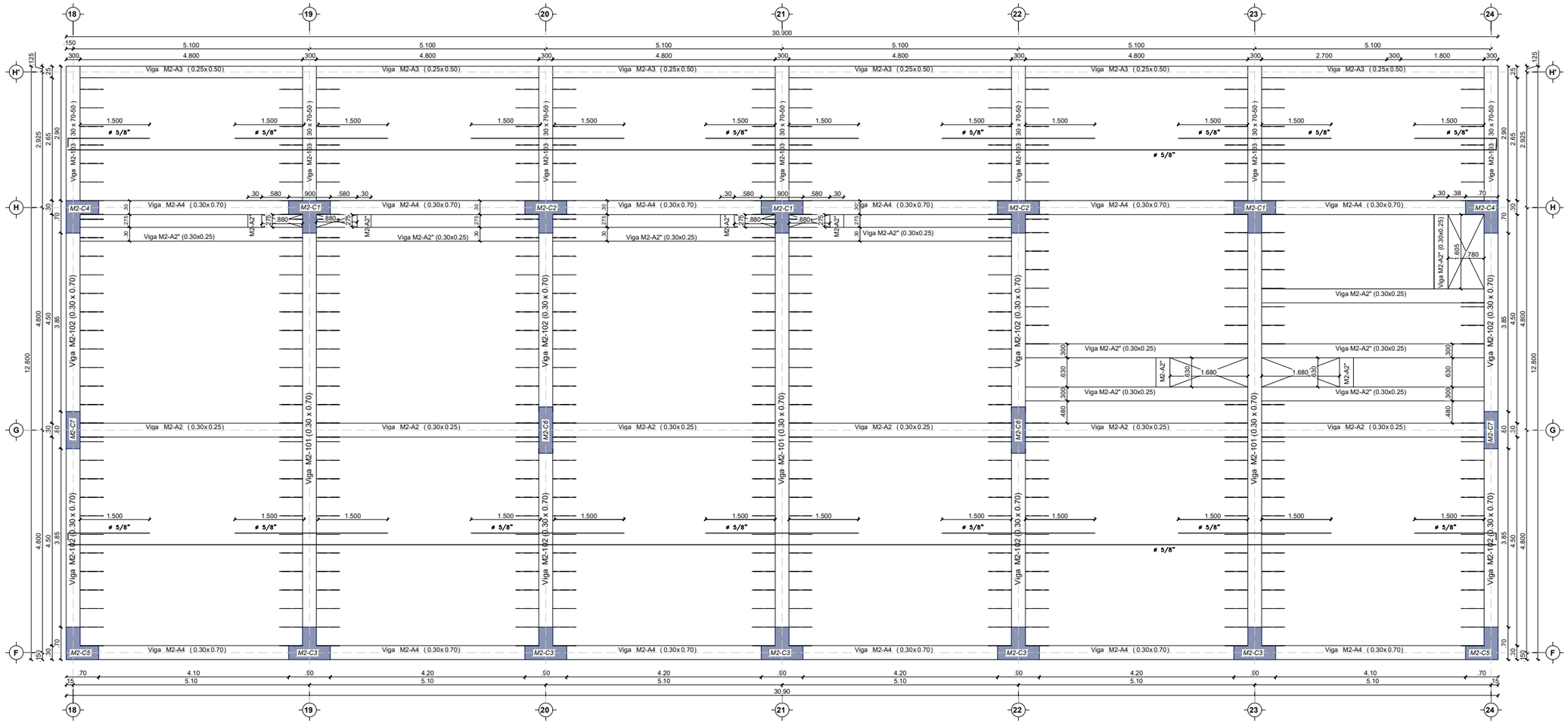
PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

UBICACION :
DPTO : AYACUCHO
PROVINCIA : HUAMANGA
DISTRITO : AYACUCHO
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

PLANO: PLANTA LOSA ALIGERADA 2° NIVEL
MODULO 2-AULAS

LAMINA N° M2-E05-R

DIBUJO:
REVISADO : REVISION 1
ESCALA : INDICADA
FECHA : ABRIL DE 2024



PLANTA DE LOSA ALIGERADA 3° NIVEL ,MODULO 02-AULAS

ESC.: 1/50

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VACIADO CONCRETO.

CONCRETO Y VACIADO

- DEL LUGAR DE MEZCLADO AL LUGAR DEL VACIADO EL CONCRETO SE TRANSPORTARÁ EN CARRETILLAS, EN LA FORMA MAS PRÁCTICA Y RAPIDA POSIBLE EVITANDO LA SEGREGAGIÓN DE LA MEZCLA.
- ANTES DE COMENZAR EL VACIADO DEL CONCRETO, LOS ENCOFRADOS DEBERAN LIMPIARSE Y HUMEDECERSE, DURANTE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.
- INMEDIATAMENTE DESPUES DE COLOCADO EL CONCRETO, SE PROTEGERÁ TODA LA SUPERFICIE DE LOS RAYOS SOLARES, HUMEDECIENDOLAS CONSTANTEMENTE DURANTE UN TIEMPO NO INFERIOR A DIEZ DIAS.
- LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO DEBE LLEVARSE A CABO CONTINUAMENTE COMPACTANDO ALREDEDOR DEL REFUERZO, EN LAS PARTES ESTRECHAS Y EN LAS ESQUINAS DE LAS FORMALETAS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AGREGADOS

AGREGADOS

- EL ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS DEBERA HACERSE EN LUGARES ADECUADOS QUE PERMITAN QUE EL MATERIAL SE CONSERVE LIBRE DE TIERRA O DE ELEMENTOS EXTRAÑOS.
- LOS AGREGADOS SE OBTENDRÁ EN FUENTES QUE DEBEN SER SOMETIDAS A LA APROBACIÓN DEL SUPERVISOR, Y DEBERA SER LIMPIA, DE GRANOS DUROS Y LIBRES DE CANTIDADES OBJETABLES DE POLVO, PIZARRAS, ARCILLAS, LIMOS, ÁLCALIS, MATERIAS ORGANICAS Ó SUSTANCIAS NOCIVAS.
- CADA AGREGADO SE ALMACENARA SEPARADO EN FORMA TAL QUE SE EVITE LA SEPARACIÓN Ó SEGREGACIÓN DE TAMAÑOS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESTRUCTURAS (COLUMNAS):

CONCRETO : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)
ACERO fy = 4200 Kg/cm²
RECUBRIMIENTO MÍNIMO DEL REFUERZO = 4.00 cm
CONCRETO EN ZAPATAS : f'c = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL REFUERZO:

- Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores con una distancia libre entre capas igual al Ø b y no menor de 2.5 cm.
- Longitud de Traslape mínima = 30 cm.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONCRETO CICLOPEO

CIMIENTO CORRIDOS :1:10 + 30% DE PIEDRA GRANDE DE TAM. MAX. 6"
SOBRECIMIENTOS :1:8 PM + 25% DE PIEDRA MEDIANA DE TAM. MAX. 3"
SOLADOS :1:12, CEM/HORM.

CONCRETO ARMADO

CONCRETO COLUMNETAS Y VIGUETAS : f'c = 210kg/cm2
ZAPATAS, VIGAS DE CONEXION, COLUMNAS VIGAS Y LOSA ALIGERADA : f'c = 210kg/cm2
ACERO DE REFUERZO : fy = 4,200kg/cm2

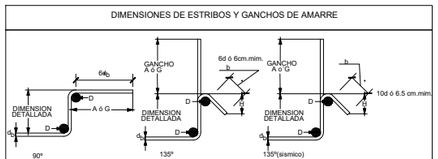
ALBAÑILERIA

UNIDAD DE ALBAÑILERIA
TABIQUES - Ladrillo KING KONG (Tipo 18 Huecos, TIPO IV)
f'm = 50 kg/cm2
- Mortero : Mezcla = 1:5 Espesor Junta = 10 a 15 mm.

RECUBRIMIENTOS

PLATEA DE CIMENTACIÓN : 7.0cm
COLUMNAS Y VIGAS : 4.0cm
ALIGERADOS Y VIGAS CHATAS : 2.5cm

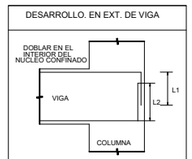
DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE



Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A 6 Ø (cm)	GANCHO 135° A 6 Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

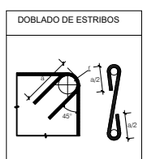
Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A 6 Ø (cm.)	GANCHO 135° H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50

DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA

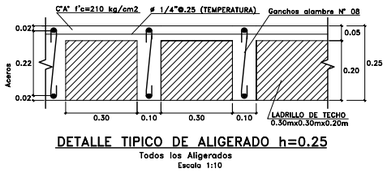


LONGUITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.16	0.20	0.25	0.35

DOBLADO DE ESTRIBOS



LONGITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm.	8.0 cm.
	3/8"	4 cm.	12.0 cm.



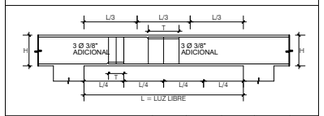
DETALLE TIPICO DE ALIGERADO h=0.25
Todos los Aligerados
Escala 1:10

ESPACIAMIENTO LIBRE ENTRE BARRAS EN VIGAS

DOSIFICACION DE MATERIALES PARA DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	TAMAÑO DE PIEDRA
CIMENTACION	CIMIENTO CORRIDO + ADICION DE PIEDRA GRANDE (Ø 8") EN 30%	f'c=100kg/cm2	1"
	ZAPATAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
SOBRECIMIENTOS	SOBRECIMIENTO CON ADICION DE PIEDRA MEDIANA (Ø 6") EN 25%	f'c=140kg/cm2	1"
	SOBRECIMIENTO ARMADO	f'c=175kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS VERTICALES	COLUMNAS, PLACAS Y MURO DE CONTENCION	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS HORIZONTALES	FALSO PISO	f'c=100kg/cm2	1"
	PISO	f'c=140kg/cm2	1/2"
	VIGAS, LOSAS MACISAS Y ALIGERADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS INCLINADOS	GRADAS DE CONCRETO	f'c=210 kg/cm2	1/2"
	ESCALERAS REFORZADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"

ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGITUD DE TRASLAPE T (m)	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
	SUPERIOR (H<=0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65

DETALLE DE DOBLECES DEL ACERO DE REFUERZO

Ø ACERO Pulg.	Ø cm.	Ld cm.
1/4"	2.60	8.00
3/8"	6.00	12.00
5/8"	8.00	16.00
1/2"	10.00	20.00

RECUBRIMIENTOS

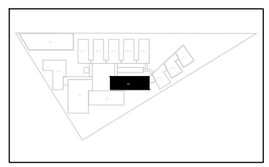
DESCRIPCIÓN	cm.
ZAPATAS	7.00
COLUMNAS Y VIGAS	4.00
VIGAS DE CIMENTACION	7.00
ALIGERADO Y VIGA CHATA	2.50

LONGITUD DE EMPALME

Ø ACERO Pulg.	cm.
3/8"	40.00
1/2"	50.00
5/8"	80.00
3/4"	100.00

DESENCOFRADO

COLUMNAS ..... 24 horas mínimo.
FONDO DE VIGAS Y LOSAS ALIG. .... 20 dias mínimo
LATERAL DE VIGAS Y LOSA ..... 24 horas mínimo
ARMADURAS ..... no deben soldarse.
ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS MONOLITICAMENTE.



UBICACION DEL MODULO

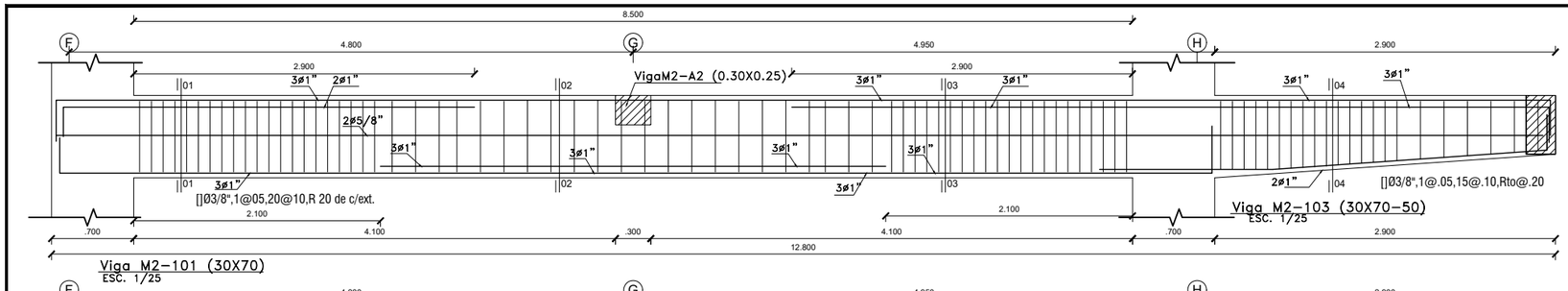
GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

UBICACION :
DPTO : AYACUCHO
PROVINCIA : HUAMANGA
DISTRITO : AYACUCHO
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

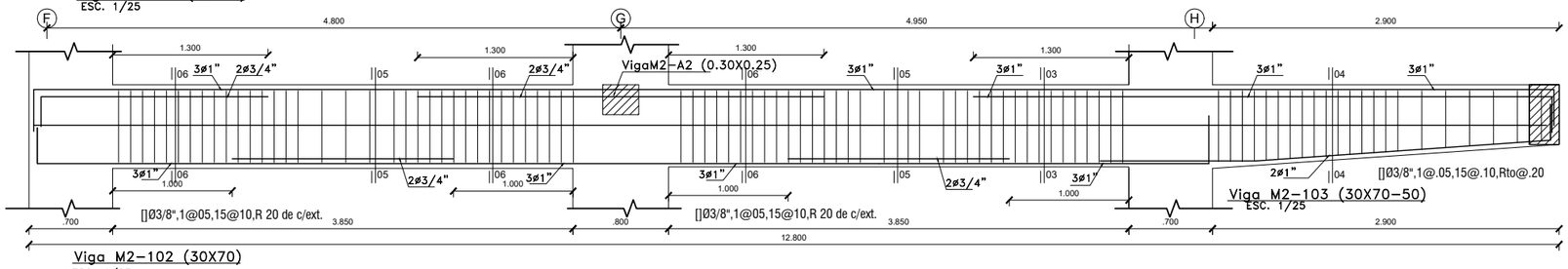
PLANO: PLANTA LOSA ALIGERADA 3° NIVEL
MODULO 2-AULAS
LAMINA N° M2-E06-R

DIBUJO:
REVISADO : REVISION 1
ESCALA : INDICADA
FECHA : ABRIL DE 2024



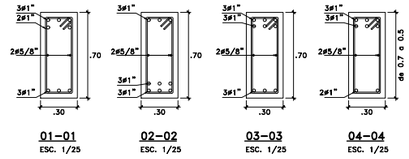
Viga M2-101 (30X70)
ESC. 1/25

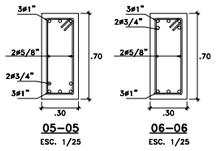
Viga M2-103 (30X70-50)
ESC. 1/25



Viga M2-102 (30X70)
ESC. 1/25

Viga M2-103 (30X70-50)
ESC. 1/25





ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONCRETO CICLOPEO
- CIMIENTO CORRIDOS :1:10 + 30% DE PIEDRA GRANDE DE TAM. MAX. 6"
- SOBRECIMIENTOS :1:8 PM + 25% DE PIEDRA MEDIANA DE TAM. MAX. 3"
- SOLADOS :1:12, CEM/HORM.

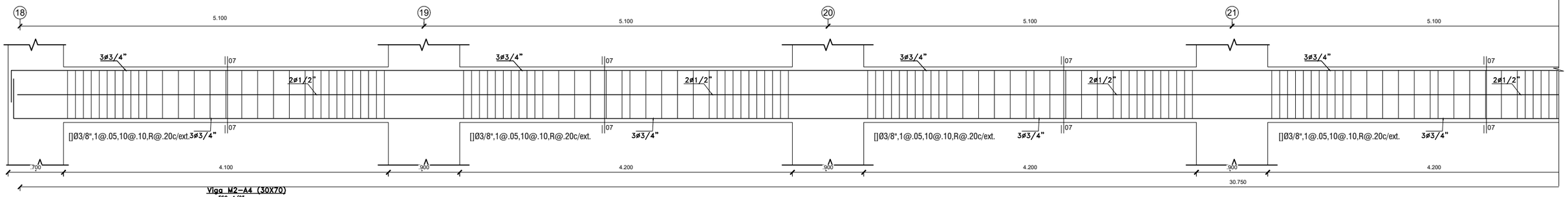
CONCRETO ARMADO
- CONCRETO: COLUMNETAS Y VIGUETAS : f'c = 210kg/cm2
  ZAPATAS, VIGAS DE CONEXION, COLUMNAS VIGAS Y LOSA ALIGERADA : f'c = 210kg/cm2
- ACERO DE REFUERZO : fy = 4,200kg/cm2

ALBAÑILERIA
- UNIDAD DE ALBAÑILERIA
  TABIQUES - Ladrillo KING KONG (Tipo 18 Huecos, TIPO IV)
  F'm = 50 kg/cm2
  - Mortero : Mezcla = 1:5 Espesor Junta = 10 a 15 mm.

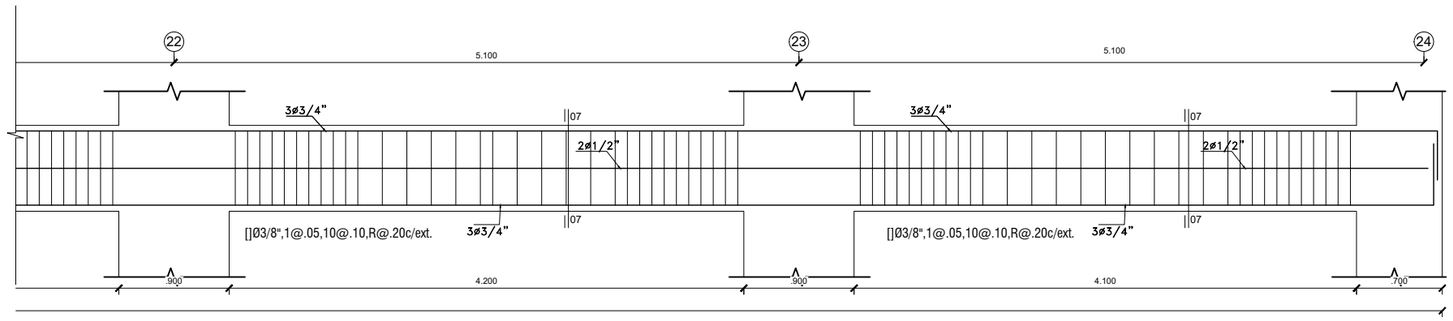
RECUBRIMIENTOS
- PLATEA DE CIMENTACIÓN : 7.0cm
- COLUMNAS Y VIGAS : 4.0cm
- ALIGERADOS Y VIGAS CHATAS : 2.5cm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VACIADO CONCRETO.

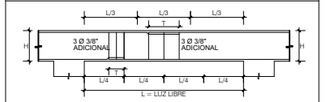
CONCRETO Y VACIADO
- DEL LUGAR DE MEZCLADO AL LUGAR DEL VACIADO EL CONCRETO SE TRANSPORTARÁ EN CARRETILLAS, EN LA FORMA MAS PRÁCTICA Y RAPIDA POSIBLE EVITANDO LA SEGREGAGIÓN DE LA MEZCLA.
- ANTES DE COMENZAR EL VACIADO DEL CONCRETO, LOS ENCOFRADOS DEBERAN LIMPIARSE Y HUMEDECERSE, DURANTE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.
- INMEDIATAMENTE DESPUES DE COLOCADO EL CONCRETO, SE PROTEGERÁ TODA LA SUPERFICIE DE LOS RAYOS SOLARES, HUMEDECIENDOLAS CONSTANTEMENTE DURANTE UN TIEMPO NO INFERIOR A DIEZ DIAS.
- LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO DEBE LLEVARSE A CABO CONTINUAMENTE COMPACTANDO ALREDEDOR DEL REFUERZO, EN LAS PARTES ESTRECHAS Y EN LAS ESQUINAS DE LAS FORMALETAS.



Viga M2-A4 (30X70)
ESC. 1/25

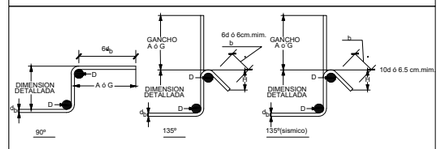


ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



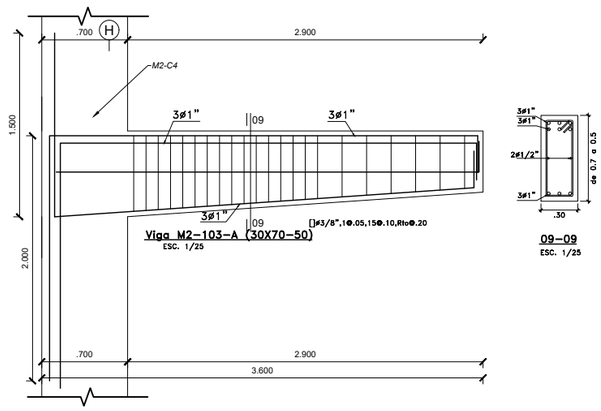
DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGUITUD DE TRASLAPE	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
	SUPERIOR (H<0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
T (m)	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65

DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE



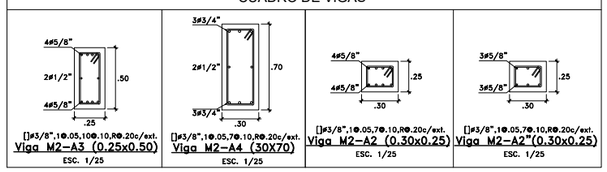
Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm.)	GANCHO 135° H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50



Viga M2-103-A (30X70-50)
ESC. 1/25

CUADRO DE VIGAS



DESENCOFRADO

COLUMNAS	24 horas mínimo.
FONDO DE VIGAS Y LOSAS ALIG.	20 dias mínimo
LATERAL DE VIGAS Y LOSA	24 horas mínimo
ARMADURAS	no deben soldarse.
ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS MONOLITICAMENTE.	

DETALLE DE DOBLECES DEL ACERO DE REFUERZO

Ø ACERO Pulg.	Ø cm.	Ld cm.
1/4"	2.60	8.00
3/8"	6.00	12.00
5/8"	8.00	16.00
1/2"	10.00	20.00

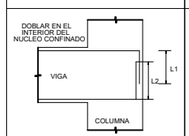
RECUBRIMIENTOS

DESCRIPCIÓN	cm.
ZAPATAS	7.00
COLUMNAS Y VIGAS	4.00
VIGAS DE CIMENTACION	7.00
ALIGERADO Y VIGA CHATA	2.50

DOSIFICACION DE MATERIALES PARA DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO

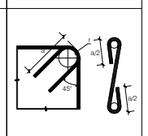
ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	TAMAÑO DE PIEDRA
CIMENTACION	CIMIENTO CORRIDO + ADICION DE PIEDRA GRANDE (Ø 8") EN 30%	f'c=100kg/cm2	1"
	ZAPATAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
SOBRECIMIENTOS	SOBRECIMIENTO CON ADICION DE PIEDRA MEDIANA (Ø 6") EN 25%	f'c=140kg/cm2	1"
	SOBRECIMIENTO ARMADO	f'c=175kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS VERTICALES	COLUMNAS, PLACAS Y MURO DE CONTENCION	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS HORIZONTALES	FALSO PISO	f'c=100kg/cm2	1"
	PISO	f'c=140kg/cm2	1/2"
	VIGAS, LOSAS MACISAS Y ALIGERADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS INCLINADOS	GRADAS DE CONCRETO	f'c=210 kg/cm2	1/2"
	ESCALERAS REFORZADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"

DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA

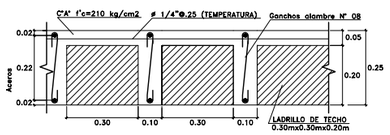


LONGUITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.15	0.20	0.25	0.35

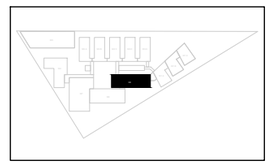
DOBLADO DE ESTRIBOS



LONGUITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm.	8.0 cm.
	3/8"	4 cm.	12.0 cm.



DETALLE TIPICO DE ALIGERADO h=0.25
Todos los Aligerados
Escala 1:10



UBICACION DEL MODULO

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

UBICACION :
- DPTO : AYACUCHO
- PROVINCIA : HUAMANGA
- DISTRITO : AYACUCHO
- LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

PLANO: VIGAS Y SECCIONES 1° Y 2° NIVEL

MODULO 2-AULAS

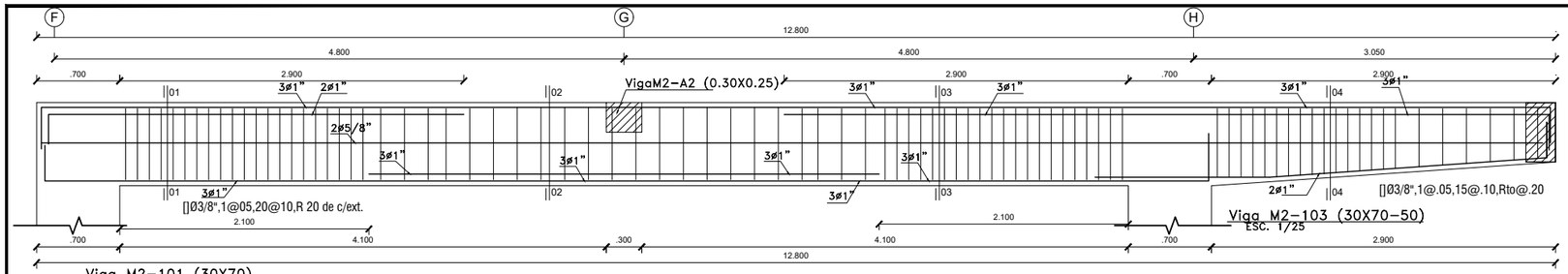
LAMINA N°: M2-E07-R

DIBUJO:

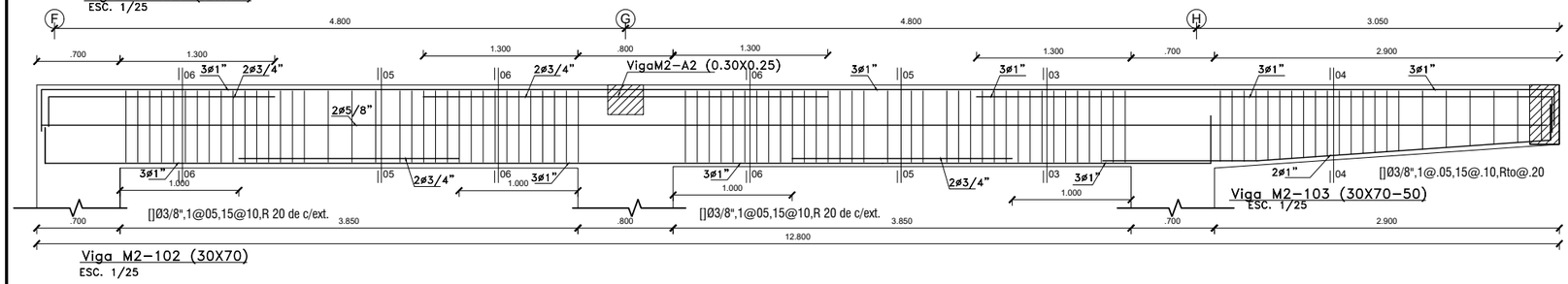
REVISADO : REVISION 1

ESCALA : INDICADA

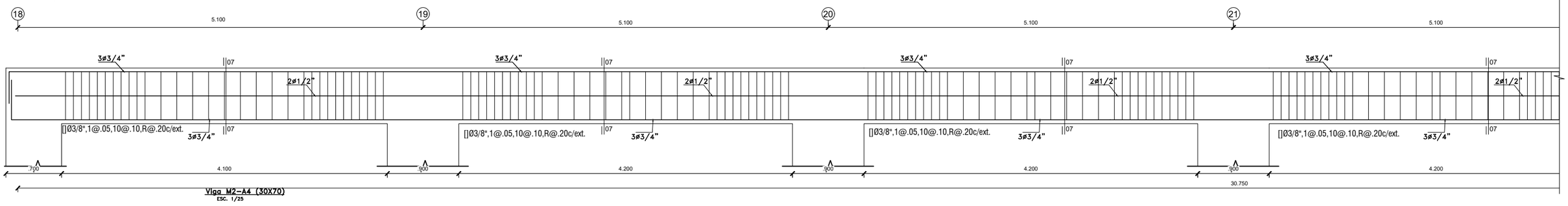
FECHA : ABRIL DE 2024



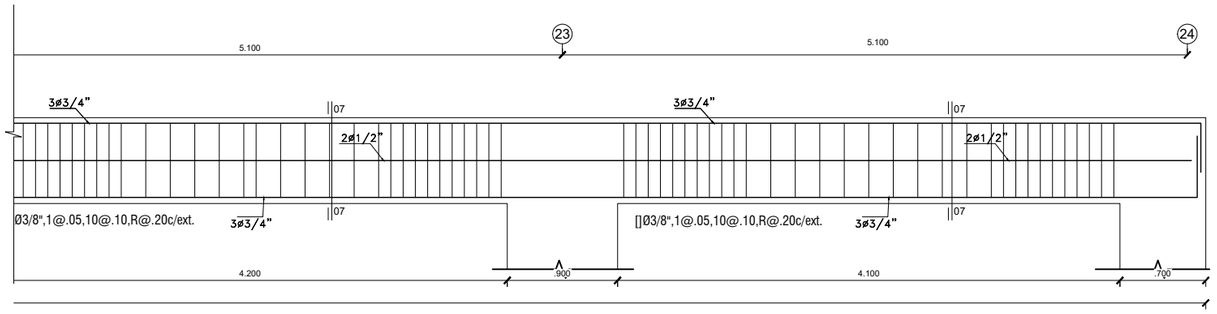
Viga M2-101 (30X70)
ESC. 1/25

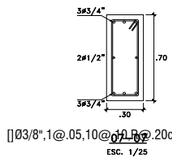


Viga M2-102 (30X70)
ESC. 1/25



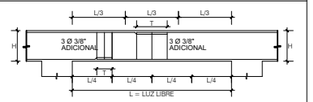
Viga M2-A4 (30X70)
ESC. 1/25





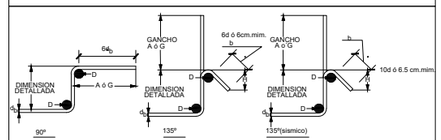
[]Ø3/8",1@.05,10@.10,R@.20c/ext.
ESC. 1/25

ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGUITUD DE T (m)	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
	SUPERIOR (H<=0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65

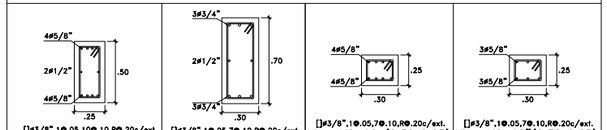
DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE



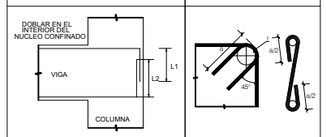
Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A ó Ø (cm.)	GANCHO 135° H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50

CUADRO DE VIGAS



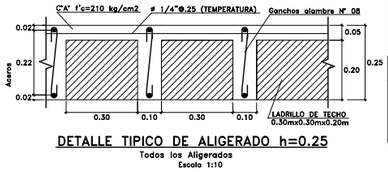
DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA



LONGUITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.16	0.20	0.25	0.35

DOBLADO DE ESTRIBOS

LONGUITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm	8.0 cm
	3/8"	4 cm	12.0 cm



DETALLE TIPICO DE ALIGERADO h=0.25
Todos los Aligerados
Escala 1:10

DESENCOFRADO

COLUMNAS	24 horas mínimo.
FONDO DE VIGAS Y LOSAS ALIG.	20 dias mínimo
LATERAL DE VIGAS Y LOSA	24 horas mínimo
ARMADURAS	no deben soldarse.
ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS	MONOLITICAMENTE.

DETALLE DE DOBLECES DEL ACERO DE REFUERZO

Ø ACERO Pulg	Ø cm	Ld cm.
1/4"	2.60	8.00
3/8"	6.00	12.00
5/8"	8.00	16.00
1/2"	10.00	20.00

RECUBRIMIENTOS

DESCRIPCIÓN	cm.
ZAPATAS	7.00
COLUMNAS Y VIGAS	4.00
VIGAS DE CIMENTACION	7.00
ALIGERADO Y VIGA CHATA	2.50

DOSIFICACION DE MATERIALES PARA DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	TAMAÑO DE PIEDRA
CIMENTACION	CIMIENTO CORRIDO + ADICION DE PIEDRA GRANDE (Ø 8") EN 30%	f'c=100kg/cm2	1"
	ZAPATAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
SOBRECIMIENTOS	SOBRECIMIENTO CON ADICION DE PIEDRA MEDIANA (Ø 6") EN 25%	f'c=140kg/cm2	1"
	SOBRECIMIENTO ARMADO	f'c=175kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS VERTICALES	COLUMNAS, PLACAS Y MURO DE CONTENCION	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS HORIZONTALES	FALSO PISO	f'c=100kg/cm2	1"
	PISO	f'c=140kg/cm2	1/2"
	VIGAS, LOSAS MACISAS Y ALIGERADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"
ELEMENTOS INCLINADOS	GRADAS DE CONCRETO	f'c=210 kg/cm2	1/2"
	ESCALERAS REFORZADAS	f'c=210kg/cm2	1/2"

ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONCRETO CICLOPEO
- CIMIENTO CORRIDOS :1:10 + 30% DE PIEDRA GRANDE DE TAM. MAX. 6"
- SOBRECIMIENTOS :1:8 PM + 25% DE PIEDRA MEDIANA DE TAM. MAX. 3"
- SOLADOS :1:12, CEM/HORM.

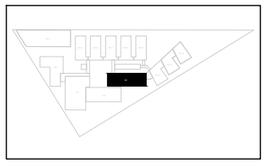
CONCRETO ARMADO
- CONCRETO COLUMNETAS Y VIGUETAS : f'c = 210kg/cm2
  ZAPATAS, VIGAS DE CONEXION, COLUMNAS VIGAS Y LOSA ALIGERADA : f'c = 210kg/cm2
- ACERO DE REFUERZO : fy = 4,200kg/cm2

ALBAÑILERIA
- UNIDAD DE ALBAÑILERIA
  TABIQUES - Ladrillo KING KONG (Tipo 18 Huecos, TIPO IV) f'm = 50 kg/cm2
  - Mortero : Mezcla = 1:5 Espesor Junta = 10 a 15 mm.

RECUBRIMIENTOS
- PLATEA DE CIMENTACIÓN : 7.0cm
- COLUMNAS Y VIGAS : 4.0cm
- ALIGERADOS Y VIGAS CHATAS : 2.5cm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VACIADO CONCRETO.

CONCRETO Y VACIADO
- DEL LUGAR DE MEZCLADO AL LUGAR DEL VACIADO EL CONCRETO SE TRANSPORTARÁ EN CARRETILLAS, EN LA FORMA MAS PRÁCTICA Y RAPIDA POSIBLE EVITANDO LA SEGREGAGIÓN DE LA MEZCLA.
- ANTES DE COMENZAR EL VACIADO DEL CONCRETO, LOS ENCOFRADOS DEBERAN LIMPIARSE Y HUMEDECERSE, DURANTE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.
- INMEDIATAMENTE DESPUES DE COLOCADO EL CONCRETO, SE PROTEGERÁ TODA LA SUPERFICIE DE LOS RAYOS SOLARES, HUMEDECIENDOLAS CONSTANTEMENTE DURANTE UN TIEMPO NO INFERIOR A DIEZ DIAS.
- LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO DEBE LLEVARSE A CABO CONTINUAMENTE COMPACTANDO ALREDEDOR DEL REFUERZO, EN LAS PARTES ESTRECHAS Y EN LAS ESQUINAS DE LAS FORMALETAS.



UBICACION DEL MODULO

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

UBICACION :
DPTO : AYACUCHO
PROVINCIA : HUAMANGA
DISTRITO : AYACUCHO
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

PLANO: VIGAS Y SECCIONES 3° NIVEL

MODULO 2-AULAS

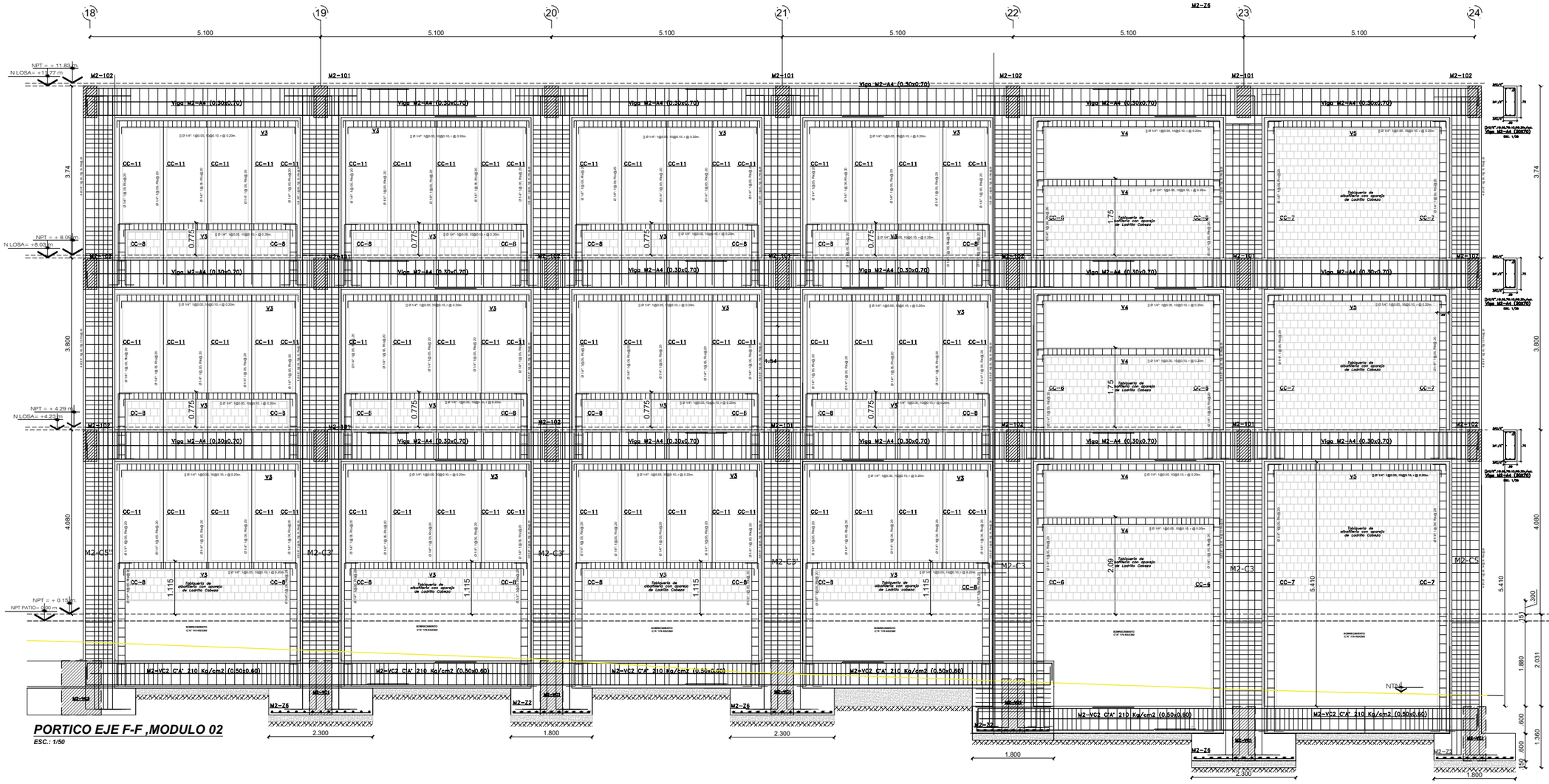
LAMINA N° M2-E07-R

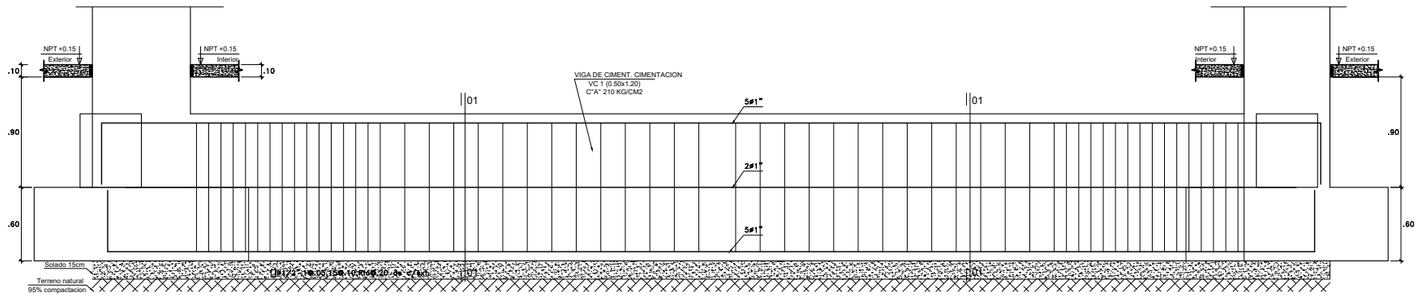
DIBUJO:

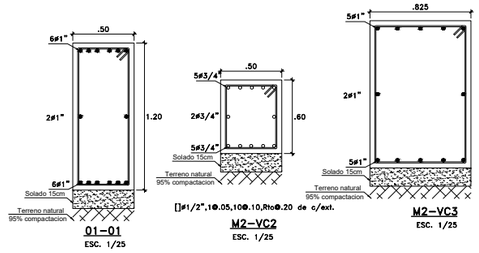
REVISADO : REVISION 1

ESCALA : INDICADA

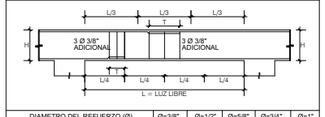
FECHA : ABRIL DE 2024



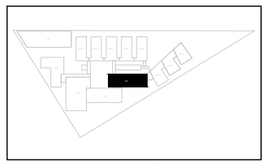




ZONA DE TRASLAPE EN VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



DIAMETRO DEL REFUERZO (Ø)		Ø=3/8"	Ø=1/2"	Ø=5/8"	Ø=3/4"	Ø=1"
LONGUITUD DE	INFERIOR (H Cualquiera)	0.40	0.50	0.80	0.90	1.65
TRASLAPE	SUPERIOR (H<0.30)	0.40	0.50	0.75	0.85	1.60
T (m)	SUPERIOR (H>=0.30)	0.45	0.45	0.80	0.90	1.65



UBICACION DEL MODULO

DESENCOFRADO

COLUMNAS ..... 24 horas mínimo.
FONDO DE VIGAS Y LOSAS ALIG. ..... 20 dias mínimo
LATERAL DE VIGAS Y LOSA ..... 24 horas mínimo
ARMADURAS ..... no deben soldarse.
ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS MONOLITICAMENTE

DETALLE DE DOBLECES DEL ACERO DE REFUERZO

Ø ACERO Pulg.	Ø cm	Ld cm.
1/4"	2.60	8.00
3/8"	6.00	12.00
5/8"	8.00	16.00
1/2"	10.00	20.00

RECUBRIMIENTOS

DESCRIPCIÓN	cm.
ZAPATAS	7.00
COLUMNAS Y VIGAS	4.00
VIGAS DE CIMENTACION	7.00
ALIGERADO Y VIGA CHATA	2.50

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AGREGADOS

AGREGADOS
- EL ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS DEBERA HACERSE EN LUGARES ADECUADOS QUE PERMITAN QUE EL MATERIAL SE CONSERVE LIBRE DE TIERRA O DE ELEMENTOS EXTRAÑOS.
- LOS AGREGADOS SE OBTENDRÁ EN FUENTES QUE DEBEN SER SOMETIDAS A LA APROBACIÓN DEL SUPERVISOR, Y DEBERA SER LIMPIA, DE GRANOS DUROS Y LIBRES DE CANTIDADES OBJETABLES DE POLVO, PIZARRAS, ARCILLAS, LIMOS, ÁLCALIS, MATERIAS ORGANICAS Ó SUSTANCIAS NOCIVAS.
- CADA AGREGADO SE ALMACENARA SEPARADO EN FORMA TAL QUE SE EVITE LA SEPARACIÓN Ó SEGREGACIÓN DE TAMAÑOS.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESTRUCTURAS (COLUMNAS):
CONCRETO : fc = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)
ACERO : fy = 4200 Kg/cm²
RECUBRIMIENTO MÍNIMO DEL REFUERZO = 4.00 cm
CONCRETO EN ZAPATAS : fc = 210 Kg/cm² (alcanzado a los 28 dias)

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL REFUERZO:
- Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores con una distancia libre entre capas igual al Ø b y no menor de 2.5 cm.
- Longitud de Traslape mínima = 30 cm.

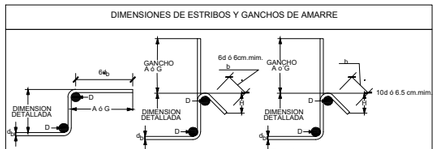
DESARROLLO. EN EXT. DE VIGA

LONGUITUD DE DESARROLLO EN EXTREMOS DE VIGAS	Ø	1/2"	5/8"	3/4"	1"
	L1	0.20	0.25	0.30	0.40
	L2	0.16	0.20	0.25	0.35

DOBLADO DE ESTRIBOS

LONGUITUD DE DOBLADO	Ø	r	a
	1/4"	3 cm.	8.0 cm.
	3/8"	4 cm.	12.0 cm.

DIMENSIONES DE ESTRIBOS Y GANCHOS DE AMARRE



Diametro	D (cm)	GANCHO 90° A 6 Ø (cm)	GANCHO 135° A 6 Ø (cm)	GANCHO 135° Aprox. M (cm)
3/8"	3.80	10.20	10.20	6.40
1/2"	5.10	11.40	11.40	7.60
5/8"	6.40	15.20	14.00	9.50
3/4"	11.40	30.50	19.70	11.40

Diametro	D (cm)	GANCHO 135° A 6 Ø (cm.)	H
3/8"	3.80	12.70	8.90
1/2"	5.10	16.50	11.40
5/8"	6.40	20.30	14.00
3/4"	11.40	27.30	16.50

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

PROYECTO:
'MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE AYACUCHO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO'

UBICACION :
DPTO : AYACUCHO
PROVINCIA : HUAMANGA
DISTRITO : AYACUCHO
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA

PLANO: PORTICOS EJE F-F,MODULO 2

MODULO 2-AULAS

LAMINA Nº M2-E08-R

DIBUJO: | REVISADO : | ESCALA : INDICADA | FECHA : ABRIL DE 2024

UNSCH FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 30-2026-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 154-2026-FIMGC-D,** a los **veintitrés días del mes de junio de 2026,** siendo las **10:14 a.m.,** reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil,** bajo la presidencia del **MSc. José Ernesto ESTRADA CARDENAS,** y los miembros: **Ing. Javier TAIPE CARBAJAL, Ing. Ruben Americo YACHAPA CONDEÑA** y **Ing. Rocky Giban AYALA BIZARRO,** actuando como secretario docente el **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ,** para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil,** del Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

ALEX JORGE ALDONATE

Quien presentó la tesis denominada:

"Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, 2024"

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con 16 (dieciséis)

Siendo las **12:06 p.m.** del día **23 de junio del 2026,** culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. José Ernesto ESTRADA CARDENAS
Presidente

Ing. Javier TAIPE CARBAJAL
Miembro

Ing. Rocky Giban AYALA BIZARRO
Miembro

Ing. Ruben Americo YACHAPA CONDEÑA
Miembro - Asesor

Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Secretario docente de la FIMGC

FACULTAD DE INGENIERÍA
DE MINAS Y CIVIL
Av. Independencia S/N
Ciudad Universitaria
Central Tel. 066 312510
Anexo 151

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 24-2026-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres	:	Alex JORGE ALDONATE
Escuela Profesional	:	INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis	:	"Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, 2024"
Evaluación de la Originalidad	:	10 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega	:	3008034247

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 4 de agosto del 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

Con depósito para Tramites
Cc. Archivo.

“Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, 2024”

por Alex JORGE ALDONATE

Fecha de entrega: 04-ago-2026 07:16a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3008034247
Nombre del archivo: Te_Alex_Jorge_Aldonate.pdf (15.05M)
Total de palabras: 43341
Total de caracteres: 220757

“Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la UNSCH, 2024”

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	11%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	GEIAS CONSULTORES S.A.C.. "DIA del Proyecto Presa Hidráulica Corral Blanco para Riego de la Localidad de Santa Cruz de Lanchi.-IGA0013852", R.D.G. N° 436-2014-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021 Publicación	<1%
12	Pamela Jessica C. Roque, Renante R. Violanda, Christopher C. Bernido, Janneli Lea A. Soria. "Earthquake Occurrences in the Pacific Ring of Fire Exhibit a Collective Stochastic Memory for Magnitudes, Depths, and Relative Distances of Events", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2024 Publicación	<1%

repositorio.undac.edu.pe

13	Fuente de Internet	<1 %
14	www.munichongoyape.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
15	GEO CONSULT SERVICE S.A.C.. "PAMA de Instalaciones se Comercialización se Residuos Sólidos-IGA0001091", R.D. Nº 1556-2016/DSA/DIGESA/SA, 2020 Publicación	<1 %
16	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	GRUPO HIMAS EMPRESA INDIVIDUAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA. "Modificación del Programa de Reconversión y Manejo de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales del Botadero Cerro Cuchimachay del Distrito de Viques, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín-IGA0016367", R.G.S.P. N° 187-2022-MPH/GSP, 2022 Publicación	<1 %
20	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Domínguez, Karen Huertas|Palacios, Julissa Andrea Roque. "Conocimiento sobre el desarrollo y dificultades fonológicas en docentes del nivel inicial de instituciones educativas privadas de Piura y Lima Metropolitana.", Pontificia Universidad Catolica del Peru (Peru), 2024 Publicación	<1 %
22	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		