

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis:

Implementación computacional para el análisis sísmico dinámico por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales, Abancay 2023

Asesor:

Dr. Soto Palomino, Wilfredo

Autor:

Huamañahui Zavala, Yimy Harol

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac - Perú

2025

Acta de sustentación



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 088



En la ciudad de Abancay, a los uno días del mes de **diciembre del 2025**, siendo las **11:00 am** horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° **0975-2025- EPIC-FI-UTEA-SA** de fecha **25 de noviembre del 2025**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Huanca Astoquillo, Luis
Dictaminante :	Mag. Saavedra Ore, Danilo
Replicante :	Ph. D. Vasquez Ramírez, Abbon Alex

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Implementación computacional para el análisis sísmico dinámico por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales, Abancay 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Huamanñahui Zavala, Yimy Harol

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Huamanñahui Zavala, Yimy Harol	Aprobado

Siendo las **13:20pm** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Huanca Astoquillo, Luis

(.....)

Dictaminante: Mag. Saavedra Ore, Danilo

(.....)

Replicante: Ph. D. Vasquez Ramírez, Abbon Alex

(.....)

Abancay 05 de enero del 2026

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 368

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud

Yimy Harol Huamanñahui Zavala

tesis_yimy_yhhz_v8_mod_v1

Revisión-tesis-C/D

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:545527969

Fecha de entrega

12 ene 2026, 12:29 GMT-5

Fecha de descarga

13 ene 2026, 9:37 GMT-5

Nombre del archivo

tesis_yimy_yhhz_v8_mod_v1.docx

Tamaño del archivo

18.7 MB

228 páginas

36.404 palabras

226.958 caracteres



Página 2 de 249 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:545527969

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del autor	
Apellidos y nombres	: Huamanñahui Zavala Yimy Harol
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 74239425
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-1710-4602
Datos del asesor	
Apellidos y nombres	: Soto Palomino Wilfredo
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 41934951
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-5926-8077
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que realizo la investigación	: 2024-2025
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 16%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A Dios, por darme la vida, la fe y la perseverancia para culminar este logro.

A mis padres, por haberme inculcado valores invaluable y por su apoyo incondicional, que ha sido el pilar de mi formación.

A mis hermanos Cristhian, Francis y Melanie, por su apoyo inquebrantable y por inspirarme a perseverar en la dedicación de este importante trabajo.

A la memoria de mi querida abuela Hilda, quien ilumina mi camino desde el cielo. A mis queridos tíos Julio Adrián y José Antonio, en reconocimiento a su inquebrantable esfuerzo y dedicación en la vida.

Agradecimientos

A mi hermano, el MSc. Ing. Cristhian Esquivel Zavala, por su invaluable apoyo durante la realización de esta tesis. Agradezco, en especial, la pasión que lo caracteriza al explicar, guiándome siempre para comprender por mí mismo los fundamentos de la ingeniería.

A mi asesor, el Dr. Wilfredo Soto Palomino, por el invaluable apoyo brindado en la elaboración de esta tesis.

Resumen

El análisis sísmico dinámico de estructuras tridimensionales es fundamental para comprender el comportamiento estructural ante eventos sísmicos, sin embargo, la creciente dependencia del software especializado ha reducido la comprensión de sus fundamentos. En respuesta, se desarrolló una implementación computacional que permite verificar el análisis sísmico dinámico mediante métodos matriciales aplicados a pórticos pseudotridimensionales, incluyendo los enfoques tiempo-historia y modal espectral. Las verificaciones realizadas en los Modelos 1 y 2, conformados por pórticos pseudotridimensionales de vigas y columnas, permitieron determinar la respuesta estructural en términos de desplazamientos, derivas, fuerzas inerciales, cortantes, momentos torsores y de volteo. Al verificar estos resultados con valores de referencia obtenidos de bibliografía especializada y simulaciones en SAP2000, se observaron diferencias porcentuales inferiores al 3% en la mayoría de los parámetros evaluados. En el Modelo 3, correspondiente a un edificio real con geometría más compleja e incorporación de muros estructurales, se observó una mayor variabilidad. En este caso, los desplazamientos y derivas mostraron una sobrestimación con diferencias del 19% respecto a SAP2000, mientras que las fuerzas inerciales, cortantes y momentos de volteo con diferencias por encima del 8% del valor referencial. Los resultados respecto a este tipo de modelo se consideran aceptables, lo que respalda la aplicabilidad de la formulación matemática. Se concluye que la implementación computacional desarrollada permite verificar con alta confiabilidad el análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales, constituyéndose en una herramienta válida y útil para fines académicos y de investigación preliminar.

Palabras clave: Análisis sísmico dinámico, análisis matricial, algoritmos de programación, análisis tiempo historia, análisis modal espectral.

Abstract

The dynamic seismic analysis of three-dimensional structures is essential for understanding structural behavior under seismic events. However, the increasing reliance on specialized software has diminished the comprehension of its fundamental principles. In response, a computational implementation was developed to verify dynamic seismic analysis using matrix methods applied to pseudo-three-dimensional frames, including time-history and response spectrum approaches. The verifications carried out on Models 1 and 2—composed of pseudo-three-dimensional frames made of beams and columns—enabled the determination of structural response in terms of displacements, drifts, inertial forces, shear forces, torsional moments, and overturning moments. When comparing these results with reference values obtained from specialized literature and SAP2000 simulations, percentage differences below 3% were observed in most of the evaluated parameters. In Model 3, which corresponds to a real building with more complex geometry and the inclusion of structural walls, greater variability was observed. In this case, displacements and drifts showed overestimations with differences of up to 19% compared to SAP2000, while inertial forces, shear forces, and overturning moments exhibited differences greater than 8% from the reference values. The results for this type of model are considered acceptable, supporting the applicability of the mathematical formulation. It is concluded that the developed computational implementation reliably verifies the dynamic seismic analysis of pseudo-three-dimensional structures, establishing itself as a valid and useful tool for academic purposes and preliminary research.

Keywords: Dynamic seismic analysis, matrix analysis, programming algorithms, time-history analysis, response spectrum analysis.

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xvii
Índice de anexos	xxiii
I. Introducción	24
II. Planteamiento del problema	25
2.1. Descripción y formulación del problema.	25
2.1.1. Problema General	26
2.1.2. Problemas Específicos.....	26
2.2. Objetivos.....	27
2.2.1. Objetivo General	27
2.2.2. Objetivo Específico	27
2.3. Justificación e importancia.....	27
2.4. Hipótesis.....	29
2.4.1. Hipótesis general	29
2.4.2. Hipótesis Específicas	29
2.5. Variables	30
III. Marco teórico	31
3.1. Antecedentes	31
3.2. Bases Teóricas.....	37

3.2.1. Implementación computacional	37
3.2.1.1. Algoritmos de programación	37
3.2.2. Análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales	39
3.2.2.1. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales.....	39
3.2.2.2. Análisis sísmico dinámico tiempo historia	53
3.2.2.3. Análisis sísmico dinámico modal espectral	54
3.3. Definición de términos	57
IV. Metodología	60
4.1. Tipo y Nivel de investigación.....	60
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	61
4.3. Población y muestra	61
4.4. Instrumentos	62
4.5. Procedimientos	62
4.6. Análisis de datos	64
4.7. Consideraciones Éticas	64
V. Resultados y discusión.....	65
5.1. Formulación matemática con algoritmos de programación	65
5.1.1. Diseño del algoritmo con diagramas de flujo	65
5.1.2. Diagramas de flujo por cada pseudocódigo.	67
5.1.3. Formulación matemática con Pseudocódigos	76
5.1.3.1. Pseudocódigo para el análisis matricial de pórticos bidimensionales (Rigidez_2D.m)	79
5.1.3.2. Pseudocódigo para la condensación de grados de libertad (Condensacion_2D.m)	83
5.1.3.3. Pseudocódigo para análisis pseudotridimensional (Rigidez_3D.m).....	87
5.1.3.4. Pseudocódigo para el análisis sísmico dinámico tiempo historia (Analisis_TH.m)	91
5.1.3.5. Pseudocódigo para el ingreso de la función espectral o señal sísmica para la creación del espectro de análisis (Pseudoespectral_3D.m).....	98

5.1.3.6. Pseudocódigo para el análisis sísmico dinámico pseudoespectral. (Analisis_Pseudo_3D.m).....	101
5.1.3.7. Pseudocódigo para el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) para análisis dinámico pseudoespectral del pseudocódigo (Combinacion_M_RCSC.m).....	104
5.1.3.8. Pseudocódigo para el método de combinación cuadrática completa (CQC) para análisis dinámico pseudoespectral del pseudocódigo (Combinacion_M_CQC.m).....	106
5.2. Análisis sísmico dinámico de estructuras tridimensionales – casos de estudios	109
5.2.1. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 1	110
5.2.2. Análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 1	124
5.2.3. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 2	134
5.2.4. Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 2.....	145
5.2.5. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 3	158
5.2.6. Análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 3.....	168
5.2.7. Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 3.....	175
5.3. Resultados de los modelos 1, 2 y 3.....	191
5.3.1. Resultados del objetivo general	191
5.3.2. Resultados del objetivo específico 01	193
5.3.3. Resultados del objetivo específico 02	196
5.3.4. Resultados del objetivo específico 03	198
5.4. Discusión de resultados.....	202
VI. Conclusiones.....	212
6.1.1. Conclusiones al objetivo general.....	212
6.1.2. Conclusiones al objetivo específico 1.....	213
6.1.3. Conclusiones al objetivo específico 2.....	214

6.1.4. Conclusiones al objetivo específico 3.....	215
VII. Recomendaciones.....	217
VIII. Referencias	219
IX. Anexos	223

Índice de tablas

Tabla 1 Ingreso de datos para el análisis pseudotridimensional	118
Tabla 2 Ingreso de datos que contienen las masas, centro de masa y alturas de nivel .	118
Tabla 3 Frecuencias y periodos del modelo 1 extraídos de la bibliografía	121
Tabla 4 Frecuencias y periodos del modelo 1 obtenido con SAP 2000	121
Tabla 5 Modos de Vibración correspondiente al modelo 1 obtenida en software SAP 2000	122
Tabla 6 Masa modal efectiva extraídos del texto de verificación del modelo 1	124
Tabla 7 Masa modal efectiva correspondientes al modelo 1 obtenidas en software SAP 2000	124
Tabla 8 Valores máximos de la respuesta de desplazamiento desacoplados para verificación.....	127
Tabla 9 Valores máximos de desplazamientos para verificación	128
Tabla 10 Valores máximos de fuerzas para verificación	129
Tabla 11 Valores máximos de cortantes para verificación	131
Tabla 12 Ingreso de datos de conformación de pórticos bidimensionales	139
Tabla 13 Ingreso de datos que contienen las masas, centro de masa y alturas de nivel	139
Tabla 14 Frecuencias y periodos del modelo 2 extraídos de la bibliografía	142
Tabla 15 Frecuencias y periodos del modelo 2 en software de verificación SAP 2000 ..	142
Tabla 16 Modos de vibración correspondiente al modelo 2 obtenida en software SAP 2000	143
Tabla 17 Masa modal efectiva extraídos del texto de verificación del modelo 2	144
Tabla 18 Masa modal efectiva correspondientes al modelo 2 obtenidas en software SAP 2000	144
Tabla 19 Desplazamientos máximos (m) obtenidos por el texto de verificación.....	148
Tabla 20 Desplazamientos máximos modales cada nivel obtenido por el software SAP 2000	148

Tabla 21 Derivas máximas (%) obtenido por el texto de verificación	148
Tabla 22 Fuerzas inerciales máximas (KN) obtenido por el texto de verificación.....	149
Tabla 23 Fuerzas inerciales máximas (KN) obtenido por el software SAP 2000.....	149
Tabla 24 Cortantes máximas (KN) obtenido por el texto de verificación	150
Tabla 25 Cortantes máximas (KN) obtenidos por el software SAP 2000	151
Tabla 26 Momento de vuelco modales (KN) obtenido por el texto de verificación	151
Tabla 27 Momento de vuelco modales (KN) obtenido por el software SAP 2000	152
Tabla 28 Desplazamientos (m) por el método (RCSC) obtenido por el software SAP 2000	153
Tabla 29 Derivas (1/100) por el método (RCSC) obtenido por el software SAP 2000....	153
Tabla 30 Cortantes (m) por el método (RCSC) obtenido por el software SAP 2000	154
Tabla 31 Momento de vuelco (m) por el método RCSC, obtenido por el software SAP 2000	154
Tabla 32 Desplazamientos (m) por el método (CQC) obtenido por el software SAP 2000	155
Tabla 33 Derivas (1/100) por el método (CQC) obtenido por el software SAP 2000.....	156
Tabla 34 Cortantes (m) por el método (CQC) obtenido por el software SAP 2000	156
Tabla 35 Momento de vuelco (m) por el método CQC, obtenidas por el software SAP 2000	157
Tabla 36 Ingreso de datos de conformación de pórticos bidimensionales	163
Tabla 37 Ingreso de datos que contienen las masas y centro de masa por piso de la estructura.....	163
Tabla 38 Frecuencias y periodos en software de verificación SAP 2000	165
Tabla 39 Modos de Vibración obtenida en software SAP 2000	166
Tabla 40 Masa modal efectiva obtenidas en software SAP 2000	168
Tabla 41 Valores máximos de la respuesta desacopladas para verificación.....	171
Tabla 42 Valores máximos de fuerzas para verificación	172
Tabla 43 Valores máximos de fuerzas ante la señal AC-1970.....	174

Tabla 44 Valores máximos de cortantes para verificación	175
Tabla 45 Factores según la norma E030 de diseño sismorresistente para el espectro de pseudoaceleraciones	176
Tabla 46 Desplazamientos máximos (m) considerando excentricidad accidental en Y y X, obtenido por el software SAP 2000.....	179
Tabla 47 Fuerzas inerciales máximas modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, correspondientes a los GL de cada nivel obtenidas por el software SAP 2000	181
Tabla 48 Cortantes máximas modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el software SAP 2000	182
Tabla 49 Momento de vuelco modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, correspondientes a los GL de cada nivel obtenidas por el software SAP 2000	183
Tabla 50 Desplazamientos (m) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental, obtenidas por el software SAP 2000	184
Tabla 51 Derivas (1/1000) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental, obtenidas por el software SAP 2000	185
Tabla 52 Cortantes (m) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental, obtenidas por el software SAP 2000	185
Tabla 53 Momento de vuelco (m) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental, obtenidas por el software SAP 2000	186
Tabla 54 Desplazamientos (m) por el método CQC, considerando excentricidad, obtenidas por el software SAP 2000	188
Tabla 55 Derivas (1/1000) por el método CQC, considerando excentricidad accidental, obtenidas por el software SAP 2000	189
Tabla 56 Cortantes (m) por el método CQC considerando excentricidad accidental, obtenidas por el software SAP 2000	189
Tabla 57 Momento de vuelco (m) por el método CQC, considerando excentricidad accidental, obtenidas por el software SAP 2000	190
Tabla 58 Verificación de la respuesta a idealización dinámica del modelo 1	194

Tabla 59 Verificación de la respuesta a idealización dinámica del modelo 2	195
Tabla 60 Verificación de la respuesta a idealización dinámica del modelo 3	195
Tabla 61 Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 1	197
Tabla 62 Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 3.....	198
Tabla 63 Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 2.....	199
Tabla 64 Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 3.....	200
Tabla 65 Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 1	205
Tabla 66 Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 3.....	206
Tabla 67 Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 2.....	208
Tabla 68 Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 3.....	210

Índice de figuras

Figura 1 Formulación de un algoritmo.....	37
Figura 2 Ejemplo de diagrama de flujo.....	37
Figura 3 Ejemplo de grados de libertad de un marco 2D.....	41
Figura 4 Grados de libertad locales y globales de una barra de marco	42
Figura 5 Transformación entre coordenadas locales y globales de un elemento.....	43
Figura 6 Modelado de brazo rígido.....	44
Figura 7 Sección general para determinar el área de corte paralelo al eje Y.....	46
Figura 8 Diafragma idealizando la masa concentrada.....	48
Figura 9 Deformaciones internas de una losa ante diferentes tipos de carga.....	49
Figura 10 Grados de libertad de un pórtico convencional.....	49
Figura 11 Grados de libertad sin considerar las deformaciones en vigas	50
Figura 12 Pórtico con grados de libertad verticales condensados	50
Figura 13 Pórtico con grados de libertad rotacionales condensados.....	51
Figura 14 Grados de libertad del diafragma y de los pórticos en el piso i.	51
Figura 15 Diagrama de flujo para Idealización dinámica	65
Figura 16 Diagrama de flujo para el análisis sísmico dinámico tiempo historia.....	66
Figura 17 Diagrama de flujo para el análisis sísmico dinámico pseudoespectral.....	67
Figura 18 Diagrama de flujo del pseudocódigo Rigidez_2D	68
Figura 19 Diagrama de flujo del pseudocódigo Condensacion_2D	69
Figura 20 Diagrama de flujo del pseudocódigo Rigidez_3D	70
Figura 21 Diagrama de flujo del pseudocódigo Analisis_TH.....	71
Figura 22 Diagrama de flujo del pseudocódigo Portico_TH_3D	72
Figura 23 Diagrama de flujo del pseudocódigo Pseudoespectral_3D.....	73
Figura 24 Diagrama de flujo del pseudocódigo Analisis_Pseudo_3D.....	74
Figura 25 Diagrama de flujo del método de combinación RCSC del pseudocódigo Combinacion_M_RCSC.....	75

Figura 26 Diagrama de flujo del método de combinación (CQC) del pseudocódigo Combinacion_M_CQC.....	75
Figura 27 Estructura tridimensional modelo 1	110
Figura 28 Pórtico A y B, perteneciente al modelo 1.....	111
Figura 29 Datos leídos por el script Rigidez_2D.m.....	112
Figura 30 Matriz KLL del pórtico A y B.....	112
Figura 31 Grados de libertad libres KLL del pórtico A y B	113
Figura 32 Matriz KII del pórtico A y B.....	114
Figura 33 Grados de libertad de la matriz KII del pórtico A y B	115
Figura 34 Matriz KSV del pórtico A y B	115
Figura 35 Grados de libertad de la matriz KSV del pórtico A y B.....	115
Figura 36 Matriz KC del pórtico A y B	116
Figura 37 Grados de libertad de la matriz KC del pórtico A y B.....	116
Figura 38 Matriz KC del pórtico 1 y 2	117
Figura 39 Matriz KC del pórtico 1 y 2	117
Figura 40 Piso 1, 2 y 3 y ubicación de pórticos y centro de masas en el plano modelo 1...	118
Figura 41 Matriz KE del modelo 1 obtenido por el script Rigidez_3D.m	119
Figura 42 Matriz masa del modelo 1	120
Figura 43 Matriz de amortiguamiento modal del modelo 1 obtenido por el script Rigidez_3D.m.....	120
Figura 44 Frecuencias y periodos del modelo 1 obtenido por el script Rigidez_3D.m. ...	120
Figura 45 Modos de Vibración correspondiente al modelo 1 obtenida por el script Rigidez_3D.m.....	122
Figura 46 Formas modales correspondientes al modelo 1	122
Figura 47 Primeras tres formas modales del modelo 1 obtenidas en software SAP 2000..	123
Figura 48 Masa modal efectiva correspondiente al modelo 1 obtenida por el script Rigidez_3D.m.....	123
Figura 49 Señal sísmica de california LOMAP_EW.....	124

Figura 50 Señal sísmica LOMAP_NS	125
Figura 51 Respuesta de desplazamientos desacoplados obtenidas por el script Analisis_TH.m.....	126
Figura 52 Desplazamientos correspondientes al piso 3 obtenidas por script Analisis_TH.m y software SAP 2000	127
Figura 53 Fuerzas inercial correspondientes al piso 3, obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000.....	129
Figura 54 Cortantes y Momento Torsional correspondientes al piso 3, obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000	130
Figura 55 Grados de libertad de la matriz KII del pórtico A y B	132
Figura 56 Desplazamientos correspondientes al pórtico 1-1 del modelo 1 por piso obtenidas por el script Portico_TH_3D.m y software SAP 2000.....	132
Figura 57 Derivas correspondientes al pórtico 1-1 del modelo 1 por piso obtenidas por el script Portico_TH_3D.m. y software SAP 2000.....	133
Figura 58 Desplazamientos y derivas máximos del pórtico 1-1 del modelo 1 con el script Portico_TH_3D.m	133
Figura 59 Estructura tridimensional modelo 2	134
Figura 60 Pórtico A, B, C, 1, 2 y 3 perteneciente al modelo 2	135
Figura 61 Datos leídos por el script Rigidez_2D.m.....	136
Figura 62 Grados de libertad libres KLL del pórtico A	137
Figura 63 Matriz KC obtenida por el script Condensacion_2D.m del pórtico A.....	137
Figura 64 Grados de libertad de la matriz KC del pórtico A.....	138
Figura 65 Piso 1 a 6 modelo 2, ubicación de pórticos en el plano y centro de masas de cada nivel	138
Figura 66 Matriz KE obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 2	140
Figura 67 Matriz de amortiguamiento modal obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 2.....	141
Figura 68 Frecuencias y periodos obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 2 ...	141

Figura 69 Modos correspondiente al modelo 2 obtenida por el script Rigidez_3D.m.....	143
Figura 70 Formas modales correspondientes al modelo 2 obtenidas en software SAP 2000	143
Figura 71 Masa modal efectiva correspondiente al modelo 2 obtenida por el script Rigidez_3D.m	144
Figura 72 Señal sísmica de IV-1940.	145
Figura 73 Espectros de desplazamiento, espectro de pseudovelocidades y pseudoaceleraciones para el modelo 2 obtenidos del script Pseudoespectral_3D.....	146
Figura 74 Valores correspondientes a los periodos que son leídos en el espectro de desplazamiento de IV– 1940 obtenido del script Analisis_Pseudo_3D.m.....	147
Figura 75 Desplazamientos máximos (m) obtenidos por el script Analisis_Pseudo_3D.m	147
Figura 76 Derivas modales (%) obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m.....	148
Figura 77 Fuerzas inerciales máximas modales (KN) obtenidas por el script Analisis_Pseudo_3D.m.....	149
Figura 78 Cortantes máximas (KN) obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m.....	150
Figura 79 Momento de vuelco (KN) obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m	151
Figura 80 Respuesta del método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) obtenido por el script Combinacion_M_RCSC.m	152
Figura 81 Momento de vuelco máximo (KN.m) obtenido por el script Combinacion_M_RCSC.m.....	154
Figura 82 Respuesta del método de combinación cuadrática completa (CQC), correspondientes a los GL de cada nivel obtenido por el script Combinacion_M_CQC.m	155
Figura 83 Momento de vuelco máximo (KN.m), correspondientes a los GL de cada nivel obtenidas por el script Combinacion_M_CQC.m.....	157
Figura 84 Estructura tridimensional modelo 3	158
Figura 85 Planta típica del modelo 3	159

Figura 86 Pórtico A, B, C, D, E, F, G, 1, 2, 3 y 4, perteneciente al modelo 3.....	159
Figura 87 Pórtico 1, nudos, nudos, elementos y grados de libertad del pórtico	160
Figura 88 Grados de libertad libres KLL del pórtico A	161
Figura 89 Matriz KC obtenida por el script Condensacion_2D.m del pórtico A.....	161
Figura 90 Grados de libertad de la matriz KC del pórtico A.....	162
Figura 91 Planta del piso 1 al 8 del modelo 3.....	162
Figura 92 Matriz KE obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 3	164
Figura 93 Frecuencias y periodos obtenida por el script Rigidez_3D.m	165
Figura 94 Modos de Vibración obtenida por el script Rigidez_3D	166
Figura 95 Formas modales obtenidas en software SAP 2000	167
Figura 96 Masa modal efectiva obtenida por el script Rigidez_3D.m	168
Figura 97 Señal sísmica SCE_1970_HNE	169
Figura 98 Señal sísmica SCE_1970_HNN.....	169
Figura 99 Respuesta de desplazamiento desacoplados obtenidas por el script Analisis_TH.m.....	170
Figura 100 Desplazamientos correspondientes al piso 8 obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000.....	171
Figura 101 Fuerzas correspondientes al piso 8 obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000	172
Figura 102 Cortantes y Torsión correspondientes al piso 8 del modelo 3, obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000	174
Figura 103 Espectros de pseudoaceleraciones según norma E030.....	176
Figura 104 Espectros de desplazamiento y espectro de pseudovelocidades y pseudoaceleraciones de según norma E030, obtenidos del script Pseudoespectral_3D	177
Figura 105 Valores correspondientes a los periodos, obtenido del script Analisis_Pseudo_3D.m.....	178

Figura 106 Desplazamientos máximos (m) considerando excentricidad accidental en Y y X, obtenidos por el script Analisis_Pseudo_3D.m	179
Figura 107 Derivas máximas (%) considerando excentricidad accidental en Y y X.	180
Figura 108 Fuerzas inerciales máximas (KN) considerando excentricidad en Y y X.	180
Figura 109 Cortantes máximas modales (KN) considerando excentricidad accidental en Y y X, obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m	181
Figura 110 Momento de vuelco modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el script Analisis_Pseudo_3D.m	182
Figura 111 Respuesta del método de combinación de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC), obtenidas por el script Combinacion_M_RCSC.m.....	183
Figura 112 Respuesta del método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) obtenidas por el script Combinacion_M_RCSC.m.....	184
Figura 113 Momento de vuelco máximo (KN.m) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el script Combinacion_M_RCSC.m	186
Figura 114 Respuesta del método de combinación cuadrática completa (CQC), obtenidas por el script Combinacion_M_CQC.m.....	187
Figura 115 Respuesta del método de combinación cuadrática completa (CQC), obtenidas por el script Combinacion_M_CQC.m.....	187
Figura 116 Momento de vuelco máximo (KN.m) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el script Combinacion_M_CQC.m.....	190
Figura 117 Hoja 1 - Ingreso de pórticos bidimensionales	227
Figura 118 Hoja 2 - Ingreso de diafragmas rígidos.....	228
Figura 119 Hoja 3 - Ingreso de la estructura pseudotridimensional, masas, centro de masas	229

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	224
Anexo 2 Operacionalización de Variables.....	225
Anexo 3 Matriz de instrumentos de investigación.....	226
Anexo 4 Modelo de Hojas de Cálculo de ingreso para los códigos script.....	227

I. Introducción

La presente tesis abordo el análisis sísmico dinámico de pórticos pseudotridimensionales, motivada por la creciente dependencia del software en la ingeniería estructural y la consecuente falta de comprensión profunda de los procesos subyacentes, esta situación ha evidenciado una carencia de herramientas académicas que permitan a estudiantes y profesionales entender, paso a paso, el comportamiento dinámico estructural y para afrontar esta problemática, se desarrollara una implementación computacional basada en la formulación matemática de algoritmos de programación y plasmado en la creación de pseudocódigos en MATLAB, los cuales serán verificados rigurosamente mediante bibliografía especializada y software SAP 2000, asegurando su precisión y fiabilidad.

El objetivo principal de esta investigación fue conocer el comportamiento dinámico de pórticos pseudotridimensionales ante enfoques de análisis tiempo historia y espectral, utilizando la implementación computacional desarrollada. La justificación de este trabajo radica en su potencial para proporcionar códigos MATLAB formativos valiosos para los estudiantes, fortaleciendo así el conocimiento en dinámica estructural y contribuyendo significativamente a la academia. La tesis se estructura de la siguiente manera:

Capítulo I: Introducción, donde se contextualiza la investigación, se exponen los problemas, los objetivos y la justificación. **Capítulo II:** Problema de Investigación, en el que se formula la problemática, la hipótesis y las variables a estudiar. **Capítulo III:** Marco Teórico, que incluye la revisión de antecedentes y el desarrollo fundamental de la teoría necesaria para la elaboración de la implementación computacional. **Capítulo IV:** Metodología, donde se detallan la población, muestra, instrumentos y procedimientos empleados en la investigación. **Capítulo V:** Implementación y Verificación, en este capítulo se presenta la implementación computacional desarrollada y se procede a la verificación de tres modelos de pórticos pseudotridimensionales bajo un análisis sísmico dinámico.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema.

En el mundo el análisis sísmico dinámico constituye una herramienta fundamental para evaluar el comportamiento estructural de edificaciones sometidas a acciones sísmicas, especialmente en zonas de alta peligrosidad sísmica, lo que ha evidenciado la creciente dependencia de software especializado, desplazando la comprensión profunda de los fundamentos teóricos y matemáticos que sustentan dichos análisis dando lugar a prácticas de modelación estructural en las que la interpretación crítica de los resultados puede verse limitada (Powell, 2010).

El Perú está ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde existe una elevada amenaza sísmica, por lo que se debe de considerar un adecuado dominio del análisis sísmico dinámico de edificaciones tridimensionales mediante los enfoques tiempo-historia y modal espectral, en los ámbitos académico y profesional, este análisis suele realizarse de manera automatizada mediante software comercial, sin una comprensión suficiente de la idealización estructural, la reducción de grados de libertad y la formulación matricial asociadas al método pseudotridimensional (Muñoz, 2002).

La presente investigación se desarrolló en Abancay, y está orientada a estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, quienes enfrentan dificultades para comprender y verificar el análisis sísmico dinámico de pórticos pseudotridimensionales debido a la limitada integración entre la formulación matemática, los algoritmos de programación y su implementación computacional, este problema radica en la ausencia de herramientas académicas que permitan vincular los fundamentos teóricos del análisis dinámico con modelos computacionales (Paz & Kim, 2019).

Entre las principales causas se identifican: la enseñanza predominantemente orientada al uso de software comercial, la escasa profundización en métodos matriciales y algoritmos de programación, la complejidad inherente del análisis sísmico dinámico tridimensional y la falta de modelos computacionales propios que faciliten la comprensión del método pseudotridimensional.

Si esta problemática no se aborda, se corre el riesgo de que los profesionales no desarrollen correctamente el criterio estructural perdiendo la capacidad de interpretar adecuadamente resultados dinámicos, verificar modelos computacionales o detectar inconsistencias en el análisis sísmico, en consecuencia, ocasionar decisiones de diseño poco confiables, evaluaciones estructurales incorrectas y en escenarios extremos, un desempeño sísmico inadecuado de las edificaciones.

Ante esta situación, la investigación propone el desarrollo de una implementación computacional basada en algoritmos de programación en MATLAB, orientada a la verificación del análisis sísmico dinámico tiempo-historia y modal espectral de pórticos pseudotridimensionales mediante métodos matriciales, donde este enfoque permitirá fortalecer la comprensión de los fundamentos teóricos, mejorar la interpretación de resultados y servir como una herramienta académica y técnica que reduzca la brecha entre el uso del software y el entendimiento real del comportamiento dinámico estructural.

2.1.1. Problema General

¿Como es la implementación computacional para la verificación del análisis sísmico dinámico por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales, Abancay 2023?

2.1.2. Problemas Específicos

Problema específico N°01. ¿Como es la formulación matemática con algoritmos de programación para la idealización dinámica por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales?

Problema específico N°02. ¿En qué medida es preciso la formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico tiempo historia por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales?

Problema específico N°03. ¿En qué medida es preciso la formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico modal espectral por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Conocer la implementación computacional para la verificación del análisis sísmico dinámico por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales, Abancay 2023.

2.2.2. Objetivo Específico

Objetivo específico N°01. Determinar la formulación matemática con algoritmos de programación para la idealización dinámica por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales.

Objetivo específico N°02. Determinar la precisión de la formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico tiempo historia por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales.

Objetivo específico N°03. Determinar la precisión de la formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico modal espectral por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales.

2.3. Justificación e importancia

- **Justificación**

La presente investigación constituye una contribución significativa en el ámbito del análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales mediante métodos matriciales, por ende el principal valor radica en servir como guía metodológica que detalla el procedimiento computacional, desde la formulación matemática hasta la interpretación de resultados, facilitando la comprensión de un proceso que suele considerarse complejo y poco accesible, por medio del desarrollo de algoritmos y su implementación en MATLAB, que permitió una verificación detallada de cada etapa del análisis, promoviendo una comprensión más profunda de los fundamentos que sustentan las respuestas dinámicas estructurales.

Desde una perspectiva práctica, la investigación aborda los métodos de análisis tiempo-historia y modal espectral, áreas que presentan escasa documentación aplicada en los softwares comerciales de análisis estructural, los cuales tienden a centrarse en la teoría sin ofrecer claridad sobre el procedimiento computacional, con la formulación matemática implementada permite al usuario reproducir los fundamentos del análisis dinámico en estructuras tipo marco pseudotridimensional, con o sin la presencia de muros estructurales, lo que amplía su aplicabilidad a diversos casos de estudio.

En el ámbito social y profesional, los principales beneficiarios serán los estudiantes, investigadores y profesionales de la ingeniería estructural que buscan una alternativa educativa y técnica al uso automático de software comercial, con la utilización de MATLAB, por su accesibilidad, flexibilidad y claridad, se presenta como una herramienta ideal para el desarrollo de códigos de programación enfocados en la enseñanza, la investigación aplicada y el análisis estructural preliminar.

- ***Importancia.***

Al desarrollar una implementación computacional propia mediante algoritmos de programación en MATLAB, esta investigación no solo permite replicar y verificar los resultados obtenidos por software comercial, sino que además fortalece la comprensión teórica y metodológica del análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales por lo que es fundamental para fomentar el pensamiento crítico y analítico en estudiantes, docentes e ingenieros que deseen ir más allá de la simple operación de programas.

Además, la formulación presentada aporta un enfoque formativo que permite visualizar y controlar cada etapa del análisis, desde la modelación matemática hasta la interpretación de respuestas estructurales como desplazamientos, derivas, fuerzas inerciales y momentos, permitiendo una verificación detallada, especialmente útil en entornos académicos y de investigación, donde el rigor metodológico es indispensable.

La investigación también sienta las bases para desarrollos futuros, como la incorporación de comportamientos no lineales, la ampliación a estructuras con geometrías

complejas y la creación de interfaces gráficas amigables y de este modo, se convierte en un punto de partida para quienes buscan una alternativa educativa, transparente y científicamente fundamentada en el análisis dinámico estructural, además, al fomentar el desarrollo de herramientas propias y adaptables, se promueve la independencia tecnológica y se optimiza el uso de recursos en proyectos de análisis y diseño estructural, contribuyendo así a una formación más sostenible y a una práctica profesional más competitiva.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Con la implementación computacional se verificará el análisis sísmico dinámico por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales, Abancay 2023.

2.4.2. Hipótesis Específicas

Hipótesis específica N°01. Con la formulación matemática con algoritmos de programación se determinará la idealización dinámica por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales.

Hipótesis específica N°01. La formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico tiempo historia por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales tiene una precisión mayor al 90%.

Hipótesis específica N°01. La formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico modal espectral por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales tiene una precisión mayor al 90%.

2.5. Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL	Es el proceso mediante el cual una formulación matemática y teórica es transformada en algoritmos programables, permitiendo su ejecución en un entorno computacional para la simulación, análisis y evaluación de sistemas de ingeniería. (Bathe, 2019; Paz & Kim, 2019)	La implementación computacional se operacionaliza mediante el desarrollo y ejecución de algoritmos de programación en el entorno MATLAB, basado en la formulación matemática con algoritmos de programación. Midiendo el porcentaje de precisión de las respuestas obtenidas.	Formulación matemática con algoritmos de programación	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de algoritmos con diagramas de flujo. • Formulación matemática con pseudocódigos. • Precisión.
ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO DE ESTRUCTURAS PSEUDOTRIDIMENSIONALES	<p>Es el procedimiento mediante el cual se evalúa la respuesta estructural de edificaciones tridimensionales idealizadas mediante la reducción de grados de libertad, ante efectos sísmicos, con metodologías de análisis tiempo historia o espectral (Chopra, 2020).</p> <p>Este análisis permite obtener respuesta estructural y por el medio del método pseudotridimensional constituye una alternativa eficiente para comprender la respuesta sísmica de edificaciones (Cheng, 2001).</p>	El análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales se operacionaliza a través de la evaluación de la respuesta estructural elástica de pórticos pseudotridimensionales idealizados con diafragma rígido y tres grados de libertad por nivel, aplicando los métodos dinámicos tiempo-historia y modal espectral. Determinando la respuesta de las estructuras evaluadas con el código MATLAB, bibliografía especializada y el software SAP 2000.	<p>Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales</p> <hr/> <p>análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos pseudotridimensionales</p> <hr/> <p>análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotridimensionales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de rigidez por pórtico. • Matriz de rigidez lateral por pórtico. • Matriz de rigidez lateral de estructura. • Matriz de masa y amortiguamiento. • Periodo, frecuencia y modos de vibración. • masa modal efectiva. • Registros sísmicos. (aceleraciones). • Coordenadas desacopladas. • Desplazamientos. • Fuerzas inerciales. • Cortante basal y momento torsor. • Respuesta por tiempo de desplazamiento y derivas por pórtico. • Espectros y pseudoespectro de desplazamiento, velocidad y aceleración. • Combinaciones modales. • Desplazamientos. • Derivas de piso. • Fuerzas inerciales. • Cortante basal. • Momento de volteo.

Nota. Elaboración Propia.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

- ***Antecedente a nivel internacional***

Analuisa & Cisneros (2025) en su artículo titulado “Análisis comparativo de métodos numéricos para la dinámica de pórticos irregulares con Python”, tuvieron como objetivo general determinar cuál de los métodos de integración directa de Diferencias Centrales, Newmark- β y Wilson- θ ofrece un mejor desempeño en el análisis dinámico de pórticos irregulares de múltiples grados de libertad (MDOF), caracterizadas por discontinuidades en masa, rigidez o geometría estas representan una compleja interacción modal. La metodología fue de tipo cuantitativa y computacional, basada en simulaciones numéricas desarrolladas en Python, utilizando bibliotecas para el análisis matricial y la visualización de resultados, los autores analizaron la respuesta dinámica de un pórtico irregular de cuatro niveles sometido a una carga armónica, evaluando la precisión, estabilidad y eficiencia computacional de cada método. Los resultados mostraron que el método Wilson- θ presenta la mayor robustez y estabilidad, seguido de Newmark- β , que ofreció la mayor precisión con errores relativos menores al 1%. Los autores concluyeron que los métodos Wilson- θ y Newmark- β son los más adecuados para estructuras irregulares, por su equilibrio entre estabilidad, exactitud y eficiencia en el análisis dinámico estructural.

Ramirez (2022) en su tesis titulada “Desarrollo de un programa de computador para el análisis lineal de estructuras aporticadas tridimensionales sometidas a cargas estáticas”, tuvo como objetivo general desarrollar un programa de código abierto capaz de realizar el análisis lineal de estructuras aporticadas tridimensionales sometidas a cargas estáticas. La investigación se centró en la creación de una librería en Python que implementa el método directo de rigideces, permitiendo calcular los desplazamientos nodales, las reacciones de apoyo y las fuerzas internas de los elementos estructurales. Asimismo, se desarrolló un entorno gráfico interactivo y una interfaz web basada en JavaScript, HTML, CSS y la librería Three.js. La metodología empleada fue de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y un enfoque analítico-computacional, orientada al desarrollo de herramientas de libre acceso para la

ingeniería estructural. Los resultados obtenidos demostraron la correcta implementación del método de rigideces y una visualización eficiente del modelo estructural mediante archivos JSON. El autor concluyó que el programa desarrollado constituye una herramienta confiable y didáctica para fines académicos y de investigación, promoviendo la comprensión del análisis estructural de pórticos tridimensionales.

Aguiar & Cagua (2022) en su artículo titulado "Sistema Computacional CEINCI LAB como una herramienta para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural", tuvieron como objetivo desarrollar y consolidar un sistema computacional orientado a fortalecer el proceso de enseñanza y aprendizaje en el campo de la ingeniería estructural. El estudio se fundamentó en la necesidad de mejorar la comprensión de los conceptos teóricos sobre el análisis dinámico de estructuras, dada la complejidad de los fenómenos sísmicos y las dificultades que presentan los estudiantes en su interpretación. El trabajo describe la evolución del sistema CEINCI LAB, iniciado en 1993 por el Dr. Roberto Aguiar, desde sus primeras versiones en Fortran, pasando por Visual Basic para la creación de interfaces gráficas, hasta su implementación actual en MATLAB y Octave. El sistema integra funciones para realizar análisis estáticos y dinámicos, generación de espectros, diseño de pórticos, y aplicación de sistemas de disipación y aislamiento sísmico. Se resalta su utilización tanto en la docencia universitaria como en consultorías reales, incluyendo microzonificaciones sísmicas y diseño estructural de edificaciones con aisladores. Los autores concluyen que CEINCI LAB constituye una herramienta pedagógica y profesional eficaz, capaz de motivar la participación estudiantil, fortalecer el aprendizaje práctico de la ingeniería sísmica y servir como alternativa flexible frente a los programas comerciales.

Escobar (2021) en su tesis de pregrado titulada "Proyecto de investigación software educativo para el análisis no lineal de pórticos 2D usando programación en Matlab", tuvo como objetivo principal desarrollar un aplicativo didáctico computacional en el lenguaje M de Matlab, que permita el análisis no lineal de pórticos 2D de hasta tres niveles con el método de análisis no lineal Push-Over. Se utilizó una metodología cuantitativa con un enfoque de investigación aplicada, un nivel de investigación explicativa y un diseño de

investigación experimental. Los resultados obtenidos demuestran que, para el ejemplo mostrado, el pórtico bidimensional cumple con los máximos permitidos en desplazamientos horizontales en comparación con la NSR. Y concluyo que el uso del software educativo desarrollado es claro, sencillo y eficaz para el público objetivo y es importante destacar que la interfaz gráfica de programación AppDesigner se define como una UI amigable y sencilla, lo que permite una fácil comprensión de la herramienta, lo que favorece el proceso de aprendizaje destacándose que el método de análisis no lineal Push-Over permite la obtención de la curva capacidad con respuesta relacionada a los desplazamientos dúctiles y de rotura en concordancia con el cortante basal.

Lopes et al. (2021) en su artículo titulado “Una interfaz de usuario interactiva para un software de análisis estructural utilizando técnicas de gráficos por computadora en MATLAB”, tuvieron como objetivo desarrollar una herramienta grafica para el análisis estructural de modelos de elementos unidimensionales como cerchas, marco y parrillas, gracias a la implementación de una herramienta del MATLAB con el complemento de programación e interfaz gráfica denominado GUI que proporciona recursos intuitivos para el modelado y verificación de resultados que son fáciles de interpretar para los estudiantes e ingenieros. Este Software nos ayuda a solucionar modelos interactivos en dibujos bidimensionales y tridimensionales, que es de aplicación útil en materias de análisis estructural, los autores mencionan una importante información en cuanto a la interacción del programa relacionado, como el ingreso de datos, la transmisión de datos, visualización de gráficos, así como el tiempo en la solución de los datos.

- ***Antecedente a nivel nacional***

Sandoval & Villacorta (2024) en su tesis titulada “Simulación del análisis dinámico en estructura de concreto armado de 4 niveles con aplicación de librerías de programación en Python”, tuvo como objetivo general efectuar el análisis estático y modal espectral de una estructura de concreto armado de 4 niveles, determinar los desplazamientos y derivas estructurales y comparar los resultados obtenidos con PYTHON con el software ETABS. La investigación se enmarcó dentro de un estudio aplicado, con enfoque cuantitativo,

diseño no experimental y tipo transversal-descriptivo, sustentado en fundamentos teóricos y normativos del análisis sísmico estructural. Los resultados del análisis estático mostraron una cortante basal de 887.61 kN y desplazamientos máximos de 5.69 cm y 6.06 cm en los ejes X y Y respectivamente, cumpliendo con los límites normativos de derivas. En el análisis dinámico se obtuvo una masa participativa superior al 90% con 12 modos de vibración, donde los tres primeros presentaron periodos de 0.394 s, 0.373 s y 0.333 s. Finalmente, al comparar los resultados entre Python y ETABS se evidenció una diferencia máxima del 5.89%, confirmando la validez y eficiencia del método de simulación implementado en Python como una alternativa confiable para el análisis sísmico estructural.

Illanes (2024) en su tesis titulada “Automatización de elementos finitos con Python para análisis de estructuras en concreto en 2D e introducción al análisis en 3D y sísmico”, tuvo como objetivo general determinar la variación de los resultados de deformaciones y esfuerzos obtenidos mediante la automatización de elementos finitos con Python, comparándolos con el programa SAP2000. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque analítico, nivel correlacional y diseño experimental cuantitativo, manipulando el tamaño de los elementos finitos en modelos bidimensionales y tridimensionales. Se desarrolló la codificación en Python para modificar el tamaño de los elementos y analizar su influencia en las deformaciones estructurales, desplazamientos modales y frecuencias sísmicas. Los resultados mostraron que, para un pórtico 2D, las variaciones máximas de deformaciones respecto a SAP2000 fueron 2.54%, 1.16% y 0.76% para tamaños de malla de 0.20 m, 0.10 m y 0.05 m, respectivamente. En modelos 3D de dos niveles, la variación máxima fue de 0.24%, 0.087% y 1.36% según el tamaño del elemento, mientras que en un pórtico de cuatro niveles la diferencia máxima en deformaciones fue 1.20% y en tensiones 0.00004%. En los análisis modales se obtuvo una variación máxima de 0.58%, evidenciando una convergencia de resultados conforme aumenta la discretización de la malla. Finalmente, se concluyó que la programación en Python presenta alta exactitud y consistencia en comparación con SAP2000, demostrando su aplicabilidad para el análisis estructural y sísmico automatizado.

Lupaca (2022) en su tesis de pregrado titulada "Desarrollo del simulador web Beli para el análisis matricial de estructuras planas y espaciales", tuvo como objetivo optimizar, mejorar y resolver el método de análisis matricial para estructuras planas y espaciales utilizando el simulador web Beli. Para esta investigación, se aplicó la metodología analítica con un método de investigación aplicada y un nivel de investigación descriptivo-explicativo, con un diseño de investigación preexperimental. Los resultados se dividieron en dos etapas relacionadas con el análisis matricial en código JavaScript. En la segunda etapa, se amplió el simulador Beli y se comparó con el software SAP2000. Se mostró una mínima variación (millonésima) en cuanto a desplazamientos y esfuerzos. En el caso de una viga continua, un pórtico plano y un pórtico espacial, también existe una diferencia mínima en comparación con el software SAP2000 en cuanto a desplazamientos y esfuerzos. Se concluyó validando los resultados del software de computación con el programa SAP2000, y afirmando que el simulador web Beli optimiza el análisis matricial de estructuras planas y espaciales. Sin embargo, en cuanto a los sistemas estructurales como armaduras y pórticos bidimensionales y tridimensionales, el autor afirma que se obtuvieron resultados iguales.

Huancapaza (2021) en su tesis titulada "Análisis comparativo de métodos numéricos para obtener la respuesta dinámica de estructuras, Tacna 2021", tuvo como objetivo general determinar el método numérico más eficaz para obtener la respuesta dinámica de estructuras con varios grados de libertad. La investigación fue de tipo cuantitativa, con un alcance explicativo y demostrativo, orientada a analizar las causas y condiciones que determinan el comportamiento dinámico estructural mediante la comparación de distintos métodos numéricos. Se idealizaron estructuras reales en modelos matemáticos para su evaluación y se aplicaron diferentes técnicas de integración directa. Los métodos comparados incluyeron los de Houbolt, Wilson, Diferencia Central y Newmark. Los resultados indicaron que todos los métodos presentan un desempeño aceptable con un incremento de tiempo de 0.022 s; sin embargo, el método de Houbolt fue el menos preciso con una desviación estándar del error de 0.00501, seguido por el método de Wilson con 0.00315. Los métodos más eficaces fueron el de Diferencia Central y el de Newmark, con desviaciones estándar de 0.00114 y

0.00054 respectivamente. Se determinó además que el método de Diferencia Central es sensible al incremento del paso de tiempo, volviéndose inestable para valores mayores a 0.023 s. Finalmente, el autor concluyó que la respuesta dinámica obtenida mediante estos métodos permite conocer con precisión los desplazamientos, velocidades y aceleraciones máximas, siendo una herramienta útil para el análisis detallado del daño estructural.

Alvarez (2020) en su tesis de maestría titulada “Análisis Aplicativo del método de los elementos finitos en un campo estático – lineal e introducción a la no linealidad”, tuvo como objetivo general formular bases para el análisis del método de los elementos finitos dirigido al análisis estructural, para el cual usa una herramienta computacional como el Matlab para la elaboración de los códigos de programación, y el uso de algoritmos de programación para una aplicación eficiente. Para lograr este propósito, se aplica la metodología del tipo semi cuantitativo del tipo no experimental con diseño explicativo debido a que primeramente recopila información para estudiar, los conceptos fundamentales para aplicar y plasmar en algoritmos de programación. Los resultados para el sistema estructural articulado y la losa empotrada con carga central se obtuvieron desplazamientos iguales con la comparación de la bibliografía, en el caso de las vigas en 1D, 2D y 3D se obtuvieron datos cercanos con variaciones relacionados a desplazamientos y esfuerzos obtenidos a los del software con los códigos de programación. Y se concluye en la importancia del código de programación en la aplicación de los elementos finitos para su correcta solución y entendimiento puesto que el planteamiento presenta matrices extensas y la optimización del código en el tiempo de procesamiento de datos. Se hace de bastante relevancia el uso diagramas de flujo en la relación de la parte aplicativa y teórica para la comprensión de procesos tan complejos como los presentados. El autor hace énfasis en la necesidad de la instalación de una librería de herramienta para compilación de datos extensos para resolver estructuras complejas en el uso del software MATLAB.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Implementación computacional

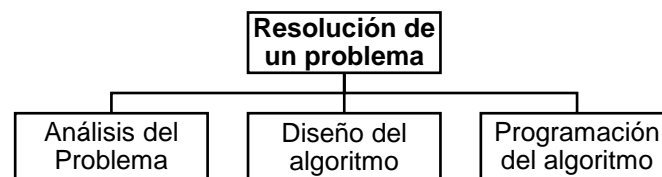
Es el proceso mediante el cual una formulación matemática y teórica es transformada en algoritmos programables, permitiendo su ejecución en un entorno computacional para la simulación, análisis y evaluación de sistemas de ingeniería (Bathe, 2019).

3.2.1.1. Algoritmos de programación

Un algoritmo se define como “Secuencia ordenada de pasos, sin ambigüedades, que conducen a la solución de un problema dado.” (Rodríguez, 2010), Su esquematización se muestra en la figura 13.

Figura 1

Formulación de un algoritmo



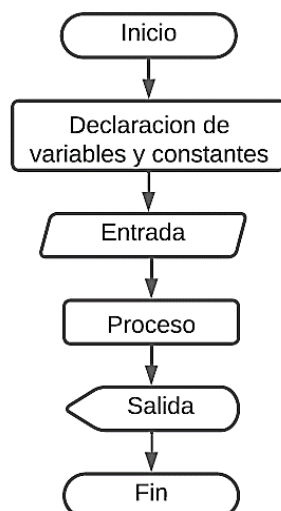
Nota. La resolución de los algoritmos es tratada de acuerdo al mapa conceptual. Adaptado de “Análisis aplicativo del método de los elementos finitos en un Campo estático – lineal” por (Alvarez, 2020)

Este grafico nos muestra que antes de elaborar la programación del algoritmo se debe analizar y diseñar el tipo de algoritmo con el que se trabajara.

Los algoritmos tienen herramientas que ahorran y mejoran la comprensión de un código, dado que no se relaciona específicamente con tipo de lenguaje. Una de las herramientas importantes son los diagramas de flujo que representan el algoritmo en forma gráfica, un ejemplo simple de cómo funciona y como cada forma geométrica representa un proceso que es el siguiente.

Figura 2

Ejemplo de diagrama de flujo



Nota. Los diagramas de flujos se estructuran por forma y denominación siguiendo un orden estricto. Adaptado de “Algoritmos y programación” por (Rodríguez, 2010).

Software Matlab

“MATLAB” (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es un software con herramientas matemáticas y de carácter ingenieril, el cual ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE), incorporando consigo un lenguaje de programación propio (lenguaje “.m”). Combina un entorno de carácter profesional con una interfaz de desarrollo sencilla, la cual es de mucha ayuda para un análisis iterativo.

Entre las funcionalidades de “MATLAB” que destacan sobre otros programas (tipo IDE) resalta la sencillez que presta en la formulación e integración de matrices en la elaboración de códigos.

Según Moore (2012) indica que este proceso de solución en Matlab y orientado a la ingeniería es el siguiente.

- Plantear el problema: Es importante la comprensión del problema para su respectiva solución.
- Describir: los valores de entrada y de salida que requieren, ya que el errado ingreso de datos ocasiona valores de respuesta incorrectos.

- Desarrollo de un algoritmo, este procedimiento indicado anteriormente es el que ayuda a identificar las ecuaciones que relacionen los procesos de solución de un código.
- Resolver el Problema: En este caso involucra la creación de un código en Matlab.
- Probar la solución: En este caso nos preguntamos si los resultados tienen sentido físico y si coinciden con un modelo de comparación y por lo tanto complementar el código con una interfaz gráfica de usuario.

3.2.2. Análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales

Es el procedimiento mediante el cual se evalúa la respuesta estructural de edificaciones tridimensionales idealizadas mediante la reducción de grados de libertad, ante efectos sísmicos, con metodologías de análisis tiempo historia o espectral (Chopra, 2020).

Este análisis permite obtener respuesta estructural y por el medio del método pseudotridimensional constituye una alternativa eficiente para comprender la respuesta sísmica de edificaciones (Cheng, 2001).

3.2.2.1. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales

La idealización se fundamenta en el análisis estructural, el cual es un proceso que comprende el cálculo para determinar los esfuerzos internos y externos que son cuantificados, para posteriormente hacer el diseño de cualquier elemento o un sistema estructural (Quispe, 2015).

Blanco et al. (2012) nos indica que estos procedimientos que relacionan diferentes partes de la estructura dan lugar a sistemas de ecuaciones con varias variables que no se simplifican y no pierden información relevante, por lo tanto, son posibles de solucionar por medios computacionales actuales.

Método matricial de rigidez y rigidez directa

El método de la rigidez está basado en el principio de superposición de desplazamientos que consiste en hacer cumplir las ecuaciones de equilibrio de los nudos para poder determinar los desplazamientos en estos mismos y las fuerzas en las barras.

Por lo tanto, se obtiene un sistema de ecuaciones, donde al resolver el sistema se conocerán los desplazamientos en los nudos, a partir de ellos, la deformada de la estructura y por lo tanto la solución llevara a determinar las fuerzas internas en las barras (Ottazzi, 2016).

La diferencia importante entre el método de rigidez y la rigidez directa es que en el método de rigidez se utiliza una única matriz de transformación [T] para la estructura completa para encontrar la rigidez [K], mientras que, en el método de rigidez directa, la transformación de la matriz es separada por cada elemento (Nagarajan, 2019).

Ambos métodos utilizan la misma relación fuerza-desplazamiento para la estructura, es decir como la ecuación 3.1.

$$\begin{Bmatrix} \{P_A\} \\ \{P_R\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{AA}] & [K_{AR}] \\ [K_{RA}] & [K_{RR}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D_A\} \\ \{D_R\} \end{Bmatrix} \quad (3.1)$$

o

$$\{P\} = [K]\{D\} \quad (3.2)$$

Donde:

P: Vector de Fuerzas.

D: Vector de Desplazamientos.

K: Matriz de rigideces.

El método matricial de rigidez directa.

Por lo expuesto anteriormente, también se sabe que este método es el adecuado para la implementación por computadora. En este método, se desarrolla la matriz de transformación para cada elemento de la estructura y se utilizan para desarrollar [K].

Coordenadas utilizadas en el método de rigidez directa.

Las coordenadas necesarias para el análisis utilizando el método de rigidez directa se discute utilizando el marco plano que se muestra en la Figura 1. Las coordenadas globales (activo y restringido) de la estructura se indican en la Figura 1b. El vector de carga $\{P_A\}$, el vector de reacción $\{P_R\}$, el vector de desplazamiento activo $\{D_A\}$ y El vector de desplazamiento restringido $\{D_R\}$ de la estructura como se muestra en la expresión (3.3):

$$\{P_A\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_{13} \end{Bmatrix}, \{P_R\} = \begin{Bmatrix} P_{14} \\ P_{15} \\ P_{16} \\ P_{17} \\ P_{18} \end{Bmatrix}, \{D_A\} = \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ \vdots \\ D_{13} \end{Bmatrix}, \{D_R\} = \begin{Bmatrix} D_{14} \\ D_{15} \\ D_{16} \\ D_{17} \\ D_{18} \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

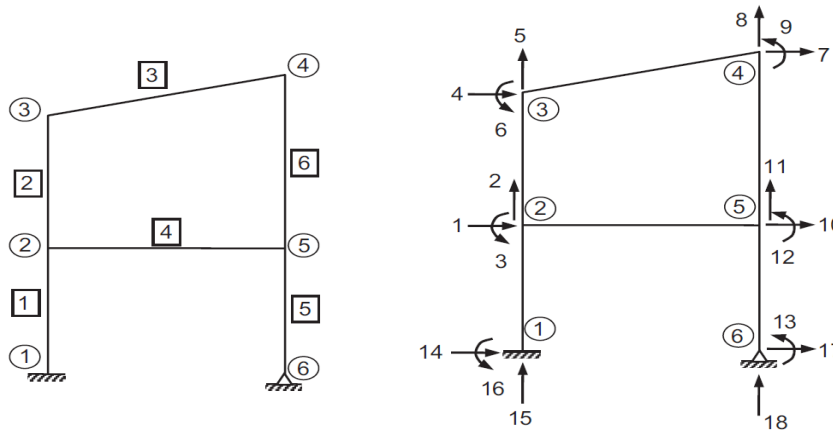
Para cada elemento, se requieren dos tipos de coordenadas para el análisis: una a lo largo de los ejes locales y el otro a lo largo de los ejes globales. Las coordenadas de dos elementos típicos (elementos 2 y 3) se muestran en las figuras 1 y 2. En las figuras, el superíndice indica el número del elemento. Los vectores de fuerza y desplazamiento de los elementos son como sigue:

- Para el elemento 2

$$\{p^2\} = \begin{Bmatrix} p_1^2 \\ p_2^2 \\ p_3^2 \\ p_4^2 \\ p_5^2 \\ p_6^2 \end{Bmatrix}, \{d^2\} = \begin{Bmatrix} d_1^2 \\ d_2^2 \\ d_3^2 \\ d_4^2 \\ d_5^2 \\ d_6^2 \end{Bmatrix}, \{P^2\} = \begin{Bmatrix} P_1^2 \\ P_2^2 \\ P_3^2 \\ P_4^2 \\ P_5^2 \\ P_6^2 \end{Bmatrix}, \{D^2\} = \begin{Bmatrix} D_1^2 \\ D_2^2 \\ D_3^2 \\ D_4^2 \\ D_5^2 \\ D_6^2 \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$

Figura 3

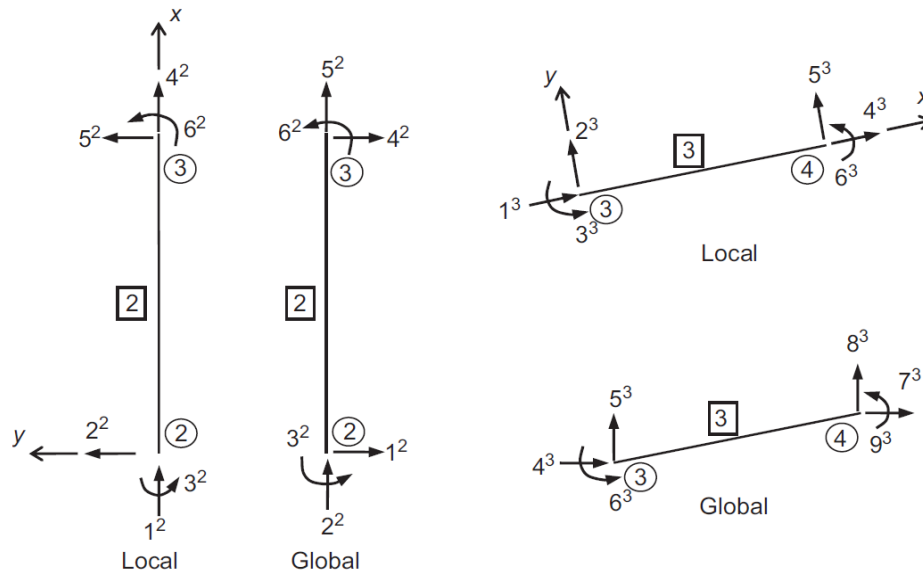
Ejemplo de grados de libertad de un marco 2D



Nota. Orden de grados de libertad por portico. Adaptado de "Análisis estructural por métodos matriciales" por (Nagarajan, 2019).

Figura 4

Grados de libertad locales y globales de una barra de marco



Nota:

Nota. En este caso representa las coordenadas del elemento 2 y 3. Adaptado de "Análisis estructural por métodos matriciales" por (Nagarajan, 2019).

- Para el elemento 3.

$$\{p^3\} = \begin{Bmatrix} p_1^3 \\ p_2^3 \\ p_2^3 \\ p_3^3 \\ p_4^3 \\ p_5^3 \\ p_6^3 \end{Bmatrix}, \{d^2\} = \begin{Bmatrix} d_1^3 \\ d_2^3 \\ d_2^3 \\ d_3^3 \\ d_4^3 \\ d_5^3 \\ d_6^3 \end{Bmatrix}, \{P^2\} = \begin{Bmatrix} P_1^3 \\ P_2^3 \\ P_2^3 \\ P_3^3 \\ P_4^3 \\ P_5^3 \\ P_6^3 \end{Bmatrix}, \{D^2\} = \begin{Bmatrix} D_1^3 \\ D_2^3 \\ D_2^3 \\ D_3^3 \\ D_4^3 \\ D_5^3 \\ D_6^3 \end{Bmatrix} \quad (3.5)$$

donde $\{p^i\}$ y $\{d^i\}$ son los vectores de fuerza y desplazamiento del elemento a lo largo de las coordenadas. i es el número del elemento. $\{P^i\}$ y $\{D^i\}$ son la fuerza del elemento y los vectores de desplazamiento a lo largo de las coordenadas globales.

Las ecuaciones de desplazamiento de fuerza para el elemento i a lo largo de los ejes local y global son:

$$\{p^i\} = [k^i]\{d^i\} \quad (3.6)$$

y

$$\{P^i\} = [K^i]\{D^i\} \quad (3.7)$$

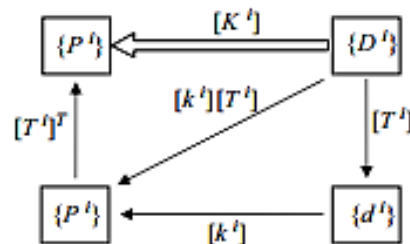
donde $[k^i]$ y $[K^i]$ son las matrices de rigidez del elemento i con respecto a los ejes local y global.

Transformación usando el método de rigidez directa.

La figura 3, muestra las diversas transformaciones entre las coordenadas locales y globales de un elemento.

Figura 5

Transformación entre coordenadas locales y globales de un elemento



Nota. Combinación para la obtención de rigidez en coordenadas locales y globales.

Adaptado de "Análisis estructural por métodos matriciales" por (Nagarajan, 2019).

Entonces para la obtención de la matriz global tenemos que:

$$\{K^i\} = [T^i]^T \{k^i\} \{T^i\} \quad (3.8)$$

Análisis Matricial avanzado - ensamble de la matriz de rigidez de la estructura

Después de obtenido las matrices de rigidez de los elementos en coordenadas globales, se procede al ensamblaje de la matriz de rigidez de la estructura completa $[K]$. Este proceso de combinación depende de la ubicación y la cuidadosa unión de las barras, que para el caso práctico se enumeraron de acuerdo a sus grados de libertad y los cuales coinciden para ser sumados y formar así la matriz de rigidez de la estructura completa (Maldonado & Chio, 2004).

Específicamente se procede del siguiente modo, enumerar cada elemento y direccionarlos a fin de determinar sus grados de libertad locales. Seguidamente, para cada nodo, se indica los grados de libertad globales. Cada nodo de las matrices de rigidez de los elementos corresponde al efecto que dicho elemento ejerce sobre el grado de libertad

global correspondiente de la estructura, el cual se le asigna una posición determinada (fila-columna) en la matriz de rigidez global de la estructura $[K]$. Las dimensiones de la matriz $[K]$, estará numéricamente conformada por los grados de libertad globales de la estructura (Pique & Scaletti, 1991).

Análisis matricial avanzado - Modelado de brazo rígido

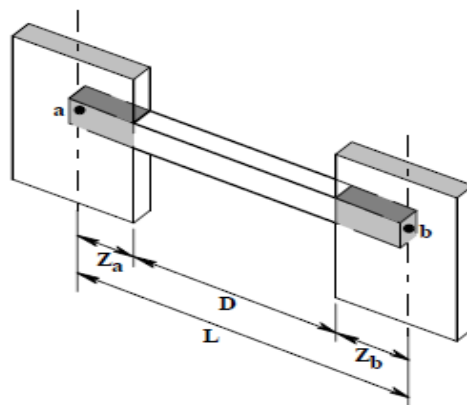
Las estructuras de concreto armado tienen interconexiones de elementos rígidos que con la parte libre se debe considerar un análisis aparte, por lo tanto, respecto a la idealización estructural se considera infinitamente rígido dentro del nudo (García, 1998).

Tena (2007) dice que los brazos rígidos no presentan deformaciones por cortante o flexión por lo tanto se considera la zona de rigidez infinita al 100% de la distancia existente entre la línea centroidal de referencia y el paño del nudo. Otros investigadores consideran que no es cierto y en la práctica se sobreestimaría las deformaciones laterales.

Es importante recalcar que, Tena (2007) dice que la efectividad del nudo como zona infinitamente rígida varía de acuerdo al tamaño de la estructura, siendo el factor 50% de la longitud del nudo de la unión viga - columna y para edificios de mediana a gran altura.

Figura 6

Modelado de brazo rígido.



Nota. Marco típico. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Donde las variables α y β que integran la consideración de rigidez infinita son:

Para vigas

$$\alpha = \frac{D}{z_a} \quad y \quad \beta = \frac{D}{z_b} \quad (3.9)$$

Para columnas

$$\alpha = 0 \quad y \quad \beta = 0 \quad (3.10)$$

De acuerdo al planteamiento en estructuras del tipo bidimensional la matriz de rigidez en coordenadas locales que relaciona fuerza cortante y momento flexionante, es la siguiente.

$$[k'] = \begin{bmatrix} r_{az} & 0 & 0 & -r_{az} & 0 & 0 \\ 0 & r_{aax} & r_{abx} & 0 & -r_{aax} & r_{bax} \\ 0 & r_{abx} & r_{11x} & 0 & -r_{abx} & r_{12x} \\ -r_{az} & 0 & 0 & r_{az} & 0 & 0 \\ 0 & -r_{aax} & -r_{abx} & 0 & r_{aax} & -r_{bax} \\ 0 & r_{bax} & r_{21x} & 0 & -r_{bax} & r_{22x} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Para los coeficientes de rigidez a flexión para una barra con zonas extremas infinitamente rígidas son, incluyendo las deformaciones por cortante:

$$r_{11x} = \frac{4EI_x}{L'} \left[\frac{1 + \frac{\Phi_y}{4} + 3\alpha + 3\alpha^2}{1 + \Phi_y} \right] \quad (3.12)$$

$$r_{22x} = \frac{4EI_x}{L'} \left[\frac{1 + \frac{\Phi_y}{4} + 3\beta + 3\beta^2}{1 + \Phi_y} \right] \quad (3.13)$$

$$r_{12x} = r_{21x} = \frac{2EI_x}{L'} \left[\frac{1 - \frac{\Phi_y}{4} + 3\alpha + 3\beta + 6\alpha\beta}{1 + \Phi_y} \right] \quad (3.14)$$

$$r_{aax} = \frac{12EI_x}{L'^3} \left[\frac{1 + \alpha^2 + 2\alpha + 2\alpha\beta + 2\beta + \beta^2}{1 + \Phi_y} \right] \quad (3.15)$$

$$r_{abx} = \frac{6EI_x}{L'^2} \left[\frac{1 + 3\alpha + 2\alpha^2 + 2\alpha\beta + \beta}{1 + \Phi_y} \right] \quad (3.15)$$

$$r_{abx} = \frac{6EI_x}{L'^2} \left[\frac{1 + 3\beta + 2\beta^2 + 2\alpha\beta + \alpha}{1 + \Phi_y} \right] \quad (3.16)$$

Donde:

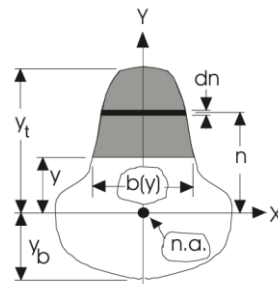
$$\Phi_y = \frac{6EI_x}{GA_{cy}L'^2} \quad (3.17)$$

y

- E : Modulo de elasticidad del material.
- I_x : Modulo de inercia del elemento
- $L'=D$: Luz libre del elemento
- A_{cy} : Denominado área de corte efectiva que se obtiene por medio de:

Figura 7

Sección general para determinar el área de corte paralelo al eje Y



Nota. Sección General. Adaptado del "Manual de Análisis Referencial" por (CSI, 2017).

Al solucionar el problema se deduce lo siguiente.

$$A_{cy} = \frac{I_x^2}{\int_{y_b}^{y_t} \frac{Q^2(y)}{b(y)} dy} \quad (3.18)$$

Donde: $Q(y)$ es el primer momento de inercia respecto a X.

$$Q(y) = \int_y^{y_t} n b(n) dn \quad (3.19)$$

Análisis matricial avanzado - condensación Estática.

La condensación estática es un procedimiento matricial mediante el cual se reduce los grados de libertad de orden n a otra matriz equivalente de m , donde $n > m$. Este procedimiento es importante cuando se desea obtener la matriz de rigidez del sistema en función de grados de libertad de desplazamiento lateral, que después se usa para la idealización dinámica de estructuras bidimensionales (García, 1998).

Supongamos que tenemos una estructura sobre la cual podemos plantear la siguiente relación de rigidez:

$$\{P\} = [K_E]\{U\} \quad (3.20)$$

Si algunas de las fuerzas externas aplicadas sobre la estructura, representadas en el vector $\{P\}$ son nulas, se puede particionar el vector $\{P\}$ y el vector $\{U\}$ de la siguiente manera:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P_c \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.21)$$

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} U_c \\ U_0 \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

Donde $\{P_c\}$ corresponde a las fuerzas externas aplicadas en los nudos que no son cero y $\{U_c\}$ son los desplazamientos de los grados de libertad donde hay fuerzas externas aplicadas, y $\{U_0\}$ son los desplazamientos de los grados de libertad donde las fuerzas son cero. La matriz $[K_E]$ puede particionarse de la siguiente manera:

$$\begin{Bmatrix} P_c \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_0 & K_1 \\ K_2 & K_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_c \\ U_0 \end{Bmatrix} \quad (3.23)$$

Expandiendo la última ecuación obtenemos:

$$\{P_c\} = [K_0]\{U_c\} + [K_1]\{U_0\} \quad (3.24)$$

Y

$$\{0\} = [K_2]\{U_c\} + [K_3]\{U_0\} \quad (3.25)$$

Por lo que el sistema en grados de libertad donde hay fuerzas externas aplicadas, y la matriz de rigidez se reduciría mediante la ecuación 2.27:

$$[K_c] = [[K_0] - [K_1][K_3]^{-1}[K_2]] \quad (3.26)$$

Análisis sísmico dinámico por métodos Matriciales

La idealización dinámica precede a un correcto análisis matricial por medio del modelo matemático, el cual da origen al comportamiento de la estructura a solicitaciones establecidas. Entonces es muy importante escoger el modelo correcto a emplear para la correcta obtención de resultados. García (1998) considera que este aspecto que de por sí es importante en el caso de solicitaciones estáticas, y en caso de solicitaciones dinámica se vuelve crítico.

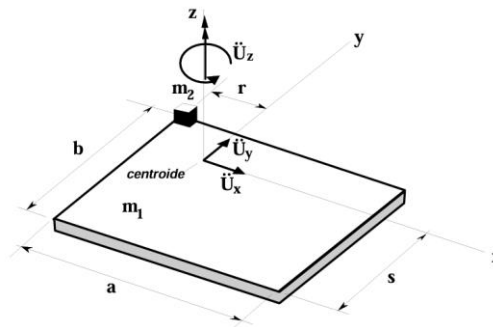
Masa concentrada

Dentro de la mayoría de estructuras de ingeniería tales como edificios, la masa es la proveniente de los mismos elementos estructurales y otros casos en los cuales la masa se puede tratar como masa concentrada (García, 1998).

En este caso para un elemento uniforme de un pórtico espacial, la masa concentrada es una matriz diagonal. Donde los coeficientes correspondientes a los desplazamientos lineales y de torsión son iguales a las masas del elementos en gravedad, y los correspondientes a las rotaciones de flexión son ceros (Paz & Kim, 2019).

Figura 8

Diafragma idealizando la masa concentrada



Nota. Fuerzas resultantes para determinar la masa concentrada respecto al centroide.

Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

En este caso la matriz de masa toma la forma del sistema de ecuaciones:

$$\{F\} = [M]\{\ddot{U}\} \quad (3.26)$$

Donde la matriz de masa tiene la siguiente forma:

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m}{A}J_0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{U}_x \\ \ddot{U}_y \\ \ddot{U}_z \end{Bmatrix} \quad (3.27)$$

Donde:

A = Área del elemento respecto a Z .

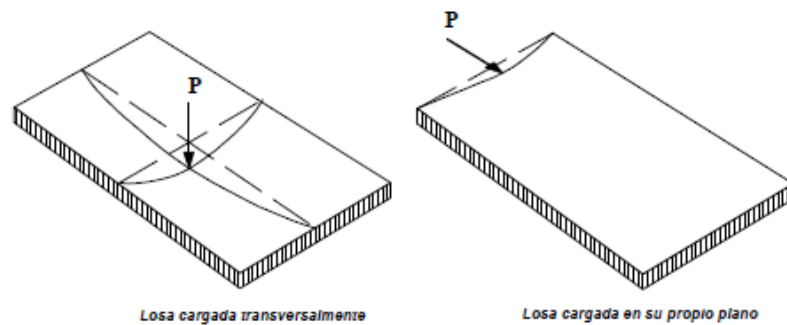
J_0 = Momento polar de inercia.

Idealización de la rigidez por diafragma rígido

“Una losa de entrepiso de la estructura de una edificación, como es por ejemplo una losa maciza de espesor adecuado para las luces que salva, es mucho más rígida en su propio plano que transversalmente.” (García, 1998), como se muestra en la figura 7.

Figura 9

Deformaciones internas de una losa ante diferentes tipos de carga



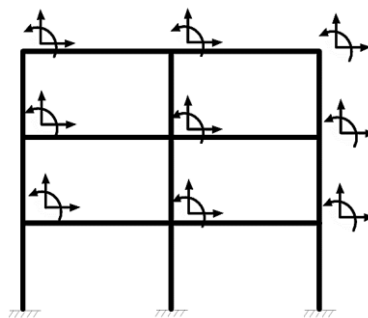
Nota. La deflexión es considerable en el plano de la losa. Adaptado de “Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico” por (García, 1998).

Este procedimiento permite expresar las propiedades inerciales de la masa de la edificación. El detalle es que no siempre la acción de diafragma es válida con todo tipo de entrepiso. El procedimiento en este caso es el siguiente:

- a) Generar la matriz de cada pórtico como, por ejemplo.

Figura 10

Grados de libertad de un pórtico convencional

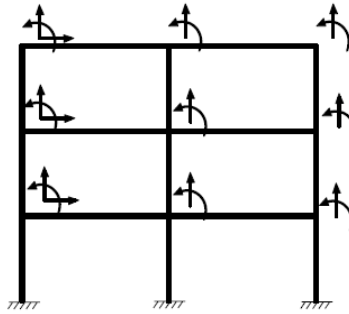


Nota. Grados convencionales de una estructura del tipo pórtico. Adaptado de “Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico” por (García, 1998).

- b) Se consideran vigas inextensibles debido al efecto de diafragma rígido. Este paso se logra forzando a que las vigas que no tengan deformaciones axiales. Por lo tanto, solo debe de ver un grado de libertad horizontal por piso. (García, 1998).

Figura 11

Grados de libertad sin considerar las deformaciones en vigas

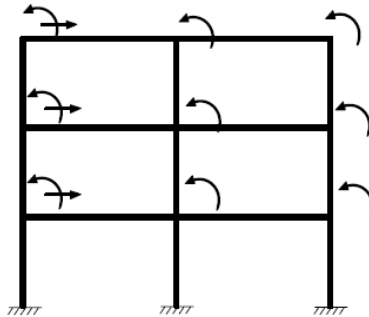


Nota. Los GL horizontales son sumados considerando el criterio de diafragma. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

- c) Se ajustan los grados de libertad verticales, desde el punto de vista del análisis dinámico es básico solo tener excitaciones horizontales (García, 1998). Para lo cual se procede con la condensación de grados de libertad verticales para quedar como la figura 10.

Figura 12

Pórtico con grados de libertad verticales condensados

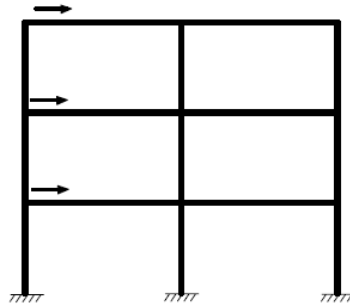


Nota. Después de condensar los GL verticales se queda solo los GL horizontales y rotacionales. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

- d) De igual manera se procede con la condensación de grados de libertad rotacionales de los nudos, quedando los grados de libertad verticales por piso. (García, 1998).

Figura 13

Pórtico con grados de libertad rotacionales condensados

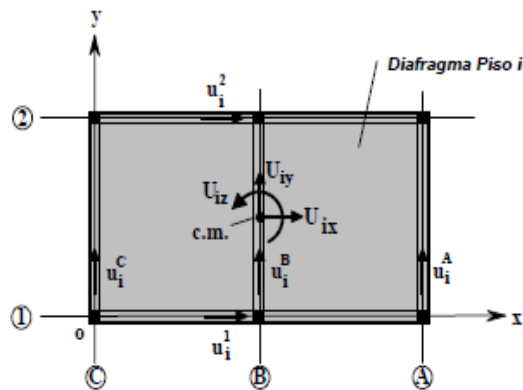


Nota: Las estructura para efectos de fuerzas horizontales, queda con GL horizontales por piso. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

- e) La transformación de los grados de libertad del pórtico se puede transformar a los grados de libertad del diafragma de una estructura mediante el análisis pseudotridimensional e indicando que el sistema coordinado se encuentra en el centroide del diafragma.

Figura 14

Grados de libertad del diafragma y de los pórticos en el piso i .



Nota. Se conforma la estructura en planta y por piso en función a un plano cartesiano. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Dando las respectivas direcciones y considerando los grados de libertad por piso que este caso son 3, la matriz se transforma en función de los grados de libertad de toda la estructura.

- f) Luego se procede al ensamblaje de la matriz de rigidez de toda la estructura la matriz de rigidez de toda la estructura sumando las matrices de todos los pórticos que conforman la estructura.

$$[K_E] = \sum_{i=1}^q [K_P^i] \quad (3.28)$$

- g) Se procede a determina la matriz de masa de la estructura que tendría la forma diagonal con extremos ceros, dado que consideramos que el sistema coordinado se encuentra en el centroide de la estructura.

Análisis modal tridimensional para excitación en la base de sistemas con diafragma rígido.

En la teoría sobre el diafragma rígido mencionado anteriormente la idealización de diafragma rígido conduce a una reducción del número de grados de libertad la cual corresponde directamente con el empleo de las deformaciones que hay dentro de la estructura. La idealización del diafragma rígido parte de la premisa de que algunas de las deformaciones son tan pequeñas que no es justificable su manejo como variables independientes lo cual se agrupan como algo que puede ser despreciable.

Solución de la respuesta dinámica.

Después de planteado la ecuación diferencial de equilibrio dinámico se busca obtener las deformaciones de los sistemas descritos, ante sollicitaciones dinámicas. El procedimiento más aplicable y aclarando que este método es aplicable para el rango lineal de respuesta y es el modal que consiste en convertir el sistema de ecuaciones diferenciales para el caso de varios grados de libertad, en un conjunto de ecuaciones de equilibrio independiente.

Análisis modal con amortiguamiento

El procedimiento más sencillo de adoptar es la idealización de amortiguamiento viscoso dado que la ecuación diferencial de equilibrio dinámico es la más sencilla de tratar. (Chopra, 2020). Entonces el sistema de varios grados de libertad con amortiguamiento viscoso sería el siguiente:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\} \quad (3.29)$$

Donde: M= masa, K=rigidez y C= amortiguamiento

Desacoplando los modos de vibración, tendríamos que:

$$[\Phi]^T [C] [\Phi] = [2\xi_i \omega_i] \quad (3.30)$$

donde la matriz $[2\xi_i \omega_i]$ es una matriz diagonal y ξ_i es el amortiguamiento viscoso asociado con el modo i. Este tipo de amortiguamiento en el cual la matriz de amortiguamiento [C] es desacoplable por los modos de vibración obtenidos de las matrices de masa [M] y rigidez [K], únicamente; se conoce con el nombre de amortiguamiento modal.

Para una ecuación diferencial sin amortiguamiento el desacople es de la forma.

$$\ddot{\eta}_i + \omega_i^2 \eta_i \quad (3.31)$$

Y para el caso con amortiguamiento es.

$$\ddot{\eta}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{\eta}_i + \omega_i^2 \eta_i = 0 \quad (3.32)$$

3.2.2.2. Análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos

pseudotrídimensionales

La solución particular del sistema de ecuaciones diferenciales simultaneas de una estructura de varios grados de libertad sometidas a fuerzas en el tiempo está caracterizada por la ecuación 3.33 en el caso de vibración libre.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{P(t)\} \quad (3.33)$$

El desacoplamiento de esta ecuación se reduce a:

$$\ddot{\eta}_i + \omega_i^2 \eta_i = \sum_{j=1}^n \phi_j^{(i)} p_j(t) \quad (3.34)$$

Por lo tanto, aplicando amortiguamiento modal tendríamos que:

$$\ddot{\eta}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{\eta}_i + \omega_i^2 \eta_i = \sum_{j=1}^n \phi_j^{(i)} p_j(t) \quad (3.35)$$

Excitación en la base

En el caso donde la excitación en la base se produce por un sismo, tendrían la forma siguiente.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = -[M][\gamma]\{\ddot{x}_0\} \quad (3.36)$$

Donde:

La $[\gamma]$ matriz depende de si la estructura se ve afectada por una, dos o tres componentes del acelerograma, dependiendo de si el vector $\{\ddot{x}_0\}$ tiene tres dimensiones o direcciones. La ecuación desacoplada de este sistema sería el siguiente.

- Sistemas sin amortiguamiento:

$$\ddot{\eta}_i + \omega_i^2 \eta_i = -\{\alpha_i\}\{\ddot{x}_0\} \quad (3.37)$$

- Sistemas con amortiguamiento

$$\ddot{\eta}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{\eta}_i + \omega_i^2 \eta_i = -\alpha_i \ddot{x}_0 \quad (3.38)$$

Donde: $\{\alpha_i\}$ corresponde a la fila de la matriz $[\alpha]$ obtenida por medio de:

$$[\alpha] = [\Phi]^T [M] [\gamma] \quad (3.39)$$

La solución a este sistema se puede dar por medio del método numérico de Newmark (Chopra, 2020). Una vez obtenidos los valores de $\eta(t)$, para cualquier tiempo t , se pueden obtener los desplazamientos de la estructura en el instante.

$$\begin{aligned} [U] &= [\Phi] \{\eta\} = \sum_{i=1}^n \{\phi_j^{(i)}\} \eta_i(t) \\ &= \{\phi^{(1)}\} \eta_1(t) + \{\phi^{(2)}\} \eta_2(t) + \dots + \{\phi^{(n)}\} \eta_n(t) \\ &= \{U^{(1)}\} + \{U^{(2)}\} + \dots + \{U^{(n)}\} \end{aligned} \quad (3.40)$$

La fuerza dinámica inerciales correspondientes a cada modo se obtiene de:

$$\{F^{(i)}\} = [K] \{U^{(i)}\} \quad (3.41)$$

Al igual podemos definir la cortante basal por medio la ecuación (2.59) de en el instante t , como:

$$V_i = \{1\}^T \{F^{(i)}\} \quad (3.41)$$

Y el momento de vuelco del modo i en el instante t , como:

$$M_i = \{h\}^T \{F^{(i)}\} \quad (3.43)$$

3.2.2.3. Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotridimensionales

Se define como espectro de respuesta máximo a un grupo de osciladores de un grado de libertad y amortiguamientos iguales sometidos a aceleraciones cronológicas (Aguiar, 2012).

Los valores de un espectro ya sea de diseño o de respuesta, corresponden al valor máximo que puede tener la respuesta de un sistema dinámico de un grado de libertad, en términos de desplazamiento, velocidad o aceleración. Maldonado & Chio (2004) indica que conociendo el espectro se puede determinar el valor máximo de la respuesta que puede tener un grado de libertad desacoplado.

El análisis modal espectral se formula en un sistema sometido a excitación en su base, la forma de la ecuación es la siguiente.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = -[M][\gamma]\{\ddot{x}_0\} \quad (3.43)$$

La obtención de la matriz de masa [M], rigidez [K], matriz [Y] de la estructura se obtienen de acuerdo a lo presentado en los numerales anteriores. La matriz [Y] dependerá si la estructura se ve sometida a uno dos o tres componentes del acelerograma.

El desacoplamiento será el mismo presentado en el análisis modal cronológico, se presenta a continuación la ecuación para sistema con amortiguamiento modal:

$$\ddot{\eta}_i + 2\xi_i\omega_i\dot{\eta}_i + \omega_i^2\eta_i = -\alpha_i\ddot{x}_0 \quad (3.44)$$

La diferencia con el análisis modal espectral y modal cronológico, es que la definición de espectro de respuesta de desplazamiento, el máximo valor que puede tener el desplazamiento relativo u , entre la masa de un sistema de un grado de libertad sometido a un acelerograma, utilizando los valores del periodo T , y el amortiguamiento E , del mismo sistema de un grado de libertad. Entonces, "El máximo valor que puede tener de η_i en las Ecuaciones (3.45) corresponde al valor leído del espectro de desplazamientos de la excitación amplificado por el coeficiente de participación." (García, 1998).

$$(\eta_i)_{max} = |\alpha_i \cdot S_d(T_i, \xi_i)| \quad (3.45)$$

Donde: $T_i = 2\pi/\omega_i$ y ξ_i corresponde al valor del amortiguamiento modal.

Con respecto a los desplazamientos, pueden utilizarse la transformación indicada en (3.46) o en el caso que se requiera la respuesta espectral de una señal se soluciona el sistema por medio de la integral de Duhamel.

$$S_d(T, \xi) \cong \frac{S_v(T, \xi)}{\omega} \cong \frac{S_a(T, \xi)}{\omega^2} \quad (3.46)$$

Que corresponde al llamado espectro de pseudo - velocidades:

$$PS_v(T, \xi) = \omega S_d(T, \xi) = \frac{2\pi}{T} S_d(T, \xi) \quad (3.47)$$

Y al espectro de pseudo - aceleraciones.

$$PS_a(T, \xi) = \omega^2 S_d(T, \xi) = \frac{4\pi^2}{T^2} S_d(T, \xi) \quad (3.48)$$

A continuación, se muestra como el cálculo del espectro de desplazamientos de las respuestas para los diferentes periodos de vibración ocurren en instantes diferentes.

En cuanto a las respuestas individuales de cada uno de los modos, como se presenta en la ecuación (3.40), No es la correcta porque suma valores de desplazamientos modales que no ocurren en el mismo instante y además no toma en cuenta su signo al sumar algebraicamente.

En definitiva, este método no muestra la combinación apropiada para obtener una respuesta apropiada, esto se logra mediante métodos de combinación modal espectral.

Los desplazamientos dinámicos modales máximos que se presentan en la estructura, correspondientes a cada modo individual, donde el modo i pueden obtenerse por medio de:

$$[U_{mod}^{(i)}] = \{\phi^{(i)}\}(\eta_i)_{max} = \{\phi^{(i)}\} \cdot |\alpha_i \cdot S_d(T_i, \xi_i)| \quad (3.49)$$

Para cada modo individual (i), las fuerzas dinámicas inerciales modales máximas que se presentan en la estructura pueden obtenerse multiplicando los desplazamientos modales máximos por la matriz de rigidez de la estructura:

$$\{F_{mod}^{(i)}\} = [K] [U_{mod}^{(i)}] = [K] \{\phi^{(i)}\}(\eta_i)_{max} = [K] \{\phi^{(i)}\} \cdot |\alpha_i \cdot S_d(T_i, \xi_i)| \quad (3.50)$$

Combinaciones de la respuesta modal por el método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (RCSC).

Este método consiste en aplicar la formula (3.53) donde para cada parámetro modal de respuesta r , y en cada modo m desde el primero, el valor máximo del parámetro es \bar{r} .

$$\bar{r} \cong \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2} \quad (3.51)$$

Combinaciones de la respuesta modal por el método de la combinación cuadrática completa (CCC).

Este método es importante en el caso donde exista interacción modal y este dado por la formula (3.54), y en cada modo m, desde el primero, el valor máximo del parámetro es \bar{r} .

$$\bar{r} \cong \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (r_i \cdot r_j \cdot \rho_{ij})} \quad (3.52)$$

Donde:

r_i y r_j corresponden a las respuestas modales máximas del parámetro para los modos i y j.

ρ_{ij} correspondiente al coeficiente de correlación entre los dos modos. Y este según Der Kiureghian para amortiguamientos en los mismos modos se calculan por medio de:

$$\rho_{ij} = \frac{8 \cdot \xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) (\beta_{ij})^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij}^2)^2} \quad (3.53)$$

Donde: $\beta_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$: ω_i y ω_j frecuencias correspondientes a cada modo i, j y ξ coeficiente de amortiguamiento del material.

3.3. Definición de términos

Algoritmo: es un conjunto de pasos lógicos y finitos que se utilizan para resolver un problema o realizar una tarea específica (Rodríguez, 2010).

Amortiguamiento: se refiere a la capacidad de la estructura para disipar la energía de las vibraciones producidas por cargas dinámicas, como las generadas por un terremoto (Bazán & Meli, 2002).

Análisis estructural matricial: es un método utilizado en la ingeniería para analizar la resistencia y estabilidad de estructuras mediante la utilización de matrices y cálculo matricial considerando la estructura como un conjunto de elementos interconectados, cada uno con sus propias características de utilizando las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad para resolver el sistema de ecuaciones que describen el comportamiento de la estructura (Santana, 2014).

Código de programación o código Matlab: conjunto de instrucciones escritas en un lenguaje de programación en este caso “.M” que se utilizan para crear scripts de procesos (Rodríguez, 2010).

Condensación estática: consiste en eliminar los grados de libertad redundantes de una estructura y reducirlos a un número menor de grados de libertad equivalentes para efectos puntuales en el análisis estructural matricial (García, 1998).

CQC: método de combinación cuadrática completa para un valor máximo factible de la respuesta (García, 1998).

Desplazamiento: se refiere a la magnitud y dirección del movimiento que experimentan los elementos estructurales debido a las cargas aplicadas sobre ellos (Nagarajan, 2019).

Diafragma rígido: un diafragma rígido es una estructura horizontal que se utiliza para transferir las cargas laterales, como las producidas por el viento o los terremotos, a los elementos resistentes verticales, como las columnas y las vigas, de un edificio (García, 1998).

Esfuerzo: es una fuerza por unidad de área que actúa dentro de un material y se define como la intensidad de las fuerzas internas que actúan en el interior de un cuerpo deformable en respuesta a cargas externas aplicadas (Nagarajan, 2019).

Espectral: En este tipo de análisis, se utiliza la respuesta de la estructura a una serie de cargas de diferentes frecuencias para obtener su respuesta en tiempo o frecuencia, que se expresa en forma de espectro de aceleración (Chopra, 2020).

Fuerza: La fuerza se define como una magnitud física que representa la acción de un cuerpo sobre otro, que puede causar una deformación, aceleración o cambio en el movimiento del objeto sobre el que actúa (Nagarajan, 2019).

Masa: La masa es un parámetro importante en el análisis estructural, ya que afecta la respuesta dinámica de la estructura puede incluir la masa de los elementos estructurales, así como la masa de los elementos no estructurales (Paz & Kim, 2019).

Modo de vibración: se refiere a una forma particular en la que la estructura se mueve o vibra cuando es excitada por una fuerza externa (Chopra, 2020).

Pseudoespectral: es una técnica de simulación numérica que en lugar de utilizar las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento de las estructuras, se utiliza una técnica de transformación para convertir estas ecuaciones en una serie de ecuaciones algebraicas para evaluar la respuesta de las estructuras a terremotos y otros eventos sísmicos (García, 1998).

Rigidez: es una propiedad fundamental de los materiales que compone una estructura se refiere a la capacidad de una estructura para resistir deformaciones bajo carga (Nagarajan, 2019).

Pseudotridimensional: una estructura pseudotridimensional puede ser un sistema estructural bidimensional que ha sido diseñado o analizado con técnicas que consideran su comportamiento como si fuera tridimensional (García, 1998).

Respuesta: Referido a la reacción físicas y mecánicas que puede experimentar una estructura, pueden ser desplazamientos, aceleración, fuerzas internas, etc. Debido a una fuerza externa o acción sísmica (Paz & Kim, 2019).

SRSS: método de combinación de la raíz cuadrada completa para un valor máximo factible de la respuesta (Maldonado & Chio, 2004).

Tiempo historia: es un método de cálculo utilizado en ingeniería estructural para evaluar la respuesta de una estructura ante cargas sísmicas se basa en el uso de registros sísmicos que describen la evolución temporal de la vibración de suelos durante un terremoto (Maldonado & Chio, 2004).

Método Newmark: Método interaccional para solucionar sistemas lineales, y en tal consecuencia la ecuación dinámica estructural considerando los aceleración constante o aceleración lineal (Chopra, 2020).

Integral de Duhamel: También denominada integral de convolución, la relación entre espectros está dada por la respuesta de esta integral en sistemas lineales, con condiciones iniciales igual a cero y adaptada para excitación en la base (Aguiar, 2012).

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de investigación

- ***Tipo de investigación***

Según Sanchez & Reyes (2022) considera que la investigación básica profundiza y amplía el conocimiento científico que existe en la realidad. Por lo que Martínez (2020) indica que si el estudio es de nivel descriptivo la investigación clasifica de acuerdo al tipo como BASICA con enfoque CUANTITATIVO, donde se identifica claramente el objeto de estudio que es el análisis estructural por métodos matriciales y análisis sísmico dinámico de pórticos pseudotridimensionales, con la intención de generar una implementación computacional. En este caso se comienza con la recopilación de información bibliográfica del método para así elaborar una formulación matemática por medio de algoritmos de programación.

- ***Nivel o alcance de la investigación***

Según Hernandez & Mendoza (2023) considera que el alcance de la investigación constituye un continuo de causalidad que puede tener un estudio. Por lo que la presente investigación tiene un alcance DESCRIPTIVO, ya que pretende especificar procesos, y evaluar la formulación matemática con algoritmos de programación para su respectivo análisis dinámico por métodos matriciales. Este enfoque coincide con lo planteado por Creswell & Creswell (2023) el cual señalan que los alcances descriptivos tienen como finalidad caracterizar sistemáticamente fenómenos, procesos, sin manipular variables.

- ***Diseño de la investigación***

Pino (2024) menciona que el diseño plantea una serie de actividades que deben adaptarse a cada particularidad de investigación por lo que la investigación tiene un diseño NO EXPERIMENTAL – TRANSECCIONAL, en donde el objeto que se estudia de forma explícita son los pórticos tridimensionales, que serán caracterizados por ejemplos. Y transeccional ya que pretendemos describir y formular matemáticamente con algoritmos de programación cada proceso que conlleva el análisis matricial y análisis sísmico dinámico para evaluar con software de análisis estructural.

4.2. **Ámbito temporal y espacial**

- ***Ámbito temporal***

La investigación se llevó a cabo durante un período de cinco meses, desde agosto de 2024 hasta enero de 2025. Este lapso nos permitió verificar la aplicación práctica de nuestros métodos y respaldar las conclusiones relacionadas con los objetivos generales y específicos del estudio.

- ***Ámbito espacial***

Esta investigación fue realizada en la ciudad de Abancay, región de Apurímac. Se centró en la creación de una implementación computacional diseñada para la verificación del análisis sísmico dinámico de estructuras tridimensionales, utilizando para ello métodos matriciales.

4.3. **Población y muestra**

- ***Población***

En este caso como población se presentaron un número finito de ejemplos de pórticos tridimensionales conformados por sistemas de pórticos y sistemas duales para ser verificadas con la implementación computacional.

- ***Muestra***

Según Pino (2024) este estudio, se optó por una muestra no probabilística e intencionada, lo que significa que se seleccionara cuidadosamente una porción específica de la población para llevar a cabo la investigación. Las muestras son tres modelos de pórticos tridimensionales conformados por sistemas de pórticos y sistemas duales.

- **Modelos 1 y 2**, conformado por un sistema de columna y viga, fueron obtenidos de la bibliografía y su comportamiento fue verificado utilizando tanto software especializado como código desarrollado en MATLAB.
- **Modelo 3**, conformado por un sistema de muro - columna – viga, corresponde a una estructura real de 8 niveles ubicada en la Universidad Tecnológica de los

Andes de Apurímac y su respuesta fue verificada utilizando software especializado.

4.4. Instrumentos

Esta investigación se fundamenta en la recopilación y el análisis bibliográfico de información relacionada con los objetivos. Este enfoque nos permitirá abordar y resolver los objetivos y problemas planteados en el estudio, la técnica empleada que se usará para la identificación y selección de documentos específicos que son directamente relevantes para los propósitos de la investigación (Sanchez & Reyes, 2022).

En cuanto al instrumento esta caracterizado por la verificación de la recopilación bibliográfica que conlleva a la elaboración matemática del algoritmo de programación y su consecuente elaboración de código script y la consiguiente verificación con la bibliografía especializada y con el software especializado en análisis estructural.

Instrumentos utilizados.

- Norma técnica E.020 Cargas del RNE.
- Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente del RNE.
- Algoritmos de Programación.
- Software MATHLAB
- Software SAP 2000
- Microsoft Excel y Microsoft Word.

4.5. Procedimientos

El desarrollo de la implementación computacional por medio de la formulación matemática mediante algoritmos de programación se apoyará en la recopilación bibliográfica de las bases teóricas de la investigación, así como las respuestas de los modelos para su consecuente verificación:

- **Modelos 1 y 2.** Adaptado del libro Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico por (García, 1998) y a su vez obtenido por el software SAP 2000.

- **Modelo 3.** Los datos utilizados en este estudio serán extraídos de los planos de replanteo y planos de estructura correspondientes al Bloque 2 del proyecto "Aulas Inteligentes" de la Universidad Tecnológica de los Andes y obtención de la respuesta en el software SAP 2000.

Modelado y elaboración de la implementación computacional.

En este caso se explorara bibliografía relacionada a análisis sísmico dinámico de estructura tridimensionales, desde la idealización dinámica de estructuras tridimensionales, análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos tridimensionales y análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos tridimensionales, para la elaboración de la formulación matemática con algoritmos de programación y consecuencia la obtención de pseudocódigos en MATLAB para obtener la respuesta de las estructuras. Cada algoritmo de programación indicara los procesos de que se deben de seguir para ejecutar un respectivo análisis.

Referido a las consideraciones del modelo en cuanto al marco teórico relacionados al modelo analizado en MATLAB se tiene los siguiente:

- La losa se considera infinitamente rígido y con tres grados de libertad por piso.
- Los pórticos se consideran planos de tal forma que el modelo matemático de la estructura se considera tridimensional a través de la acción del diafragma rígido.
- Las vigas se consideran infinitamente rígidas para efectos de deformaciones axiales debido a que son parte de la losa.
- Las columnas pueden deformarse axialmente y no existe asociación de los grados de libertad rotacionales con su matriz K.

Modelado de edificación en el software SAP 2000 – CSI (2025).

Las edificaciones se modelaron con sus propiedades completas para poder verificarlas adecuadamente en un modelo que incluya todos los grados de libertad. Esto también implica la asignación de un diafragma rígido y la concentración de las masas en sus centroides. Para el Modelo 3, se revisa las consideraciones de las normas E.020 (Cargas). Después, distribuimos las cargas de las losas a las vigas y, a partir de esto,

calculamos las masas. En consideración para el análisis sísmico dinámico modal espectral se tomó en consideración la norma E.030 (Diseño Sismorresistente). Estas masas se aplicarán en los centroides de cada piso. Así, el objetivo principal será verificar la implementación computacional basándonos únicamente en las rigideces como incógnitas, aplicando la misma metodología de análisis a todos los modelos.

4.6. Análisis de datos

En la presente investigación se desarrollará una implementación computacional en lenguaje MATLAB que permitirá verificar la respuesta dinámica de estructuras conformadas por pórticos tridimensionales, sometidas a análisis sísmico dinámico. Esta herramienta, basada en formulaciones matriciales y algoritmos de programación, no será como una técnica preestablecida, sino como una propuesta metodológica diseñada específicamente para validar el comportamiento estructural de marcos tridimensionales ante excitaciones sísmicas y espectrales.

4.7. Consideraciones Éticas

En cuanto al uso de códigos de programación se respeta la autoría de los mismos y se pone en consideración que la mayoría o en su totalidad de los algoritmos de programación será de autoría del investigador. En cuanto a los softwares, se usa licencia de versión de prueba del software de lenguaje .m MATLAB – MathWorks (2025), y en cuanto al software especializado en análisis estructural de versión educacional o trial.

V. Resultados y discusión

5.1. Formulación matemática con algoritmos de programación

5.1.1. Diseño del algoritmo con diagramas de flujo

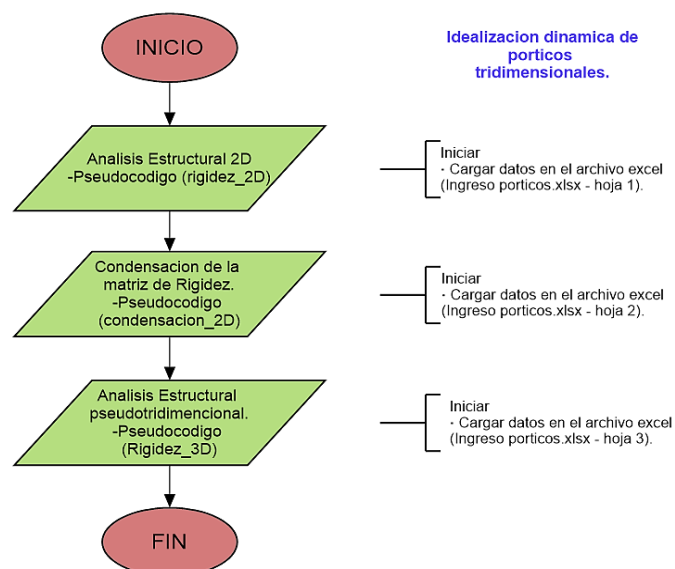
Del marco teórico se sustenta las bases matemáticas y físicas de los procesos establecidos en la presente tesis. Comprende el diseño de algoritmos con diagramas de flujo y consecuentemente la formulación matemática con pseudocódigos.

El funcionamiento general de los pseudocódigos es relacionado al orden de análisis que se requiere y de acuerdo a las variables dependientes de la presente investigación. El orden de los procesos de la idealización dinámica de pórticos tridimensionales es el proceso inicial de la solución de los análisis sísmicos descritos en la presente tesis. La representación de la secuencia de los pseudocódigos para determinar cada proceso de análisis es por medio del diagrama de flujo.

En la siguiente figura 15 se jerarquiza los procesos por medio del diagrama de flujo para realizar la idealización dinámica de pórticos tridimensionales con los pseudocódigos establecidos en la presente tesis.

Figura 15

Diagrama de flujo para Idealización dinámica

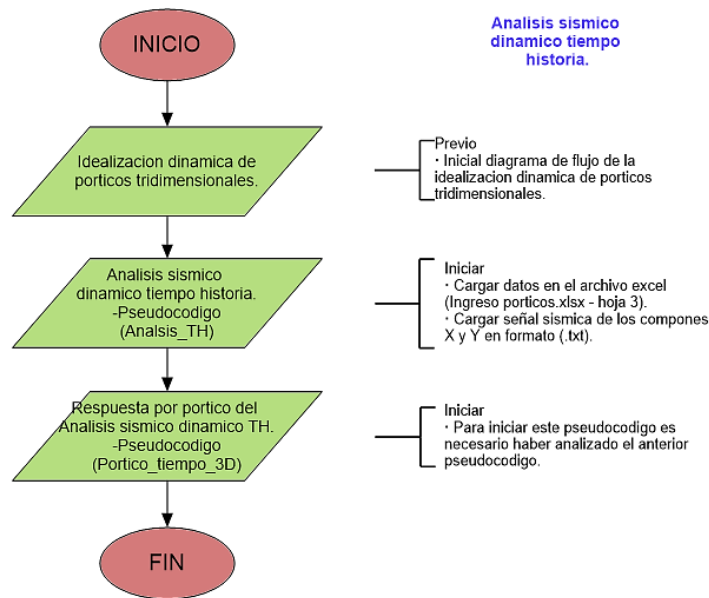


Nota. Orden de uso de los pseudocódigos para la Idealización dinámica de pórticos tridimensionales. Elaboración propia.

En la siguiente figura 16 se jerarquiza los procesos por medio del diagrama de flujo para realizar un análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos tridimensionales con los pseudocódigos establecidos en la presente tesis.

Figura 16

Diagrama de flujo para el análisis sísmico dinámico tiempo historia

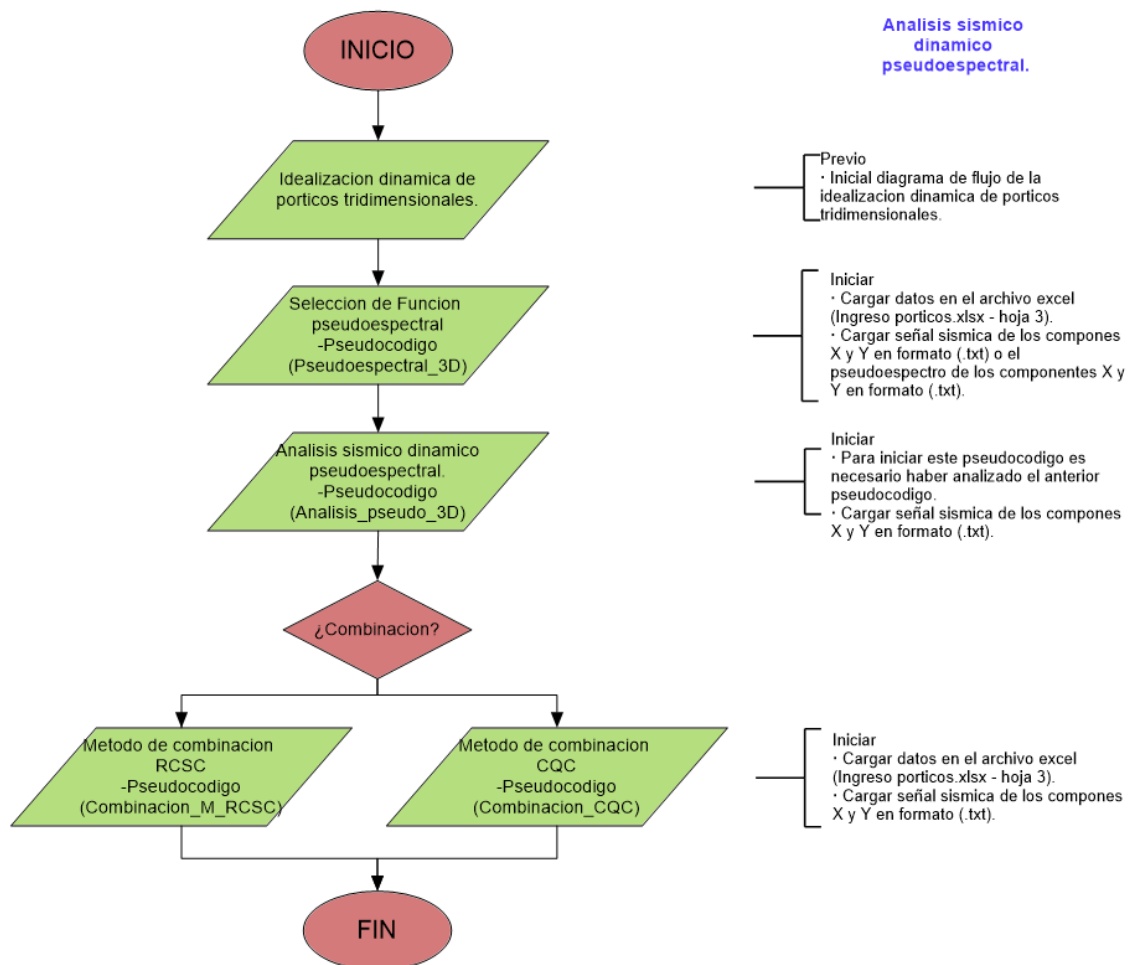


Nota. Orden de uso de los pseudocódigos para la realización del análisis sísmico dinámico tiempo historia . Elaboración propia.

En la siguiente figura 17 se jerarquiza los procesos por medio del diagrama de flujo para realizar un análisis sísmico dinámico pseudoespectral de pórticos tridimensionales con los scripts establecidos en la presente tesis.

Figura 17

Diagrama de flujo para el análisis sísmico dinámico pseudoespectral



Nota. Orden de uso de los pseudocódigos para el Análisis sísmico dinámico pseudoespectral. Elaboración propia.

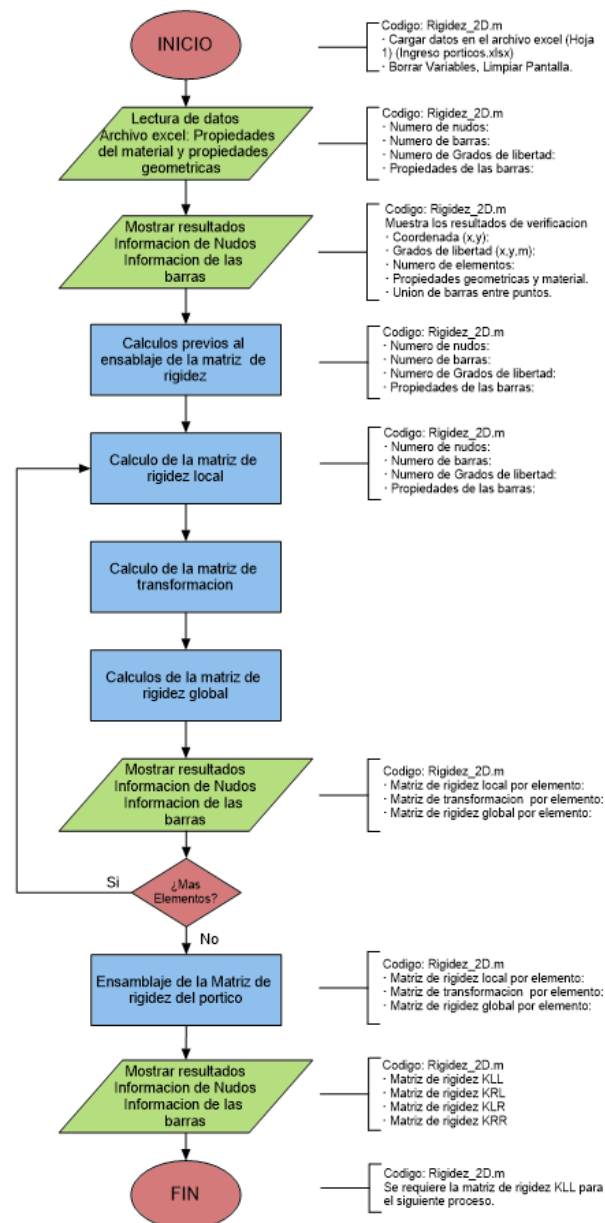
5.1.2. Diagramas de flujo por cada pseudocódigo.

Análisis Matricial de pórticos bidimensionales.

El análisis matricial se realizó por el método de rigidez directa que permite la automatización en computadora, el método de rigidez directa realiza un análisis por elemento y luego conforma una matriz general de la estructura que permite resolver estructuras complejas, la figura representa los siguientes procesos que conlleva el diagrama de flujo para en este caso obtener la matriz de rigidez KLL de grados libres de un pórtico bidimensional.

Figura 18

Diagrama de flujo del pseudocódigo Rigidez_2D



Nota. El diagrama estructura el Análisis matricial de pórticos bidimensionales. Elaboración propia.

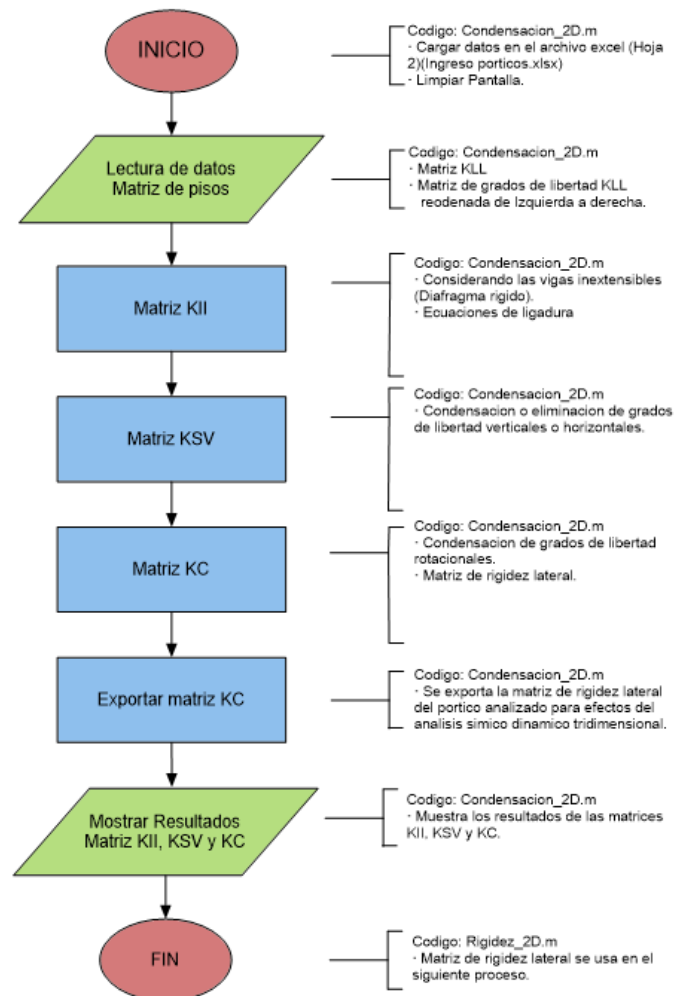
Condensación de grados de libertad.

El proceso de condensación permite reducir la matriz de rigidez libre de un elemento de seis grados de libertad que relacionan a desplazamientos en X y Y un giro perpendicular Z en el plano, en función de grados de libertad de desplazamiento lateral X que es muy útil para el análisis de cargas laterales. El siguiente diagrama de flujo muestra las entradas,

salidas procesos y decisiones de la condensación de grados de libertad obteniendo la matriz de rigidez lateral del pórtico bidimensional KC para efectos horizontales.

Figura 19

Diagrama de flujo del pseudocódigo Condensacion_2D



Nota. El diagrama estructura la Condensación de grados de libertad. Elaboración Propia.

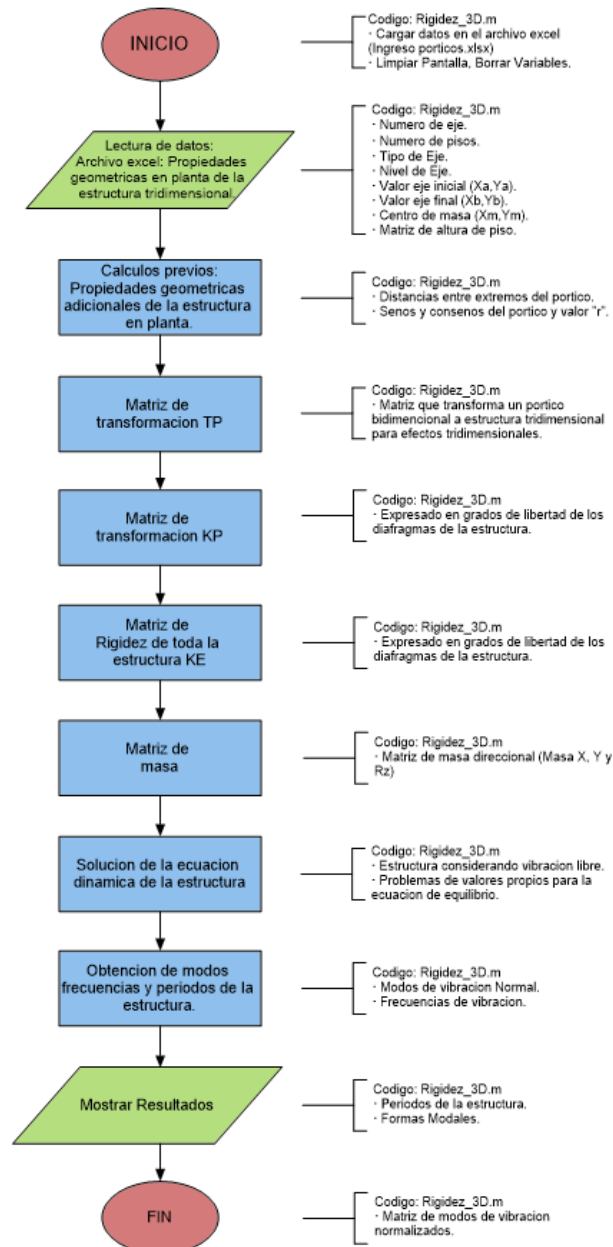
Análisis Pseudotridimensional.

Se ha presentado en el marco teórico la definición de masa concentrada como la adecuada para la idealización dinámica para edificaciones, que al considerarse la rigidez de algunos elementos estructurales como infinitamente rígidos, no exista la posibilidad de deformación interna, lo cual implica considerar que las propiedades inerciales se pueden expresar en el centro de masa del cuerpo. Así también se menciona que la rigidez de los elementos distribuidos en sus grados de libertad influye de gran manera en la forma de las

ecuaciones de equilibrio estático. Todas estas implicancias son descritas en el siguiente diagrama de flujo donde se presenta los procesos descritos de la idealización dinámica o denominado análisis pseudotridimensional, en este caso se obtiene principalmente la matriz de rigidez lateral de toda la estructura (KE).

Figura 20

Diagrama de flujo del pseudocódigo Rigidez_3D



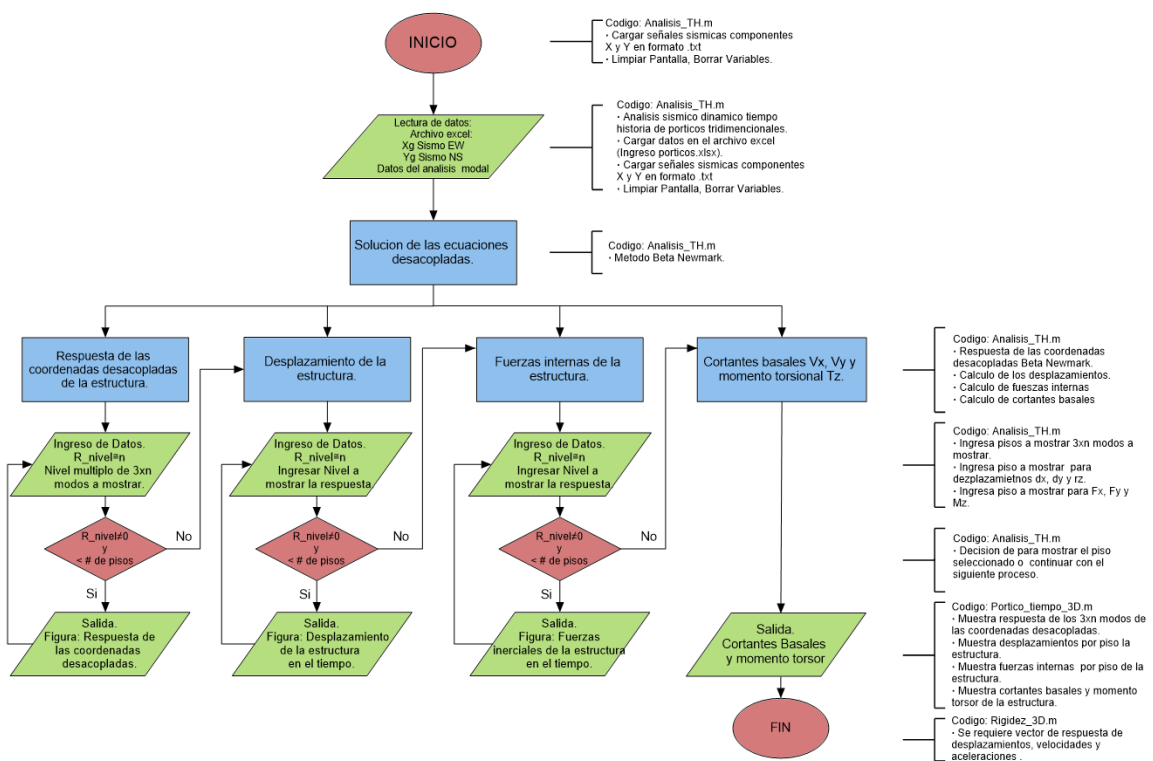
Nota. El diagrama estructura el análisis pseudotridimensional. Elaboración Propia.

Análisis sísmico dinámico tiempo historia.

Para este análisis se debe de determinar la solución particular del sistema de ecuaciones diferenciales simultaneas, donde las estructuras tienen varios grados de libertad, donde está sometida a fuerzas variables en el tiempo, como por ejemplo ejercitadas en la base, la solución de la ecuación dinámica está dada por el método Newmark. Los procesos que conllevan a solucionar el presente problema dinámico se presentan por medio del siguiente diagrama de flujo, que conlleva a obtener la respuesta ante una función que varía en el tiempo como es un sismo, en ambas direcciones de análisis.

Figura 21

Diagrama de flujo del pseudocódigo Analisis_TH



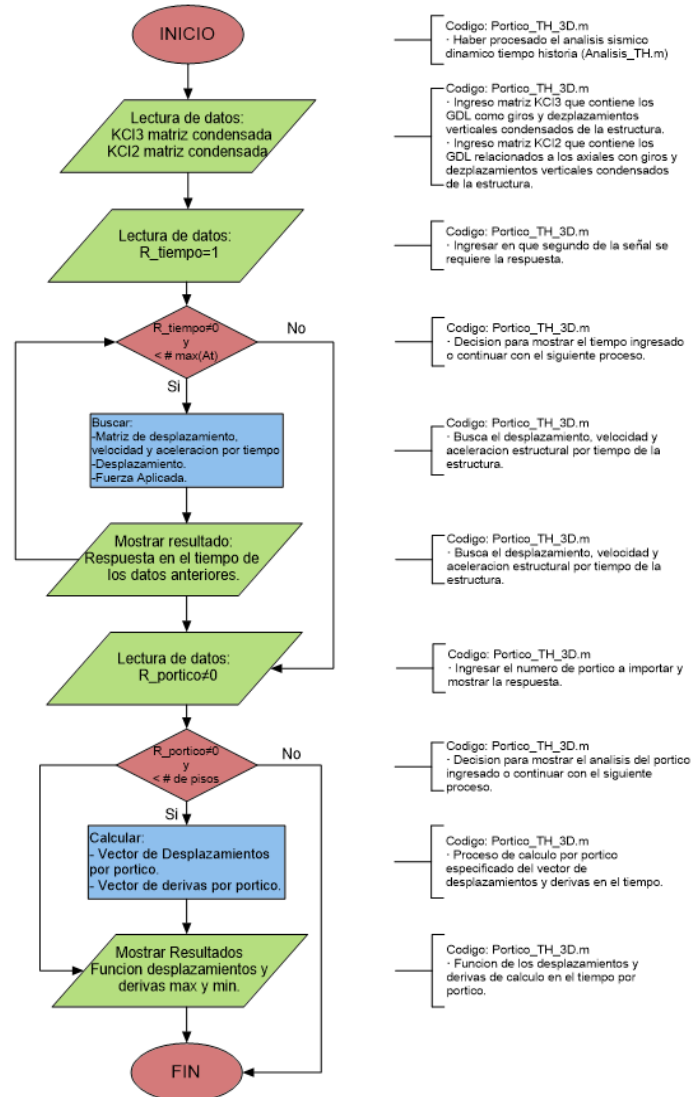
Nota. El diagrama estructura el análisis sísmico dinámico tiempo historia. Elaboración Propia.

La determinación de la respuesta estructural por pórtico o elemento en el tiempo se determina por los desplazamientos de todos los grados de libertad condensados, lo cual permitirá los grados de libertad condensados locales utilizando los desplazamientos en

coordenadas globales del pórtico. La continuidad de estos procesos se obtiene por medio de los siguientes diagramas de flujo.

Figura 22

Diagrama de flujo del pseudocódigo Portico_TH_3D



Nota. El diagrama estructura el análisis sísmico dinámico tiempo historia por pórtico.

Elaboración Propia.

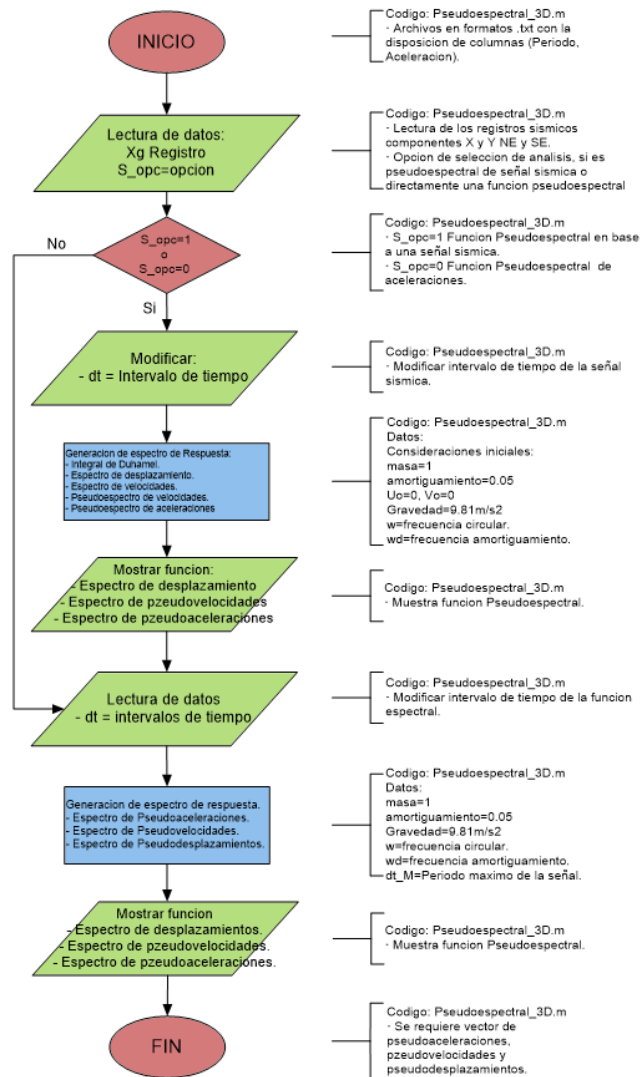
Análisis sísmico dinámico pseudoespectral.

Dentro de la aplicación del análisis sísmico dinámico pseudoespectral se entiende en este caso que el análisis dinámico de sistemas de varios grados de libertad utilizando espectros, ya sean para registro sísmicos o el caso para espectros de diseño ante sismos futuros. El siguiente diagrama de flujo presenta la selección para la generación de un

espectro en función de una señal sísmica o en tal caso el ingreso de una función espectral de diseño.

Figura 23

Diagrama de flujo del pseudocódigo Pseudoespectral_3D

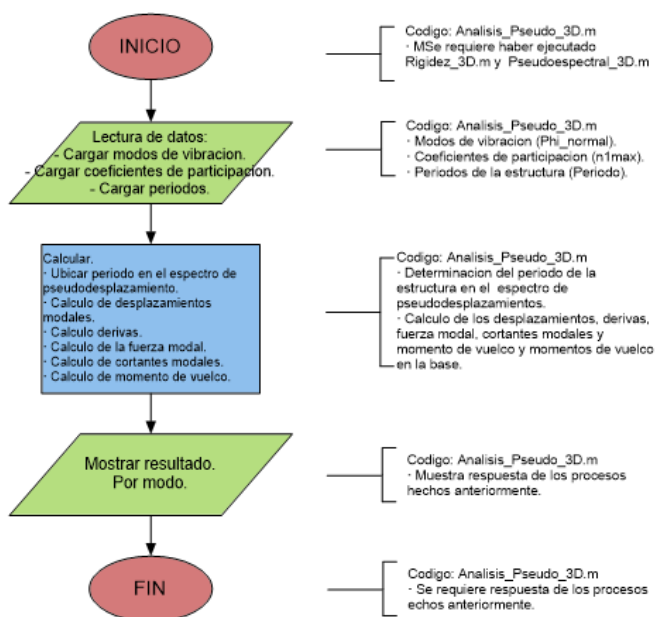


Nota. El diagrama estructura el ingreso de la función espectral o señal sísmica para la creación del espectro de análisis. Elaboración Propia.

Realizado o cargado el espectro según corresponda la función o el análisis que se requiere, se realiza el proceso de análisis espectral con la determinación de la respuesta espectral, de acuerdo al periodo, modos de vibración y coeficientes de participación de la estructura. El siguiente diagrama de flujo presenta el siguiente proceso.

Figura 24

Diagrama de flujo del pseudocódigo Analisis_Pseudo_3D



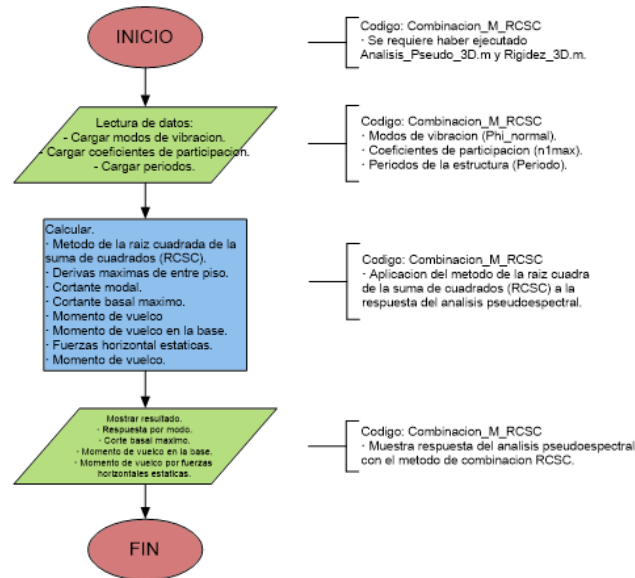
Nota. El diagrama estructura el análisis dinámico pseudoespectral. Elaboración Propia.

Las combinacionales modales respecto a la respuesta espectral como se describió en la teoría de la presente investigación se fundamenta, en que la respuesta modal debe de ser combinado por métodos que permitan obtener un valor factible de la respuesta, debido a que la respuesta modal debe admitir la participación de los modos inferior de la estructura en la respuesta. Estos métodos presentados en la presente investigación son el método de la raíz cuadra de la suma de los cuadrados (RCSC) y combinación cuadrática completa (CQC).

Figura 25

Diagrama de flujo del método de combinación RCSC del pseudocódigo

Combinacion_M_RCSC

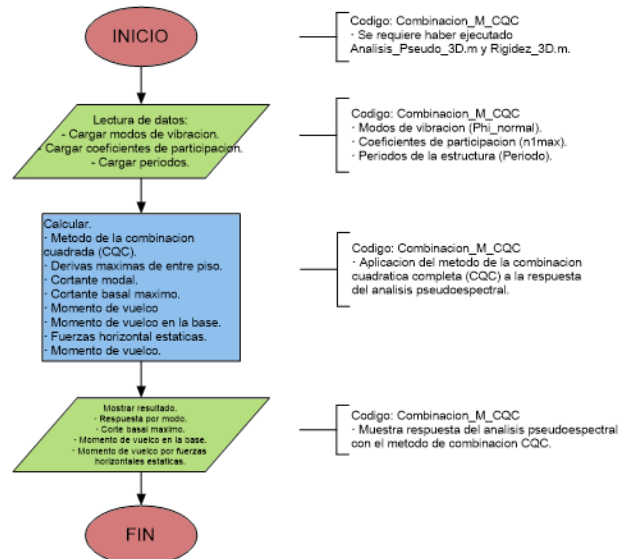


Nota. El diagrama estructura la combinación RCSC para análisis dinámico pseudoespectral. Elaboración Propia.

Figura 26

Diagrama de flujo del método de combinación (CQC) del pseudocódigo

Combinacion_M_CQC



Nota. El diagrama estructura la combinación CQC para análisis dinámico pseudoespectral.

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.3. **Formulación matemática con pseudocódigos**

Explicar por completo un Script conllevaría a representar procesos no determinantes en cuanto a ordenamientos matriciales, por lo tanto, en la presente investigación se presentan solo procesos principales de cada Script y estos serán especificados para conocer las variables principales de cada proceso.

- **Hoja de cálculo para ingreso de datos (Anexo 3)**

Ingreso_Porticos.xlsx

Hoja 1: Ingreso de propiedades geométricas y de material de los elementos de pórtico bidimensional.

Hoja 2: Ingreso de numeración de grados de libertad de los extremos condensados de una estructura.

Hoja 3: Ingreso de propiedades geométricas, masa por piso y centro de masa por piso para el análisis pseudotridimensional.

- **Variable de ingreso y salida de los pseudocódigos**

Rigidez_2D.m

Código realiza el análisis matricial bidimensional de un pórtico bidimensional y tiene como lectura de los datos de ingreso el archivo Ingreso_Porticos.xlsx, HOJA 1.

Variables de Ingreso: Lectura de propiedades geométricas y mecánicas de los materiales de los elementos estructurales del pórtico bidimensional, y condiciones de frontera.

Variables de salida: Matriz KLL de grados de libertad libres.

Condensacion_2D.m

Código realiza la condensación de los grados de libertad verticales y rotacionales al plano del pórtico, para efectos de un análisis de fuerzas laterales y tiene como lectura los datos de ingreso el archivo Ingreso_Porticos.xlsx, HOJA 2.

Variables de Ingreso: Matriz KLL de grados de libertad libres, Lectura de los grados de libertad extremos de la condensación que conforma el diafragma rígido.

Variables de salida: Almacena Matriz KC de rigidez lateral por pórtico analizado.

Rigidez_3D.m

Código realiza el análisis pseudotridimensional con la obtención de la matriz de rigidez lateral de toda la estructura y las formas modales naturales de vibrar de la estructura tridimensional planteada y periodos, con la conformación de las matrices de rigidez laterales de los pórticos bidimensionales almacenados.

Variables de Ingreso: Matrices KC por pórtico, Lectura de propiedades geométricas, elementos que conforman los pórticos de la estructura tridimensional, Centro de masa por piso, masas por piso.

Variables de salida: Matriz de KE de rigidez de toda la estructura y Matriz de modos de vibración normalizados, periodos y frecuencias de la estructura.

Analisis_TH.m

Código realiza el análisis sísmico dinámico tiempo historia con la solución de la ecuación desacopladas de la estructura excitada por una señal sísmica cargada en un archivo .txt en ambas direcciones de análisis.

Variables de Ingreso: Matriz KE, Matriz de modos de vibración normalizados, Lectura de la señal sísmica en el sentido X y otro en el sentido Y, ambas componentes ortonormales.

Variables de salida: Muestra respuesta graficas de los desplazamientos modales, por piso de la estructura, fuerzas de internas por piso, cortantes basales y momentos torsores de la estructura, se requiere vector de respuesta de desplazamientos, velocidades y aceleraciones, graficas en el tiempo de los datos indicados.

Portico_TH_3D.m

Código distribuye la respuesta de la estructura tridimensional a los grados de libertad condensados de los pórticos bidimensionales.

Variables de Ingreso: Matriz de desplazamientos o matrices KCI3 que contiene los GDL de giros y desplazamientos verticales condensados de la estructura. KCI2 que

contiene los GDL relacionado a los axiales con giros y desplazamientos verticales condensados de la estructura, respuesta del pseudocódigo Analisis_TH.m.

Variables de salida: Muestra función de los desplazamientos y derivas en el tiempo por pórtico.

Pseudoespectral_3D.m

Código selecciona la función espectral o el espectro de diseño a realizar, con la lectura de la función espectral o el registro sísmico a realizar su espectro necesario para el análisis sísmico espectral, se requiere lectura de registros sísmicos de las componentes X y en formato .txt, o en tal caso una función espectral de aceleraciones.

Variables de Ingreso: Lectura de señal sísmica componentes X o Y, Lectura de espectro de aceleraciones, matriz de modos de vibración normalizados, periodos de la estructura.

Variables de salida: Muestra función espectral de desplazamientos y/o pseudoaceleraciones, pseudovelocidades y pseudoaceleraciones.

Analisis_Pseudo_3D.m

Código realiza el análisis sísmico pseudoespectral de diseño a realizar, en función del espectro de desplazamientos, y de acuerdo a los periodos de la estructura en análisis, y la matriz de modos de vibración normalizados.

Variables de Ingreso: Lectura del espectro de desplazamientos, periodos de la estructura y matriz de modos de vibración normalizados.

Variables de salida: Muestra respuesta de espectral como cálculo de desplazamientos modales, derivas, fuerza modal, cortantes modales y momento de vuelvo.

Combinacion_M_RCSC.m

Código realiza el análisis sísmico pseudoespectral de diseño a realizar, en función del espectro de desplazamientos, y de acuerdo a los periodos de la estructura en análisis, y la matriz de modos de vibración normalizados.

Variables de Ingreso: Lectura de los desplazamientos, cortantes, momentos de vuelco modales espectral.

Variables de salida: Muestra una tabla con la respuesta relacionada a combinación modal RCSC X y como desplazamientos, derivas, cortantes, momentos y fuerzas estáticas.

Combinacion_M_CQC.m

Código realiza el análisis sísmico pseudoespectral de diseño a realizar, en función del espectro de desplazamientos, y de acuerdo a los periodos de la estructura en análisis, y la matriz de modos de vibración normalizados.

Variables de Ingreso: Lectura de los desplazamientos, cortantes, momentos de vuelco modales espectral.

Variables de salida: Muestra una tabla con la respuesta relacionada a combinación modal RCSC X y como desplazamientos, derivas, cortantes, momentos y fuerzas estáticas.

5.1.3.1. Pseudocódigo para el análisis matricial de pórticos bidimensionales (Rigidez_2D.m)

Los cálculos previos se reducen al cálculo inicial de los vectores de longitud, coseno, seno para la formación de la matriz de rigidez en coordenadas locales de la estructura, que se definen en este caso en función de un plano coordenado bidimensional.

La formación de la matriz de rigidez de coordenadas locales se realiza en función de la teoría especialmente se selecciona esta matriz de grados de libertad locales ya sea considerando la matriz para muros estructurales que considera zonas de rigidez infinita según sea la configuración de la estructura. El ensamblaje continuo con la multiplicación de la matriz de rigidez en coordenadas locales a coordenadas globales. Después de ello los elementos de esta matriz según las rigideces compartidas son sumadas y forman la matriz de rigidez global de toda la estructura bidimensional. Este proceso es iterativo con cada elemento de la estructura. A continuación, se pone en consideración el script.

Pseudocódigo (Rigidez_2D.m)

```

%%Calculo de la matriz de la barra en el sistema local y global
Kaux=zeros(ngl,ngl);
for i=1:nb
    if BA_NR(i)==i
        %Sistema local
        kloc=zeros(6,6);
        kloc(1,1)=area(i)*MY(i)/L_NR(i);
        kloc(1,2)=0;
        kloc(1,3)=0;
        kloc(1,4)=-1*area(i)*MY(i)/L_NR(i);
        kloc(1,5)=0;
        kloc(1,6)=0;
        kloc(2,1)=0;

        kloc(2,2)=MY(i)*12*IZ(i)/(L_NR(i)^3)*((1+A_NR(i)^2+2*A_NR(i)+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+2*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));

        kloc(2,3)=MY(i)*6*IZ(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*A_NR(i)+2*A_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));
        kloc(2,4)=0;
        kloc(2,5)=-
        12*IZ(i)*MY(i)/(L_NR(i)^3)*((1+A_NR(i)^2+2*A_NR(i)+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+2*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));

        kloc(2,6)=6*IZ(i)*MY(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*BE_NR(i)+2*BE_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+A_NR(i))/(1+P_NR(i)));
        kloc(3,1)=0;

        kloc(3,2)=MY(i)*6*IZ(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*A_NR(i)+2*A_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));

        kloc(3,3)=MY(i)*4*IZ(i)/L_NR(i)*((1+P_NR(i)/4+3*A_NR(i)+3*A_NR(i)^2)/(1+P_NR(i)));
        ;
        kloc(3,4)=0;

        kloc(3,5)=-
        MY(i)*6*IZ(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*A_NR(i)+2*A_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));
        kloc(3,6)=MY(i)*2*IZ(i)/L_NR(i)*((1-
        P_NR(i)/2+3*A_NR(i)+3*BE_NR(i)+6*A_NR(i)*BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));
        kloc(4,1)=-area(i)*MY(i)/L_NR(i);
        kloc(4,2)=0;
        kloc(4,3)=0;
        kloc(4,4)=area(i)*MY(i)/L_NR(i);
        kloc(4,5)=0;
        kloc(4,6)=0;
        kloc(5,1)=0;
        kloc(5,2)=-
        MY(i)*12*IZ(i)/(L_NR(i)^3)*((1+A_NR(i)^2+2*A_NR(i)+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+2*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));
        kloc(5,3)=-
        MY(i)*6*IZ(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*A_NR(i)+2*A_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));
        kloc(5,4)=0;

```

```

kloc(5,5)=12*IZ(i)*MY(i)/(L_NR(i)^3)*((1+A_NR(i)^2+2*A_NR(i)+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+2
*BE_NR(i)+BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));
kloc(5,6)=-
6*IZ(i)*MY(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*BE_NR(i)+2*BE_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+A_NR(i))
/(1+P_NR(i)));
kloc(6,1)=0;

kloc(6,2)=MY(i)*6*IZ(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*BE_NR(i)+2*BE_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)
)+A_NR(i))/(1+P_NR(i));
kloc(6,3)=MY(i)*2*IZ(i)/L_NR(i)*((1-
P_NR(i)/2+3*A_NR(i)+3*BE_NR(i)+6*A_NR(i)*BE_NR(i))/(1+P_NR(i)));
kloc(6,4)=0;
kloc(6,5)=-
MY(i)*6*IZ(i)/(L_NR(i)^2)*((1+3*BE_NR(i)+2*BE_NR(i)^2+2*A_NR(i)*BE_NR(i)+A_NR(i))
/(1+P_NR(i)));

kloc(6,6)=MY(i)*4*IZ(i)/L_NR(i)*((1+P_NR(i)/4+3*BE_NR(i)+3*BE_NR(i)^2)/(1+P_NR(i)
));
k=kloc;

fprintf(' \n');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fprintf('La matriz de rigidez en el sistema local en (KN/m) del elemento:\n');
fprintf('%3d \n', i);
kloc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
else
%Sistema local
kloc=zeros(6,6);
kloc(1,1)=area(i)*MY(i)/L(i);
kloc(1,2)=0;
kloc(1,3)=0;
kloc(1,4)=-1*area(i)*MY(i)/L(i);
kloc(1,5)=0;

kloc(1,6)=0;
kloc(2,1)=0;
kloc(2,2)=MY(i)*12*IZ(i)/(L(i)^3);
kloc(2,3)=MY(i)*6*IZ(i)/(L(i)^2);
kloc(2,4)=0;
kloc(2,5)=-12*IZ(i)*MY(i)/(L(i)^3);
kloc(2,6)=6*IZ(i)*MY(i)/(L(i)^2);
kloc(3,1)=0;
kloc(3,2)=MY(i)*6*IZ(i)/(L(i)^2);
kloc(3,3)=MY(i)*4*IZ(i)/L(i);
kloc(3,4)=0;
kloc(3,5)=-MY(i)*6*IZ(i)/(L(i)^2);
kloc(3,6)=MY(i)*2*IZ(i)/L(i);
kloc(4,1)=-area(i)*MY(i)/L(i);
kloc(4,2)=0;
kloc(4,3)=0;
kloc(4,4)=area(i)*MY(i)/L(i);
kloc(4,5)=0;

```

```

kloc(4,6)=0;
kloc(5,1)=0;
kloc(5,2)=-MY(i)*12*IZ(i)/(L(i)^3);
kloc(5,3)=-MY(i)*6*IZ(i)/(L(i)^2);
kloc(5,4)=0;
kloc(5,5)=12*IZ(i)*MY(i)/(L(i)^3);
kloc(5,6)=-6*IZ(i)*MY(i)/(L(i)^2);
kloc(6,1)=0;
kloc(6,2)=MY(i)*6*IZ(i)/(L(i)^2);
kloc(6,3)=MY(i)*2*IZ(i)/L(i);
kloc(6,4)=0;
kloc(6,5)=-MY(i)*6*IZ(i)/(L(i)^2);
kloc(6,6)=MY(i)*4*IZ(i)/L(i);
k=kloc;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    fprintf(' \n');
    fprintf('La matriz de rigidez en el sistema local en (KN/m) del elemento:\n');
    fprintf('%3d \n', i);
    %kloc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
end
%Matriz de transformación
transf=zeros(6,6);
transf(1,1)=coseno(i);
transf(1,2)=seno(i);
transf(2,1)=-seno(i);
transf(2,2)=coseno(i);
transf(3,3)=1;
transf(4,4)=coseno(i);
transf(4,5)=seno(i);
transf(5,4)=-seno(i);
transf(5,5)=coseno(i);
transf(6,6)=1;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    fprintf(' \n');

    fprintf('La matriz de transformacion del elemento:\n');

    fprintf('%3d \n', i);
    %transf
    %Sistema global

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    kglo=transf'*kloc*transf;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    fprintf(' \n');
    fprintf('La matriz de rigidez en el sistema global en (KN/m) del elemento:\n');
    fprintf('%3d \n', i);
    %kglo

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %Cálculo de la matriz de rigidez del sistema en el sistema global

```

```

Kgaux=zeros(ngl,ngl);
Kgaux(inicial(i,1),inicial(i,1))=kglo(1,1); %
Kgaux(inicial(i,1),inicial(i,2))=kglo(1,2);
Kgaux(inicial(i,1),inicial(i,3))=kglo(1,3);
Kgaux(inicial(i,1),final(i,1))=kglo(1,4);
Kgaux(inicial(i,1),final(i,2))=kglo(1,5);
Kgaux(inicial(i,1),final(i,3))=kglo(1,6);
Kgaux(inicial(i,2),inicial(i,1))=kglo(2,1); %
Kgaux(inicial(i,2),inicial(i,2))=kglo(2,2);
Kgaux(inicial(i,2),inicial(i,3))=kglo(2,3);
Kgaux(inicial(i,2),final(i,1))=kglo(2,4);
Kgaux(inicial(i,2),final(i,2))=kglo(2,5);
Kgaux(inicial(i,2),final(i,3))=kglo(2,6);
Kgaux(inicial(i,3),inicial(i,1))=kglo(3,1); %
Kgaux(inicial(i,3),inicial(i,2))=kglo(3,2);
Kgaux(inicial(i,3),inicial(i,3))=kglo(3,3);
Kgaux(inicial(i,3),final(i,1))=kglo(3,4);
Kgaux(inicial(i,3),final(i,2))=kglo(3,5);
Kgaux(inicial(i,3),final(i,3))=kglo(3,6);
Kgaux(final(i,1),inicial(i,1))=kglo(4,1); %
Kgaux(final(i,1),inicial(i,2))=kglo(4,2);
Kgaux(final(i,1),inicial(i,3))=kglo(4,3);
Kgaux(final(i,1),final(i,1))=kglo(4,4);
Kgaux(final(i,1),final(i,2))=kglo(4,5);
Kgaux(final(i,1),final(i,3))=kglo(4,6);
Kgaux(final(i,2),inicial(i,1))=kglo(5,1); %
Kgaux(final(i,2),inicial(i,2))=kglo(5,2);
Kgaux(final(i,2),inicial(i,3))=kglo(5,3);
Kgaux(final(i,2),final(i,1))=kglo(5,4);
Kgaux(final(i,2),final(i,2))=kglo(5,5);
Kgaux(final(i,2),final(i,3))=kglo(5,6);
Kgaux(final(i,3),inicial(i,1))=kglo(6,1); %
Kgaux(final(i,3),inicial(i,2))=kglo(6,2);
Kgaux(final(i,3),inicial(i,3))=kglo(6,3);
Kgaux(final(i,3),final(i,1))=kglo(6,4);
Kgaux(final(i,3),final(i,2))=kglo(6,5);
Kgaux(final(i,3),final(i,3))=kglo(6,6);
Kaux=Kaux+Kgaux;
end
K=Kaux;
fprintf('\n');

fprintf('Matriz de rigidez global K de la estructura\n');
fprintf(' (Los grados de libertad estan ordenados en forma ascendente 1,2,3...)\n');
K

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

5.1.3.2. Pseudocódigo para la condensación de grados de libertad

(Condensacion_2D.m)

El proceso teórico se reduce a condensar grados de libertad verticales y momentos de la estructura para así formar una matriz de rigidez para efectos horizontales. Del análisis estructural anteriormente se obtuvo la matriz de rigidez de GDL libres K_{LL} se considera que

la idealización del diafragma rígido o en este caso el grado de libertad horizontal final es el grado maestro de la estructura y pertenece a cada diafragma rígido o piso de la estructura.

- El análisis inicia con el reordenamiento de los GDL que toma en consideración la suma de los grados horizontales de cada piso en la parte izquierda de la matriz y los grados a condensar en el orden Y_i , Z_i en el lado derecho de la matriz y su transpuesta conformando la nueva matriz K_{II} , el siguiente grafico representa como debe establecerse la matriz a continuación.

Pseudocódigo (Condensacion_2D.m)

```

for i=1:size(pisos,1)
    j=pisos(i,1);
    if i==1
        eval(['pis' num2str(i) '=[1:j];'])
    else
        t=pisos(i-1,1)+1;
        eval(['pis' num2str(i) '=[t:j];'])
    end
end

for i=1:size(pisos,1)
    le_pis=eval(strcat('pis',num2str(i)));
    entrada=zeros(1,size(le_pis,2));
    for j=1:size(le_pis,2)
        entrada(1,j)=3*le_pis(1,j)-2;
    end
    eval(['piso' num2str(i) '=entrada;'])
end

KEA=zeros(glc,glc);
KEA1=zeros(glc,glc);

for j=1:size(pisos,1)
    l_p=eval(strcat('piso',num2str(j)));
for i=1:size(l_p,2)
    KEA(1:glc,j)=KLL(:,l_p(1,i))+KEA(:,j);
end
for i=1:size(l_p,2)
    KEA1(j,1:glc)=KEA(l_p(1,i),:)+KEA1(j,:);
end
end
g_e=con-size(pisos,1);
vglc=[1:glc]; %vector que empieza en uno hasta glc
vglca=zeros(1,glc-con);
for i=1:glc/3
    vglca(1,2*i-1)=3*i-1;
    vglca(1,2*i)=3*i;
end
KLC1=zeros(glc,glc);
for i=1:glc-con

```

```

        KLC1(:,i)=KLL(:,vglca(i));
    end
    KLC2=zeros(glc,glc);
    for i=1:glc-con
        KLC2(i,:)=KLC1(vglca(i),:);
    end
    KII3=KLC2(1:glc-con,1:glc-con);

    n_pi=size(pisos,1);
    K1E=zeros(glc,glc);
    for i=1:size(vglca,2)
        K1E(i,:)=KEA(vglca(i),:);
    end

    K1E_EXP=K1E(1:glc-con,1:n_pi)

    KII=zeros(glc-g_e,glc-g_e);
    KII(n_pi+1:glc-g_e,1:n_pi)=K1E(1:glc-con,1:n_pi);
    KII(1:n_pi,1:n_pi)=KEA1(1:n_pi,1:n_pi);
    KIS=KII;
    KII=KII+KII';
    for i=1:n_pi
        KII(i,i)=KEA1(i,i);
    end

    KII(n_pi+1:size(KII,1),n_pi+1:size(KII,1))=KII3(:,:);

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

La matriz K_{II} tiene por consiguiente el orden de grados de libertad, donde los grados de libertad que conforman los diafragmas de la estructura se encuentra en el lado izquierdo de la matriz y los grados de libertad verticales y rotacionales se encuentra en el lado derecho de la matriz.

Formada la matriz de rigidez que idealiza el diafragma rígido de la estructura, se procede a condensar los grados de libertad verticales, este procedimiento considera las deformaciones axiales de las columnas. Este proceso en consideración consiste en ordenar los grados de libertad X_i (Diafragma Rígido) y Y_i grados verticales en el lado derecho de la nueva matriz, esta matriz servirá para conformar la matriz K_{SV} por medio del proceso matemático de condensación.

Pseudocódigo (Condensacion_2D.m)

```

    KIC1=zeros(size(KII,1),size(KII,2));
    for i=1:(size(KII,1)-size(pisos,1))/2
        KIC1(:,i)=KII(:,size(pisos,1)+2*i);
    End

```

```

KIC2=zeros(size(KII,1),size(KII,2));
for i=1:(size(KII,1)-size(pisos,1))/2
    KIC2(i,:)=KIC1(size(pisos,1)+2*i,:);
end
KIC3=zeros(size(KII,1),size(KII,2));
for i=1:(size(KII,1)-size(pisos,1))/2
    KIC3(i,:)=KIS(size(pisos,1)+2*i,:);
end
KSPA=zeros(glc-g_e-glc/3,glc-g_e-glc/3);
KSPA(n_pi+1:glc-g_e-glc/3,1:n_pi)=KIC3(1:glc/3,1:n_pi);
KSPA(1:n_pi,1:n_pi)=KEA1(1:n_pi,1:n_pi);
KSPA=KSPA+KSPA';
for i=1:n_pi
    KSPA(i,i)=KEA1(i,i);
end
KSPA(n_pi+1:size(KSPA,1),n_pi+1:size(KSPA,1))=KIC2(1:glc/3,1:glc/3);

KIC11=zeros(size(KII,1),size(KII,2));
for i=1:(size(KII,1)-size(pisos,1))/2
    KIC11(:,i)=KII(:,size(pisos,1)+2*i-1);
end
KIC22=zeros(size(KII,1),size(KII,2));

for i=1:(size(KII,1)-size(pisos,1))/2
    KIC22(i,:)=KIC11(size(pisos,1)+2*i-1,:);
end

KIC33=zeros(size(KII,1),size(KII,2));
for i=1:(size(KII,1)-size(pisos,1))/2
    KIC33(size(pisos,1)+i,:)=KIC11(size(pisos,1)+2*i,:);
end

KSV00=KSPA;
KSV11=KIC33(1:size(pisos,1)+glc/3,1:glc/3);
KSV33=KIC22(1:glc/3,1:glc/3);

KSV=KSV00-KSV11*KSV33^(-1)*KSV11';

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

La matriz K_{SV} tiene por consiguiente el orden de grados de libertad de la siguiente forma donde los grados de libertad que conforman los diafragmas de la estructura están en el lado derecho de la matriz y los grados de libertad rotacionales a lado izquierdo de la matriz.

Condensado los grados de libertad verticales de la matriz se procede a condensar los grados de libertad rotacionales, este procedimiento considera los efectos inerciales de los nudos del pórtico plano. Se utiliza la matriz K_{SV} donde los grados de libertad X_i (Diafragma Rígido) y Z_i grados rotacionales de la nueva matriz servirán para conformar la matriz KC_{POR} por medio del proceso matemático de condensación.

Pseudocódigo (Condensacion_2D.m)

```
KSV0=KSV(1:n_pi,1:n_pi);
KSV1=KSV(n_pi+1:glc-g_e-glc/3,1:n_pi);
KSV3=KSV(n_pi+1:size(KSV,1),n_pi+1:size(KSV,1));

KC_POR=KSV0-KSV1'*KSV3^(-1)*KSV1;
```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

La matriz posee los grados de libertad por piso esta matriz de rigidez sirve para análisis de una estructura para efectos horizontales, como son los sismos, esta matriz en tal caso tiene los siguientes grados horizontales (Diafragma rígido) de la siguiente forma.

5.1.3.3. Pseudocódigo para análisis pseudotridimensional (Rigidez_3D.m)

Obtenidas las rigideces de los pórticos para efectos horizontales de los pórticos bidimensionales que conforman la estructura tridimensional, se debe entender que los desplazamientos por piso de un pórtico bidimensional deben transformarse en desplazamientos para tres grados de libertad por piso de cada diafragma. La idealización consiste en ubicar los grados de libertad en el diafragma, donde generalmente se encuentran el centro de masa y los pórticos a analizar, así como el origen de las coordenadas cartesianas.

Consideramos que las fuerzas que actúan en el piso del pórtico son fuerzas locales, mientras que las que actúan en el centroide del diafragma son fuerzas globales. Estas fuerzas, consideradas para cada pórtico, se multiplican por su matriz direccional, que las transforma a coordenadas globales o actuantes en el centroide del diafragma. Esta matriz se denomina Tp a partir de ella con el principio de contragradiante, se obtienen las matrices de rigidez del pórtico Kp_i , expresadas en función de los grados de libertad de toda la

estructura tridimensional idealizada. Consecuentemente, la sumatoria de estas matrices es la matriz de rigidez de toda la estructura.

Pseudocódigo (Rigidez_3D.m)

```
%ANALISIS PSEUDOTRIDIMENSIONAL

ne=size(neje,1); %número de ejes

%d=zeros(np,1);
d=((xb-xa).^2+(yb-ya).^2).^0.5; %distancia entre extremos del
pórtico
seno=(yb-ya)./d; %inclinación seno del pórtico
cose=(xb-xa)./d; %inclinación coseno del pórtico

%Cálculo de r
for i=1:n_p
    xi=xmi(i,1);
    yi=ymi(i,1);
    eval(['r' num2str(i) '=(yi-ya).*cose-(xi-xa).*seno;'])
end
%Condicionamiento de acuerdo al número de pisos del pórtico 2D
for i=1:n_p
    reva=eval(strcat('r',num2str(i)));
    for j=1:ne
        if neje(j,1) < i
            reva(j,1)=0;
        end
    end
    eval(['r' num2str(i) '=reva;'])
end
%Obtención de matrices TP
pc=n_p:-1:1;
for i=1:ne
    tp=zeros(n_p*3,neje(i,1));
    for j=1:neje(i,1)
        tp(3*pc(1,j)-2,j)=cose(i,1);
        tp(3*pc(1,j)-1,j)=seno(i,1);
        rr=eval(strcat('r',num2str(j)));
        tp(3*pc(1,j),j)=rr(i,1);
    end
    eval(['TP' num2str(i) '=tp;'])
end
%Obtención de matrices Kp de toda la estructura por pórtico.
for i=1:ne
    tpev=eval(strcat('TP',num2str(i)));
    kcev=eval(strcat('KC_',num2str(teje(i,1))));
    kp=tpev*kcev*tpev';
    eval(['Kp' num2str(i) '=kp;']);
end
%Matriz de rigidez de toda la estructura.
KE=zeros(n_p*3,n_p*3);
for i=1:ne
    kpev=eval(strcat('Kp',num2str(i)));
    KE=kpev+KE;
end
```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Definida la matriz de Rigidez de la estructura tridimensional se determina su matriz de masa $[M_i]$ que conforma una matriz diagonal con los elementos de la diagonal que representa las masas direccionales y rotacionales por piso de la estructura en tal caso por cada diafragma se tiene $3n$ filas y $3n$ columnas donde n es el numero de pisos.

Pseudocódigo (Rigidez_3D.m)

```
MAS=fliplr(MAS_A)';
MASR=fliplr(MASR_A)';

%Matriz de masa de la estructura
masa=zeros(size(KE,1),size(KE,1));
for i=1:size(KE,1)/3
    masa(3*i-2,3*i-2)=MAS(i,1);
    masa(3*i-1,3*i-1)=MAS(i,1);
    masa(3*i,3*i)=MASR(i,1);
end
```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Con la matriz de rigidez de todo el edificio y la matriz de rigidez de masas, se conforma la ecuación de equilibrio dinámico de toda la estructura. En este caso, se realiza la solución del sistema en vibración libre. Este proceso se resume en la obtención de los eigenvectores y eigenvalores, que representan las formas modales y los valores de las frecuencias angulares, respectivamente. Este análisis debe considerar la normalización de los modos de vibración, que se ordenan de mayor a menor. Una vez normalizados los modos, se obtiene los periodos de la estructura en vibración libre y, consecuentemente, identificar las masas participativas en cada periodo de la estructura.

Pseudocódigo (Rigidez_3D.m)

```
%Solución de la ecuación dinámica de la estructura

[PHI,LAMBDA]=eig(KE,masa);
LAMB1=(LAMBDA).^(.5);
PHI=round(PHI,6);

%Obtención del vector de frecuencias
frec=zeros(size(LAMB1,1),1);
for i=1:size(LAMB1,1)
    frec(i,:)=LAMB1(i,i);
end
```

```

%Frecuencias ordenadas de menos a mayor
frecu=sort(frec);
%Posición de mayor a menor de las frecuencias (desordenado)
fr_orden=zeros(size(LAMB1,1),1);
for i=1:size(LAMB1,1)
    [a,b]=find(frec==frecu(i,1));
    fr_orden(i,:)=a(1,:);
end

%Modos ordenados de acuerdo a las frecuencias ordenadas
phi_orden=zeros(size(PHI,1),size(PHI,1));

for i=1:size(LAMB1,1)

    phi_orden(:,i)=PHI(:,fr_orden(i,:));
end
%Obtencion de la frecuencia de la estructura en Hz
frecuencia=1/(2*pi()).*frecu;
%Obtencion de los valores de normalización
a_normal=zeros(size(LAMB1,1),1);
for i=1:size(LAMB1,1)
    mf=phi_orden(:,i);
    a_normal(i,1)=1/((mf'*masa(i,i)*mf)^(.5));
end

%Modos de vibración normalizados

phi_normal=zeros(size(PHI,1),size(PHI,1));
for i=1:size(LAMB1,1)
    phi_j=phi_orden(:,i);
    phi_normal(:,i)=a_normal(i,:).*phi_j;
end

%Obtencion del periodo de la estructura en rad/sec
periodo=1./frecuencia;

xi=0.05;    %épsilon Para estructuras de concreto (AMORTIGUAMIENTO)
C=zeros(size(masa,1),size(masa,1));
for i=1:size(masa,1)
    C(i,i)=2*xi*masa(i,i)*frecu(i,1);
end
c=zeros(size(masa,1),1);
for i=1:size(masa,1)
    c(i,1)=C(i,i);
end

%Generación de matriz y
yyy=ones(3,1);
y_y=diag(yyy);
yy=zeros(n_p*3,3);    %OBSERVACION
for i=1:n_p
    yy(3*i-2:3*i,1:3)=y_y(:,:);
end

%Generación de la matriz alfa
phi_normal=PHI; %Cambiar en caso sea necesario
alfa=phi_normal'*masa*yy;
alfa2=alfa.^2;

```

```

p_mo=(alfa2./sum(alfa2)).*100;
p_mo_acu=zeros(size(alfa,1),3);
for j=1:3
    suma=0;
for i=1:size(alfa,1)
    suma=p_mo(i,j)+suma;
    p_mo_acu(i,j)=p_mo_acu(i,j)+suma;
end
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Concluido el análisis dinámico en vibración libre tenemos las formas modales *phi_normal* frecuencia y periodos de la estructura que son usados en los siguientes procesos de solución.

5.1.3.4. Pseudocódigo para el análisis sísmico dinámico tiempo historia

(Analisis_TH.m)

Definidas las variables en cuanto al movimiento libre de la estructura, es importante obtener la solución dinámica sometida a fuerzas que varían en el tiempo, como en el caso de un sismo. En este caso, se debe incorporar el amortiguamiento del material y el intervalo de la señal sísmica aplicada y las condiciones iniciales de dicha señal.

El proceso de solución se realiza utilizando el método de beta Newmark, que resuelve las ecuaciones desacopladas de la ecuación de equilibrio dinámico de la estructura. Para la solución, se deben considerar los factores beta y gamma, que definen la variación de la aceleración durante un paso de tiempo y determinan las características de estabilidad y precisión del método.

Asimismo, es esencial tener en cuenta los parámetros del oscilador, como la rigidez del sistema en cada instante de tiempo, las frecuencias naturales circulares y, muy importante, el coeficiente de amortiguamiento del material.

Pseudocódigo (Analisis_TH.m)

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%sismo
xg=load('RSN753_LOMAP_EW.txt');           %Cargar sismo
%xg=xg(:,2);                               %Tomar en cuenta si el archivo es
(tiempo,aceleracion)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Considerar si la señal posee los datos de aceleraciones columnas

```

```

%Solo una columna
%Xg=xg;
%Para 5 columnas si cambia tomar en cuenta el algoritmo de acuerdo al
%número de columnas
Xg=zeros(size(xg,1)*size(xg,2),1);
for i=1:size(xg,1)
    Xg(5*i-4:5*i,1,1)=xg(i,:)';

end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Xg=Xg(:,1); %sismo x gravedad
%f=zeros(size(masa,1),1);
%for i=1:size(masa,1);
f=Xg*9.81; %fuerza en la base
%end

%Condiciones Iniciales
d0=0;
v0=0;
%Tomar en cuenta el intervalo de tiempo verificar la información del registro
dt=0.005; %intervalo de periodo

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Newmark
for j=1:size(phi_normal,1)

%Factores gamma y tetta
gama=1/2;
beta=1/4;

% Parámetros del oscilador
k=frecu(j,1)^2;
m=1;

wn = frecu(j,1); % frecuencia natural circular
cc = c(j,1)/masa(j,j); % coef. de amortiguamiento viscoso

% Puntos a graficar
np = size(f,1); % número de puntos en f
r = zeros(np,3); % inicializar vector de respuesta

% Constantes
ks = k + (gama*cc)/(beta*dt) + m/(beta*dt^2);
a = m/(beta*dt) + (gama*cc)/beta;
b = m/(2*beta) + dt*(gama/(2*beta)-1)*cc;

% Cálculos Iniciales
a0 = (f(1) - cc*v0 - k*d0) / m; % acel. inicial
r(1,:) = [d0 v0 a0]; % condiciones iniciales

% Calculo paso a paso
for i = 1 : np-1
    dpi = f(i+1) - f(i);
    dpis = dpi + a*r(i,2) + b*r(i,3);
    ddi = dpis / ks; %
    increm. de desplazamiento
    dvi= (gama*ddi)/(beta*dt) - (gama*r(i,2)/beta) + dt*(1-gama/(2*beta))*r(i,3);
    % increm. de velocidad

```

```

    dai      = ddi/(beta*dt^2)-r(i,2)/(beta*dt)-r(i,3)/(2*beta);           %
    increm. de aceleración

    r(i+1,1) = r(i,1) + ddi;                                           % desp. para el paso
i+1
    r(i+1,2) = r(i,2) + dvi;                                           % veloc.para el paso
i+1
    r(i+1,3) = r(i,3) + dai;                                           % acel. para el paso
i+1

end

eval(['rx' num2str(j) '-r*alfa_s(j,1);'])

end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Este mismo proceso se realiza con una señal sísmica actuando en el otro componente direccional de la estructura.

Pseudocódigo (Análisis_TH.m)

```

for i=1:size(phi_normal,1)
    if alfa(i,1)==0
        r_ex=eval(strcat('rx',num2str(i)));
        eval(['r' num2str(i) '=r_ex;'])
    else
        r_ey=eval(strcat('ry',num2str(i)));
        eval(['r' num2str(i) '=r_ey;'])
    end
end
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Al realizar este proceso iterativo, se obtienen las respuestas en cada instante de tiempo como coordenadas desacopladas. Posteriormente, se calculan los desplazamientos y fuerzas en cada instante, así como las cortantes basales en dirección X y Y, y el momento torsional de la estructura en cada instante de tiempo.

Respuesta de las coordenadas desacopladas de la estructura (Análisis_TH.m)

```

figure('name','Respuesta de las coordenadas desacopladas')
subplot(3,1,1)
rr=eval(strcat('r',num2str(3*i-2)));
plot(t,rr(:,1))
xlabel('t(s)')
ylabel('(m)')
title('Modo 3*n-2')
subplot(3,1,2)
rr=eval(strcat('r',num2str(3*i-1)));
plot(t,rr(:,1))
xlabel('t(s)')

```

```

ylabel(' (m) ')
title('Modo 3*n-1')
subplot(3,1,3)
rr=eval(strcat('r',num2str(3*i)));
plot(t,rr(:,1))
xlabel('t(s)')
ylabel(' (m) ')
title('Modo 3*n')
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Desplazamientos de la estructura (Analisis_TH.m)

```

t=0:dt:np*dt-dt;
pc_inv=flip(pc);
i=pc_inv(R_nivel);
figure('name','Desplazamiento de acuerdo al piso "n" a mostrar')
subplot(3,1,1)
plot(t,U(3*i-2,:))
xlabel('t(s)')
ylabel(' (m) ')
title('Desplazamientos del piso n en la direccion X')
subplot(3,1,2)
plot(t,U(3*i-1,:))
xlabel('t(s)')
ylabel(' (m) ')
title('Desplazamientos del piso n en la direccion Y')
subplot(3,1,3)
plot(t,U(3*i,:))
xlabel('t(s)')
ylabel(' (rad) ')
title('Desplazamientos del piso n en la direccion Z')

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Fuerzas inerciales de la estructura (Analisis_TH.m)

```

t=0:dt:np*dt-dt;
i=pc(R_nivel);
figure('name','Fuerza Inercial de acuerdo al piso "n" a mostrar')
subplot(3,1,1)
plot(t,F(3*i-2,:))
xlabel('t(s)')
ylabel(' (kN) ')
title('Fuerza Inercial del piso n en la direccion X')
subplot(3,1,2)
plot(t,F(3*i-1,:))
xlabel('t(s)')
ylabel(' (kN) ')
title('Fuerza Inercial del piso n en la direccion Y')
subplot(3,1,3)
plot(t,F(3*i,:))
xlabel('t(s)')
ylabel(' (kN.m) ')
title('Fuerza Inercial del piso n en la direccion Z')

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Cortantes en X y Y y momento torsional de la estructura (Analisis_TH.m)

```

sumax=0;
sumay=0;
sumaz=0;
for i=1:n_p
    Vx=F(3*i-2, :)+sumax;
    sumax=Vx;
    Vy=F(3*i-1, :)+sumay;
    sumay=Vy;
    Tz=F(3*i, :)+sumaz;
    sumaz=Tz;
end

fprintf(' \n');
fprintf('4) CORTANTES BASALES EN X y MOMENTO TORCIONAL\n');
figure('name','Cortante en cada dirección de análisis y momento torsional en la
base')
t=0:dt:np*dt-dt;
subplot(3,1,1)
plot(t,Vx)
xlabel('t(s)')
ylabel('(kN)')
title('Vx (CORTANTE BASAL SENTIDO X) (kN)')

subplot(3,1,2)
plot(t,Vy)
xlabel('t(s)')
ylabel('(kN)')
title('Vy (CORTANTE BASAL SENTIDO Y) (kN)')

subplot(3,1,3)
plot(t,Tz)
xlabel('t(s)')
ylabel('(kN.m)')
title('Tz (MOMENTO TORCIONAL INERCIAL) (kN-m)')

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Pseudocódigo del análisis sísmico dinámico tiempo historia por pórtico

(Portico_TH_3D.m)

Del pseudocódigo de análisis dinámico en el dominio del tiempo-historia se obtiene la respuesta de la estructura, específicamente los desplazamientos de la misma. Estos se determinan a partir de las rigideces de los pórticos antes de ser condensados y ordenados. Dicho ordenamiento se realiza de forma que los grados de libertad laterales en coordenadas globales se agrupan por piso en la primera parte de la matriz, mientras que en la siguiente parte de la matriz se incluyen los grados de libertad verticales y rotacionales, organizados de manera intercalada por nodo. A partir de este procedimiento, se obtendrán

los desplazamientos y las derivas en cada pórtico, así como los cálculos de los desplazamientos máximos en cada instante de tiempo.

Preliminarmente se muestra el proceso de cálculo de la respuesta por tiempo de toda la estructura.

Pseudocódigo (Portico_TH_3D.m)

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Respuesta por tiempo de toda la estructura

fprintf(' \n');
fprintf('2) RESPUESTA POR TIEMPO DE TODA LA ESTRUCTURA\n');
fprintf('NOTA: Escribir la numeración del pórtico a almacenar (Solo números) y si
ya no necesita datos ingresar "0"\n');

R_tiempo=0.1;
while (R_tiempo~=0) && R_tiempo<=max(t)

%figure
UP=U;
    R_tiempo=input('Ingresar tiempo=');

    [x,y]=find(t==R_tiempo);

    if (R_tiempo~=0) && R_tiempo<=max(t)
        fprintf(' \n');
        fprintf('DESP. VELO. ACELE. EN EL TIEMPO (RESPUESTA POR PISO)\n');
        fprintf(' \n');
        for i=1:size(phi_normal,1)
            rr=eval(strcat('r',num2str(i)));
            fprintf('%3d      %13.3e      %13.3e      %13.3e \n', i, rr(y,1), rr(y,2),
rr(y,3));
        end
        fprintf(' \n');
        fprintf('DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA EN EL TIEMPO\n');
        disp(UP(:,y))
        fprintf(' \n');
        fprintf('FUERZA APLICADA EN LA ESTRUCTURA EN EL TIEMPO\n');
        disp(F(:,y))
        end
end
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Cálculo de la respuesta por pórtico del análisis dinámico tiempo historia

(Portico_TH_3D.m)

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fprintf(' \n');

fprintf('3) RESPUESTA POR PORTICO (ANALISIS DINAMICO TIEMPO HISTORIA)\n');
fprintf('NOTA: Ingresar valor numérico del pórtico a analizar y si ya no necesita
datos ingresar "0"\n');

```

```

R_porti=1;
while (R_porti~=0) && R_porti<=ne

    R_porti=input('Seleccionar el p3rtico en Nro=');

    if (R_porti~=0) && R_porti<=ne

%Desplazamiento
UP_P=eval(strcat('TP',num2str(R_porti)));
%figure
UP=UP_P'*U;

desmax=zeros(size(UP,1),1);
desmin=zeros(size(UP,1),1);
t=0:dt:np*dt-dt;
for i=1:size(UP,1)
    desmax(i,1)=max(UP(i,:));
    desmin(i,1)=min(UP(i,:));
    [xtma,ytma]=find(UP==desmax(i,1));
    [xtmi,ytmi]=find(UP==desmin(i,1));
    TTma(i,1)=t(ytma);
    TTmi(i,1)=t(ytmi);
end

GY=zeros(size(UP,1),size(UP,1));
for i=1:size(UP,1)
    GY(size(UP,1)+1-i,i)=1;
end

desmax=GY*desmax;
desmin=GY*desmin;
PIS=flip(PIS);

for i=1:size(UP,1)

    if i~=size(UP,1)
        derima(i,:)=((desmax(i,:)-desmax(i+1,:))/PIS(i,1))*100;
        derimin(i,:)=((desmin(i,:)-desmin(i+1,:))/PIS(i,1))*100;
    else
        derima(i,:)=(desmax(i,:)/PIS(i,1))*100;
        derimin(i,:)=(desmin(i,:)/PIS(i,1))*100;
    end
end

UP_1=GY*UP;
deriva=zeros(size(UP_1,1),np);
for i=1:size(UP_1,1)
    if i~=size(UP_1,1)
        deriva(i,:)=(UP_1(i,:)-UP_1(i+1,:))./PIS(i,1).*100;
    else
        deriva(i,:)=(UP_1(i,:))./PIS(i,1).*100;
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Vector de desplazamiento de p3rtico de grados de libertad condensados
n_ej=teje(R_porti);
KCI3=eval(strcat('KCI3_',num2str(n_ej)));

```

```

KCI2=eval(strcat('KCI2_',num2str(n_ej)));
UP_C=zeros(size(KCI3,1),size(UP_1,2));
for i=1:size(UP_1,2)
    UP_C(:,i)=-KCI3^(-1)*KCI2*UP_1(:,i);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fprintf(' \n');
fprintf('      TIEMPO      MAXIMO despl(m)  DERIVA      TIEMPO      MIN despl(m)
DERIVA\n');
for i=1:size(UP,1)
    fprintf('%9.3f      %9.4f      %9.3f      %9.3f      %9.4f      %9.3f \n', TTma(i,1),
desmax(i,1), derima(i,1), TTmi(i,1), desmin(i,1), derimin(i,1));
end
fprintf(' \n');
fprintf(' \n');
t=0:dt:np*dt-dt;
figure('name','Desplazamiento y Deriva por pisos del portico')
    subplot(2,1,1)
        plot(t,UP)
        xlabel('t(s)')
        ylabel('(m)')
        title('Desplazamiento por pisos')
    subplot(2,1,2)
        plot(t,deriva)
        xlabel('t(s)')
        ylabel('(m/s)')
        title('Deriva por pisos')

end
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

5.1.3.5. Pseudocódigo para el ingreso de la función espectral o señal sísmica para la creación del espectro de análisis (Pseudoespectral_3D.m)

Se tienen dos opciones para realizar o generar en este caso los pseudoespectro; primero en función de un registro sísmico segundo en función de un pseudoespectro de aceleración.

Inicialmente se debe cargar la función considerando que tipo de función se va a calcular en tal caso estas modificaciones se realizan en el script.

Pseudocódigo (Pseudoespectral_3D.m)

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Ingresar nombre del archivo de la señal a cargar
%Considerar que el archivo sea solo una columna
xg=load('elcentro345.txt');           %Cargar sismo
%xg=load('A_espectral_01.txt');       %Cargar sismo
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Para el primer caso, en el que se debe generar un espectro a partir de un registro sísmico, se utilizó la función de convolución o integral de Duhamel. Este método consiste en integrar la respuesta de una serie de osciladores de un grado de libertad (SDOF) con diferentes frecuencias naturales, todos sometidos al mismo registro sísmico. Las frecuencias de estos osciladores varían en función del periodo de cada instante de tiempo de la señal, considerando un oscilador con masa igual a la unidad, amortiguamiento del material y condiciones iniciales específicas.

A partir de la primera integración, se obtiene el espectro de desplazamientos. Con base en este, es posible derivar el espectro de velocidades mediante un proceso simplificado, evitando la necesidad de realizar nuevamente cálculos extensos. Para obtener el espectro de velocidades o aceleraciones, se aplica una relación cinemática entre el desplazamiento y la frecuencia angular correspondiente en cada instante de tiempo.

Pseudocódigo (Pseudoespectral_3D.m)

```

%datos iniciales

m=1;                %masa en kilos
xi=0.05;           %amortiguamiento
u0=0;              %desplazamiento inicial
v0=0;              %velocidad inicial
dt=0.02;           %Intervalo de tiempo
acele=9.81;

%Sismo
Xg=xg;
%f=Xg*9.81;        %fuerza en la base
F=Xg*acele;
%f=Xg;

T=eps:dt:4;
for j=1:length(T)
%Cálculo de las propiedades básicas de la estructura
w = 2*pi()/T(j);   %frecuencia circular
k=w^2*m;
                    %intervalo de tiempo

h=dt;
t=0:dt:(length(Xg)-1)*dt;

%solucionando
wd=w*(1-xi^2)^0.5; %frecuencia amortiguada
s=sin(wd*h);
c=cos(wd*h);
e=exp(-xi*w*h);
S=sqrt(1-xi^2);

```

```

ka=1/(m*w^3*S*h);
a11=(c+xi/S*s)*e;
a12=1/wd*s*e;
a21=-w^2*a12;
a22=(c-xi/S*s)*e;

b11=ka*(2*xi*S+(1-2*xi^2-xi*w*h)*s-(2*xi*S+wd*h)*c)*e;
b12=ka*(wd*h-2*xi*S+(-1-2*xi^2)*s+(2*xi*S)*c)*e;
b21=ka*(-wd+(w*(xi+w*h)*s+wd*c)*e);
b22=ka*(wd-(w*xi*s+wd*c)*e);

A=[a11 a12;
   a21 a22];

B=[b11 b12;
   b21 b22];

Zi=zeros(2,length(Xg));
Zk=[u0;v0];
Zi(:,1)=Zk;

for i=1:length(Xg)-1

    fi=[F(i);F(i+1)];
    Zi(:,i+1)=A*Zk+B*fi;
    Zk=Zi(:,i+1);
end

Zii=Zi;

sdd(1,j)=max(abs(Zii(1,:)));
sdv(1,j)=max(abs(Zii(2,:)));
szdv(1,j)=wd*max(abs(Zii(1,:)));
szda(1,j)=wd^2*max(abs(Zii(1,:)))/acele;

end

figure
plot(T,sdd(1:length(T)))
title('ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTOS')
figure
plot(T,szdv(1:length(T)))

title('ESPECTRO DE PZEUDO VELOCIDADES')
figure
plot(T,szda(1:length(T)))
title('ESPECTRO DE PZEUDO ACELERACIONES')

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Para el segundo caso, en el que se carga un pseudoespectro de aceleración, que puede ser de una norma de un determinado lugar, se dé considerar que de igual manera los pseudoespectro de velocidades y aceleraciones se determinan por medio de la relación cinemática entre el desplazamiento y la frecuencia angular correspondiente a cada instante de tiempo.

Pseudocódigo (Pseudoespectral_3D.m)

```

%datos iniciales

xi=0.05; %amortiguamiento
dt=0.05; %Intervalo de tiempo
acele=9.81; %Aceleración de la gravedad
dt_M=10; %Tiempo máximo

%sismo

Xg=xg;
%f=Xg*9.81; %fuerza en la base
F=Xg*acele;
%f=Xg;

T=eps:dt:dt_M;

for j=1:length(T)
%Cálculo de las propiedades básicas de la estructura
w = 2*pi()/T(j); %frecuencia circular

%solucionando
wd=w*(1-xi^2)^0.5; %frecuencia circular amortiguada

szda=F';
szdv(1,j)=szda(j)/(wd);
szdd(1,j)=szda(j)/(wd^2);

end

figure
plot(T,szdd)
title('ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTOS')
figure
plot(T,szdv)
title('ESPECTRO DE PZEUDO VELOCIDADES')

figure
plot(T,szda)
title('ESPECTRO DE PZEUDO ACELERACIONES')
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

5.1.3.6. Pseudocódigo para el análisis sísmico dinámico pseudoespectral.

(Analisis_Pseudo_3D.m)

Obtenidos los datos del análisis modal se procedió a ingresar la función espectral que nos permitirá la obtención de la respuesta de valores máximos para los grados de libertad desacoplados.

Desplazamientos máximos modales

Los desplazamientos máximos modales se obtienen con el producto de los modos de vibración modal y los valores máximos para los grados de libertad desacoplados así también es posible calcular las derivas máximas en función de los desplazamientos máximos modales calculados y las alturas exportadas en la función.

Pseudocódigo (Análisis_Pseudo_3D.m)

```

clc;
%ANALISIS MODAL ESPECTRAL

%cargar modos de vibración

phi_normal;
%cargar coeficientes de participación
alfa;
%cargar periodo de la estructura
periodo;

%Se ubica los pseudo desplazamientos en función del periodo
for i=1:length(periodo)
    x=periodo(i,1);
    SdTE(i,1)=interp1(T,sdd,x);
end

n1max=alfa.*SdTE;

rmod=0;
for i=1:length(phi_normal)/3
    rmod(3*i-2:3*i,3*i-2:3*i)=n1max(3*i-2:3*i,1:3);
end
Umod=phi_normal*rmod;

P_is=fliplr(PIS)';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

deriva=zeros(size(Umod,1),size(Umod,1));
for i=1:size(Umod,1)/3
    if i~=size(Umod,1)/3
        deriva(3*i-2,:)=((Umod(3*i-2,:)-Umod(3*i+1,:))./(P_is(i,1))).*100;
        deriva(3*i-1,:)=((Umod(3*i-1,:)-Umod(3*i+2,:))./(P_is(i,1))).*100;
        deriva(3*i,:)=((Umod(3*i,:)-Umod(3*i+3,:))./(P_is(i,1))).*100;
    else
        deriva(3*i-2,:)=Umod(3*i-2,:)./P_is(i,1).*100;
        deriva(3*i-1,:)=Umod(3*i-1,:)./P_is(i,1).*100;
        deriva(3*i,:)=Umod(3*i,:)./P_is(i,1).*100;
    end
end
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Fuerzas modales (kN)

Las fuerzas modales son determinadas multiplicando la matriz de rigidez de toda la estructura por los desplazamientos máximos correspondientes a cada modo.

```
%Fuerza modal
for i=1:size(Umod,1)
    Um=Umod(:,i);
    Fmodesp(:,i)=KE*Um;
end
```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Cortante modal de piso (kN)

Relaciona las fuerzas modales acumuladas por piso.

```
%Cortante máximo modal de piso.
Vmodesp=zeros(size(Umod,1),size(Umod,1));
suma_x=0;
suma_y=0;
suma_z=0;
for i=1:size(Umod,1)/3
    suma_x=Fmodesp(3*i-2,:)+suma_x;
    suma_y=Fmodesp(3*i-1,:)+suma_y;
    suma_z=Fmodesp(3*i,:)+suma_z;
    Vmodesp(3*i-2,:)=suma_x;
    Vmodesp(3*i-1,:)=suma_y;
    Vmodesp(3*i,:)=suma_z;
end
```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Corte Basal (kN)

El cortante en la base del edificio de cada modo se puede obtener por medio de:

```
%Cortante modal en la base
vector=ones(1,length(Umod));
%Matriz de unos diagonal
YY;
Vb=yy'*Fmodesp;
```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

Momento de vuelco con (kN.m)

El momento de vuelco en cada piso se obtiene por medio de la relación de alturas y las cortantes por grado de libertad de cada piso.

```
%Momento vuelco espectral
suma_x=0;
suma_y=0;
suma_z=0;
```

```

for i=1:size(Umod,1)/3

    fmo_x=Vmodesp(3*i-2,:)*P_is(i);
    fmo_y=Vmodesp(3*i-1,:)*P_is(i);
    fmo_z=Vmodesp(3*i,:)*P_is(i);
    suma_x=fmo_x+suma_x;

    suma_y=fmo_y+suma_y;
    suma_z=fmo_z+suma_z;
    Mvuelesp(3*i-2,:)=suma_x;
    Mvuelesp(3*i-1,:)=suma_y;
    Mvuelesp(3*i,:)=suma_z;
end

suma=0;
for j=1:size(P_is,1)
    suma=P_is(j)+suma;
    pis_1(j)=suma;
end

pis_3=fliplr(pis_1)';

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

El momento de vuelco en la base por cada modo es obtenido por medio de la relación de alturas y las fuerzas modales por grados de libertad por piso de la estructura.

```

%Momento de vuelco en la Base
Mb=yy_pis*Fmodesp;

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

5.1.3.7. Pseudocódigo para el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) para análisis dinámico pseudoespectral del pseudocódigo (Combinacion_M_RCSC.m)

Para realizar este proceso se debió calcular los desplazamientos máximos en cada modo y proseguir con la ecuación de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados se procede a realizar el cálculo de los desplazamientos horizontales máximos y procedemos con los demás cálculos de derivas máximas de entrepiso, cortante modal máxima de entrepiso, Momento de Vuelco, Fuerzas horizontales estáticas.

Pseudocódigo (Combinacion_M_RCSC.m)

```

%Método de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC)
%Desplazamientos horizontales máximos (m)
for i=1:size(Umod,1)
    suma=0;
    for j=1:size(Umod,1)
        suma=Umod(i,j)^2+suma;
    end
end

```



```

for i=1:size(Umod,1)
    suma=0;
    for j=1:size(Umod,1)
        suma=Mvueleesp(i,j)^2+suma;
    end
    Mvuel_RCSC(i,:)=suma^(1/2);
end

%Momento de vuelco en la base
suma_x=0;
suma_y=0;
suma_z=0;
for i=1:size(Umod,1)/3
    suma_x=Mb(:,3*i-2).^2+suma_x;
    suma_y=Mb(:,3*i-1).^2+suma_y;
    suma_z=Mb(:,3*i).^2+suma_z;
end

Mb_RCSC(1,:)=suma_x^(1/2);
Mb_RCSC(2,:)=suma_y^(1/2);
Mb_RCSC(3,:)=suma_z^(1/2);

%Fuerzas horizontales estáticas correspondientes

Fest_RCSC=zeros(size(Umod,1),1);
for i=1:size(Umod,1)/3
    if i==1
        Fest_RCSC(3*i-2,:)=Vmod_RCSC(3*i-2,:);
        Fest_RCSC(3*i-1,:)=Vmod_RCSC(3*i-1,:);
        Fest_RCSC(3*i,:)=Vmod_RCSC(3*i,:);
    else
        Fest_RCSC(3*i-2,:)=(Vmod_RCSC(3*i-2,:)-Vmod_RCSC(3*i-5,:));
        Fest_RCSC(3*i-1,:)=(Vmod_RCSC(3*i-1,:)-Vmod_RCSC(3*i-4,:));
        Fest_RCSC(3*i,:)=(Vmod_RCSC(3*i,:)-Vmod_RCSC(3*i-3,:));
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:size(Umod,1)/3
    pc_GDL(3*i-2,:)=pc(i);
    pc_GDL(3*i-1,:)=pc(i);
    pc_GDL(3*i,:)=pc(i);
end

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

5.1.3.8. Pseudocódigo para el método de combinación cuadrática completa (CQC) para análisis dinámico pseudoespectral del pseudocódigo (Combinacion_M_CQC.m)

Para realizar este proceso se debió calcular los desplazamientos máximos en cada modo y proseguir con la ecuación de combinación cuadrática completa y se procede a realizar el cálculo de los desplazamientos horizontales máximos y procedemos con los


```

for i=1:size(Umod,1)
    V_A=Vmodesp(i,:)*M_B_CQC*Vmodesp(i,:);
    Vmod_CQC(i,:)=V_A^(1/2);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Cortante basal maxima

for i=1:size(Umod,1)/3
    M_Vb_x(:,i)=Vb(:,3*i-2);
    M_Vb_y(:,i)=Vb(:,3*i-1);
    M_Vb_z(:,i)=Vb(:,3*i);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:size(Umod,1)/3
    for j=1:size(Umod,1)/3
        M_B_CQCX(i,j)=M_B_CQC(3*i-2,3*j-2); %
        M_B_CQCY(i,j)=M_B_CQC(3*i-1,3*j-1); %
        M_B_CQCZ(i,j)=M_B_CQC(3*i,3*j); %
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Vb_CQCX=0;
Vb_CQCY=0;
Vb_CQCZ=0;
for i=1:3
    Vbx_A=M_Vb_x(i,:)*M_B_CQCX*M_Vb_x(i,:);
    Vby_A=M_Vb_y(i,:)*M_B_CQCY*M_Vb_y(i,:);
    Vbz_A=M_Vb_z(i,:)*M_B_CQCZ*M_Vb_z(i,:);

    Vb_CQCX(i,1)=Vbx_A^(1/2);
    Vb_CQCY(i,1)=Vby_A^(1/2);
    Vb_CQCZ(i,1)=Vbz_A^(1/2);
end
Vb_CQC=zeros(3,3);
Vb_CQC(:,1)=Vb_CQCX;
Vb_CQC(:,2)=Vb_CQCY;
Vb_CQC(:,3)=Vb_CQCZ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Momento de vuelco

for i=1:size(Umod,1)
    M_A=Mvuelosp(i,:)*M_B_CQC*Mvuelosp(i,:);
    Mvuel_CQC(i,:)=M_A^(1/2);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Momento de vuelco en la base

for i=1:size(Umod,1)/3
    M_Mb_x(:,i)=Mb(:,3*i-2);
    M_Mb_y(:,i)=Mb(:,3*i-1);
    M_Mb_z(:,i)=Mb(:,3*i);
end

Mb_CQCX=0;
Mb_CQCY=0;
Mb_CQCZ=0;

```

```

for i=1:3
    Mbx_A=M_Mb_x(i,:)*M_B_CQCX*M_Mb_x(i,:)' ;
    Mby_A=M_Mb_y(i,:)*M_B_CQCY*M_Mb_y(i,:)' ;
    Mbz_A=M_Mb_z(i,:)*M_B_CQCZ*M_Mb_z(i,:)' ;

    Mb_CQCX(i,1)=Mbx_A^(1/2);
    Mb_CQCY(i,1)=Mby_A^(1/2);
    Mb_CQCZ(i,1)=Mbz_A^(1/2);
end
Mb_CQC=zeros(3,3);
Mb_CQC(:,1)=Mb_CQCX;
Mb_CQC(:,2)=Mb_CQCY;
Mb_CQC(:,3)=Mb_CQCZ;

%Fuerzas horizontales estáticas correspondientes

Fest_CQC=zeros(size(Umod,1),1);
for i=1:size(Umod,1)/3
    if i==1
        Fest_CQC(3*i-2,:)=Vmod_CQC(3*i-2,:);
        Fest_CQC(3*i-1,:)=Vmod_CQC(3*i-1,:);

        Fest_CQC(3*i,:)=Vmod_CQC(3*i,:);
    else
        Fest_CQC(3*i-2,:)=(Vmod_CQC(3*i-2,:)-Vmod_CQC(3*i-5,:));
        Fest_CQC(3*i-1,:)=(Vmod_CQC(3*i-1,:)-Vmod_CQC(3*i-4,:));
        Fest_CQC(3*i,:)=(Vmod_CQC(3*i,:)-Vmod_CQC(3*i-3,:));
    end
end

%Momento de vuelco en la Base por fuerzas estáticas
Mb_est_CQC=yy_pis*Fest_CQC;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

for i=1:size(Umod,1)/3
    pc_GDL(3*i-2,:)=pc(i);
    pc_GDL(3*i-1,:)=pc(i);
    pc_GDL(3*i,:)=pc(i);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Momento de vuelco en la Base por fuerzas estáticas
Mb_est_RCSC=yy_pis*Fest_RCSC;

```

Nota. Publicado con Matlab R2025a versión de prueba. Elaboración propia.

5.2. Análisis sísmico dinámico de estructuras tridimensionales – casos de estudios

El presente capítulo comprenderá la solución de ejemplos que permitirán la ejecución de las dimensiones de la siguiente investigación comprobando pasa a paso las soluciones por cada ejemplo considerado de acuerdo a la bibliografía descrita en cada ejemplo de análisis.

5.2.1. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 1

Consideraremos la bibliografía del texto Dinámica de estructuras aplicada al diseño sísmico, García (1998), el ejemplo 14-4, donde se describe las siguientes propiedades geométricas y de material de la estructura.

Propiedades Geométricas.

- Vigas. $0.30\text{ m} \times 0.50\text{ m}$
- Columnas: $0.30\text{ m} \times 0.30\text{ m}$

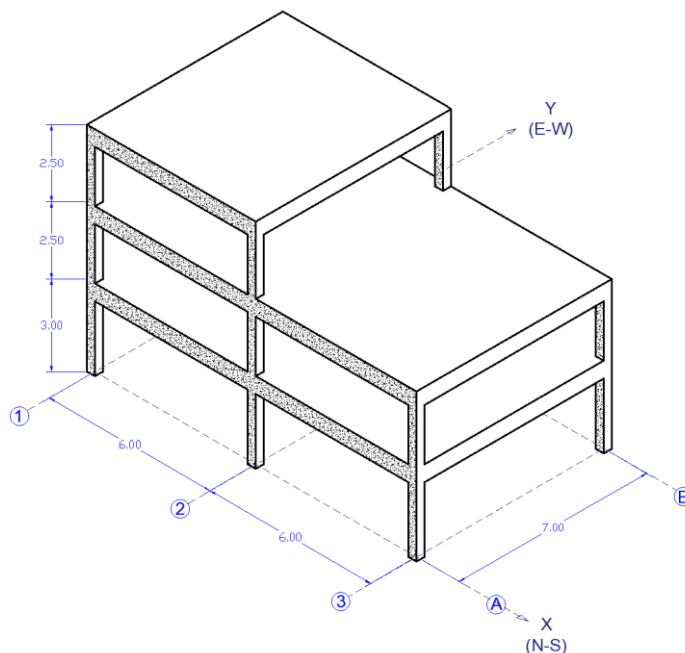
Propiedades de material.

- Módulo de elasticidad: $E = 22\text{ GPa}$
- Masa por piso: $700\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
- Amortiguamiento: $\xi = 5\%$

Las dimensiones de la estructura se muestran en la figura 27.

Figura 27

Estructura tridimensional modelo 1



Nota. Dimensiones de estructura y direcciones de la señal sísmica. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Se definen en la hoja de cálculo de ingreso, propiedades geométricas y de material de la estructura así también estos datos se dividen en información relacionada a los pórticos que conforman la estructura tridimensional. Del grafico tenemos que la estructura está conformada por cinco pórticos de los cuales tres tienen las mismas propiedades geométricas, los pórticos son los siguientes.

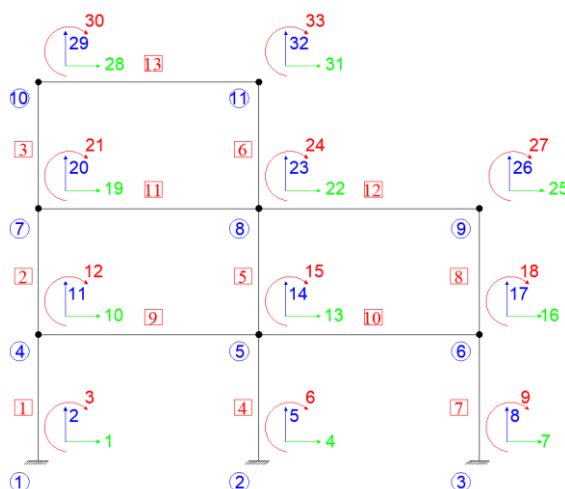
Eje A y B. se observa la formación de grados de libertad e identificaciones de los elementos geométricos para el análisis y su ingreso en la hoja de cálculo.

Se identifica los siguientes elementos de ingreso.

- Número de nodos = 11
- Número de elementos = 13
- Numero de GDL = 31

Figura 28

Pórtico A y B, perteneciente al modelo 1



Nota. Nudos, elementos y grados de libertad del pórtico. Elaboración propia.

Posterior al ingreso de la información se continuo con la ejecución de los scripts para la obtención de la matriz de rigidez de grados libres del pórtico.

Idealización dinámica de pórticos tridimensionales.

Ejecución script (Rigidez_2D.m).

De este script se obtiene los datos ingresados en el Excel referidos al análisis estructural del pórtico bidimensional, y consecuentemente se obtiene la matriz de rigidez KLL (24X24) de grados de libertad libres.

Resultados.

- Datos de ingreso de pórtico bidimensional Eje A y B.

Figura 29

Datos leídos por el script Rigidez_2D.m

INFORMACION DE LOS NUDOS					
Nudo	x (m)	y (m)	GL x	GL y	GL m
1	0	0	1	2	3
2	6	0	4	5	6
3	12	0	7	8	9
4	0	3	10	11	12
5	6	3	13	14	15
6	12	3	16	17	18
7	0	6	19	20	21
8	6	6	22	23	24
9	12	6	25	26	27
10	0	8	28	29	30
11	6	8	31	32	33

INFORMACION DE LAS BARRAS								
Elemento	E KN/m ²	Iz cm ⁴	A cm ²	L m	coseno	seno	Nudo i	Nudo j
1	22000000	312500	1500	3.00	0.000	1.000	1	4
2	22000000	312500	1500	2.50	0.000	1.000	4	7
3	22000000	312500	1500	2.50	0.000	1.000	7	10
4	22000000	312500	1500	3.00	0.000	1.000	2	5
5	22000000	312500	1500	2.50	0.000	1.000	5	8
6	22000000	312500	1500	2.50	0.000	1.000	8	11
7	22000000	312500	1500	3.00	0.000	1.000	3	6
8	22000000	312500	1500	2.50	0.000	1.000	6	9
9	22000000	67500	2000	6.00	1.000	0.000	4	5
10	22000000	67500	2000	6.00	1.000	0.000	5	6
11	22000000	67500	2000	6.00	1.000	0.000	7	8
12	22000000	67500	2000	6.00	1.000	0.000	8	9
13	22000000	67500	2000	6.00	1.000	0.000	10	11

Nota. Muestra las propiedades geométricas de los elementos y las propiedades de material ingresados del pórtico A y B. Elaboración Propia.

- Matrices KLL, KRL, KRR, KLR. (La siguiente tabla muestra la matriz KLL (24x24).

Figura 30

Matriz KLL del pórtico A y B

KLL =

1.0e+06 *

Columns 1 through 12

0.5680	0	-0.0044	-0.5500	0	0	0	0	0	-0.0114	0	-0.0143
0	1.4558	0.0115	0	-0.0038	0.0115	0	0	0	0	-0.7920	0
-0.0044	0.0115	0.0894	0	-0.0115	0.0229	0	0	0	0.0143	0	0.0119
-0.5500	0	0	1.1180	0	-0.0044	-0.5500	0	0	0	0	0
0	-0.0038	-0.0115	0	1.4596	-0.0000	0	-0.0038	0.0115	0	0	0
0	0.0115	0.0229	-0.0044	0	0.1352	0	-0.0115	0.0229	0	0	0
0	0	0	-0.5500	0	0	0.5680	0	-0.0044	0	0	0
0	0	0	0	-0.0038	-0.0115	0	1.4558	-0.0115	0	0	0
0	0	0	0	0.0115	0.0229	-0.0044	-0.0115	0.0894	0	0	0
-0.0114	0	0.0143	0	0	0	0	0	0	0.5728	0	0.0000
0	-0.7920	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5878	0.0115
-0.0143	0	0.0119	0	0	0	0	0	0	0	0.0115	0.0934
0	0	0	-0.0114	0	0.0143	0	0	0	-0.5500	0	0
0	0	0	0	-0.7920	0	0	0	0	0	-0.0038	-0.0115
0	0	0	-0.0143	0	0.0119	0	0	0	0	0.0115	0.0229
0	0	0	0	0	0	-0.0114	0	0.0143	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-0.7920	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-0.0143	0	0.0119	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0114	0	0.0143
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.7920	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0143	0	0.0119
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Columns 13 through 24

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.0114	0	-0.0143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0.7920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0143	0	0.0119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-0.0114	0	-0.0143	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-0.7920	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.0143	0	0.0119	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.5500	0	0	0	0	0	-0.0114	0	-0.0143	0	0	0	0	0
0	-0.0038	0.0115	0	0	0	0	-0.7920	0	0	0	0	0	0
0	-0.0115	0.0229	0	0	0	0.0143	0	0.0119	0	0	0	0	0
1.1228	0	0.0000	-0.5500	0	0	0	0	0	-0.0114	0	-0.0143	0	-0.0143
0	1.5916	-0.0000	0	-0.0038	0.0115	0	0	0	0	-0.7920	0	0	0
0	0	0.1392	0	-0.0115	0.0229	0	0	0	0.0143	0	0.0119	0	0.0119
-0.5500	0	0	0.5614	0	0.0143	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0.0038	-0.0115	0	0.7958	-0.0115	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.0115	0.0229	0.0143	-0.0115	0.0696	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.5614	0	0.0143	-0.5500	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.7958	0.0115	0	-0.0038	0.0115	0	0.0115
0	0	0	0	0	0	0.0143	0.0115	0.0696	0	-0.0115	0.0229	0	0.0229
-0.0114	0	0.0143	0	0	0	-0.5500	0	0	0.5614	0	0.0143	0	0.0143
0	-0.7920	0	0	0	0	0	-0.0038	-0.0115	0	0.7958	-0.0115	0	-0.0115
-0.0143	0	0.0119	0	0	0	0	0.0115	0.0229	0.0143	-0.0115	0.0696	0	0.0696

Nota. Obtenida por el script Rigidez_2D.m. Elaboración Propia.

Obteniendo así la matriz KLL que finalmente contiene los grados de libertad libres, que para el proceso de condensación se reestructura la numeración de grados de libertad por nodo como sigue en la siguiente figura 31.

Figura 31

Grados de libertad libres KLL del pórtico A y B

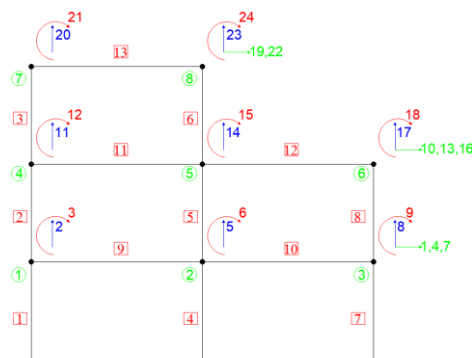
Columns 13 through 19

-0.0143	0	-0.0143	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.0143	0	-0.0143	0	-0.0143	0	-0.0143	0	0
0.0143	0	0	0	0.0143	0	0.0143	0	0.0143	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0.7920	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.0119	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0115	0	0	-0.7920	0	0	0	0	0	0	0
0.0229	0	0	0	0.0119	0	0	0	0	0	0
-0.0000	-0.0038	0.0115	0	0	-0.7920	0	0	0	0	0
0.1392	-0.0115	0.0229	0	0	0	0	0.0119	0	0	0
-0.0115	0.7958	-0.0115	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0229	-0.0115	0.0696	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.7958	0.0115	-0.0038	0.0115	0	0	0	0
0	0	0	0.0115	0.0696	-0.0115	0.0229	0	0	0	0
0	0	0	-0.0038	-0.0115	0.7958	-0.0115	0	0	0	0
0.0119	0	0	0.0115	0.0229	-0.0115	0.0696	0	0	0	0

Nota. Obtenido por el script Condensacion_2D.m. Elaboración Propia.

Figura 33

Grados de libertad de la matriz KII del pórtico A y B



Nota. GL de acuerdo a las consideraciones del marco teórico. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 34

Matriz KSV del pórtico A y B

Matriz de grados de libertad verticales condensados (KSV)

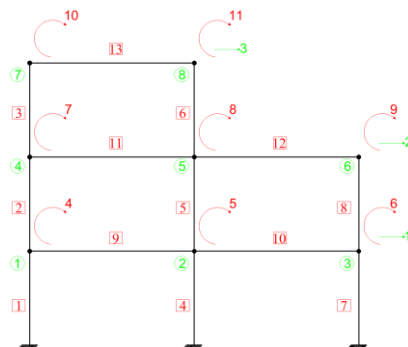
1.0e+05 *

0.5401	-0.3421	0	-0.0436	-0.0436	-0.0436	-0.1426	-0.1426	-0.1426	0	0
-0.3421	0.5702	-0.2281	0.1426	0.1426	0.1426	0	0	0.1426	-0.1426	-0.1426
0	-0.2281	0.2281	0	0	0	0.1426	0.1426	0	0.1426	0.1426
-0.0436	0.1426	0	0.8901	0.2272	0.0019	0.1151	-0.0019	0.0018	-0.0037	-0.0037
-0.0436	0.1426	0	0.2272	1.3483	0.2272	-0.0019	0.1149	-0.0020	-0.0019	-0.0019
-0.0436	0.1426	0	0.0019	0.2272	0.8901	0.0018	-0.0020	0.1150	0.0018	0.0018
-0.1426	0	0.1426	0.1151	-0.0019	0.0018	0.9266	0.2256	0.0034	0.1120	-0.0068
-0.1426	0	0.1426	-0.0019	0.1149	-0.0020	0.2256	1.3847	0.2255	-0.0035	0.1153
-0.1426	0.1426	0	0.0018	-0.0020	0.1150	0.0034	0.2255	0.6889	0.0034	0.0034
0	-0.1426	0.1426	-0.0037	-0.0019	0.0018	0.1120	-0.0035	0.0034	0.6859	0.2191
0	-0.1426	0.1426	-0.0037	-0.0019	0.0018	-0.0068	0.1153	0.0034	0.2191	0.6859

Nota. Obtenido por el script Condensacion_2D.m. Elaboración Propia.

Figura 35

Grados de libertad de la matriz KSV del pórtico A y B



Nota. Fuente: *Elaboración Propia*.

Figura 36

Matriz KC del pórtico A y B

Matriz de Rigidez Lateral (KC)

1.0e+04 *

4.8363	-3.0276	0.2359
-3.0276	4.5140	-1.8068
0.2359	-1.8068	1.5842

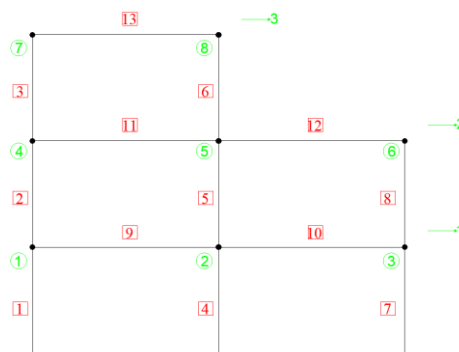
Nota. Obtenida por el script *Condensacion_2D.m*. *Elaboración Propia*.

Matriz KC descrita en la bibliografía de verificación con excepción que se encuentran invertidas las posiciones, el script *Condensacion_2D.m* realiza el proceso en sentido contrario debido al orden ascendente de los grados de libertad. En ese caso los valores pertenecientes a los grados de libertad de desplazamiento son iguales a los del texto de verificación.

$$KC = \begin{bmatrix} 15842 & -18068 & 2359 \\ -18068 & 45140 & -30276 \\ 2359 & -30276 & 48363 \end{bmatrix} \begin{matrix} U_{3X} \\ U_{2X} \\ U_{1X} \end{matrix}$$

Figura 37

Grados de libertad de la matriz KC del pórtico A y B



Nota. GL de acuerdo a las consideraciones del marco teórico. *Elaboración Propia*.

Los procesos son similares para determinar la matriz del pórtico 1, 2 y 3 obteniendo su matriz de rigidez KC para estos casos.

Figura 38

Matriz KC del pórtico 1 y 2

Matriz de Rigidez Lateral (KC)

```

1.0e+04 *

  3.1954  -2.1507   0.3299
 -2.1507   3.6692  -1.7929
  0.3299  -1.7929   1.4883

```

Nota. Obtenida por el script *Condensacion_2D.m*. Elaboración propia.

Matriz KC descrita en la bibliografía de verificación, en este caso se verifica los valores pertenecientes a los grados de libertad de desplazamiento son iguales a la bibliografía.

$$KC = \begin{bmatrix} 14883 & -17929 & 3299 \\ -17929 & 36692 & -21507 \\ 3299 & -21507 & 31954 \end{bmatrix} \begin{matrix} U_{3X} \\ U_{2X} \\ U_{1X} \end{matrix}$$

Figura 39

Matriz KC del pórtico 1 y 2

Matriz de Rigidez Lateral (KC)

```

1.0e+04 *

  3.0936  -1.7271
 -1.7271   1.4854

```

Nota. Obtenida por el script *Condensacion_2D.m*. Elaboración propia.

Matriz KC descrita en la bibliografía de verificación, en este caso se verifica los valores pertenecientes a los grados de libertad de desplazamiento son iguales a la bibliografía.

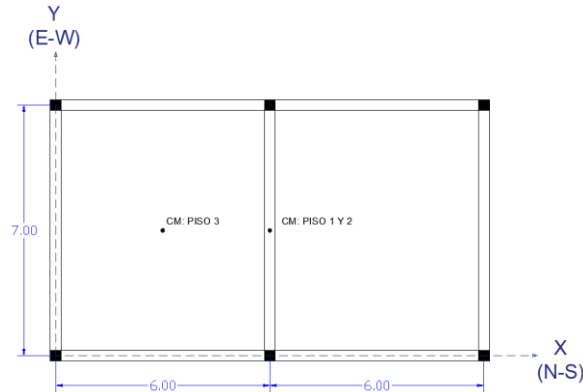
$$KC = \begin{bmatrix} 14854 & -17271 \\ -17271 & 30936 \end{bmatrix} \begin{matrix} U_{2X} \\ U_{1X} \end{matrix}$$

La idealización dinámica inicia con la formación de la estructura tridimensional con las matrices laterales KC de los pórticos analizados anteriormente. Se conforma la

estructura con los pórticos posicionando ejes coordenados en planta y ubicando en el plano el inicio y fin de los pórticos, este procedimiento se verifica en las siguientes figuras.

Figura 40

Piso 1, 2 y 3 y ubicación de pórticos y centro de masas en el plano modelo 1



Nota. Todos los niveles son iguales. Elaboración propia.

Tabla 1

Ingreso de datos para el análisis pseudotridimensional

NUMERO DE EJES DIFERENTES		3				
NUMERO DE PISOS		3				
EJE	TIPO	NIVEL	Xa	Ya	Xb	Yb
A	1	3	0	0	12	0
B	1	3	0	7	12	7
1	2	3	0	0	0	7
2	2	3	6	0	6	7
3	3	2	12	0	12	7

Nota. Ingreso en hoja de datos que conforman el modelo pseudotridimensional.

Elaboración propia.

Posterior a ello se ingresan masas y el centro de masa por piso de la estructura como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 2

Ingreso de datos que contienen las masas, centro de masa y alturas de nivel

CENTRO DE MASA			MASA (ton -ton.m)				
PISO	<u>$X_i(m)$</u>	<u>$Y_i(m)$</u>	PISO	<u>X</u>	<u>y</u>	<u>R</u>	<u>ALTURA (m)</u>
1	6	3.5	1	58.8	945.7		3
2	6	3.5	2	58.8	945.7		2.5
3	3	3.5	3	29.4	208.25		2.5

Nota. Ingreso en hoja de datos que conforman el modelo pseudotridimensional.

Elaboración propia.

Ejecución script (Rigidez_3D.m)

Se realiza el análisis pseudoespectral obteniendo de esta forma la respuesta de la estructura en vibración libre. Por medio de las matrices de transformación de coordenadas y las matrices de rigidez lateral por pórtico se obtiene matriz de rigidez lateral KE(9x9) para efectos de fuerzas laterales de la estructura tridimensional, se observa que la estructura al tener pórticos iguales, pero con posiciones diferentes al conformar la rigidez total de la estructura es por medio de las matrices de transformación de coordenadas.

Figura 41

Matriz KE del modelo 1 obtenido por el script Rigidez_3D.m

1) VARIABLE KE DE LA ESTRUCTURA

KE =

1.0e+06 *

0.0317	0	0	-0.0361	0	0	0.0047	0	0
0	0.0298	0	0	-0.0359	0.1076	0	0.0066	-0.0198
0	0	0.6560	0	0	-0.7654	0	0	0.1172
-0.0361	0	0	0.0903	0	0	-0.0606	0	0
0	-0.0359	0	0	0.0882	-0.1310	0	-0.0603	0.0254
0	0.1076	-0.7654	0	-0.1310	2.9616	0	0.0254	-2.1378
0.0047	0	0	-0.0606	0	0	0.0967	0	0
0	0.0066	0	0	-0.0603	0.0254	0	0.0948	-0.0061
0	-0.0198	0.1172	0	0.0254	-2.1378	0	-0.0061	3.4490

Nota. Matriz conformada por los pórticos de la estructura. Elaboración propia.

Matriz KE descrita en la bibliografía de verificación, en este caso los valores pertenecientes a los grados de libertad de desplazamiento son similares a los del texto de verificación.

KC

= 10³

×	31.685	0	0	-36.135	0	0	4.718	0	0	U_{3X}
	0	29.767	0	0	-35.858	107.57	0	6.598	-19.794	U_{3Y}
	0	0	656.04	0	0	-765.38	0	0	117.18	U_{3Z}
	-36.135	0	0	90.279	0	0	-60.553	0	0	U_{2X}
	0	-35.858	0	0	88.239	-131.03	0	-60.286	25.418	U_{2Y}
	0	107.57	-765.38	0	-131.03	2961.6	0	25.418	-2137.8	U_{2Z}
	4.718	0	0	-60.553	0	0	96.725	0	0	U_{1X}
	0	6.598	0	0	-60.286	25.418	0	94.845	-6.107	U_{1Y}
	0	-19.794	117.18	0	25.418	-2137.8	0	-6.107	3449.0	U_{1Z}

Así mismo el script establece posición y almacenamiento de la matriz de masa de acuerdo a lo establecido al ingresar información perteneciente a la variable “masa”.

Figura 42

Matriz masa del modelo 1

```

masa =
    29.4000     0     0     0     0     0     0     0     0
         0    29.4000     0     0     0     0     0     0     0
         0     0    208.2500     0     0     0     0     0     0
         0     0     0    58.8000     0     0     0     0     0
         0     0     0     0    58.8000     0     0     0     0
         0     0     0     0     0    945.7000     0     0     0
         0     0     0     0     0     0    58.8000     0     0
         0     0     0     0     0     0     0    58.8000     0
         0     0     0     0     0     0     0     0    945.7000

```

Nota. Datos ingresados en la hoja de cálculo de inicio y verificada por el script Rigidez_3D.m. Elaboración propia.

Así mismo el script establece el cálculo y posicionamiento de la matriz de amortiguamiento variable “C”, para análisis posteriores que no estén relacionados a este primero.

Figura 43

Matriz de amortiguamiento modal del modelo 1 obtenido por el script Rigidez_3D.m

```

c =
    1.0e+03 *
    0.0333     0     0     0     0     0     0     0     0
         0    0.0357     0     0     0     0     0     0     0
         0     0    0.3839     0     0     0     0     0     0
         0     0     0    0.2049     0     0     0     0     0
         0     0     0     0    0.2066     0     0     0     0
         0     0     0     0     0     5.0598     0     0     0
         0     0     0     0     0     0     0.3164     0     0
         0     0     0     0     0     0     0     0.3266     0
         0     0     0     0     0     0     0     0     7.5680

```

Nota. Datos ingresados en la hoja de cálculo de inicio y verificada por el script Rigidez_3D.m. Elaboración propia.

Con la información de estas dos matrices es posible conformar la ecuación de equilibrio dinámico de la estructura e iniciar la solución de valores y vectores propios, obteniendo los periodos y forma modales de la estructura.

Figura 44

Frecuencias y periodos del modelo 1 obtenido por el script Rigidez_3D.m.

PERIODOS DE LA ESTRUCTURA

MODO	w^2 (rad/s) ²	w (rad/s)	FRECUENCIA (Hz)	PERIODO (rad/s)
1	128.3952	11.3312	1.8034	0.5545
2	147.8089	12.1577	1.9350	0.5168
3	339.8792	18.4358	2.9342	0.3408
4	1214.4991	34.8497	5.5465	0.1803
5	1234.0719	35.1294	5.5910	0.1789
6	2862.6006	53.5033	8.5153	0.1174
7	2895.7420	53.8121	8.5645	0.1168
8	3085.9300	55.5511	8.8412	0.1131
9	6404.1245	80.0258	12.7365	0.0785

Nota. Se muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboración propia.

La tabla muestra los periodos y frecuencias en cada modo de la estructura del texto de verificación el cual son iguales al script de cálculo.

Tabla 3

Frecuencias y periodos del modelo 1 extraídos de la bibliografía

PERIODOS DE LA ESTRUCTURA				
Modo	w^2 (rad/s) ²	w (rad/s)	Frecuencia (Hz)	Periodo (rad/s)
1	128.4	11.33	1.803	0.5545
2	147.8	12.16	1.935	0.5168
3	339.9	18.44	2.934	0.3408
4	1214.5	34.85	5.547	0.1803
5	1235.1	35.13	5.591	0.1789
6	2862.6	53.5	8.515	0.1174
7	2895.7	53.81	8.565	0.1168
8	3085.9	55.55	8.841	0.1131
9	6404.1	80.03	12.736	0.0785

Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

La tabla muestra los periodos y frecuencias en cada modo de la estructura en el software de verificación el cual son iguales al script de cálculo.

Tabla 4

Frecuencias y periodos del modelo 1 obtenido con SAP 2000

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec
MODAL	Mode	1	0.5603	1.7848	11.2144
MODAL	Mode	2	0.5237	1.9094	11.9973
MODAL	Mode	3	0.3374	2.9634	18.6198
MODAL	Mode	4	0.1831	5.4623	34.3206
MODAL	Mode	5	0.1809	5.5265	34.7240
MODAL	Mode	6	0.1191	8.3956	52.7512
MODAL	Mode	7	0.1188	8.4181	52.8927
MODAL	Mode	8	0.1115	8.9671	56.3420
MODAL	Mode	9	0.0787	12.7125	79.8749

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Figura 45

Modos de Vibración correspondiente al modelo 1 obtenida por el script *Rigidez_3D.m*

FORMAS DE MODO

MODO 1	MODO 2	MODO 3	MODO 4	MODO 5	MODO 6		
0	-0.1086	0	-0.1323	0	0	0.0687	0	0
-0.1175	0	0.0463	0	-0.1145	0.0657	0	0.0135	0.0210
0.0040	0	-0.0265	0	-0.0132	0.0003	0	0.0559	-0.0280
0	-0.0895	0	0.0261	0	0	-0.0912	0	0
-0.0849	0	-0.0393	0	0.0169	-0.0864	0	-0.0160	-0.0155
0.0036	0	-0.0223	0	-0.0081	0.0015	0	-0.0018	0.0218
0	-0.0557	0	0.0871	0	0	0.0795	0	0
-0.0507	0	-0.0293	0	0.0867	0.0765	0	0.0129	0.0062
0.0020	0	-0.0137	0	-0.0078	0.0096	0	-0.0183	-0.0195

Nota. La figura muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboración propia.

Matriz Φ descrita en la bibliografía de verificación, en este caso los valores pertenecientes a los grados de libertad de desplazamiento son iguales a los del texto de verificación.

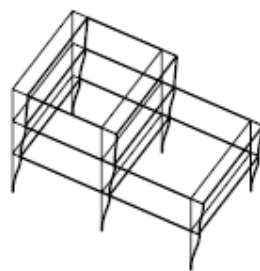
$$\Phi = \begin{bmatrix} 0 & 0.10863 & 0 & -0.13227 & 0 & 0 & -0.06870 & 0 & 0 \\ 0.11752 & 0 & -0.04630 & 0 & -0.11453 & -0.06572 & 0 & -0.01350 & -0.02100 \\ -0.00397 & 0 & 0.02647 & 0 & -0.01316 & -0.00026 & 0 & -0.05594 & 0.02799 \\ 0 & 0.08946 & 0 & 0.02609 & 0 & 0 & 0.09123 & 0 & 0 \\ 0.08491 & 0 & 0.03929 & 0 & 0.01692 & 0.08644 & 0 & 0.01596 & 0.01553 \\ -0.00357 & 0 & 0.02234 & 0 & -0.00806 & -0.00149 & 0 & 0.00182 & -0.02180 \\ 0 & 0.05571 & 0 & 0.08706 & 0 & 0 & -0.07952 & 0 & 0 \\ 0.05065 & 0 & 0.02926 & 0 & 0.08673 & -0.07654 & 0 & -0.01289 & -0.00620 \\ -0.00201 & 0 & 0.01372 & 0 & -0.00782 & -0.00960 & 0 & 0.01825 & 0.01946 \end{bmatrix}$$

Figura 46

Formas modales correspondientes al modelo 1



Modo 1 ($T_1 = 0.555$ s)



Modo 2 ($T_2 = 0.517$ s)



Modo 3 ($T_3 = 0.341$ s)

Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Tabla 5

Modos de Vibración correspondiente al modelo 1 obtenida en software SAP 2000

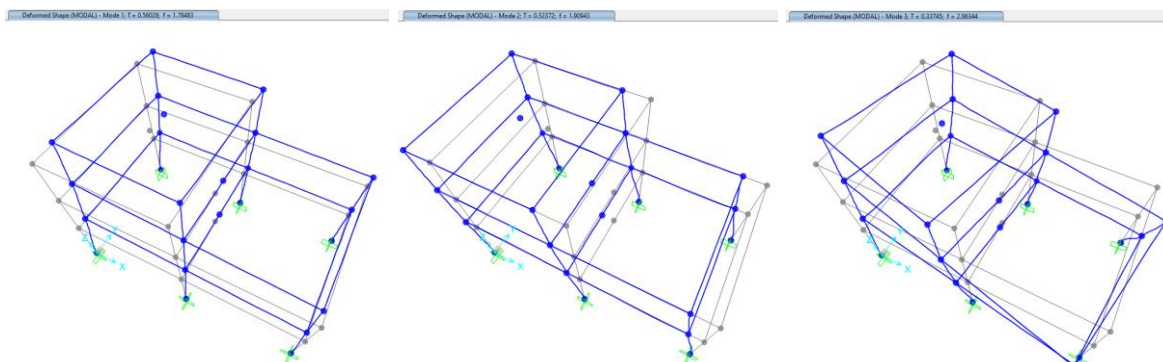
TABLE: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	Unitless	m	m	m	Radians	Radians	Radians
27 MODAL	LinModal	Mode	1		-2.248E-08	0.36658	0	0	0	-0.011411
26 MODAL	LinModal	Mode	1		-1.875E-08	0.267287	-1.99E-09	0.008243	-6.56E-10	-0.010364
25 MODAL	LinModal	Mode	1		-1.151E-08	0.159383	-3.15E-09	0.012888	-8.48E-10	-0.005875
27 MODAL	LinModal	Mode	2		-0.340432	-1.95E-08	0	0	0	-3.05E-09
26 MODAL	LinModal	Mode	2		-0.280179	-2.24E-08	0.000582	-7.20E-10	-0.010122	-2.30E-09
25 MODAL	LinModal	Mode	2		-0.174163	-1.36E-08	0.000311	-1.08E-09	-0.012652	-1.46E-09
27 MODAL	LinModal	Mode	3		1.48E-08	0.151	0	0	0	-0.082017
26 MODAL	LinModal	Mode	3		1.14E-08	-0.120427	-8.23E-11	8.50E-05	5.09E-10	-0.069679
25 MODAL	LinModal	Mode	3		7.09E-09	-0.091257	1.47E-09	-0.00612	5.24E-10	-0.043325
27 MODAL	LinModal	Mode	4		-0.414079	1.01E-08	0	0	0	-6.84E-09
26 MODAL	LinModal	Mode	4		0.082118	-1.67E-09	0.005774	-1.19E-10	-0.045851	1.02E-09
25 MODAL	LinModal	Mode	4		0.27259	-7.34E-09	0.003072	-2.37E-11	0.001337	3.28E-09
27 MODAL	LinModal	Mode	5		-1.19E-08	-0.356855	0	0	0	-0.040508
26 MODAL	LinModal	Mode	5		5.52E-09	0.051394	1.00E-08	-0.040043	-1.33E-09	-0.025826
25 MODAL	LinModal	Mode	5		6.21E-09	0.272288	-8.76E-10	0.003969	2.58E-10	-0.024667
27 MODAL	LinModal	Mode	6		-3.57E-07	-0.210058	0	0	0	-0.009204
26 MODAL	LinModal	Mode	6		4.72E-07	0.273537	1.08E-08	0.004615	-1.92E-08	-0.005053
25 MODAL	LinModal	Mode	6		-4.09E-07	-0.240517	8.74E-10	0.02219	3.93E-08	-0.026549
27 MODAL	LinModal	Mode	7		0.214951	-3.51E-07	0	0	0	-2.08E-09
26 MODAL	LinModal	Mode	7		-0.285545	4.52E-07	-0.007223	9.25E-09	0.01148	-1.21E-08
25 MODAL	LinModal	Mode	7		0.249282	-3.94E-07	-0.003826	3.65E-08	-0.023858	-4.40E-08
27 MODAL	LinModal	Mode	8		2.97E-08	-0.03366	0	0	0	-0.173312
26 MODAL	LinModal	Mode	8		-1.78E-08	0.036731	5.34E-09	-0.026354	2.73E-09	0.003755
25 MODAL	LinModal	Mode	8		8.30E-10	-0.027459	-1.90E-09	0.005293	-1.23E-09	0.059793
27 MODAL	LinModal	Mode	9		-1.18E-08	-0.061437	0	0	0	0.092038
26 MODAL	LinModal	Mode	9		1.43E-08	0.044964	-2.16E-09	0.012535	-8.35E-10	-0.068357
25 MODAL	LinModal	Mode	9		-1.16E-08	-0.01748	-3.41E-10	0.003366	1.23E-09	0.059747

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Figura 47

Primeras tres formas modales del modelo 1 obtenidas en software SAP 2000



Nota. Formas modales correspondientes a los tres primeros periodos de la estructura.

Elaboración propia.

Y se determina la masa modal de la estructura.

Figura 48

Masa modal efectiva correspondiente al modelo 1 obtenida por el script Rigidez_3D.m

MASA MODAL EFECTIVA

MODO	DIRECCION X			DIRECCION Y			DIRECCION Z		
	masa activa	Por. masa total	Por. acumu	masa activa	Por. masa total	Por. acumu	masa activa	Por. masa total	Por. acumu
1	0.00	0.00	0.00	130.56	88.82	88.82	37.25	1.77	1.77
2	137.59	93.60	93.60	0.00	0.00	88.82	0.00	0.00	1.77
3	0.00	0.00	93.60	7.13	4.85	93.66	1569.23	74.74	76.51
4	7.64	5.20	98.79	0.00	0.00	93.66	0.00	0.00	76.51
5	0.00	0.00	98.79	7.44	5.06	98.72	315.22	15.01	91.53
6	0.00	0.00	98.79	1.82	1.24	99.96	111.11	5.29	96.82
7	1.77	1.21	100.00	0.00	0.00	99.96	0.00	0.00	96.82
8	0.00	0.00	100.00	0.05	0.03	100.00	53.74	2.56	99.38
9	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	13.05	0.62	100.00

Nota. La figura muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboración propia.

Tabla 6

Masa modal efectiva extraídos del texto de verificación del modelo 1

Modo	Direccion X			Direccion Y			Direccion Z (Rotacional)		
	masa	%masa		masa	%masa		masa	%masa	
	activa	activa	% masa	activa	activa	% masa	activa	activa	% masa
1	0			130.56	88.82%	88.82%	332.247	1.77%	1.77%
2	137.59	93.60%	93.60%	0			0		
3				7.1278	4.85%	93.67%	1569.3	74.74%	76.51%
4	7.6419	5.20%	98.80%	0			0		
5	0			7.4386	5.06%	98.73%	315.21	15.01%	91.52%
6	0			1.823	1.24%	99.97%	111.11	5.29%	96.82%
7	1.7721	1.21%	100.00%	0			0		
8	0			0.047	0.03%	99.99%	53.736	2.56%	99.37%
9	0			0.0047	0.003%	100.00%	13.049	0.63%	100.00%

Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Tabla 7

Masa modal efectiva correspondientes al modelo 1 obtenidas en software SAP 2000

TABLE: Modal Participating Mass Ratios															
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.5603	4.13E-15	0.89232	0	4.13E-15	0.89232	0	0.09117	2.758E-16	0.03595	0.09117	2.758E-16	0.03595
MODAL	Mode	2	0.5237	0.93554	5.019E-15	0	0.93554	0.89232	0	1.202E-16	0.06267	7.36E-16	0.09117	0.06267	0.03595
MODAL	Mode	3	0.3374	1.61E-15	0.04448	0	0.93554	0.9368	0	0.08337	1.291E-16	0.89285	0.17453	0.06267	0.92881
MODAL	Mode	4	0.1831	0.0523	3.803E-17	0	0.98784	0.9368	0	5.731E-16	0.86764	1.141E-16	0.17453	0.93031	0.92881
MODAL	Mode	5	0.1809	7.956E-17	0.0506	0	0.98784	0.9874	0	0.76149	5.209E-16	0.01693	0.93602	0.93031	0.94573
MODAL	Mode	6	0.1191	3.237E-14	0.01244	0	0.98784	0.99984	0	0.06279	1.848E-13	0.01104	0.99882	0.93031	0.95677
MODAL	Mode	7	0.1188	0.01216	3.314E-14	0	1	0.99984	0	1.63E-13	0.06969	3.144E-14	0.99882	1	0.95677
MODAL	Mode	8	0.1115	1.108E-17	0.00014	0	1	0.99997	0	0.00036	7.902E-16	0.03147	0.99917	1	0.98824
MODAL	Mode	9	0.0787	2.555E-17	0.00002509	0	1	1	0	0.00083	1.097E-16	0.01176	1	1	1

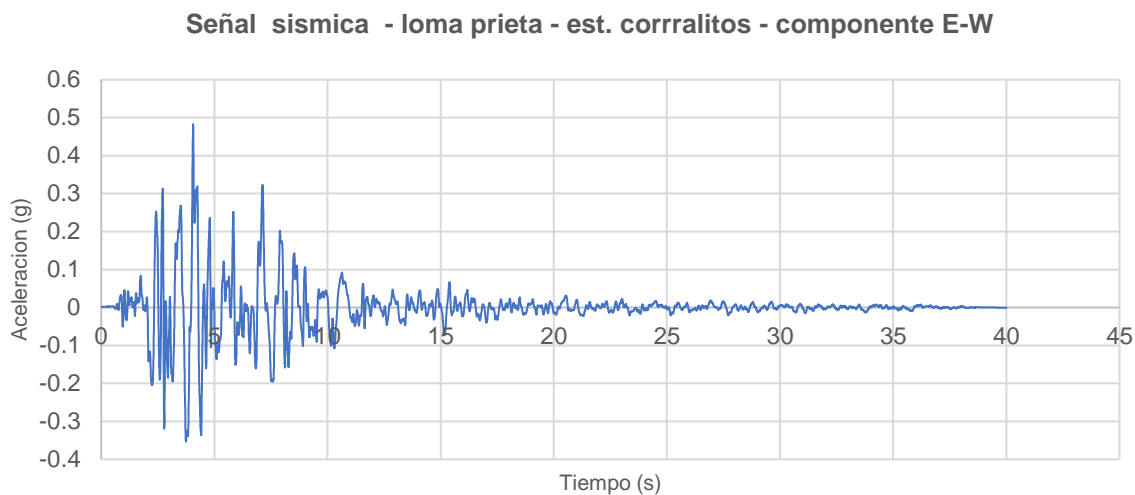
Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

5.2.2. Análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 1

El siguiente análisis se considera las señales sísmicas obtenidas de la base de datos obtenida en *PEER Ground Motion Database (2025)* del sismo de LOMA PRIETA 10/18/1989, Corralitos con paso del tiempo de 0.005, en las direcciones según el ejemplo de 90° en E-W y 0° en N-S que desde ahora denominaremos para el ejemplo LOMAP_EW y LOMAP_NS respectivamente. En la figura se muestran las señales.

Figura 49

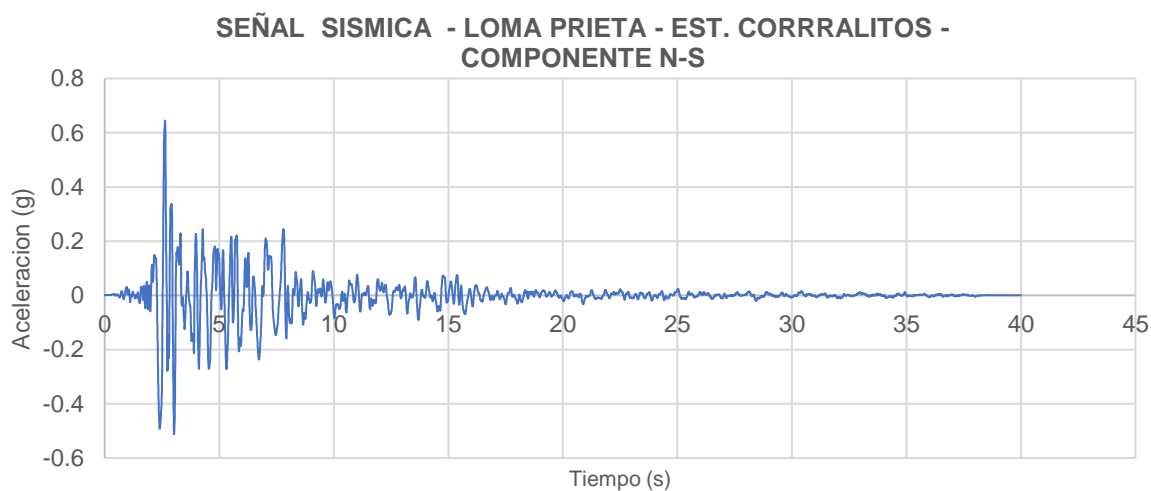
Señal sísmica de california LOMAP_EW



Nota. Registro sísmico con unidad de aceleración g. Elaboración propia.

Figura 50

Señal sísmica LOMAP_NS



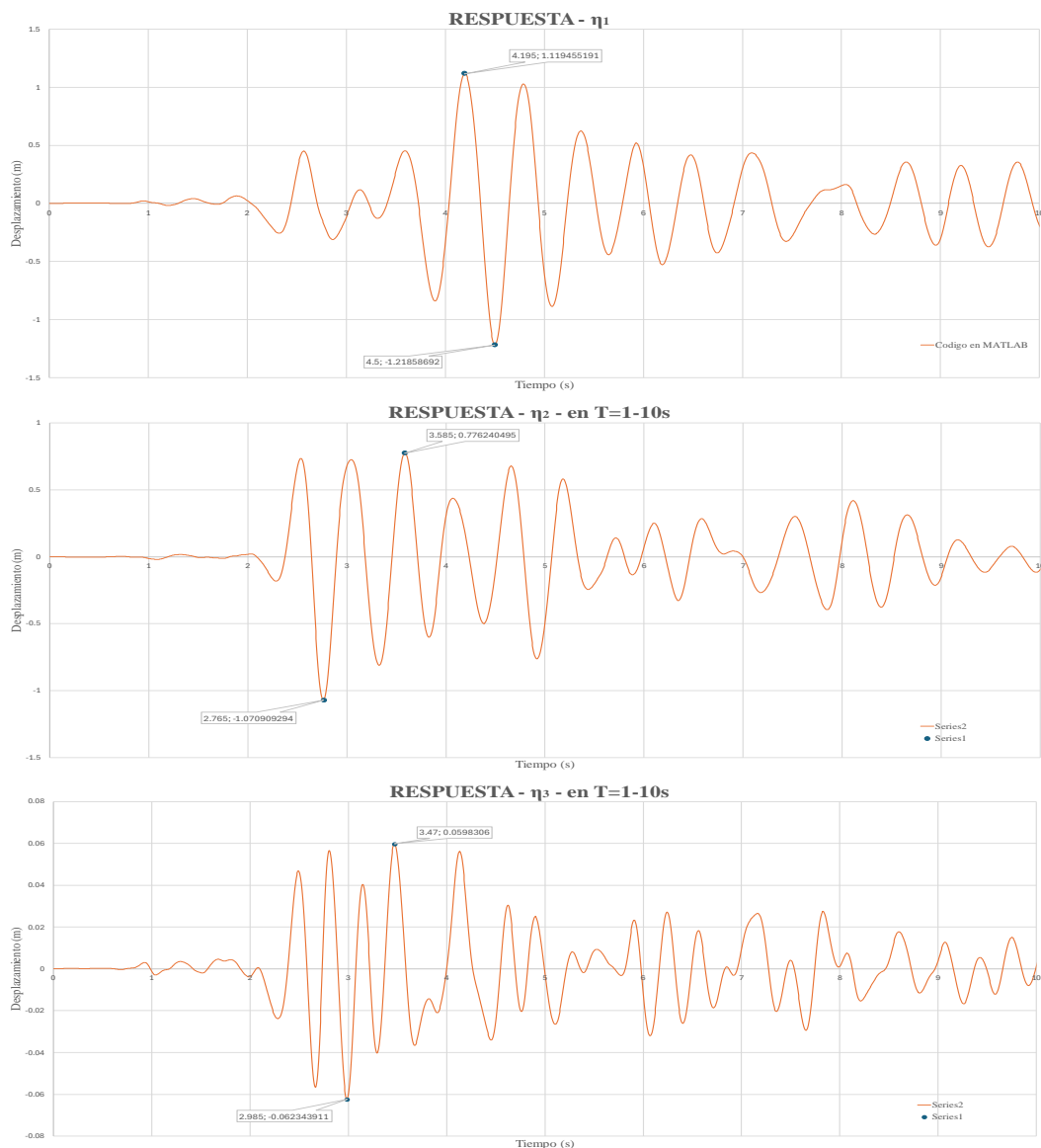
Nota. Registro sísmico con unidad de aceleración g. Elaboración propia.

Ejecución script (Análisis_TH.m).

Ingresadas las señales sísmicas consideradas anteriormente se realiza el análisis sísmico tiempo historia, obteniéndose las respuestas de desplazamiento para los tres primeros modos desacoplados η_1 , η_2 y η_3 , la figura 51 muestra los desplazamientos en el tiempo de los tres primeros modos.

Figura 51

Respuesta de desplazamientos desacoplados obtenidas por el script Analisis_TH.m



Nota. Modelo 1: Respuesta de desplazamiento de coordenadas desacopladas η_1 , η_2 y η_3 vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

La tabla muestra la verificación de valores máximos de respuesta a desplazamientos desacoplados por modo obtenidas con el script Analisis_TH.m y texto de verificación.

Tabla 8

Valores máximos de la respuesta de desplazamiento desacoplados para verificación

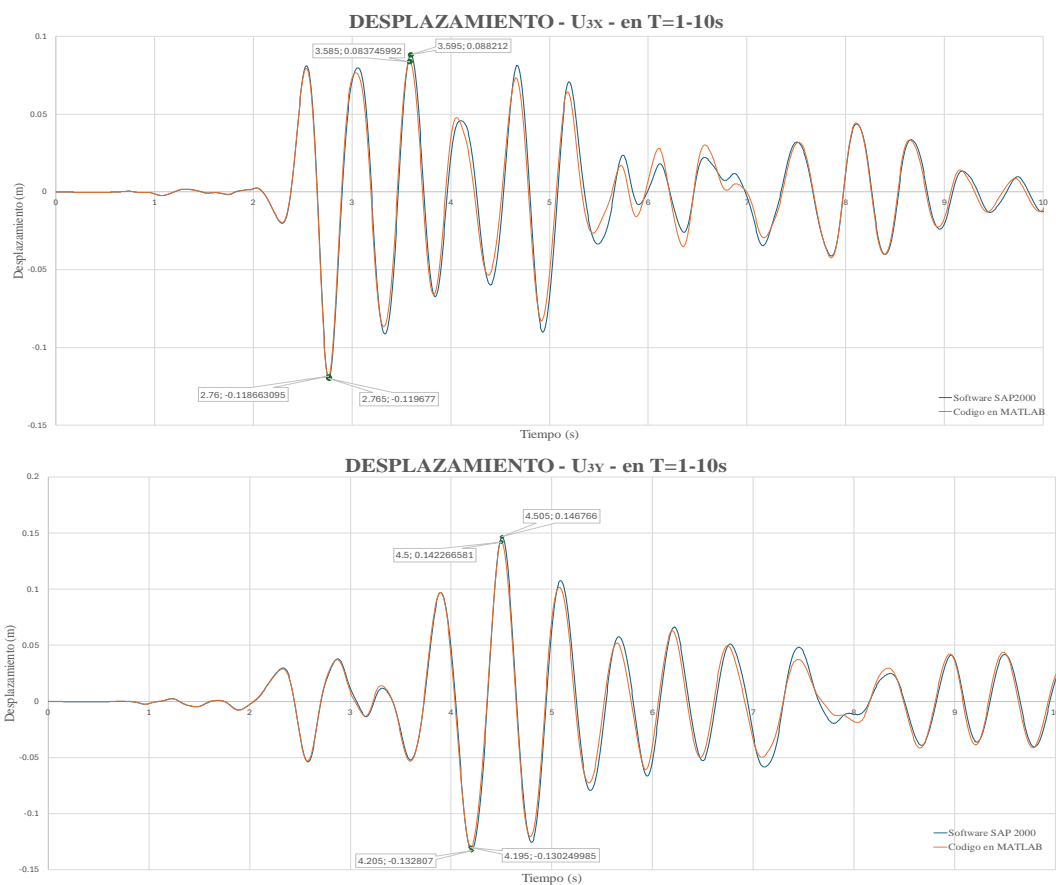
Valor	Código MATLAB		Ejm. 14.4 (García, L)	
	t (s)	η (m)	t (s)	η (m)
	η_1 EW $T_1=0.555$ s			
Max	4.500	1.1195	4.480	1.2171
Min	4.195	-1.2186	-	-
	η_2 NST $T_2=0.517$ s			
Max	3.585	0.7762	-	-
Min	2.765	-1.0709	2.760	-1.0475
	η_3 EW $T_3=0.341$ s			
Max	2.985	0.0598	2.975	0.0611
Min	3.470	-0.0623	-	-

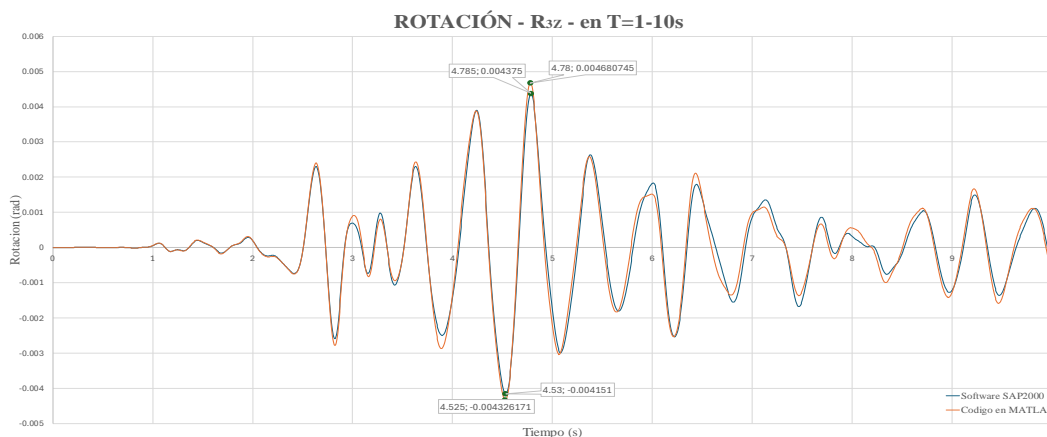
Nota. Ante la señal LOMAP-EW y LOMAP-NS. Elaboración propia.

Desplazamiento del tercer piso vs tiempo de la estructura, en la figura se muestra resultados del tercer piso.

Figura 52

Desplazamientos correspondientes al piso 3 obtenidas por script Analisis_TH.m y software SAP 2000





Nota. Modelo 1: Desplazamientos U_{3x} , U_{3y} y R_{3z} vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Tabla 9

Valores máximos de desplazamientos para verificación

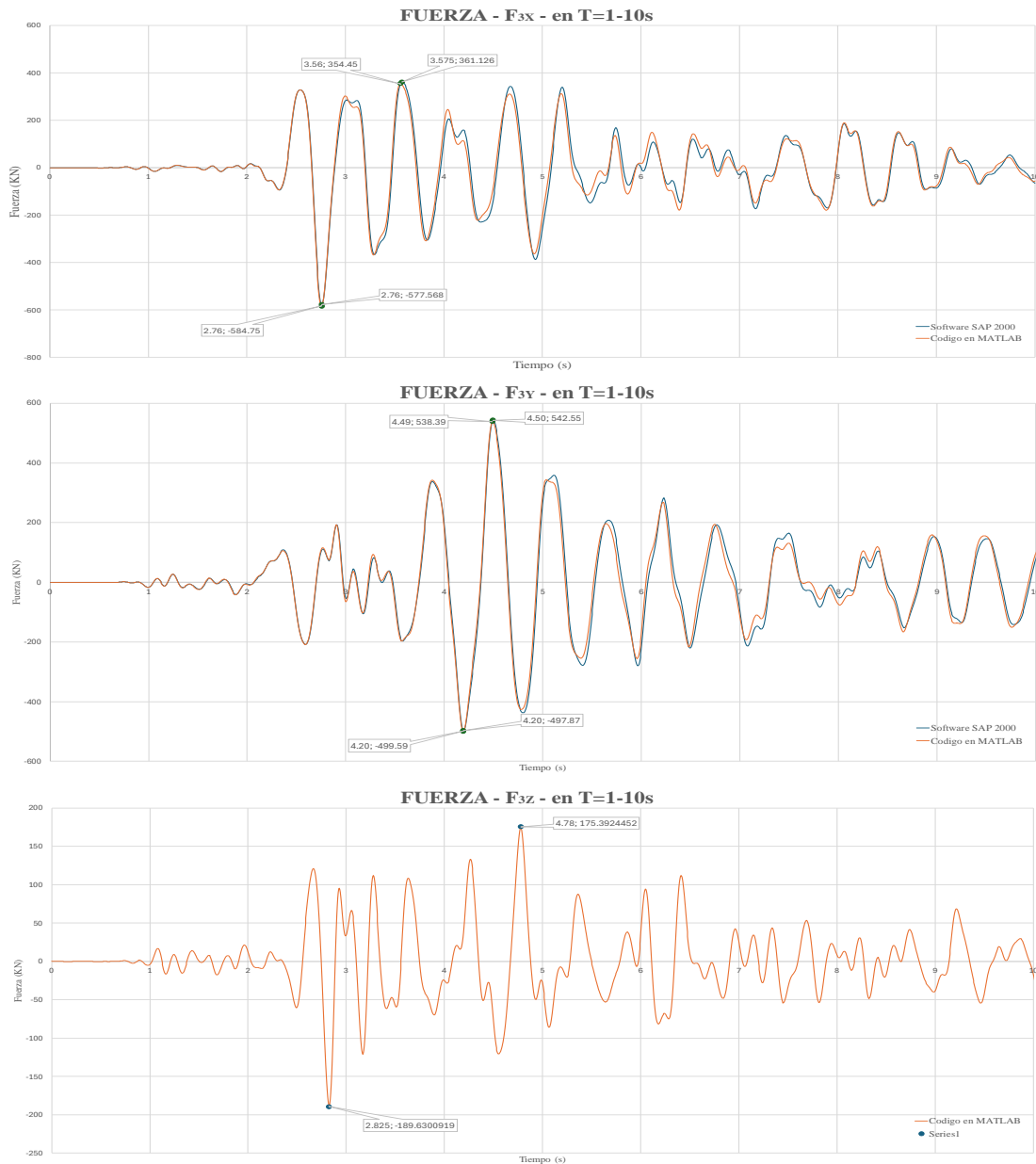
Valor	Codigo MATLAB		Ejm. 14.4 (García, L)		SAP 2000	
	t (s)	U (m)	t (s)	U (m)	t (s)	U (m)
U _{3x} Tercer piso						
Max	3.585	0.0837	-	0.0825	3.595	0.0882
Min	2.760	-0.1187	2.760	-0.1161	2.765	-0.1197
U _{3y} Tercer piso						
Max	4.500	0.1423	4.480	0.1421	4.505	0.1468
Min	4.205	-0.1328	-	-0.1299	4.195	-0.1303
U _{3z} Tercer piso						
Max	4.780	0.0047	-	0.0046	4.785	0.0044
Min	4.525	-0.0043	-	-0.0044	4.53	-0.0042

Nota. Ante la señal LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Fuerza inercial por piso de la estructura en el tiempo, en la figura se muestra resultados del tercer piso.

Figura 53

Fuerzas inercial correspondientes al piso 3, obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000



Nota. Modelo 1: Fuerzas F_{3x} , F_{3y} y F_{3z} vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Tabla 10

Valores máximos de fuerzas para verificación

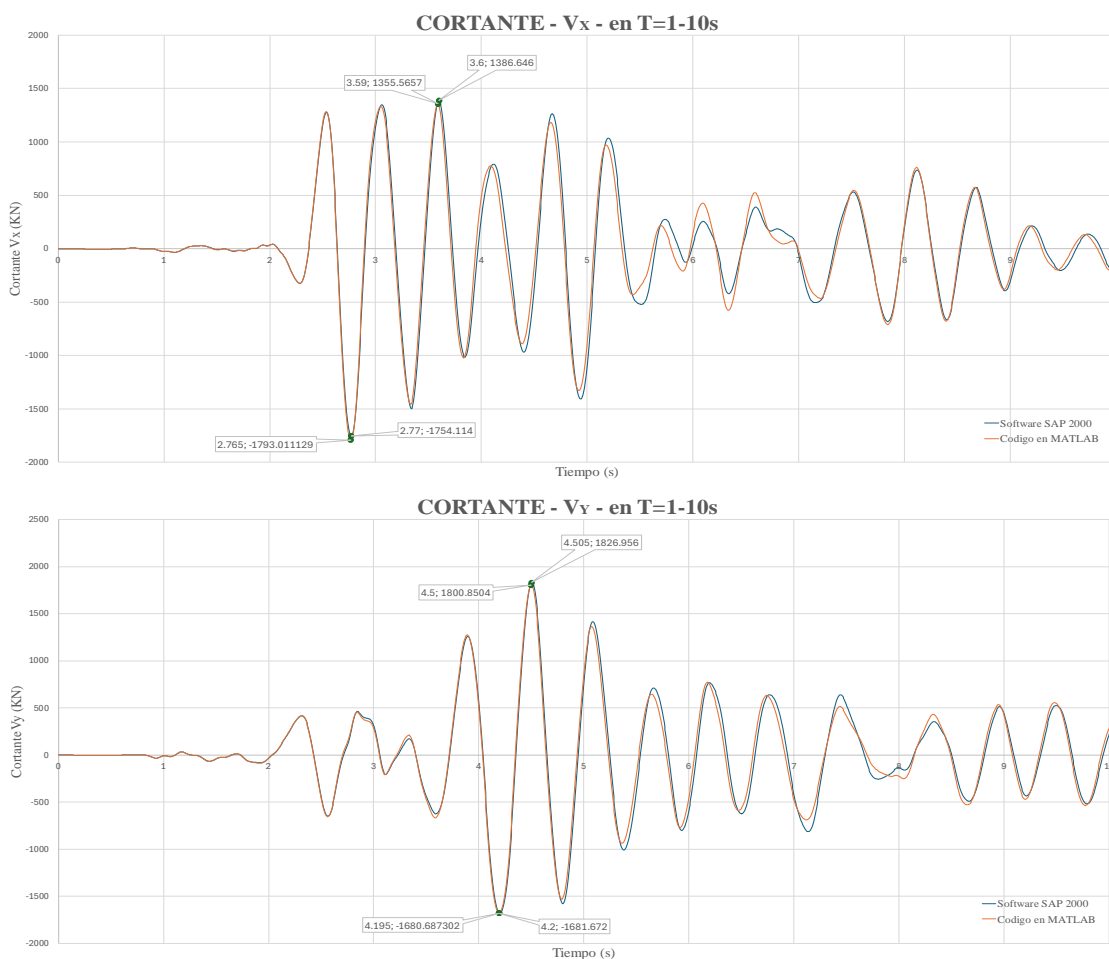
Valor	CODIGO MATLAB		Ejm. 14.4 (Garcia, L)		SAP 2000	
	t (s)	F (kN)	t (s)	F(kN)	t (s)	F(kN)
F _x Tercer piso						
Max	3.560	354.5	-	348.7	3.575	361.1
Min	2.760	-584.8	2.760	-572.7	2.760	-577.6
F _y Tercer piso						
Max	4.490	538.4	4.480	536.5	4.495	542.6
Min	4.195	-499.6	-	-496.7	4.195	-497.9
F _z Tercer piso						
Max	4.780	175.4	2.900	212.1	-	-
Min	2.825	-189.6	0	-256.2	-	-

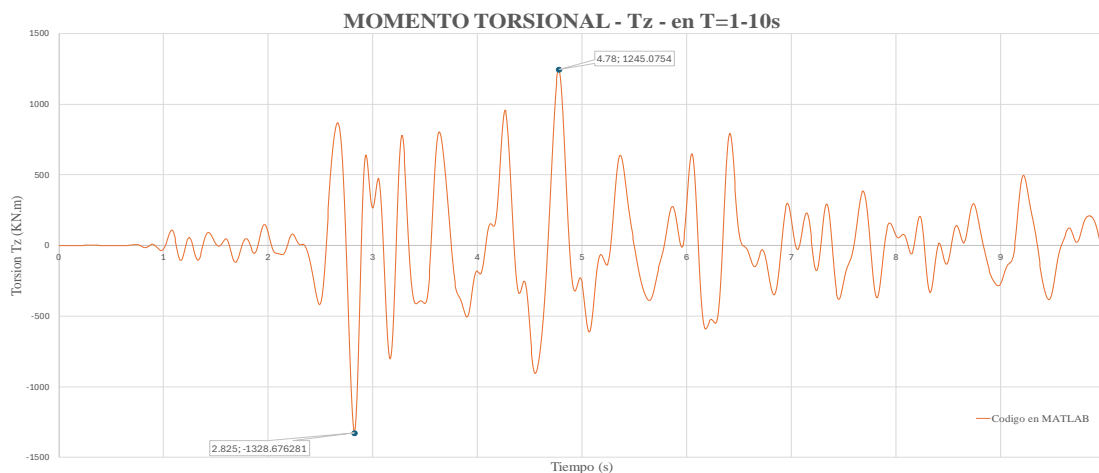
Nota. Ante la señal LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Cortante basal direcciones X y Y, momento torsional T_z en el tiempo de la estructura, en la figura se muestra resultados.

Figura 54

Cortantes y Momento Torsional correspondientes al piso 3, obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000





Nota. Modelo 1: Cortante y Torsión V_x, V_y y T_z vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Tabla 11

Valores máximos de cortantes para verificación

Valor	CODIGO MATLAB		Ejm. 14.4 (García, L)		SAP 2000	
	t (s)	V (kN)	t (s)	V(kN)	t (s)	V(kN)
Corte Basal V_x						
Max	3.590	1355.6	3.600	1340.8	3.600	1386.7
Min	2.765	-1793	2.780	-1750.0	2.770	-1754.1
Corte Basal V_y						
Max	4.500	1800.9	4.480	1799.9	4.505	1827.0
Min	4.195	-1680.7	4.180	-1676.3	4.200	-1681.7
	t (s)	T (kN.m)	t (s)	T(kN.m)	t (s)	T(kN.m)
Momento torcional inercial T_z						
Max	4.780	1245.1	4.700	1262.1	-	-
Min	2.825	-1328.7	2.800	-1368.2	-	-

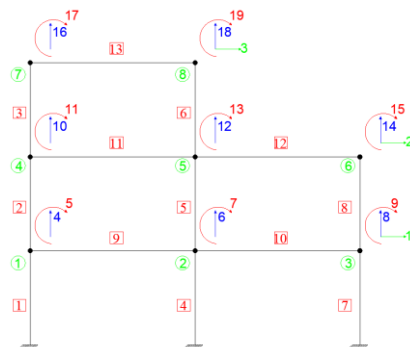
Nota. Ante la señal LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Ejecución script (Portico_TH_3D.m).

Posterior a ello se determinó los desplazamientos y derivas del pórtico A, en este caso es posible determinar los desplazamientos en cada piso del pórtico mostrando los máximos desplazamientos en la figura 56, para el cual se usa la matriz KII del pórtico de la figura 55.

Figura 55

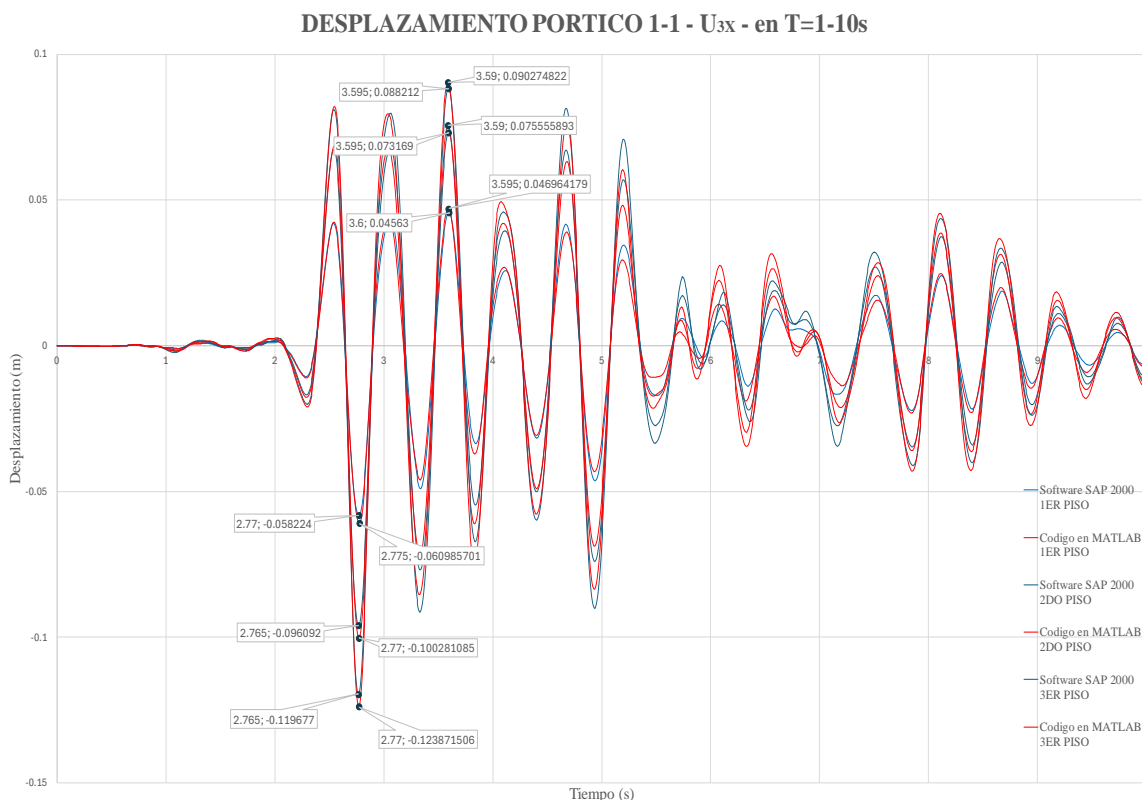
Grados de libertad de la matriz KII del pórtico A y B



Nota. La figura muestra la matriz que se conforma de acuerdo a los grados de libertad condensados. Elaboración propia.

Figura 56

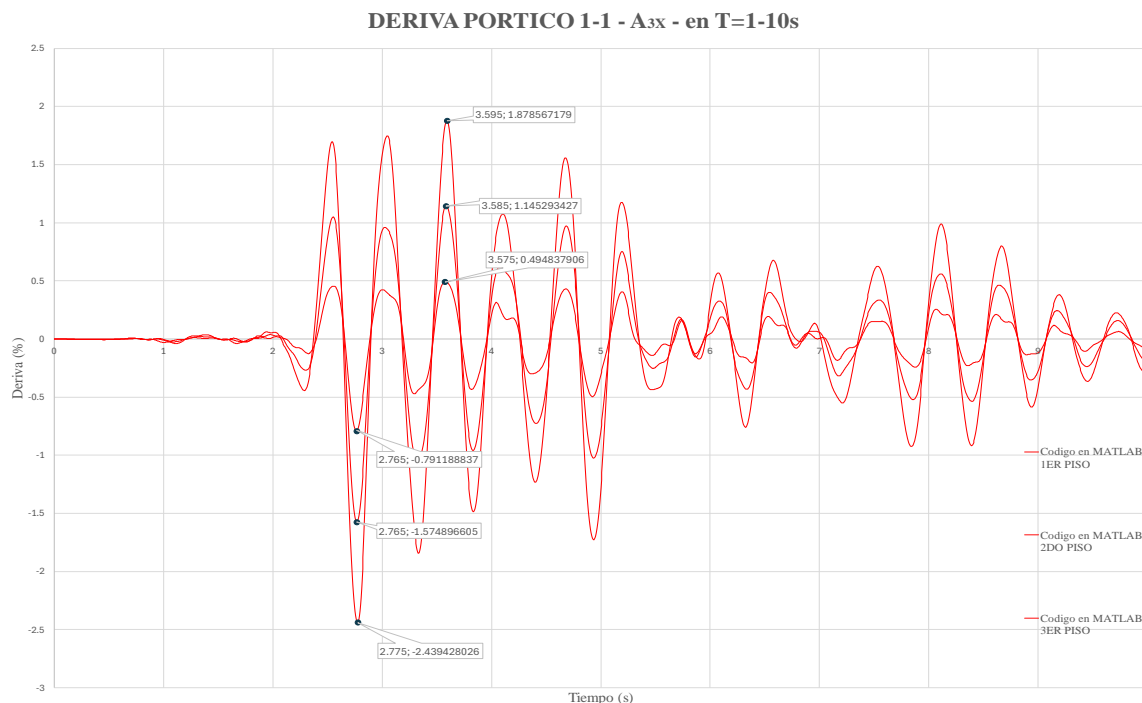
Desplazamientos correspondientes al pórtico 1-1 del modelo 1 por piso obtenidas por el script Portico_TH_3D.m y software SAP 2000



Nota. Desplazamientos $U_{1x,2x,3x}$ vs tiempo ante los componentes del sismo LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Figura 57

Derivas correspondientes al pórtico 1-1 del modelo 1 por piso obtenidas por el script *Portico_TH_3D.m* y software SAP 2000



Nota. Derivas $\Delta_{1X,2X,3X}$ vs tiempo ante los componentes del sismo LOMAP_EW y LOMAP_NS. Elaboración propia.

Así también se muestran los máximos y mínimos valores de desplazamiento y sus correspondientes derivas de tercer a primer piso.

Figura 58

Desplazamientos y derivas máximos del pórtico 1-1 del modelo 1 con el script

Portico_TH_3D.m

3) RESPUESTA POR PORTICO (ANALISIS DINAMICO TIEMPO HISTORIA)

NOTA: Ingresar valor numerico del portico a analizar y si ya no necesita datos ingresar "0"
 Seleccionar el portico en Nro=1

TIEMPO	MAXIMO despl (m)	DERIVA	TIEMPO	MIN despl (m)	DERIVA
3.590	0.0903	0.589	2.770	-0.1239	-0.944
3.590	0.0756	1.144	2.770	-0.1003	-1.572
3.595	0.0470	1.565	2.775	-0.0610	-2.033

Nota. La figura muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboración propia.

5.2.3. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 2

Consideraremos la bibliografía del texto del libro Dinámica estructura aplicada al diseño sísmico, García (1998), consideraremos el ejemplo 14-4, donde se describe las siguientes propiedades geométricas y de material de la estructura.

Propiedades Geométricas.

- Vigas. $0.40\text{ m} \times 0.50\text{ m}$
- Columnas: $0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m}$

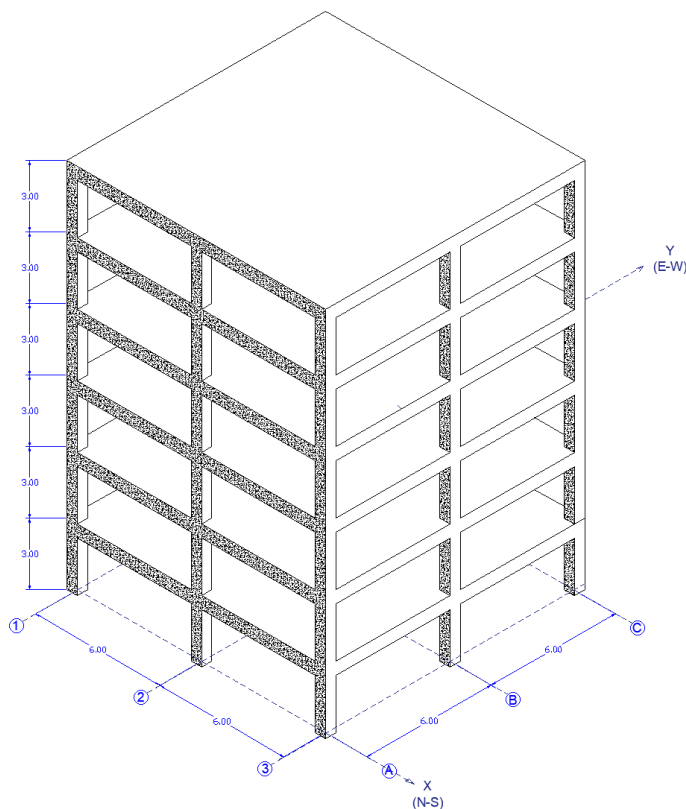
Propiedades de material.

- Módulo de elasticidad: $E = 25\text{ GPa}$
- Masa por piso: $1780\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
- Amortiguamiento: $\xi = 5\%$

Las dimensiones de la estructura se muestran en la figura 59.

Figura 59

Estructura tridimensional modelo 2



Nota. Dimensiones de estructura y direcciones de la señal sísmica. Elaboración propia.

El pórtico es el siguiente.

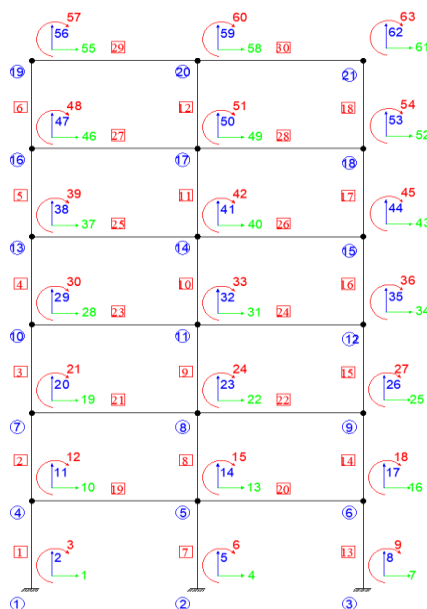
Eje A, B, C, 1, 2 y 3, se observa la formación de grados de libertad e identificaciones de los elementos geométricos para el análisis y su ingreso en la hoja de cálculo de ingreso de información.

Se identifica los siguientes elementos de ingreso.

- Número de nodos = 21
- Número de elementos = 30
- Numero de GDL = 63

Figura 60

Pórtico A, B, C, 1, 2 y 3 perteneciente al modelo 2



Nota. Nudos, elementos y grados de libertad del pórtico A. Elaboración propia.

Posterior al ingreso de la información se continuo con la ejecución de los scripts para la obtención de la matriz de rigidez de grados libres del pórtico.

Ejecución script (Rigidez_2D.m)

De este script se obtiene los datos ingresados en el Excel referidos al análisis estructural del pórtico bidimensional, y consecuentemente se obtiene la matriz de rigidez KLL (24X24) de grados de libertad libres.

Resultados.

- Datos de ingreso de pórtico bidimensional Eje A.

Figura 61

Datos leídos por el script Rigidez_2D.m

ANÁLISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS BIDIMENSIONALES
PROGRAMA: YIMY HAROL

INFORMACION DE LOS NUDOS					
Nudo	x (m)	y (m)	GL x	GL y	GL m
1	0	0	1	2	3
2	6	0	4	5	6
3	12	0	7	8	9
4	0	3	10	11	12
5	6	3	13	14	15
6	12	3	16	17	18
7	0	6	19	20	21
8	6	6	22	23	24
9	12	6	25	26	27
10	0	9	28	29	30
11	6	9	31	32	33
12	12	9	34	35	36
13	0	12	37	38	39
14	6	12	40	41	42
15	12	12	43	44	45
16	0	15	46	47	48
17	6	15	49	50	51
18	12	15	52	53	54
19	0	18	55	56	57
20	6	18	58	59	60
21	12	18	61	62	63

INFORMACION DE LAS BARRAS								
Elemento	E	Iz	A	L	coseno	seno	Nudo i	Nudo j
	KN/m ²	cm ⁴	cm ²	m				
1	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	1	4
2	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	4	7
3	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	7	10
4	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	10	13
5	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	13	16
6	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	16	19
7	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	2	5
8	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	5	8
9	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	8	11
10	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	11	14
11	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	14	17
12	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	17	20
13	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	3	6
14	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	6	9
15	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	9	12
16	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	12	15
17	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	15	18
18	25000000	520833	2500	3.00	0.000	1.000	18	21
19	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	4	5
20	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	5	6
21	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	7	8
22	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	8	9
23	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	10	11
24	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	11	12
25	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	13	14
26	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	14	15
27	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	16	17
28	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	17	18
29	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	19	20
30	25000000	416667	2000	6.00	1.000	0.000	20	21

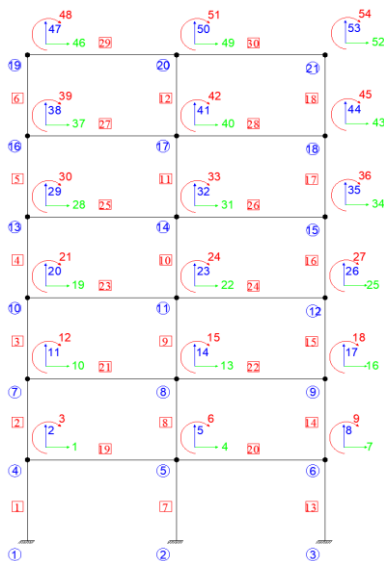
Nota. Propiedades geométricas de los elementos y las propiedades de material ingresado del pórtico A. Elaboración propia.

- Matrices KLL. (La siguiente tabla muestra la matriz KLL (54X54).

Obteniendo así la matriz KLL que finalmente contiene los grados de libertad libres, que para el proceso de condensación se reestructura la numeración de grados de libertad por nudo como sigue en la siguiente figura.

Figura 62

Grados de libertad libres KLL del pórtico A



Nota. GL de acuerdo a las consideraciones del marco teórico. Elaboración propia.

Ejecución script (Condensacion_2D.m)

Del script se obtiene la condensación de la matriz KLL de grados de libertad libres para obtener la respuesta de la matriz, primero se realiza el proceso de considerar las vigas inextensibles ($K_{II}(42 \times 42)$), para posterior a ello condensar los grados de libertad verticales ($K_{SV}(24 \times 24)$), y finalmente considerar la matriz de rigidez lateral ($K_C(6 \times 6)$) quedando con los grados de libertad como la figura 64 y obtenido la matriz como muestra la Tabla 63.

Figura 63

Matriz K_C obtenida por el script *Condensacion_2D.m* del pórtico A

Matriz de Rigidez Lateral (K_C)

$1.0e+05 *$

2.9657	-1.7327	0.4873	-0.0927	0.0172	-0.0016
-1.7327	2.5130	-1.6467	0.4703	-0.0877	0.0137
0.4873	-1.6467	2.4959	-1.6413	0.4593	-0.0652
-0.0927	0.4703	-1.6413	2.4854	-1.5914	0.3523
0.0172	-0.0877	0.4593	-1.5914	2.2287	-1.0227
-0.0016	0.0137	-0.0652	0.3523	-1.0227	0.7225

Nota. Matriz conformada por los pórticos de la estructura.: Elaboración propia.

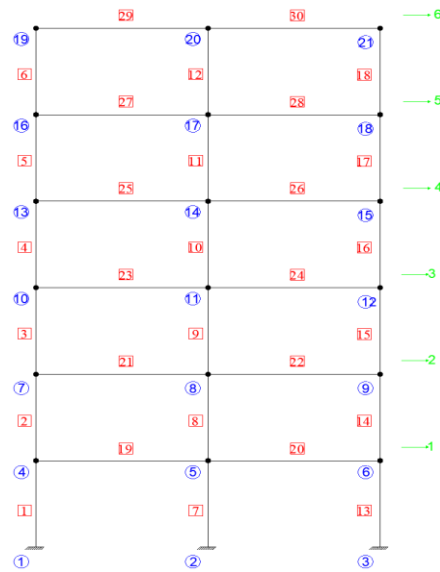
Matriz K_C descrita en la bibliografía de verificación con excepción que se encuentran invertidas las posiciones, el script *Condensacion_2D.m* realiza el proceso en sentido contrario debido al orden ascendente de los grados de libertad. En ese caso los

valores pertenecientes a los grados de libertad de desplazamiento son iguales a los del texto de verificación.

$$KC = 10^3 \times \begin{bmatrix} 72.253 & -102.26 & 35.165 & -6.5202 & 1.4274 & -0.17029 \\ -102.26 & 222.75 & -158.38 & 45.980 & -9.7917 & 1.7952 \\ 35.165 & -158.38 & 243.79 & -164.41 & 53.199 & -9.7755 \\ -6.5202 & 45.980 & -164.41 & 249.67 & -164.82 & 48.570 \\ 1.4274 & -9.7917 & 53.199 & -164.82 & 246.01 & -171.97 \\ -0.17029 & 1.7952 & -9.7755 & 48.570 & -171.97 & 296.65 \end{bmatrix} \begin{matrix} U_6 \\ U_5 \\ U_4 \\ U_3 \\ U_2 \\ U_1 \end{matrix}$$

Figura 64

Grados de libertad de la matriz KC del pórtico A

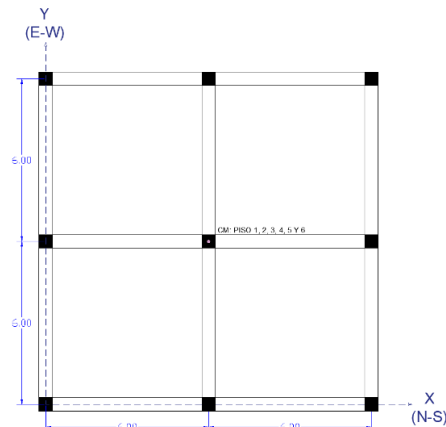


Nota. GL de acuerdo a las consideraciones del marco teórico. Elaboración propia.

Matrices laterales KC del pórtico A.

Figura 65

Piso 1 a 6 modelo 2, ubicación de pórticos en el plano y centro de masas de cada nivel



Nota. Pórticos en planta de ejes coordenados en planta. Elaboración propia.

Tabla 12

Ingreso de datos de conformación de pórticos bidimensionales

NUMERO DE EJES DIFERENTES		3					
NUMERO DE PISOS		3					
EJE	PORTICO	NIVEL	Xa	Ya	Xb	Yb	
A	1	6	0	0	12	0	
B	1	6	0	6	12	6	
C	1	6	0	12	12	12	
1	1	6	0	0	0	12	
2	1	6	6	0	6	12	
3	1	6	12	0	12	12	

Nota. Ingreso en hoja de datos que conforman el modelo pseudotridimensional.

Elaboración propia.

Posterior a ello se ingresan las masas y su centro de masa por piso de la estructura como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 13

Ingreso de datos que contienen las masas, centro de masa y alturas de nivel

CENTRO DE MASA			MASA (ton -ton.m)			
PISO	$X_i(m)$	$Y_i(m)$	PISO	X - Y	R	ALTURA (m)
1	6	6	1	256	6144	3
2	6	6	2	256	6144	3
3	6	6	3	256	6144	3
4	6	6	4	256	6144	3
5	6	6	5	256	6144	3
6	6	6	6	256	6144	3

Nota. Ingreso en hoja de datos que conforman el modelo pseudotridimensional.

Elaboración propia.

Ejecución script (Rigidez_3D.m)

Se realiza el análisis pseudotridimensional obteniendo de esta forma la respuesta de la estructura en vibración libre. Por medio de las matrices de transformación de coordenadas y las matrices de rigidez lateral por pórtico se obtiene matriz de rigidez lateral KE (18x18) para efectos de fuerzas laterales de la estructura tridimensional, se observa

que la estructura al tener pórticos iguales, pero con posiciones diferentes al conformar la rigidez total de la estructura es por medio de las matrices de transformación de coordenadas.

Figura 66

Matriz KE obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 2

```

KE =
1.0e+07 *
Columns 1 through 12
0.0217    0    0   -0.0307    0    0    0.0106    0    0   -0.0020    0    0
0    0.0217    0    0   -0.0307    0    0    0.0106    0    0   -0.0020    0
0    0    1.0405    0    0   -1.4727    0    0    0.5073    0    0   -0.0939
-0.0307    0    0    0.0669    0    0   -0.0477    0    0    0.0138    0    0
0   -0.0307    0    0    0.0669    0    0   -0.0477    0    0    0.0138    0
0    0    -1.4727    0    0    3.2094    0    0   -2.2916    0    0    0.6614
0.0106    0    0   -0.0477    0    0    0.0746    0    0   -0.0492    0    0
0    0.0106    0    0   -0.0477    0    0    0.0746    0    0   -0.0492    0
0    0    0.5073    0    0   -2.2916    0    0    3.5790    0    0   -2.3634
-0.0020    0    0    0.0138    0    0   -0.0492    0    0    0.0749    0    0
0   -0.0020    0    0    0.0138    0    0   -0.0492    0    0    0.0749    0
0    0    -0.0939    0    0    0.6614    0    0   -2.3634    0    0    3.5942
0.0004    0    0   -0.0026    0    0    0.0141    0    0   -0.0494    0    0
0    0.0004    0    0   -0.0026    0    0    0.0141    0    0   -0.0494    0
0    0    0.0197    0    0   -0.1263    0    0    0.6773    0    0   -2.3712
-0.0000    0    0    0.0005    0    0   -0.0028    0    0    0.0146    0    0
0   -0.0000    0    0    0.0005    0    0   -0.0028    0    0    0.0146    0
0    0    -0.0023    0    0    0.0248    0    0   -0.1335    0    0    0.7017

Columns 13 through 18
0.0004    0    0   -0.0000    0    0
0    0.0004    0    0   -0.0000    0
0    0    0.0197    0    0   -0.0023
-0.0026    0    0    0.0005    0    0
0   -0.0026    0    0    0.0005    0
0    0   -0.1263    0    0    0.0248
0.0141    0    0   -0.0028    0    0
0    0.0141    0    0   -0.0028    0
0    0    0.6773    0    0   -0.1335
-0.0494    0    0    0.0146    0    0
0   -0.0494    0    0    0.0146    0
0    0   -2.3712    0    0    0.7017
0.0754    0    0   -0.0520    0    0
0    0.0754    0    0   -0.0520    0
0    0    3.6188    0    0   -2.4951
-0.0520    0    0    0.0890    0    0
0   -0.0520    0    0    0.0890    0
0    0   -2.4951    0    0    4.2707

```

Nota. Matriz conformada por los pórticos de la estructura .Elaboración propia.

De acuerdo a lo presentado en el modelo 1, el script establece posición y almacenamiento de la matriz de masa por medio en lo establecido al ingresar información perteneciente a la variable “masa”.

Así mismo el script establece el cálculo y posicionamiento de la matriz de amortiguamiento variable “C”, para análisis posteriores que no estén relacionados a este primero.

Figura 67

Matriz de amortiguamiento modal obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 2

C =

1.0e+04 *

Columns 1 through 12

0.0139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.0139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.4722	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.0445	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.0445	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1.5092	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.0822	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.0822	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	2.7911	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1278	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1278	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2363
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Columns 13 through 18

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0.1765	0	0	0	0	0
0	0.1807	0	0	0	0
0	0	5.1799	0	0	0
0	0	0	0.2158	0	0
0	0	0	0	0.2496	0
0	0	0	0	0	7.3255

Nota. Datos ingresados en la hoja de cálculo de inicio y verificada por el script Rigidez_3D.m. Elaboración propia.

Con la información de estas dos matrices es posible conformar la ecuación de equilibrio dinámico de la estructura e iniciar la solución de valores y vectores propios, obteniendo los periodos y forma modales de la estructura.

Figura 68

Frecuencias y periodos obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 2

PERIODOS DE LA ESTRUCTURA

MODO	w ² (rad/s) ²	w (rad/s)	FRECUENCIA (Hz)	PERIODO (rad/s)
1	29.5372	5.4348	0.8650	1.1561
2	29.5372	5.4348	0.8650	1.1561
3	59.0743	7.6860	1.2233	0.8175
4	301.6819	17.3690	2.7644	0.3617
5	301.6819	17.3690	2.7644	0.3617
6	603.3637	24.5635	3.9094	0.2558
7	1031.8585	32.1226	5.1125	0.1956
8	1031.8585	32.1226	5.1125	0.1956
9	2063.7170	45.4282	7.2301	0.1383
10	2491.4472	49.9144	7.9441	0.1259
11	2491.4472	49.9144	7.9441	0.1259
12	4754.1292	68.9502	10.9738	0.0911
13	4754.1292	68.9502	10.9738	0.0911
14	4982.8943	70.5896	11.2347	0.0890
15	7107.8252	84.3079	13.4180	0.0745
16	7107.8252	84.3079	13.4180	0.0745
17	9508.2584	97.5103	15.5192	0.0644
18	14215.6505	119.2294	18.9759	0.0527

Nota. Se muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboración propia.

Tabla 14

Frecuencias y periodos del modelo 2 extraídos de la bibliografía

PERIODOS DE LA ESTRUCTURA				
Modo	w ²	w	Frecuencia	Periodo
	(rad/s) ²	(rad/s)	(Hz)	(rad/s)
1	29.108	5.395	0.859	1.1646
2	301.81	17.373	2.765	0.3616
3	973.78	31.205	4.966	0.2013
4	2494.3	49.943	7.948	0.1258
5	4686.5	68.458	10.896	0.0918
6	7113.8	84.344	13.424	0.0745

Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Tabla 15

Frecuencias y periodos del modelo 2 en software de verificación SAP 2000

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	1.1749	0.8511
MODAL	Mode	2	1.1749	0.8511
MODAL	Mode	3	0.7850	1.2739
MODAL	Mode	4	0.3680	2.7173
MODAL	Mode	5	0.3680	2.7173
MODAL	Mode	6	0.2483	4.0282
MODAL	Mode	7	0.1995	5.0130
MODAL	Mode	8	0.1995	5.0130
MODAL	Mode	9	0.1366	7.3181
MODAL	Mode	10	0.1289	7.7556
MODAL	Mode	11	0.1289	7.7556
MODAL	Mode	12	0.0939	10.6498
MODAL	Mode	13	0.0939	10.6498
MODAL	Mode	14	0.0893	11.2023
MODAL	Mode	15	0.0772	12.9551
MODAL	Mode	16	0.0772	12.9551
MODAL	Mode	17	0.0656	15.2547
MODAL	Mode	18	0.0542	18.4640

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboracion propia.

Figura 69

Modos correspondiente al modelo 2 obtenida por el script Rigidez_3D.m

FORMAS DE MODO											
MODO 1	MODO 2	MODO 3	MODO 4	MODO 5	MODO 6					
-0.0363	-0.0028	0	-0.0018	0.0339	0	-0.0243	0.0146	0	-0.0027	-0.0204	0.0126
-0.0028	0.0363	0	-0.0339	-0.0018	0	0.0146	0.0243	0	0.0204	-0.0027	0.0025
0	0	-0.0074	0	0	0.0069	0	0	-0.0058	0	0	0
-0.0333	-0.0026	0	-0.0006	0.0120	0	0.0132	-0.0079	0	0.0043	0.0321	-0.0313
-0.0026	0.0333	0	-0.0120	-0.0006	0	-0.0079	-0.0132	0	-0.0321	0.0043	-0.0063
0	0	-0.0068	0	0	0.0025	0	0	0.0032	0	0	0
-0.0283	-0.0022	0	0.0008	-0.0148	0	0.0292	-0.0175	0	0.0007	0.0053	0.0287
-0.0022	0.0283	0	0.0148	0.0008	0	-0.0175	-0.0292	0	-0.0053	0.0007	0.0058
0	0	-0.0058	0	0	-0.0030	0	0	0.0070	0	0	0
-0.0214	-0.0017	0	0.0018	-0.0329	0	0.0040	-0.0024	0	-0.0046	-0.0343	-0.0033
-0.0017	0.0214	0	0.0329	0.0018	0	-0.0024	-0.0040	0	0.0343	-0.0046	-0.0007
0	0	-0.0044	0	0	-0.0067	0	0	0.0010	0	0	0
-0.0133	-0.0010	0	0.0017	-0.0326	0	-0.0272	0.0163	0	0.0009	0.0068	-0.0245
-0.0010	0.0133	0	0.0326	0.0017	0	0.0163	0.0272	0	-0.0068	0.0009	-0.0049
0	0	-0.0027	0	0	-0.0067	0	0	-0.0065	0	0	0
-0.0050	-0.0004	0	0.0008	-0.0155	0	-0.0223	0.0134	0	0.0045	0.0338	0.0344
-0.0004	0.0050	0	0.0155	0.0008	0	0.0134	0.0223	0	-0.0338	0.0045	0.0069
0	0	-0.0010	0	0	-0.0032	0	0	-0.0053	0	0	0

Nota. Modos de 1 hasta el modo 12. Elaboracion propia

Matriz de modos Φ descrita en la bibliografía de verificación, en este caso los valores pertenecientes a los grados de libertad de desplazamiento son parecidos a los del texto de verificación.

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.036721 & -0.032775 & 0.029168 & -0.020667 & 0.013049 & -0.005955 \\ 0.033690 & -0.011592 & -0.014245 & 0.032483 & -0.032188 & 0.018512 \\ 0.028524 & 0.014524 & -0.034529 & 0.005317 & 0.028533 & -0.029103 \\ 0.020961 & 0.033322 & -0.005049 & -0.034504 & -0.003317 & 0.033609 \\ 0.012243 & 0.033525 & 0.031633 & 0.006893 & -0.024392 & -0.031454 \\ 0.004460 & 0.015888 & 0.025184 & 0.034025 & 0.035774 & 0.023711 \end{bmatrix}$$

Tabla 16

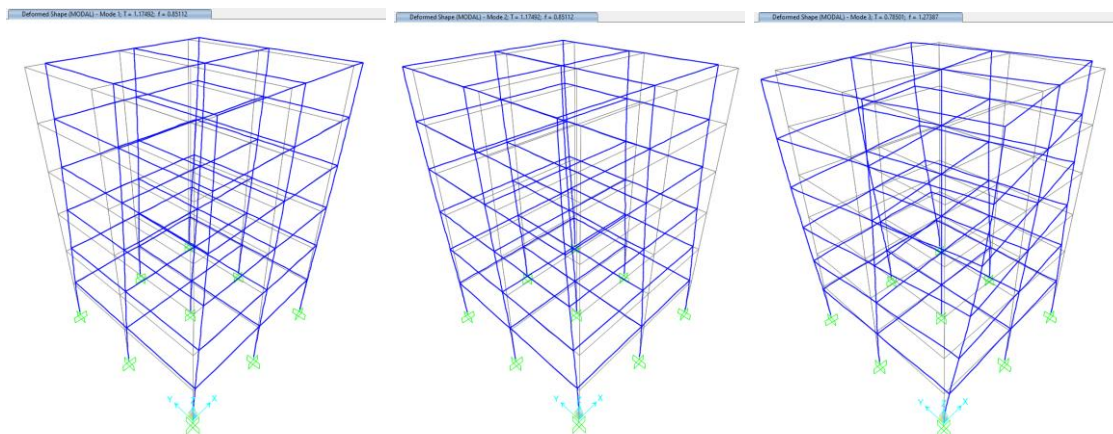
Modos de vibración correspondiente al modelo 2 obtenida en software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements										
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	Unitless	m	m	m	Radians	Radians	Radians
36	MODAL	LinModal	Mode	1	0.113893	0.001619	8.763E-20	-0.000021	0.001456	-1.747E-17
35	MODAL	LinModal	Mode	1	0.104491	0.001485	2.291E-20	-0.000042	0.002968	-2.147E-17
34	MODAL	LinModal	Mode	1	0.088785	0.001262	4.579E-20	-0.000062	0.004355	-1.007E-17
33	MODAL	LinModal	Mode	1	0.067305	0.000957	4.572E-20	-0.000078	0.005507	-1.511E-17
32	MODAL	LinModal	Mode	1	0.041797	0.000594	2.1E-20	-0.000087	0.006109	-2.994E-18
31	MODAL	LinModal	Mode	1	0.0158	0.000225	1.132E-20	-0.000075	0.005295	-1.256E-17

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboracion propia.

Figura 70

Formas modales correspondientes al modelo 2 obtenidas en software SAP 2000



Nota. Corresponde a las tres primeros modos. Elaboracion propia.

Masa modal de la estructura.

Figura 71

Masa modal efectiva correspondiente al modelo 2 obtenida por el script Rigidez_3D.m

MODO	MASA MODAL EFECTIVA								
	DIRECCION X			DIRECCION Y			DIRECCION Z		
	masa activa	Por. masa total	Por. acumu	masa activa	Por. masa total	Por. acumu	masa activa	Por. masa total	Por. acumu
1	1239.29	80.68	80.68	7.55	0.49	0.49	0.00	0.00	0.00
2	7.55	0.49	81.17	1239.29	80.68	81.17	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	81.17	0.00	0.00	81.17	29925.70	81.18	81.18
4	0.47	0.03	81.21	161.98	10.55	91.72	0.00	0.00	81.18
5	161.98	10.55	91.75	0.47	0.03	91.75	0.00	0.00	81.18
6	0.00	0.00	91.75	0.00	0.00	91.75	3898.94	10.58	91.75
7	48.75	3.17	94.92	17.53	1.14	92.89	0.00	0.00	91.75
8	17.53	1.14	96.07	48.75	3.17	96.07	0.00	0.00	91.75
9	0.00	0.00	96.07	0.00	0.00	96.07	1590.47	4.31	96.07
10	0.63	0.04	96.11	35.20	2.29	98.36	0.00	0.00	96.07
11	35.20	2.29	98.40	0.63	0.04	98.40	0.00	0.00	96.07
12	17.95	1.17	99.57	0.72	0.05	98.45	0.00	0.00	96.07
13	0.72	0.05	99.61	17.95	1.17	99.61	0.00	0.00	96.07
14	0.00	0.00	99.61	0.00	0.00	99.61	859.61	2.33	98.40
15	0.04	0.00	99.62	5.87	0.38	100.00	0.00	0.00	98.40
16	5.87	0.38	100.00	0.04	0.00	100.00	0.00	0.00	98.40
17	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	448.52	1.22	99.61
18	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	142.07	0.39	100.00

Nota. Se muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboracion propia.

Tabla 17

Masa modal efectiva extraídos del texto de verificación del modelo 2

Modo	Direccion X		
	masa activ	%masa act	% masa
1	1222.901	79.62%	79.62%
2	183.332	11.93%	9.55%
3	67.784	4.41%	95.96%
4	36.336	2.37%	98.33%
5	19.976	1.30%	99.30%
6	5.693	0.37%	100.00%

Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Tabla 18

Masa modal efectiva correspondientes al modelo 2 obtenidas en software SAP 2000

TABLE: Modal Participating Mass Ratios																
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
MODAL	Mode	1	1.174918	0.812232	0.000164	0	0.812232	0.000164	0	0.000037	0.182747	0	0.000037	0.182747	0	
MODAL	Mode	2	1.174918	0.000164	0.812232	0	0.812396	0.812396	0	0.182747	0.000037	0	0.182784	0.182784	0	
MODAL	Mode	3	0.785008	0	0	0	0.812396	0.812396	0	0	0	0.818231	0.182784	0.182784	0.818231	
MODAL	Mode	4	0.368007	0.008631	0.097178	0	0.821028	0.909574	0	0.537894	0.047775	0	0.720678	0.230559	0.818231	
MODAL	Mode	5	0.368007	0.097178	0.008631	0	0.918206	0.918206	0	0.047775	0.537894	0	0.768453	0.768453	0.818231	
MODAL	Mode	6	0.24825	0	0	0	0.918206	0.918206	0	0	0	0.10236	0.768453	0.768453	0.92059	
MODAL	Mode	7	0.19948	0.003188	0.039924	0	0.921394	0.95813	0	0.086135	0.006878	0	0.854588	0.775332	0.92059	
MODAL	Mode	8	0.19948	0.039924	0.003188	0	0.961318	0.961318	0	0.006878	0.086135	0	0.861466	0.861466	0.92059	
MODAL	Mode	9	0.136647	0	0	0	0.961318	0.961318	0	0	0	0.04203	0.861466	0.861466	0.96262	
MODAL	Mode	10	0.128939	0.018363	0.004776	0	0.979681	0.966094	0	0.018493	0.071105	0	0.87996	0.932571	0.96262	
MODAL	Mode	11	0.128939	0.004776	0.018363	0	0.984457	0.984457	0	0.071105	0.018493	0	0.951065	0.951065	0.96262	
MODAL	Mode	12	0.093899	0.000067	0.011802	0	0.984524	0.996259	0	0.035372	0.000201	0	0.986437	0.951266	0.96262	
MODAL	Mode	13	0.093899	0.011802	0.000067	0	0.996326	0.996326	0	0.000201	0.035372	0	0.986638	0.986638	0.96262	
MODAL	Mode	14	0.089267	0	0	0	0.996326	0.996326	0	0	0	0.022419	0.986638	0.986638	0.985039	
MODAL	Mode	15	0.07719	0.002667	0.001007	0	0.998993	0.997333	0	0.003662	0.0097	0	0.9903	0.996338	0.985039	
MODAL	Mode	16	0.07719	0.001007	0.002667	0	1	1	0	0.0097	0.003662	0	1	1	0.985039	
MODAL	Mode	17	0.065554	0	0	0	1	1	0	0	0	0.011449	1	1	0.996488	
MODAL	Mode	18	0.05416	0	0	0	1	1	0	0	0	0.003512	1	1	1	

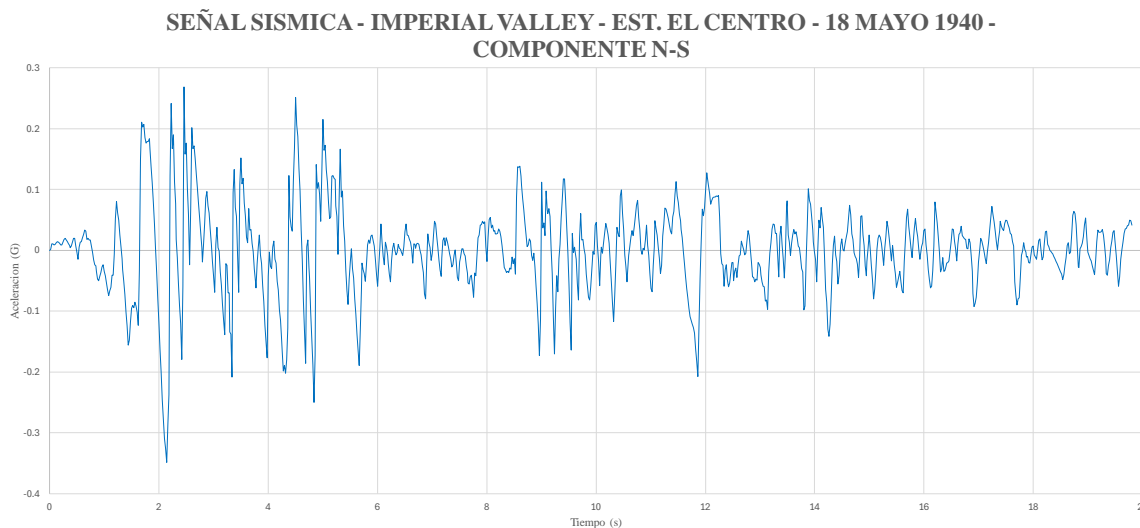
Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

5.2.4. Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 2

El siguiente análisis se considera la señal sísmica del sismo IMPERIAL VALLEY 18/05/1940, El centro, 90 y 0, con paso del tiempo de 0.02, en las direcciones según el ejemplo de 180° en N-S que desde denominaremos para el ejemplo IV-1940 respectivamente, en la figura 72 se muestran las señales.

Figura 72

Señal sísmica de IV-1940.



Nota. Registro sísmico con unidad de aceleración g. Elaboración propia.

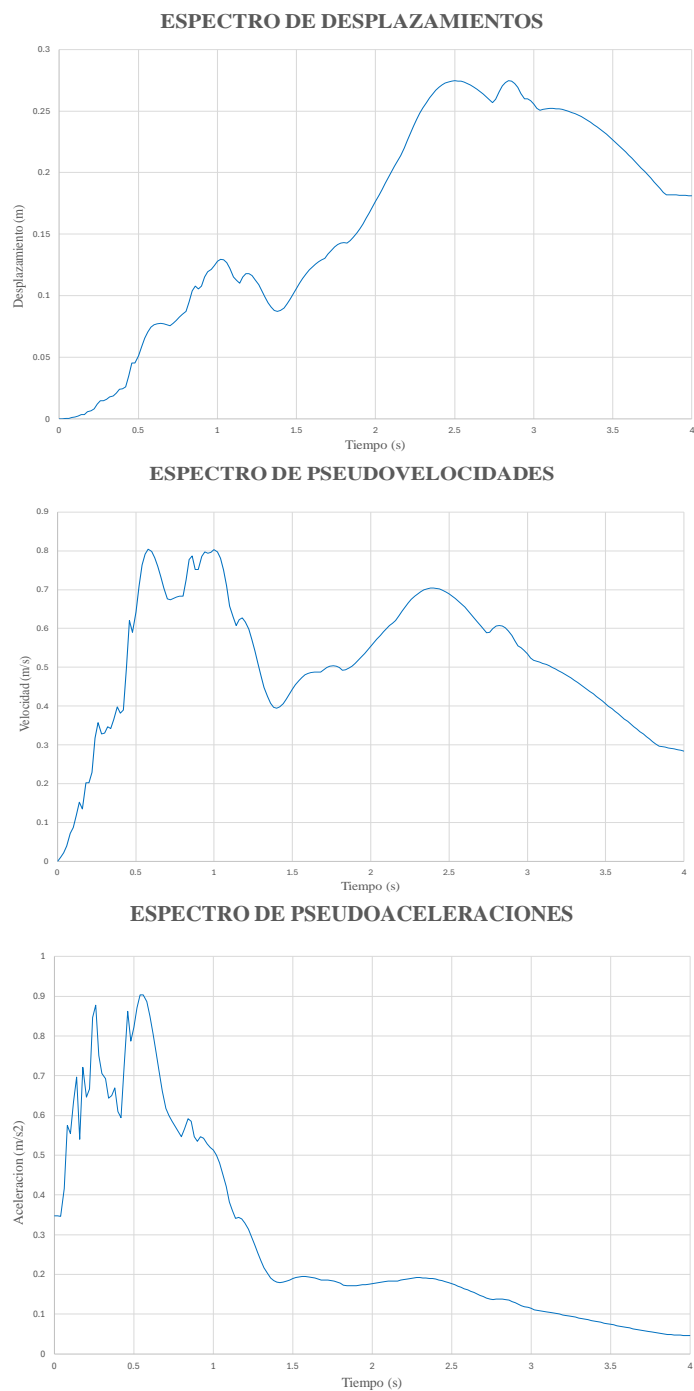
Ejecución script (Pseudoespectral_3D.m)

Ingresa la señal sísmica considerada anteriormente se realiza el proceso de cargar la señal sísmica para calcular el espectro de aceleraciones o en tal caso cargar

alguna función espectral de aceleraciones. La ejecución del script nos permite determinar de acuerdo al registro del Centro que los espectros de desplazamientos, velocidad y aceleraciones.

Figura 73

Espectros de desplazamiento, espectro de pseudovelocidades y pseudoaceleraciones para el modelo 2 obtenidos del script Pseudoespectral_3D



Nota. Espectros pertenecientes a la componente del sismo IV-1940. Elaboración propia.

Ejecución script (Análisis_Pseudo_3D.m).

Con el espectro de desplazamientos se procede a determinar los valores correspondientes a los modos de vibración en función de los periodos de la estructura.

Figura 74

Valores correspondientes a los periodos que son leídos en el espectro de desplazamiento de IV- 1940 obtenido del script Analisis_Pseudo_3D.m

MODO	TIEMPO	Sd (Ti, Ei)
1	1.1561	0.1142
2	1.1561	0.1142
3	0.8175	0.0938
4	0.3617	0.0212
5	0.3617	0.0212
6	0.2558	0.0142
7	0.1956	0.0063
8	0.1956	0.0063
9	0.1383	0.0033
10	0.1259	0.0026
11	0.1259	0.0026
12	0.0911	0.0012
13	0.0911	0.0012
14	0.0890	0.0011
15	0.0745	0.0008
16	0.0745	0.0008
17	0.0644	0.0005
18	0.0527	0.0003

Nota. Se muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboración propia.

Desplazamientos máximos modales.

Figura 75

Desplazamientos máximos (m) obtenidos por el script Analisis_Pseudo_3D.m

Desplazamientos modales maximos U mod

Columns 1 through 12

0.1467	0.0000	0	-0.0092	0.0000	0	0.0015	-0.0000	0	-0.0003	0.0000	0
-0.0000	0.1467	0	-0.0000	-0.0092	0	0.0000	0.0015	0	0.0000	-0.0003	0
0	0	0.1206	0	0	-0.0062	0	0	0.0008	0	0	0
0.1346	-0.0000	0	-0.0033	-0.0000	0	-0.0008	0.0000	0	0.0003	-0.0000	0
0.0000	0.1346	0	0.0000	-0.0033	0	-0.0000	-0.0008	0	-0.0000	0.0005	0
0	0	0.1106	0	0	-0.0022	0	0	0	-0.0004	0	0
0.1143	-0.0000	0	0.0040	0.0000	0	-0.0018	-0.0000	0	0.0002	0.0000	0
0.0000	0.1143	0	-0.0000	0.0040	0	0.0000	-0.0018	0	0.0000	0.0001	0
0	0	0.0940	0	0	0.0027	0	0	-0.0009	0	0	0
0.0866	0.0000	0	0.0089	0.0000	0	-0.0002	0.0000	0	-0.0006	-0.0000	0
-0.0000	0.0866	0	-0.0000	0.0089	0	-0.0000	-0.0002	0	-0.0000	-0.0005	0
0	0	0.0712	0	0	0.0060	0	0	-0.0001	0	0	0
0.0537	0.0000	0	0.0088	0.0000	0	0.0016	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	0
-0.0000	0.0537	0	-0.0000	0.0088	0	0.0000	0.0016	0	-0.0000	0.0001	0
0	0	0.0441	0	0	0.0059	0	0	0.0009	0	0	0
0.0202	-0.0000	0	0.0042	-0.0000	0	0.0013	0.0000	0	0.0007	0.0000	0
0.0000	0.0202	0	0.0000	0.0042	0	-0.0000	0.0013	0	0.0000	0.0005	0
0	0	0.0166	0	0	0.0028	0	0	0.0007	0	0	0

Nota. Desplazamientos correspondientes a los GL de cada nivel, del modo 1 a 12.

Elaboración propia.

Tabla 19

Desplazamientos máximos (m) obtenidos por el texto de verificación

Piso	$U_{mod}^{(1)}$	$U_{mod}^{(2)}$	$U_{mod}^{(3)}$	$U_{mod}^{(4)}$	$U_{mod}^{(5)}$	$U_{mod}^{(6)}$
6	0.148703	-0.009692	0.001618	-0.000355	0.000066	-0.000010
5	0.136423	-0.003428	-0.000790	0.000557	-0.000163	0.000032
4	0.115519	0.004295	-0.001915	0.000091	0.000144	-0.000050
3	0.084882	0.009854	-0.000280	-0.000592	-0.000017	0.000058
2	0.049588	0.009914	0.001754	0.000118	-0.001240	-0.000054
1	0.018061	0.004698	0.001397	0.000584	0.000181	0.000041

Nota. Desplazamientos correspondientes a los GL de cada nivel. Adaptado de dinámica estructural aplicada al diseño sísmico por García, 1998.

Tabla 20

Desplazamientos máximos modales cada nivel obtenido por el software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
36	DINAMICO_CENTRO_XX_ABS	LinRespSpec	Max	0.150148	0.002134	1.16E-19	2.70E-05	0.001919	2.30E-17
35	DINAMICO_CENTRO_XX_ABS	LinRespSpec	Max	0.137754	0.001958	3.02E-20	5.60E-05	0.003912	2.83E-17
34	DINAMICO_CENTRO_XX_ABS	LinRespSpec	Max	0.117048	0.001664	6.04E-20	8.20E-05	0.005741	1.33E-17
33	DINAMICO_CENTRO_XX_ABS	LinRespSpec	Max	0.088729	0.001261	6.03E-20	0.000103	0.00726	1.99E-17
32	DINAMICO_CENTRO_XX_ABS	LinRespSpec	Max	0.055103	0.000783	2.77E-20	0.000114	0.008053	3.95E-18
31	DINAMICO_CENTRO_XX_ABS	LinRespSpec	Max	0.02083	0.000296	1.49E-20	9.90E-05	0.00698	1.66E-17

Nota. Desplazamientos correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Deriva de piso.

Figura 76

Derivas modales (%) obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m

Deriva de piso maxima en porcentaje

Columns 1 through 12

0.4045	0.0000	0	-0.1980	0.0000	0	0.0749	-0.0000	0	-0.0203	0.0015	0
-0.0000	0.4045	0	-0.0000	-0.1980	0	0.0000	0.0749	0	0.0015	-0.0273	0
0	0	0.3322	0	0	-0.1326	0	0	0.0393	0	0	0
0.6754	-0.0000	0	-0.2423	-0.0000	0	0.0319	0.0000	0	0.0041	-0.0020	0
0.0000	0.6754	0	0.0000	-0.2423	0	-0.0000	0.0319	0	-0.0020	0.0137	0
0	0	0.5552	0	0	-0.1622	0	0	0.0167	0	0	0
0.9237	-0.0000	0	-0.1638	0.0000	0	-0.0503	-0.0000	0	0.0261	0.0011	0
0.0000	0.9237	0	-0.0000	-0.1638	0	0.0000	-0.0503	0	0.0011	0.0210	0
0	0	0.7591	0	0	-0.1096	0	0	-0.0264	0	0	0
1.0966	-0.0000	0	0.0030	-0.0000	0	-0.0622	0.0000	0	-0.0180	0.0007	0
0.0000	1.0966	0	0.0000	0.0030	0	-0.0000	-0.0622	0	0.0007	-0.0214	0
0	0	0.9015	0	0	0.0020	0	0	-0.0326	0	0	0
1.1174	0.0001	0	0.1544	0.0000	0	0.0096	-0.0000	0	-0.0239	-0.0020	0
-0.0001	1.1174	0	-0.0000	0.1544	0	0.0000	0.0096	0	-0.0020	-0.0146	0
0	0	0.9182	0	0	0.1034	0	0	0.0050	0	0	0
0.6730	-0.0001	0	0.1398	-0.0000	0	0.0446	0.0000	0	0.0234	0.0011	0
0.0001	0.6730	0	0.0000	0.1398	0	-0.0000	0.0446	0	0.0011	0.0179	0
0	0	0.5530	0	0	0.0936	0	0	0.0234	0	0	0

Nota. Derivas correspondientes a los GL de cada nivel, del modo 1 a 12. Elaboración propia.

Tabla 21

Derivas máximas (%) obtenido por el texto de verificación

Piso	modo 1	modo 2	modo 3	modo 4	modo 5	modo 6
6	0.409%	-0.209%	0.080%	-0.030%	0.008%	-0.001%
5	0.697%	-0.257%	0.037%	0.016%	-0.010%	0.003%
4	1.021%	-0.185%	-0.054%	0.023%	0.005%	-0.004%
3	1.177%	-0.002%	-0.068%	-0.024%	0.004%	0.004%
2	1.051%	0.174%	0.012%	-0.016%	-0.010%	-0.003%
1	0.602%	0.157%	0.047%	0.019%	0.006%	0.001%

Nota. Derivas correspondientes a los GL de cada nivel. Adaptado de “Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico” por (García, 1998).

Fuerzas inerciales máximas.

Figura 77

Fuerzas inerciales máximas modales (KN) obtenidas por el script Analisis_Pseudo_3D.m

```

Fuerzas Inerciales Maximas

1.0e+04 *

Columns 1 through 12

0.1110    0.0000    0    -0.0711    0.0000    0    0.0384    -0.0000    0    -0.0129    0.0015    0
-0.0000    0.1110    0    -0.0000    -0.0711    0    0.0000    0.0384    0    0.0015    -0.0202    0
0    0    4.3705    0    0    -2.2842    0    0    0.9667    0    0    0
0.1016    -0.0000    0    -0.0252    -0.0000    0    -0.0209    0.0000    0    0.0132    -0.0038    0
0.0000    0.1016    0    0.0000    -0.0252    0    -0.0000    -0.0209    0    -0.0038    0.0314    0
0    0    4.0244    0    0    -0.8099    0    0    -0.5267    0    0    0
0.0866    -0.0000    0    0.0309    0.0000    0    -0.0462    -0.0000    0    0.0227    0.0035    0
0.0000    0.0866    0    -0.0000    0.0309    0    0.0000    -0.0462    0    0.0035    0.0060    0
0    0    3.4040    0    0    0.9947    0    0    -1.1642    0    0    0
0.0654    -0.0000    0    0.0689    -0.0000    0    -0.0064    0.0000    0    -0.0364    -0.0004    0
0.0000    0.0654    0    0.0000    0.0689    0    -0.0000    -0.0064    0    -0.0004    -0.0345    0
0    0    2.5946    0    0    2.2135    0    0    -0.1599    0    0    0
0.0406    0.0002    0    0.0682    0.0000    0    0.0429    -0.0000    0    -0.0080    -0.0030    0
-0.0002    0.0406    0    -0.0000    0.0682    0    0.0000    0.0429    0    -0.0030    0.0062    0
0    0    1.5874    0    0    2.1914    0    0    1.0805    0    0    0
0.0152    -0.0002    0    0.0324    -0.0000    0    0.0353    0.0000    0    0.0548    0.0042    0
0.0002    0.0152    0    0.0000    0.0324    0    -0.0000    0.0353    0    0.0042    0.0347    0
0    0    0.6054    0    0    1.0400    0    0    0.8891    0    0    0

```

Nota. Fuerzas inerciales correspondientes a los GL de cada nivel, hasta el modo 12 de 18.

Elaboración propia.

Tabla 22

Fuerzas inerciales máximas (KN) obtenido por el texto de verificación

Piso	F ⁽¹⁾ _{mod}	F ⁽²⁾ _{mod}	F ⁽³⁾ _{mod}	F ⁽⁴⁾ _{mod}	F ⁽⁵⁾ _{mod}	F ⁽⁶⁾ _{mod}
6	1108.3	-748.9	403.3	-226.4	79.3	-18.6
5	1016.2	-264.8	-196.9	355.8	-195.6	57.9
4	860.2	-331.8	-477.4	58.2	173.4	-91.0
3	632.9	761.9	-69.8	-378.0	-20.2	105.1
2	369.4	765.9	437.3	75.5	-148.2	-98.4
1	135.1	363.0	372.7	372.7	217.3	74.1

Nota. Fuerzas inerciales correspondientes a los GL de cada nivel. Adaptado de dinámica estructural aplicada al diseño sísmico por García (1998).

Tabla 23

Fuerzas inerciales máximas (KN) obtenido por el software SAP 2000

Frame	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
6,5,4,3,2,1	66.452	85.194	1.211	199.978	183.979	2.615	403.793	257.15	3.656	665.175	315.991	4.492	957.898	354.575	5.041	1218.204	416.637	5.923
12,11,10,9,8,7	67.41	85.194	2.787	202.862	183.979	4.757	409.616	257.15	6.737	674.767	315.991	8.143	971.711	354.575	8.957	1235.771	416.637	7.915
19,18,17,16,15,14	68.369	85.194	1.211	205.745	183.979	2.615	415.439	257.15	3.656	684.359	315.991	4.492	985.525	354.575	5.041	1253.338	416.637	5.923
25,24,23,22,21,20	0.958	196.036	1.211	2.884	334.643	2.615	5.823	473.947	3.656	9.592	572.801	4.492	13.813	630.106	5.041	17.567	556.815	5.923
31,30,29,28,27,26	1.78E-13	196.036	2.787	6.28E-14	334.643	4.757	1.87E-16	473.947	6.737	6.79E-14	572.801	8.143	2.66E-14	630.106	8.957	3.108E-14	556.815	7.915
37,36,35,34,33,32	0.958	196.036	1.211	2.884	334.643	2.615	5.823	473.947	3.656	9.592	572.801	4.492	13.813	630.106	5.041	17.567	556.815	5.923
43,42,41,40,39,38	68.369	85.194	1.211	205.745	183.979	2.615	415.439	257.15	3.656	684.359	315.991	4.492	985.525	354.575	5.041	1253.338	416.637	5.923
49,48,47,46,45,44	67.41	85.194	2.787	202.862	183.979	4.757	409.616	257.15	6.737	674.767	315.991	8.143	971.711	354.575	8.957	1235.771	416.637	7.915
55,54,53,52,51,50	66.452	85.194	1.211	199.978	183.979	2.615	403.793	257.15	3.656	665.175	315.991	4.492	957.898	354.575	5.041	1218.204	416.637	5.923
TOTAL PISO	406.378	1099.272	15.627	1222.938	2107.803	29.961	2469.342	2964.741	42.147	4067.786	3614.349	51.381	5857.894	4017.768	57.117	7449.76	4170.267	59.283
	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	F2	F3		F2	F3		F2	F3		F2	F3		F2	F3		F2	F3	
	KN	KN		KN	KN		KN	KN		KN	KN		KN	KN		KN	KN	
F. INERCIAL PISO	1099.272	15.627		1008.531	14.334		856.938	12.186		649.608	9.234		403.419	5.736		152.499	2.166	

Nota. Fuerzas inerciales correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Cortante máximo modal por piso.

Figura 78

Cortantes máximas (KN) obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m

Cortante maximo modal de piso (kN)

1.0e+05 *

Columns 1 through 12

0.0111	0.0000	0	-0.0071	0.0000	0	0.0038	-0.0000	0	-0.0013	0.0002	0
-0.0000	0.0111	0	-0.0000	-0.0071	0	0.0000	0.0038	0	0.0002	-0.0020	0
0	0	0.4371	0	0	-0.2284	0	0	0.0967	0	0	0
0.0213	-0.0000	0	-0.0096	-0.0000	0	0.0017	0.0000	0	0.0000	-0.0002	0
0.0000	0.0213	0	0.0000	-0.0096	0	-0.0000	0.0017	0	-0.0002	0.0011	0
0	0	0.8395	0	0	-0.3094	0	0	0.0440	0	0	0
0.0299	-0.0000	0	-0.0065	0.0000	0	-0.0029	-0.0000	0	0.0023	0.0001	0
0.0000	0.0299	0	-0.0000	-0.0065	0	0.0000	-0.0029	0	0.0001	0.0017	0
0	0	1.1799	0	0	-0.2099	0	0	-0.0724	0	0	0
0.0365	-0.0000	0	0.0004	-0.0000	0	-0.0035	0.0000	0	-0.0013	0.0001	0
0.0000	0.0365	0	0.0000	0.0004	0	-0.0000	-0.0035	0	0.0001	-0.0017	0
0	0	1.4394	0	0	0.0114	0	0	-0.0884	0	0	0
0.0405	0.0000	0	0.0072	0.0000	0	0.0008	-0.0000	0	-0.0021	-0.0002	0
-0.0000	0.0405	0	-0.0000	0.0072	0	0.0000	0.0008	0	-0.0002	-0.0011	0
0	0	1.5981	0	0	0.2306	0	0	0.0196	0	0	0
0.0420	-0.0000	0	0.0104	-0.0000	0	0.0043	0.0000	0	0.0033	0.0002	0
0.0000	0.0420	0	0.0000	0.0104	0	-0.0000	0.0043	0	0.0002	0.0024	0
0	0	1.6586	0	0	0.3346	0	0	0.1086	0	0	0

Nota. Cortantes correspondientes a los GL de cada nivel. hasta el modo 12 de 18.

Elaboración propia.

Tabla 24

Cortantes máximas (KN) obtenido por el texto de verificación

Piso	V ⁽¹⁾ _{mod}	V ⁽²⁾ _{mod}	V ⁽³⁾ _{mod}	V ⁽⁴⁾ _{mod}	V ⁽⁵⁾ _{mod}	V ⁽⁶⁾ _{mod}
6	1108.3	-748.9	403.3	-226.4	79.3	-18.6
5	2124.6	-1013.7	206.3	129.4	-116.3	39.3
4	2984.8	-681.9	-271.0	187.7	57.1	-51.7
3	3617.6	79.6	-340.9	-190.3	36.9	53.4
2	3987.0	845.5	96.5	-114.8	-111.3	-45.0
1	4122.1	1208.5	444.6	257.9	106.1	29.1
0	4122.1	1208.5	444.6	257.9	106.1	29.1

Nota. Cortantes correspondientes a los GL de cada nivel. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Tabla 25

Cortantes máximas (KN) obtenidos por el software SAP 2000

Frame	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
6,5,4,3,2,1	66.452	85.194	1.211	199.978	183.979	2.615	403.793	257.15	3.656	665.175	315.991	4.492	957.898	354.575	5.041	1218.204	416.637	5.923
12,11,10,9,8,7	67.41	85.194	2.787	202.862	183.979	4.757	409.616	257.15	6.737	674.767	315.991	8.143	971.711	354.575	8.957	1235.771	416.637	7.915
19,18,17,16,15,14	68.369	85.194	1.211	205.745	183.979	2.615	415.439	257.15	3.656	684.359	315.991	4.492	985.525	354.575	5.041	1253.338	416.637	5.923
25,24,23,22,21,20	0.958	196.036	1.211	2.884	334.643	2.615	5.823	473.947	3.656	9.592	572.801	4.492	13.813	630.106	5.041	17.567	556.815	5.923
31,30,29,28,27,26	1.78E-13	196.036	2.787	6.28E-14	334.643	4.757	1.87E-16	473.947	6.737	6.79E-14	572.801	8.143	2.66E-14	630.106	8.957	3.108E-14	556.815	7.915
37,36,35,34,33,32	0.958	196.036	1.211	2.884	334.643	2.615	5.823	473.947	3.656	9.592	572.801	4.492	13.813	630.106	5.041	17.567	556.815	5.923
43,42,41,40,39,38	68.369	85.194	1.211	205.745	183.979	2.615	415.439	257.15	3.656	684.359	315.991	4.492	985.525	354.575	5.041	1253.338	416.637	5.923
49,48,47,46,45,44	67.41	85.194	2.787	202.862	183.979	4.757	409.616	257.15	6.737	674.767	315.991	8.143	971.711	354.575	8.957	1235.771	416.637	7.915
55,54,53,52,51,50	66.452	85.194	1.211	199.978	183.979	2.615	403.793	257.15	3.656	665.175	315.991	4.492	957.898	354.575	5.041	1218.204	416.637	5.923
TOTAL PISO	406.378	1099.272	15.627	1222.938	2107.803	29.961	2469.342	2964.741	42.147	4067.786	3614.349	51.381	5857.894	4017.768	57.117	7449.76	4170.267	59.283

Nota. Cortantes correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Momento de Vuelco.

Figura 79

Momento de vuelco (KN) obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m

Momento de Vuelco (kN.m)

1.0e+06 *

Columns 1 through 12

0.0033	0.0000	0	-0.0021	0.0000	0	0.0012	-0.0000	0	-0.0004	0.0000	0
-0.0000	0.0033	0	-0.0000	-0.0021	0	0.0000	0.0012	0	0.0000	-0.0006	0
0	0	0.1311	0	0	-0.0685	0	0	0.0290	0	0	0
0.0097	0.0000	0	-0.0050	-0.0000	0	0.0017	-0.0000	0	-0.0004	-0.0000	0
-0.0000	0.0097	0	0.0000	-0.0050	0	0.0000	0.0017	0	-0.0000	-0.0003	0
0	0	0.3830	0	0	-0.1613	0	0	0.0422	0	0	0
0.0187	-0.0000	0	-0.0070	0.0000	0	0.0008	-0.0000	0	0.0003	0.0000	0
0.0000	0.0187	0	-0.0000	-0.0070	0	0.0000	0.0008	0	0.0000	0.0002	0
0	0	0.7369	0	0	-0.2243	0	0	0.0205	0	0	0
0.0296	-0.0000	0	-0.0069	-0.0000	0	-0.0002	0.0000	0	-0.0001	0.0000	0
0.0000	0.0296	0	0.0000	-0.0069	0	-0.0000	-0.0002	0	0.0000	-0.0003	0
0	0	1.1687	0	0	-0.2209	0	0	-0.0060	0	0	0
0.0418	0.0000	0	-0.0047	0.0000	0	-0.0000	-0.0000	0	-0.0007	-0.0000	0
-0.0000	0.0418	0	-0.0000	-0.0047	0	0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0006	0
0	0	1.6482	0	0	-0.1517	0	0	-0.0001	0	0	0
0.0544	-0.0000	0	-0.0016	-0.0000	0	0.0013	-0.0000	0	0.0003	0.0000	0
0.0000	0.0544	0	0.0000	-0.0016	0	0.0000	0.0013	0	0.0000	0.0001	0
0	0	2.1457	0	0	-0.0514	0	0	0.0324	0	0	0

Nota. Momento de vuelco correspondientes a los GL de cada nivel. hasta el modo 12 de 18. Elaboración propia.

Tabla 26

Momento de vuelco modales (KN) obtenido por el texto de verificación

Piso	M ⁽¹⁾ _{mod}	M ⁽²⁾ _{mod}	M ⁽³⁾ _{mod}	M ⁽⁴⁾ _{mod}	M ⁽⁵⁾ _{mod}	M ⁽⁶⁾ _{mod}
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	3324.9	-2246.7	1209.8	-679.2	237.8	-55.9
4	9698.6	-5287.8	1828.7	-290.9	-111.0	61.9
3	18652.9	-7333.6	1015.6	272.2	60.2	-93.3
2	29505.8	-7094.7	-6.9	-298.7	170.9	66.8
1	41466.8	-4558.2	282.4	-643.1	-162.9	-68.2
0	53833.1	-932.7	1616.3	130.7	155.3	19.2

Nota. Momento de vuelco correspondientes a los GL de cada nivel. Adaptado de "Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico" por (García, 1998).

Tabla 27

Momento de vuelco modales (KN) obtenido por el software SAP 2000

Frame	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
6,5,4,3,2,1	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
6,5,4,3,2,1	66.452	85.194	1.211	199.978	183.979	2.615	403.793	257.15	3.656	665.175	315.991	4.492	957.898	354.575	5.041	1218.204	416.637	5.923
12,11,10,9,8,7	67.41	85.194	2.787	202.862	183.979	4.757	409.616	257.15	6.737	674.767	315.991	8.143	971.711	354.575	8.957	1235.771	416.637	7.915
19,18,17,16,15,14	68.369	85.194	1.211	205.745	183.979	2.615	415.439	257.15	3.656	684.359	315.991	4.492	985.525	354.575	5.041	1253.338	416.637	5.923
25,24,23,22,21,20	0.958	196.036	1.211	2.884	334.643	2.615	5.823	473.947	3.656	9.592	572.801	4.492	13.813	630.106	5.041	17.567	556.815	5.923
31,30,29,28,27,26	1.78E-13	196.036	2.787	6.28E-14	334.643	4.757	1.87E-16	473.947	6.737	6.79E-14	572.801	8.143	2.66E-14	630.106	8.957	3.108E-14	556.815	7.915
37,36,35,34,33,32	0.958	196.036	1.211	2.884	334.643	2.615	5.823	473.947	3.656	9.592	572.801	4.492	13.813	630.106	5.041	17.567	556.815	5.923
43,42,41,40,39,38	68.369	85.194	1.211	205.745	183.979	2.615	415.439	257.15	3.656	684.359	315.991	4.492	985.525	354.575	5.041	1253.338	416.637	5.923
49,48,47,46,45,44	67.41	85.194	2.787	202.862	183.979	4.757	409.616	257.15	6.737	674.767	315.991	8.143	971.711	354.575	8.957	1235.771	416.637	7.915
55,54,53,52,51,50	66.452	85.194	1.211	199.978	183.979	2.615	403.793	257.15	3.656	665.175	315.991	4.492	957.898	354.575	5.041	1218.204	416.637	5.923
TOTAL PISO	406.378	1099.272	15.627	1222.938	2107.803	29.961	2469.342	2964.741	42.147	4067.786	3614.349	51.381	5857.894	4017.768	57.117	7449.76	4170.267	59.283
	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2
	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m
M. DE VUELCO	3	3297.816	46.881	3	9621.225	136.764	3	18515.45	263.205	3	29358.5	417.348	3	41411.8	588.699	3	53922.6	766.548

Nota. Momento de vuelco correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Ejecución script (Combinacion_M_RSC.m).

Figura 80

Respuesta del método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) obtenido por el script Combinacion_M_RCSC.m

METODO DE COMBINACION DE LA RESPUESTA (RCSC)

Desplazamientos horizontales maximos (m) = Ui (xyz)
 Derivas maximas de entrepiso = Ai (xy)
 Cortante modal maxima de entrepiso (kN) = Vi (xyz)
 Momento de Vuelco (kN.m) = Mbi (xy)
 Fuerzas horizontales estaticas correspondientes (kN) = Fhi (xy)

NºGDL (piso)	Ui (x) (m)	Ui (y) (m)	Ui (z) (m)	Ai (x) ()	Ai (y) ()	Vi (x) (kN)	Vi (y) (kN)	MT (z) (kN)	Mbi (x) (kN.m)	Mbi (y) (kN.m)	Fhi (x) (kN)	Fhi (y) (kN)
6	0.1470	0.0000	0.0000	0.4570	0.0022	1379.23	22.99	0.00	4137.68	68.96	1379.23	22.99
6	0.0000	0.1470	0.0000	0.0022	0.4574	22.99	1388.97	0.00	68.96	4166.91	22.99	1388.97
6	0.0000	0.0000	0.1207	0.0000	0.0000	0.00	0.00	50447.67	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.1346	0.0000	0.0000	0.7182	0.0030	2340.88	35.13	0.00	11064.72	36.57	961.65	12.15
5	0.0000	0.1346	0.0000	0.0030	0.7184	35.13	2344.28	0.00	36.56	11061.48	12.14	955.30
5	0.0000	0.0000	0.1106	0.0000	0.0000	0.00	0.00	89624.66	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.1144	0.0000	0.0000	0.9398	0.0018	3085.11	21.31	0.00	19965.81	27.68	744.24	-13.82
4	0.0000	0.1144	0.0000	0.0018	0.9397	21.31	3080.85	0.00	27.69	19964.66	-13.82	736.57
4	0.0000	0.0000	0.0940	0.0000	0.0000	0.00	0.00	120112.94	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.0871	0.0000	0.0000	1.0986	0.0009	3666.47	9.95	0.00	30412.85	49.61	581.36	-11.36
3	0.0000	0.0871	0.0000	0.0009	1.0986	9.94	3668.93	0.00	49.61	30414.95	-11.37	588.08
3	0.0000	0.0000	0.0714	0.0000	0.0000	0.00	0.00	144268.43	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.0545	0.0000	0.0000	1.1283	0.0026	4122.02	28.28	0.00	42054.31	35.27	455.54	18.33
2	0.0000	0.0545	0.0000	0.0026	1.1282	28.27	4120.61	0.00	35.26	42052.69	18.33	451.68
2	0.0000	0.0000	0.0445	0.0000	0.0000	0.00	0.00	161520.92	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.0207	0.0000	0.0000	0.6892	0.0015	4366.17	26.76	0.00	54435.98	45.28	244.15	-1.52
1	0.0000	0.0207	0.0000	0.0015	0.6890	26.76	4361.77	0.00	45.28	54435.76	-1.52	241.16
1	0.0000	0.0000	0.0168	0.0000	0.0000	0.00	0.00	169640.57	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota. Respuesta del método (RCSC) correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Desplazamientos horizontales máximos (m). – Matriz correspondiente a los desplazamientos del texto de verificación (García, 1998).

$$\{U_{X,mod}\} = \begin{Bmatrix} 0.14903 \\ 0.13648 \\ 0.11560 \\ 0.08545 \\ 0.05059 \\ 0.01872 \end{Bmatrix} \begin{matrix} U_6 \\ U_5 \\ U_4 \\ U_3 \\ U_2 \\ U_1 \end{matrix}$$

Tabla 28

Desplazamientos (m) por el método (RCSC) obtenido por el software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
36	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.150415	0.004819	1.251E-19	0.000407	0.002145	1.062E-16
35	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.137792	0.003097	4.698E-20	0.000681	0.004232	7.946E-17
34	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.117123	0.002926	6.493E-20	0.000621	0.005919	1.173E-16
33	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.089142	0.004025	6.189E-20	0.00033	0.007296	6.801E-17
32	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.055774	0.003782	2.938E-20	0.000314	0.008077	1.093E-16
31	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.021266	0.001856	1.614E-20	0.000515	0.00708	1.169E-16

Nota Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Derivas máximas de piso (%). – Matriz correspondiente a las derivas máximas por (García, 1998).

$$\{\Delta_{X,mod}\} = \begin{Bmatrix} 0.467 \\ 0.744 \\ 1.039 \\ 1.179 \\ 1.065 \\ 0.624 \end{Bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{matrix}$$

Tabla 29

Derivas (1/100) por el método (RCSC) obtenido por el software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements - Generalized						
GenDispl	DisplType	OutputCase	CaseType	StepType	Translation	Deriva
Text	Text	Text	Text	Text	m	(1/100)
DERIVA_6_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.012395	0.4132
DERIVA_5_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.020705	0.6902
DERIVA_4_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.028319	0.9440
DERIVA_3_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.033627	1.1209
DERIVA_2_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.034273	1.1424
DERIVA_1_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_SRSS	LinRespSpec	Max	0.02083	0.6943

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Cortante máximo modal de piso. Matriz correspondiente a las derivas máximas por (García, 1998).

$$\{V_{X,mod}\} = \begin{bmatrix} 1417.6 \\ 2369.8 \\ 3080.3 \\ 3640.1 \\ 4080.2 \\ 4327.6 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{matrix}$$

Tabla 30

Cortantes (m) por el método (RCSC) obtenido por el software SAP 2000

Frame	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
6,5,4,3,2,1	82.662	107.948	28.879	236.102	202.787	36.078	447.072	264.772	28.005	699.437	317.914	17.639	975.968	360.227	27.806	1225.055	430.749	47.558
12,11,10,9,8,7	77.316	107.948	53.196	224.467	202.787	57.838	435.034	264.772	44.264	694.639	317.914	25.126	982.097	360.227	44.339	1239.649	430.749	59.161
19,18,17,16,15,14	75.116	107.948	28.879	219.815	202.787	36.078	431.644	264.772	28.005	696.988	317.914	17.639	992.204	360.227	27.806	1255.92	430.749	47.558
25,24,23,22,21,20	16.125	231.969	28.879	40.568	361.418	36.078	61.971	484.532	28.005	70.561	574.891	17.639	63.052	638.102	27.806	48.148	573.284	47.558
31,30,29,28,27,26	1.8E-13	231.969	53.196	6.89E-14	361.418	57.838	3.43E-14	484.532	44.264	6.86E-14	574.891	25.126	2.79E-14	638.102	44.339	3.36E-14	573.284	59.161
37,36,35,34,33,32	16.125	231.969	28.879	40.568	361.418	36.078	61.971	484.532	28.005	70.561	574.891	17.639	63.052	638.102	27.806	48.148	573.284	47.558
43,42,41,40,39,38	75.116	107.948	28.879	219.815	202.787	36.078	431.644	264.772	28.005	696.988	317.914	17.639	992.204	360.227	27.806	1255.92	430.749	47.558
49,48,47,46,45,44	77.316	107.948	53.196	224.467	202.787	57.838	435.034	264.772	44.264	694.639	317.914	25.126	982.097	360.227	44.339	1239.649	430.749	59.161
55,54,53,52,51,50	82.662	107.948	28.879	236.102	202.787	36.078	447.072	264.772	28.005	699.437	317.914	17.639	975.968	360.227	27.806	1225.055	430.749	47.558
TOTAL PISO	502.438	1343.595	332.862	1441.904	2300.976	389.982	2751.442	3042.228	300.822	4323.25	3632.157	181.212	6026.642	4075.668	299.853	7537.544	4304.346	462.831

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de vuelco. - Matriz correspondiente a las derivas máximas por (García, 1998).

$$\{M_X^{max}\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 4252.9 \\ 11201.3 \\ 20070.6 \\ 30348.8 \\ 41722.9 \\ 53865.8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \end{matrix}$$

Tabla 31

Momento de vuelco (m) por el método RCSC, obtenido por el software SAP 2000

Frame	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
6,5,4,3,2,1	82.662	107.948	28.879	236.102	202.787	36.078	447.072	264.772	28.005	699.437	317.914	17.639	975.968	360.227	27.806	1225.055	430.749	47.558
12,11,10,9,8,7	77.316	107.948	53.196	224.467	202.787	57.838	435.034	264.772	44.264	694.639	317.914	25.126	982.097	360.227	44.339	1239.649	430.749	59.161
19,18,17,16,15,14	75.116	107.948	28.879	219.815	202.787	36.078	431.644	264.772	28.005	696.988	317.914	17.639	992.204	360.227	27.806	1255.92	430.749	47.558
25,24,23,22,21,20	16.125	231.969	28.879	40.568	361.418	36.078	61.971	484.532	28.005	70.561	574.891	17.639	63.052	638.102	27.806	48.148	573.284	47.558
31,30,29,28,27,26	1.8E-13	231.969	53.196	6.89E-14	361.418	57.838	3.43E-14	484.532	44.264	6.86E-14	574.891	25.126	2.79E-14	638.102	44.339	3.36E-14	573.284	59.161
37,36,35,34,33,32	16.125	231.969	28.879	40.568	361.418	36.078	61.971	484.532	28.005	70.561	574.891	17.639	63.052	638.102	27.806	48.148	573.284	47.558
43,42,41,40,39,38	75.116	107.948	28.879	219.815	202.787	36.078	431.644	264.772	28.005	696.988	317.914	17.639	992.204	360.227	27.806	1255.92	430.749	47.558
49,48,47,46,45,44	77.316	107.948	53.196	224.467	202.787	57.838	435.034	264.772	44.264	694.639	317.914	25.126	982.097	360.227	44.339	1239.649	430.749	59.161
55,54,53,52,51,50	82.662	107.948	28.879	236.102	202.787	36.078	447.072	264.772	28.005	699.437	317.914	17.639	975.968	360.227	27.806	1225.055	430.749	47.558
TOTAL PISO	502.438	1343.595	332.862	1441.904	2300.976	389.982	2751.442	3042.228	300.822	4323.25	3632.157	181.212	6026.642	4075.668	299.853	7537.544	4304.346	462.831
	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2
	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m
M. DE VUELCO	3	4030.785	998.586	3	10933.71	2168.532	3	20060.4	3070.988	3	30956.87	3614.634	3	43183.87	4514.193	3	56096.91	5902.686

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de Vuelco en la base.

Figura 81

Momento de vuelco máximo (KN.m) obtenido por el script Combinacion_M_RCSC.m

Momento de Vuelco en la base (kN.m)

1.0e+06 *		
0.0544	0.0000	0
0.0000	0.0544	0
0	0	2.1466

Nota. Momento de vuelco global. Elaboración Propia.

Momento de vuelco máximo por (García, 1998).

$$M_X^{max} = 53865.8 \text{ kN.m}$$

Ejecución script (Combinacion_M_CQC.m).

Figura 82

Respuesta del método de combinación cuadrática completa (CQC), correspondientes a los GL de cada nivel obtenido por el script Combinacion_M_CQC.m

METODO DE COMBINACION DE LA RESPUESTA (CQC)

Desplazamientos horizontales maximos (m) = Ui (xyz)
 Derivas maximas de entrepiso = Ai (xy)
 Cortante modal maxima de entrepiso (kN) = Vi (xyz)
 Momento de Vuelco (kN.m) = Mbi (xy)
 Fuerzas horizontales estaticas correspondientes (kN) = Fhi (xy)

NºGDL (piso)	Ui (x) (m)	Ui (y) (m)	Ui (z) (m)	Ai (x) ()	Ai (y) ()	Vi (x) (kN)	Vi (y) (kN)	MT (z) (kN)	Mbi (x) (kN.m)	Mbi (y) (kN.m)	Fhi (x) (kN)	Fhi (y) (kN)
6	0.1470	0.0000	0.0000	0.4553	0.0020	1370.63	21.64	0.00	4111.89	64.91	1370.63	21.64
6	0.0000	0.1470	0.0000	0.0020	0.4557	21.34	1379.22	0.00	64.01	4137.67	21.34	1379.22
6	0.0000	0.0000	0.1207	0.0000	0.0000	0.00	0.00	50230.50	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.1346	0.0000	0.0000	0.7168	0.0028	2334.61	32.90	0.00	11023.18	33.86	963.98	11.26
5	0.0000	0.1346	0.0000	0.0028	0.7169	32.41	2337.92	0.00	33.29	11020.50	11.08	958.70
5	0.0000	0.0000	0.1106	0.0000	0.0000	0.00	0.00	89432.99	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.1144	0.0000	0.0000	0.9390	0.0016	3081.35	19.38	0.00	19924.39	24.47	746.73	-13.52
4	0.0000	0.1144	0.0000	0.0016	0.9389	19.02	3077.46	0.00	23.92	19923.23	-13.39	739.54
4	0.0000	0.0000	0.0940	0.0000	0.0000	0.00	0.00	120011.79	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.0871	0.0000	0.0000	1.0985	0.0008	3666.39	8.97	0.00	30376.92	47.57	585.04	-10.41
3	0.0000	0.0871	0.0000	0.0008	1.0986	8.91	3668.66	0.00	47.13	30378.98	-10.10	591.20
3	0.0000	0.0000	0.0715	0.0000	0.0000	0.00	0.00	144257.40	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.0545	0.0000	0.0000	1.1292	0.0025	4125.80	27.12	0.00	42028.53	33.81	459.40	18.14
2	0.0000	0.0545	0.0000	0.0025	1.1291	26.88	4124.74	0.00	33.53	42027.07	17.96	456.08
2	0.0000	0.0000	0.0446	0.0000	0.0000	0.00	0.00	161653.72	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.0207	0.0000	0.0000	0.6903	0.0015	4377.31	25.65	0.00	54428.91	43.26	251.51	-1.47
1	0.0000	0.0207	0.0000	0.0015	0.6902	25.40	4372.94	0.00	42.80	54428.56	-1.48	248.21
1	0.0000	0.0000	0.0169	0.0000	0.0000	0.00	0.00	169912.30	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota. Respuesta del método (CQC) correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Desplazamientos horizontales máximos (m). - Matriz correspondiente a los desplazamientos por (García, 1998).

$$\{U_{X,mod}\} = \begin{Bmatrix} 0.14903 \\ 0.13648 \\ 0.11560 \\ 0.08545 \\ 0.05059 \\ 0.01872 \end{Bmatrix} \begin{matrix} U_6 \\ U_5 \\ U_4 \\ U_3 \\ U_2 \\ U_1 \end{matrix}$$

Tabla 32

Desplazamientos (m) por el método (CQC) obtenido por el software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
36	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.150438	5.841E-11	1.262E-19	3.637E-12	0.002174	6.801E-17
35	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.137807	3.098E-11	4.642E-20	1.286E-12	0.004274	5.76E-17
34	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.117178	3.216E-13	6.346E-20	9.004E-12	0.005943	8.011E-17
33	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.089283	6.508E-11	5.923E-20	3.638E-12	0.0073	4.686E-17
32	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.055962	3.985E-11	2.713E-20	9.084E-13	0.008086	6.872E-17
31	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.021384	1.478E-11	1.459E-20	1.276E-12	0.007107	7.586E-17

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Derivas máximas de piso (%). - Matriz correspondiente a las derivas máximas del por (García, 1998).

$$\{\Delta_{x,mod}\} = \begin{bmatrix} 0.467 \\ 0.744 \\ 1.039 \\ 1.179 \\ 1.065 \\ 0.624 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{matrix}$$

Tabla 33

Derivas (1/100) por el método (CQC) obtenido por el software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements - Generalized						
GenDispl	DisplType	OutputCase	CaseType	StepType	Translation	Deriva
Text	Text	Text	Text	Text	m	(1/100)
DERIVA_6_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.012395	0.4132
DERIVA_5_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.020705	0.6902
DERIVA_4_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.028319	0.9440
DERIVA_3_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.033627	1.1209
DERIVA_2_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.034273	1.1424
DERIVA_1_X	Translation	DINAMICO_CENTRO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.02083	0.6943

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Cortante máximo modal de piso. - Matriz correspondiente a las cortantes máximas por (García, 1998).

$$\{V_{x,mod}\} = \begin{bmatrix} 1417.6 \\ 2369.8 \\ 3080.3 \\ 3640.1 \\ 4080.2 \\ 4327.6 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{matrix}$$

Tabla 34

Cortantes (m) por el método (CQC) obtenido por el software SAP 2000

Frame	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
6,5,4,3,2,1	78.582	110.735	2.93E-07	227.28	205.28	3.06E-07	438.401	265.913	4.12E-07	697.192	318.404	1.42E-07	983.257	361.724	4.23E-07	1239.984	434.588	8.008E-07
12,11,10,9,8,7	78.582	110.735	6.37E-07	227.28	205.28	5.94E-07	438.401	265.913	7.25E-07	697.192	318.404	5.17E-08	983.257	361.724	7.11E-07	1239.984	434.588	5.66E-07
19,18,17,16,15,14	78.582	110.735	3.58E-07	227.28	205.28	8.95E-08	438.401	265.913	2.95E-07	697.192	318.404	1.46E-07	983.257	361.724	4.63E-07	1239.984	434.588	8.14E-07
25,24,23,22,21,20	6.34E-08	236.502	1.79E-07	4.1E-07	365.02	5.98E-07	8.33E-07	486.025	1.86E-07	1.01E-06	575.421	1.03E-07	8.28E-07	640.282	3.64E-07	3.653E-08	577.73	3.579E-07
31,30,29,28,27,26	1.81E-13	236.502	4.14E-07	6.72E-14	365.02	1.17E-06	3.69E-14	486.025	3.88E-07	6.75E-14	575.421	2.34E-07	2.62E-14	640.282	5.81E-07	3.04E-14	577.73	3.57E-07
37,36,35,34,33,32	1.59E-07	236.502	2.07E-07	5.59E-07	365.02	4.2E-07	1.01E-06	486.025	3.29E-07	1.01E-06	575.421	2.28E-07	8.28E-07	640.282	3.61E-07	6.344E-08	577.73	4.843E-07
43,42,41,40,39,38	78.582	110.735	3.1E-07	227.28	205.28	1.03E-07	438.401	265.913	3.6E-07	697.192	318.404	1.55E-07	983.257	361.724	2.89E-07	1239.984	434.588	1.473E-07
49,48,47,46,45,44	78.582	110.735	7.16E-07	227.28	205.28	8.23E-07	438.401	265.913	5.14E-07	697.192	318.404	2.07E-07	983.257	361.724	8.17E-08	1239.984	434.588	0.0000062
55,54,53,52,51,50	78.582	110.735	1.03E-07	227.28	205.28	3.1E-07	438.401	265.913	2.1E-07	697.192	318.404	8.95E-08	983.257	361.724	2.82E-07	1239.984	434.588	7.307E-07
TOTAL PISO	471.492	1373.916	3.21E-06	1363.68	2326.74	4.42E-06	2630.406	3053.553	3.42E-06	4183.152	3636.687	1.36E-06	5899.542	4091.19	3.55E-06	7439.904	4340.718	4.878E-06

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de vuelco. Vector correspondiente a las momentos por (García, 1998).

$$\{M_X^{max}\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 4252.9 \\ 11201.3 \\ 20070.6 \\ 30348.8 \\ 41722.9 \\ 53865.8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \end{matrix}$$

Tabla 35

Momento de vuelco (m) por el método CQC, obtenidas por el software SAP 2000

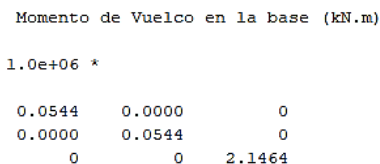
Frame	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
6,5,4,3,2,1	78.582	110.735	2.93E-07	227.28	205.28	3.06E-07	438.401	265.913	4.12E-07	697.192	318.404	1.42E-07	983.257	361.724	4.23E-07	1239.984	434.588	8.008E-07
12,11,10,9,8,7	78.582	110.735	6.37E-07	227.28	205.28	5.94E-07	438.401	265.913	7.25E-07	697.192	318.404	5.17E-08	983.257	361.724	7.11E-07	1239.984	434.588	5.66E-07
19,18,17,16,15,14	78.582	110.735	3.58E-07	227.28	205.28	8.95E-08	438.401	265.913	2.95E-07	697.192	318.404	1.46E-07	983.257	361.724	4.63E-07	1239.984	434.588	8.14E-07
25,24,23,22,21,20	6.34E-08	236.502	1.79E-07	4.1E-07	365.02	5.98E-07	8.33E-07	486.025	1.86E-07	1.01E-06	575.421	1.03E-07	8.28E-07	640.282	3.64E-07	3.653E-08	577.73	3.579E-07
31,30,29,28,27,26	1.81E-13	236.502	4.14E-07	6.72E-14	365.02	1.17E-06	3.69E-14	486.025	3.88E-07	6.75E-14	575.421	2.34E-07	2.62E-14	640.282	5.81E-07	3.04E-14	577.73	3.57E-07
37,36,35,34,33,32	1.59E-07	236.502	2.07E-07	5.59E-07	365.02	4.2E-07	1.01E-06	486.025	3.29E-07	1.01E-06	575.421	2.28E-07	8.28E-07	640.282	3.61E-07	6.344E-08	577.73	4.843E-07
43,42,41,40,39,38	78.582	110.735	3.1E-07	227.28	205.28	1.03E-07	438.401	265.913	3.6E-07	697.192	318.404	1.55E-07	983.257	361.724	2.89E-07	1239.984	434.588	1.473E-07
49,48,47,46,45,44	78.582	110.735	7.16E-07	227.28	205.28	8.23E-07	438.401	265.913	5.14E-07	697.192	318.404	2.07E-07	983.257	361.724	8.17E-08	1239.984	434.588	0.0000062
55,54,53,52,51,50	78.582	110.735	1.03E-07	227.28	205.28	3.1E-07	438.401	265.913	2.1E-07	697.192	318.404	8.95E-08	983.257	361.724	2.82E-07	1239.984	434.588	7.307E-07
TOTAL PISO	471.492	1373.916	3.21E-06	1363.68	2326.74	4.42E-06	2630.406	3053.553	3.42E-06	4183.152	3636.687	1.36E-06	5899.542	4091.19	3.55E-06	7439.904	4340.718	4.878E-06
	PISO 6			PISO 5			PISO 4			PISO 3			PISO 2			PISO 1		
	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2	H	MV3	MV2
	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m	m	KN.m	KN.m
M. DEVUELCO	3	4121.748	9.64E-06	3	11101.97	2.29E-05	3	20262.63	3.32E-05	3	31172.69	3.72E-05	3	43446.26	4.79E-05	3	56468.412	6.2514E-05

Nota. Resultados obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de Vuelco en la base.

Figura 83

Momento de vuelco máximo (KN.m), correspondientes a los GL de cada nivel obtenidas por el script Combinacion_M_CQC.m



Nota. Se muestra la forma de respuesta del software Matlab. Elaboración propia.

Momento de vuelco máximo por (García, 1998).

$$M_X^{max} = 53865.8 \text{ kN.m}$$

5.2.5. Idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 3

Se considera el edificio de aulas inteligentes de la escuela profesional de ingeniería civil de la Universidad Tecnológica de los Andes. bloque – 2, de 8 niveles, en este caso sin considerar el sótano debido a la no importancia sísmica del mismo, donde se describe las siguientes propiedades geométricas y de material de la estructura.

Propiedades Geométricas.

- Vigas: $0.35\text{ m} \times 0.50\text{ m} - 0.35\text{ m} \times 0.60\text{ m}$
- Columnas: $0.60\text{ m} \times 0.60\text{ m} - 0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m} - 0.50\text{ m} \times 0.40\text{ m}$

Circular $D = 0.50\text{ m}$

- Muros: $e = 0.25\text{ m}$
- Altura de Nivel: Primer nivel 4.00 m , segundo a octavo nivel 3.00 m .

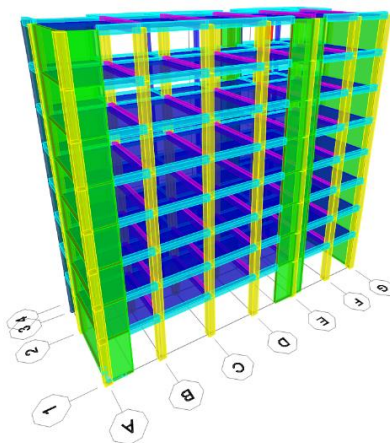
Propiedades de material.

- Resistencia del concreto: columnas, vigas y losas $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$
muros $f'c = 280\text{ kg/cm}^2$
- Amortiguamiento: $\xi = 5\%$

Para el caso del modelo MATLAB se considera los muros idealizados por brazos rígidos y en el caso del modelado en SAP 2000 se modela los muros como elementos tipo Shells o elemento finito tipo bidimensional.

Figura 84

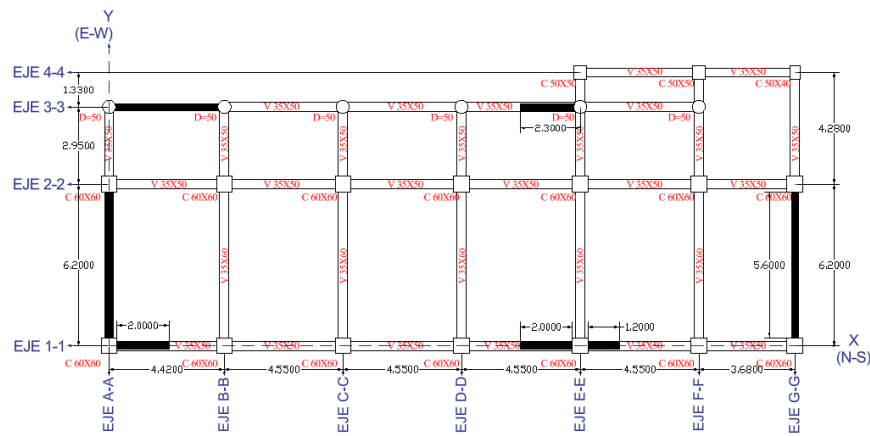
Estructura tridimensional modelo 3



Nota. Dimensiones de estructura y direcciones de la señal sísmica. Elaboración propia.

Figura 85

Planta típica del modelo 3

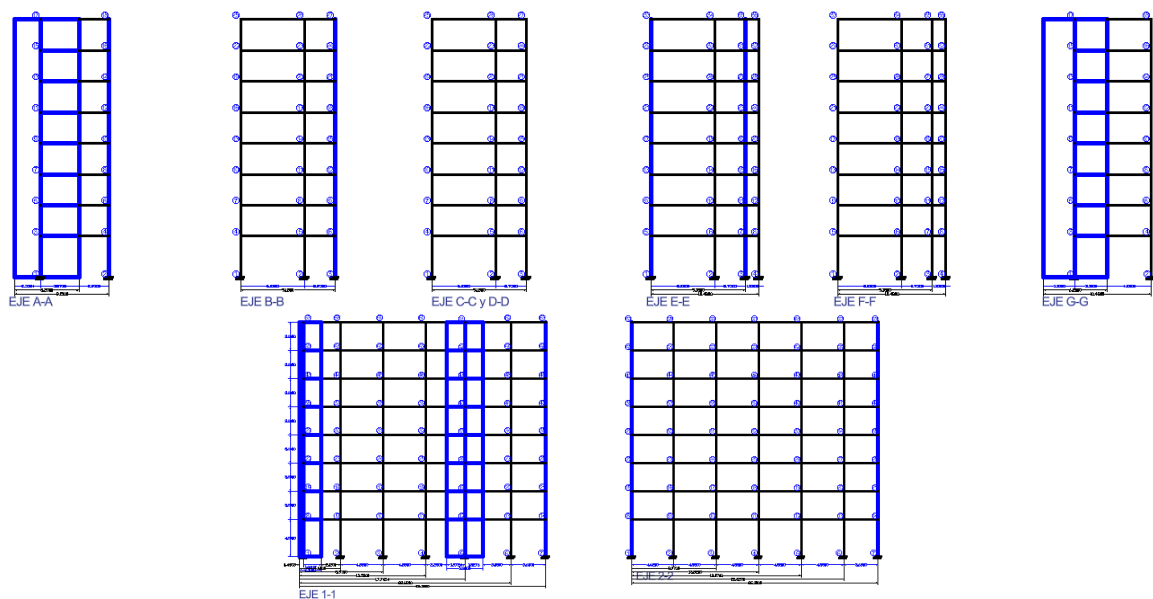


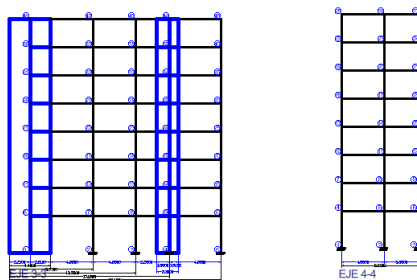
Nota. Ubicación y dimensión de pórticos en el plano. Elaboración Propia.

Del plano en planta se deduce que la estructura está conformada por diez pórticos distintos. Los pórticos C y D poseen las mismas propiedades geométricas, se observa la formación de grados de libertad e identificaciones de los elementos geométricos para el análisis y su ingreso en la hoja de cálculo de ingreso de información. Los pórticos ingresados se presentan en la siguiente figura.

Figura 86

Pórtico A, B, C, D, E, F, G, 1, 2, 3 y 4, perteneciente al modelo 3





Nota. Numeración de Nudos de los pórticos del modelo 3. Elaboración propia.

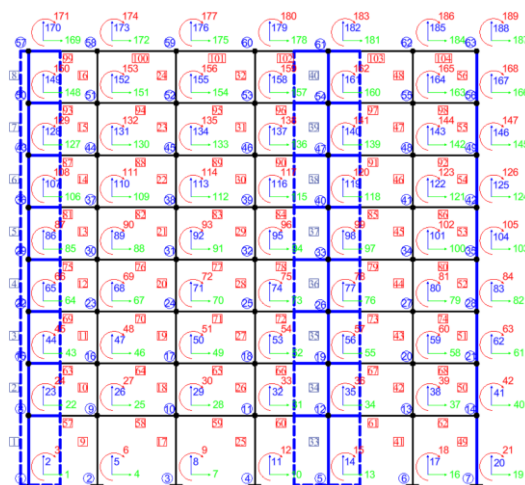
Al ser un ejemplo complejo en cuanto al ingreso de información se considera en la siguiente presentación el análisis del pórtico 1-1.

Se identifica los siguientes elementos de ingreso.

- Número de nodos = 63
- Número de elementos = 104
- Numero de GDL = 189

Figura 87

Pórtico 1, nudos, nudos, elementos y grados de libertad del pórtico



Nota. Nudos, elementos y grados de libertad del pórtico A. Elaboración propia.

Posterior al ingreso de la información se continuo con la ejecución de los scripts para la obtención de la matriz de rigidez de grados libres del pórtico.

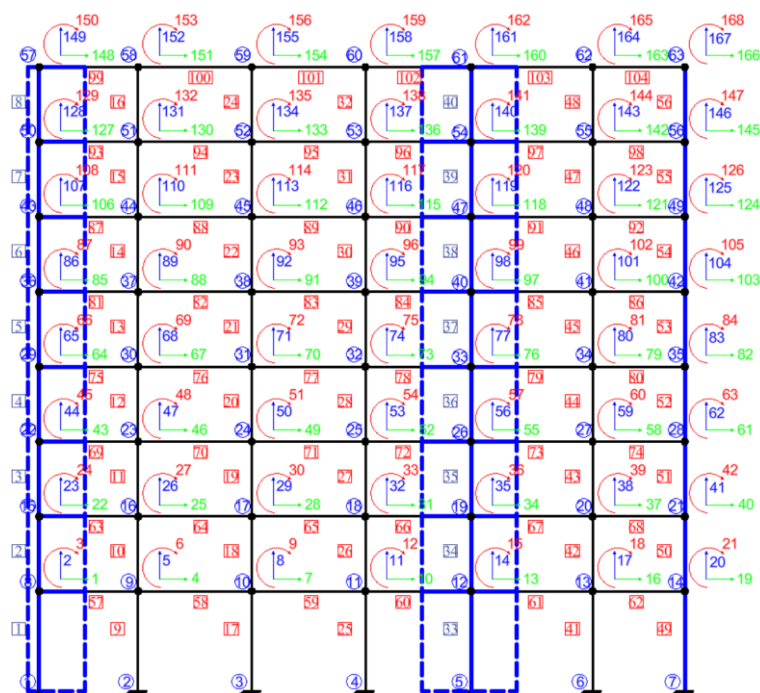
Idealización dinámica de pórticos tridimensionales.

Ejecución script (Rigidez_2D.m).

Realizando el análisis matricial de la estructura para conformar la matriz de rigidez KLL de grados de libertad libres (fig.) con una matriz (KLL (168x168)). Este proceso es realizado en todos los pórticos que conforman la estructura tridimensional.

Figura 88

Grados de libertad libres KLL del pórtico A



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Ejecución script (Condensacion_2D.m).

Para el análisis del pórtico 1-1 Del script se obtiene la condensación de la matriz KLL de grados de libertad libres para obtener la respuesta de la matriz, primero se realiza el proceso de considerar las vigas inextensibles (KII(120x120)), para posterior a ello condensar los grados de libertad verticales (KSV(64x64)), y finalmente considerar la matriz de rigidez lateral (KC(8x8)) quedando con los grados de libertad como la figura 90 y obtenido la matriz como muestra la Tabla 89.

Figura 89

Matriz KC obtenida por el script Condensacion_2D.m del pórtico A

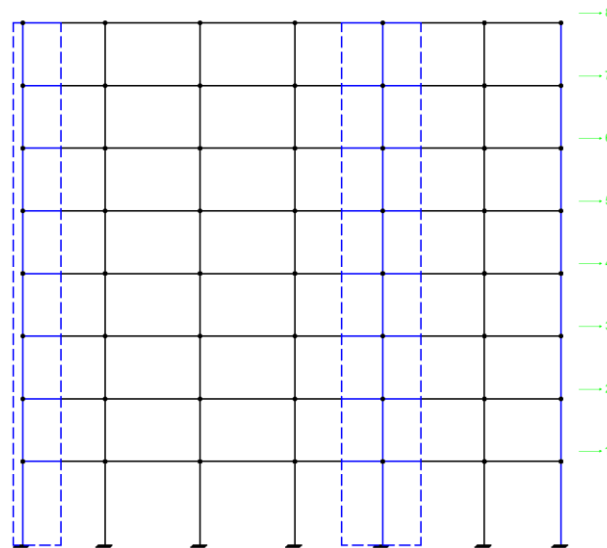
Matriz de Rigidez Lateral (KC)

1.0e+06 *

6.9873	-4.7556	0.9526	0.0705	0.0196	0.0015	-0.0002	0.0064
-4.7556	7.9365	-5.0076	0.9336	0.0646	0.0185	-0.0006	0.0064
0.9526	-5.0076	7.9711	-5.0067	0.9339	0.0641	0.0162	0.0087
0.0705	0.9336	-5.0067	7.9714	-5.0072	0.9330	0.0609	0.0292
0.0196	0.0646	0.9339	-5.0072	7.9706	-5.0083	0.9157	0.1097
0.0015	0.0185	0.0641	0.9330	-5.0083	7.9546	-5.0816	1.1172
-0.0002	-0.0006	0.0162	0.0609	0.9157	-5.0816	7.1604	-3.0705
0.0064	0.0064	0.0087	0.0292	0.1097	1.1172	-3.0705	1.7903

Figura 90

Grados de libertad de la matriz KC del pórtico A

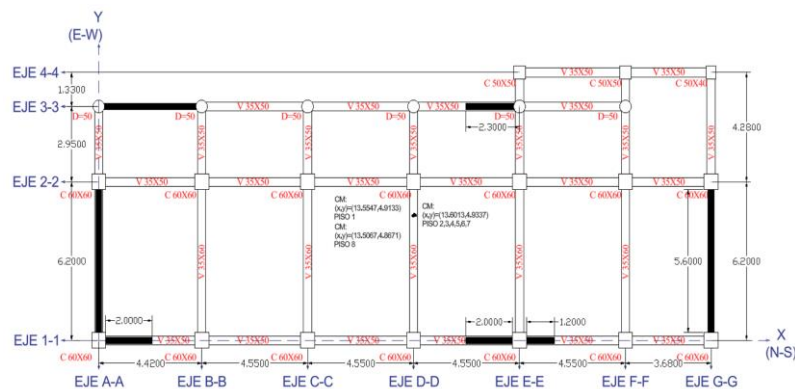


Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se determino las masas y su ubicación de acuerdo al modelo elaborado en SAP 2000 para luego ser utilizados en el modelo MATLAB.

Figura 91

Planta del piso 1 al 8 del modelo 3.



Nota. Se muestra la ubicación de los pórticos en el plano y centro de masas de cada nivel
Elaboración propia.

Tabla 36

Ingreso de datos de conformación de pórticos bidimensionales

NUMERO DE EJES DIFERENTES		10					
NUMERO DE PISOS		8					
EJE	TIPO	NIVEL	Xa	Ya	Xb	Yb	
1	1	8	0	0	26.3	0	
2	2	8	0	6.2	26.3	6.2	
3	3	8	0	9.15	22.62	9.15	
4	4	8	18.07	10.48	26.3	10.48	
A	5	8	0	0	0	9.15	
B	6	8	4.42	0	4.42	9.15	
C	7	8	8.97	0	8.97	9.15	
D	7	8	13.52	0	13.52	9.15	
E	8	8	18.07	0	18.07	10.48	
F	9	8	22.62	0	22.62	10.48	
G	10	8	26.3	0	26.3	10.48	

Nota. Ingreso en hoja de datos que conforman el modelo pseudotridimensional.

Elaboración propia.

Posterior a ello se ingresan masas y el centro de masa por piso de la estructura como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 37

Ingreso de datos que contienen las masas y centro de masa por piso de la estructura

CENTRO DE MASA			MASA			
PISO	X_i	Y_i	PISO	$X y$	R	ALTURA (m)
1	13.5547	4.9133	1	336.84	22432.87	4
2	13.6013	4.9337	2	321.34	21400.6	3
3	13.6013	4.9337	3	321.34	21400.6	3
4	13.6013	4.9337	4	321.34	21400.6	3
5	13.6013	4.9337	5	321.34	21400.6	3
6	13.6013	4.9337	6	321.34	21400.6	3
7	13.6013	4.9337	7	321.34	21400.6	3
8	13.5067	4.8671	8	222.2	14798.08	3

Nota. Ingreso en hoja de datos que conforman el modelo pseudotridimensional del modelo

3. Elaboración propia.

Ejecución script (Rigidez_3D.m)

Se realiza el análisis pseudotridimensional obteniendo de esta forma la respuesta de la estructura en vibración libre. Por medio de las matrices de transformación de

coordenadas y las matrices de rigidez lateral por p3rtico se obtiene matriz de rigidez lateral KE(9x9) para efectos de fuerzas laterales de la estructura tridimensional, se observa que la estructura al tener p3rticos iguales, pero con posiciones diferentes al conformar la rigidez total de la estructura es por medio de las matrices de transformaci3n de coordenadas.

Figura 92

Matriz KE obtenida por el script Rigidez_3D.m del modelo 3

```

KE =
1.0e+09 *
Columns 1 through 12
0.0042    0   -0.0005   -0.0072    0   0.0002   0.0025    0   0.0005   0.0002    0   -0.0003
0   0.0066   -0.0062    0   -0.0098   0.0079    0   0.0018   0.0005    0   0.0007   -0.0003
-0.0005   -0.0062   1.1498   0.0006   0.0069   -1.7390   0.0003   0.0007   0.3265   -0.0003   -0.0002   0.1327
-0.0072    0   0.0006   0.0166    0   -0.0000   -0.0118    0   -0.0009   0.0021    0   0.0009
0   -0.0098   0.0069    0   0.0214   -0.0152    0   -0.0127   0.0065    0   0.0008   0.0006
0.0002   0.0079   -1.7390   -0.0000   -0.0152   3.7942   -0.0009   0.0065   -2.2467   0.0009   0.0006   0.1253
0.0025    0   0.0003   -0.0118    0   -0.0009   0.0185    0   0.0006   -0.0117    0   -0.0008
0   0.0018   0.0007    0   -0.0127   0.0065    0   0.0220   -0.0145    0   -0.0125   0.0068
0.0005   0.0005   0.3265   -0.0009   0.0065   -2.2467   0.0006   -0.0145   3.9057   -0.0008   0.0068   -2.2116
0.0002    0   -0.0003   0.0021    0   -0.0009   -0.0117    0   -0.0008   0.0186    0   0.0005
0   0.0007   -0.0002    0   0.0008   0.0006    0   -0.0125   0.0068    0   0.0221   -0.0145
-0.0003   -0.0003   0.1327   0.0009   0.0006   0.1253   -0.0008   0.0068   -2.2116   0.0005   -0.0145   3.9237
0.0001    0   -0.0002   0.0000    0   0.0000   0.0022    0   0.0008   -0.0117    0   -0.0009
0   0.0004   -0.0004    0   0.0001   0.0002    0   0.0009   0.0006    0   -0.0125   0.0067
-0.0002   -0.0004   0.0658   0.0000   0.0002   0.0334   0.0008   0.0006   0.1432   -0.0009   0.0067   -2.2033
0.0000    0   -0.0000   0.0001    0   -0.0001   0.0000    0   0.0000   0.0022    0   0.0008
0   0.0002   -0.0003    0   0.0001   0.0000    0   0.0002   0.0002    0   0.0009   0.0006
-0.0000   -0.0003   0.0320   -0.0001   0.0000   0.0183   0.0000   0.0002   0.0418   0.0008   0.0006   0.1477
0.0000    0   -0.0000   0.0000    0   -0.0000   0.0001    0   -0.0001   0.0000    0   0.0000
0   0.0001   -0.0002    0   0.0000   -0.0000    0   0.0001   -0.0000    0   0.0002   0.0001
-0.0000   -0.0002   0.0165   -0.0000   -0.0000   0.0082   -0.0001   -0.0000   0.0229   0.0000   0.0001   0.0448
0.0000    0   0.0000   0.0000    0   -0.0000   0.0000    0   -0.0000   0.0001    0   -0.0001
0   0.0001   -0.0002    0   0.0000   -0.0000    0   0.0001   -0.0001    0   0.0002   -0.0001
0.0000   -0.0002   0.0106   -0.0000   -0.0000   0.0050   -0.0000   -0.0001   0.0128   -0.0001   -0.0001   0.0293

Columns 13 through 24
0.0001    0   -0.0002   0.0000    0   -0.0000   0.0000    0   -0.0000   0.0000    0   0.0000
0   0.0004   -0.0004    0   0.0002   -0.0003    0   0.0001   -0.0002    0   0.0001   -0.0002
-0.0002   -0.0004   0.0658   -0.0000   -0.0003   0.0320   -0.0000   -0.0002   0.0165   0.0000   -0.0002   0.0106
0.0000    0   0.0000   0.0001    0   -0.0001   0.0000    0   -0.0000   0.0000    0   -0.0000
0   0.0001   0.0002    0   0.0001   0.0000    0   0.0000   -0.0000    0   0.0000   -0.0000
0.0000   0.0002   0.0334   -0.0001   0.0000   0.0183   -0.0000   -0.0000   0.0082   -0.0000   -0.0000   0.0050
0.0022    0   0.0008   0.0000    0   0.0000   0.0001    0   -0.0001   0.0000    0   -0.0000
0   0.0009   0.0006    0   0.0002   0.0002    0   0.0001   -0.0000    0   0.0001   -0.0001
0.0008   0.0006   0.1432   0.0000   0.0002   0.0418   -0.0001   -0.0000   0.0229   -0.0000   -0.0001   0.0128
-0.0117    0   -0.0009   0.0022    0   0.0008   0.0000    0   0.0000   0.0001    0   -0.0001
0   -0.0125   0.0067    0   0.0009   0.0006    0   0.0002   0.0001    0   0.0002   -0.0001
-0.0009   0.0067   -2.2033   0.0008   0.0006   0.1477   0.0000   0.0001   0.0448   -0.0001   -0.0001   0.0293
0.0186    0   0.0005   -0.0117    0   -0.0009   0.0022    0   0.0008   0.0001    0   -0.0000
0   0.0222   -0.0145    0   -0.0124   0.0067    0   0.0009   0.0006    0   0.0003   0.0001
0.0005   -0.0145   3.9282   -0.0009   0.0067   -2.2003   0.0008   0.0006   0.1508   -0.0000   0.0001   0.0570
-0.0117    0   -0.0009   0.0186    0   0.0005   -0.0117    0   -0.0009   0.0023    0   0.0006
0   -0.0124   0.0067    0   0.0222   -0.0145    0   -0.0124   0.0066    0   0.0011   0.0007
-0.0009   0.0067   -2.2003   0.0005   -0.0145   3.9313   -0.0009   0.0066   -2.1951   0.0007   0.0006   0.1743
0.0022    0   0.0008   -0.0117    0   -0.0009   0.0185    0   0.0004   -0.0111    0   -0.0006
0   0.0009   0.0006    0   -0.0124   0.0066    0   0.0222   -0.0146    0   -0.0120   0.0063
0.0008   0.0006   0.1508   -0.0009   0.0066   -2.1951   0.0004   -0.0146   3.9386   -0.0008   0.0069   -2.1316
0.0001    0   -0.0000   0.0023    0   0.0007   -0.0111    0   -0.0008   0.0162    0   0.0001
0   0.0003   0.0001    0   0.0011   0.0006    0   -0.0120   0.0069    0   0.0193   -0.0117
-0.0000   0.0001   0.0570   0.0006   0.0007   0.1743   -0.0006   0.0063   -2.1316   0.0001   -0.0117   3.4393

```

Nota. Matriz conformada por los p3rticos de la estructura. Elaboraci3n propia.

Y como en los modelos anteriores se obtiene por medio del script la posición y almacenamiento de la matriz de masa de acuerdo a lo establecido al ingresar información perteneciente a la variable "masa". Así mismo se establece el cálculo y posicionamiento de la matriz de amortiguamiento variable "C", para análisis posteriores que no estén relacionados a este primero.

Con la información de estas dos matrices es posible conformar la ecuación de equilibrio dinámico de la estructura e iniciar la solución de valores y vectores propios, obteniendo los periodos y forma modales de la estructura.

Figura 93

Frecuencias y periodos obtenida por el script Rigidez_3D.m

PERIODOS DE LA ESTRUCTURA				
MODO	w ² (rad/s) ²	w (rad/s)	FRECUENCIA (Hz)	PERIODO (rad/s)
1	114.5340	10.7021	1.7033	0.5871
2	196.0908	14.0032	2.2287	0.4487
3	494.7727	22.2435	3.5402	0.2825
4	1825.5843	42.7269	6.8002	0.1471
5	3655.8126	60.4633	9.6230	0.1039
6	8956.2257	94.6373	15.0620	0.0664
7	9732.2917	98.6524	15.7010	0.0637
8	16753.3084	129.4346	20.6002	0.0485
9	24281.1560	155.8241	24.8002	0.0403
10	39126.4228	197.8040	31.4815	0.0318
11	45171.2623	212.5353	33.8260	0.0296
12	48433.7318	220.0766	35.0263	0.0285
13	67966.6323	260.7041	41.4923	0.0241
14	78878.6238	280.8534	44.6992	0.0224
15	98254.5125	313.4558	49.8880	0.0200
16	105667.4696	325.0653	51.7358	0.0193
17	110336.5852	332.1695	52.8664	0.0189
18	125318.5374	354.0036	56.3414	0.0177
19	135099.0274	367.5582	58.4987	0.0171
20	144351.9448	379.9368	60.4688	0.0165
21	183344.7333	428.1877	68.1482	0.0147
22	264305.1752	514.1062	81.8225	0.0122
23	335232.0191	578.9922	92.1495	0.0109
24	383710.5541	619.4437	98.5875	0.0101

Nota. Resultados correspondientes al modelo 3. Elaboración propia.

Tabla 38

Frecuencias y periodos en software de verificación SAP 2000

TABLE: Modal Periods And Frequencies

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec
MODAL	Mode	1	0.57163	1.74938239	10.9916937
MODAL	Mode	2	0.422336	2.36778088	14.877206
MODAL	Mode	3	0.281658	3.55040855	22.3078748
MODAL	Mode	4	0.148971	6.71270884	42.1771936
MODAL	Mode	5	0.101294	9.87229547	62.0294619
MODAL	Mode	6	0.087896	11.377121	71.4845598
MODAL	Mode	7	0.083263	12.0101251	75.4618414
MODAL	Mode	8	0.078554	12.7300545	79.9852912
MODAL	Mode	9	0.076112	13.138553	82.5519629
MODAL	Mode	10	0.075295	13.2810206	83.4471137
MODAL	Mode	11	0.0739	13.5318195	85.0229297
MODAL	Mode	12	0.070376	14.2093001	89.2796655
MODAL	Mode	13	0.067889	14.7298287	92.5502433
MODAL	Mode	14	0.066654	15.0028087	94.2654272
MODAL	Mode	15	0.0636	15.7233088	98.7924631
MODAL	Mode	16	0.062233	16.0687006	100.962624
MODAL	Mode	17	0.059678	16.7566516	105.285147
MODAL	Mode	18	0.059128	16.9124845	106.264274
MODAL	Mode	19	0.055218	18.1100648	113.788893
MODAL	Mode	20	0.052674	18.984634	119.283974
MODAL	Mode	21	0.047471	21.0656794	132.359567
MODAL	Mode	22	0.044234	22.6070211	142.044103
MODAL	Mode	23	0.044075	22.6884687	142.555853
MODAL	Mode	24	0.040712	24.562647	154.331663

Nota. Corresponde al modelo 3. Elaboración propia.

Figura 94

Modos de Vibración obtenida por el script Rigidez_3D

FORMAS DE MODO

MODO 1	MODO 2	MODO 3	MODO 4	MODO 5	MODO 6
0.0339	-0.0001	-0.0002	0.0323	0.0001	0.0287	-0.0006
-0.0001	-0.0346	0.0056	0.0000	-0.0301	0.0001	0.0025
-0.0000	-0.0007	-0.0043	0.0000	-0.0004	-0.0001	-0.0037
0.0297	-0.0001	0.0000	0.0152	0.0000	0.0007	0.0001
-0.0001	-0.0297	0.0046	0.0000	-0.0142	0.0000	0.0015
-0.0000	-0.0006	-0.0037	0.0000	-0.0002	-0.0000	-0.0017
0.0252	-0.0001	-0.0001	-0.0022	-0.0000	-0.0207	0.0004
-0.0001	-0.0246	0.0039	-0.0000	0.0023	-0.0000	0.0004
-0.0000	-0.0005	-0.0030	0.0000	0.0001	-0.0000	0.0003
0.0204	-0.0001	-0.0002	-0.0167	-0.0000	-0.0232	0.0004
-0.0001	-0.0195	0.0031	-0.0000	0.0163	-0.0001	-0.0010
-0.0000	-0.0004	-0.0024	0.0000	0.0003	0.0000	0.0020
0.0154	-0.0001	-0.0002	-0.0253	-0.0001	-0.0063	0.0000
-0.0000	-0.0144	0.0024	-0.0000	0.0249	-0.0001	-0.0023
-0.0000	-0.0003	-0.0017	-0.0000	0.0004	0.0001	0.0031
0.0105	-0.0001	-0.0002	-0.0264	-0.0000	0.0165	-0.0005
-0.0000	-0.0097	0.0017	-0.0000	0.0267	-0.0000	-0.0033
-0.0000	-0.0002	-0.0012	-0.0000	0.0004	0.0001	0.0033
0.0060	-0.0000	-0.0001	-0.0205	-0.0000	0.0282	-0.0007
-0.0000	-0.0055	0.0011	-0.0000	0.0219	-0.0000	-0.0034
-0.0000	-0.0001	-0.0007	-0.0000	0.0003	0.0001	0.0027
0.0024	-0.0000	-0.0001	-0.0105	-0.0000	0.0210	-0.0005
-0.0000	-0.0023	0.0005	-0.0000	0.0126	-0.0000	-0.0025
-0.0000	-0.0000	-0.0003	-0.0000	0.0001	0.0000	0.0015

Nota. Modos de Vibración del modo 1 de 12 del modelo 3. Elaboración propia

Tabla 39

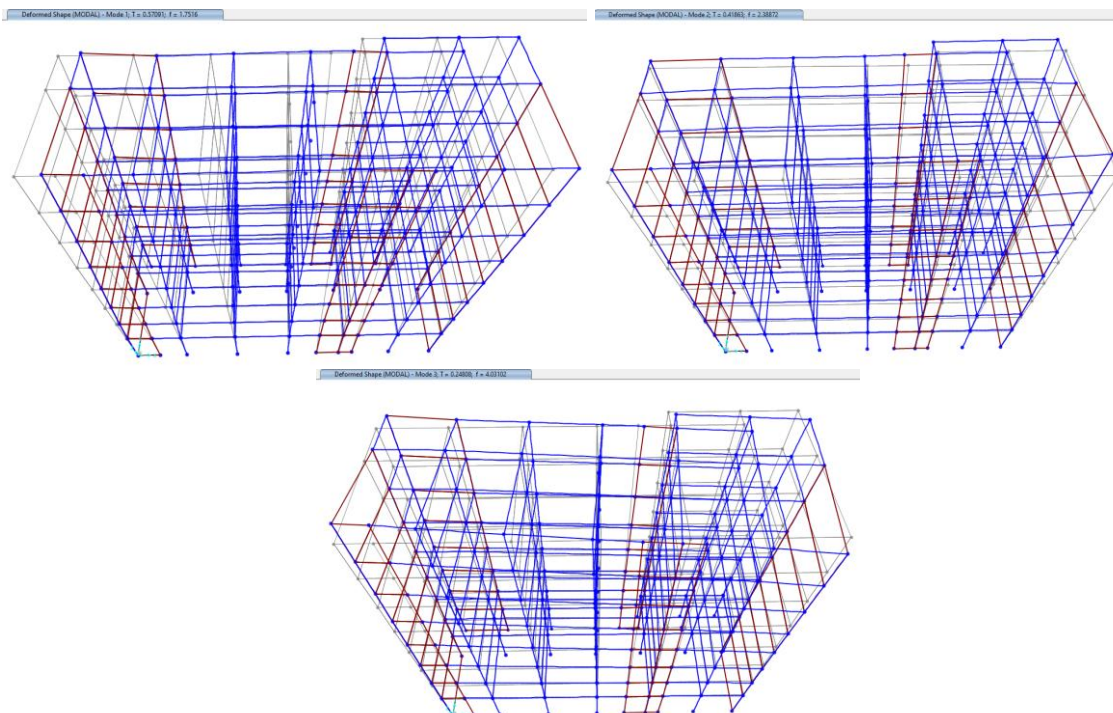
Modos de Vibración obtenida en software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements										
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	Unitless	m	m	m	Radians	Radians	Radians
21	MODAL	LinModal	Mode	1	0.033236	0.001691	0	0	0	-0.000038
18	MODAL	LinModal	Mode	1	0.029434	0.001502	0	0	0	-0.000032
17	MODAL	LinModal	Mode	1	0.025207	0.001293	0	0	0	-0.000026
16	MODAL	LinModal	Mode	1	0.020578	0.001061	0	0	0	-0.00002
15	MODAL	LinModal	Mode	1	0.015681	0.000813	0	0	0	-0.000014
14	MODAL	LinModal	Mode	1	0.010769	0.00056	0	0	0	-0.00000843
13	MODAL	LinModal	Mode	1	0.006205	0.000324	0	0	0	-3.989E-06
12	MODAL	LinModal	Mode	1	0.002451	0.000128	0	0	0	-1.177E-06
21	MODAL	LinModal	Mode	2	0.001669	-0.033898	0	0	0	-0.000805
18	MODAL	LinModal	Mode	2	0.001464	-0.029237	0	0	0	-0.000685
17	MODAL	LinModal	Mode	2	0.001198	-0.024277	0	0	0	-0.000563
16	MODAL	LinModal	Mode	2	0.000934	-0.019231	0	0	0	-0.00044
15	MODAL	LinModal	Mode	2	0.000681	-0.014264	0	0	0	-0.000321
14	MODAL	LinModal	Mode	2	0.00045	-0.009601	0	0	0	-0.000211
13	MODAL	LinModal	Mode	2	0.000254	-0.005511	0	0	0	-0.000117
12	MODAL	LinModal	Mode	2	0.000104	-0.002288	0	0	0	-0.000045
21	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.000721	0.007162	0	0	0	-0.003667
18	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.000479	0.006027	0	0	0	-0.003157
17	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.000459	0.005149	0	0	0	-0.002623
16	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.000421	0.004212	0	0	0	-0.002079
15	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.000368	0.003247	0	0	0	-0.001543
14	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.000299	0.002298	0	0	0	-0.00104
13	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.000211	0.001417	0	0	0	-0.000598
12	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.00011	0.000674	0	0	0	-0.000249

Nota. Resultados correspondientes al modelo 3. Elaboracion propia.

Figura 95

Formas modales obtenidas en software SAP 2000



Nota. Tres primeras formas modales del modelo 3. Elaboracion propia.

Masa modal de la estructura.

Figura 96

Masa modal efectiva obtenida por el script Rigidez_3D.m

MODO	MASA MODAL EFECTIVA									
	masa activa	DIRECCION X			DIRECCION Y			DIRECCION Z		
		Por. masa total	Por. acumu	Por. total	Por. masa activa	Por. acumu	Por. total	Por. masa activa	Por. acumu	Por. total
1	1828.42	73.52	73.52	0.01	0.00	0.00	2.52	0.00	0.00	
2	0.03	0.00	73.52	1738.81	69.91	69.91	2887.38	1.74	1.74	
3	0.08	0.00	73.52	46.28	1.86	71.77	114726.99	69.27	71.01	
4	429.03	17.25	90.77	0.00	0.00	71.77	0.22	0.00	71.01	
5	0.00	0.00	90.77	508.93	20.46	92.24	472.94	0.29	71.30	
6	142.22	5.72	96.49	0.00	0.00	92.24	17.37	0.01	71.31	
7	0.15	0.01	96.50	8.36	0.34	92.57	34708.59	20.95	92.26	
8	0.00	0.00	96.50	125.37	5.04	97.61	242.40	0.15	92.41	
9	55.52	2.23	98.73	0.00	0.00	97.61	0.37	0.00	92.41	
10	0.00	0.00	98.73	40.04	1.61	99.22	14.94	0.01	92.42	
11	0.01	0.00	98.73	0.10	0.00	99.23	8568.69	5.17	97.59	
12	20.98	0.84	99.57	0.00	0.00	99.23	0.02	0.00	97.59	
13	0.00	0.00	99.57	12.94	0.52	99.75	5.38	0.00	97.59	
14	7.64	0.31	99.88	0.00	0.00	99.75	0.24	0.00	97.59	
15	0.00	0.00	99.88	4.43	0.18	99.93	1.50	0.00	97.59	
16	0.00	0.00	99.88	0.09	0.00	99.93	2687.63	1.62	99.22	
17	2.48	0.10	99.98	0.00	0.00	99.93	0.76	0.00	99.22	
18	0.00	0.00	99.98	1.39	0.06	99.99	3.34	0.00	99.22	
19	0.52	0.02	100.00	0.00	0.00	99.99	0.00	0.00	99.22	
20	0.00	0.00	100.00	0.29	0.01	100.00	0.01	0.00	99.22	
21	0.00	0.00	100.00	0.02	0.00	100.00	880.45	0.53	99.75	
22	0.00	0.00	100.00	0.01	0.00	100.00	301.07	0.18	99.93	
23	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	92.73	0.06	99.99	
24	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	19.05	0.01	100.00	

Nota. Resultados correspondientes al modelo 3. Elaboración propia.

Tabla 40

Masa modal efectiva obtenidas en software SAP 2000

TABLE: Modal Participating Mass Ratios															
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.57163	0.73906	0.00195	0.00004101	0.73906	0.00195	0.00004101	0.00069	0.11876	0.0006961	0.00069	0.11876	0.0006961
MODAL	Mode	2	0.422336	0.00162	0.67974	9.095E-06	0.74067	0.68169	0.00005011	0.25989	0.0002	0.03105	0.26058	0.11896	0.03112
MODAL	Mode	3	0.281658	0.00034	0.03257	1.544E-07	0.74101	0.71426	0.00005026	0.01142	0.00023	0.67238	0.27201	0.11919	0.7035
MODAL	Mode	4	0.148971	0.15888	0.00048	0.0002	0.89989	0.71474	0.00025	0.00124	0.16805	7.629E-06	0.27324	0.28724	0.70351
MODAL	Mode	5	0.101294	0.00061	0.19912	0.00002005	0.9005	0.91386	0.00027	0.36643	0.000074	0.00531	0.63968	0.28731	0.70882
MODAL	Mode	6	0.087896	1.598E-06	0.00002261	0.3365	0.9005	0.91388	0.33676	0.00904	0.00978	4.438E-08	0.64871	0.29709	0.70882
MODAL	Mode	7	0.083263	1.605E-06	3.891E-06	0.06766	0.9005	0.91389	0.40442	0.00539	0.11605	0.00003239	0.6541	0.41314	0.70885
MODAL	Mode	8	0.078554	0.0001	0.00006618	0.0542	0.9006	0.91395	0.45984	0.00003083	0.00642	0.00027	0.65413	0.41956	0.70912
MODAL	Mode	9	0.078112	0.00002389	0.00001978	0.02723	0.90063	0.91397	0.48708	0.03265	0.0025	0.0028	0.68678	0.42206	0.71192
MODAL	Mode	10	0.075295	0.00021	0.00018	0.00768	0.90083	0.91416	0.49476	0.00003303	0.06528	0.00111	0.68681	0.48734	0.71303
MODAL	Mode	11	0.0739	3.527E-07	0.00003338	0.03578	0.90083	0.91419	0.53054	2.889E-08	0.00454	0.00062	0.68681	0.49189	0.71385
MODAL	Mode	12	0.070376	0.00018	0.00473	0.00252	0.90101	0.91891	0.53306	0.00284	0.00067	0.18421	0.68966	0.49256	0.89006
MODAL	Mode	13	0.067889	0.05445	0.00022	6.151E-06	0.95546	0.91914	0.53307	0.00016	0.04532	0.0001	0.68981	0.53787	0.89616
MODAL	Mode	14	0.066654	7.73E-08	1.144E-06	0.03054	0.95546	0.91914	0.56361	0.03454	0.01514	0.00843	0.72435	0.55301	0.90659
MODAL	Mode	15	0.0636	0.00014	0.00002805	0.04271	0.95561	0.91917	0.60632	0.00439	0.02912	0.00009501	0.72874	0.58214	0.90669
MODAL	Mode	16	0.062233	0.00088	0.00003651	0.00315	0.95648	0.9192	0.60947	0.01064	0.00019	0.00114	0.73837	0.58233	0.90783
MODAL	Mode	17	0.059678	0.00004588	9.906E-07	0.03262	0.95653	0.9192	0.64209	0.00003	0.01432	0.0002	0.7394	0.59665	0.90803
MODAL	Mode	18	0.059128	0.00016	0.0005	0.01477	0.95669	0.9197	0.65686	0.0065	0.01952	0.00372	0.7459	0.61617	0.91175
MODAL	Mode	19	0.055218	0.00003116	0.00002269	0.00051	0.95672	0.91973	0.65737	0.00016	0.00489	0.00015	0.74606	0.62106	0.91189
MODAL	Mode	20	0.052674	0.00002475	0.00006172	0.01829	0.95674	0.91979	0.67566	0.00401	0.00449	0.0001	0.75007	0.62555	0.912
MODAL	Mode	21	0.047471	0.00019	0.05153	0.00027	0.95693	0.97132	0.67593	0.11456	0.00001708	0.00153	0.86463	0.62557	0.91353
MODAL	Mode	22	0.044234	0.00011	3.161E-06	0.00016	0.95703	0.97133	0.67609	0.01023	0.00012	0.00002384	0.87486	0.62569	0.91355
MODAL	Mode	23	0.044075	0.00055	2.862E-06	0.02951	0.95758	0.97133	0.7056	0.00273	0.00705	1.747E-06	0.87759	0.63274	0.91356
MODAL	Mode	24	0.040712	0.02249	0.00008779	1.454E-09	0.98007	0.97142	0.7056	0.00018	0.06053	1.283E-06	0.87777	0.69327	0.91356

Nota. Resultados correspondientes al modelo 3. Elaboración propia.

5.2.6. Análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 3

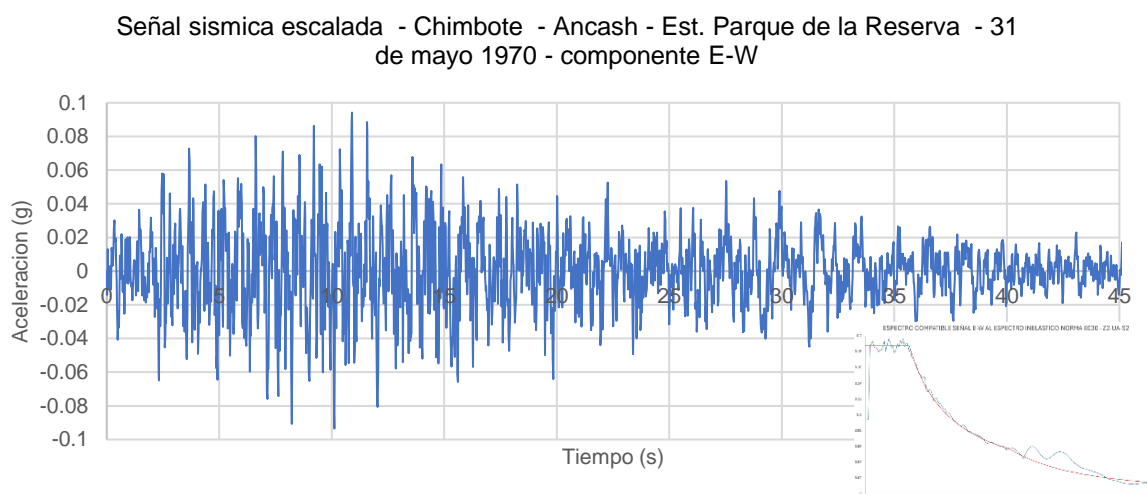
En este análisis se considera los registros del sismo de CHIMBOTE – ANCASH, 31/05/1970, parque de reserva, 90° y 0°, con paso del tiempo de 0.02, en las direcciones

de análisis según el presente ejemplo 90° en E-W y 0° en N-S que denominaremos para el ejemplo SCE_1970_HNE y SCE_1970_HNN respectivamente, en la figura 95 se muestran las señales.

Estas señales son corregidas para efectos del presente análisis por línea base y filtrado de frecuencias y en su defecto hacerlas espectro compatible al espectro Z2-UA-S2 figura 97. Que representa según la normatividad el espectro de diseño para la ubicación de la estructura modelo 3.

Figura 97

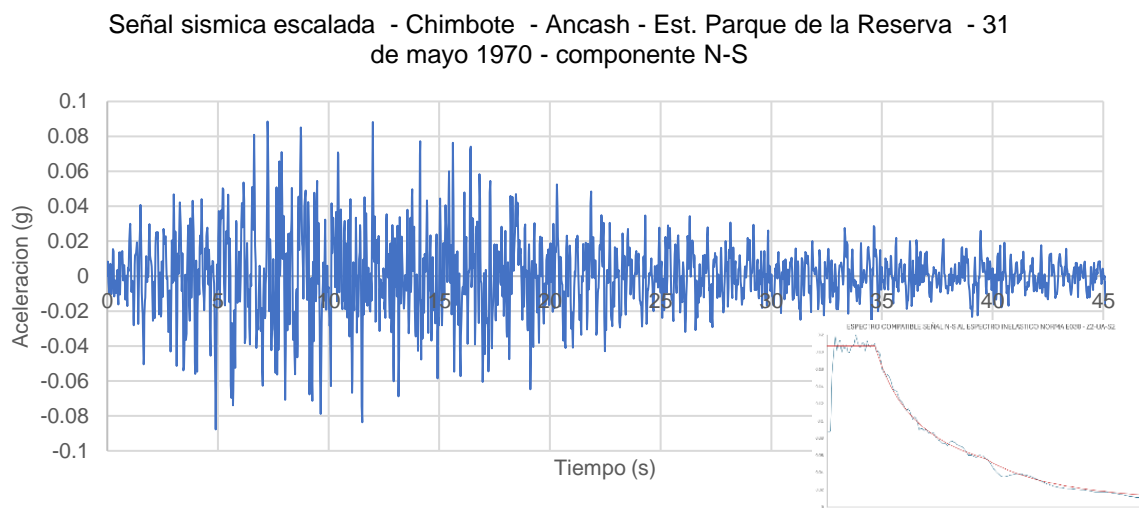
Señal sísmica SCE_1970_HNE



Nota. La señal sísmica fue escalada al espectro Z2 – UA – S2. Elaboración propia.

Figura 98

Señal sísmica SCE_1970_HNN



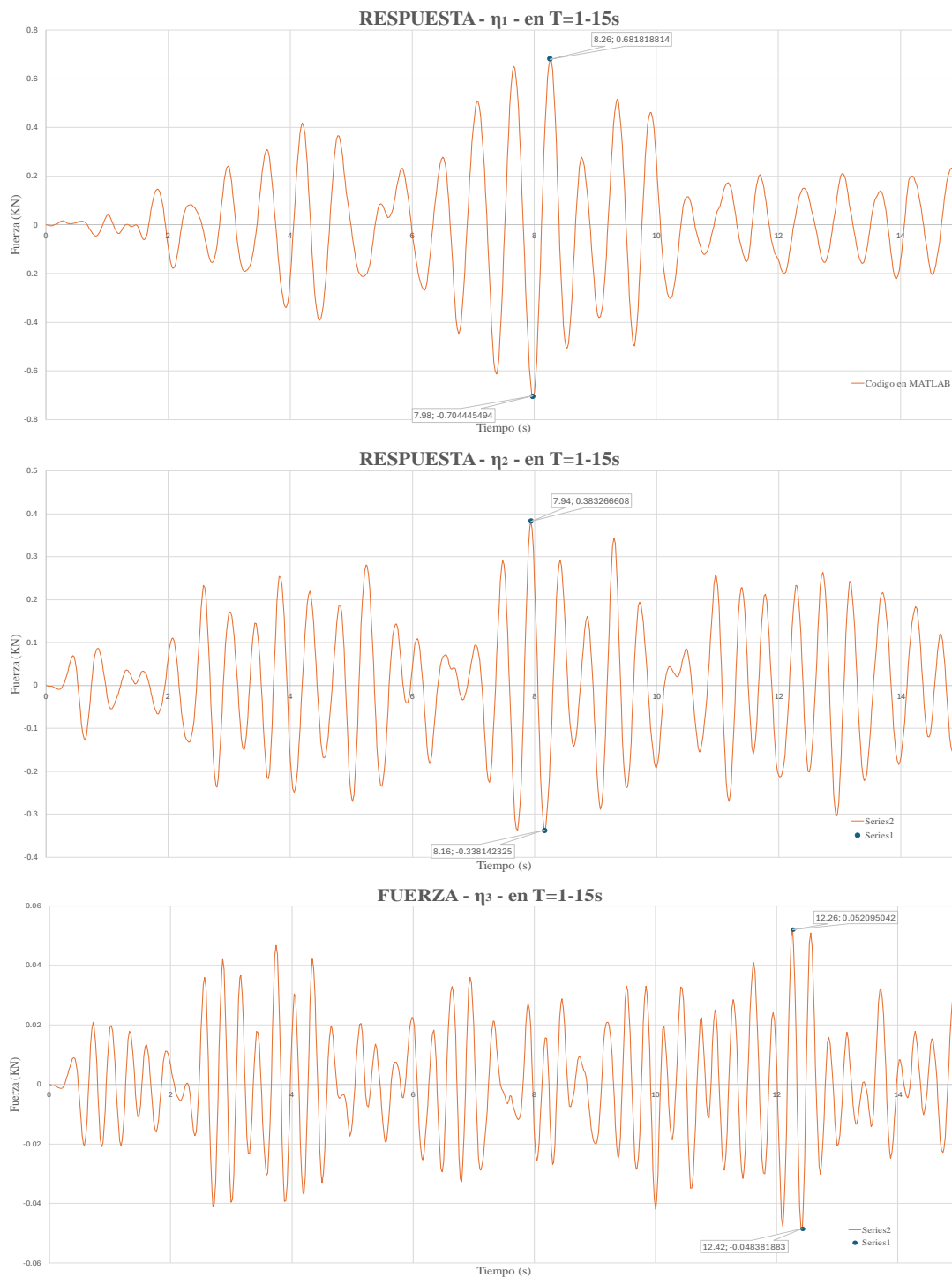
Nota. La señal sísmica fue escalada al espectro Z2 – UA – S2. Elaboración propia.

Ejecución script (Análisis_TH.m).

Resultado de coordenadas desacopladas en el tiempo de los tres primeros modos.

Figura 99

Respuesta de desplazamiento desacoplados obtenidas por el script Analisis_TH.m



Nota. Modelo 3: Coordenadas desacopladas η_1 , η_2 y η_3 vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo SCE_1970_HNE y SCE_1970_HNN. Elaboración propia.

Tabla 41

Valores máximos de la respuesta desacopladas para verificación

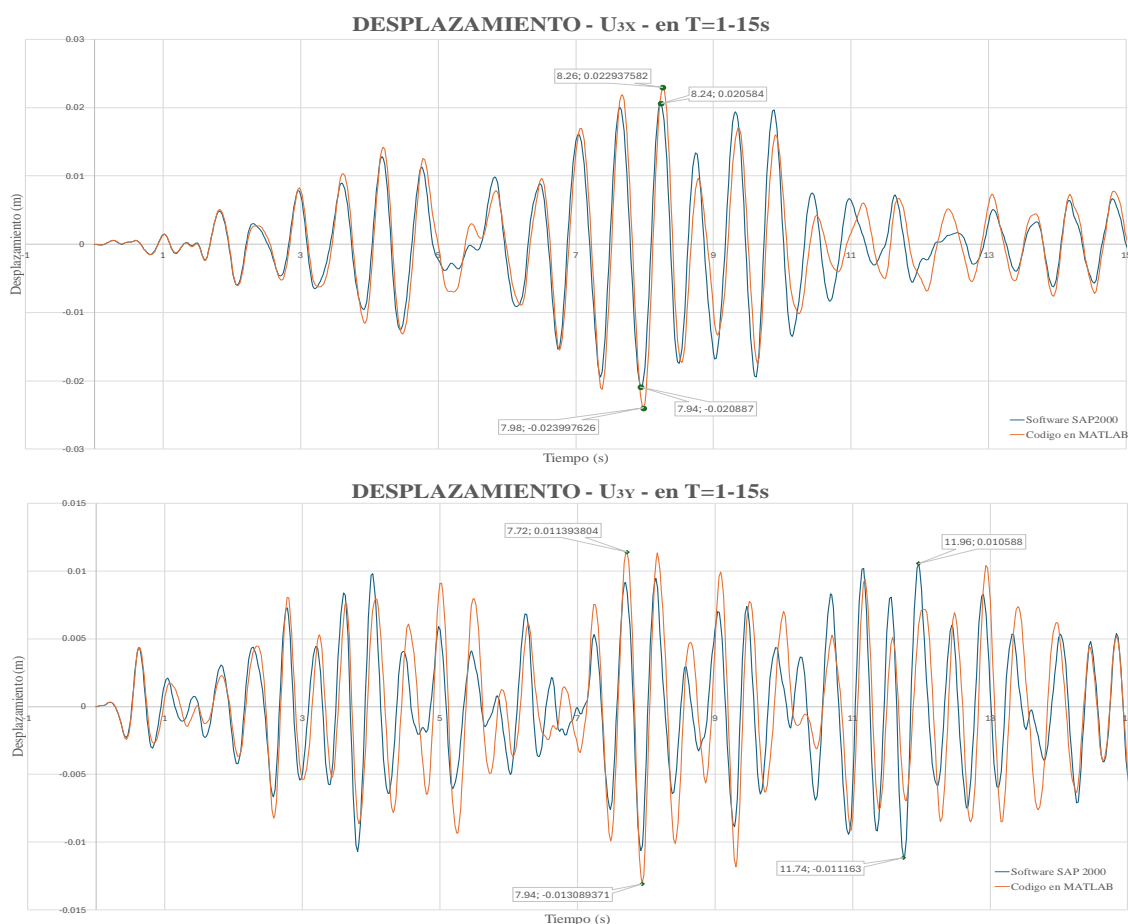
Valor	Codigo MATLAB	
	t (s)	η (m)
	η_1 EW $T_1=0.555s$	
Max	8.260	0.6818
Min	7.980	-0.7044
	η_2 NST $T_2=0.517s$	
Max	7.940	0.3833
Min	8.160	-0.3381
	η_3 EW $T_3=0.341s$	
Max	12.260	0.0521
Min	12.420	-0.0484

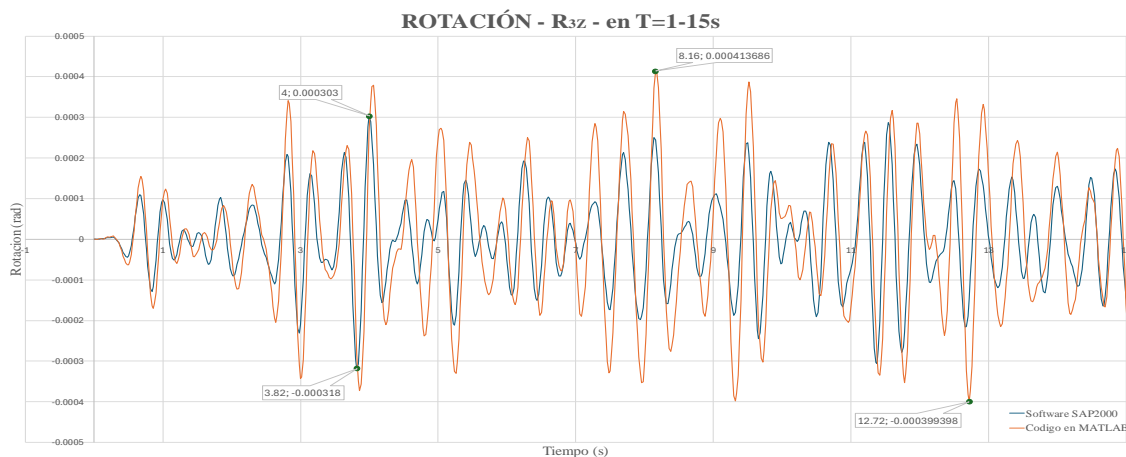
Nota. Ante la señal SCE_ 1970. Elaboración propia.

Desplazamiento por piso en el tiempo de la estructura, en la figura 100 se muestra resultados del tercer piso.

Figura 100

Desplazamientos correspondientes al piso 8 obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000





Nota. Modelo 3: Desplazamientos U_{8X} , U_{8Y} y U_{8Z} vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo SCE_1970_HNE y SCE_1970_HNN. Elaboración propia.

Tabla 42

Valores máximos de fuerzas para verificación

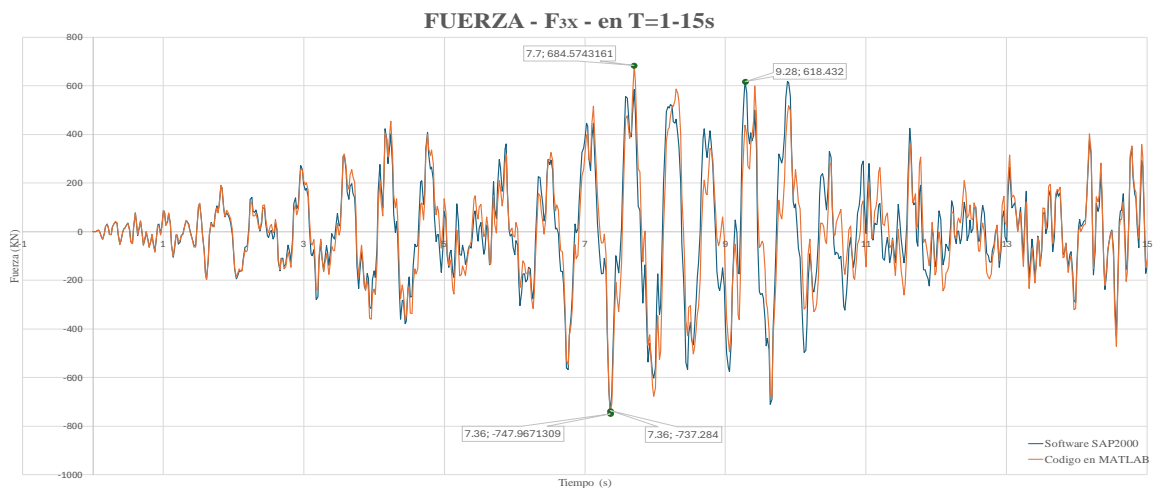
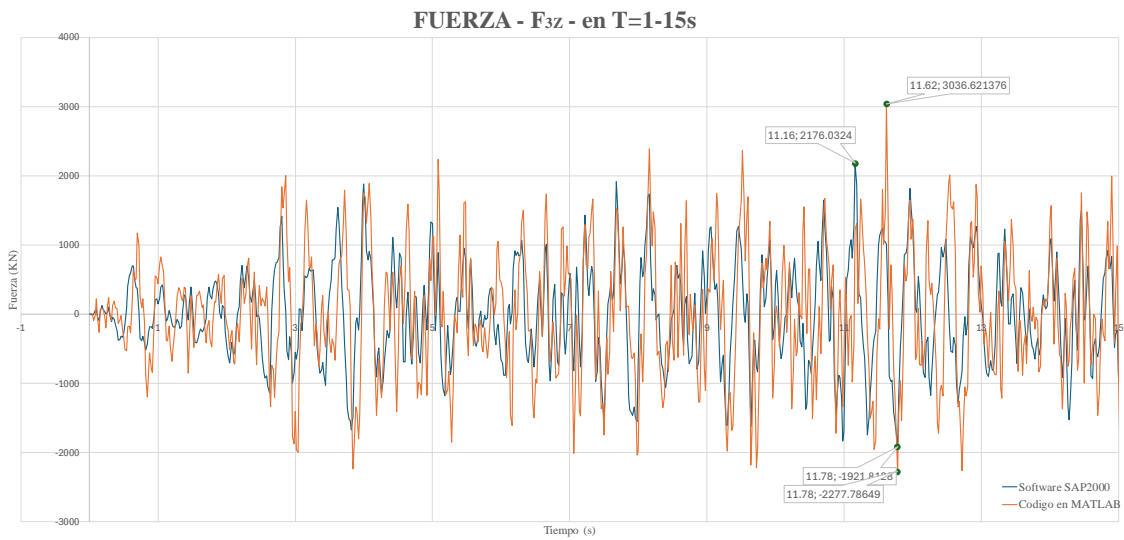
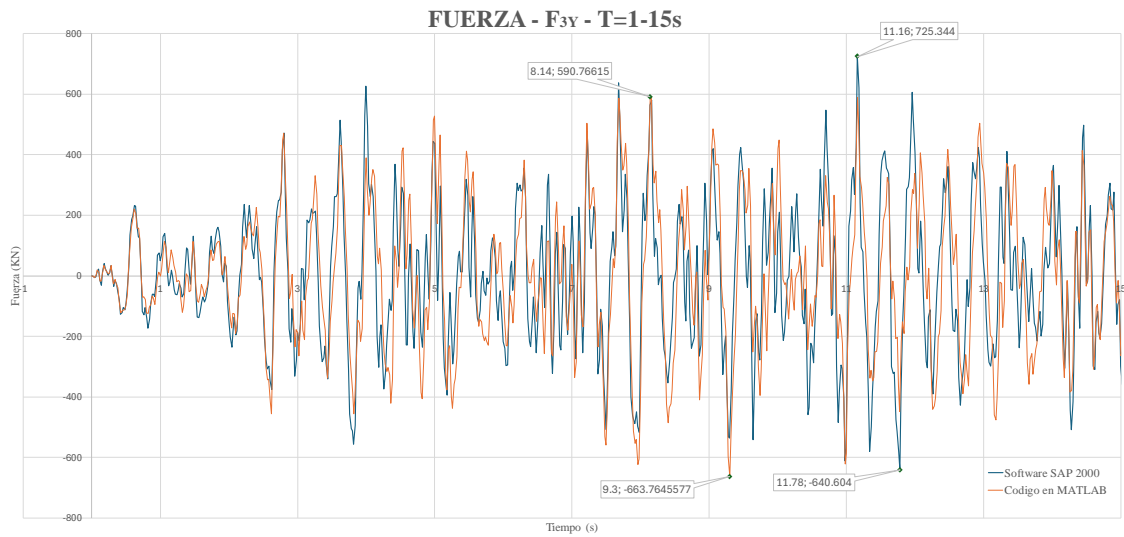
Valor	Codigo MATLAB		SAP 2000	
	t (s)	U (m)	t (s)	U (m)
U _{8x} Tercer piso				
Max	8.260	0.0229	8.24	0.02058
Min	7.980	-0.024	7.94	-0.0209
U _{8y} Tercer piso				
Max	7.720	0.0114	11.96	0.0106
Min	7.940	-0.0131	11.74	-0.0111
U _{8z} Tercer piso				
Max	8.160	0.0004	4	0.0003
Min	12.720	-0.0004	3.82	-0.0003

Nota. Ante la señal SCE_1970. Elaboración propia.

Fuerza inercial por piso de la estructura en el tiempo, en la figura 101 se muestra resultados del tercer piso.

Figura 101

Fuerzas correspondientes al piso 8 obtenidas por el script Analisis_TH.m y software SAP 2000



Nota. Modelo 3: Fuerzas F_{8X} , F_{8Y} y F_{8Z} vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo SCE_1970_HNE y SCE_1970_HNN. Elaboración propia.

Tabla 43

Valores máximos de fuerzas ante la señal AC-1970

Valor	CODIGO MATLAB		SAP 2000	
	t (s)	F (kN)	t (s)	F(kN)
F _{3x} Tercer piso				
Max	7.700	684.5743	9.28	618.432
Min	7.360	-747.9671	7.360	-737.284
F _{3y} Tercer piso				
Max	8.140	590.7662	11.16	725.344
Min	9.300	-663.7646	11.78	-640.604
F _{3z} Tercer piso				
Max	11.620	2176.0324	11.16	3036.6214
Min	11.780	-2277.7865	11.78	-1921.8128

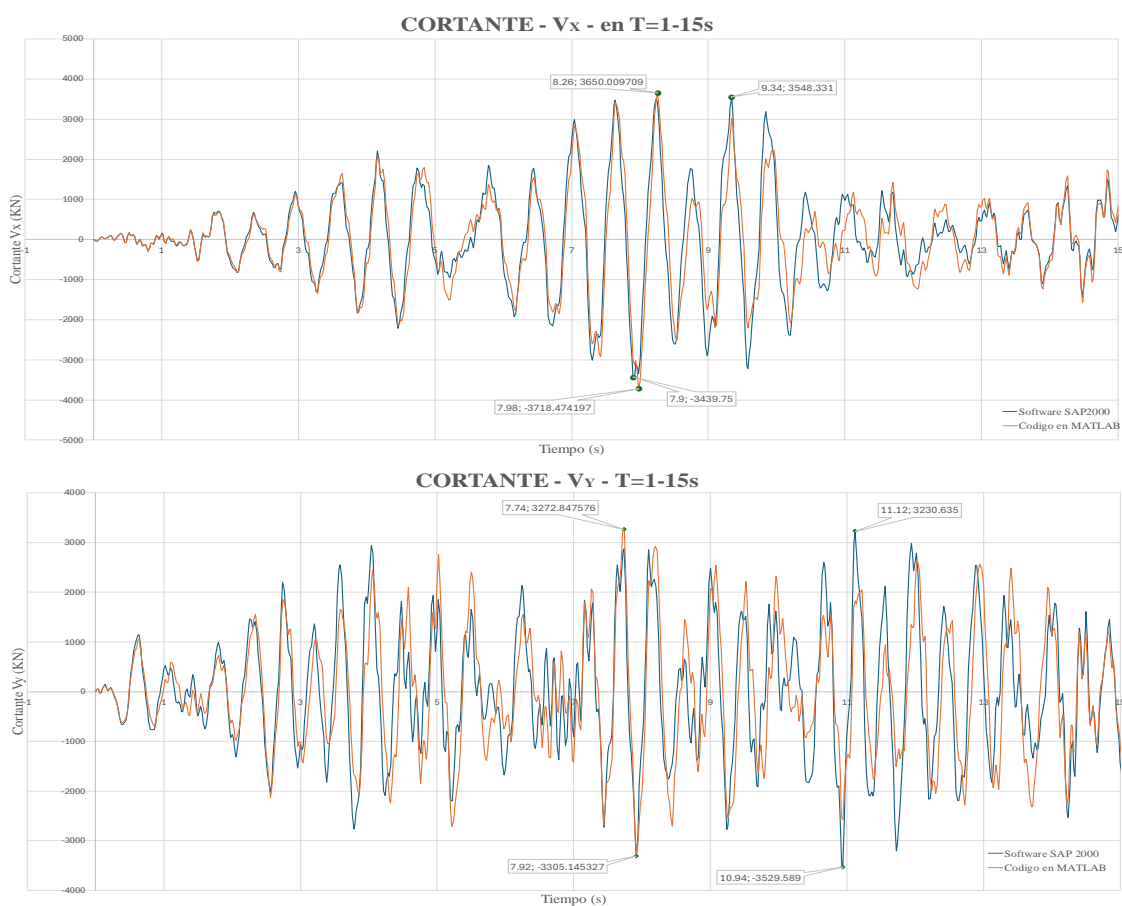
Nota. Ante la señal SCE_ 1970. Elaboración propia.

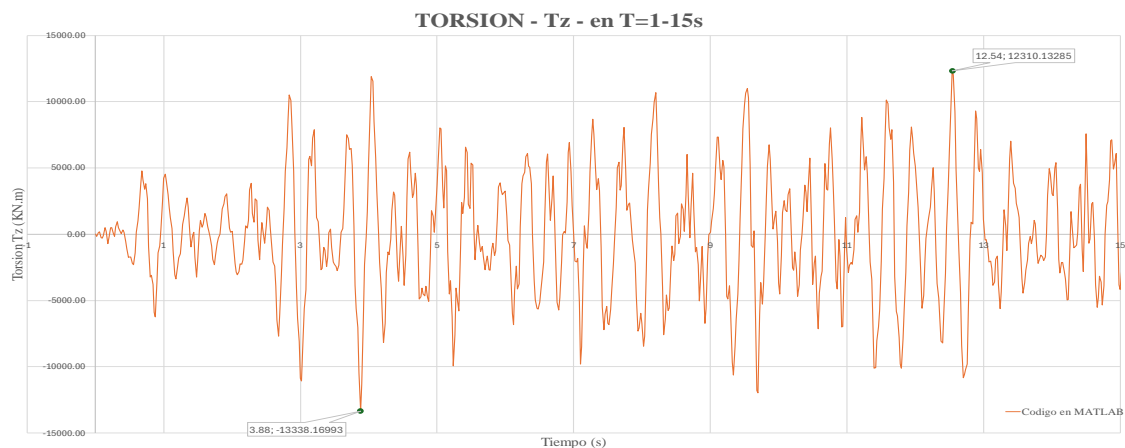
Cortante basales X, Y y momento torsional Tz en el tiempo de la estructura, en la figura 102 se muestra resultados.

Figura 102

Cortantes y Torsión correspondientes al piso 8 del modelo 3, obtenidas por el script

Analisis_TH.m y software SAP 2000





Nota. Cortante y Torsión V_x , V_y y T_z vs tiempo respectivamente ante los componentes del sismo SCE_1970_HNE y SCE_1970_HNN. Elaboración propia.

Tabla 44

Valores máximos de cortantes para verificación

Valor	CODIGO MATLAB		SAP 2000	
	t (s)	V (kN)	t (s)	V(kN)
Corte Basal V_x				
Max	8.260	3650.0	9.340	3548.3
Min	7.980	-3718.5	7.900	-3439.8
Corte Basal V_y				
Max	7.740	3272.8	11.120	3230.6
Min	7.920	-3305.1	10.940	-3529.6
	t (s)	T (kN.m)	t (s)	T(kN.m)
Momento torcional inercial T_z				
Max	12.540	12310.1		
Min	3.880	-13338.2		

Nota. Ante la señal SCE_1970. Elaboración propia.

5.2.7. Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotridimensionales - Modelo 3

El siguiente análisis se considera el espectro con las siguientes propiedades, y en ambas direcciones considerando excentricidad accidental, en la figura 103 se muestran los espectros de análisis para el análisis del edificio.

Tabla 45

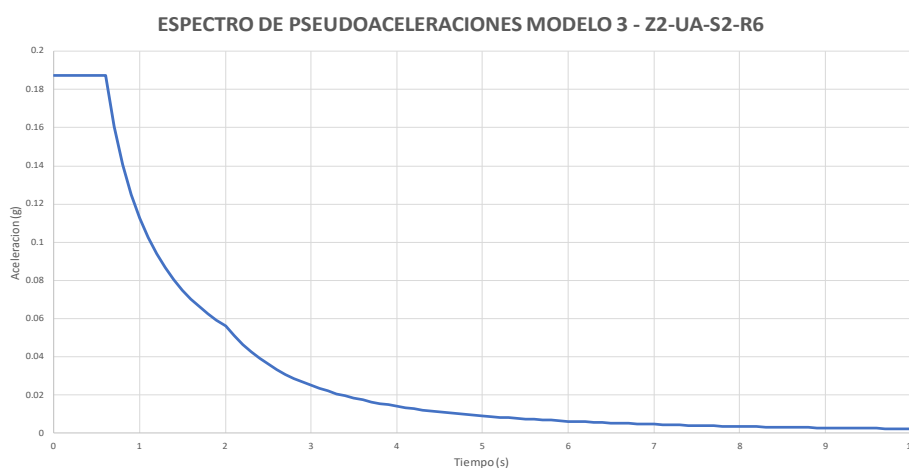
Factores según la norma E030 de diseño sismorresistente para el espectro de pseudoaceleraciones

SEGÚN NORMA E030 – EDIFICIO MODELO 3				
Zona 2	Z	0.25	Tp (s)	0.6
Uso	U	1.5	TL (s)	2
Suelo S2	S	1.2	Hn (m)	25
Sistema Estructural	Ro	6 (Muros estructurales)	CT	60
Factor de amplificación	Cx	2.50		
	Cy	2.50		
Irregularidad de planta	Ip	1 (Estructura Regular)		
Irregularidad de altura	la	1 (Estructura Regular)		
	Rx	6		
	Ry	6		
	C/R	0.41666667		
Factor XX		0.1875		
Factor YY		0.1875		

Nota. Factores del espectro de pseudoaceleraciones (Z2-UA-S2). Elaboración propia.

Figura 103

Espectros de pseudoaceleraciones según norma E030



Nota. Espectros de pseudoaceleraciones para la edificación. Elaboración propia.

Ejecución script (Pseudoespectral_3D.m).

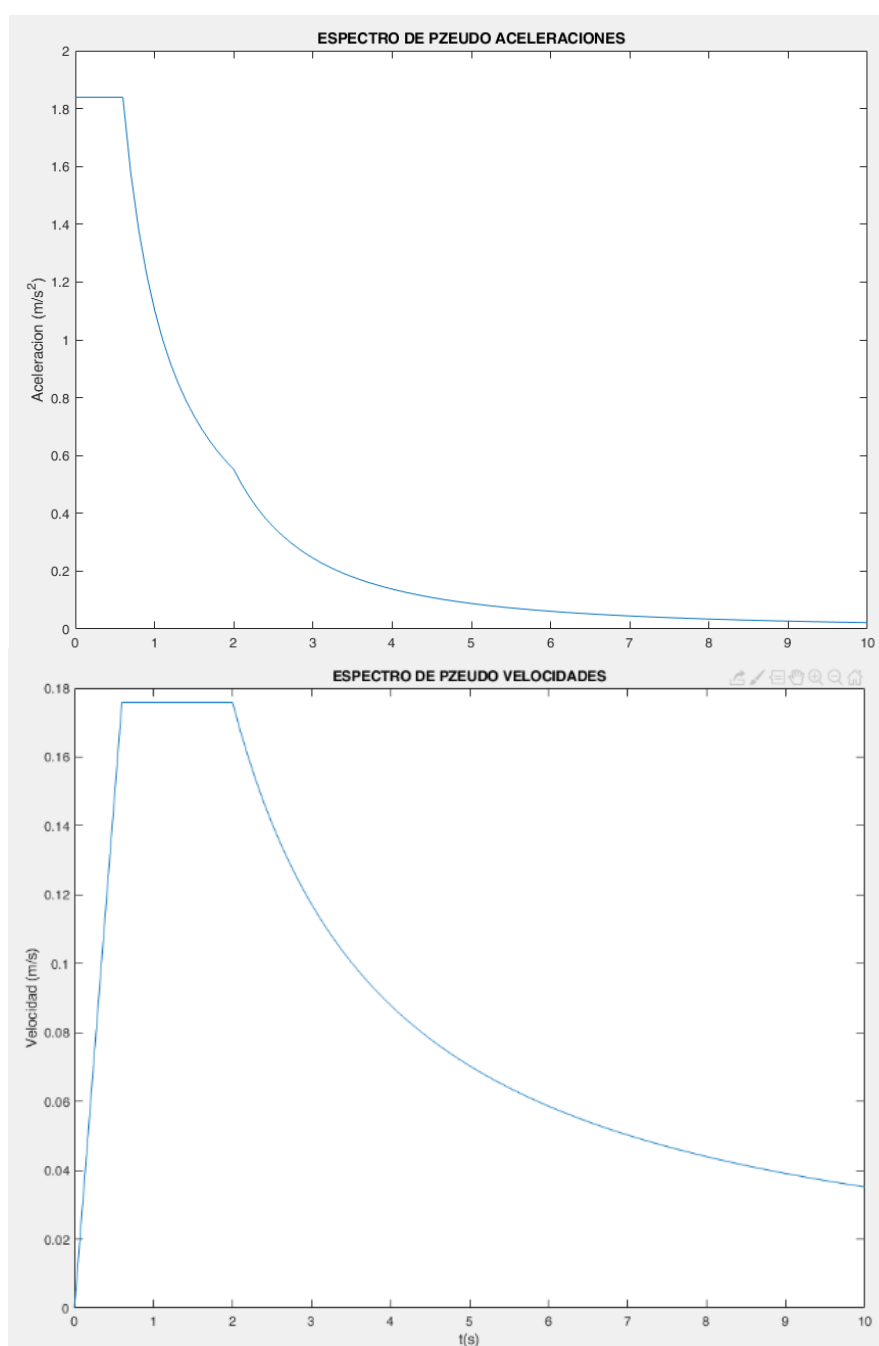
Ingresado la señal sísmica considerada anteriormente se realiza el proceso de cargar la señal sísmica para calcular el espectro de aceleraciones o en tal caso cargar alguna función espectral de aceleraciones. La ejecución del script nos permite determinar

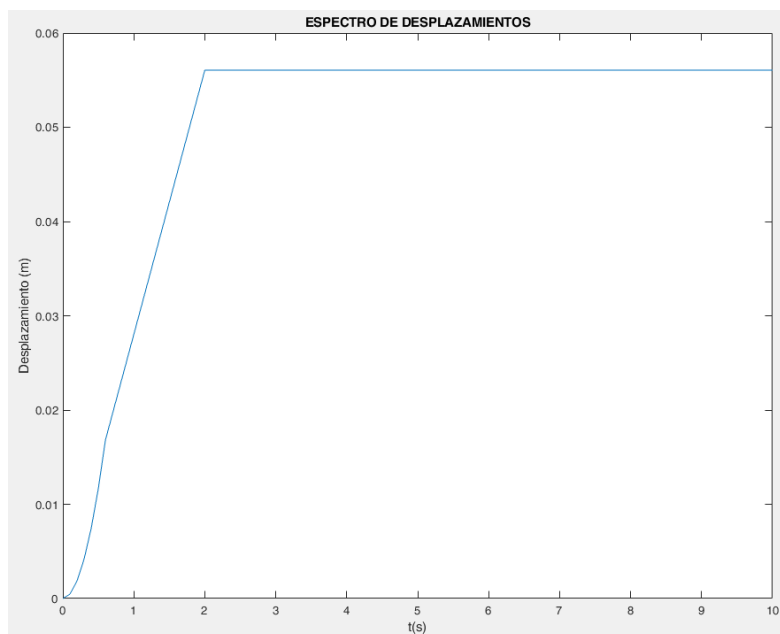
de acuerdo al registro del Centro que los espectros de desplazamientos, velocidad y aceleraciones.

Se considero en el siguiente análisis la excentricidad accidental del 5% que indica la norma E030 Norma de diseño sismorresistente el cual es considerado en el presente análisis espectral de la estructura y obtener la respuesta ante este presente análisis.

Figura 104

Espectros de desplazamiento y espectro de pseudovelocidades y pseudoaceleraciones de según norma E030, obtenidos del script Pseudoespectral_3D





Nota. Espectros de pseudoaceleraciones, pseudovelocidades y desplazamientos Z2-UA-S2. Elaboración propia.

Ejecución script (Análisis_Pseudo_3D.m).

Con el espectro de desplazamientos se procede a determinar los valores correspondientes a los modos de vibración en función de los periodos de la estructura.

Figura 105

Valores correspondientes a los periodos, obtenido del script Analisis_Pseudo_3D.m

MODO	TIEMPO	Sd(Ti, Ei)	MODO	TIEMPO	Sd(Ti, Ei)
1	0.5878	0.0162	1	0.5872	0.0162
2	0.4423	0.0093	2	0.4624	0.0101
3	0.2993	0.0042	3	0.2865	0.0039
4	0.1471	0.0011	4	0.1471	0.0011
5	0.0977	0.0005	5	0.1032	0.0005
6	0.0664	0.0003	6	0.0664	0.0003
7	0.0545	0.0003	7	0.0518	0.0002
8	0.0443	0.0002	8	0.0468	0.0002
9	0.0404	0.0002	9	0.0404	0.0002
10	0.0287	0.0001	10	0.0305	0.0001
11	0.0286	0.0001	11	0.0286	0.0001
12	0.0225	0.0001	12	0.0229	0.0001
13	0.0215	0.0001	13	0.0224	0.0001
14	0.0203	0.0001	14	0.0192	0.0001
15	0.0190	0.0001	15	0.0190	0.0001
16	0.0178	0.0001	16	0.0188	0.0001
17	0.0173	0.0001	17	0.0172	0.0001
18	0.0157	0.0001	18	0.0168	0.0001
19	0.0146	0.0001	19	0.0156	0.0001
20	0.0106	0.0000	20	0.0100	0.0000
21	0.0065	0.0000	21	0.0061	0.0000
22	0.0045	0.0000	22	0.0042	0.0000
23	0.0033	0.0000	23	0.0031	0.0000
24	0.0027	0.0000	24	0.0026	0.0000

Nota. Periodos leídos en el espectro de desplazamiento de Z2-UA-S2. Izquierda considerando excentricidad accidental en la dirección Y y derecha considerando excentricidad accidental en dirección X. Elaboración propia.

Desplazamientos máximos modales dirección en Y y X, considerando excentricidad.

Figura 106

Desplazamientos máximos (m) considerando excentricidad accidental en Y y X, obtenidos por el script Analisis_Pseudo_3D.m

Desplazamientos modales maximos U mod						Desplazamientos modales maximos U mod					
Columns 1 through 14						Columns 1 through 14					
0.0234	-0.0001	-0.0045	-0.0006	0.0000	0.0002	0.0234	-0.0000	-0.0008	-0.0006	-0.0000	0.0000
-0.0001	0.0131	0.0186	0.0000	-0.0003	-0.0011	-0.0000	0.0138	0.0275	0.0000	-0.0003	-0.0012
-0.0001	0.0002	0.0069	-0.0000	-0.0000	-0.0001	-0.0000	0.0003	0.0070	-0.0000	-0.0000	-0.0001
0.0205	-0.0001	-0.0040	-0.0004	0.0000	0.0001	0.0205	-0.0000	-0.0009	-0.0004	-0.0000	0.0000
-0.0001	0.0112	0.0170	0.0000	-0.0001	-0.0005	-0.0000	0.0118	0.0246	-0.0000	-0.0001	-0.0006
-0.0000	0.0002	0.0059	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0003	0.0059	-0.0000	-0.0000	-0.0000
0.0174	-0.0001	-0.0031	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0174	-0.0000	-0.0006	-0.0000	-0.0000	-0.0000
-0.0001	0.0092	0.0145	0.0000	0.0000	0.0001	-0.0000	0.0097	0.0207	-0.0000	0.0000	0.0001
-0.0000	0.0002	0.0048	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0002	0.0048	-0.0000	0.0000	0.0000
0.0141	-0.0001	-0.0023	0.0003	-0.0000	-0.0001	0.0141	-0.0000	-0.0004	0.0003	-0.0000	-0.0000
-0.0001	0.0072	0.0119	-0.0000	0.0002	0.0006	-0.0000	0.0076	0.0167	-0.0000	0.0002	0.0007
-0.0000	0.0001	0.0037	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0002	0.0038	-0.0000	0.0000	0.0000
0.0106	-0.0001	-0.0016	0.0006	-0.0000	-0.0001	0.0106	-0.0000	-0.0002	0.0006	0.0000	-0.0000
-0.0001	0.0052	0.0091	-0.0000	0.0002	0.0009	-0.0000	0.0056	0.0126	0.0000	0.0002	0.0010
-0.0000	0.0001	0.0027	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0001	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000
0.0072	-0.0000	-0.0010	0.0007	-0.0000	-0.0001	0.0072	0.0000	-0.0001	0.0007	0.0000	-0.0000
-0.0000	0.0034	0.0065	-0.0000	0.0002	0.0009	0.0000	0.0037	0.0087	0.0000	0.0003	0.0011
-0.0000	0.0001	0.0018	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0001	0.0018	0.0000	0.0000	0.0001
0.0042	-0.0000	-0.0005	0.0006	-0.0000	-0.0001	0.0042	0.0000	-0.0000	0.0006	0.0000	-0.0000
-0.0000	0.0019	0.0040	-0.0000	0.0002	0.0007	0.0000	0.0021	0.0052	0.0000	0.0002	0.0009
-0.0000	0.0000	0.0010	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0001	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000
0.0017	-0.0000	-0.0002	0.0003	-0.0000	-0.0001	0.0017	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	-0.0000
-0.0000	0.0008	0.0019	-0.0000	0.0001	0.0004	0.0000	0.0008	0.0024	0.0000	0.0001	0.0005
-0.0000	0.0000	0.0004	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000

Nota. Desplazamientos modales correspondientes a los GL de cada nivel, del modo 1 al 6.

Elaboración propia.

Tabla 46

Desplazamientos máximos (m) considerando excentricidad accidental en Y y X, obtenido por el software SAP 2000

TABLE: Joint Displacements										
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians	
21	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.022497	0.001908	0	0	0	0.000125	
21	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.00184	0.01258	0	0	0	0.000564	
18	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.019594	0.001652	0	0	0	0.000104	
18	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.001586	0.010716	0	0	0	0.00048	
17	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.016602	0.001383	0	0	0	0.000084	
17	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.001335	0.008828	0	0	0	0.000396	
16	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.013868	0.001146	0	0	0	0.00007	
16	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.001104	0.007154	0	0	0	0.000317	
15	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.010808	0.000893	0	0	0	0.000055	
15	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.000844	0.005441	0	0	0	0.000237	
14	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.00764	0.000629	0	0	0	0.00004	
14	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.000598	0.003778	0	0	0	0.000161	
13	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.004553	0.000376	0	0	0	0.000024	
13	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.000365	0.002261	0	0	0	0.000094	
12	DINAMICO_XX_ABS	LinRespSpec Max		0.001872	0.000159	0	0	0	0.000011	
12	DINAMICO_YY_ABS	LinRespSpec Max		0.000157	0.000995	0	0	0	0.000039	

Nota. Desplazamientos correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Deriva de piso máxima.

Figura 107

Derivas máximas (%) considerando excentricidad accidental en Y y X.

Deriva de piso maxima en porcentaje						Deriva de piso maxima en porcentaje					
Columns 1 through 14						Columns 1 through 14					
0.9621	-0.0021	-0.1431	-0.0985	-0.0001	0.0273	0.9609	0.0029	0.0534	-0.0985	-0.0002	0.0027
-0.0058	0.6456	0.5307	0.0006	-0.0486	-0.1959	-0.0040	0.6722	0.9820	0.0003	-0.0534	-0.2218
-0.0032	0.0089	0.3540	0.0001	-0.0022	-0.0090	-0.0010	0.0142	0.3577	-0.0000	-0.0026	-0.0108
1.0444	-0.0074	-0.2908	-0.1090	0.0003	0.0291	1.0424	-0.0039	-0.0932	-0.1090	-0.0000	0.0035
-0.0075	0.6680	0.8352	0.0006	-0.0493	-0.1985	-0.0037	0.7006	1.2956	0.0001	-0.0545	-0.2264
-0.0031	0.0099	0.3589	0.0001	-0.0024	-0.0096	-0.0009	0.0154	0.3627	-0.0000	-0.0027	-0.0113
1.1126	-0.0071	-0.2744	-0.1101	0.0004	0.0246	1.1108	-0.0032	-0.0801	-0.1100	-0.0003	0.0022
-0.0072	0.6676	0.8881	0.0006	-0.0405	-0.1629	-0.0030	0.7016	1.3449	-0.0002	-0.0450	-0.1870
-0.0030	0.0105	0.3558	0.0001	-0.0020	-0.0082	-0.0008	0.0159	0.3596	-0.0000	-0.0023	-0.0096
1.1487	-0.0068	-0.2466	-0.0879	0.0005	0.0152	1.1471	-0.0024	-0.0631	-0.0879	-0.0004	0.0006
-0.0068	0.6461	0.9106	0.0006	-0.0238	-0.0957	-0.0023	0.6804	1.3491	-0.0004	-0.0267	-0.1111
-0.0027	0.0107	0.3414	0.0000	-0.0013	-0.0052	-0.0006	0.0159	0.3450	-0.0001	-0.0015	-0.0060
1.1273	-0.0061	-0.2077	-0.0365	0.0004	0.0029	1.1260	-0.0016	-0.0437	-0.0365	-0.0003	-0.0006
-0.0061	0.5957	0.8911	0.0004	-0.0031	-0.0125	-0.0014	0.6287	1.2920	-0.0003	-0.0039	-0.0163
-0.0024	0.0104	0.3120	-0.0000	-0.0003	-0.0013	-0.0004	0.0151	0.3153	-0.0000	-0.0003	-0.0014
1.0272	-0.0050	-0.1593	0.0315	0.0001	-0.0091	1.0262	-0.0006	-0.0235	0.0315	-0.0000	-0.0012
-0.0050	0.5110	0.8221	0.0001	0.0159	0.0640	-0.0005	0.5408	1.1630	-0.0000	0.0172	0.0717
-0.0019	0.0095	0.2652	-0.0000	0.0006	0.0025	-0.0003	0.0136	0.2679	-0.0000	0.0007	0.0031
0.8270	-0.0038	-0.1077	0.0864	-0.0003	-0.0169	0.8263	0.0001	-0.0087	0.0864	0.0003	-0.0012
-0.0036	0.3878	0.7040	-0.0003	0.0276	0.1113	0.0004	0.4126	0.9604	0.0003	0.0306	0.1271
-0.0013	0.0081	0.1989	-0.0001	0.0013	0.0052	-0.0001	0.0111	0.2009	0.0000	0.0015	0.0062
0.4209	-0.0023	-0.0407	0.0809	-0.0006	-0.0148	0.4206	0.0006	0.0046	0.0809	0.0003	-0.0008
-0.0022	0.1877	0.4689	-0.0008	0.0250	0.1007	0.0006	0.2036	0.5917	0.0002	0.0284	0.1179
-0.0006	0.0055	0.0942	-0.0001	0.0014	0.0057	0.0000	0.0069	0.0951	0.0000	0.0016	0.0066

Nota. Desplazamientos modales correspondientes a los GL de cada nivel, del modo 1 al 6 obtenidas por el script Analisis_Pseudo_3D.m. Elaboración propia.

Fuerzas inerciales máximas.

Figura 108

Fuerzas inerciales máximas (KN) considerando excentricidad en Y y X.

Fuerzas Inerciales Maximas						Fuerzas Inerciales Maximas					
Columns 1 through 14						Columns 1 through 14					
0.0060	0.0000	-0.0002	-0.0009	-0.0000	0.0005	0.0060	0.0000	0.0001	-0.0009	0.0000	0.0001
-0.0000	0.0062	-0.0010	-0.0000	-0.0024	-0.0098	-0.0000	0.0062	-0.0012	0.0000	-0.0024	-0.0100
0.0002	0.0004	0.5087	-0.0003	-0.0101	-0.0407	0.0000	0.0001	0.5151	0.0000	-0.0104	-0.0431
0.0075	0.0000	-0.0004	-0.0020	-0.0000	0.0004	0.0075	0.0000	-0.0002	-0.0020	0.0000	0.0001
-0.0000	0.0076	0.0004	0.0000	-0.0016	-0.0064	-0.0000	0.0076	0.0001	0.0000	-0.0016	-0.0066
0.0002	0.0010	0.6447	-0.0003	-0.0076	-0.0304	0.0001	0.0006	0.6522	-0.0002	-0.0076	-0.0317
0.0064	0.0000	0.0000	-0.0019	0.0000	0.0000	0.0064	0.0000	-0.0000	-0.0019	-0.0000	-0.0001
-0.0000	0.0062	0.0010	0.0000	0.0004	0.0015	0.0000	0.0062	0.0008	-0.0000	0.0004	0.0015
0.0002	0.0012	0.5254	-0.0001	0.0005	0.0022	0.0001	0.0009	0.5309	-0.0003	0.0007	0.0030
0.0052	-0.0000	0.0003	-0.0002	0.0000	-0.0004	0.0052	0.0000	0.0001	-0.0002	-0.0000	-0.0001
0.0000	0.0048	0.0015	0.0000	0.0020	0.0080	0.0000	0.0049	0.0013	-0.0000	0.0020	0.0082
0.0002	0.0013	0.4074	-0.0001	0.0075	0.0302	0.0001	0.0011	0.4112	-0.0002	0.0078	0.0324
0.0039	-0.0000	0.0005	0.0028	0.0000	-0.0006	0.0039	0.0000	0.0002	0.0028	-0.0000	-0.0001
0.0000	0.0035	0.0017	0.0000	0.0029	0.0118	0.0000	0.0035	0.0015	-0.0000	0.0029	0.0121
0.0002	0.0013	0.2945	-0.0002	0.0119	0.0479	0.0001	0.0011	0.2968	-0.0001	0.0123	0.0509
0.0027	-0.0000	0.0005	0.0054	-0.0000	-0.0007	0.0027	0.0000	0.0002	0.0054	0.0000	-0.0001
0.0000	0.0023	0.0017	-0.0000	0.0031	0.0123	0.0000	0.0023	0.0016	0.0000	0.0031	0.0127
0.0001	0.0012	0.1917	-0.0003	0.0130	0.0523	0.0001	0.0011	0.1927	0.0001	0.0133	0.0552
0.0015	-0.0000	0.0004	0.0058	-0.0000	-0.0007	0.0015	0.0000	0.0002	0.0058	0.0000	-0.0001
0.0000	0.0013	0.0015	-0.0000	0.0024	0.0098	0.0000	0.0013	0.0014	0.0000	0.0024	0.0102
0.0001	0.0010	0.1046	-0.0004	0.0108	0.0437	0.0001	0.0009	0.1047	0.0002	0.0110	0.0457
0.0006	-0.0000	0.0002	0.0039	-0.0000	-0.0004	0.0006	0.0000	0.0001	0.0039	0.0000	-0.0000
0.0000	0.0005	0.0011	-0.0000	0.0014	0.0056	0.0000	0.0005	0.0010	0.0000	0.0014	0.0059
0.0000	0.0007	0.0424	-0.0003	0.0069	0.0277	0.0000	0.0006	0.0421	0.0001	0.0069	0.0286

Nota. Fuerzas inerciales correspondientes a los GL de cada nivel, del modo 1 al 6 obtenidas por el script Analisis_Pseudo_3D.m. Elaboración propia.

Tabla 47

Fuerzas inerciales máximas modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, correspondientes a los GL de cada nivel obtenidas por el software SAP 2000

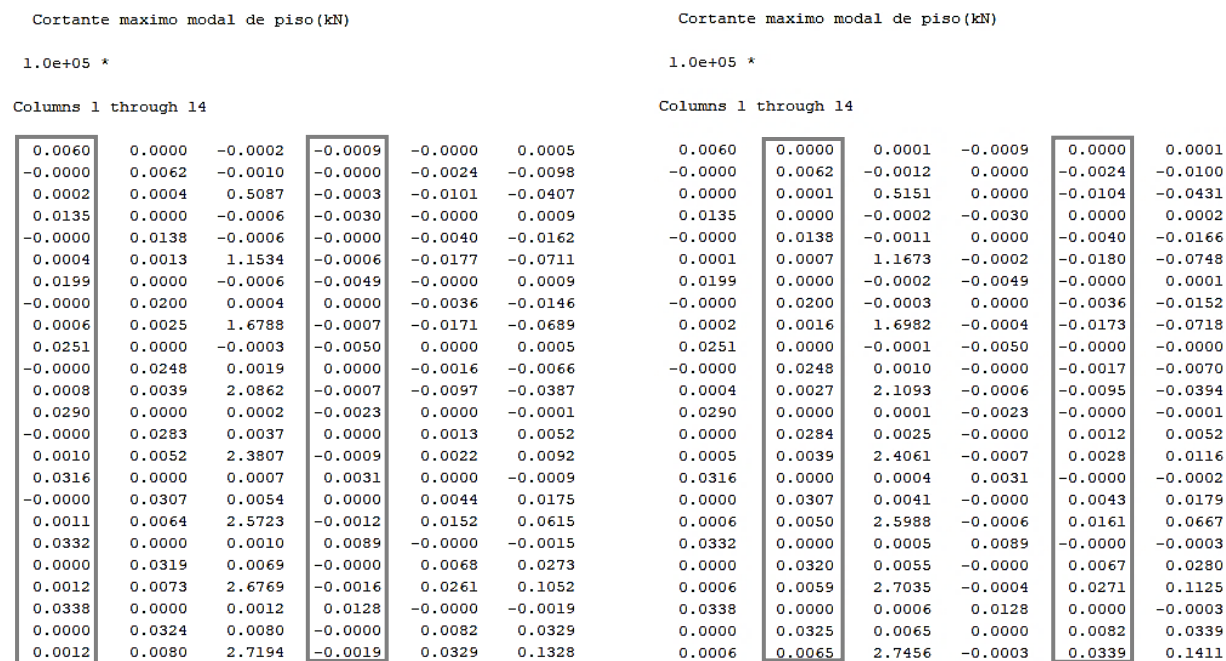
TABLE: Section Cut Force						
Frame	OutputCase	CaseType	V2	V3	F2	F3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN
M_PISO_8	DINAMICO_XX_ABS	Max	585.065	57.771	585.065	57.771
M_PISO_8	DINAMICO_YY_ABS	Max	58.323	576.601	58.323	576.601
M_PISO_7	DINAMICO_XX_ABS	Max	1334.568	130.978	749.503	73.207
M_PISO_7	DINAMICO_YY_ABS	Max	132.715	1296.289	74.392	719.688
M_PISO_6	DINAMICO_XX_ABS	Max	1976.495	192.958	641.927	61.980
M_PISO_6	DINAMICO_YY_ABS	Max	195.075	1894.298	62.360	598.009
M_PISO_5	DINAMICO_XX_ABS	Max	2500.594	243.01	524.099	50.052
M_PISO_5	DINAMICO_YY_ABS	Max	244.919	2368.371	49.844	474.073
M_PISO_4	DINAMICO_XX_ABS	Max	2900.028	280.796	399.434	37.786
M_PISO_4	DINAMICO_YY_ABS	Max	282.159	2720.288	37.240	351.917
M_PISO_3	DINAMICO_XX_ABS	Max	3174.389	306.582	274.361	25.786
M_PISO_3	DINAMICO_YY_ABS	Max	307.308	2957.369	25.149	237.081
M_PISO_2	DINAMICO_XX_ABS	Max	3332.485	321.442	158.096	14.860
M_PISO_2	DINAMICO_YY_ABS	Max	321.672	3093.599	14.364	136.230
M_PISO_1	DINAMICO_XX_ABS	Max	3397.983	327.734	65.498	6.292
M_PISO_1	DINAMICO_YY_ABS	Max	327.734	3152.966	6.062	59.367

Nota. Fuerzas inerciales correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Cortante máximo modal de piso.

Figura 109

Cortantes máximas modales (KN) considerando excentricidad accidental en Y y X, obtenido por el script Analisis_Pseudo_3D.m



Nota. Desplazamientos modales correspondientes a los GL de cada nivel, del modo 1 al 6.

Elaboración propia.

Tabla 48

Cortantes máximas modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el software SAP 2000

TABLE: Section Cut Force				
Frame	OutputCase	CaseType	V2	V3
Text	Text	Text	KN	KN
M_PISO_8	DINAMICO_XX_ABS	Max	585.065	57.771
M_PISO_8	DINAMICO_YY_ABS	Max	58.323	576.601
M_PISO_7	DINAMICO_XX_ABS	Max	1334.568	130.978
M_PISO_7	DINAMICO_YY_ABS	Max	132.715	1296.289
M_PISO_6	DINAMICO_XX_ABS	Max	1976.495	192.958
M_PISO_6	DINAMICO_YY_ABS	Max	195.075	1894.298
M_PISO_5	DINAMICO_XX_ABS	Max	2500.594	243.01
M_PISO_5	DINAMICO_YY_ABS	Max	244.919	2368.371
M_PISO_4	DINAMICO_XX_ABS	Max	2900.028	280.796
M_PISO_4	DINAMICO_YY_ABS	Max	282.159	2720.288
M_PISO_3	DINAMICO_XX_ABS	Max	3174.389	306.582
M_PISO_3	DINAMICO_YY_ABS	Max	307.308	2957.369
M_PISO_2	DINAMICO_XX_ABS	Max	3332.485	321.442
M_PISO_2	DINAMICO_YY_ABS	Max	321.672	3093.599
M_PISO_1	DINAMICO_XX_ABS	Max	3397.983	327.734
M_PISO_1	DINAMICO_YY_ABS	Max	327.734	3152.966

Nota. Cortantes correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Momento de Vuelco.

Figura 110

Momento de vuelco modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el script Analisis_Pseudo_3D.m

Momento de Vuelco (kN.m)						Momento de Vuelco (kN.m)					
1.0e+06 *						1.0e+06 *					
Columns 1 through 14						Columns 1 through 14					
0.0018	0.0000	-0.0001	-0.0003	-0.0000	0.0001	0.0018	0.0000	0.0000	-0.0003	0.0000	0.0000
-0.0000	0.0019	-0.0003	-0.0000	-0.0007	-0.0029	-0.0000	0.0019	-0.0003	0.0000	-0.0007	-0.0030
0.0000	0.0001	0.1526	-0.0001	-0.0030	-0.0122	0.0000	0.0000	0.1545	0.0000	-0.0031	-0.0129
0.0058	0.0000	-0.0002	-0.0012	-0.0000	0.0004	0.0058	0.0000	-0.0000	-0.0012	0.0000	0.0001
-0.0000	0.0060	-0.0005	-0.0000	-0.0019	-0.0078	-0.0000	0.0060	-0.0007	0.0000	-0.0019	-0.0080
0.0002	0.0005	0.4986	-0.0003	-0.0083	-0.0335	0.0001	0.0002	0.5047	-0.0000	-0.0085	-0.0354
0.0118	0.0000	-0.0004	-0.0026	-0.0000	0.0007	0.0118	0.0000	-0.0001	-0.0026	0.0000	0.0001
-0.0000	0.0120	-0.0003	-0.0000	-0.0030	-0.0122	-0.0000	0.0120	-0.0008	0.0000	-0.0030	-0.0126
0.0003	0.0013	1.0023	-0.0005	-0.0135	-0.0542	0.0001	0.0007	1.0142	-0.0002	-0.0137	-0.0569
0.0193	0.0000	-0.0005	-0.0041	-0.0000	0.0008	0.0193	0.0000	-0.0001	-0.0041	-0.0000	0.0001
-0.0000	0.0194	0.0002	0.0000	-0.0035	-0.0142	-0.0000	0.0194	-0.0005	0.0000	-0.0035	-0.0146
0.0006	0.0024	1.6281	-0.0007	-0.0164	-0.0658	0.0002	0.0016	1.6470	-0.0004	-0.0165	-0.0687
0.0280	0.0000	-0.0004	-0.0048	-0.0000	0.0008	0.0280	0.0000	-0.0001	-0.0048	-0.0000	0.0001
-0.0000	0.0279	0.0013	0.0000	-0.0031	-0.0126	-0.0000	0.0279	0.0003	0.0000	-0.0032	-0.0131
0.0009	0.0040	2.3423	-0.0010	-0.0157	-0.0630	0.0004	0.0027	2.3688	-0.0006	-0.0157	-0.0653
0.0375	0.0000	-0.0002	-0.0039	-0.0000	0.0006	0.0375	0.0000	0.0000	-0.0039	-0.0000	0.0000
-0.0000	0.0371	0.0029	0.0000	-0.0018	-0.0074	-0.0000	0.0371	0.0015	-0.0000	-0.0019	-0.0077
0.0012	0.0059	3.1140	-0.0013	-0.0111	-0.0446	0.0005	0.0042	3.1484	-0.0008	-0.0109	-0.0452
0.0475	0.0000	0.0001	-0.0012	-0.0000	0.0001	0.0475	0.0000	0.0002	-0.0012	-0.0000	-0.0001
-0.0000	0.0467	0.0050	0.0000	0.0002	0.0008	0.0000	0.0467	0.0032	-0.0000	0.0002	0.0007
0.0016	0.0081	3.9171	-0.0018	-0.0033	-0.0130	0.0007	0.0060	3.9595	-0.0009	-0.0028	-0.0115
0.0610	0.0000	0.0006	0.0039	-0.0000	-0.0007	0.0610	0.0000	0.0004	0.0039	-0.0000	-0.0002
-0.0000	0.0597	0.0082	0.0000	0.0035	0.0140	0.0000	0.0597	0.0058	-0.0000	0.0034	0.0143
0.0021	0.0113	5.0048	-0.0026	0.0098	0.0401	0.0010	0.0086	5.0577	-0.0010	0.0108	0.0449

Nota. Momento de vuelco correspondientes a los GL de cada nivel, del modo 1 al 6. Elaboración propia.

Tabla 49

Momento de vuelco modales (KN) considerando excentricidad en Y y X, correspondientes a los GL de cada nivel obtenidas por el software SAP 2000

TABLE: Section Cut Force								
Frame	OutputCase	CaseType	V2	V3	H	MV3	MV2	
Text	Text	Text	KN	KN	m	KN.m	KN.m	
M_PISO_8	DINAMICO_XX_ABS	Max	585.065	57.771	3.00	1755.195	173.313	
M_PISO_8	DINAMICO_YY_ABS	Max	58.323	576.601	3.00	174.969	1729.803	
M_PISO_7	DINAMICO_XX_ABS	Max	1334.568	130.978	3.00	5758.899	566.247	
M_PISO_7	DINAMICO_YY_ABS	Max	132.715	1296.289	3.00	573.114	5618.67	
M_PISO_6	DINAMICO_XX_ABS	Max	1976.495	192.958	3.00	11688.384	1145.121	
M_PISO_6	DINAMICO_YY_ABS	Max	195.075	1894.298	3.00	1158.339	11301.564	
M_PISO_5	DINAMICO_XX_ABS	Max	2500.594	243.010	3.00	19190.166	1874.151	
M_PISO_5	DINAMICO_YY_ABS	Max	244.919	2368.371	3.00	1893.096	18406.677	
M_PISO_4	DINAMICO_XX_ABS	Max	2900.028	280.796	3.00	27890.25	2716.539	
M_PISO_4	DINAMICO_YY_ABS	Max	282.159	2720.288	3.00	2739.573	26567.541	
M_PISO_3	DINAMICO_XX_ABS	Max	3174.389	306.582	3.00	37413.417	3636.285	
M_PISO_3	DINAMICO_YY_ABS	Max	307.308	2957.369	3.00	3661.497	35439.648	
M_PISO_2	DINAMICO_XX_ABS	Max	3332.485	321.442	3.00	47410.872	4600.611	
M_PISO_2	DINAMICO_YY_ABS	Max	321.672	3093.599	3.00	4626.513	44720.445	
M_PISO_1	DINAMICO_XX_ABS	Max	3397.983	327.734	4.00	61002.804	5911.547	
M_PISO_1	DINAMICO_YY_ABS	Max	327.734	3152.966	4.00	5937.449	57332.309	

Nota. Cortantes correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Ejecución script (Combinacion_M_RCSC.m).

Análisis en dirección X considerando excentricidad accidental.

Figura 111

Respuesta del método de combinación de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC), obtenidas por el script Combinacion_M_RCSC.m

METODO DE COMBINACION DE LA RESPUESTA (RCSC)

Desplazamientos horizontales maximos (m) = Ui (xyz)
 Derivas maximas de entrepiso = Ai (xy)
 Cortante modal maxima de entrepiso (kN) = Vi (xyz)
 Momento de Vuelco (kN.m) = Mbi (xy)
 Fuerzas horizontales estaticas correspondientes (kN) = Fhi (xy)

NºGDL (piso)	Ui (x) (m)	Ui (y) (m)	Ui (z) (m)	Ai (x) (°)	Ai (y) (°)	Vi (x) (kN)	Vi (y) (kN)	MT (z) (kN)	Mbi (y) (kN.m)	Mbi (x) (kN.m)	Fhi (x) (kN)	Fhi (y) (kN)
8	0.0234	0.0001	0.0045	0.9673	0.0023	634.92	9.41	67.81	1904.76	28.24	634.92	9.41
8	0.0001	0.0131	0.0187	0.0059	0.6476	13.04	761.51	4233.43	39.12	2284.54	13.04	761.51
8	0.0001	0.0002	0.0069	0.0003	0.0095	95.40	4348.98	82219.15	286.21	13046.95	95.40	4348.98
7	0.0205	0.0001	0.0040	1.0501	0.0074	1385.60	11.88	175.93	6003.31	59.40	750.68	2.47
7	0.0001	0.0112	0.0170	0.0075	0.6699	7.35	1454.76	5776.14	55.65	6476.62	-5.68	693.25
7	0.0000	0.0002	0.0059	0.0003	0.0105	80.59	6428.54	141450.45	495.58	30439.22	-14.82	2079.56
6	0.0174	0.0001	0.0031	1.1181	0.0072	2065.82	13.26	137.83	12097.36	66.22	680.22	1.38
6	0.0001	0.0092	0.0145	0.0073	0.6688	23.24	2050.81	3368.44	47.97	12377.19	15.88	596.05
6	0.0000	0.0002	0.0048	0.0003	0.0108	166.70	3662.55	177690.34	589.73	37458.85	86.11	-2765.99
5	0.0141	0.0001	0.0023	1.1521	0.0068	2566.31	14.77	146.21	19776.08	57.12	500.49	1.51
5	0.0001	0.0072	0.0119	0.0069	0.6467	18.17	2560.32	6963.57	40.27	19760.50	-5.07	509.51
5	0.0000	0.0001	0.0037	0.0003	0.0108	142.26	7850.37	238276.25	921.72	35610.22	-24.44	4187.82
4	0.0106	0.0001	0.0016	1.1280	0.0061	2917.16	16.26	118.54	28437.26	40.25	350.84	1.49
4	0.0001	0.0052	0.0092	0.0061	0.5959	21.99	2855.68	5949.30	47.18	28145.81	3.82	295.35
4	0.0000	0.0001	0.0027	0.0002	0.0105	169.83	6107.55	246798.39	1319.55	31321.48	27.57	-1742.82
3	0.0073	0.0000	0.0010	1.0278	0.0051	3189.62	12.94	137.55	37717.45	41.98	272.46	-3.31
3	0.0000	0.0035	0.0065	0.0050	0.5113	13.83	3156.80	9863.93	49.77	37205.51	-8.16	301.12
3	0.0000	0.0001	0.0018	0.0002	0.0096	194.43	10189.39	293798.81	1832.61	24727.66	24.60	4081.84
2	0.0042	0.0000	0.0005	0.8316	0.0039	3445.58	14.52	220.54	47486.24	39.77	255.96	1.58
2	0.0000	0.0019	0.0041	0.0037	0.3888	16.96	3334.51	9778.66	39.74	46714.06	3.13	177.71
2	0.0000	0.0000	0.0010	0.0001	0.0082	231.88	9792.55	308651.67	2422.41	23627.86	37.45	-396.85
1	0.0017	0.0000	0.0002	0.4287	0.0024	3629.72	8.19	247.93	61119.85	51.46	184.14	-6.33
1	0.0000	0.0008	0.0019	0.0024	0.1898	8.19	3542.84	12982.05	23.87	59872.60	-8.76	208.33
1	0.0000	0.0000	0.0004	0.0001	0.0057	247.93	12982.04	351473.48	3336.86	41535.34	16.05	3189.50

Nota. Respuesta del método (RCSC) correspondientes a los GL de cada nivel con excentricidad en la dirección Y. Elaboración propia.

Análisis en dirección Y considerando excentricidad accidental.

Figura 112

Respuesta del método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) obtenidas por el script *Combinacion_M_RCSC.m*

METODO DE COMBINACION DE LA RESPUESTA (RCSC)

Desplazamientos horizontales maximos (m) = Ui (xyz)
 Derivas maximas de entrepiso = Ai (xy)
 Cortante modal maxima de entrepiso (kN) = Vi (xyz)
 Momento de Vuelco (kN.m) = Mbi (xy)
 Fuerzas horizontales estaticas correspondientes (kN) = Fhi (xy)

NºGDL (piso)	Ui (x) (m)	Ui (y) (m)	Ui (z) (m)	Ai (x) (°)	Ai (y) (°)	Vi (x) (kN)	Vi (y) (kN)	MT (z) (kN)	Mbi (y) (kN.m)	Mbi (x) (kN.m)	Fhi (x) (kN)	Fhi (y) (kN)
8	0.0234	0.0000	0.0008	0.9661	0.0030	647.75	11.24	69.20	1943.24	33.72	647.75	11.24
8	0.0000	0.0138	0.0276	0.0041	0.6744	6.45	701.41	5202.84	19.35	2104.23	6.45	701.41
8	0.0000	0.0003	0.0070	0.0001	0.0147	47.12	4368.15	76262.24	141.36	13104.44	47.12	4368.15
7	0.0205	0.0000	0.0009	1.0481	0.0040	1385.62	18.10	118.80	6000.68	34.76	737.88	6.86
7	0.0000	0.0118	0.0246	0.0037	0.7028	6.56	1461.54	6130.84	35.11	6376.74	0.11	760.13
7	0.0000	0.0003	0.0059	0.0001	0.0158	27.97	6190.64	145646.57	197.90	29185.62	-19.15	1822.49
6	0.0174	0.0000	0.0006	1.1163	0.0032	2068.03	11.70	109.16	12102.73	23.30	682.41	-6.40
6	0.0000	0.0097	0.0207	0.0030	0.7031	4.54	2036.93	3530.36	37.89	12383.40	-2.02	575.39
6	0.0000	0.0002	0.0048	0.0001	0.0161	70.11	3797.69	179461.24	262.96	36492.61	42.14	-2392.95
5	0.0141	0.0000	0.0004	1.1505	0.0025	2570.50	7.50	46.09	19777.75	13.69	502.47	-4.20
5	0.0000	0.0076	0.0167	0.0023	0.6811	8.89	2570.01	6935.25	20.52	19769.83	4.35	533.08
5	0.0000	0.0002	0.0038	0.0001	0.0160	91.73	7169.72	243359.70	521.66	36790.65	21.62	3372.04
4	0.0106	0.0000	0.0002	1.1266	0.0016	2912.45	10.87	55.15	28441.03	27.91	341.95	3.36
4	0.0000	0.0056	0.0127	0.0015	0.6289	6.51	2862.04	5433.61	14.23	28172.25	-2.38	292.03
4	0.0000	0.0001	0.0027	0.0000	0.0152	99.66	4810.70	247707.52	787.47	30481.22	7.93	-2359.02
3	0.0073	0.0000	0.0001	1.0268	0.0007	3192.58	12.72	130.97	37722.93	35.26	280.13	1.86
3	0.0000	0.0037	0.0088	0.0005	0.5412	5.21	3158.20	10334.51	6.86	37230.43	-1.30	296.16
3	0.0000	0.0001	0.0018	0.0000	0.0136	87.59	10530.24	302863.75	999.14	22490.30	-12.07	5719.54
2	0.0042	0.0000	0.0000	0.8309	0.0005	3443.45	10.66	148.09	47492.23	34.99	250.87	-2.06
2	0.0000	0.0021	0.0053	0.0005	0.4139	3.63	3345.81	10368.24	12.88	46758.05	-1.58	187.61
2	0.0000	0.0001	0.0010	0.0000	0.0112	94.92	9863.35	315660.23	1165.89	23698.50	7.34	-666.89
1	0.0017	0.0000	0.0000	0.4285	0.0007	3628.30	5.78	98.58	61128.35	33.21	184.85	-4.89
1	0.0000	0.0008	0.0024	0.0007	0.2061	5.78	3529.27	13066.41	15.12	59929.93	2.15	183.46
1	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0071	98.58	13066.41	359752.31	1435.07	41638.53	3.66	3203.06

Nota. Respuesta del método (RCSC) correspondientes a los GL de cada nivel con excentricidad en dirección X. Elaboración propia.

Desplazamientos horizontales máximos (m)

Tabla 50

Desplazamientos (m) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental.

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
21	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.021712	0.001329	0	0	0	0.000071
21	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.001286	0.011804	0	0	0	0.000395
18	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.019228	0.001174	0	0	0	0.00006
18	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.001141	0.010188	0	0	0	0.000338
17	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.016467	0.001001	0	0	0	0.00005
17	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.000967	0.008461	0	0	0	0.000279
16	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.013449	0.000814	0	0	0	0.000039
16	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.000782	0.006707	0	0	0	0.00022
15	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.01026	0.000619	0	0	0	0.00003
15	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.000591	0.004981	0	0	0	0.000162
14	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.007059	0.000425	0	0	0	0.00002
14	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.000403	0.00336	0	0	0	0.000108
13	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.004076	0.000245	0	0	0	0.000012
13	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.000232	0.001935	0	0	0	0.000061
12	DINAMICO_XX_SRS	Max	0.001615	0.000097	0	0	0	5.482E-06
12	DINAMICO_YY_SRS	Max	0.000092	0.000808	0	0	0	0.000025

Nota. Desplazamientos obtenidos por software SAP 2000. Elaboración propia.

Derivas máximas (1/1000)

Tabla 51

Derivas (1/1000) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental.

TABLE: Joint Displacements - Generalized						
GenDispl	DisplType	OutputCase	CaseType	StepType	Translation	Deriva
Text	Text	Text	Text	Text	m	1/1000
DERIVA_8_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.002502	0.8340
DERIVA_8_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.00164	0.5467
DERIVA_7_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.002782	0.9273
DERIVA_7_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.001751	0.5837
DERIVA_6_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.003037	1.0123
DERIVA_6_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.00178	0.5933
DERIVA_5_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.003203	1.0677
DERIVA_5_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.00175	0.5833
DERIVA_4_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.003209	1.0697
DERIVA_4_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.001643	0.5477
DERIVA_3_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.002986	0.9953
DERIVA_3_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.001443	0.4810
DERIVA_2_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.002462	0.8207
DERIVA_2_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.001142	0.3807
DERIVA_1_X	Translation	DINAMICO_XX_SRS	LinRespSpec	Max	0.001615	0.4038
DERIVA_1_Y	Translation	DINAMICO_YY_SRS	LinRespSpec	Max	0.000818	0.2045

Nota. Derivas obtenidas por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Cortante máximo modal de piso.

Tabla 52

Cortantes (m) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental.

TABLE: Section Cut Force				
SectionCut	OutputCase	StepType	V2	V3
Text	Text	Text	KN	KN
M_PISO_8	DINAMICO_XX_SRS	Max	656.289	49.248
M_PISO_8	DINAMICO_YY_SRS	Max	54.514	652.785
M_PISO_7	DINAMICO_XX_SRS	Max	1410.376	102.729
M_PISO_7	DINAMICO_YY_SRS	Max	104.628	1381.27
M_PISO_6	DINAMICO_XX_SRS	Max	2020.984	143.126
M_PISO_6	DINAMICO_YY_SRS	Max	142.435	1941.529
M_PISO_5	DINAMICO_XX_SRS	Max	2510.556	174.441
M_PISO_5	DINAMICO_YY_SRS	Max	177.676	2380.295
M_PISO_4	DINAMICO_XX_SRS	Max	2898.711	199.955
M_PISO_4	DINAMICO_YY_SRS	Max	204.408	2725.479
M_PISO_3	DINAMICO_XX_SRS	Max	3191.274	221.053
M_PISO_3	DINAMICO_YY_SRS	Max	221.288	2989.696
M_PISO_2	DINAMICO_XX_SRS	Max	3381.513	236.949
M_PISO_2	DINAMICO_YY_SRS	Max	235.442	3175.42
M_PISO_1	DINAMICO_XX_SRS	Max	3474.611	246.62
M_PISO_1	DINAMICO_YY_SRS	Max	246.62	3282.912

Nota. Cortantes obtenidas por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de vuelco.

Tabla 53

Momento de vuelco (m) por el método RCSC, considerando excentricidad accidental.

TABLE: Section Cut Force							
SectionCut	OutputCase	StepType	V2	V3	H	MV3	MV2
Text	Text	Text	KN	KN	m	KN.m	KN.m
M_PISO_8	DINAMICO_XX_SRS	Max	656.289	49.248	3.00	1968.867	147.744
M_PISO_8	DINAMICO_YY_SRS	Max	54.514	652.785	3.00	163.542	1958.355
M_PISO_7	DINAMICO_XX_SRS	Max	1410.376	102.729	3.00	6199.995	455.931
M_PISO_7	DINAMICO_YY_SRS	Max	104.628	1381.27	3.00	477.426	6102.165
M_PISO_6	DINAMICO_XX_SRS	Max	2020.984	143.126	3.00	12262.947	885.309
M_PISO_6	DINAMICO_YY_SRS	Max	142.435	1941.529	3.00	904.731	11926.752
M_PISO_5	DINAMICO_XX_SRS	Max	2510.556	174.441	3.00	19794.615	1408.632
M_PISO_5	DINAMICO_YY_SRS	Max	177.676	2380.295	3.00	1437.759	19067.637
M_PISO_4	DINAMICO_XX_SRS	Max	2898.711	199.955	3.00	28490.748	2008.497
M_PISO_4	DINAMICO_YY_SRS	Max	204.408	2725.479	3.00	2050.983	27244.074
M_PISO_3	DINAMICO_XX_SRS	Max	3191.274	221.053	3.00	38064.57	2671.656
M_PISO_3	DINAMICO_YY_SRS	Max	221.288	2989.696	3.00	2714.847	36213.162
M_PISO_2	DINAMICO_XX_SRS	Max	3381.513	236.949	3.00	48209.109	3382.503
M_PISO_2	DINAMICO_YY_SRS	Max	235.442	3175.42	3.00	3421.173	45739.422
M_PISO_1	DINAMICO_XX_SRS	Max	3474.611	246.62	4.00	62107.553	4368.983
M_PISO_1	DINAMICO_YY_SRS	Max	246.62	3282.912	4.00	4407.653	58871.07

Nota. Momento de vuelco obtenidas por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de Vuelco en la base debido a fuerzas estáticas.

Figura 113

Momento de vuelco máximo (KN.m) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el script Combinacion_M_RCSC.m

Momento de vuelco para Fuerzas horizontales estaticas (kN.m)

1.0e+06 *

0.0601	0.0003	0.0038
0.0004	0.0599	0.1810
0.0041	0.1884	5.6033

Momento de vuelco para Fuerzas horizontales estaticas (kN.m)

1.0e+06 *

0.0602	0.0003	0.0024
0.0001	0.0597	0.1882
0.0019	0.1838	5.6884

Nota. Momento de vuelco máximo correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

Ejecución script (Combinacion_M_CQC.m).

Análisis en dirección X considerando excentricidad accidental.

Figura 114

Respuesta del método de combinación cuadrática completa (CQC), obtenidas por el script *Combinacion_M_CQC.m*

METODO DE COMBINACION DE LA RESPUESTA (CQC)

Desplazamientos horizontales maximos (m) = Ui (xyz)
 Derivas maximas de entrepiso = Ai (xy)
 Cortante modal maxima de entrepiso (kN) = Vi (xyz)
 Momento de Vuelco (kN.m) = Mbi (xy)
 Fuerzas horizontales estaticas correspondientes (kN) = Fhi (xy)

NºGDL (piso)	Ui (x) (m)	Ui (y) (m)	Ui (z) (m)	Ai (x) (1x1000)	Ai (y) (1x1000)	Vi (x) (kN)	Vi (y) (kN)	MT (z) (kN)	Mbi (y) (kN.m)	Mbi (x) (kN.m)	Fhi (x) (kN)	Fhi (y) (kN)
8	0.0234	0.0000	0.0006	0.9669	0.0008	634.47	4.13	8.91	1903.42	12.39	634.47	4.13
8	0.0000	0.0131	0.0046	0.0019	0.6475	9.94	749.99	3107.93	29.82	2249.98	9.94	749.99
8	0.0000	0.0001	0.0069	0.0004	0.0027	42.75	3232.65	81205.70	128.26	9697.95	42.75	3232.65
7	0.0205	0.0000	0.0006	1.0498	0.0025	1384.24	7.19	43.36	5998.86	29.15	749.77	3.07
7	0.0000	0.0112	0.0042	0.0024	0.6697	4.17	1453.28	3678.52	39.48	6457.50	-5.77	703.28
7	0.0000	0.0000	0.0059	0.0004	0.0028	24.33	3983.15	140902.75	202.52	21148.32	-18.43	750.50
6	0.0174	0.0000	0.0004	1.1178	0.0024	2063.14	9.92	41.23	12088.49	29.22	678.90	2.73
6	0.0000	0.0092	0.0036	0.0024	0.6687	18.22	2047.03	1980.33	29.15	12369.01	14.05	593.75
6	0.0000	0.0000	0.0048	0.0004	0.0027	70.57	2132.70	177480.32	82.39	24711.45	46.25	-1850.45
5	0.0141	0.0000	0.0003	1.1518	0.0023	2564.30	12.92	48.15	19761.28	33.93	501.17	2.99
5	0.0000	0.0072	0.0030	0.0022	0.6466	13.62	2558.68	3550.34	36.19	19750.87	-4.60	511.65
5	0.0000	0.0000	0.0037	0.0004	0.0026	15.76	4187.27	237591.25	89.64	20739.88	-54.81	2054.57
4	0.0106	0.0000	0.0002	1.1278	0.0021	2915.95	13.47	51.28	28420.42	20.02	351.64	0.56
4	0.0000	0.0052	0.0023	0.0020	0.5959	18.41	2855.53	4754.36	28.69	28137.29	4.78	296.85
4	0.0000	0.0000	0.0027	0.0003	0.0026	27.30	4747.63	246932.59	142.82	17986.13	11.54	560.36
3	0.0073	0.0000	0.0001	1.0279	0.0017	3190.39	10.67	7.49	37704.16	30.09	274.44	-2.81
3	0.0000	0.0035	0.0016	0.0016	0.5113	10.76	3156.74	4285.75	33.39	37200.29	-7.64	301.21
3	0.0000	0.0000	0.0018	0.0003	0.0024	35.88	4161.76	293671.93	179.77	14085.13	8.58	-585.86
2	0.0042	0.0000	0.0001	0.8318	0.0014	3448.86	14.41	30.64	47481.94	21.94	258.47	3.74
2	0.0000	0.0019	0.0010	0.0013	0.3889	16.44	3336.08	6088.67	21.34	46715.77	5.67	179.34
2	0.0000	0.0000	0.0010	0.0002	0.0021	38.23	5895.26	308977.89	116.85	9273.82	2.35	1733.50
1	0.0017	0.0000	0.0000	0.4290	0.0008	3635.38	6.53	41.87	61134.00	17.30	186.52	-7.88
1	0.0000	0.0008	0.0005	0.0008	0.1899	6.37	3559.70	6090.62	10.90	59890.85	-10.07	223.62
1	0.0000	0.0000	0.0004	0.0001	0.0014	36.72	5788.96	353869.67	390.68	24538.56	-1.51	-106.31

Nota. Respuesta del método (CQC) correspondientes a los GL de cada nivel, con excentricidad en la dirección Y. Elaboración propia.

Análisis en dirección Y considerando excentricidad.

Figura 115

Respuesta del método de combinación cuadrática completa (CQC), obtenidas por el script *Combinacion_M_CQC.m*

METODO DE COMBINACION DE LA RESPUESTA (CQC)

Desplazamientos horizontales maximos (m) = $U_i(xyz)$
 Derivas maximas de entrepiso = $A_i(xy)$
 Cortante modal maxima de entrepiso (kN) = $V_i(xyz)$
 Momento de Vuelco (kN.m) = $M_{bi}(xy)$
 Fuerzas horizontales estaticas correspondientes (kN) = $F_{hi}(xy)$

NºGDL (piso)	$U_i(x)$ (m)	$U_i(y)$ (m)	$U_i(z)$ (m)	$A_i(x)$ (1x1000)	$A_i(y)$ (1x1000)	$V_i(x)$ (kN)	$V_i(y)$ (kN)	MT (z) (kN)	$M_{bi}(y)$ (kN.m)	$M_{bi}(x)$ (kN.m)	$F_{hi}(x)$ (kN)	$F_{hi}(y)$ (kN)
8	0.0234	0.0000	0.0001	0.9658	0.0012	645.63	2.22	20.52	1936.89	6.67	645.63	2.22
8	0.0000	0.0138	0.0055	0.0015	0.6743	3.76	695.70	3893.35	11.27	2087.10	3.76	695.70
8	0.0000	0.0001	0.0070	0.0001	0.0030	23.98	3313.88	79095.51	71.95	9941.65	23.98	3313.88
7	0.0205	0.0000	0.0001	1.0477	0.0015	1384.68	4.97	38.58	5996.42	16.21	739.05	2.75
7	0.0000	0.0118	0.0049	0.0014	0.7027	3.04	1458.56	3374.27	20.80	6378.50	-0.72	762.86
7	0.0000	0.0001	0.0059	0.0001	0.0032	8.34	3343.33	145422.49	101.81	19055.91	-15.64	29.44
6	0.0174	0.0000	0.0001	1.1159	0.0012	2064.99	1.93	44.17	12093.44	14.68	680.31	-3.04
6	0.0000	0.0097	0.0042	0.0011	0.7030	1.31	2035.25	1943.62	17.74	12379.67	-1.73	576.69
6	0.0000	0.0000	0.0048	0.0001	0.0031	12.52	1956.26	179602.01	70.91	19870.67	4.18	-1387.07
5	0.0141	0.0000	0.0001	1.1502	0.0010	2567.99	5.31	12.49	19763.01	4.84	503.00	3.38
5	0.0000	0.0076	0.0034	0.0009	0.6810	2.81	2567.86	3433.51	9.47	19759.39	1.50	532.61
5	0.0000	0.0000	0.0038	0.0001	0.0031	13.00	3850.32	243698.73	114.43	16049.56	0.47	1894.06
4	0.0106	0.0000	0.0000	1.1265	0.0006	2911.57	2.12	22.33	28424.27	9.78	343.58	-3.18
4	0.0000	0.0056	0.0026	0.0006	0.6289	3.41	2862.46	4570.13	4.60	28164.58	0.60	294.60
4	0.0000	0.0000	0.0027	0.0001	0.0030	8.62	4192.53	249400.23	127.86	14862.60	-4.38	342.21
3	0.0073	0.0000	0.0000	1.0269	0.0002	3193.34	2.84	43.42	37709.62	11.79	281.77	0.71
3	0.0000	0.0037	0.0018	0.0002	0.5413	2.10	3157.54	4006.04	3.94	37226.09	-1.31	295.08
3	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000	0.0028	10.09	3774.50	302730.26	115.83	14464.95	1.47	-418.03
2	0.0042	0.0000	0.0000	0.8312	0.0002	3447.10	4.03	66.26	47488.04	15.95	253.76	1.20
2	0.0000	0.0021	0.0011	0.0002	0.4140	2.71	3344.33	6208.01	8.71	46758.86	0.61	186.80
2	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0023	18.80	5477.15	316864.46	129.94	8886.77	8.71	1702.66
1	0.0017	0.0000	0.0000	0.4288	0.0003	3634.12	3.91	17.09	61142.52	12.54	187.02	-0.13
1	0.0000	0.0008	0.0005	0.0002	0.2063	3.66	3548.17	6396.00	6.83	59950.58	0.95	203.84
1	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0015	20.07	6265.13	364109.63	162.03	23518.49	1.28	787.98

Nota. Respuesta del método (CQC) correspondientes a los GL de cada nivel con excentricidad en dirección X. Elaboración propia.

Desplazamientos horizontales máximos (m).

Tabla 54

Desplazamientos (m) por el método CQC, considerando excentricidad.

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians	
21	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.021713	0.001282	0	0	0	0.000071	
21	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.001238	0.011821	0	0	0	0.000389	
18	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.019229	0.001133	0	0	0	0.000061	
18	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.001098	0.010203	0	0	0	0.000333	
17	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.016469	0.000966	0	0	0	0.00005	
17	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.000931	0.008475	0	0	0	0.000275	
16	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.013452	0.000786	0	0	0	0.00004	
16	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.000754	0.006718	0	0	0	0.000217	
15	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.010263	0.000598	0	0	0	0.000029	
15	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.000571	0.00499	0	0	0	0.00016	
14	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.007062	0.000411	0	0	0	0.000019	
14	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.00039	0.003367	0	0	0	0.000106	
13	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.004079	0.000237	0	0	0	0.000011	
13	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.000224	0.00194	0	0	0	0.00006	
12	DINAMICO_XX_CQC	Max	0.001616	0.000094	0	0	0	4.281E-06	
12	DINAMICO_YY_CQC	Max	0.000089	0.00081	0	0	0	0.000024	

Nota. Desplazamientos obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Derivas máximas (1/1000).

Tabla 55

Derivas (1/1000) por el método CQC, considerando excentricidad accidental.

TABLE: Joint Displacements - Generalized						
GenDispl	DisplType	OutputCase	CaseType	StepType	Translation	Deriva
Text	Text	Text	Text	Text	m	1/1000
DERIVA_8_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.002501	0.8337
DERIVA_8_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.001641	0.5470
DERIVA_7_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.002781	0.9270
DERIVA_7_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.001752	0.5840
DERIVA_6_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.003036	1.0120
DERIVA_6_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.001781	0.5937
DERIVA_5_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.003203	1.0677
DERIVA_5_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.001751	0.5837
DERIVA_4_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.00321	1.0700
DERIVA_4_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.001644	0.5480
DERIVA_3_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.002987	0.9957
DERIVA_3_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.001444	0.4813
DERIVA_2_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.002463	0.8210
DERIVA_2_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.001143	0.3810
DERIVA_1_X	Translation	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	0.001617	0.4043
DERIVA_1_Y	Translation	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	0.000819	0.2048

Nota. Derivas obtenidas por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Cortante máximo modal de piso

Tabla 56

Cortantes (m) por el método CQC considerando excentricidad accidental.

TABLE: Section Cut Forces					
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	V2	V3
Text	Text	Text	Text	KN	KN
M_PISO_8	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	660.966	46.099
M_PISO_8	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	46.34	651.775
M_PISO_7	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	1411.803	95.956
M_PISO_7	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	96.894	1382.34
M_PISO_6	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	2019.612	134.796
M_PISO_6	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	135.988	1945.036
M_PISO_5	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	2512.653	165.903
M_PISO_5	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	166.999	2385.88
M_PISO_4	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	2902.731	190.825
M_PISO_4	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	191.63	2733.047
M_PISO_3	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	3193.724	210.113
M_PISO_3	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	210.543	2999.362
M_PISO_2	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	3385.872	223.606
M_PISO_2	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	223.729	3186.985
M_PISO_1	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	3484.162	230.999
M_PISO_1	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	230.999	3296.988

Nota. Cortantes obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de vuelco

Tabla 57

Momento de vuelco (m) por el método CQC, considerando excentricidad accidental.

TABLE: Section Cut Forces								
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	V2	V3	H	MV3	MV2
Text	Text	Text	Text	KN	KN	m	KN.m	KN.m
M_PISO_8	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	660.966	46.099	3.00	1982.898	138.297
M_PISO_8	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	46.34	651.775	3.00	139.02	1955.325
M_PISO_7	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	1411.803	95.956	3.00	6218.307	426.165
M_PISO_7	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	96.894	1382.34	3.00	429.702	6102.345
M_PISO_6	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	2019.612	134.796	3.00	12277.143	830.553
M_PISO_6	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	135.988	1945.036	3.00	837.666	11937.453
M_PISO_5	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	2512.653	165.903	3.00	19815.102	1328.262
M_PISO_5	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	166.999	2385.88	3.00	1338.663	19095.093
M_PISO_4	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	2902.731	190.825	3.00	28523.295	1900.737
M_PISO_4	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	191.63	2733.047	3.00	1913.553	27294.234
M_PISO_3	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	3193.724	210.113	3.00	38104.467	2531.076
M_PISO_3	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	210.543	2999.362	3.00	2545.182	36292.32
M_PISO_2	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	3385.872	223.606	3.00	48262.083	3201.894
M_PISO_2	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	223.729	3186.985	3.00	3216.369	45853.275
M_PISO_1	DINAMICO_XX_CQC	LinRespSpec	Max	3484.162	230.999	4.00	62198.731	4125.89
M_PISO_1	DINAMICO_YY_CQC	LinRespSpec	Max	230.999	3296.988	4.00	4140.365	59041.227

Nota. Momentos de vuelco obtenidos por el software SAP 2000. Elaboración propia.

Momento de Vuelco en la base

Figura 116

Momento de vuelco máximo (KN.m) considerando excentricidad en Y y X, obtenidas por el script Combinacion_M_CQC.m

Momento de vuelco para Fuerzas horizontales estaticas (kN.m)

1.0e+06 *

0.0601	0.0002	0.0008
0.0003	0.0599	0.1037
0.0009	0.1056	5.6031

Momento de vuelco para Fuerzas horizontales estaticas (kN.m)

1.0e+06 *

0.0602	0.0001	0.0008
0.0001	0.0597	0.1054
0.0004	0.0998	5.7219

Nota. Momento de vuelco máximo correspondientes a los GL de cada nivel. Elaboración propia.

5.3. Resultados de los modelos 1, 2 y 3

5.3.1. Resultados del objetivo general

Conocer la implementación computacional para la verificación del análisis sísmico dinámico por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales, Abancay 2023

La implementación computacional se estructuró a partir del diseño de algoritmos representados mediante diagramas de flujo, los cuales fueron interpretados y desarrollados a través de pseudocódigos y scripts en MATLAB. Estos algoritmos permitieron llevar a cabo la verificación del análisis sísmico dinámico de pórticos tridimensionales, organizando jerárquicamente la solución de sus variables clave abordando de manera progresiva la idealización dinámica de la estructura, el análisis sísmico dinámico tipo tiempo-historia y el análisis sísmico dinámico modal espectral. La aplicación de estos algoritmos a modelos tridimensionales permitió comprobar la validez y precisión de los métodos matriciales empleados.

Cada pseudocódigo conforma un diseño de diagrama de flujo presentado en el capítulo V, de estos diagramas se codificó la formulación matemática con pseudocódigos de acuerdo a las dimensiones de la variable dependiente y así responder adecuadamente a cada una de los problemas específicos de la investigación, integrando el conocimiento teórico, computacional y práctico.

Pseudocódigos para la Idealización dinámica de pórticos tridimensionales.

- Rigidez_2D.m. – Matriz de rigidez lateral por pórtico.
- Condensacion_2D.m. – Matriz de rigidez lateral por pórtico.
- Rigidez_3D.m. – Matriz de rigidez de la estructura tridimensional.

Pseudocódigos para el Análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos tridimensionales.

- Analisis_TH.m. – El script se fundamenta principalmente en dar la respuesta al análisis sísmico dinámico tiempo historia de determinadas señales sísmica el cual

extienda la aplicación de la solución del problema dinámico aplicando la parte teórica.

- Portico_TH_3D.m. - Determinada la respuesta general del edificio ante un análisis tiempo historia se da la distribución en este caso por medio de la aplicación de la teoría planteada a la respuesta por pórticos que conforman la estructura.

Pseudocódigos para el Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos tridimensionales.

- Pseudoespectral_3D. – Considerando una señal sísmica o un pseudo espectro de aceleraciones, en ambos casos es posible determinar los espectros aceleración, pseudoespectro de velocidad o pseudoespectro de desplazamiento dependiendo del proceso para realizar el análisis espectral.
- Analisis_Pseudo_3D. – Obtenidos el espectro de pseudodesplazamientos, se obtiene la respuesta respecto a cada modo, en aplicación a este pseudoespectro.
- Combinacion_M_RCSC.m. – El método de combinación de la respuesta modal en este caso la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (RCSC) se aplica a la respuesta espectral modal el cual permite obtener la respuesta máxima de una estructura.
- Combinacion_M_CQC.m. - El método de combinación de la respuesta modal en este caso la combinación cuadrática completa (CQC) se aplica a la respuesta espectral modal el cual permite obtener la respuesta máxima de una estructura.

Los resultados de los códigos MATLAB a los Modelos 1 y 2, correspondientes a configuraciones estructurales extraídos de la bibliografía especializada y validados con simulaciones desarrolladas en el software SAP2000 dan fe de los datos obtenidos y se concreta la confiabilidad de modelos ante el análisis sísmico dinámico de estructuras tridimensionales conformados por columnas y vigas.

Posteriormente, se abordó el Modelo 3, correspondiente al Bloque 2 de la Universidad Tecnológica de los Andes de Apurímac, una edificación caracterizada por una geometría compuesta principalmente por muros estructurales. Este caso permitió extender

la aplicación de la formulación teórica desarrollada, evaluando su consistencia y aplicabilidad en un entorno estructural más complejo y representativo de condiciones reales. Los resultados obtenidos validan la precisión del modelo propuesto y confirman su aceptabilidad para el análisis sísmico dinámico de pórticos tridimensionales conformados por muros, columnas y vigas.

5.3.2. Resultados del objetivo específico 01

Determinar la formulación matemática con algoritmos de programación para la idealización dinámica por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales

La formulación matemática con algoritmos de programación soluciona la ecuación dinámica de los modelos en vibración libre, considerando la rigidez, masa y amortiguamiento, que es la idealización dinámica por métodos matriciales de pórticos tridimensionales, considerando así los datos obtenidos:

- Matrices de rigidez por pórtico, rigidez lateral por pórtico y rigidez lateral de la estructura. Se plantearon los scripts **Rigidez_2D.m**, **Condensacion_2D.m** y **Rigidez_3D.m** el cual permite la obtención de la matriz de rigidez previamente indicados y de acuerdo a los resultados presentados en el capítulo, existe correspondencia numérica a los de la bibliografía en cuanto a los modelos 1 y 2.
- Matriz de masa. – Variable de ingreso considerando el criterio de masa concentrada ingresados tanto en los scripts de análisis y el modelo SAP 2000.
- Matriz de amortiguamiento. – Variable calculada considerando el criterio de amortiguamiento modal calculado por el script **Rigidez_3D.m**.

Esta formulación matemática con algoritmos de programación fue aplicada para determinar la idealización dinámica por métodos matriciales de pórticos tridimensionales en tres modelos.

Modelo 1

En relación con la ejecución del script **Rigidez_3D.m**, se obtuvo la respuesta modal para el **Modelo 1**, considerando los primeros periodos de vibración de la estructura. La Tabla 58 presenta los resultados correspondientes.

Tabla 58

Verificación de la respuesta a idealización dinámica del modelo 1

Idealización dinámica de pórticos pseudotrídimensionales (Modelo 1)						
Indicador	Código MATLAB		Bibliografía (García, L)		SAP 2000	
	T ₁ (s)	T ₂ (s)	T ₁ (s)	T ₂ (s)	T ₁ (s)	T ₂ (s)
Periodo (1er y 2do Periodo).	0.5545	0.5168	0.5545	0.5168	0.5603	0.5237
Frecuencia (1er y 2do Periodo).	f ₁ (s)	f ₂ (s)	f ₁ (s)	f ₂ (s)	f ₁ (s)	f ₂ (s)
	1.8034	1.9350	1.8030	1.9350	1.7848	1.9094
Modos de Vibración.	Fig 10.1					
Masa modal efectiva (1er y 2do Periodo).	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	93.60	88.82	93.60	88.82	93.55	89.23

Nota. Resultados en función de los indicadores de la dimensión idealización dinámica de pórticos tridimensionales del modelo 1 de acuerdo al código MATLAB, Bibliografía (García, L) y SAP 2000. Elaboración Propia.

Referido al código MATLAB y la bibliografía, los resultados referidos a los períodos, frecuencias, modos de vibración y masa modal efectiva son verificables y no presentan diferencias numéricas significativas, y las formas modales obtenidas del modelo representan el comportamiento adecuado de la estructura. Referido al código MATLAB y al software SAP 2000, los resultados referidos a los períodos, frecuencias, modos de vibración y masa modal efectiva son verificables y aunque se evidencian diferencias en valores decimales, no se ve afectada la interpretación de las formas modales del modelo.

Modelo 2

En relación con la ejecución del script **Rigidez_3D.m**, se obtuvo la respuesta modal para el **Modelo 2**, considerando los primeros periodos de vibración de la estructura. La Tabla 59 presenta los resultados correspondientes.

Tabla 59

Verificación de la respuesta a idealización dinámica del modelo 2

Idealización dinámica de pórticos pseudotrídimensionales (Modelo 2)						
Indicador	Codigo MATLAB		Bibliografía (García, L)		SAP 2000	
	T ₁ (s)	T ₂ (s)	T ₁ (s)	T ₂ (s)	T ₁ (s)	T ₂ (s)
Periodo (1er y 2do Periodo).	1.1561	1.1561	1.1646	-	1.1749	1.1749
Frecuencia (1er y 2do Periodo).	f ₁ (s)	f ₂ (s)	f ₁ (s)	f ₂ (s)	f ₁ (s)	f ₂ (s)
	0.8650	0.8650	0.8590	-	0.8511	0.8511
Modos de Vibración.	Verificable		Verificable		Verificable	
Masa modal efectiva (1er y 2do Periodo).	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	80.68	80.68	81.22	81.22	81.22	81.22

Nota. Resultados en función de los indicadores de la dimensión idealización dinámica de pórticos tridimensionales del modelo 2 de acuerdo al código MATLAB, Bibliografía, (García, L) y SAP 2000. Elaboración Propia.

Referido al código MATLAB y la bibliografía, los resultados referidos a los períodos, frecuencias, modos de vibración y masa modal efectiva son verificables y aunque se evidencian diferencias en valores decimales, es debido a como se conformó la matriz de rigidez para este modelo, sin embargo, no se ve afectada la interpretación de las formas modales del modelo. Referido al código MATLAB y al software SAP 2000, los resultados referidos a los períodos, frecuencias, modos de vibración y masa modal efectiva son verificables y aunque se evidencian diferencias en valores decimales, no se ve afectada la interpretación de las formas modales del modelo.

Modelo 3

En relación con la ejecución del script **Rigidez_3D.m**, se obtuvo la respuesta modal para el **Modelo 3**, considerando los primeros periodos de vibración de la estructura. La tabla 60 presenta los resultados correspondientes.

Tabla 60

Verificación de la respuesta a idealización dinámica del modelo 3

Idealización dinámica de pórticos pseudotrídimensionales (Modelo 3)				
Indicador	Codigo MATLAB		SAP 2000	
	T ₁ (s)	T ₂ (s)	T ₁ (s)	T ₂ (s)
Periodo (1er y 2do Periodo).	0.5871	0.4487	0.5716	0.4223
Frecuencia (1er y 2do Periodo).	f ₁ (s)	f ₂ (s)	f ₁ (s)	f ₂ (s)
	1.7033	2.2287	1.7494	2.3678
Modos de Vibración.	Verificable		Verificable	
Masa modal efectiva (1er y 2do Periodo).	(%)	(%)	(%)	(%)
	73.52	69.91	73.90	67.97

Nota. Resultados en función de los indicadores de la dimensión idealización dinámica de pórticos tridimensionales del modelo 3 de acuerdo al código MATLAB, Bibliografía, (García, L) y SAP 2000. Elaboración Propia.

Referido al código MATLAB y al software SAP2000, los resultados correspondientes a los períodos, frecuencias, modos de vibración y masa modal efectiva son verificables; los valores coinciden hasta el segundo decimal, y las diferencias observadas se deben principalmente a la complejidad de la estructura y no afectan la interpretación de las formas modales del modelo.

5.3.3. Resultados del objetivo específico 02

Determinar la precisión de la formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico tiempo historia por métodos matriciales de pórticos pseudotridimensionales

Obtenida la parte dinámica de la estructura se procedió a igualar con una variable funcional a la ecuación dinámica, esto representa el análisis sísmico dinámico tiempo-historia, los resultados corresponden a la aplicación de la formulación matemática con algoritmos de programación a los modelos 1 y 3, y están enfocados en las respuestas estructurales en las direcciones X y Y de los valores máximos, positivo o negativo.

Debido a la naturaleza del análisis, las respuestas están relacionadas con cada instante de tiempo; en tal caso, no es factible analizar cada momento individualmente, por lo que se considera la respuesta máxima en función de cada dimensión.

Modelo 1

En relación con la ejecución del script **Analisis_TH.m** y **Portico_TH_3D.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el **Modelo 1** ante el evento sísmico de Loma prieta – estación Corralitos del 17 de octubre 1989. Ver tabla 61.

Tabla 61

Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 1

Análisis sísmico dinámico tiempo historia de porticos pseudotridimensionales (Modelo 1)						
Indicador	Codigo MATLAB		Bibliografía (García, L)		SAP 2000	
Registros sísmicos (Aceleraciones).	Loma Prieta - Est. Corralitos 17 octubre 1989					
	η_1 (m)	η_2 (m)	η_1 (m)	η_2 (m)	η_1 (m)	η_2 (m)
Coordenadas desacopladas.	-1.2186	-1.0709	1.2171	-1.0475	-	-
	U_{3x} (m)	U_{3y} (m)	U_{3x} (m)	U_{3y} (m)	U_{3x} (m)	U_{3y} (m)
Desplazamientos.	-0.1187	0.1423	-0.1161	0.1421	-0.1197	0.1468
	F_{3x} (kN)	F_{3y} (kN)	F_{3x} (kN)	F_{3y} (kN)	F_{3x} (kN)	F_{3y} (kN)
Fuerzas Inerciales.	-584.8	538.4	-572.7	536.5	-577.6	542.6
	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
Cortante Basal.	-1793.0	1800.9	-1750.0	1799.9	-1754.1	1827.0
	M_t (kN.m)		M_t (kN.m)		M_t (kN.m)	
Momento torsor.	-1328.7		-1368.2		-	
	U_{3x} (m)		U_{3x} (m)		U_{3x} (m)	
Respuesta por tiempo del portico A (Desplazamientos del 3er Piso).	-0.1239		-0.1224	-	-0.1197	-

Nota. Resultados en función de los indicadores de la dimensión análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos tridimensionales del modelo 1 de acuerdo al código MATLAB, Bibliografía (García, L) y SAP 2000. Elaboración Propia.

Referido al código MATLAB y la bibliografía, respecto a coordenadas desacopladas respecto a η_1 la diferencia es el signo en la dirección X, pero si verificamos la respuesta en el tiempo estos resultados son inversos en tal caso la precisión es robusta. Respecto a desplazamientos, fuerzas inerciales, cortante basal y momento torsor existe precisión robusta.

Referido al código MATLAB y el software SAP 2000, respecto a desplazamientos, fuerzas inerciales, cortante basal y momento torsor las diferencias son mínimas y no tienen impacto significativo en la interpretación estructural por ende la precisión es robusta.

Modelo 3.

En relación con la ejecución del script **Analisis_TH.m** y **Portico_TH_3D.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el **Modelo 3** ante el evento sísmico de Chimbote – Ancash – estación Parque de la reserva del 31 de mayo 1970 que es espectro compatible al pseudoespectro (Z2UAS2) de la NTP Sismorresistente E030. Ver tabla 62.

Tabla 62

Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 3

Análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos pseudotrídimensionales (Modelo 3)				
Indicador	Codigo MATLAB		SAP 2000	
Registros sísmicos (Aceleraciones).	Chimbote - Est. P. R. 31 de mayo 1970(Escalado)			
	η_1 (m)	η_2 (m)	η_1 (m)	η_2 (m)
Coordenadas desacopladas.	-0.7044	0.3833	No verificable	
	U_{sx} (m)	U_{sy} (m)	U_{sx} (m)	U_{sy} (m)
Desplazamientos.	-0.0240	-0.0131	-0.0209	-0.0111
	F_{sx} (kN)	F_{sy} (kN)	F_{sx} (kN)	F_{sy} (kN)
Fuerzas Inerciales.	-748.0	-663.8	-737.3	-640.6
	V_{1x} (kN)	V_{1y} (kN)	V_{1x} (kN)	V_{1y} (kN)
Cortante Basal.	-3718.5	-3305.1	-3439.8	-3529.6
	M_t (kN.m)		M_t (kN.m)	
Momento torsor.	-13338.2		-	
Respuesta por tiempo del portico A	U_{8x} (m)		U_{8x} (m)	
(Desplazamientos del 3er Piso).	-0.0272		-0.0232	

Nota. Resultados en función de los indicadores de la dimensión análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos tridimensionales del modelo 3 de acuerdo al código MATLAB, Bibliografía (García, L) y SAP 2000. Elaboración Propia.

Referido al código MATLAB y el software SAP 2000, respecto a desplazamientos se verifica proximidad en los desplazamientos del último nivel de la estructura teniendo precisión aceptable, en cuanto fuerzas inerciales del último nivel se tiene de igual forma precisión confiable de los datos, en cuanto a cortante basal en el primer nivel, las diferencias son más significativas en la dirección X que sin embargo la precisión es aceptable en la interpretación de la respuesta estructural.

5.3.4. Resultados del objetivo específico 03

Determinar la precisión de la formulación matemática con algoritmos de programación para el análisis sísmico dinámico modal espectral por métodos matriciales de pórticos pseudotrídimensionales

Obtenida la parte dinámica de la estructura, se procedió a leer en un determinado espectro la respuesta respecto de los periodos de la estructura y así determinar la respuesta espectral, esto representa el análisis sísmico dinámico modal espectral, los resultados corresponden a la aplicación de la formulación matemática con algoritmos de programación a los modelos 1 y 3, y están enfocados en las respuestas estructurales en las direcciones X y Y.

Modelo 2.

En relación con la ejecución del script **Análisis_Pseudoespectral_3D.m**, **Análisis_Pseudo_3D**, **Combinacion_SRSS.m** y **Combinacion_CQC.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el **Modelo 2** ante el espectro de desplazamientos de la señal sísmica de California – Imperial Valley – estación el centro del 18 de mayo, se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 63

Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 2

Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotridimensionales (Modelo 2)						
Indicador	Código MATLAB		Bibliografía (García, L)		SAP 2000	
Espectros y pseudoespectros S_d , S_v , S_a .	Pseudoespectro de la señal - Imperial Valley - Est. El Centro 18 de mayo 1940					
Desplazamientos (1er y 2do modo).	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$
	0.1467	0.1467	0.1487	-	0.1501	0.1501
Derivas de piso (1er y 2do modo).	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}
	1.1174	1.1174	1.051	-	-	-
Fuerzas inerciales (1er y 2do modo).	$F_{6x}(kN)$	$F_{6y}(kN)$	$F_{6x}(kN)$	$F_{6y}(kN)$	$F_{6x}(kN)$	$F_{6y}(kN)$
	1110	1110	1108.3	-	1099.272	1099.272
Cortante basal (1er y 2do modo).	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$
	4200	4200	4122.1	-	4170.3	4170.3
Momento de volteo (1er y 2do modo).	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$
	54400	54400	53833.1	-	53922.6	53922.6
Método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC).						
Desplazamientos.	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$
	0.147	0.147	0.149	-	0.1504	0.1504
Derivas de piso.	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}
	1.1283	1.1282	1.065	-	1.1424	1.1424
Cortante basal.	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$
	4366.17	4361.77	4327.6	-	4304.35	4304.35
Momento de volteo.	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$
	54435.98	54435.76	53865.8	-	56096.91	56096.91
Método de combinación cuadrática completa (CQC).						
Desplazamientos.	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$	$U_{6x}(m)$	$U_{6y}(m)$
	0.147	0.147	0.149	-	0.1504	0.1504
Derivas de piso.	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}
	1.1292	1.1291	-	-	1.1424	1.1424
Cortante basal.	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$
	4377.31	4372.94	-	-	4340.718	4340.718
Momento de volteo.	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$	$M_{1x}(kN.m)$	$M_{1y}(kN.m)$
	54428.91	54428.56	-	-	56468.41	56468.41

Nota. Resultados en función de los indicadores de la dimensión análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos tridimensionales del modelo 2 de acuerdo al código MATLAB y SAP 2000. Elaboración Propia.

Referido al código MATLAB y la bibliografía, para el caso modal espectral en cuanto a desplazamientos del sexto nivel y derivas del segundo nivel se observa una precisión confiable. Para fuerzas inerciales del sexto nivel, cortante basal y momento de volteo del primer nivel no representan diferencias considerables con el código MATLAB el cual permite una precisión confiable de los resultados.

Considerando el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) sucede lo mismo en las verificaciones de desplazamientos y derivas del sexto nivel respecto a la bibliografía. Y en el caso de la cortante basal y momento de volteo en el primer nivel la diferencia no es significativa el cual permite precisión confiable respecto a la bibliografía. Considerando el método de combinación cuadrática completa (CQC), solo es verificable con la bibliografía los desplazamientos y la respuesta es confiable.

Referido al código MATLAB y el software SAP 2000, para el caso modal espectral en cuanto a desplazamientos sexto nivel y derivas del segundo nivel se observa resultados confiables respecto al software. Para fuerzas inerciales del sexto nivel, cortante basal y momento de volteo del primer nivel existe en este caso buena coincidencia con en el código MATLAB el cual permite una precisión confiable de los resultados.

Considerando el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) y el método de combinación cuadrática completa (CQC), las verificaciones de desplazamientos del sexto nivel y derivas del segundo nivel respecto al software se consideran de precisión confiable. Y en el caso de la cortante basal y momento de volteo en el primer nivel la diferencia no es significativa el cual permite resultados confiables respecto al software.

Modelo 3.

En relación con la ejecución del script **Analisis_Pseudoespectral_3D.m**, **Analisis_Pseudo_3D** y **Combinacion_SRSS.m** y **Combinacion_CQC.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el **Modelo 3** ante el pseudoespectro de aceleraciones (Z2UAS2) considerando la NTP Sismorresistente E030, se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 64

Verificación de la respuesta al análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 3

Análisis sísmico dinámico modal espectral de pórticos pseudotrídimensionales (Modelo 3)				
Indicador	Código MATLAB		SAP 2000	
Espectros y pseudoespectros Sd, Sv, Sa.	Pseudoespectro NTP - E.030-Z2UAS2R6			
	U _{sx} (m)	U _{sy} (m)	U _{sx} (m)	U _{sy} (m)
Desplazamientos (1er y 2do modo).	0.0234	0.0138	0.0225	0.0126
	Δ _{sx}	Δ _{sy}	Δ _{sx}	Δ _{sy}
Derivas de piso (1er y 2do modo).	0.4045	0.7016	-	-
	F _{8x} (kN)	F _{8y} (kN)	F _{8x} (kN)	F _{8y} (kN)
Fuerzas inerciales (1er y 2do modo).	600	620	585.07	576.6
	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)
Cortante basal (1er y 2do modo).	3380	3250	3397.98	3152.97
	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)
Momento de volteo (1er y 2do modo).	61000	59700	61002.804	57332.309
Metodo de combinacion de raiz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC).				
	U _{sx} (m)	U _{sy} (m)	U _{sx} (m)	U _{sy} (m)
Desplazamientos.	0.0234	0.0138	0.0217	0.0118
	Δ _{sx}	Δ _{sy}	Δ _{sx}	Δ _{sy}
Derivas de piso.	1.1521	0.7031	1.0677	0.5933
	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)
Cortante basal.	3629.72	3529.27	3474.61	3282.91
	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)
Momento de volteo.	61119.85	59929.93	62107.55	58871.07
Metodo de combinacion cuadratica completa (CQC).				
	U _{sx} (m)	U _{sy} (m)	U _{sx} (m)	U _{sy} (m)
Desplazamientos.	0.0234	0.0138	0.0217	0.0118
	Δ _{sx}	Δ _{sy}	Δ _{sx}	Δ _{sy}
Derivas de piso.	1.1518	0.703	1.0677	0.5937
	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)
Cortante basal.	3635.38	3548.17	3484.16	3296.99
	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)
Momento de volteo.	61134	59950.58	62198.73	59041.23

Nota. Resultados en función de los indicadores de la dimensión análisis sísmico dinámico tiempo historia de pórticos tridimensionales del modelo 3 de acuerdo al código MATLAB, Bibliografía (García, L) y SAP 2000. Elaboración Propia.

Referido al código MATLAB y el software SAP 2000, para el caso modal espectral en cuanto a desplazamientos del octavo nivel y derivas del quinto nivel en la dirección X, se observa resultados numéricamente cercanos respecto al software, sin embargo, existe una mayor diferencia de los resultados en la dirección Y, considerando su precisión en ambos casos aceptable. Para fuerzas inerciales del octavo nivel, cortante basal del primer nivel existe en este caso buena coincidencia con en el código MATLAB el cual permite una precisión confiable de los resultados, para el momento de volteo la precisión es confiable debido la diferencia considerable que existe en la dirección Y.

Considerando el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) y el método de combinación cuadrática completa (CQC), las verificaciones de desplazamientos del octavo nivel y derivas del segundo nivel respecto al software se consideran de precisión aceptable. Y en el caso de la cortante basal y momento de volteo en el primer nivel la diferencia es considerable el cual permite resultados confiables respecto al software de verificación.

5.4. **Discusión de resultados**

La presente discusión se centra en los resultados obtenidos del análisis sísmico dinámico estructural, por medio de la implementación computacional de algoritmos. Estos resultados han sido verificados tanto con la bibliografía especializada y software especializado, lo que permite verificar la precisión y validez del enfoque propuesto.

- **Discusión de resultados del objetivo general.**

La base teórica de este análisis se sustenta en la metodología del análisis pseudotridimensional, que permitió así una representación eficaz del comportamiento estructural tridimensional. Sin embargo, como se indicó anteriormente, se trata de un análisis pseudotridimensional que no contempla las deformaciones asociadas a los 12 grados de libertad por elemento que se consideran en un análisis tridimensional completo y esta simplificación implica que no se integran efectos de torsión o de acoplamiento entre los diferentes pórticos estructurales de manera detallada.

Los resultados obtenidos en los Modelos 1 y 2, los cuales fueron contrastados con datos provenientes tanto de la bibliografía como del software especializado SAP2000, respaldan la validez del enfoque propuesto. Si bien la metodología empleada se basa en una aproximación pseudotridimensional, en estructuras compuestas exclusivamente por elementos típicos como columnas y vigas, esta simplificación no genera diferencias significativas en la verificación estructural. En efecto, los resultados confirman que dicha aproximación ofrece una representación suficientemente precisa del comportamiento dinámico estructural, especialmente en el contexto de un análisis sísmico dinámico lineal.

Los resultados obtenidos en el Modelo 3, correspondientes a un edificio real con una distribución irregular de elementos en planta, incluyendo muros, columnas y vigas, fueron verificados con los resultados del software especializado SAP2000. Esta verificación evidenció ciertas discrepancias, siendo los resultados del modelo propuesto ligeramente diferentes a los obtenidos mediante el software. Esta diferencia se debe, en parte, a la complejidad geométrica y a la presencia de elementos estructurales adicionales, como los muros, que no están plenamente integrados en la metodología pseudotridimensional

empleada. Si bien estas variaciones debilitan en cierta medida la precisión del enfoque utilizado, no resultan lo suficientemente significativas como para invalidarlo. A pesar de sus limitaciones, la metodología conserva coherencia en la representación del comportamiento dinámico global de la estructura, permitiendo así profundizar en los análisis dinámicos propuestos y reafirmar su aplicabilidad en estudios estructurales preliminares o académicos.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Lupaca (2022), quien validó una formulación computacional para el análisis dinámico estructural obteniendo variaciones menores al contrastar sus resultados con un programa comercial. En ambos estudios se confirma que una correcta idealización estructural y formulación matricial permite verificar con confiabilidad el análisis sísmico dinámico, cumpliéndose el objetivo general planteado.

- **Discusión de resultados del objetivo específico 1**

La implementación de esta idealización se logró mediante el desarrollo de los scripts **Rigidez_2D.m**, **Condensacion_2D.m** y **Rigidez_3D.m**, los cuales generaron resultados consistentes con los valores obtenidos en la bibliografía. Esta verificación se realizó específicamente para los Modelos 1 y 2, cuyas configuraciones estructurales corresponden a sistemas regulares compuestos por vigas y columnas. La correspondencia numérica alcanzada valida tanto la formulación matemática como la implementación computacional, lo que fortalece la confianza en el enfoque propuesto. Este supuesto de validación metodológica es esencial, ya que establece una base sólida para aplicar el análisis sísmico dinámico en etapas posteriores, tales como el análisis tipo tiempo-historia y el análisis espectral modal.

Para el Modelo 1, en el caso de la respuesta dinámica bajo condiciones de vibración libre, se obtuvieron resultados con alta correspondencia numérica entre los valores calculados mediante el código desarrollado en MATLAB y los reportados en la bibliografía. Esta coincidencia se debe a que en ambos casos se utilizaron exactamente las mismas consideraciones numéricas y supuestos estructurales durante la modelación. Para el

Modelo 2, es necesario realizar una consideración al verificar los resultados con los valores reportados en la bibliografía. Esto se debe a que el texto de referencia únicamente contempla las rigideces en la dirección específica de análisis, sin incorporar la metodología pseudotridimensional. No obstante, esta discrepancia es mínima y no compromete la validez del modelo, ya que ambos enfoques comparten supuestos estructurales similares y el comportamiento general de la estructura permanece coherente. Sin embargo, al verificar estos resultados en los modelos 1 y 2 con los obtenidos mediante el software SAP2000, se evidencian ciertas discrepancias.

Para el Modelo 3, la respuesta dinámica en vibración libre muestra diferencias más notorias, atribuibles a la complejidad geométrica de la estructura y a la ausencia de todos los grados de libertad propios de un modelo tridimensional completo. El modelo complejo de la estructura y la presencia de muros estructurales influye en esta variación. No obstante, los resultados obtenidos confirman que la metodología propuesta permite realizar un análisis dinámico eficiente, representando adecuadamente el comportamiento global de la estructura.

Además, permite sostener que, para estructuras regulares, la idealización dinámica pseudotridimensional es suficientemente precisa para fines de verificación estructural y estudios comparativos, incluso cuando se omiten ciertos grados de libertad presentes en modelos tridimensionales completos. Estos hallazgos son concordantes con lo reportado por Huancapaza (2021), quien concluye que una adecuada idealización dinámica en modelos pseudotridimensionales reduce significativamente las diferencias en las respuestas estructurales y constituye un factor determinante para la confiabilidad del análisis sísmico dinámico.

- **Discusión de resultados del objetivo específico 2**

Analizado el comportamiento dinámico de la estructura y definidas las variables involucradas en la ecuación dinámica para determinar su respuesta natural, el modelo es sometido a una variable funcional con el fin de evaluar la precisión de la formulación matemática. Esta verificación se realiza mediante los scripts **Analisis_TH.m** y

Portico_TH_3D.m, los cuales permiten obtener la respuesta estructural ante un análisis sísmico tipo tiempo-historia. La precisión se expresa como el grado de correspondencia entre los resultados obtenidos por la implementación computacional y aquellos reportados en la bibliografía o generados mediante el software SAP2000, según corresponda. Es importante señalar que cada dimensión analizada en esta investigación representa un aspecto específico e independiente del comportamiento dinámico estructural, por lo que no resulta metodológicamente válido ni compatible realizar un promedio entre ellas.

Modelo 1.

En relación a la precisión de los resultados de los scripts **Analisis_TH.m** y **Portico_TH_3D.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el modelo 1 ante la acción sísmica, ver tabla 65.

Tabla 65

Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 1

Análisis sísmico dinámico tiempo historia de porticos pseudotridimensionales (Modelo 1)				
Indicador	Bibliografía (García, L)		SAP 2000	
Coordenadas desacopladas.	η_1	η_2	η_1	η_2
	100%	102%	-	-
Desplazamientos.	U_{3x}	U_{3y}	U_{3x}	U_{3y}
	102%	100%	99%	97%
Fuerzas Inerciales.	F_{3x}	F_{3y}	F_{3x}	F_{3y}
	102%	100%	101%	99%
Cortante Basal.	V_x	V_y	V_x	V_y
	102%	100%	102%	99%
Momento torsor.	M_{tz}		M_{tz}	
	97%		-	
Respuesta por tiempo del portico A (Desplazamientos del 3er Piso).	$U_{3x}(m)$		$U_{3x}(m)$	
	101%		104%	

Nota. Precisión del código MATLAB sobre la bibliografía o software de verificación.

Elaboración Propia.

Se verificó que el código desarrollado en MATLAB ante la bibliografía, para ambas direcciones de análisis, las respuestas para coordenadas desacopladas, desplazamientos, fuerzas inerciales, cortante basal y respuesta por tiempo del pórtico A, existe una variación porcentual de entre el 0 % y el 2 % por encima de los valores de referencia y en el caso del momento torsor del 3% por debajo del valor referencial. Por otro lado, al verificar los resultados con los obtenidos en el software SAP2000, para coordenadas desacopladas, desplazamientos, fuerzas inerciales y cortante basal, se observa una reducción porcentual

que, en la mayoría de los casos, se mantiene entre el 0 y el 3%, y la respuesta por tiempo del pórtico A se encuentra 4% por encima del valor referencial. Esta estabilidad porcentual indica que la precisión de la formulación matemática con algoritmos de programación es **robusta**, y en general esta verificación arroja niveles de precisión superiores al 90 %, tanto respecto a la bibliografía como al software especializado.

Modelo 3.

En relación a la precisión de los resultados de los scripts **Analisis_TH.m** y **Portico_TH_3D.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el modelo 3 ante la acción sísmica, ver tabla 66.

Tabla 66

Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico tiempo historia del modelo 3

Análisis sísmico dinámico tiempo historia de porticos pseudotridimensionales (Modelo 3)		
Indicador	SAP 2000	
	$\eta_1(m)$	$\eta_2(m)$
Coordenadas desacopladas.	No verificable	
Desplazamientos.	$U_{8x}(m)$	$U_{8y}(m)$
	115%	118%
Fuerzas Inerciales.	$F_{8x}(kN)$	$F_{8y}(kN)$
	101%	104%
Cortante Basal.	$V_{1x}(kN)$	$V_{1y}(kN)$
	108%	94%
Momento torsor.	$M_t(kN.m)$	
Respuesta por tiempo del portico A (Desplazamientos del 3er Piso).	$U_{3x}(m)$	-
	117%	-

Nota. Precisión del código MATLAB sobre la bibliografía o software de verificación.

Elaboración Propia.

Se verificó que el modelo desarrollado en el software SAP2000 presenta diferencias respecto a los valores referenciales en distintos parámetros dinámicos. En cuanto a los desplazamientos máximos en las direcciones X y Y, se observaron discrepancias superiores al 15% y 18%, respectivamente. Para las fuerzas inerciales y el cortante basal en X, las diferencias fueron del orden del 1% y 8% y para la cortante en Y por debajo del 6% del valor de referencia. Asimismo, la respuesta en el tiempo del pórtico A presentó una variación de aproximadamente el 17% por encima del valor referencial presentando sobreestimación. A pesar de estas diferencias, se considera que la precisión de la

formulación matemática con algoritmos de programación es **aceptable**, y en general se alcanza un nivel de precisión superior al 90% en la mayoría de los parámetros evaluados.

Este comportamiento es consistente con lo reportado por Ramirez (2022), quien identificó que las diferencias entre modelos computacionales y formulaciones matemáticas propias se incrementan cuando no se controla adecuadamente la idealización estructural ni la reducción de grados de libertad, especialmente en análisis tiempo-historia. Asimismo, Ramirez (2022) señala que, pese a estas discrepancias locales, la precisión global del análisis se mantiene aceptable cuando los errores no superan el 10 % en la mayoría de los parámetros, criterio que también se cumple en la presente investigación al alcanzar niveles de precisión superiores al 90 % en términos generales. Esta comparación refuerza la importancia de la implementación computacional propia como herramienta de verificación y validación del análisis sísmico dinámico.

- **Discusión de resultados del objetivo específico 3**

Analizado el comportamiento dinámico de la estructura y definidas las variables involucradas en la ecuación dinámica para determinar su respuesta natural, el modelo debe de leer en un determinado espectro la respuesta respecto de los periodos de la estructura, con el fin de evaluar la precisión de la formulación matemática.

Esta verificación se realizó por medio de los scripts **Analisis_Pseudoespectral_3D.m**, **Analisis_Pseudo_3D.m**, **Combinacion_SRSS.m** y **Combinacion_CQC.m**, los cuales permiten obtener la respuesta estructural ante un espectro o pseudoespectro de respuesta. La precisión se expresa como el grado de correspondencia entre los resultados obtenidos por la implementación computacional y aquellos reportados en la bibliografía o generados mediante el software SAP2000, según corresponda. Es importante señalar que cada dimensión analizada en esta investigación representa un aspecto específico e independiente del comportamiento dinámico estructural, por lo que no resulta metodológicamente válido ni compatible realizar un promedio entre ellas.

Modelo 2.

En relación a la precisión de los resultados de los scripts **Analisis_Pseudoespectral_3D.m**, **Analisis_Pseudo_3D.m**, **Combinacion_SRSS.m** y **Combinacion_CQC.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el Modelo 2 ante el espectro de la señal sísmica, Ver tabla 67.

Tabla 67

Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 2

Analisis sísmico dinámico modal espectral de porticos pseudotrídimensionales (Modelo 2)				
Indicador	Bibliografía (García, L)		SAP 2000	
	U_{6x}(m)	U_{6y}(m)	U_{6x}(m)	U_{6y}(m)
Desplazamientos (1er y 2do modo).	99%	-	98%	98%
Derivas de piso (1er y 2do modo).	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}
	106%	-	-	-
Fuerzas inerciales (1er y 2do modo).	F_{6x}(kN)	F_{6y}(kN)	F_{6x}(kN)	F_{6y}(kN)
	100%	-	101%	101%
Cortante basal (1er y 2do modo).	V_{1x}(kN)	V_{1y}(kN)	V_{1x}(kN)	V_{1y}(kN)
	102%	-	101%	101%
Momento de volteo (1er y 2do modo).	M_{1x}(kN.m)	M_{1y}(kN.m)	M_{1x}(kN.m)	M_{1y}(kN.m)
	101%	-	101%	101%
Metodo de combinacion RCSC.				
Desplazamientos.	U_{6x}(m)	U_{6y}(m)	U_{6x}(m)	U_{6y}(m)
	99%	-	98%	98%
Derivas de piso.	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}
	106%	-	99%	99%
Cortante basal.	V_{1x}(kN)	V_{1y}(kN)	V_{1x}(kN)	V_{1y}(kN)
	101%	-	101%	101%
Momento de volteo.	M_{1x}(kN.m)	M_{1y}(kN.m)	M_{1x}(kN.m)	M_{1y}(kN.m)
	101%	-	97%	97%
Metodo de combinacion CQC.				
Desplazamientos.	U_{6x}(m)	U_{6y}(m)	U_{6x}(m)	U_{6y}(m)
	99%	-	98%	98%
Derivas de piso.	Δ_{2x}	Δ_{2y}	Δ_{2x}	Δ_{2y}
	-	-	98%	99%
Cortante basal.	V_{1x}(kN)	V_{1y}(kN)	V_{1x}(kN)	V_{1y}(kN)
	-	-	101%	101%
Momento de volteo.	M_{1x}(kN.m)	M_{1y}(kN.m)	M_{1x}(kN.m)	M_{1y}(kN.m)
	-	-	96%	96%

Nota. Precisión del código MATLAB sobre la bibliografía o software de verificación.

Elaboración Propia.

Se verifico que el código desarrollado en MATLAB ante la bibliografía, para el caso modal espectral, en la dirección X, los desplazamientos y derivas tienen diferencias por debajo del 1% y encima del 6% respectivamente, en cuanto a fuerzas inerciales, cortante basal y momento de volteo, se encuentran entre 0% y 2%. Al aplicar el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) en la dirección X, en cuanto a verificaciones de desplazamientos y derivas se tienen diferencias por debajo del 1% y encima del 6% respectivamente en cuanto a fuerzas inerciales y momento de volteo, se encuentra encima del 1%.

Para el método de combinación cuadrática completa (CQC), la bibliografía no reporta resultados completos, en tal caso los desplazamientos son del 2%. Por lo que se concluye de los porcentajes que la precisión de la formulación matemática con algoritmos de programación es **robusta** y en general, la verificación indica niveles de precisión superiores al 90 %, respecto a la bibliografía.

Se verifico que el código desarrollado en MATLAB ante el software SAP 2000, para el caso modal espectral, en la dirección X, los desplazamientos y derivas tienen una diferencia por debajo del 2% y 1%, en cuanto a fuerzas inerciales, cortante basal y momento de volteo, se tiene 2% por debajo de los valores referenciales.

Al aplicar el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) en la dirección X y Y, en cuanto a verificaciones de desplazamientos se tienen diferencia por debajo del 2% y derivas por debajo del 1%, en cuanto a fuerzas inerciales y momento de volteo se encuentra encima del 1% y debajo del 3% respectivamente.

Para el método de combinación cuadrática completa (CQC) en la dirección X y Y, en cuanto a verificaciones de desplazamientos se tiene diferencia por debajo del 2% y derivas por debajo del 2%, en cuanto a fuerzas inerciales y momento de volteo, se encuentra encima del 1% y debajo del 4% respectivamente. Por tanto, los porcentajes de precisión para el uso de la formulación matemática con algoritmos de programación es confiable y en general, la verificación indica niveles de precisión superiores al 90 %, respecto al software SAP 2000.

Modelo 3.

En relación a la precisión de los resultados de los scripts **Analisis_Pseudoespectral_3D.m**, **Analisis_Pseudo_3D.m**, **Combinacion_SRSS.m** y **Combinacion_CQC.m**, se obtuvo la siguiente respuesta para el Modelo 3 ante el pseudoespectro normativo Z2UAS2, Ver tabla 68.

Tabla 68

Verificación de la precisión del análisis sísmico dinámico modal espectral del modelo 3

Análisis sísmico dinámico modal espectral de porticos pseudotridimensionales (Modelo 3)		
Indicador	SAP 2000	
	U _{8x} (m)	U _{8y} (m)
Desplazamientos (1er y 2do modo).	104%	110%
	Δ_{5x}	Δ_{6y}
Derivas de piso (1er y 2do modo).	-	-
	F _{8x} (kN)	F _{8y} (kN)
Fuerzas inerciales (1er y 2do modo).	103%	108%
	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)
Cortante basal (1er y 2do modo).	99%	103%
	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)
Momento de volteo (1er y 2do modo).	100%	104%
Metodo de combinacion RCSC.		
	U _{8x} (m)	U _{8y} (m)
Desplazamientos.	108%	117%
	Δ_{5x}	Δ_{6y}
Derivas de piso.	108%	119%
	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)
Cortante basal.	104%	108%
	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)
Momento de volteo.	98%	102%
Metodo de combinacion CQC.		
	U _{8x} (m)	U _{8y} (m)
Desplazamientos.	108%	117%
	Δ_{5x}	Δ_{6y}
Derivas de piso.	108%	118%
	V _{1x} (kN)	V _{1y} (kN)
Cortante basal.	104%	108%
	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)
Momento de volteo.	98%	102%

Nota. Precisión del código MATLAB sobre la bibliografía o software de verificación.

Elaboración propia.

Se verificó que el modelo desarrollado en el software SAP2000, para el caso modal espectral, en la dirección X y Y, para desplazamientos se verifica una diferencia por encima del 4% y 10% respectivamente, en cuanto a fuerzas inerciales, para la dirección X por debajo del 3% y para la dirección Y por encima de 8% de los valores referenciales, para cortante basal, para la dirección X por debajo del 1% y para la dirección Y por encima de 3% por encima de los valores referenciales finalmente para el momento de volteo en la dirección Y por encima del 4% de los valores referenciales.

Al aplicar el método de combinación de raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RCSC) en la dirección X y Y, para desplazamientos se verifica una diferencia por encima del 8% y 17% y en cuanto a derivas se verifica una diferencia por encima de 8% y 19%, para cortante basal, por encima del 4% y 8% por encima de los valores referenciales, finalmente para el momento de volteo en la dirección X por debajo del 2% y para la dirección Y por encima del 2% de los valores referenciales.

Para el de combinación cuadrática completa (CQC) en la dirección X y Y, para desplazamientos se verifica una diferencia por encima del 8% y 17%, y en cuanto a derivas se verifica una diferencia por encima 8% y 18%, para cortante basal por encima del 4% y 8% de los valores referenciales finalmente para el momento de volteo en la dirección X por debajo del 2% y para la dirección Y por encima del 2% de los valores referenciales. En este caso se muestra claramente la sobreestimación en desplazamientos y derivas y se puede dar debido a la complejidad de la estructura y la no implementación completa de muros estructurales en modelos pseudotridimensionales. Por tanto, los porcentajes de precisión para el uso de la formulación matemática con algoritmos de programación es **aceptable** y en general, la verificación indica niveles de precisión superiores al 90 %, respecto al software SAP 2000.

Estos resultados son comparables con los valores reportados por Ramirez (2022), quien obtuvo discrepancias menores al 5 % en desplazamientos y esfuerzos modales al contrastar formulaciones matriciales propias con software comercial. De manera similar Huancapaza (2021) reportó diferencias inferiores al 3 % en fuerzas sísmicas globales empleando modelos simplificados con reducción de grados de libertad, lo que respalda la precisión alcanzada por el modelo computacional desarrollado en MATLAB. En contraste, el Modelo 3 presenta diferencias más elevadas, especialmente en desplazamientos y fuerzas inerciales en la dirección Y, con variaciones que superan el 10 %, comportamiento también identificado por Ramirez (2022), quien señala incrementos de hasta el 12 % al emplear software comercial sin un control explícito de la idealización modal y la combinación de modos.

VI. Conclusiones

6.1.1. Conclusiones al objetivo general

En función de los resultados obtenidos y la discusión desarrollada, se concluye que el objetivo principal de la investigación, fue cumplido satisfactoriamente, y que la hipótesis planteada ha sido verificada con evidencia sólida. La implementación computacional del problema estructural, apoyada en la teoría del análisis sísmico dinámico lineal y estructurada mediante formulación matemática con algoritmos de programación, permitió desarrollar scripts en MATLAB que representan una herramienta efectiva para la idealización, análisis y verificación de la respuesta sísmica de pórticos tridimensionales. Esta implementación integra una metodología pseudotridimensional, que, a partir de la conformación de pórticos bidimensionales, construye la matriz de rigidez de la estructura y permite resolver el problema dinámico tanto por el método del análisis tiempo historia como por el método modal espectral.

Los resultados de los Modelos 1 y 2, contrastados con valores de referencia provenientes de bibliografía especializada y simulaciones realizadas en el software SAP2000, evidenciaron una precisión robusta. Esta concordancia valida la formulación planteada y demuestra la fidelidad del modelo, especialmente en estructuras compuestas por columnas y vigas. Para el Modelo 3, correspondiente a un edificio real con geometría compleja y presencia de muros estructurales, se observaron discrepancias mayores, aunque dentro de márgenes aceptables para un modelo pseudotridimensional, a pesar de estas diferencias, el enfoque propuesto logró representar de manera coherente el comportamiento dinámico global de la estructura, permitiendo su análisis funcional y estructural en condiciones realistas. Esta diferencia en general de los modelos evaluados particularmente con SAP 2000 se debió a que el programa considera 12 grados de libertad por elemento, incluyendo deformación por corte mientras que la metodología desarrollada en MATLAB aplica una idealización que omite estos efectos.

En consecuencia, se concluye que la implementación computacional desarrollada sí permite verificar el análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales

mediante métodos matriciales, cumpliendo con el objetivo general y ratificando la validez de la hipótesis general. Esta herramienta representa una alternativa válida y útil tanto para fines académicos donde se requiere pleno conocimiento de los procesos para obtener con un método factible las respuestas de pórticos tridimensionales.

6.1.2. Conclusiones al objetivo específico 1

Con la formulación matemática con algoritmos de programación, se permitió el desarrollo de los scripts **Rigidez_2D.m**, **Condensacion_2D.m** y **Rigidez_3D.m** que fueron fundamentales para construir las matrices de rigidez lateral por pórtico y de la estructura completa bajo el criterio de diafragma rígido. Asimismo, se incorporaron las matrices de masa (como entrada bajo el criterio de masa concentrada) y de amortiguamiento (calculada mediante amortiguamiento modal), elementos clave para resolver la ecuación dinámica del sistema en vibración libre.

Los resultados obtenidos en los Modelos 1 y 2, que son estructuras regulares compuestas por columnas y vigas, son verificables con los datos reportados en la bibliografía especializada. Esta correspondencia es clara en los valores períodos, frecuencias y masa modal efectiva, y permite validar no solo los algoritmos propuestos, y más importante la interpretación de las formas modales de la estructura. Las ligeras diferencias observadas con respecto al software SAP2000 se deben a que este último realiza un análisis tridimensional completo.

En el caso del Modelo 3, correspondiente a una estructura con mayor complejidad geométrica y elementos adicionales como muros, las diferencias entre el código y el software SAP2000 fueron más notorias, especialmente en los modos de vibración y períodos. Estas discrepancias son atribuibles a que la metodología pseudotridimensional no incluye de forma explícita la interacción de elementos como muros estructurales, ni considera todos los grados de libertad. Sin embargo, los resultados siguen mostrando una representación adecuada del comportamiento global de la estructura, permitiendo realizar un análisis dinámico en vibración libre razonablemente preciso.

En conjunto, los datos respaldan la hipótesis planteada para este objetivo: la formulación matemática con algoritmos de programación permite verificar con efectividad la idealización dinámica de pórticos tridimensionales. Esta metodología es una herramienta válida para determinar el comportamiento de estructuras y permite obtener la respuesta en vibración libre incluso considerando muros estructurales en el modelo y por ende un análisis más ligero de realizar por la consideración de brazo rígido, y el cual es base sólida para continuar con el análisis sísmico dinámico tiempo historia y espectral.

6.1.3. Conclusiones al objetivo específico 2

La formulación matemática con algoritmos de programación mediante los scripts **Analisis_TH.m** y **Portico_TH_3D.m**, permitió determinar con precisión la respuesta estructural ante eventos sísmicos bajo el enfoque tiempo-historia, y la precisión fue evaluada a través de la verificación de indicadores, como desplazamientos, fuerzas inerciales, cortante basal, momento torsor y coordenadas desacopladas, respecto a datos obtenidos tanto de la bibliografía como del software SAP2000.

En el caso del Modelo 1, las diferencias observadas fueron mínimas, con una variación porcentual inferior al 3% en los indicadores de desplazamientos, fuerzas inerciales, cortante basal, momento torsor y coordenadas desacopladas, evaluados frente a la bibliografía y software computacional. Esta alta coincidencia numérica confirma la precisión robusta del modelo computacional para pórticos pseudotridimensionales conformados por columnas y vigas.

Para el Modelo 3, que representa una estructura real de mayor complejidad geométrica, las discrepancias fueron más evidentes en desplazamiento y derivas, particularmente en los desplazamientos máximos en dirección X y Y que son superiores al 15% y 18% y en la respuesta por tiempo del pórtico A, hasta un 17% por encima del valor referencial. En el resto de indicadores como fuerzas inerciales y cortante basal, las diferencias se mantuvieron dentro de márgenes aceptables, el cual indica que la precisión es aceptable para determinar la respuesta de pórticos pseudotridimensionales conformado por muros, columnas y vigas con configuraciones complejas como el modelo 3.

En síntesis, los resultados obtenidos permiten confirmar que la formulación matemática basada en métodos matriciales, aplicada mediante programación en MATLAB, alcanza una precisión superior al 90% en ambos casos analizados, validando así la hipótesis específica. Esta formulación es plenamente aplicable al análisis sísmico dinámico tiempo-historia en pórticos pseudotrídimensionales, y sirve como herramienta para estudios estructurales tanto en el ámbito académico como en aplicaciones preliminares de ingeniería.

6.1.4. Conclusiones al objetivo específico 3

La formulación matemática con algoritmos de programación mediante los scripts, **Analisis_Pseudoespectral_3D.m**, **Analisis_Pseudo_3D.m**, **Combinacion_SRSS.m** y **Combinacion_CQC.m**, permitió determinar con precisión la respuesta del análisis sísmico dinámico modal espectral. Esta precisión fue evaluada a través de la verificación de indicadores, como desplazamientos, derivas, fuerzas inerciales, cortante basal, momento de volteo, respecto a datos obtenidos tanto de la bibliografía como del software SAP2000.

Para el Modelo 2, las diferencias encontradas respecto a la bibliografía y al software fueron, en su mayoría próximas al valor referencial, en el caso del análisis modal espectral para indicadores de desplazamientos, derivas, fuerzas inerciales, cortantes, momento flector por debajo del 2% y una sobreestimación del 1%. Para los métodos de combinación (SRSS) y (CQC), el indicador de momento de volteo estuvo por debajo del 4% y se mantuvo dentro de los márgenes aceptables, lo cual demostró la precisión robusta de la implementación computacional para el análisis de pórticos pseudotrídimensionales conformados por vigas y columnas.

En el Modelo 3, si bien se observaron diferencias algo mayores en ciertas respuestas, especialmente en la dirección Y. con diferencias para el método espectral modal en cortantes por debajo del 1% y otras sobredimensiones para los métodos de combinación en el caso de derivas del 19%. A pesar de estas variaciones, los resultados siguen siendo estructuralmente coherentes y dentro de rangos de precisión aceptables

para fines de análisis de pórticos pseudotridimensionales conformados por muros, vigas y columnas.

En síntesis, la verificación confirma que los resultados obtenidos respaldan plenamente la hipótesis planteada, al demostrar que la precisión global de los modelos supera el umbral del 90 %, a pesar de algunas sobrestimaciones, es posible verificar derivas de entrepiso de la edificación y por ende el primer paso para el diseño de pórticos pseudotridimensionales aplicado a normatividades y representa una herramienta confiable para estudios estructurales tanto en el ámbito académico.

VII. Recomendaciones

Se recomienda, en primer lugar, profundizar en el desarrollo de un algoritmo que considere grados de libertad adicionales, como la torsión y la deformación por corte por elemento, manteniendo el enfoque propuesto en esta investigación. Específicamente, se sugiere continuar con la metodología basada en algoritmos de programación, implementando el método maestro–esclavo para la conformación de diafragmas rígidos, y extendiendo su aplicación a estructuras con diafragmas semirrígidos. Estas mejoras permitirían ampliar el rango de aplicación del análisis sísmico dinámico de estructuras pseudotridimensionales hacia condiciones más realistas y representativas del comportamiento estructural.

En cuanto a la idealización dinámica de pórticos pseudotridimensionales, se recomienda considerar efectos asociados a la masa no concentrada, mediante la implementación de una matriz de masa distribuida. Asimismo, incorporar métodos de amortiguamiento más representativos, como el amortiguamiento de Rayleigh, con el fin de ampliar las formas de verificación de la respuesta estructural y finalmente se sugiere validar la robustez del enfoque propuesto contrastando los resultados con otros softwares de análisis estructural, fortaleciendo así la fiabilidad y aplicabilidad de la metodología desarrollada en cuanto a comportamiento modal se refiere.

En cuanto al análisis sísmico dinámico tipo tiempo-historia, su aplicación se puede ampliar significativamente al considerar un enfoque no lineal. Según el criterio de la metodología, es recomendable avanzar de manera progresiva en esta metodología, implementando soluciones que aborden los efectos no lineales de forma controlada y estructurada. Además, se sugiere prestar especial atención a la verificación de estructuras irregulares, evaluando con mayor detalle la presencia de torsión y comparando sus respuestas con los resultados obtenidos mediante la presente implementación, es fundamental integrar combinaciones direccionales en el análisis tiempo-historia para considerar los efectos que implica en una edificación más compleja y realista.

En cuanto al análisis sísmico dinámico modal espectral es importante destacar que una función espectral definida por normas representa el punto de partida para dimensionar estructuras seguras. Por ello, se recomienda no solo fortalecer la implementación de este análisis mediante la formulación matemática y algoritmos de programación. Adicionalmente, se sugiere implementar correctamente las combinaciones direccionales en el análisis modal espectral para capturar con mayor realismo los efectos de esta, especialmente en edificaciones con geometrías irregulares o torsionalmente sensibles. Y se recomienda aplicar este enfoque a estructuras con diafragmas semirrígidos, validando los resultados con diferentes códigos de diseño y plataformas de análisis estructural, lo que permitirá ampliar el alcance y aplicabilidad de la presente investigación.

Estos enfoques sin duda alguna vienen acompañados de la implementación computacional, en este entender es extensa la gama de software que permiten plasmar una formulación matemática con pseudocódigos, en tal caso es posible que la sintaxis que se presentó en este programa pueda cambiarse a otro software de programación permitiendo algoritmos y base de datos más eficientes y en su defecto el uso de interfaces graficas.

Finalmente, se recomienda no dejar de lado la presente implementación computacional, ya que representa una herramienta valiosa para el entorno académico. Su estructura basada en algoritmos y scripts permite a los estudiantes comprender de manera detallada y progresiva los procesos que conforman el análisis sísmico dinámico de una estructura. Al estar desarrollada desde la formulación matemática hasta la codificación, esta herramienta facilita la asimilación de conceptos fundamentales, promoviendo una comprensión cabal del comportamiento dinámico estructural. Por tanto, su uso didáctico puede ser altamente beneficioso en cursos de análisis estructural, dinámica de estructuras o ingeniería sísmica.

VIII. Referencias

- Aguiar, R. (2012). *Dinámica de estructuras con CEINCI-LAB* (1ra ed.). Escuela Politecnica del Ejercito.
- Aguiar, R., & Cagua, B. (2022). Sistema Computacional “ CEINCI LAB ” como una herramienta para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural. *Revista DYNA*, 89(222), 74–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/dyna.v89n222.101814>
- Alvarez, J. (2020). *Analisis Aplicativo del Metodo de los Elementos Finitos en un Campo Estatico-Lineal e Introduccion a la no Linealidad*. Pontifica Universidad Catolica del Peru.
- Analuisa, J., & Cisneros, A. (2025). Análisis comparativo de métodos numéricos para la dinámica de pórticos irregulares con python. *ASCE Magazine*, 4(2), 1075–1105. <https://doi.org/https://doi.org/10.70577/ASCE/1075-1105/2025>
- Bathe, K. (2019). *Finite Element Procedures* (2da ed.). Prentice Hall, Pearson Education, Inc.
- Bazán, E., & Meli, R. (2002). *Diseño Simico de Edificios* (1ra ed). Limusa/Noriega Editores.
- Blanco, J. L., Gonzalez, A., & Garcia-Manrique, J. M. (2012). *Analisis estatico de estructuras por el metodo matricial* (1ra ed.). Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico.
- Cheng, F. (2001). *Matrix Analysis of Structural Dynamics* (1ra ed.). Marcel Dekker, INC.
- Chopra, A. K. (2020). Dynamics of Structures. In *Pearson* (5ta ed.). Pearson.
- Creswell, J., & Creswell, J. D. (2023). *Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6ta ed.). SAGE Publications.
- CSI. (2017). *CSI Analysis Reference Manual* (1ra ed.). Computers & Structures, Inc.
- CSI. (2025). *SAP 2000* (V 26.3.0 Trial). Computer & Structures, INC.
- Escobar, M. A. (2021). *Proyecto de investigacion software educativo para el analisis no lineal de porticos 2D usando programacion en MATLAB*. Universidad Santo Tomas.
- García, L. (1998). *Dinamica Estructural Aplicada Al Diseño Sismico* (1ra ed.). Universidad de los Andes.

- Hernandez, R., & Mendoza, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y Mixta* (2da ed.). McGraw - Hill Companies.
- Huancapaza, F. (2021). *Análisis comparativa de métodos numéricos para obtener la respuesta dinámica de estructuras, Tacna 2021*. Universidad Privada de Tacna.
- Illanes, J. (2024). *Automatización de elemento finitos con Python para análisis de estructuras en concreto en 2D e introducción al análisis en 3D y sísmico*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Lopes, P. C., Rangel, R. L., & Martha, L. F. (2021). An interactive user interface for a structural analysis software using computer graphics techniques in MATLAB. *Computer Applications in Engineering Education*, June 2020, 1–21. <https://doi.org/10.1002/cae.22406>
- Lupaca, D. (2022). *Desarrollo del simulador web Beli para el análisis matricial de estructuras planas y espaciales*. Universidad Cesar Vallejo.
- Maldonado, E., & Chio, G. (2004). *Análisis sísmico de edificaciones* (1ra ed.). Universidad Industrial de Santander.
- Martínez, R. (2020). *El secreto detrás de una tesis* (1ra ed.). Biblioteca Nacional del Perú.
- MathWorks. (2025). *Matlab* (R2025a version de prueba).
- Microsoft. (2025). *Office 365* (Educativa). Microsoft Windows.
- Moore, H. (2012). *MATLAB para ingenieros*. Pearson Hall.
- Muñoz, A. (2002). *Ingeniería Sismoresistente* (1ra Ed). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Nagarajan, P. (2019). *Matrix Methods of Structural Analysis* (1ra ed.). Taylor & Francis Group.
- Ottazzi, G. (2016). *Apuntes del curso análisis estructural I* (1ra Ed). Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://es2.slideshare.net/elviscasamayor/apuntes-del-curso-analisis-estructural-i>
- Paz, M., & Kim, Y. H. (2019). *Structural dynamics* (6ta ed.). Springer.
- PEER Ground Motion Database. (2025). Universidad de Berkeley.

<https://ngawest2.berkeley.edu/>

- Pino, R. (2024). *Metodología de la investigación: Elaboracion de diseños para contrastar hipotesis*. Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Pique, J., & Scaletti, H. (1991). *Analisis Sismico de Edificios* (1ra ed.). CISMID.
- Powell, G. H. (2010). *Modeling for Structural Analysis Behavior and Basics* (1ra ed.).
- Quispe, A. J. (2015). *Analisis Matricial de Estructuras* (1ra ed.). MACRO.
- Ramirez, C. (2022). *Desarrollo de un programa de computador para el analisis lineal de estructuras aporticadas tridimensionales sometidas a cargas estáticas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodriguez, J. (2010). *Algoritmos y Programacion* (2da ed.). Guatemala,C.A.
- Sanchez, H., & Reyes, C. (2022). *Metodología y diseños en la investigación científica* (6ta ed.). Business Support Aneth.
- Sandoval, S., & Villacorta, A. (2024). *Simulacion del analisis dinamico en estructura de concreto armado de 4 niveles con aplicacion de libreria de programacion en Python*. Universidad Cesar Vallejo.
- Santana, R. (2014). *Analisis Estructural Analisis Matricial en 2D Metodo de Rigideces* (2da ed.). Internacional Star Student ISS-Perú.
- Tena, A. (2007). *Analisis de Estructuras con metodos matriciales* (1ra ed.). Limusa.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la biblioteca central de la Universidad Tecnológica de los Andes.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes