

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA EN ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO

Tesis presentada por la Bachiller:
Talavera Flores, Antuané Milagros
para optar el Título Profesional de
Ingeniera Civil

Asesor (a):
Mg. Bustamante Mora, Boris André

Arequipa- Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 26 de Septiembre del 2023

Dictamen: 007610-C-EPIC-2023

Visto el borrador del expediente 007610, presentado por:

2016242492 - TALAVERA FLORES ANTUANE MILAGROS

Titulado:

**ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DEL
ANÁLISIS NOLINEAL TIEMPO-HISTORIA EN ESTRUCTURAS APORTICADAS DE
CONCRETO ARMADO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**23884755 - CHAVEZ VEGA OSCAR FELIX
DICTAMINADOR**



**29238311 - GUILLEN MALAGA MILAGROS SOCORRO
DICTAMINADOR**



**42839424 - ROSAS ESPINOZA JORGE
DICTAMINADOR**



ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA EN ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1%
4	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	sciencecon.org Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%

9	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
13	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
14	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.udch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	dokumen.tips Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	math.columbia.edu	

Fuente de Internet

<1 %

21

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

22

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

23

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

24

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

25

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

repository.unimilitar.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

29

es.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

30

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

31

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

32	digital.library.unt.edu Fuente de Internet	<1 %
33	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
34	docslide.net Fuente de Internet	<1 %
35	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
36	David Leonardo Peña Mansilla. "Desarrollo de un modelo semiempírico para el dimensionado de pilares rectangulares de hormigón armado en situación accidental de incendio", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
37	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	acading.org.ve Fuente de Internet	<1 %
40	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %

42	dokumen.site Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	archive.org Fuente de Internet	<1 %
45	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	<1 %
48	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
49	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
50	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
51	1library.co Fuente de Internet	<1 %
52	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
53	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

<1 %

54

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

55

repositorio.undac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

56

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

57

cybertesis.uach.cl

Fuente de Internet

<1 %

58

bibliotecasdelecuador.com

Fuente de Internet

<1 %

59

www.saludpublica.mx

Fuente de Internet

<1 %

60

www.yumpu.com

Fuente de Internet

<1 %

61

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

62

polodelconocimiento.com

Fuente de Internet

<1 %

63

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

64

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

65

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

66

repositorio.unitec.edu

Fuente de Internet

<1 %

67

civilshare.files.wordpress.com

Fuente de Internet

<1 %

68

repository.unipiloto.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

69

repositorio.unica.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

70

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

71

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

72

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

<1 %

73

d.documentop.com

Fuente de Internet

<1 %

74

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

75

upc.aws.openrepository.com

Fuente de Internet

<1 %

76	vibdoc.com Fuente de Internet	<1 %
77	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
78	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
79	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
80	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
81	Submitted to Universidad Internacional SEK Trabajo del estudiante	<1 %
82	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
83	aprendiendomatematicascontics.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
84	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
85	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
86	dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1 %

87	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
88	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
89	dspace.ucacue.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
90	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
91	umb.edu.co Fuente de Internet	<1 %
92	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
93	www.energia.org.mx Fuente de Internet	<1 %
94	www.sat-lab.com Fuente de Internet	<1 %
95	tsc.jeita.or.jp Fuente de Internet	<1 %
96	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
97	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
98	Submitted to Arenas Schools	

<1 %

99 issuu.com
Fuente de Internet

<1 %

100 moam.info
Fuente de Internet

<1 %

101 mriuc.bc.uc.edu.ve
Fuente de Internet

<1 %

102 repositorio.utea.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

103 nanopdf.com
Fuente de Internet

<1 %

104 nepis.epa.gov
Fuente de Internet

<1 %

105 pdfslide.net
Fuente de Internet

<1 %

106 recercat.cat
Fuente de Internet

<1 %

107 bibliotecavirtualoducal.uc.cl
Fuente de Internet

<1 %

108 dspace.esPOCH.edu.ec
Fuente de Internet

<1 %

109 www.unisdr.org
Fuente de Internet

<1 %

110	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
111	Submitted to Universidad Autónoma de Aguascalientes Trabajo del estudiante	<1 %
112	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
113	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
114	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
115	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
116	Submitted to University of the Andes Trabajo del estudiante	<1 %
117	es.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %
118	fdocuments.es Fuente de Internet	<1 %
119	id.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
120	sigaa.ufrn.br Fuente de Internet	<1 %

121	Biggs, F.. "Hartree-Fock Compton profiles for the elements", Atomic Data and Nuclear Data Tables, 197509 Publicación	<1 %
122	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
123	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
124	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
125	e.exam-10.com Fuente de Internet	<1 %
126	repositorio.unicamp.br Fuente de Internet	<1 %
127	virtual.urbe.edu Fuente de Internet	<1 %
128	M F Haque. "Selection of Seismic Acceleration for Non-linear Analysis Of Rc Buildings in Bangladesh", Journal of Engineering Science, 2023 Publicación	<1 %
129	labloga.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %

130	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
131	rraae.cedia.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
132	static.frontiersin.org Fuente de Internet	<1 %
133	www.fema.org Fuente de Internet	<1 %
134	García, . "Outlet works", Dam Maintenance and Rehabilitation II, 2010. Publicación	<1 %
135	Zakaria Nejjari, Hanane Aamoum. "Green Technology Implementation in the Moroccan Industrial Processes", International Journal of Environmental Sustainability and Green Technologies, 2022 Publicación	<1 %
136	clkrep.lacity.org Fuente de Internet	<1 %
137	cloud.google.com Fuente de Internet	<1 %
138	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
139	ficem.org Fuente de Internet	<1 %

140	materialesinteligentes.win Fuente de Internet	<1 %
141	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
142	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
143	repositorio.uisek.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
144	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
145	Leticia Vivas, Mauro MacIntyre, Lila Ricci, Jorge Vivas. "Psycholinguistic variables involved in concept recall from the successive presentation of features / Variables psicolingüísticas involucradas en la evocación de conceptos a partir de la presentación de atributos sucesivos", Estudios de Psicología, 2015 Publicación	<1 %
146	analesdepediatria.org Fuente de Internet	<1 %
147	colombia.wcs.org Fuente de Internet	<1 %
148	ddhhcolombia.org.co Fuente de Internet	<1 %

149	dspace.lib.ntua.gr Fuente de Internet	<1 %
150	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
151	intranet.cip.org.pe Fuente de Internet	<1 %
152	la-respuesta.com Fuente de Internet	<1 %
153	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
154	noticias.juridicas.com Fuente de Internet	<1 %
155	pdfs.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1 %
156	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1 %
157	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
158	wiki.csiamerica.com Fuente de Internet	<1 %
159	www.dropbox.com Fuente de Internet	<1 %
160	www.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

161	www.lucidchart.com Fuente de Internet	<1 %
162	www.mondragon.edu Fuente de Internet	<1 %
163	www.openstarts.units.it Fuente de Internet	<1 %
164	www.unodc.org Fuente de Internet	<1 %
165	actualidad744.rssing.com Fuente de Internet	<1 %
166	ambiental.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
167	catalonica.bnc.cat Fuente de Internet	<1 %
168	dspace.dtu.ac.in:8080 Fuente de Internet	<1 %
169	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
170	eujournal.org Fuente de Internet	<1 %
171	masterieg.uc.cl Fuente de Internet	<1 %
172	prezi.com Fuente de Internet	<1 %

173	projectgynecia.uma.pt Fuente de Internet	<1 %
174	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
175	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
176	revistas.uclave.org Fuente de Internet	<1 %
177	tesis.pucp.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
178	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
179	www.civilica.com Fuente de Internet	<1 %
180	www.codem.es Fuente de Internet	<1 %
181	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
182	www.mappinginteractivo.com Fuente de Internet	<1 %
183	www.panoramaaudiovisual.com Fuente de Internet	<1 %
184	www.scipedia.com Fuente de Internet	<1 %

185 Teresa Mauri, Rosa Colomina, Inés de Gispert. <1 %
"Transforming collaborative writing tasks into opportunities for learning: educational assistance and the use of rubrics in Higher Education / Transformando las tareas de escritura colaborativa en oportunidades para aprender: ayuda educativa y uso de rúbricas en la Educación Superior", Cultura y Educación, 2014
Publicación

186 "Optimization of a self-centering frictional damper (SCFD) and its application to non-linear structures", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2022 <1 %
Publicación

187 Guinee. "Impact assessment", Eco-Efficiency in Industry and Science, 2004 <1 %
Publicación

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

Dedicatoria

A mi familia, en especial a mis padres, por el apoyo incondicional desde el comienzo de este viaje, por su paciencia, amor y motivación para culminar con este proyecto, a mis abuelitos, agradecerles porque junto a mis padres forjaron la persona que soy hoy.

Esperando poder hacer que siempre estén orgullosos del gran trabajo que hicieron, agradeciéndoles por sus consejos y acompañamiento en cada paso en la carrera y en la vida, sin ustedes no hubiera sido posible.



Agradecimiento

*A mis papás por su acompañamiento y confianza para lograr
terminar con esta etapa.*

*A mis docentes por todas las lecciones que lograron impartir, a
mi asesor por su apoyo y grandes aportes.*

*A mis amigos por hacer de esta una de las experiencias más
bonitas, por su apoyo y compañía en los buenos y malos
momentos.*

Gracias por todo.



RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo el análisis de los procedimientos necesarios para la aplicación del método de análisis no lineal Tiempo- Historia y crear una metodología para su mayor entendimiento y practicidad, para lo cual se realizó la recopilación de información necesaria para la aplicación del método consultando diferentes fuentes como libros, normativas, investigaciones y ejemplos, los cuales fueron llevados a la práctica para su análisis y posterior sistematización.

Al ser un método de verificación del diseño estructural de una edificación, se realizó el modelamiento y diseño de una estructura hipotética dentro del rango lineal, teniendo como herramienta para el modelamiento previo el análisis modal espectral, este se utilizará como muestra para la descripción del procedimiento del análisis Tiempo- Historia y tener una mejor explicación utilizándolo como ejemplo.

Para la correcta aplicación del método es necesaria la explicación y el desarrollo del tratamiento de la estructura, asignándole a cada elemento rótulas plásticas para poder evaluar su comportamiento en los diferentes estados dentro del rango no lineal, el tratamiento de los registros sísmicos para aplicar a la estructura un registro final consistente con su espectro de respuesta determinado por su análisis lineal estático y la aplicación de estos en el modelo del diseño previo al análisis no lineal, así como la interpretación de los resultados obtenidos.

Del desarrollo del método Tiempo- Historia, se hace el análisis de los procedimientos que se siguieron para llevarlo a cabo y la interpretación de los mismos revisando su metodología y haciendo la recopilación de esta información para ser procesada en formato de manual con el cual se garantiza el mejor entendimiento y una mayor practicidad para futuros estudios y aplicaciones del análisis Tiempo- Historia, cumpliendo de esta forma el principal objetivo de la investigación.

Palabras clave: Análisis no lineal, rótulas plásticas, registros sísmicos, procedimientos, sistematización.

ABSTRACT

The objective of this research project is to analyze the necessary procedures for the application of the Time-History non-linear analysis method and to create a methodology for its greater understanding and practicality, for which the necessary information for the application was collected. of the method consulting different sources such as books, regulations, research and examples, which were put into practice for analysis and subsequent systematization.

Being a method of verification of the structural design of a building, the modeling and design of a hypothetical structure within the linear range was carried out, having as a tool for previous modeling the spectral modal analysis, this will be used as a sample for the description of the procedure. of the Time-History analysis and have a better explanation using it as an example.

For the correct application of the method, it is necessary to explain and develop the treatment of the structure, assigning plastic hinges to each element in order to evaluate its behavior in the different states within the non-linear range, the treatment of the seismic records to apply to the structure a final record consistent with its response spectrum determined by its static linear analysis and the application of these in the design model prior to the non-linear analysis, as well as the interpretation of the results obtained.

From the development of the Time-History method, the analysis of the procedures that were followed to carry it out and the interpretation of the same is made, reviewing its methodology and making the compilation of this information to be processed in manual format with which it is guaranteed the best understanding and a greater practicality for future studies and applications of the Time-History analysis, thus fulfilling the main objective of the investigation.

Key words: Nonlinear analysis, plastic hinges, seismic records, procedures, systematization.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN v

ABSTRACT vi

ÍNDICE vii

ÍNDICE DE FIGURAS xi

ÍNDICE DE TABLAS xxi

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES 3

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO 3

1.1. Determinación del Problema 3

1.2. Enunciado del Problema 4

1.3. Justificación 5

1.3.1. Justificación Social 5

1.3.2. Justificación Económica 6

1.3.3. Justificación Académica 6

1.3.4. Justificación Tecnológica 7

1.3.5. Justificación Institucional 7

1.4. Aporte 8

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 8

2.1. Objetivo General 8

2.2. Objetivos Específicos 8

3. HIPÓTESIS 9

4. ALCANCES Y LIMITACIONES 9

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO 11

1. REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE 11

1.1. Antecedentes 11

1.1.1. Nacionales 11

1.1.2. Internacionales 14

1.2.	Estados del Arte	17
1.2.1.	Análisis no Lineal.....	17
1.2.2.	Análisis no Lineal Dinámico	18
1.2.3.	Análisis Sísmico por Desempeño	19
1.2.4.	Conclusiones y Aporte.....	27
2.	MARCO TEÓRICO	28
2.1.	Elasticidad y Linealidad.....	28
2.1.1.	Elasticidad	28
2.1.2.	Plasticidad o Inelasticidad	28
2.1.3.	Linealidad.....	29
2.1.4.	No Linealidad	30
2.1.5.	Métodos de Evaluación Estructural.....	33
2.2.	Curvatura de un Elemento	33
2.2.1.	Longitud Plástica y Curvatura	34
2.2.2.	Generación del Diagrama Momento- Curvatura	35
2.2.3.	Generación del Diagrama de Interacción	36
2.3.	Diseño Sismorresistente.....	37
2.3.1.	Filosofía del Diseño.....	38
2.3.2.	Principio de Igual Desplazamiento.....	38
2.3.3.	Diseño Sísmico Convencional.....	38
2.3.4.	Diseño Basado en Desempeño.....	38
2.4.	Conceptos Básicos de Sismología	44
2.4.1.	Generación de Movimientos Sísmicos	44
2.4.2.	Clasificación de Sismos.....	45
2.4.3.	Riesgo y Vulnerabilidad Sísmica.....	45
2.5.	Dinámica Estructural: Análisis Tiempo- Historia.....	46
2.5.1.	Tratamiento de Registro Sísmico.....	48
2.5.2.	Modelos de Histéresis.....	54
3.	MARCO LEGAL	59
	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	60
	1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	60
1.1.	Tipo de Investigación.....	60
1.2.	Nivel de Investigación	61

1.3. Enfoque de Investigación.....	61
2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
2.1. Variables.....	61
2.2. Operacionalización de Variables.....	62
3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
3.1. Realización del Modelo Lineal.....	63
3.2. Recolección de información en Referencias.....	65
3.3. Tratamiento de la Estructura.....	65
3.4. Tratamiento de los Registros Sísmicos.....	68
3.5. Procesamiento del Análisis Tiempo- Historia.....	70
3.6. Recopilación de Información Obtenida.....	71
4. MATERIAL DE ESTUDIO.....	71
4.1. Población de Estudio.....	71
4.2. Muestra de Estudio.....	71
5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	72
6. VALIDACIÓN DEL MODELO.....	72
6.1. Cálculo Manual.....	74
6.2. Modelamiento en Software.....	82
6.3. Comparación de Resultados.....	86
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	90
1. ESTRUCTURACIÓN.....	90
1.1. Parámetros de Peligro Sísmico.....	90
1.2. Predimensionamiento.....	92
1.2.1. Predimensionamiento de Columnas.....	92
1.2.2. Predimensionamiento de Vigas.....	102
1.2.3. Predimensionamiento de Losa.....	105
1.2.4. Representación de Predimensionamiento.....	106
1.3. Análisis Modal Espectral.....	106

1.3.1.	Modelo de la Estructura.....	106
1.3.2.	Análisis del Procesamiento del Modelo	111
1.4.	Diseño Estructural.....	121
1.4.1.	Elementos Estructurales	121
1.4.2.	Modelo de la Estructura.....	122
1.4.3.	Análisis del Procesamiento del Modelo	124
1.4.4.	Diseño de Acero.....	133
2.	ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO HISTORIA	144
2.1.	Tratamiento de la Estructura	144
2.1.1.	Reducción de Rigideces.....	144
2.1.2.	Diagrama de Interacción.....	150
2.1.3.	Rótulas Plásticas	168
2.2.	Tratamiento de Registros Sísmicos.....	258
2.2.1.	Espectro Objetivo	258
2.2.2.	Registros Compatibles.....	259
2.2.3.	Procesamiento de Registros Sísmicos	260
2.3.	Análisis Tiempo- Historia.....	275
2.3.1.	Definición de la función Tiempo- Historia.....	275
2.3.2.	Definición de la Carga Sísmica	276
2.3.3.	Definición de la no Linealidad Geométrica o Análisis de Segundo Orden 278	
2.3.4.	Definición de la no Linealidad de Materiales.....	282
2.4.	Análisis de Resultados	284
2.4.1.	Resultados de Método de Rótulas Plásticas.....	284
2.4.2.	Resultados de Método de Fibras.....	290
2.4.3.	Comparación de Desplazamientos Laterales Máximos obtenidas por Método de Coeficientes y Método de Fibras	298
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	300
	CONCLUSIONES.....	300
	RECOMENDACIONES.....	303
	REFERENCIAS	304
	ANEXOS	307

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Respuesta elástica con comportamiento lineal (Lafuente, Grases, & Genatios , 2014).....	28
Figura 2 Respuesta inelástica con comportamiento no lineal (Lafuente, Grases, & Genatios , 2014).....	29
Figura 3 Diagrama Fuerza- Deformación siguiendo la Ley de Hooke (Urone & Hinrichs, 2013).....	30
Figura 4 Efecto de la no linealidad geométrica en un sistema con deformación (Vielma & Cando, 2014)	32
Figura 5 Curvatura en elemento estructural (USACH, 2018).....	34
Figura 6 Diagrama de Momentos y Longitudes Plásticas (Aguiar, Mora, & Rodríguez, 2015).....	34
Figura 7 Diagrama Momento- Curvatura del concreto armado (Vortize, s.f.)	36
Figura 8 Diagrama de Interacción (Talavera Flores, 2023).....	37
Figura 9 Captura del modelo de la estructura con representación de las rótulas plásticas (ETABS 20.0.0, 2023)	41
Figura 10 Captura de representación de fibras en sección de columna definida por el software (ETABS 20.0.0, 2023)	43
Figura 11 Placas Tectónicas (USGS, 2012).....	45
Figura 12 Mapa de Amenaza Sísmica Global (GSHAP, 1999).....	46
Figura 13 Gráfico Tiempo- Aceleración, considerando una aceleración constante (Chopra, 2014).....	47
Figura 14 Gráfico Tiempo- Aceleración, considerando una aceleración lineal (Chopra, 2014).....	47
Figura 15 Respuesta sísmica de estructuras de períodos cortos (muy rígidas) y de períodos largos (muy flexibles) (Lafuente, Grases, & Genatios , 2014).....	48
Figura 16 Composición de curva de Histéresis (Purca, 2012)	55
Figura 17 Modelo Bilineal (Purca, 2012).....	57
Figura 18 Modelo Trilineal (Purca, 2012).....	58
Figura 19 Modelo de Rosgood (Purca, 2012)	58
Figura 20 Esquema del oscilador discográfico para Validación (Talavera Flores, 2023) ..	73
Figura 21 Representación de aceleración promedio para el método de Newmark (Chopra, 2014).....	73

Figura 22 Modelamiento para validación (ETABS, 2023).....	82
Figura 23 Definición de registro sísmico para Modelo de Validación (ETABS, 2023)	83
Figura 24 Definición de caso de carga para Análisis Tiempo- Historia (ETABS, 2023) ...	84
Figura 25 Método de Iteraciones para Análisis del Modelo de Validación (ETABS, 2023)	84
Figura 26 Gráfico Tiempo- Desplazamiento obtenido con el Modelo para Validación (ETABS, 2023)	87
Figura 27 Gráfico Tiempo- Desplazamiento obtenido manualmente para Validación (Talavera Flores, 2023).....	87
Figura 28 Gráfico Tiempo- Velocidad obtenido con el Modelo para Validación (ETABS, 2023).....	88
Figura 29 Gráfico Tiempo- Velocidad obtenido manualmente para Validación (Talavera Flores, 2023).....	88
Figura 30 Gráfico Tiempo- Aceleración obtenido con el Modelo para Validación (ETABS, 2023).....	89
Figura 31 Gráfico Tiempo- Aceleración obtenido manualmente para Validación (Talavera Flores, 2023).....	89
Figura 32 Mapa de zonificación de Perú (Figura N°1- NTE 030)	90
Figura 33 Distribución de elementos estructurales para la edificación (Talavera Flores, 2023).....	92
Figura 34 Imagen referencial para predimensionamiento de refuerzo longitudinal de columnas (Talavera Flores, 2023)	98
Figura 35 Sección Típica de Losa Aligerada (Talavera Flores, 2023)	106
Figura 36 Imagen Referencial de Planta Típica (Se pueden encontrar planos por cada nivel en la sección de Anexos de la presente investigación) (Talavera Flores, 2023).....	106
Figura 37 Definición de propiedades mecánicas del concreto (ETABS 20.0.0, 2023)	107
Figura 38 Definición de propiedades mecánicas del acero (ETABS 20.0.0, 2023)	108
Figura 39 Definición de tipos de carga (ETABS 20.0.0, 2023).....	109
Figura 40 Espectro de Respuesta según la NTE 030 (ETABS 20.0.0, 2023).....	109
Figura 41 Definición de combinaciones (ETABS 20.0.0, 2023).....	110
Figura 42 Planta de referencia- Nivel 1 (ETABS 20.0.0, 2023).....	110
Figura 43 Vista 3D del modelo con Predimensionamiento (ETABS 20.0.0, 2023).....	111

Figura 44 Imagen referencial de las alturas tributarias en pórticos (Talavera Flores, 2023)	112
Figura 45 Corrección en Factor de Escala -Dirección X (ETABS 20.0.0, 2023)	115
Figura 46 Corrección en Factor de Escala -Dirección Y (ETABS 20.0.0, 2023)	115
Figura 47 Gráfico Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)	117
Figura 48 Gráfico Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)	118
Figura 49 Gráfico de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en X (ETABS 20.0.0, 2023)	119
Figura 50 Gráfico de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en Y (ETABS 20.0.0, 2023)	120
Figura 51 Imagen Referencial de Planta Típica (Se pueden encontrar planos por cada nivel en la sección de Anexos de la presente investigación) (Talavera Flores, 2023)	121
Figura 52 Planta de referencia- Nivel 1 (Talavera Flores, 2023)	123
Figura 53 Vista 3D del modelo de Diseño (Talavera Flores, 2023)	123
Figura 54 Corrección en Factor de Escala -Dirección X (ETABS 20.0.0, 2023)	126
Figura 55 Corrección en Factor de Escala -Dirección Y (ETABS 20.0.0, 2023)	127
Figura 56 Gráfico de Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)	129
Figura 57 Gráfico de Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)	130
Figura 58 Gráfico Representación de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en X (ETABS 20.0.0, 2023)	130
Figura 59 Gráfico de Representación de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en Y (ETABS 20.0.0, 2023)	132
Figura 60 Envoltente de Combinaciones de Cargas (ETABS 20.0.0, 2023)	133
Figura 61 Disposición de acero en Pórticos de ejes A y D (ETABS 20.0.0, 2023)	133
Figura 62 Disposición de acero en Pórticos de ejes B y C (ETABS 20.0.0, 2023)	134
Figura 63 Disposición de acero en Pórticos de ejes 1 y 4 (ETABS 20.0.0, 2023)	135
Figura 64 Disposición de acero en Pórticos de ejes 2 y 3	135
Figura 65 Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-1(50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)	151

Figura 66 Diagrama de Interacción de columna C-1 (50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)	154
Figura 67 Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-2(50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)	155
Figura 68 Diagrama de Interacción de columna C-2 (50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)	157
Figura 69 Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)	158
Figura 70 Diagrama de Interacción de columna C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)	161
Figura 71 Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)	162
Figura 72 Diagrama de Interacción de columna C-4 (50.00x7000) (Talavera Flores, 2023)	164
Figura 73 Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-5(50.00x60.00) (Talavera Flores, 2023)	165
Figura 74 Diagrama de Interacción de columna C-5 (50.00x6000) (Talavera Flores, 2023)	168
Figura 75 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-1 (50.00x90.00) para P=156.35 Tnf (Talavera Flores, 2023)	171
Figura 76 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-1 (50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)	172
Figura 77 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-2 (50.00x80.00) para P=94.50 Tnf (Talavera Flores, 2023)	176
Figura 78 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-2 (50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)	177
Figura 79 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-3 (60.00x75.00) para P=289.90 Tnf (Talavera Flores, 2023)	181
Figura 80 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)	182
Figura 81 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-4 (50.00x70.00) para P=136.30 Tnf (Talavera Flores, 2023)	185

Figura 82 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023).....	186
Figura 83 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-5 (50.00x60.00) para $P=86.58$ Tnf (Talavera Flores, 2023)	189
Figura 84 Diagrama Momento- Curvatura de columna C-5 (50.00x60.00) (Talavera Flores, 2023).....	190
Figura 85 Diagrama Momento- Curvatura de columna V-1 (60.00x50.00) (Talavera Flores, 2023).....	196
Figura 86 Diagrama Momento- Curvatura de columna V-2 (50.00x50.00) (Talavera Flores, 2023).....	201
Figura 87 Diagrama Momento- Curvatura de columna V-3 (60.00x70.00) (Talavera Flores, 2023).....	205
Figura 88 Diagrama Momento- Curvatura de columna V-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023).....	210
Figura 89 Diagrama Momento- Rotación de V-1 (60.00x50.00) (Talavera Flores, 2023).....	226
Figura 90 Diagrama Momento- Curvatura de V-1 (60.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)	227
Figura 91 Diagrama Momento- Rotación de V-2 (50.00x50.00) (Talavera Flores, 2023).....	230
Figura 92 Diagrama Momento- Curvatura de V-2 (50.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)	230
Figura 93 Diagrama Momento- Rotación de V-3 (60.00x70.00) (Talavera Flores, 2023).....	233
Figura 94 Diagrama Momento- Curvatura de V-3 (60.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)	233
Figura 95 Diagrama Momento- Rotación de V-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023).....	236
Figura 96 Diagrama Momento- Curvatura de V-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)	236
Figura 97 Captura de pantalla de la ventana para asignación de rótulas plásticas en vigas (ETABS 20.0.0, 2023)	245
Figura 98 Captura de pantalla de la ventana de propiedades de las rótulas plásticas en vigas (ETABS 20.0.0, 2023).....	246
Figura 99 Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-1 (60.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023)	246

Figura 100 Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-1 (60.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	247
Figura 101 Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	248
Figura 102 Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-2 (50.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	248
Figura 103 Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-2 (50.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	249
Figura 104 Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	250
Figura 105 Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-3 (60.00 x 57.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	250
Figura 106 Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-3 (60.00 x 70.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	250
Figura 107 Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	252
Figura 108 Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-4 (50.00 x 57.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	252
Figura 109 Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-4 (50.00 x 70.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	252
Figura 110 Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	254
Figura 111 Captura de pantalla de la ventana para asignación de rótulas plásticas en columnas (ETABS 20.0.0, 2023).....	255
Figura 112 Captura de pantalla de la ventana de propiedades de las rótulas plásticas en columnas (ETABS 20.0.0, 2023).....	255
Figura 113 Diagrama Momento- Rotación y Criterios de Aceptación de columnas (ETABS 20.0.0, 2023).....	256
Figura 114 Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de columnas (ETABS 20.0.0, 2023)	257
Figura 115 Captura de las propiedades de rótulas plásticas por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	257

Figura 116 Captura de pantalla de la ventana para asignación de rótulas plásticas en columnas por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	258
Figura 117 Espectro Objetivo (R=1) (Talavera Flores, 2023).....	258
Figura 118 Captura del registro original del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023).....	260
Figura 119 Captura del espectro de Fourier del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023).....	260
Figura 120 Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)	260
Figura 121 Captura del registro original del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	261
Figura 122 Captura del espectro de Fourier del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	261
Figura 123 Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	262
Figura 124 Captura del registro original del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023).....	263
Figura 125 Captura del espectro de Fourier del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023).....	263
Figura 126 Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)	263
Figura 127 Captura del registro original del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	264
Figura 128 Captura del espectro de Fourier del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	264
Figura 129 Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	265
Figura 130 Captura del registro original del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023).....	265
Figura 131 Captura del espectro de Fourier del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023).....	266
Figura 132 Intensidad de Arias - Tiempo del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023).....	266

Figura 133 Captura del registro original del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	267
Figura 134 Captura del espectro de Fourier del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	267
Figura 135 Intensidad de Arias - Tiempo del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023).....	267
Figura 136 Espectro de Respuesta del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW (Seismo Match, 2023)	269
Figura 137 Espectro de Respuesta del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua- Componente EW (Seismo Match, 2023)	269
Figura 138 Espectro de Respuesta del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Match, 2023).....	270
Figura 139 Match de aceleraciones de los eventos sísmicos- Componente EW (Seismo Match, 2023).....	270
Figura 140 Espectros de respuesta originales de los eventos sísmicos- Componente EW (Seismo Match, 2023)	270
Figura 141 Match de los Espectros de respuesta originales de los eventos sísmicos y el Espectro objetivo- Componente EW (Seismo Match, 2023)	271
Figura 142 Espectro de respuesta del match de los registros sísmicos y el espectro objetivo-Componente EW (Seismo Match, 2023)	271
Figura 143 Espectro de Respuesta del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Match, 2023)	272
Figura 144 Espectro de Respuesta del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua- Componente NS (Seismo Match, 2023)	272
Figura 145 Espectro de Respuesta del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Match, 2023).....	273
Figura 146 Match de aceleraciones de los eventos sísmicos- Componente NS (Seismo Match, 2023).....	273
Figura 147 Espectros de respuesta originales - Componente NS (Seismo Match, 2023)	274
Figura 148 Match de los Espectros de respuesta originales y el Espectro objetivo- Componente NS (Seismo Match, 2023).....	274
Figura 149 Espectro de respuesta del match de los registros sísmicos y el espectro objetivo-Componente NS (Seismo Match, 2023).....	275

Figura 150 Captura de pantalla de la ventana para asignación del registro sísmico- Componente E- W (ETABS 20.0.0, 2023)	275
Figura 151 Captura de pantalla de la ventana para asignación del registro sísmico- Componente N-S (ETABS 20.0.0, 2023)	276
Figura 152 Captura de pantalla de la ventana para asignación Carga Sísmica producida por la componente E-W del sismo (ETABS 20.0.0, 2023)	277
Figura 153 Captura de pantalla de la ventana para asignación Carga Sísmica producida por la componente N-S del sismo (ETABS 20.0.0, 2023)	277
Figura 154 Definición de la carga P- Delta (ETABS, 2023)	278
Figura 155 Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje vertical, Componente E- W (ETABS, 2023)	279
Figura 156 Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje horizontal, Componente E- W (ETABS, 2023)	279
Figura 157 Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje vertical, Componente N- S (ETABS, 2023)	280
Figura 158 Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje horizontal, Componente N- S (ETABS, 2023)	280
Figura 159 Captura de pantalla de la ventana para asignación de no linealidad en el Concreto (ETABS 20.0.0, 2023)	282
Figura 160 Captura de pantalla de la ventana para asignación de no linealidad en el Acero (ETABS 20.0.0, 2023)	283
Figura 161 Fuerzas cortantes- Tiempo para componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)	284
Figura 162 Fuerzas cortantes- Tiempo para componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)	284
Figura 163 Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)	285
Figura 164 Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)	286
Figura 165 Desplazamientos- Tiempo para componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)	286
Figura 166 Desplazamientos- Tiempo para componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)	287

Figura 167 Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023).....	289
Figura 168 Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023).....	289
Figura 169 Fuerzas cortantes- Tiempo- Componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	290
Figura 170 Fuerzas cortantes- Tiempo- Componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	291
Figura 171 Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	291
Figura 172 Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	292
Figura 173 Desplazamientos- Tiempo- Componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	292
Figura 174 Desplazamientos- Tiempo- Componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	293
Figura 175 Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	295
Figura 176 Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	295
Figura 177 Rótula Plástica de Columna con método de fibras afectada por componente E- W (ETABS 20.0.0, 2023).....	297
Figura 178 Rótula Plástica de Columna con método de fibras afectada por componente N- S (ETABS 20.0.0, 2023).....	297
Figura 179 Gráfico Comparativo de Desplazamientos Laterales Máximos- Componente E- W (Talavera Flores, 2023).....	298
Figura 180 Gráfico Comparativo de Desplazamientos Laterales Máximos- Componente N- S (Talavera Flores, 2023).....	299

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de Estados de Daño y Niveles de Desempeño (SEAOC VISION 2000 Committee, 1995).....	22
Tabla 2 Nivel de Desempeño de Estructuras (ATC, 1996).....	24
Tabla 3 Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según las Normas FEMA 440 y ATC 40 (FEMA 440 y ATC 40).....	40
Tabla 4 Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según la Norma ASCE 41-17 (ASCE 41-17).....	40
Tabla 5 Expresiones empíricas para la longitud plástica (Velásquez Londoño, 2017).....	42
Tabla 6 Operacionalización de variable independiente (Talavera Flores, 2023).....	62
Tabla 7 Opecionalización de variable dependiente (Talavera Flores, 2023).....	63
Tabla 8 Cálculo de los parámetros cinemáticos incrementales (Talavera Flores, 2023)	78
Tabla 9 Cálculo de los parámetros cinemáticos resultantes del análisis (Talavera Flores, 2023).....	80
Tabla 10 Parámetros Cinemáticos obtenidos del Modelamiento para Validación (ETABS, 2023).....	85
Tabla 11 Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Esquineras por Nivel (Talavera Flores, 2023).....	93
Tabla 12 Secciones de Columnas Esquineras por Nivel (Talavera Flores, 2023).....	94
Tabla 13 Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Verticales por Nivel (Talavera Flores, 2023).....	94
Tabla 14 Secciones de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Verticales por Nivel (talavera Flores, 2023).....	95
Tabla 15 Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Horizontales por Nivel (Talavera Flores, 2023).....	95
Tabla 16 Secciones de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Horizontales por Nivel (Talavera Flores, 2023).....	96
Tabla 17 Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Centrales por Nivel (Talavera Flores, 2023).....	97
Tabla 18 Secciones de Columnas Centrales por Nivel (Talavera Flores, 2023).....	97
Tabla 19 Resumen de Secciones de Columnas según Predimensionamiento (Talavera Flores, 2023).....	98

Tabla 20 Cálculo de Acero Mínimo para columna C-1 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023).....	99
Tabla 21 Comprobación de acero para columna C-1 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023).....	99
Tabla 22 Cálculo de Acero Mínimo para columna C-2 (45.00 x 45.00) (Talavera Flores, 2023).....	99
Tabla 23 Comprobación de acero para columna C-2 (45.00 x 45.00) (Talavera Flores, 2023).....	100
Tabla 24 Cálculo de Acero Mínimo para columna C-3 (40.00 x 40.00) (Talavera Flores, 2023).....	100
Tabla 25 Comprobación de acero para columna C-3 (40.00 x 40.00) (Talavera Flores, 2023).....	100
Tabla 26 Cálculo de Acero Mínimo para columna C-4 (35.00 x 35.00) (Talavera Flores, 2023).....	101
Tabla 27 Comprobación de acero para columna C-4 (35.00 x 35.00).....	101
Tabla 28 Cálculo de Acero Mínimo para columna C-5 (30.00 x 30.00) (Talavera Flores, 2023).....	101
Tabla 29 Comprobación de acero para columna C-5 (30.00 x 30.00) (Talavera Flores, 2023).....	102
Tabla 30 Cálculo de Acero Mínimo para columna C-6 (25.00 x 25.00) (Talavera Flores, 2023).....	102
Tabla 31 Comprobación de acero para columna C-6 (25.00 x 25.00) (Talavera Flores, 2023).....	102
Tabla 32 Predimensionamiento de Vigas del primer y segundo nivel (Talavera Flores, 2023).....	103
Tabla 33 Predimensionamiento de Vigas del tercer nivel (Talavera Flores, 2023).....	103
Tabla 34 Predimensionamiento de Vigas del cuarto nivel (Talavera Flores, 2023).....	104
Tabla 35 Predimensionamiento de Vigas del quinto nivel (Talavera Flores, 2023).....	104
Tabla 36 Predimensionamiento de Vigas del sexto nivel (Talavera Flores, 2023).....	105
Tabla 37 Resumen de Secciones de Columnas (Talavera Flores, 2023).....	105
Tabla 38 Fuerzas verticales en la estructura- Predimensionamiento (ETABS 20.0.0, 2023).....	111

Tabla 39 Cálculo de la mitad del peso a disminuir de las columnas del Nivel 1 (Talavera Flores, 2023).....	112
Tabla 40 Ratios de Participación de Masas (ETABS 20.0.0, 2023)	113
Tabla 41 Periodos Fundamentales de la estructura y Aceleraciones Espectrales (Talavera Flores, 2023).....	113
Tabla 42 Coeficiente de Corrección de Cortantes Basales (Talavera Flores, 2023).....	114
Tabla 43 Cortantes Basales con la Corrección en las Cargas Sísmicas (ETABS 20.0.0, 2023).....	116
Tabla 44 Comprobación de la Corrección de Cortantes Basales	116
Tabla 45 Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)	117
Tabla 46 Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)	117
Tabla 47 Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección X (Talavera Flores, 2023)....	119
Tabla 48 Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)	120
Tabla 49 Resumen de Secciones de Columnas según Diseño (Talavera Flores, 2023)....	121
Tabla 50 Resumen de Secciones de Vigas según Diseño (Talavera Flores, 2023).....	122
Tabla 51 Fuerzas verticales en la estructura- Diseño (ETABS 20.0.0, 2023).....	124
Tabla 52 Cálculo de la mitad del peso a disminuir de las columnas del Nivel 1 (Talavera Flores, 2023).....	124
Tabla 53 Ratios de Participación de Masas (ETABS 20.0.0, 2023)	125
Tabla 54 Periodos Fundamentales de la estructura y Aceleraciones Espectrales (Talavera Flores, 2023).....	125
Tabla 55 Coeficiente de Corrección de Cortantes Basales (Talavera Flores, 2023).....	126
Tabla 56 Cortantes Basales con la Corrección en las Cargas Sísmicas (ETABS 20.0.0, 2023).....	128
Tabla 57 Comprobación de la Corrección de Cortantes Basales (Talavera Flores, 2023)	128
Tabla 58 Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)	129
Tabla 59 Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)	129
Tabla 60 Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección X (Talavera Flores, 2023)....	131
Tabla 61 Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)	132
Tabla 62 Cálculo de Acero para C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023).....	136
Tabla 63 Disposición de Acero para C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023)	136
Tabla 64 Cálculo de Acero para C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023).....	136
Tabla 65 Disposición de Acero para C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023)	137

Tabla 66 Cálculo de Acero para C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023).....	137
Tabla 67 Disposición de Acero para C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023)	137
Tabla 68 Cálculo de Acero para C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023).....	138
Tabla 69 Disposición de Acero para C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	138
Tabla 70 Cálculo de Acero para C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023).....	138
Tabla 71 Disposición de Acero para C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)	138
Tabla 72 Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-1 (60.00x50.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	139
Tabla 73 Características de la viga V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023).....	139
Tabla 74 Acero de la viga- Top V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	139
Tabla 75 Acero de la viga- Bottom V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	140
Tabla 76 Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-2 (50.00x50.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	140
Tabla 77 Características de la viga V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023).....	141
Tabla 78 Acero de la viga- Top V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	141
Tabla 79 Acero de la viga- Bottom V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	141
Tabla 80 Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-3 (60.00x70.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	142
Tabla 81 Características de la viga V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023).....	142
Tabla 82 Acero de la viga- Top V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	142
Tabla 83 Acero de la viga- Bottom V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	143
Tabla 84 Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-4 (50.00x70.00) (ETABS 20.0.0, 2023).....	143
Tabla 85 Acero de la viga- Top V-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	143
Tabla 86 Acero de la viga- BottomV-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	144
Tabla 87 Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según las Normas FEMA 440 y ATC 40 (Normas FEMA 440 y ATC 40)	145
Tabla 88 Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según la Norma ASCE 41-17 (Norma ASCE 41-17).....	145
Tabla 89 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 1 (Talavera Flores, 2023).....	145
Tabla 90 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 1 (Talavera Flores, 2023).....	146

Tabla 91 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 2 (Talavera Flores, 2023).....	146
Tabla 92 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 2 (Talavera Flores, 2023).....	146
Tabla 93 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 3 (Talavera Flores, 2023).....	147
Tabla 94 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 3 (Talavera Flores, 2023).....	147
Tabla 95 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 4 (Talavera Flores, 2023).....	147
Tabla 96 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 4 (Talavera Flores, 2023).....	148
Tabla 97 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 5 (Talavera Flores, 2023).....	148
Tabla 98 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 5 (Talavera Flores, 2023).....	148
Tabla 99 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 6 (Talavera Flores, 2023).....	149
Tabla 100 Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 6 (Talavera Flores, 2023).....	149
Tabla 101 Reducción de Rigidez en Vigas (ETABS 20.0.0, 2023)	150
Tabla 102 Propiedades Geométricas de C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023).....	151
Tabla 103 Áreas de acero por fila C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023)	151
Tabla 104 Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023)	153
Tabla 105 Propiedades Geométricas de C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023).....	154
Tabla 106 Áreas de acero por fila C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023)	155
Tabla 107 Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023)	156
Tabla 108 Propiedades Geométricas de C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023).....	158
Tabla 109 Áreas de acero por fila C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023)	158
Tabla 110 Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023)	159

Tabla 111 Propiedades Geométricas de C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	161
Tabla 112 Áreas de acero por fila C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	162
Tabla 113 Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	163
Tabla 114 Propiedades Geométricas de C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)	165
Tabla 115 Áreas de acero por fila C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)	165
Tabla 116 Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)	166
Tabla 117 Análisis de C-1 (90.00 x 50.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)	169
Tabla 118 Análisis de C-1 (90.00 x 50.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023).....	170
Tabla 119 Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-1 (50.00x90.00) para P=156.35 Tnf (Talavera Flores, 2023).....	171
Tabla 120 Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-1 (50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)	173
Tabla 121 Análisis de C-2 (80.00 x 50.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)	174
Tabla 122 Análisis de C-2 (80.00 x 50.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023).....	175
Tabla 123 Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-2 (50.00x80.00) para P=94.50 Tnf (Talavera Flores, 2023).....	175
Tabla 124 Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-2 (50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)	178
Tabla 125 Análisis de C-3 (60.00 x 75.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)	179
Tabla 126 Análisis de C-3 (60.00 x 75.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023).....	180
Tabla 127 Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-3 (60.00x75.00) para P=289.90 Tnf (Talavera Flores, 2023).....	180
Tabla 128 Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)	182

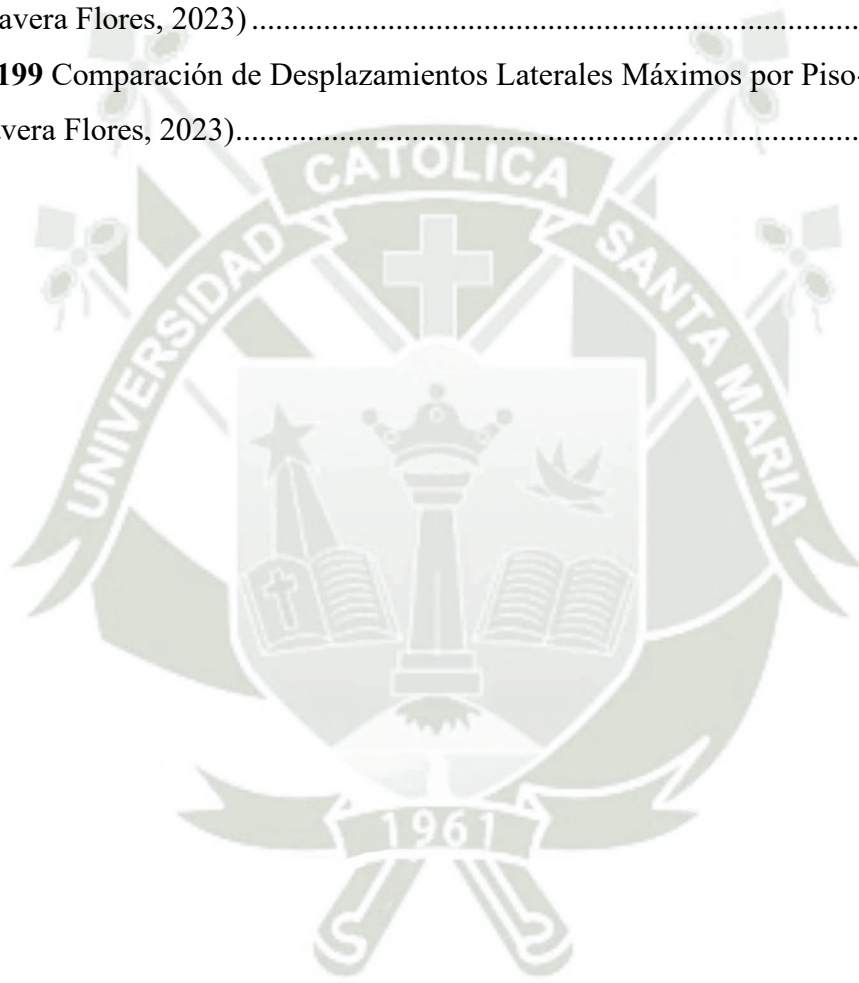
Tabla 129 Análisis de C-4 (50.00 x 70.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)	183
Tabla 130 Análisis de C-4 (50.00 x 70.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023).....	184
Tabla 131 Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-4 para P=136.30 Tnf (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)	185
Tabla 132 Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)	186
Tabla 133 Análisis de C-5 (50.00 x 60.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)	187
Tabla 134 Análisis de C-5 (50.00 x 60.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023).....	188
Tabla 135 Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-5 (50.00x60.00) para P=86.58 Tnf (Talavera Flores, 2023).....	189
Tabla 136 Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-5 (50.00x60.00) (Talavera Flores, 2023)	190
Tabla 137 Parámetros de modelado y criterios de aceptación numéricos para procedimientos no lineales: vigas de concreto armado (ASCE 41-17, Pág 197).....	211
Tabla 138 Propiedades constantes de las vigas para rótulas plásticas (Talavera Flores, 2023).....	212
Tabla 139 Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023).....	213
Tabla 140 Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023).....	213
Tabla 141 Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023).....	214
Tabla 142 Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023).....	214
Tabla 143 Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023).....	215
Tabla 144 Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023).....	215

Tabla 145 Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023).....	216
Tabla 146 Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023).....	216
Tabla 147 Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023).....	217
Tabla 148 Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023).....	217
Tabla 149 Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023).....	217
Tabla 150 Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023).....	218
Tabla 151 Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023).....	218
Tabla 152 Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023).....	219
Tabla 153 Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023).....	219
Tabla 154 Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023).....	220
Tabla 155 Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023).....	220
Tabla 156 Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023).....	221
Tabla 157 Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023).....	222
Tabla 158 Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023).....	222
Tabla 159 Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023).....	223
Tabla 160 Parámetros de Modelo para cada tipo de viga (Talavera Flores, 2023).....	223
Tabla 161 Criterios de Aceptación para cada tipo de viga (Talavera Flores, 2023).....	224

Tabla 162 Rotación, Curvatura y Momentos de V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023).....	226
Tabla 163 Rotación, Curvatura y Momentos de V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023).....	229
Tabla 164 Rotación, Curvatura y Momentos de V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023).....	232
Tabla 165 Rotación, Curvatura y Momentos de V-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023).....	235
Tabla 166 Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)	237
Tabla 167 Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)	237
Tabla 168 Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)	237
Tabla 169 Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)	238
Tabla 170 Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)	238
Tabla 171 Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)	238
Tabla 172 Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)	239
Tabla 173 Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)	239
Tabla 174 Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)	240
Tabla 175 Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)	240
Tabla 176 Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)	240
Tabla 177 Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023).....	241

Tabla 178 Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)	241
Tabla 179 Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)	242
Tabla 180 Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)	242
Tabla 181 Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)	242
Tabla 182 Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)	243
Tabla 183 Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)	243
Tabla 184 Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)	244
Tabla 185 Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023)	244
Tabla 186 Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023)	245
Tabla 187 Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	247
Tabla 188 Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)	249
Tabla 189 Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	251
Tabla 190 Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)	253
Tabla 191 Cuadro resumen de los eventos sísmicos elegidos para el análisis (Talavera Flores, 2023)	259
Tabla 192 Factores de Pandeo, Componente E- W (ETABS, 2023)	281
Tabla 193 Factores de Pandeo, Componente N- S (ETABS, 2023)	282
Tabla 194 Máxima derivas por piso causadas por la Componente E-W de la carga sísmica por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)	288

Tabla 195 Máxima derivas por piso causadas por la Componente N-S de la carga sísmica por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023).....	288
Tabla 196 Máxima derivas por piso causadas por la Componente E-W de la carga sísmica por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	294
Tabla 197 Máxima derivas por piso causadas por la Componente N-S de la carga sísmica por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023).....	294
Tabla 198 Comparación de Desplazamientos Laterales Máximos por Piso- Componente E-W (Talavera Flores, 2023).....	298
Tabla 199 Comparación de Desplazamientos Laterales Máximos por Piso- Componente N-S (Talavera Flores, 2023).....	299



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la ingeniería sismorresistente y los diferentes métodos desarrollados en ella son clave para una planificación, diseño y ejecución eficaz en proyectos de infraestructura, el avance del estudio de esta rama permite el mejor entendimiento del comportamiento de los elementos que conforman una estructura ante los diferentes estímulos que sufra, teniendo como principal objetivo darle la capacidad de resistencia en caso de eventos sísmicos.

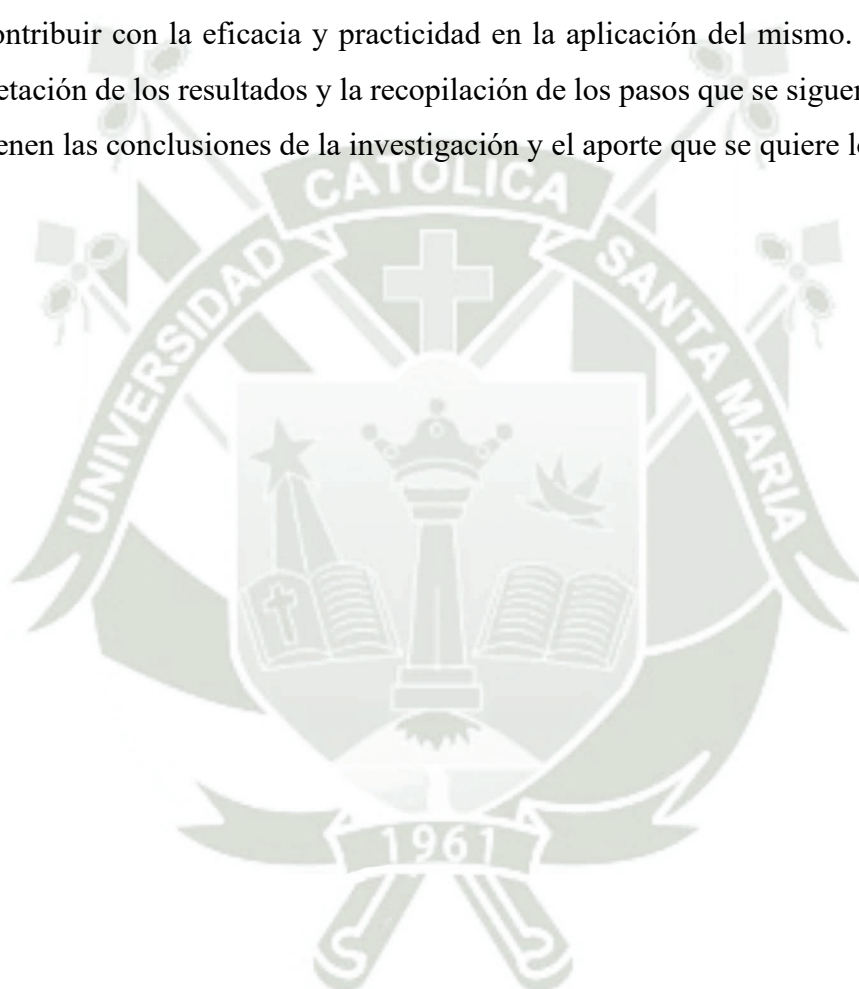
Por lo cual, como se desarrolla en el Capítulo I de “Aspectos Generales”, el trabajo presentado busca contribuir al desarrollo de conocimientos y metodologías que puedan ser aplicados al análisis de estructuras aporticadas de concreto armado considerando la no linealidad de los materiales y la variabilidad de las acciones sísmicas. Además, se propone la aplicación de estas metodologías en el diseño y optimización de estructuras aporticadas de concreto armado, con el objetivo final de mejorar su nivel de seguridad y desempeño ante situaciones de carga extrema.

En el Capítulo II “Fundamentos Teóricos” se realizó la revisión y recopilación de antecedentes e investigaciones previas sobre el análisis estructural no lineal y específicamente con el método de Tiempo- Historia, las cuales nos brindan la información y conceptos necesarios para poder realizar el presente trabajo, tomando como punto de partida lo que se abarca dentro del estudio de este tema y el aporte que se puede realizar dentro del campo de investigación.

En el Capítulo III “Metodología de la Investigación” se describen el tipo, nivel y diseño de la investigación justificando la elección de los mismos aspectos teniendo en cuenta que se debe hacer un estudio detallado profundizando teóricamente en el procedimiento del análisis Tiempo- Historia, para lograr esta representación; el desarrollo de la metodología se realiza sobre un modelo referencial con sistema estructural aporticado de concreto armado siendo este el enfoque de la investigación; con su procesamiento se obtienen los resultados de la respuesta sísmica de la misma y a su vez, se obtiene la metodología correcta para la aplicación de este análisis.

En el Capítulo IV “Resultados y Discusión”; se estudia y realiza el método de análisis Tiempo- Historia y los procedimientos que conllevan su correcta aplicación para la evaluación de la respuesta sísmica sometiendo a la estructura a cargas sísmicas obtenidas de registros reales, al no poder predecir el comportamiento de los elementos, es importante

evaluarlos en condiciones de riesgo para garantizar su resistencia y la seguridad que brindan a los usuarios de las edificaciones diseñadas. Para la correcta utilización del análisis Tiempo – Historia es necesario tener claros conceptos previos de no linealidad en la geometría de los elementos estructurales y la no linealidad de sus materiales, por lo cual se revisa tanto el tratamiento previo de la estructura, como la obtención y tratamiento de los registros sísmicos para poder ser aplicados en el modelo de la estructura, también se incluye el análisis del paso a paso necesario para el método Tiempo- Historia y la sistematización del procedimiento para contribuir con la eficacia y practicidad en la aplicación del mismo. Con el análisis e interpretación de los resultados y la recopilación de los pasos que se siguen para obtenerlos, se obtienen las conclusiones de la investigación y el aporte que se quiere lograr con esta.



CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Determinación del Problema

En la actualidad, la reducción de la vulnerabilidad en las estructuras es esencial en la filosofía para su diseño sismorresistente, por lo que las estrategias para esta se enfocan no solo en hacer edificaciones seguras para preservar vidas, si no que buscan reducir los costos que se generan a partir de los daños que puedan sufrir estas construcciones después de un sismo.

Aplicando estas consideraciones, aún pueden esperarse daños tanto en elementos estructurales, como en no estructurales, ya que para el diseño de edificaciones se tiene como base los parámetros establecidos en las Normas de Diseño Sismorresistente de cada país; las cuales toman los movimientos sísmicos según su probabilidad de ocurrencia en la vida funcional de la edificación. Por ejemplo, en la NTE 030, se tiene como principios que la estructura no debería de colapsar, que debería de soportar sismos moderados y que, en caso de un sismo severo, las edificaciones esenciales deberían permanecer operativas; sin embargo, no se definen a los sismos severos y moderados. “Durante la vida útil de una edificación, la probabilidad de que se presente un sismo severo es considerablemente menor que la probabilidad de que lo haga un sismo moderado, sin embargo, las demandas sísmicas de un evento severo sobre las edificaciones son significativamente mayores que las de un evento moderado. Debido a esta diferencia en probabilidades y demandas y al estado actual de la ingeniería sismorresistente en el mundo, la norma reconoce que no es posible mantener las edificaciones sin daño en todos los sismos” (Muñoz Peláez, 2020). Por lo cual, la demanda con la que se realiza el diseño, basada en el sismo propuesto por la norma, puede ser errática con la necesidad de la estructura si se presenta un sismo real de características diferentes.

A pesar de que en las normas de diseño se especifica que, si hay un sismo importante, el comportamiento de la estructura entrará al rango no lineal, se recomienda el uso del análisis modal espectral, que es aplicable solo para el comportamiento lineal de la estructura. Por esta razón, se aplica el factor R como reducción en el espectro de diseño, para así considerar implícitamente el comportamiento no lineal; está es una forma simplificada que, por practicidad, se usa para cálculos; sin embargo, no describe de forma precisa el comportamiento real de la estructura, por lo que se implementa el análisis no lineal como un

método de comprobación de diseño, especialmente cuando se trata de edificaciones esenciales.

“Un análisis no lineal es aquel que considera el comportamiento tenso-deformacional de los materiales y la no linealidad geométrica, descartando de manera directa el principio de superposición” (Maldonado Tapia, 2012). El análisis lineal obedece la ley de Hooke, lo que significa que las deformaciones son proporcionales a las fuerzas aplicadas a los elementos estructurales; sin embargo, en la realidad, cuando la edificación es sometida a un sismo muy intenso, el comportamiento de estos elementos varía de acuerdo con los modos de vibración de la estructura, que a su vez depende del tipo de movimiento sísmico que la está afectando. La finalidad del análisis no lineal es describir este comportamiento real como respuesta de un determinado sismo, por lo cual, es necesario el registro de este y así poder llevar a cabo al análisis Tiempo-Historia.

Al tener como herramienta el análisis Tiempo- Historia para la evaluación del comportamiento de una estructura sometida a cargas sísmicas asignadas mediante registros sísmicos reales, es importante el entendimiento de los parámetros y procedimientos necesarios para la correcta utilización de este método, además de la organización de ellos para tener una metodología clara y detallada de lo que implica su aplicación y de esta forma tener la comprobación del diseño estructural de la edificación evaluada de manera satisfactoria.

1.2.Enunciado del Problema

Para tener claridad en el enunciado del problema para la presente investigación, se formularon las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los conocimientos previos que se deben comprender para la correcta aplicación del análisis no lineal Tiempo-Historia?
- ¿Cuáles son los procedimientos que deben emplearse para la correcta aplicación del análisis no lineal Tiempo-Historia?
- ¿Cuáles son los parámetros que deben analizarse previamente para la aplicación del análisis no lineal Tiempo- Historia?
- ¿Qué secuencia se debe de seguir en los procedimientos para la aplicación del análisis no lineal Tiempo- Historia?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Social

Es imposible predecir la magnitud o el momento en el que va a ocurrir un sismo, por lo que no puede evitarse su suceso, pero con el desarrollo de la ingeniería, se entendió que lo que si puede evitarse es el desastre que ocasiona para la sociedad, esto se logra disminuyendo la vulnerabilidad de los lugares afectados. En Perú, y en general, en la mayoría de países de Latinoamérica son muchos los factores que aumentan la vulnerabilidad de las localidades que los conforman; como son la sobrepoblación en algunas ciudades importantes como la capital de cada país y la falta de viviendas para estos sectores de la población, la falta de planificación en estrategias de reacción a un sismo de gran magnitud; las alternativas de solución son, en su mayoría, de reconstrucción o reparación de las edificaciones dañadas, en lugar de tener alternativas de prevención ante el posible colapso o daños significativos en ellas, o el poco conocimiento individual o institucional de lo importante que es la aplicación de herramientas que ayuden a la prevención de desastres.

“La amenaza es un fenómeno que tiene cierta probabilidad de ocurrencia, que puede ser evaluada. En cambio, la vulnerabilidad la genera el hombre, en su actividad. El riesgo depende no sólo de la amenaza natural, sino también de lo vulnerable que sean las sociedades e infraestructuras que consiga por su paso el fenómeno natural: puertos, viviendas, represas, edificios, escuelas, plantas industriales.” (Lafuente, Grases, & Genatios , 2014).

Sin embargo, en los países con un mayor desarrollo social y económico, se usan las herramientas y procedimientos disponibles para tener una mejor seguridad en edificaciones, incluso se elaboran normativas para su correcto uso, en especial en países que debido a su ubicación y características geográficas tienen más vulnerabilidad a que ocurran eventos sísmicos de magnitud significativa que genere consecuencias importantes en las edificaciones diseñadas.

Para poder considerar metodologías como el análisis no lineal Tiempo-Historia en la planificación para mejorar la seguridad de infraestructura, es necesario que los futuros responsables del diseño estructural de edificaciones tengan conocimiento de los procedimientos que deben seguirse para este tipo de análisis, por lo que es importante, por la amplitud en el tema, la implementación de una herramienta que ayude a darle una secuencia a los procedimientos para su aplicación y de esta forma brinde un mejor entendimiento y mayor eficacia.

1.3.2. Justificación Económica

Hay una gran relación entre los desastres que ocurren en un país y su sostenibilidad, esto debido a las pérdidas materiales que impactan a la sociedad en el país afectado. Se necesita de un presupuesto importante para la reconstrucción de edificaciones o para su reparación, ya sea para las personas naturales propietarios de ellas o para el estado. Para evitar estas consecuencias, deberían de gestionarse los riesgos de que ocurra un desastre desde que se planea construir una edificación.

Otro punto que se debe tomar en cuenta es que cuando este tipo de desastres ocurren, el estado se enfoca en la pronta restauración o reconstrucción de las edificaciones importantes para que vuelvan a operar, pero en su mayoría, esto no disminuye su vulnerabilidad ante otro posible sismo.

Sin embargo, estos mismos desastres también pueden generar la posibilidad de un mejor estudio, con la oportunidad de mejorar el análisis empleado para el diseño estructural, mediante los registros sísmicos que pueden obtenerse, para luego ser empleados en metodologías como el análisis Tiempo-Historia.

Al existir estrategias como el análisis Tiempo-Historia para ser implementadas en el diseño de estructuras, debe de haber un mayor conocimiento y difusión de su funcionalidad, ya que, al ser empleado, se puede poner a prueba el diseño y hacer su verificación para conocer sus posibles fallas reales cuando se someta a la estructura a sismos similares a los utilizados para efectuar este análisis.

1.3.3. Justificación Académica

La formación para la carrera de Ingeniería Civil consta de un plan de estudios que se lleva a cabo en 5 años, en donde se imparten los conocimientos básicos para la futura práctica profesional; al haber un amplio campo de temas que deben tratarse en este plan de estudios, no se tocan a profundidad el uso de métodos que ayudan a un desempeño de la ingeniería más eficaz.

Por otro lado, el estudio de la ingeniería sismorresistente debe de ser permanente a lo largo del tiempo y estar en constante investigación, ya que, cada desastre que ocurre y genera daños, también puede representar una oportunidad de analizar las falencias que se tuvieron en la construcción de las edificaciones afectadas o en los planes de infraestructura de los lugares en donde se origina el sismo, así como recolección de datos que deja, por lo que

analizar estos registros sísmicos es fundamental para el aprendizaje y mejora en el diseño estructural futuro.

Al tomar la oportunidad de hacer un análisis más completo, comprobando el diseño planteado desde un inicio con el uso del Análisis Tiempo-historia, nace la necesidad que este sea parte de la formación para el desarrollo profesional en la ingeniería sismorresistente; sin embargo, al tener muchas variables y posibilidades, se hace un tema complejo al inicio de su estudio, por lo que es importante tener herramientas para facilitar el aprendizaje en los futuros profesionales que se desenvolverán aplicando este método, asimismo, su aplicación brinda el mejor entendimiento del comportamiento que tendrá una estructura sometida a sismos, por lo que es importante recopilar la información acerca de este método y la organización de ésta, teniendo como finalidad la sistematización de los procedimientos que la conforman.

A su vez, se espera que, al existir una recopilación de esta información, se genere un impulso en el interés por la investigación en temas afines para lograr poco a poco un desarrollo en la ingeniería sismorresistente.

1.3.4. Justificación Tecnológica

La RAE define la tecnología como “el conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico”, lo que refleja la importancia de un estudio de la teoría y una organización de los conocimientos necesarios para el desarrollo de técnicas, de esta forma se tendrá una aplicación más eficaz de un determinado tema.

Por esta razón es relevante este tipo de investigación, en la que se tiene como finalidad el planteamiento de un manual para facilitar la aplicación del análisis Tiempo- Historia en estructuras de concreto armado, tratando de contribuir así a aumentar su practicidad y aprovechamiento, y, a su vez, fomentar el desarrollo de en este campo, ya que con nuevas investigaciones de las variantes que no se traten, puede haber un avance y optimización en su estudio.

1.3.5. Justificación Institucional

Al abordar el tema del Análisis Tiempo-Historia tratando de dejar un aporte para su aplicación, se quiere que su uso sea más frecuente en el diseño estructural de edificaciones, de esta forma puede incluirse cada vez más en proyectos.

En la actualidad, su uso es necesario, al menos en caso de edificaciones esenciales, por lo que ya está contemplado en normativas como la NTE 030 (aunque no se profundiza en el tema, más bien se mencionan los documentos importantes para su aplicación como son el ASCE 41, FEMA 440 o FEMA P58) y se puede considerar en la planificación de prevención de desastres ocasionados por eventos sísmicos, específicamente en la comprobación del diseño de edificaciones, reduciendo así, los gastos en recursos humanos y monetarios para la recuperación de los daños causados.

1.4. Aporte

La presente investigación tiene como objetivo analizar los pasos para la aplicación del análisis no lineal Tiempo- Historia y de esta forma poder convertirlos en una metodología clara y detallada que se pueda utilizar de una forma eficaz y con mayor facilidad en la evaluación y verificación del diseño estructural de cualquier edificación que cuente con un sistema de pórticos y no tenga irregularidades, para lo cual se crea un sistema alrededor de ellos recopilando toda la información relevante que se tomó para la investigación dándole un formato de manual que se encontrará en la parte de Anexos de la presente, éste será el entregable que hará posible cumplir con el objetivo de la investigación.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo General

- Analizar y sistematizar los procedimientos necesarios para la correcta aplicación del método de análisis no lineal Tiempo-Historia en estructuras aporticadas de concreto armado.

2.2. Objetivos Específicos

- Hacer una revisión de los conocimientos previos para la aplicación del Análisis Tiempo-Historia en pórticos de concreto armado.
- Hacer una revisión de los procedimientos a seguir para la aplicación del Análisis Tiempo-Historia en pórticos de concreto armado.
- Hacer el tratamiento de la estructura asignándoles rótulas prácticas a sus elementos para hacer posible el análisis de su comportamiento no lineal por su geometría y en sus materiales.

- Identificar las consideraciones para la elección de registros sísmicos que van a utilizarse para el Análisis Tiempo-Historia.
- Hacer el tratamiento de los registros sísmicos elegidos para que sean consistentes con el espectro de respuesta de la estructura obtenido de su análisis lineal.
- Analizar los posibles métodos para el modelamiento de los pórticos para definir en qué casos es favorable su uso.
- Señalar las diferentes herramientas que ayudan a la aplicación del Análisis Tiempo-Historia, como los diferentes softwares que facilitan la obtención de los datos necesarios.
- Describir y evaluar el posible comportamiento que pueden tener los pórticos en respuesta a los registros sísmicos aplicados.

3. HIPÓTESIS

Con el análisis y sistematización de procedimientos para la aplicación del Análisis no lineal Tiempo-Historia en estructuras aporricadas de concreto armado se obtendrán conclusiones y la metodología adecuada recopiladas en un formato de manual que ayudará a aumentar la practicidad y el entendimiento de la aplicación de este método y de la respuesta de este tipo de estructuras ante las cargas sísmicas ocasionadas por los registros sísmicos a los que se le someterá a la estructura analizada.

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Esta investigación va direccionada a la revisión de información para la aplicación del análisis no lineal Tiempo-Historia de estructuras que cuenten con un sistema de pórticos de concreto armado, utilizando registros sísmicos existentes y disponibles seleccionándolos según las propiedades y ubicación de la estructura analizada.

Se hará solo la recopilación de los procedimientos y su aplicación en una estructura hipotética que servirá como muestra para la explicación y un mejor entendimiento en el manual que se tiene como entregable de la investigación, sin embargo, no se profundizará en el cumplimiento del diseño con la normativa, teniendo como finalidad la practicidad de la descripción de los procesos.

Sin embargo, se tiene como limitación los diferentes parámetros o casos de irregularidades que se pueden dar en estructuras aporcadas de concreto armado que no se contemplarán por lo extensión y profundidad del tema, así como edificaciones con diferente sistema estructural, diferentes materiales y demás factores que pueden presentarse.



CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

1. REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

1.1. Antecedentes

En la rama de la ingeniería estructural, la utilización del análisis no lineal ha aumentado con el desarrollo del estudio en los últimos años para la evaluación y diseño sismorresistente de las estructuras, en específico se verán las de concreto armado cumpliendo con el alcance de esta investigación, especialmente las estructuras ubicadas en zonas con mayor vulnerabilidad sísmica. Esto es posible gracias al estudio y desarrollo de herramientas como algoritmos numéricos y softwares que permiten el modelamiento y con ello la representación más precisa del comportamiento más cercano y probable al que sufriría la estructura siendo sometida a cargas externas en la realidad.

Cuando se le da un enfoque no lineal al análisis, esto permite un mejor entendimiento del comportamiento en la respuesta y capacidad de la estructura analizada al resistir cargas externas extremas, esto ayuda a garantizar la seguridad y eficiencia en el diseño sismorresistente de las mismas; de igual forma, hay un mayor impulso en la investigación que implica el modelamiento más preciso para la obtener esta respuesta sísmica.

Todo lo mencionado anteriormente generó que, con los años se haya incrementado el uso del diseño por desempeño, este tiene como objetivo determinar el comportamiento de una estructura ante un movimiento sísmico o cualquier tipo de sollicitación, cumpliendo los parámetros establecidos según su filosofía de diseño; por lo que se hay diversos estudios e investigaciones al respecto, se revisaron varias de estas tomando su descripción y principales aportes, dentro de las que se tienen:

1.1.1. Nacionales

“COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO TIEMPO HISTORIA LINEAL ELÁSTICO Y MODAL ESPECTRAL”

- Autor: Gallegos Vicente, Carlos Junior
- Lugar y Fecha: Arequipa, Perú – 2018
- Formato: Tesis Profesional
- Descripción: En esta investigación se hace la comparación entre los resultados que se obtienen del modelado del diseño de una edificación de concreto armado con las

consideraciones establecida por la Norma E.060 de Concreto Armado y E.030 de Diseño Sismorresistente, usando los métodos de Análisis Tiempo-Historia, para el cuál se consideran tres acelerogramas compatibles al espectro de la Norma E.030 y Modal Espectral.

- **Conclusión:** Los desplazamientos obtenidos por el método de Análisis Tiempo-Historia superan en más de un 100% al Análisis Modal Espectral, por lo que después de la revisión de estos resultados, se tiene como conclusión que el diseño de la estructura basado en el Análisis Modal Espectral deberá tener correcciones o pasar por un rediseño; sin embargo, al hacer la comparación de los resultados al aplicar el Análisis Tiempo-Historia en distintos lugares del país, se tienen resultados similares, por lo que el diseño puede mantenerse.

“ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO NO LINEAL EN EL DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO DISEÑADO BAJO LA NORMA E-030 EN PUNO”

- **Autor:** Esteba Apaza, Abel Edwar
- **Lugar y Fecha:** Puno, Perú – 2017
- **Formato:** Tesis Profesional
- **Descripción:** Se realiza el Análisis Estático y Dinámico no lineal para determinar el comportamiento y desempeño de una estructura de concreto armado ubicada en Puno; para lo cual se utilizan los Métodos Pushover (para el Análisis Estático) y Tiempo-Historia o cronológico (para el Análisis Dinámico), a su vez, se comparan las respuestas sísmicas de ambos modelos y el nivel de desempeño de la estructura con secciones reducidas por el método Pushover.
- **Conclusión:** Con la aplicación del Análisis Dinámico no lineal, se obtuvieron deformaciones y esfuerzos más detalladas de los elementos que forman la estructura, además, se pudo observar la historia de respuestas; además, la diferencia entre derivadas (82.8%) y desplazamientos máximos (115%) obtenidos con ambos análisis son considerables, siendo mayores los pertenecientes al Análisis Estático.

“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE USANDO ANÁLISIS NO LINEAL EN EL TIEMPO”

- Autor: Gálvez Chunas, Víctor Adolfo
- Lugar y Fecha: Lima, Perú – 2011
- Formato: Tesis Profesional
- Descripción: Se realiza el estudio de los procedimientos para el análisis en el rango inelástico y calibración de elementos estructurales utilizando los ensayos reales de PEER y el programa CANNY, haciendo los diagramas esfuerzo deformación de los materiales y aproximándolos a los resultados obtenidos en los ensayos, se hizo el modelamiento para la evaluación del desempeño utilizando los criterios establecidos en Ghobarah y FEMA 368.
- Conclusión: Se pudo observar la variabilidad de registro a registro en el Análisis Tiempo-Historia, en este la estructura respondió de diferentes formas según el registro sísmico que se usaba, también permitió simular la disipación de energía en los elementos estructurales y así dar respuestas locales y globales.

“COMPARACIÓN ENTRE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA EN SISMOS FRECUENTES Y ANÁLISIS ESPECTRAL PARA UN EDIFICIO DE VIVIENDA DE 14 PISOS”

- Autor: Quispe Cartolin, Pedro Jesús
- Lugar y Fecha: Lima, Perú – 2021
- Formato: Tesis Profesional
- Descripción: La investigación considera en un inicio que los parámetros estipulados en la RNE garantizan un buen desempeño para las estructuras en sismos frecuentes, para lo cual se obtienen los resultados del Análisis Tiempo-Historia y del Análisis Dinámico Espectral, teniendo la resistencia ofrecida y los coeficientes de las solicitaciones.
- Conclusión: La demanda obtenida en el Análisis tiempo-Historia es aproximadamente 2.41 veces mayor a la demanda por Análisis Espectral o de Diseño, se señalan las respuestas significativas en el rango inelástico de los elementos estructuras que conforman la edificación, por lo que se concluye que las restricciones establecidas por la norma peruana no garantizan un desempeño eficaz en el diseño estructural sometido a sismos frecuentes.

“ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO Y DINÁMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA SLB EN LA CIUDAD DE CHICLAYO”

- Autor: Chuquicahua Zelada, Dairy Elmer
- Lugar y Fecha: Chiclayo, Perú – 2020
- Formato: Tesis Profesional
- Descripción: En esta investigación se aplica el Análisis Tiempo-Historia a edificios con disipadores y estructuras en general, también se hace el Análisis Estático no lineal para tener una comparación de los resultados de ambos, se determinó el factor de ductilidad y sobre resistencia de la estructura y finalmente se determina la energía disipada y la ubicación más favorable para los disipadores.
- Conclusión: Existe un comportamiento inadecuado de la estructura, ya que no se alcanza el nivel de desempeño necesario para satisfacer la demanda del sismo de diseño, también se concluye que el Análisis Estático es más conservador que el Análisis Dinámico, siendo ambos no lineales.

1.1.2. Internacionales

“ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL SAN SEBASTIÁN (SIGSIG), MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL”

- Autor: Guallpa Uvidia, Cristian José
- Lugar y Fecha: Cuenca, Ecuador – 2017
- Formato: Tesis Profesional
- Descripción: Se definieron los pórticos de estudio teniendo en cuenta la información recopilada de la entidad en estudios previos, se desarrolló el Análisis Pushover y Tiempo-Historia para iniciar la evaluación de respuesta sísmica, determinar el periodo fundamental, las derivas, desplazamientos y la capacidad de la estructura.
- Conclusión: Al no alcanzar un buen desempeño estructural y existir una vulnerabilidad considerable en la edificación, se planteó el uso de un aislador basal como medida de mitigación. Se puede apreciar un aumento en el amortiguamiento cuando la estructura

está aislada a cuando está en su forma convencional, llegando a disminuir significativamente los desplazamientos.

“ANÁLISIS SÍSMICO CON MÉTODOS MODAL ESPECTRAL Y TIEMPO HISTORIA PARA UN MODELO INTEGRADO DE TURBO GENERADOR DE 375 MW, NCh2369 ACTUALIZADA”

- Autor: Manquelaquén Villalobos, Rodrigo Andrés
- Lugar y Fecha: Santiago de Chile, Chile – 2018
- Formato: Memoria
- Descripción: Se realizó el modelamiento computacional considerando los requisitos del MIATG y sus condiciones de sitio, en este modelo se incluye una mesa de fundación, la interacción suelo-zapata idealizados con resortes, un equipo turbo generador y carga vivas y muertas; se hacen dos modelos, uno con propiedades de rigidez y amortiguamientos simétricas y otro con estas propiedades asimétricas para ser sometidos a aceleraciones reales en registros sísmicos.
- Conclusión: Los resultados del Análisis Tiempo-Historia son menores a los obtenidos con el Análisis Modal Espectral, a su vez se observa un incremento de las respuestas de desplazamientos en los puntos de control cuando las propiedades son asimétricas respecto a cuando se consideran simétricas.

“DISEÑO POR DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA.”

- Autor: Núñez Palacios, Alba Beatriz
- Lugar y Fecha: Ambato, Ecuador – 2017
- Formato: Trabajo Experimental
- Descripción: Se garantiza el adecuado funcionamiento del diseño con el Análisis Tiempo-Historia, fundamentando el uso de este método, detallando el proceso de diseño y explicando la selección de acelerogramas para el análisis.
- Conclusión: Con la curva obtenida con el método Pushover y el código FEMA 440 se pudo ubicar el punto del desempeño en el que la estructura está muy cerca al colapso,

sin embargo, con resultados más conservadores, el Análisis Tiempo-Historia obtiene un nivel de colapso considerando un periodo de retorno de 2500 años en el sismo.

“ANÁLISIS DINÁMICO LINEAL MEDIANTE UN MÉTODO SIMPLIFICADO Y UN MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DE UN TANQUE PARA CONTENCIÓN DE HIDROCARBUROS”

- Autor: Guerrero Verdugo, Orlando y Sánchez Cordero, Francisco José
- Lugar y Fecha: Cuenca, Ecuador – 2015
- Formato: Tesis Profesional
- Descripción: Se aplica un modelo numérico y un modelo analítico para el análisis de un tanque de contención, en este caso se quieren predecir las posibles fallas, ya que, si estas se ocasionan al suscitarse un sismo, el presupuesto para las reparaciones tendría un importante valor, además del daño ambiental que se ocasionaría.
- Conclusión: Se obtuvieron periodos de vibración con el modelo computacional y con el método simplificado, teniendo variaciones máximas de 20%; además se menciona que el Análisis Tiempo-Historia, al ser computacional y haberse realizado con un software que usa el método de elementos finitos, no se recomienda para este tipo de proyecto, porque presenta limitaciones para el análisis de la interacción entre la estructura y el fluido.

“SENSIBILIDAD Y SEGURIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN RÉGIMEN NO LINEAL”

- Autor: Maldonado Tapia, Ronnie Antonio
- Lugar y Fecha: Barcelona, España – 2012
- Formato: Tesis Profesional
- Descripción: Se busca crear una herramienta para el Análisis no lineal de la confiabilidad en estructuras, haciendo una combinación de un modelo que sea no lineal geoméricamente y permita que se no lineal por material, también tiene el objetivo de evaluar la fragilidad en carios casos identificando las variables importantes en la respuesta al sismo para estudiar la seguridad y sensibilidad en la estructura.

- **Conclusión:** Se logró crear una herramienta mediante el método FORM que se logró acoplar al modelo de análisis, también se determinó que las rótulas ubicadas en el vano en una viga empotrada no generan diferencias en la probabilidad de falla de esta, sin embargo, si se ubican en los extremos, el índice de confiabilidad tiene a bajar.

1.2.Estados del Arte

1.2.1. Análisis no Lineal

El campo de estudio del análisis no lineal comenzó a desarrollarse en la segunda mitad del siglo XX, aunque no se puede definir universalmente de manera específica su inicio, sin embargo, se tienen los puntos relevantes y mayores aportes que hicieron posible su estudio y posterior avance.

- ***Ecuaciones Diferenciales no Lineales***

Alrededor del año 1930, Mary Cartwright en colaboración con John Edenson Littlewood, ambos matemáticos británicos, fueron pioneros en utilizar métodos topológicos combinados con métodos analíticos para la obtención de resultados a problemas de ecuaciones diferenciales; además, realizaron el estudio de las soluciones del sistema de ecuaciones Van Der Pol forzado durante diez años descubriendo así, fenómenos relacionados al caos.

Esta fue la primera vez que se estudió el caos como un sistema dinámico que tiene como uno de sus ejemplos más referenciales el efecto mariposa, el cual describe que cualquier cambio en un sistema dinámico, por pequeño que sea, puede causar grandes diferencias en dicho sistema posteriormente.

Sin embargo, estos aportes pasaron desapercibidos en su época, fue hasta el año 1949 que Norman Levinson, matemático estadounidense, percibió la importancia del estudio de Cartwright y Littlewood mencionándolo en uno de sus artículos, a partir de esto, se realizaron múltiples estudios de comprobación aplicando su trabajo siendo un gran aporte a la dinámica moderna.

- ***Desarrollo de Métodos Numéricos***

Para que sea posible el desarrollo del análisis sísmico de la no linealidad fue imprescindible el estudio y aplicación de métodos numéricos, estos tuvieron sus inicios en el siglo XVII con los estudios de John Napier e Isaac Newton, quienes introdujeron conceptos y técnicas que

permitieron la evolución de este campo; dentro de sus estudios más importantes se tiene la invención de los logaritmos por parte de Napier y el cálculo diferencial e integral, contribuciones de Isaac Newton.

Posteriormente, se fue evolucionando este campo con el descubrimiento de la interpolación en el siglo XIX por el matemático Suizo Leonhard Euler permitiendo mejorar las aproximaciones en funciones aumentando los puntos estudiados en ellas.

De esta forma, se introdujeron nuevos conceptos en los métodos numéricos con los cuales fue posible abrir paso en investigaciones de diferentes campos, siendo fundamentales para aportes importantes en el análisis sísmico al permitir la simulación y predicción del comportamiento de las estructuras ante cargas sísmicas, su relevancia radica en su capacidad de brindar análisis detallados y precisos, incluyendo en este factores como la rigidez, sistema estructural, resistencia y respuesta dinámica de los materiales que conforman el sistema.

1.2.2. Análisis no Lineal Dinámico

Dentro del análisis no lineal dinámico se tienen diferentes contribuciones a lo largo de su historia que evolucionaron el análisis sísmico y el diseño sismorresistente, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

- ***Modelo de Intensidad Espectral de Housner***

En 1947, el reconocido ingeniero estructural y sismólogo Gerge Housner elaboró su modelo de Intensidad Espectral, el cual lleva su nombre, este modelo se convirtió en la base para la evaluación del análisis de respuesta sísmica estructural, midiendo los sismos con acelerógrafos y eliminando la subjetividad de escalas utilizadas previamente, las cuales tenían como base la descripción cualitativa de los daños ocasionados por los eventos sísmicos estudiados.

- ***Intensidad de Arias***

La Intensidad Sísmica Instrumental, más conocida como Intensidad de Arias tiene como finalidad la determinación instrumental de los daños producidos en edificaciones o estructuras por eventos sísmicos teniendo como la base las aceleraciones registradas por acelerógrafos, por lo que está técnica fue un aporte fundamental en el diseño sismorresistente. Se dio a conocer en el año 1969 con la publicación de la investigación que la sustenta elaborada por el ingeniero y docente chileno Arturo Arias Suárez y publicada por el Massachusetts Institute of Technology Press.

Esta investigación tiene su origen en la intención de perfeccionar el modelo de Intensidad Espectral de Housner anteriormente mencionado pudiendo obtener un valor para determinar el daño causado por un sismo, reconocido por diferentes sismólogos.

Actualmente, la Intensidad de Arias es utilizada para la determinación de vulnerabilidad sísmicas de determinadas zonas y es una herramienta para el análisis no lineal dinámico y diseño sismorresistente a partir de este.

- ***Vibración y Resonancia***

En el transcurso del siglo XX, el ingeniero polaco Wladyslaw Findeisen realizó diferentes estudios sobre la vibración y resonancia en estructuras, investigando los efectos de ellas sobre estructuras de acero y puentes, desarrollando técnicas innovadoras en su época dentro del análisis de vibraciones en puentes de acero y puentes colgantes, de esta forma, abarcó áreas como la dinámica en sistemas de suspensión, respuesta vibracional en estructuras a las que se les asignan diferentes condiciones de carga y estabilidad estructural.

Uno de sus principales aportes fue su investigación del fenómeno de resonancia en puentes colgantes, dando como conclusión el impacto significativo que se tiene en la seguridad y estabilidad de estructuras como producto de oscilaciones no lineales y resonancia, este estudio contribuyó al establecimiento de criterios de diseño más precisos para evitar este fenómeno.

Los estudios de Wladyslaw Findeisen tuvieron una gran contribución en el desarrollo de métodos para la evaluación del comportamiento estructural dinámico y la predicción de la posible variación en su resistencia en casos de vibración y resonancia, lo cual sentó bases para el análisis y diseño más preciso de estructuras que tienen en cuenta sus efectos dinámicos.

1.2.3. Análisis Sísmico por Desempeño

- ***Documento VISIÓN 2000- SEAOC***

En el año 1994, sucedió el terremoto de Northridge, ubicada en la ciudad de Los Ángeles, en el estado California, teniendo una magnitud de 6.7 Mw, profundidad de 18.2 km, duración de entre 10 y 20 segundos y alcanzando una aceleración máxima en el suelo de 1.82 g, este terremoto generó muchos daños estructurales en la zona del epicentro, en los cuales se vieron afectadas edificaciones como edificios de viviendas multifamiliares, además de la universidad más cercana a la zona, además, se perdieron alrededor de 57 vidas humanas, a

raíz de este evento, la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), realizó el estudio de mejorar los criterios para el diseño sismorresistente, creando así el documento VISION 2000 en el año 1995, en el cual se establece el concepto de diseño por desempeño en dos fases principales, la primera es la fase conceptual en la que se encuentran; la selección de sistemas estructurales, objetivos de diseño y configuraciones; y la segunda, la fase numérica, que consiste en los detalles de los elementos estructurales y su dimensionamiento, con la finalidad de garantizar la calidad en la construcción de los proyectos.

“La Ingeniería Sísmica basada en el desempeño busca como objetivo que los daños esperados estén dentro de márgenes preestablecidos para diferentes sismos de diseño con un aceptable nivel de confiabilidad. Las variables con que se cuentan para lograrlo son la rigidez, resistencia y capacidad de incursionar fuera del rango lineal” (Medina & Music, 2018).

En el documento VISION 2000 se señalan los objetivos de las normas convencionales con una filosofía de diseño en la que la estructura no debería tener daños estructurales en sismos leves, daños significativos pero reparables en caso de sismos moderados y evitar el colapso en caso de sismos severos; sin embargo, que una estructura no colapse en un sismo severo, no significa que tenga el comportamiento adecuado en sismos de menor intensidad, ya que se vieron daños generados por diferentes sismos, que aunque no fueron pérdidas totales tuvieron un valor económico significativo en reparaciones.

Con el estudio de diferentes experiencias de eventos sísmicos, la filosofía de diseño fue evolucionando en el diseño por desempeño, en el cual se establece que el aumento de la rigidez global no necesariamente disminuye los daños en los elementos, así, se introdujeron los conceptos de diseño por capacidad, establecidos por Park y Paulay en Nueva Zelanda en el año 1975. Así, con el desarrollo de esta nueva filosofía se desarrollaron conceptos importantes para mejorar el comportamiento de las estructuras como los siguientes:

- En sistemas aporricados es importante garantizar la formación de rótulas plásticas primero en vigas, y luego por columnas (viga débil- columna fuerte).
- La resistencia de cortante en los elementos debe ser mayor que su resistencia a flexión.
- Es más importante la distribución de la rigidez a lo largo de la estructura que el valor de la cortante basal de diseño.

Es importante que estos conceptos se establecieron con la finalidad de ser aplicados tanto en estructuras diseñadas, como en edificaciones construidas. Estos procedimientos, tienen como objetivo brindar una estimación de desempeño considerando la ductilidad de la estructura, su rigidez, su resistencia y disipación de energía.

Se espera cuantificar el desempeño con la cantidad de daño en estructuras que han sido afectadas por el movimiento sísmico y el impacto de estos daños posterior del evento.

- Niveles de Desempeño:

Se toman 3 aspectos fundamentales en consideración para establecer el estado límite con niveles de desempeño:

- a. Amenaza hacia los ocupantes de la edificación
- b. Funcionabilidad de la edificación después del evento sísmico.
- c. Posibles daños en la composición de elementos estructurales y no estructurales.

Se definieron cuatro niveles de desempeño por el Comité de VISION 2000:

- Totalmente Operacional: Esencialmente no ocurren daños, la seguridad permanece intacta para los ocupantes, su funcionabilidad permanece totalmente en servicios y contenido, no se necesitan reparaciones.
- Operacional: Se presentan daños moderados en el contenido de la edificación y sus elementos no estructurales. La seguridad en la estructura no se ve comprometida, por lo que puede ser ocupada inmediatamente después del sismo, sin embargo, sus funciones pueden ser parcialmente interrumpidas por los daños moderados mencionados en el contenido y elementos no estructurales.
- Seguridad: Presenta daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, además de en el contenido que se encuentra en la edificación. Disminuye la resistencia ante cargas laterales y su rigidez, aunque aun presenta seguridad para no colapsar. Debido a los daños, la estructura no podrá ser ocupada inmediatamente, por lo cual puede ser necesaria la rehabilitación, mientras tenga justificación económica.
- Próxima al Colapso: La disminución en la resistencia del sistema y la rigidez ante cargas laterales, comprometen a la estructura y la aproximan al colapso, los elementos continúan en funcionamiento, aunque ya no resisten cargas

gravitacionales. Es un lugar inseguro para sus ocupantes y su reparación puede no ser factible económicamente.

Tabla 1

Descripción de Estados de Daño y Niveles de Desempeño (SEAOC VISION 2000 Committee, 1995)

Estado de Daño	Nivel de Desempeño	Descripción de los daños
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando servicios.
Leve	Operacional	Agrietamientos en elementos estructurales. Daño entre leve y moderado en contenidos y elementos arquitectónicos. Los sistemas de seguridad y evacuación funcionan con normalidad.
Moderado	Seguridad	Daños moderados en algunos elementos. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. El sistema permanece funcional. Algunos elementos no estructurales y contenidos pueden dañarse. Puede ser necesario cerrar el edificio temporalmente.
Severo	Pre- Colapso	Daños severos en elementos estructurales. Fallo de elementos secundarios, no estructurales y contenidos. Puede ser necesario demoler el edificio.
Completo	Colapso	Perdida parcial o total de soporte. Colapso parcial o total. No es posible la reparación

- **ATC- 40**

El proyecto ATC- 40 “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, se desarrolló en el año 1996 en la colaboración del SEAOC y el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC), ofreciendo criterios y procedimientos para para la evaluación y reforzamiento sísmico de edificios existentes de concreto armado.

Los niveles de desempeño en la ATC- 40 combinan los niveles de los elementos estructurales y no estructurales, pero se definen de forma independiente:

- Niveles para elemento estructurales:
 - **SP-1. Ocupación Inmediata:** Daños limitados, las condiciones de resistencia del sistema a cargas laterales y gravitatorias permaneces iguales antes y después del sismo. No se presentan pérdidas en la vida de los ocupantes y se mantiene su funcionalidad.
 - **SP-2. Daño Controlado:** El daño varía entre los límites de Seguridad y Ocupación Inmediata. Los ocupantes pueden ser afectados, pero su vida no está en peligro.
 - **SP-3. Seguridad:** Los daños no afectan la seguridad ante un colapso parcial o total de la estructura. Puede afectarse a personas que estén en el exterior o interior de la edificación, sin embargo, la vida de los ocupantes tiene bajo peligro ante el fallo de elementos estructurales. Pueden ser necesarias reparaciones antes de su ocupación, justificándolo económicamente.
 - **SP-4. Seguridad Limitada:** Sus daños se encuentran entre Estabilidad Estructural y Seguridad. Para garantizar la seguridad pueden ser necesario reforzamiento.
 - **SP-5. Estabilidad Estructural:** Daño suficiente para que el sistema estructural este cerca del colapso parcial o total. Los elementos estructurales pierden rigidez y resistencia. En caso de replicas hay un alto riesgo de colapso. En estructuras antiguas puede ser que los daños sean irreparables.
 - **SP-6. No considerado:** No es un nivel de desempeño, pero se usa para evaluación de daños sísmicos en elementos no estructurales y reforzamientos.
- Niveles para elementos no estructurales:
 - **NP-A. Operacional:** El funcionamiento en elementos no estructurales y contenido de la edificación permanece intacto después del sismo.
 - **NP-B. Ocupación Inmediata:** Los elementos no estructurales permaneces iguales, sin embargo, el contenido puede verse afectado, además puede haber interrupción de servicios externos, pero sin comprometer la ocupación de la estructura.
 - **NP-C. Seguridad:** Puede haber daños severos en elementos no estructurales, sin llegar al colapso ni poner en peligro la vida de los ocupantes. El contenido puede ser afectado severamente, requiriendo reparaciones o reemplazos.

- **NP- D. Amenaza Reducida:** Puede haber daños severos en el contenido y elementos no estructurales, pero sin llegar al colapso de elementos importantes como muros o parapetos.
- **NP- E. No Considerado:** Se usa para indicar que no se evaluaron los elementos no estructurales, a menos que afecté el comportamiento estructural como es en el caso de mampostería.
- Niveles para estructuras: Se muestran las combinaciones realizadas en ATC- 40:

Tabla 2

Nivel de Desempeño de Estructuras (ATC, 1996)

Niveles de desempeño no estructural	Niveles de desempeño estructural					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6
NP-A	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B	1 - B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C	1-C	2-C	3-C Seguridad	4-C	5-C	6-C
NP-D	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad estructural	No Aplicable

NR: combinación No Recomendada

- **FEMA 273**

FEMA 273, también conocido como "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", es un documento publicado en 1997 por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias proporcionando pautas para la rehabilitación sísmica de edificios existentes. La finalidad de este documento es reducir el riesgo y los impactos de los terremotos en la sociedad ofreciendo orientación en procedimientos y criterios para la evaluación sísmica y medidas de rehabilitación en caso de requerirlos.

Los siguientes puntos son sus principales aportes en el análisis no lineal estático:

- Evaluación de la capacidad de carga: Brinda diferentes criterios de evaluación de la respuesta de la estructura a cargas, su redistribución de fuerzas y aumento en deformaciones.
- Modelado no lineal, abordando el comportamiento no lineal en elementos y sus conexiones.
- Evaluación de seguridad, al finalizar el análisis no lineal estático, comparando la capacidad de carga estimada con las demandas sísmicas establecidas y determina si necesitan rehabilitación.
- Estrategias de rehabilitación basadas en los resultados del análisis no lineal estático.
- **FEMA 440**

Al igual que FEMA 273 es un documento publicado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, siendo este más actual (año 2005), su título completo es "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures". Su finalidad es mejorar los alcances para el análisis no lineal estático ante cargas sísmicas.

Aunque el análisis sísmico no lineal dinámico es más preciso al tener en cuenta las características del movimiento sísmico real, el análisis no lineal estático es una aproximación valiosa y ampliamente utilizada, especialmente en la evaluación de edificios existentes, teniendo este documento los siguientes aportes dentro de su área:

- Definición y selección de curvas de capacidad, estas representan la capacidad de resistencia de la estructura en función de su deformación y la relación entre la demanda sísmica.
- Modelado no lineal, abordando el comportamiento no lineal en elementos y sus conexiones, considerando su resistencia y rigidez.
- Describe los procedimientos de análisis.
- Evaluación de seguridad, al finalizar el análisis no lineal estático, comparando la capacidad de carga estimada con las demandas sísmicas establecidas y determina si necesitan rehabilitación.
- **FEMA 356**

FEMA 356 "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", es un documento técnico publicado en el año 2000 por el Instituto de Ingenieros Estructurales

de Estados Unidos (SEI) en colaboración con la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA).

En este documento se desarrollan los siguientes puntos importantes para el desarrollo del análisis no lineal dinámico:

- Definición de Propiedades No Lineales, brinda criterios para el análisis no lineal de los materiales como el diagrama Momento curvatura necesario para cargas cíclicas.
- Reducción de Rigidez: Establece que es necesario considerar esto para el análisis no lineal brindando criterios para los diferentes elementos.
- Modelado de conexiones, las cuales pueden sufrir plastificación afectando el comportamiento no lineal.
- Efectos P- Delta o efectos de segundo orden.
- Amortiguamiento, de esta forma se puede representar el modelo la disipación de energía.
- Calibración y Validación: Se mencionan ensayos de laboratorio para corroborar experimentalmente el modelo no lineal.
- **ASCE 41-17:**

El ASCE 41-17 "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", que en español significa "Evaluación Sísmica y Refuerzo de Edificios Existentes" es una norma técnica publicada en el 2017 por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles. Esta norma se enfoca en cómo evaluar y mejorar la capacidad de los edificios ya construidos para resistir terremotos.

Esta norma proporciona procedimientos e indicaciones para la evaluación sísmica de diseños estructurales existentes dando aportes importantes para llevar a cabo su análisis no lineal dinámico. Principalmente aporta en los criterios para la reducción de rigidez en elementos de concreto armado.

- Considerando el porcentaje de reducción de rigidez como 30% en caso de flexión y 40% en caso de corte.
- En el caso de columnas da la condición de $P \geq 0.5f_c A_g$, en este caso considera el porcentaje de reducción de rigidez como 70% en caso de flexión y 40% en caso de corte.

- Mientras que para $P \leq 0.1f_c A_g$ considera el porcentaje de reducción de rigidez como 30% en caso de flexión y 40% en caso de corte.
- Cuando el valor de P se encuentre entre ambas condiciones, se deberá hacer una interpolación lineal para obtener los porcentajes.

La ASCE 41-17 es ampliamente utilizada por ingenieros estructurales y profesionales relacionados con la ingeniería sísmica en los Estados Unidos y en otras partes del mundo por sus aportes para el desarrollo del análisis no lineal, como son sus estándares para la reducción de rigideces en elementos estructurales y los parámetros de modelado y criterios de aceptación numéricos para procedimientos no lineales en vigas de concreto armado para el cálculo manual del comportamiento de cada elemento estructural, obteniendo su condición al haber soportado las cargas laterales a causa del evento sísmico utilizado para su estudio. Estos aportes serán desarrollados especialmente en el desarrollo del análisis, resultados y discusión del presente proyecto.

1.2.4. Conclusiones y Aporte

Al concluir la elaboración del estado del arte se muestra un progresivo desarrollo en el campo del análisis no lineal, impulsado por contribuciones significativas en áreas clave como las ecuaciones diferenciales no lineales, el desarrollo de métodos numéricos y la introducción de modelos de intensidad sísmica. Además, se han logrado avances notables en el análisis no lineal dinámico y el diseño por desempeño, con la formulación de diferentes niveles de desempeño para evaluar y reforzar estructuras ante eventos sísmicos.

Sin embargo, no se encontró un precedente de un documento que reúna la información en teoría y procedimientos para la aplicación del análisis no lineal tiempo-historia en estructuras aporticadas de concreto armado. Por lo que con esta investigación se espera proporcionar una guía detallada y sistemática para la aplicación de esta metodología, considerando las dimensiones clave de las estructuras, los diferentes tipos de comportamiento y la selección adecuada los elementos necesarios para el análisis. Al hacerlo, se quiere lograr que esta investigación permita a los estudiantes e ingenieros en el campo abordar de manera más efectiva el análisis no lineal en estructuras de concreto armado, mejorando la comprensión de su comportamiento ante eventos sísmicos y brindando un enfoque más preciso y confiable para el diseño sismorresistente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Elasticidad y Linealidad

2.1.1. Elasticidad

La elasticidad puede definirse dentro de las propiedades fundamentales de los materiales, esta se utiliza para hacer la descripción de la capacidad de deformarse de dicho material a consecuencia de ser sometido a una carga. Dentro del campo de la ingeniería estructural se usa el término de elasticidad para referirse a la capacidad de una estructura o elemento estructural de deformarse por las cargas aplicadas a ella sin que estas deformaciones sean permanentes.

Un material que sufre deformaciones elásticas, gráficamente puede representarse de forma lineal o no lineal, para ambos casos se sigue el mismo camino tanto en el momento de carga, como en el momento de descarga, de esta forma, vuelve al estado inicial de deformación y esfuerzos.

Figura 1

Respuesta elástica con comportamiento lineal (Lafuente, Grases, & Genatios , 2014)



"La elasticidad es la capacidad de un material para recuperar su forma original después de haber sido estirado o comprimido, en otras palabras, la deformación es reversible" (DeGarmo, Black , & Kohser, 1988).

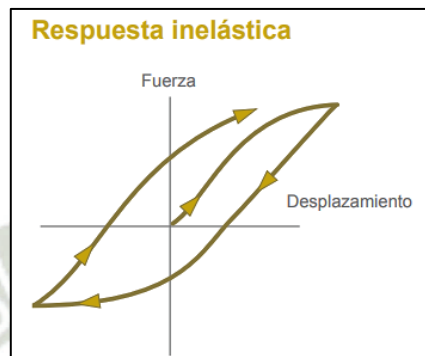
2.1.2. Plasticidad o Inelasticidad

Una estructura y sus elementos comienzan a sufrir deformaciones al ser expuestas a cargas, en primera instancia las deformaciones que se presentan están dentro del rango elástico lineal, sin embargo, "si la tensión aplicada a una estructura supera el límite elástico, la

deformación será permanente y la estructura experimentará una deformación plástica. La deformación plástica es irreversible" (Beer, Johnston, & DeWolf, 2013).

Figura 2

Respuesta inelástica con comportamiento no lineal (Lafuente, Grases, & Genatios , 2014)



Podemos tomar como definición de plasticidad o inelasticidad: "Es una respuesta de los materiales a las cargas externas y está relacionada con la capacidad de los materiales para experimentar deformaciones permanentes. Es una propiedad importante en muchos materiales, por ejemplo, en materiales de construcción y en metales. Sin embargo, la plasticidad también puede llevar a la fragilidad. Como resultado, la detección y medición de la plasticidad son importantes para comprender la fragilidad de los materiales" (Karnovsky, 2010).

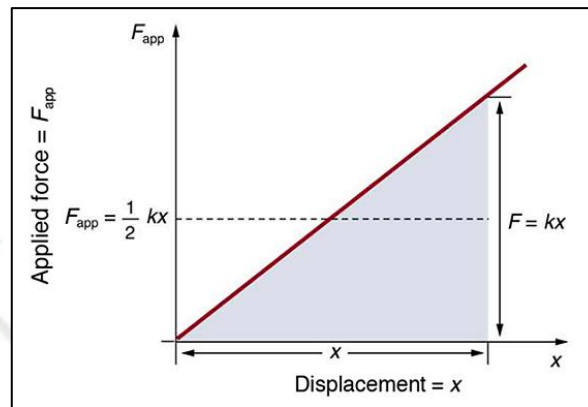
2.1.3. Linealidad

El término de linealidad es utilizado en muchos campos, este describe la relación entre dos variables que tienen variaciones proporcionales y constantes; en el caso de la ingeniería estructural, se usa el término de linealidad para referirse a la capacidad de respuesta de una estructura ante cargas externas o propias, teniendo deformaciones en los elementos predecibles y proporcionales a estas cargas aplicadas.

"Una estructura se considera lineal si su respuesta a una carga se puede predecir sumando las respuestas a las cargas componentes que la originan" (Lui, 1991); de esta forma se infiere que la estructura sigue la ley de Hooke, que indica que las deformaciones en elementos son directamente proporcionales a las fuerzas que las generan.

Figura 3

Diagrama Fuerza- Deformación siguiendo la Ley de Hooke (Urone & Hinrichs, 2013)



Para poder hacer un análisis lineal se debe idealizar la estructura en un modelo teniendo las siguientes características como hipótesis:

- El material con el cual será construido la estructura será isótropo, homogéneo y tendrá un comportamiento lineal elástico.
- La carga que la estructura debe resistir es casi estática.
- Se asume que el equilibrio de la estructura está en su estado no deformado.
- Las deformaciones que la estructura llegue a tener, serán muy pequeñas.

2.1.4. No Linealidad

La no linealidad en la ingeniería estructural define la capacidad de una estructura o sistema para experimentar comportamientos que no tienen una relación lineal proporcional entre las cargas aplicadas y las respuestas estructurales correspondientes. Esto puede resultar en un comportamiento no proporcional, no uniforme o incluso caótico. La no linealidad se debe a la complejidad de las relaciones entre el comportamiento estructural y las cargas aplicadas, así como a la respuesta no proporcional de ciertos materiales y componentes a las diferentes cargas.

"El comportamiento estructural no lineal es aquel en el que no se puede garantizar una correlación proporcional entre los esfuerzos y las deformaciones. La no linealidad generalmente es el resultado de dos efectos combinados: los efectos geométricos (como

grandes deformaciones de las estructuras) y los efectos materiales (como el endurecimiento y ablandamiento no lineales de los materiales)" (Beer, Johnston, & DeWolf, 2013)

La respuesta no lineal de la estructural no es proporcional a la excitación que la genera, esta puede ser generada por:

- No linealidad geométrica.
- No linealidad en materiales.
- Que ambos factores ocurran.

Para hacer el análisis no lineal se debe idealizar la estructura en un modelo teniendo las siguientes características como hipótesis:

- El equilibrio del sistema idealizado de la estructura se toma en estado deformado para la no linealidad geométrica.
- Se toma en consideración un comportamiento con o linealidad del material.
- ***No Linealidad Geométrica o Efectos de Segundo Orden***

Se puede definir la no linealidad geométrica como la capacidad de la estructura de deformarse con una magnitud mayor a las deformaciones lineales que no pueden ser representadas en un modelamiento que se analice con el método elástico lineal; esto tiene como causa que dichos desplazamientos y las deformaciones producen cargas diferentes y significativas las que se podrían presentar dentro del rango lineal.

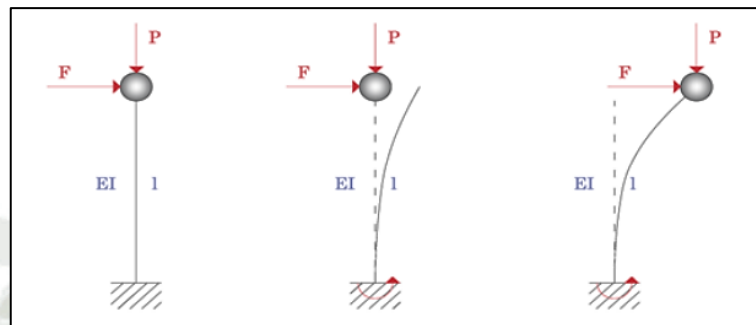
"Si la estructura se deforma tanto que los desplazamientos de los puntos no son proporcionales a las cargas aplicadas, se dice que la estructura experimenta no linealidad geométrica. La causa de esta no linealidad es el cambio en las tensiones producidas por desplazamientos grandes que elimina el efecto lineal de las deformaciones elásticas normales" (Gere & Goodno, 2009).

Se tiene en consideración las siguientes características para la no linealidad geométrica:

- Cumple con la teoría de elasticidad en segundo orden, la que indica que se cumple el equilibrio en un sistema deformado.
- La no linealidad geométrica es aplicable cuando se tienen deformaciones significativas con diferencias importantes que justifiquen la realización del análisis no lineal.

Figura 4

Efecto de la no linealidad geométrica en un sistema con deformación (Vielma & Cando, 2014)



Teniendo en cuenta la Figura 4 tomando el equilibrio en el sistema deformado, se define el análisis de primer orden con la siguiente ecuación:

$$M_1 = F * l$$

$$\Delta(l) = \frac{F * l^3}{3 * EI}, \text{ siendo } \Delta(l) \text{ el desplazamiento producido por la fuerza } F$$

Mientras que, en los efectos de segundo orden, se consideran también la fuerza P y el desplazamiento generado por esta, descrita por:

$$\Delta M = P * \Delta(l)$$

$$M_2 = F * l + \Delta M = F * l + P * \Delta(l)$$

- **No Linealidad de Material**

"Para muchas aplicaciones de ingeniería, se requiere tener en cuenta la no linealidad del material. La no linealidad se debe al comportamiento no proporcional de los materiales cuando se someten a cargas grandes. En particular, los materiales pueden experimentar cambios en su rigidez o resistencia a medida que aumenta la carga aplicada, lo que puede dar lugar a un comportamiento no lineal" (Philpot, 2013).

Se estudia en la rama de estructuras la no linealidad de materiales como la capacidad del mismo para experimentar comportamientos dentro del rango no lineal cuando está soportando cargas que hacen que supere su límite elástico. Siendo la relación entre las deformaciones la tensión en el material no directamente proporcional, este fenómeno es recurrente en los materiales utilizados en la construcción como son el concreto y el acero.

"La no linealidad de materiales se debe a varios factores, como la plasticidad, la fluencia, la fisuración y la fragilidad, que pueden afectar la respuesta de materiales a cargas grandes. El análisis de elementos finitos no lineal se ha utilizado ampliamente para modelar y predecir el comportamiento no lineal de los materiales en diferentes aplicaciones de ingeniería" (Zhou).

Para la no linealidad de material se tienen diferentes consideraciones para conseguir una representación adecuada, como el uso de la teoría de rótulas plásticas en primer orden, el cambio en la relación fuerza- desplazamiento cuando se tienen solicitaciones importantes ya que para esta instancia se ha superado el límite elástico, el límite de proporcionalidad o el límite de fluencia.

2.1.5. Métodos de Evaluación Estructural

Con los conceptos básicos revisados anteriormente se pueden resumir los siguientes métodos de evaluación de la capacidad de resistencia estructural:

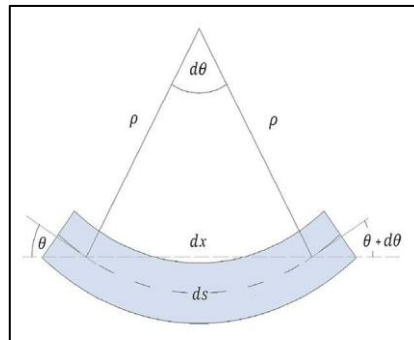
- Métodos Lineales:
 - Análisis Estático: Análisis Estático Lineal.
 - Análisis Dinámico: Análisis Modal Espectral.
- Métodos no Lineales:
 - Análisis Estático: Análisis Estático no Lineal (Pushover).
 - Análisis Dinámico: Análisis Dinámico no Lineal (Tiempo- Historia), el objeto de estudio de esta investigación.

2.2. Curvatura de un Elemento

La curvatura que sufren los elementos estructurales se define como los pequeños cambios en forma de sus secciones transversales, estos cambios se producen en la dirección del eje de la longitud del elemento, siendo un cambio unidireccional, o en dos direcciones, la curvatura se puede generar por cargas, axiales, de flexión o flexo compresión.

Figura 5

Curvatura en elemento estructural (USACH, 2018)



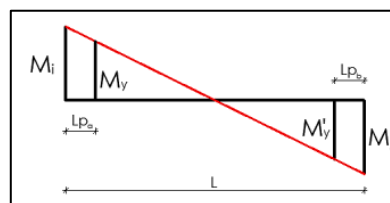
2.2.1. Longitud Plástica y Curvatura

La longitud plástica es la longitud de la sección transversal en dirección del eje longitudinal del elemento que tiene la capacidad de experimentar la deformación plástica que ocurre en el momento anterior a alcanzar el punto de fractura. La medida de esta longitud es importante en la descripción del comportamiento de los materiales del elemento cuando sufren cargas cíclicas. "La longitud plástica (L_p) se define como la longitud de una sección transversal determinada por la longitud entre los puntos en los que comienza la deformación plástica en una superficie. Esta longitud es una medida de la ductilidad del material" (DeGarmo, Black, & Kohser, 1988).

La relación entre la longitud plástica y la curva viene del diagrama de momentos que actúan en el elemento, "Cuando se supera el momento de fluencia M_y se tiene una longitud plástica en el nudo inicial que se denomina L_{p_a} , y cuando se supera el momento de fluencia M'_y en el nudo final se tiene la longitud L_{p_b} " (Aguiar, Mora, & Rodríguez, 2015); esta nomenclatura se muestra y entiende mejor en la siguiente figura en la que se considera el momento actuante antihorario:

Figura 6

Diagrama de Momentos y Longitudes Plásticas (Aguiar, Mora, & Rodríguez, 2015)



De la figura se puede realizar el cálculo de las longitudes plásticas de ambos nudos, usando la relación de los triángulos que forman el diagrama de momentos, obteniendo las siguientes fórmulas:

$$L_{pa} = \left(\frac{M_i - M_j}{M_i + M_j} \right) * L$$

$$L_{pb} = \left(\frac{M_j - M'_j}{M_i + M_j} \right) * L$$

2.2.2. Generación del Diagrama Momento- Curvatura

Se hace el diagrama Momento- Curvatura de cada elemento con el objetivo de evaluar la capacidad de resistencia de las secciones de cada uno ante la demanda de un momento flector y el comportamiento de los mismos al ser sometidos ante cargas actuales o previstas. El análisis de resistencia para el diseño de una estructura implica la evaluación de cada elemento estructural individual para asegurarse de que sea capaz de resistir las cargas esperadas con esta finalidad se lleva a cabo el proceso de realización de los diagramas momento-curvatura para cada elemento.

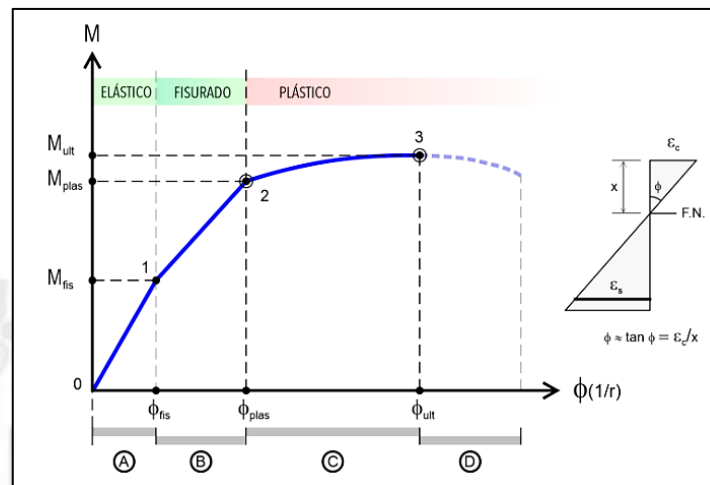
Para la asignación Método de Rótulas Plásticas, es necesario primero establecer los diagramas de Momento Curvatura de cada Elemento.

Se genera el diagrama Momento- Curvatura haciendo un incremento continuo de la curvatura de la sección transversal del elemento, considerando el diagrama de deformaciones y utilizando la relación esfuerzo- deformación que se asumen de los materiales, de los que se obtienen los esfuerzos y fuerzas de la sección.

De lo señalado anteriormente, se toma la relación esfuerzo- deformación asumida y el diagrama de deformaciones para determinar la distribución de esfuerzos en la sección. Por último, si se hace la integración del volumen que se encuentra bajo la distribución de esfuerzos, será posible obtener las fuerzas y su punto de aplicación.

Figura 7

Diagrama Momento- Curvatura del concreto armado (Vortize, s.f.)



Para la realización del Diagrama Momento- Curvatura es necesario el análisis del elemento en tres rangos diferentes como se muestra en la Figura 7; teniendo el estado no agrietado o estado elástico, estado elástico agrietado o fisurado y el estado de deformación última o estado plástico.

- El estado elástico agrietado o de fluencia del elemento cumple con la condición: $\epsilon_s = \epsilon_y$ (deformación unitaria del acero igual a la deformación unitaria del acero en fluencia).
- El estado de deformación última del concreto en el elemento cumple con las condiciones: $\epsilon_s > \epsilon_y$ (deformación unitaria del acero igual mayor a deformación unitaria del acero en fluencia) y $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$ (deformación unitaria del concreto igual a su deformación última).

2.2.3. Generación del Diagrama de Interacción

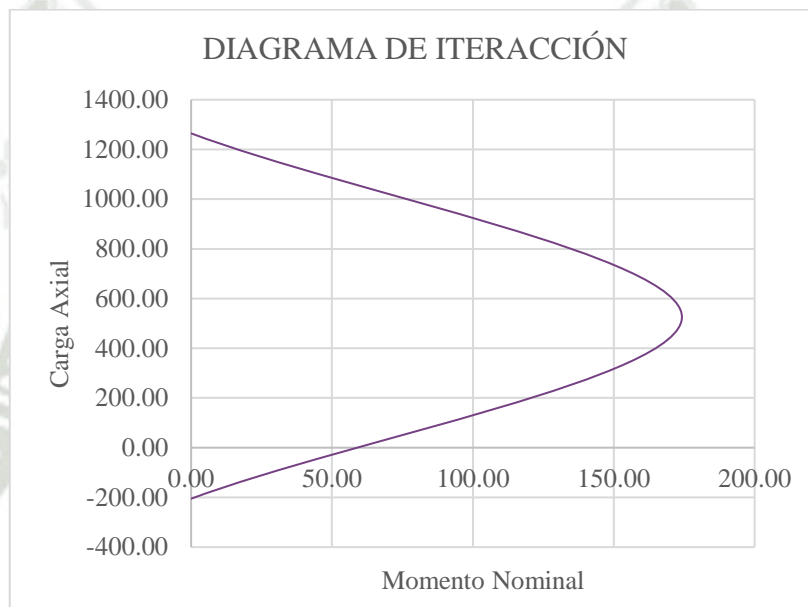
El diagrama de interacción permite describir y representar las interacciones entre los elementos estructurales y las cargas aplicadas en ellos; se realiza con la finalidad de evaluar la capacidad del elemento de soportar su carga máxima, siendo la relación entre el momento flector que actúa en la sección transversal del elemento y su fuerza axial.

Este diagrama se hace para columnas porque son los elementos que soportan cargas axiales de compresión, mientras que las vigas trabajan sujetas a momentos flectores y esfuerzos cortantes, en algunos casos también soportan esfuerzos axiales generados por otras cargas.

Para obtener el diagrama de interacción se deben identificar las cargas axiales que actúan en la columna; con las características de la columna, como la geometría de su sección transversal, la cantidad y disposición de su acero de refuerzo, su resistencia a la compresión según su material y las cargas que actúan en ella se analiza el elemento para obtener las fuerzas internas y momentos flectores que actúan dependiendo del caso de carga que se le aplique, de esta forma, al recopilar los resultados, se construye el diagrama de interacción.

Figura 8

Diagrama de Interacción (Talavera Flores, 2023)



2.3. Diseño Sismorresistente

Para lograr un diseño sismorresistente se debe seguir procedimientos aplicando diferentes metodologías y técnicas que logran reducir la vulnerabilidad sísmica de las estructuras diseñadas en caso de sufrir un evento que pueda causar daños en ella. Para lo cual, se deben tener en consideración los efectos que generan las cargas laterales sísmicas sobre sus elementos estructurales, además de evaluar los materiales y técnicas de construcción para garantizar que se guardará la resistencia y estabilidad en la ejecución.

Para un buen desarrollo del diseño sismorresistente se tienen herramientas como la definición de sistemas estructuras específico, sea un sistema aporticado, de muros estructurales, duales, etc. Además de evaluar su amortiguamiento, la geometría de la estructura, las características de la zona en la que se efectuará la construcción del proyecto y las propiedades mecánicas y físicas de los materiales utilizados como sus materiales.

2.3.1. Filosofía del Diseño

Cada normativa de diseño sismorresistente de su país correspondiente tiene su filosofía del diseño, sin embargo, coinciden en los mismos objetivos:

- Evitar pérdidas de vidas en caso los elementos estructurales fallen.
- Minimizar todo lo posible los daños que sufra la estructura.
- En caso de sismos leves, la estructura debe de resistir las cargas sin sufrir daños.
- En caso de sismos moderados, la estructura debe de resistir las cargas con posibilidad de sufrir daños leves.
- En caso de sismos severos, la estructura debe de resistir las cargas con posibilidad de sufrir daños importantes, además de tener una posibilidad remota de que ocurra un colapso.

2.3.2. Principio de Igual Desplazamiento

El principio de igual desplazamiento es un principio fundamental en el diseño sismorresistente, que establece que durante un evento sísmico, todos los elementos de una estructura deben de tener la misma magnitud de desplazamiento, para evitar que las tensiones se concentren y así, se minimice el riesgo de daños estructurales.

Este principio se logra a través de la elección de un sistema estructural adecuado para el diseño, considerando factores como la geometría del edificio y las características de zona del terreno en donde se ubicará la construcción.

2.3.3. Diseño Sísmico Convencional

Para el procedimiento del diseño sísmico convencional, es necesario realizar el modelamiento elástico lineal de la estructura considerando su demanda sísmica a través de espectro de respuesta de diseño definida por la norma que considera los parámetros sísmico correspondientes a las propiedades de la zona de ubicación de la estructura y de este proceso obtener las fuerzas elásticas reducidas, con estos resultados se puede hacer la verificación de la resistencia de elementos estructurales y de las deformaciones de entrepiso.

2.3.4. Diseño Basado en Desempeño

Después de los terremotos en Northridge, California de 1994 y 1989 el SEAOC (Ingenieros Estructurales de California) elaboró el documento Visión 2000 en el año 1995; en este

documento se propone por primera vez el procedimiento alternativo de la verificación de diseño de una estructura construida o nueva con un diseño previo basándose en normas convencionales.

Teniendo como precedente el documento Visión 2000, surgieron mayores avances en el campo a través de normas como la ATC 40, elaborada en el año 1996, seguida de las normas FEMA 273, 440 y 356, además de la norma ASCE 41, elaborada en el año 2017 y actualizada con regularidad.

El diseño basado en desempeño tiene mucha relevancia en países como Estados Unidos, en el cual se aplica para el diseño de edificios altos, que presentan un comportamiento diferente; para lo cual se emplean procedimientos alternativos (teniendo como base los manuales TBI).

Para el diseño por desempeño es necesaria la utilización de los métodos mencionado anteriormente para el rango no lineal, como son el Análisis Estático (Pushover) y el Análisis Dinámico (Tiempo- Historia).

A su vez, para el análisis no lineal es necesario la evaluación de cada elemento independientemente y por componentes, para lo cual es necesario la asignación de rótulas plásticas, lo que permitirá la descripción de la respuesta sísmica más detallada de la estructura, que debe de tener su propio tratamiento para su correcta ejecución, para este procedimiento es necesario la definición de los siguientes puntos:

- ***Reducción de Rigideces***

Se hace la reducción de rigideces en la estructura de concreto armado analiza para así mejorar el comportamiento y desempeño sísmico en la estructura, al reducir la rigidez de cada elemento estructural, se reduce la cantidad de energía que se transmite a través de ellos mientras está ocurriendo el evento sísmico, lo cual minimiza el riesgo de que exista daño en la estructura o que llegue al colapso.

De igual forma, la reducción de la rigidez puede mejorar la capacidad de deformación plástica de los elementos, lo cual genera que se disminuya la probabilidad de fallo en caso la estructura absorba una mayor cantidad de energía durante el sismo establecido.

Para el análisis no lineal, como primer paso se debe hacer la reducción de rigideces en los elementos estructurales, tomando los porcentajes de estas según se estipule en las normas correspondientes:

- Normas FEMA 440 y ATC 40:

Tabla 3

Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según las Normas FEMA 440 y ATC 40 (FEMA 440 y ATC 40)

Elemento	Flexión	Corte
Vigas	50%	40%
Columnas	70%	40%

- Normas ASCE 41-17:

Tabla 4

Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según la Norma ASCE 41-17 (ASCE 41-17)

Elemento	Flexión	Corte
Vigas	30%	40%
Columnas	70%	40%
$P \geq 0.5f'cAg$		
Columnas	30%	40%
$P \leq 0.1f'cAg$		

Considerando la combinación de cargas 1.4D+1.7L para el valor de P; si este tiene un valor que se encuentra entre ambas condiciones, se realiza una interpolación lineal para la determinación del porcentaje de reducción.

- **Definición de Rótulas Plásticas**

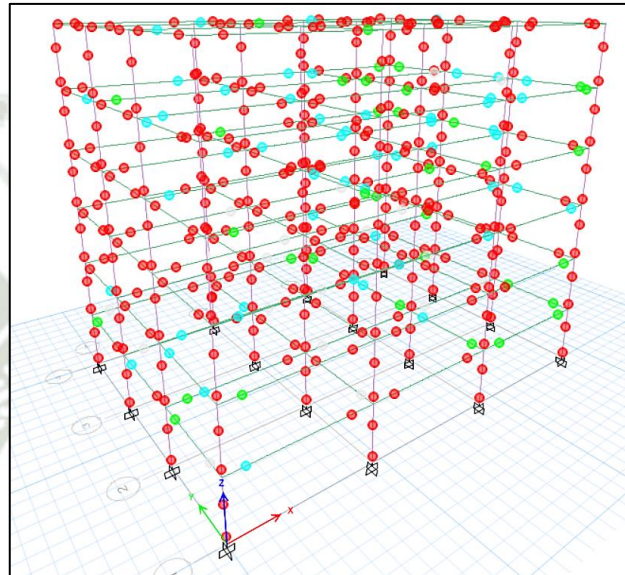
Las rótulas plásticas se usan como herramienta para el análisis no lineal en estructuras, ya que ayudan a representar el comportamiento no lineal de sus elementos; se utilizan con el objetivo de modelar en el modelo la respuesta sísmica de una forma adecuada para su estado elástico- plástico.

Para la aplicación del Análisis no lineal Tiempo Historia se deben aplicar aceleraciones sísmicas a través del tiempo a la estructura, de lo que se obtiene su respuesta dinámica; al asignarle rótulas plásticas en el modelamiento a sus elementos estructurales, estas simulan la resistencia y capacidad de deformación de los mismos antes de que ocurra la falla.

La representación más detallada que se obtiene permite la evaluación más precisa de seguridad y vulnerabilidad de la estructura cuando está expuesta a cargas sísmicas.

Figura 9

Captura del modelo de la estructura con representación de las rótulas plásticas (ETABS 20.0.0, 2023)



- *Método de Coeficientes:*

Las rótulas plásticas se asignan en las vigas con el fin de mejorar su capacidad de resistir las cargas sísmicas, se permite deformación plástica en la rótula, lo cual puede evitar que la viga falle cuando sea expuesta a estas cargas, puede lograr un incremento en la ductilidad de la estructura y minimizar el riesgo de daños y de colapso.

Para el desarrollo de este paso, se utilizará como ejemplo, la viga V-1 de 60.00 x 50.00 descrita en el punto anterior, usando sus propiedades y el Diagrama Momento- Curvatura.

Se evalúan las condiciones de la viga según la Condición i para elementos controlados por flexión de la Tabla 10-7: Parámetros de modelo y criterios de aceptación numéricos para procedimientos no lineales: vigas de concreto armado, de la norma ASCE 41-17, la cual se presentará posteriormente en la aplicación de rótulas plásticas por el método coeficiente en el desarrollo de la parte aplicativa de la presente investigación.

Seguidamente, se hace la determinar de la distancia relativa de la rótula plástica con respecto a la luz libre del elemento; para la obtención de la longitud plástica del elemento, se tienen

diferentes ecuaciones como resultado de las múltiples investigaciones sobre la plasticidad y rótulas plásticas en elementos estructurales de concreto armado.

Tabla 5

Expresiones empíricas para la longitud plástica (Velásquez Londoño, 2017)

Referencia del Investigador	Expresión de Longitud de Rótula Plástica
(Baker 1956)	$k \cdot (L/d)^{1/4} \cdot d$
(Sawjer Jr 1964)	$0,25 \cdot d + 0,075 \cdot L$
(Mattock 1964)	$0,5 \cdot d + 0,05 \cdot L$
(W. Gene Corley 1966)	$0,5 \cdot d + 0,2 \cdot (d)^{1/2} \cdot (L/d)$
(Park et al 1982)	$0,42 \cdot L$
(Priestley and Park 1987)	$0,08 \cdot L + 6 \cdot d$
(Paulay and Priestley 1992)	$0,08 \cdot L + 0,022 \cdot d \cdot f_y$
(Sheikh and Khoury 1993)	$1,0 \cdot L$
(Watson, S., & Park 1994)	$\frac{L_c}{h} = 1 + 2,8 \frac{P}{d \cdot f_{ck} \cdot A}$
(Panagiotakos and Fardis 2001)	$0,18 \cdot L + 0,021 \cdot d \cdot f_y$
(Bae SJ and Bayrak O 2008)	$\frac{L_p}{h} = \left(0,3 \left(\frac{P}{P_0}\right) + 3 \left(\frac{A_s}{A_g}\right) - 0,1\right) \cdot \left(\frac{L}{h}\right) + 0,25$
(Berry et al 2008)	$0,05 \cdot L + \frac{0,1 \cdot d \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$
(Bairán J. and Bou I. 2014)	$\left(1 - \frac{M_y}{M_u} + \left(1 - \frac{1}{2} \frac{V_y L_v}{M_u}\right) \frac{z}{L_v} \cot \theta\right) L_v$

Con estos datos se hace la asignación de rótulas plásticas en el software en el que esté representado el modelamiento previo de la estructura.

- *Método de Fibras:*

El método de fibras en rótulas plásticas es un enfoque utilizado en el diseño estructural para mejorar la representación del comportamiento de la respuesta sísmica de las estructuras. Este método implica la división virtual de elementos en fibras según los materiales que componen la sección transversal como son el concreto y el acero para el análisis usando rótulas plásticas, lo que aumenta la resistencia y ductilidad de las rótulas, permitiendo que las estructuras puedan deformarse y absorber energía debido a la asignación de registros sísmicos.

En este método se consideran los efectos de la rotación y plastificación dentro del comportamiento de los elementos, es una herramienta importante para el análisis estructural

no lineal, por lo que su uso es común en los softwares de análisis y diseño sismorresistente, ya que permite la determinación de la cantidad de rótulas plásticas y su ubicación aumentando la precisión y seguridad en el diseño.

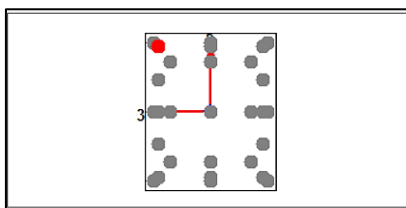
Es conveniente utilizar el método de fibras para casos en donde sea necesario un análisis más preciso y detallado, especialmente cuando se tienen secciones geométricas irregulares que estén expuestas a cargas sísmicas significativas.

Además se debe tener en cuenta el uso que se le da al método según las dimensiones de los elementos a la que se le aplique; en el caso de rótulas plásticas, se modela comúnmente en elementos lineales o unidimensionales como vigas, columnas o barras, debido a que tienen secciones transversales más pequeñas y se puede idealizar su comportamiento con una rótula plástica al inicio del elemento y una al final, ubicadas donde se espera que se produzcan mayores deformaciones plásticas, sin embargo, el uso del método de fibras corresponde a elementos con una mayor área como placas o muros, teniendo una mejor representación del comportamiento plástico de la sección a lo largo de toda su extensión que la colocación de rótulas plásticas en puntos específicos. Teniendo elementos de mayores dimensiones de sección, se espera que la rigidez y las deformaciones sean variables en diferentes puntos del área; por ejemplo, en el punto más alejado del eje neutro, el elemento experimenta una deformación mayor que los puntos más cercanos al eje neutro, este método considera estas variaciones, permitiendo el análisis de la sección dividida en fibras, las cuales pueden tener propiedades geométricas y mecánicas diferentes.

Para el análisis, se utiliza el método de fibras en columnas, ya que su comportamiento sigue la flexocompresión.

Figura 10

Captura de representación de fibras en sección de columna definida por el software (ETABS 20.0.0, 2023)



2.4. Conceptos Básicos de Sismología

2.4.1. Generación de Movimientos Sísmicos

Desde el inicio de la historia el origen de los sismos ha sido de mucho interés para el hombre. En las civilizaciones más antiguas se le adjudicaba causas místicas, ejemplos de esto son Poseidón en la mitología griega y Pachacamac o dios de los temblores en la mitología incaica; no fue sino hasta la Edad Antigua donde el hombre empezó a darle causas naturales a este fenómeno.

En el año 585 a.C, Tales de Mileto propone que la tierra flotaba sobre el océano, cuando este se movía, se generaban los sismos y en caso de movimientos fuertes la superficie se fracturaba.

Entre los años 384 y 322 a.C, Aristóteles junto a otros filósofos creyeron que los terremotos eran causados por exhalaciones (aire o vapores) que se encontraban en cavidades bajo tierra, estas hacían temblar la tierra sobre ellas al buscar salir a la superficie.

Se podría considerar que la idea actual comienza en el año 1668, cuando Hooke describe los sismos como la respuesta elástica ante fenómenos geológicos; sin embargo, fue en el siglo pasado cuando se empieza a relacionar las fallas observables en el terreno con los terremotos, uno de los primeros defensores de esta idea fue Von Humbolt. Ya en el siglo XIX, comienza la teoría de la Elasticidad con Navier, y se ven los primeros aportes para el análisis y estudio de ondas por parte de Cauchy y Poisson.

En la actualidad se tiene la teoría de tectónica de placas, en la que se fundamenta el origen de los sismos.

“Los sismos se concentran en franjas que coinciden con los límites de las placas tectónicas. Esto se debe a que el mecanismo de generación de los sismos tiene que ver con la acumulación de energía elástica en los bordes de una falla.” (Pérez-Gavilán, Aguirre, & Ramírez, 2018).

Figura 11

Placas Tectónicas (USGS, 2012)



2.4.2. Clasificación de Sismos

Clasificando a los sismos por su tectónica, pueden ser: Interplaca (con mayor profundidad y magnitud, se producen entre placas) o Intraplaca (menos profundos, por lo que hay un impacto con la superficie mayor y, por lo tanto, más destructivo).

Si se tiene en cuenta la profundidad, pueden clasificarse en: Superficiales (la profundidad es menor a 70 km), Intermedio (su profundidad está entre 70 y 450 km) o Profundos (su profundidad es mayor a 450 km).

Se puede considerar otra forma de clasificarlos como se señala en la NTE 030; en Sismos leves, moderados y severos; sin embargo, no se definen parámetros claros para hacer esta clasificación como en los casos anteriores.

2.4.3. Riesgo y Vulnerabilidad Sísmica

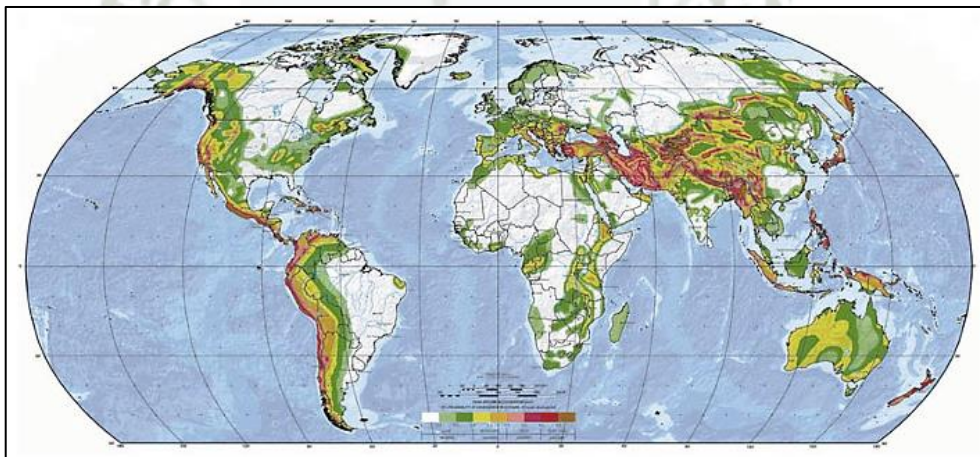
Se puede definir vulnerabilidad sísmica como la susceptibilidad de un determinado lugar o unidad de estudio, evaluando su resiliencia o capacidad de recuperación después de ocurrido el sismo; esta puede tener varias causantes, como la sobrepoblación en algunas ciudades y su insuficiente dotación de viviendas, la falta de planificación en prevención o el poco cumplimiento individual, y en algunos casos institucional, de las especificaciones que deberían cumplirse en la construcción de edificaciones.

Si se habla de vulnerabilidad sísmica en una edificación en específico, se evalúa su susceptibilidad a sufrir daños en sus elementos estructurales o daños globales a raíz de un sismo.

En ocasiones, el concepto de vulnerabilidad se confunde con amenaza, cuya definición es la probabilidad de ocurrencia de movimientos sísmicos de cierta magnitud en un en un determinado lugar considerando un periodo de tiempo. Finalmente, el riesgo sísmico depende de estos dos factores expresados en funciones probabilísticas que, según metodologías específicas de análisis y diseño, pueden establecerse en indicadores o escalas cualitativas, como amenaza alta, intermedia o baja. En el mundo, los países con mayor amenaza son los que se encuentran en llamado “Cinturón del Pacífico”, ya que debido a su ubicación geográfica es en donde se ve más incidencia de sismos con mayor magnitud.

Figura 12

Mapa de Amenaza Sísmica Global (GSHAP, 1999)



2.5. Dinámica Estructural: Análisis Tiempo- Historia

El análisis no lineal Tiempo- Historia es utilizado en la ingeniería estructural como método de análisis y verificación sísmica para aumentar su seguridad y precisión, este permite la simulación del comportamiento en respuesta a las cargas de un evento sísmico de la estructura en la que se aplica.

Para su aplicación es necesario el modelamiento de una estructura cuyo diseño cumpla con las consideraciones de las normas sismorresistentes y registros sísmicos de eventos reales que se podrían dar en la zona en la que se ubica la estructura.

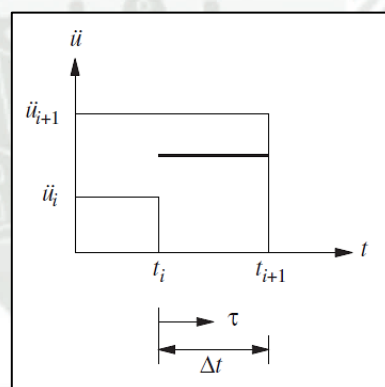
Una vez que se ha realizado tanto el tratamiento de la estructura como el tratamiento de los registros, se utiliza el software ETABS para el análisis dinámico y el cálculo de la respuesta de la estructura en el transcurso del tiempo que ocurre el sismo, definiendo las características de la zona, la estructura y las cargas sísmicas. Para obtener la respuesta se deben aplicar los espectros de respuesta de los sismos al modelamiento de la estructura.

Para el procesamiento de los registros sísmicos y la respuesta de la estructura el software usa el método iteraciones de Newmark usando las ecuaciones del movimiento, el cual se basa en la integración de los gráficos aceleración- tiempo que se forman con los datos de los registros sísmicos elegidos, estos gráficos pueden representar la aceleración de las siguientes formas:

- Aceleración Constante:

Figura 13

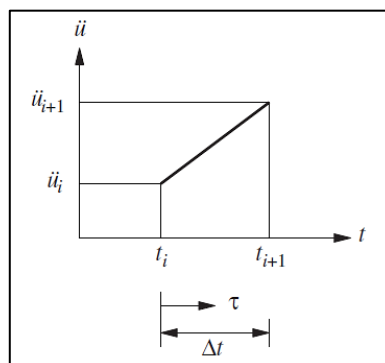
Gráfico Tiempo- Aceleración, considerando una aceleración constante (Chopra, 2014)



- Aceleración Lineal:

Figura 14

Gráfico Tiempo- Aceleración, considerando una aceleración lineal (Chopra, 2014)



2.5.1. Tratamiento de Registro Sísmico

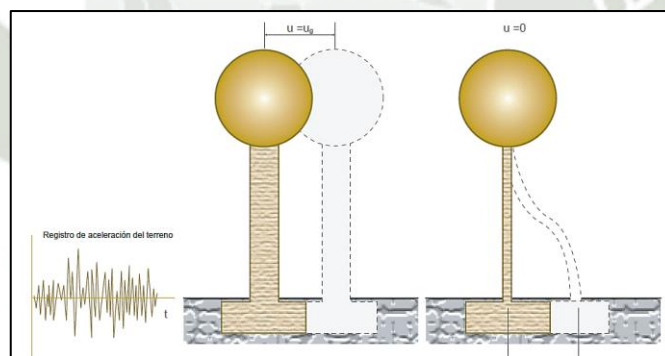
- *Espectro Sísmico*

Los espectros funcionan como un resumen de la respuesta máxima de una estructura durante un evento sísmico de forma gráfica, se pueden expresar como desplazamientos, aceleración o velocidad. Inicialmente, fueron propuestos en 1932 por Maurice Anthony Biot y tuvieron un mayor desarrollo por Newmark, Housner y otros investigadores.

Estas respuestas máximas se representan en las ordenadas para un determinado amortiguamiento y en las abscisas se representa la frecuencia o el periodo natural de la estructura. Cuando hay movimientos sísmicos, la base de la edificación comienza a vibrar, si estas fueran completamente rígidas, toda la estructura tendría el mismo movimiento, pero debido a su flexibilidad, esta vibración puede incrementarse o disminuir con respecto a su base, por lo que las aceleraciones de ambas son diferentes.

Figura 15

Respuesta sísmica de estructuras de períodos cortos (muy rígidas) y de períodos largos (muy flexibles) (Lafuente, Grases, & Genatios , 2014)



- *Registros Compatibles*

La selección de registros sísmicos adecuados para el análisis de tiempo historia es un aspecto esencial en la evaluación de la respuesta sísmica de las estructuras. Este procedimiento involucra la identificación y utilización de registros sísmicos que reflejen de manera precisa las características del movimiento del suelo en la región de interés y que se ajusten a los requerimientos de diseño de la estructura.

- Criterios para la Selección de Sismos:
 - Magnitud del Sismo: esta debe de ser coherente con la amenaza sísmica que se presenta en la región en la que se sitúa la estructura y a sus demandas de diseño.

- Distancia al Epicentro: La distancia entre el epicentro del sismo y la ubicación del proyecto puede afectar en la amplitud y frecuencia de las ondas que tienen que viajar a través del suelo.
- Orientación del sismo: La orientación del sismo correspondiente al registro elegido debe de ser coherente con la ubicación del proyecto.
- Confiabilidad: Se deben obtener los registros de bases de datos confiables.

La NTE 030 de diseño sismorresistente indica que al menos deben tomarse 3 eventos sísmicos con sus dos direcciones ortogonales cada uno para el análisis; cada evento debe elegirse, corregirse y escalarse individualmente.

Para la elección de los registros sísmicos, se deben tomar en cuenta diferentes criterios como sus magnitudes, distancia a las fallas, la zonificación en la que transcurren y su proximidad, de esta forma se debe garantizar la concordancia entre ellos, en especial con el de mayor magnitud.

En la Norma ASCE 7-161, también se señalan los criterios para que los sismos elegidos sean compatibles con la estructura, entre ellos; la magnitud de los sismos elegidos debe ser representativa según la amenaza sísmica esperada en la ubicación de la estructura, las condiciones de suelo deben ser similares de la zona de interés para que la aceleración del suelo coincida con la aceleración que tendría en un posible evento sísmico y se recomienda tener en cuenta la importancia de la edificación para seleccionar los sismos de acuerdo a su magnitud.

La selección de registros sísmicos inapropiados puede generar análisis carentes de realismo y con una tendencia a la subestimación.

- ***Corrección de Línea Base y Filtrado***

Elegir registros sísmicos apropiados para el análisis de eventos en el tiempo es crucial para evaluar de manera precisa cómo las estructuras responden a los terremotos. No obstante, estos registros pueden tener interferencias y alteraciones que deben tratarse previamente al análisis. Aplicar la corrección de línea base y filtrar los registros son enfoques clave para aumentar la calidad de los registros sísmicos y obtener resultados confiables en el análisis temporal.

- Corrección de Línea Base:

La corrección de línea base comprende la eliminación la parte de baja frecuencia y el desplazamiento de la señal sísmica. La parte de baja frecuencia proviene de la vibración inherente de los instrumentos, mientras que el desplazamiento se origina en factores como el movimiento del suelo. Este procedimiento es esencial para separar la parte de alta frecuencia, que contiene datos cruciales sobre el auténtico movimiento sísmico.

Puede realizarse de las siguientes formas:

- Transformada de Fourier: La transformada de Fourier se utiliza para descomponer la señal sísmica en sus componentes de frecuencia y eliminar la componente de baja frecuencia.
 - Filtros Pasaaltos: Se aplican filtros para atenuar la componente de baja frecuencia y conservar las frecuencias más altas asociadas con el movimiento sísmico.
 - Métodos de Diferenciación: La diferenciación numérica puede utilizarse para eliminar el desplazamiento de la señal, dejando solo la aceleración.
- Filtrado de Registros Sísmicos:

El filtrado de registros sísmicos consiste en suprimir las frecuencias no deseadas o el ruido que podría perjudicar la calidad de la señal sísmica. Para llevar a cabo este proceso, se aplican filtros digitales que permiten o reducen la intensidad de ciertos rangos de frecuencia.

Puede realizarse de las siguientes formas:

- Filtros Pasaaltos: Atenúan las frecuencias bajas no deseadas, eliminando el ruido de la línea base y conservando las frecuencias más altas asociadas con el movimiento sísmico.
- Filtros Pasa- bandas: Permiten el paso de un rango específico de frecuencias mientras atenúan las demás. Pueden utilizarse para enfocarse en bandas de frecuencia relevantes.
- Filtros Elimina- bandas: Atenúan un rango específico de frecuencias mientras permiten el paso de las demás. Pueden utilizarse para eliminar frecuencias de interferencia.

La corrección de línea base se hace en un registro sísmico para eliminar la intervención de fuentes externas de aceleración, como puede ser la vibración de equipo de medición o la gravedad, de esta forma se pueden tener valores más precisos y claros que la señal real sísmica.

- Transformada de Fourier

En 1821, Fourier propuso que cualquier función, sin importar si es continua o discontinua, podría ser descompuesta en una serie de senos. Este avance fue revisado y ampliado por otros investigadores, sentando así los cimientos de las distintas variaciones de la transformada de Fourier que se han empleado desde entonces.

La Transformada de Fourier es una herramienta matemática que se emplea para descomponer una señal en sus frecuencias constituyentes. Si se piensa en una señal en el contexto temporal, como una onda sísmica capturada por un sismógrafo, aunque parezca complicada, en realidad podría estar compuesta por varias frecuencias que se superponen. La Transformada de Fourier posibilita la representación y el análisis de estas frecuencias individuales.

El procedimiento de la Transformada de Fourier consiste en convertir una señal desde el ámbito temporal al ámbito de frecuencia. Este proceso matemático se ejecuta aplicando una fórmula específica que emplea senos y cosenos para describir las distintas frecuencias presentes en la señal original.

Representación de la ecuación de la Transformada de Fourier:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt$$

Donde:

- $F(\omega)$: Transformada de Fourier de $f(t)$ en función de la frecuencia angular ω .
- $f(t)$: Función en dominio del tiempo.
- $e^{-i\omega t}$: Base exponencial, esta incluye el número imaginario i para permitir describir las diferentes componentes de frecuencia en una señal a través de la Transformada de Fourier.

- dt : Diferencial del tiempo.

La fórmula de la Transformada de Fourier transforma una señal temporal en un gráfico en el ámbito de frecuencia, conocido como espectro de frecuencia. En este espectro, cada frecuencia individual se muestra mediante un pico, y la altura de estos picos refleja la amplitud de cada frecuencia en la señal.

- Herramienta:

Para este procedimiento se tiene como herramienta el software Seismo Signal, el cual se encarga de hacer la corrección utilizando la transformada de Fourier obteniendo un registro más preciso para el análisis.

- ***Escalamiento o Ajuste del Registro Sísmico***

El escalamiento o ajuste de los registros sísmicos es un paso fundamental al preparar datos para el análisis de eventos en la historia temporal en la ingeniería sísmica. Esta técnica asegura que los registros sísmicos se adapten a las particularidades del lugar en cuestión y asegura que los análisis subsiguientes reflejen con precisión cómo la estructura responde a eventos sísmicos.

Se debe hacer el escalamiento o ajuste de los registros sísmicos que se usarán para que sus respuestas sean consistentes con la respuesta del espectro objetivo definido. Los registros sísmicos obtenidos pueden no ser directamente adecuados para una estructura particular debido a discrepancias en condiciones geotécnicas, distancias al epicentro y otras variables. El proceso de escalamiento o ajuste tiene como objetivo rectificar estas disparidades y lograr que los registros sísmicos reflejen con precisión la amenaza sísmica en el lugar de interés.

- Tipos de Escalamiento:
 - Escalamiento Espectral: Consiste en adaptar los espectros de amplitud y frecuencia del registro sísmico para concordar con el espectro objetivo o las particularidades del suelo en el lugar. Este ajuste se lleva a cabo aplicando factores de escala que multiplican las amplitudes en diversas bandas de frecuencia.
 - Escalamiento Temporal: Implica ajustar el registro sísmico en términos de tiempo, alterando su duración o características temporales para que se asemejen a las particularidades del lugar o al terremoto que se toma como referencia para el diseño.

- Consideración de Efectos de Sitio:
 - Amplificación de Amplitud: En suelos sueltos o sedimentarios, las ondas sísmicas pueden aumentar su amplitud, generando mayores aceleraciones en la superficie que en terrenos rocosos.
 - Frecuencias de Resonancia: Si las aceleraciones de la estructura coinciden con las aceleraciones del suelo generadas por las ondas sísmicas, estas pueden tener una amplificación que varíe la frecuencia.
 - Atenuación de Alta Frecuencia: En terrenos profundos, las ondas de alta frecuencia se debilitan más rápido que las de baja frecuencia, lo que reduce su energía en los registros sísmicos.
 - Reflexiones y Difracciones: Las ondas sísmicas cambian al encontrar distintos tipos de suelo o roca, alterando su forma y amplitud.
 - Deslizamientos y Licuefacción: En áreas propensas a deslizamientos o licuefacción, la interacción suelo-estructura puede agravar los efectos de sitio.

Los efectos de sitio pueden causar cambios importantes en las aceleraciones, velocidades y desplazamientos sísmicos registrados en diferentes ubicaciones, incluso en lugares cercanos. Por lo tanto, es esencial tener en cuenta y reducir estos efectos al evaluar cómo las estructuras responden a los terremotos y al escoger registros sísmicos para el Análisis Tiempo- Historia.

- Herramienta:

El proceso de escalamiento o ajuste se realiza usando como herramienta el software Seismo Match, este hace la consistencia entre los registros sísmicos elegidos y el objetivo habiéndolos corregido previamente. Los sismos se escalan para el rango de $0.2T$ a $1.5T$ conforme indica la NTE 030, se debe realizar el escalamiento ya que, al estar en el rango no lineal, el periodo es variable, si durante el evento la estructura pierde rigidez, el periodo va aumentando.

- ***Cargas Generadas del Registro Sísmico***

Las cargas monotónicas y cíclicas son dos tipos de cargas que se aplican para el análisis estructural de diferentes edificaciones, teniendo las siguientes diferencias por su naturaleza y efectos en el comportamiento estructural:

- Carga Monotónica:
 - Se aplica gradualmente en una sola dirección.
 - Aumenta constantemente hasta alcanzar una resistencia o deformación deseada.
 - No involucra ciclos de carga y descarga repetidos.
 - Ejemplos incluyen cargas gravitacionales como el peso de una estructura.
- Carga Cíclica:
 - Varía en magnitud y dirección repetidamente en el tiempo.
 - Incluye ciclos de carga y descarga en patrones predefinidos.
 - Común en eventos sísmicos con movimientos vibratorios periódicos.
 - Puede causar fatiga y degradación en los materiales debido a las fluctuaciones repetidas.

Al obtener las cargas de los valores de las aceleraciones correspondientes a cada componente de los registros sísmicos seleccionados, el tipo de carga generadas son cíclicas, ya que cambian de amplitud y dirección, aumentando y disminuyendo en carga y descarga a lo largo del tiempo en el que transcurrió el evento sísmico, después de procesamiento del modelo para el análisis, se notara en los resultados la naturaleza de estas cargas.

2.5.2. Modelos de Histéresis

Para la evaluación de estructuras de concreto armado frente a cargas sísmicas mediante Análisis Tiempo- Historia, es crucial comprender y representar el comportamiento no lineal de los materiales, particularmente del concreto y el acero de refuerzo. Para lograrlo, se utilizan modelos de histéresis de materiales, herramientas vitales que permiten capturar cómo estos materiales responden de forma no lineal a cargas cíclicas o repetitivas.

El concreto armado presenta un comportamiento no lineal debido a factores como fisuración, aplastamiento y fluencia. En el Análisis Tiempo- Historia, es vital representar con precisión este comportamiento para anticipar deformaciones y daños realistas. Los modelos de histéresis de materiales se emplean para describir las relaciones entre esfuerzo y deformación de los materiales en situaciones no lineales.

Las relaciones entre resistencia y deformación varían para diferentes partes de una estructura considerando cada elemento, sus materiales, secciones y piso en el que se ubican, estas relaciones observadas en pruebas de laboratorio se simplifican en modelos de histéresis de resistencia-deformación.

- ***Curva Primaria o Esqueleto:***

Se denomina como curva primaria a la curva formada por la relación entre resistencia y deformación correspondiente a un elemento al que se le aplica una carga monotónica que va creciendo de forma continua, la curva esqueleto funciona como la envolvente de las curvas de histéresis formadas por la aplicación de cargas cíclicas en el elemento describiendo su relación resistencia- deformación para este caso. Para elementos de concreto armado, la curva esqueleto normalmente se presenta como una relación trilineal (consta de tres segmentos presentando cambios en su rigidez al agrietamiento por tracción de fluencia del refuerzo longitudinal y la flexión. La forma de esta curva esqueleto de un elemento debe definirse considerando las propiedades mecánicas de sus materiales y su geometría.

- ***Comportamiento:***

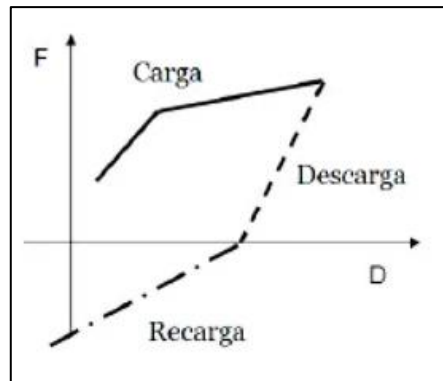
La rigidez disminuye desde su valor elástico inicial a medida que aumenta la deformación inelástica y el número de ciclos con carga y descarga.

El módulo elástico del concreto varía notoriamente con su resistencia y composición, las primeras grietas afectan su rigidez haciendo que disminuya. Prever la deformación de fluencia es complejo debido a la interacción de las deformaciones de flexión y corte, además de deformaciones adicionales por el deslizamiento de la barra de refuerzo a lo largo de la dirección del miembro y el repliegue del refuerzo longitudinal en la zona de anclaje.

- ***Composición:***

Figura 16

Composición de curva de Histéresis (*Purca, 2012*)



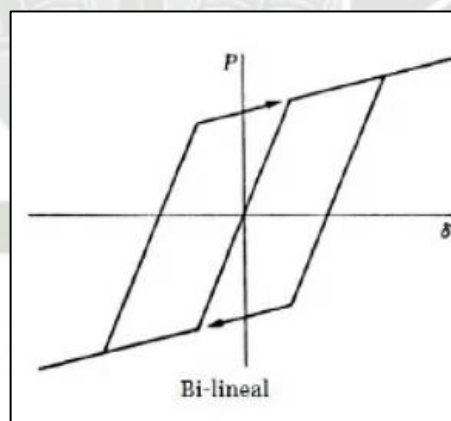
- Carga: Es este rango de la curva, el valor absoluto de la deformación y de la resistencia del material aumenta.
- Descarga: Este rango se encuentra justo después del rango de carga o de recarga, dentro de este, el valor absoluto de la deformación y de la resistencia disminuyen.
- Recarga: Este rango se da antes de que el punto de respuesta alcance la curva primaria y después de la descarga el valor absoluto de la deformación y de la resistencia del material aumenta.
- Requerimientos mínimos para la elaboración de modelos de histéresis:
 - Colocar deformaciones con amplitud pequeña después de aplicar deformaciones de gran amplitud para distinguir las diferencias en el comportamiento del deslizamiento.
 - Aplicar al menos dos ciclos de carga y descarga de amplitud suficiente para distinguir la disminución en la amplitud de la rigidez.
- **Características Generales:**
- La tensión de fluencia en el acero longitudinal y la fisuración del concreto por flexión generan los cambios en la rigidez.
- Si se calcula el promedio entre los picos de rigidez de cada ciclo, van disminuyendo conforme se pase al siguiente ciclo debido a la formación de nuevas fisuras y disminución de la rigidez del acero longitudinal, aunque la amplitud de los desplazamientos se mantenga en los mismos valores aproximados.
- Las características de la curva de histéresis dependen de las cargas cíclicas aplicadas.
- Si el comportamiento del elemento es principalmente flexión, los valores de resistencia a la deflexión se aproximan en dos ciclos consecutivos.

- **Tipos de Modelos:**
- **Modelo Bilineal:** En la etapa inicial del análisis dinámico no lineal, muchos investigadores utilizaron el modelo de histéresis elastoplástico perfecto, en este modelo, el punto de respuesta sigue la línea de rigidez elástica antes de alcanzar el límite de elasticidad, pasando la fluencia, el punto de respuesta avanza a lo largo del rango perfectamente plástica hasta que ocurre una descarga, una vez ocurrida la descarga, el punto de respuesta recorre la línea paralela al rango elástico inicial. El modelo no considera disipación de energía ni disminución de la rigidez mientras se aplican cargas cíclicas al elemento.

En el modelo bilineal, se asigna una pendiente positiva a la rigidez después de la fluencia para reflejar el endurecimiento por deformación concreto armado. La rigidez en la descarga que ocurre posterior a la fluencia equivale a la rigidez elástica inicial. Sin embargo, este modelo no toma en cuenta la disipación de energía durante oscilaciones pequeñas ni la disminución de la rigidez como consecuencia de la deformación inelástica.

Figura 17

Modelo Bilineal (*Purca, 2012*).



- **Modelo Trilineal:** En Fukada- Japón, alrededor del año 1969 se usó con frecuencia este modelo para representar la rigidez en elementos que trabajan por flexión de concreto armado. Hasta llegar al punto de fluencia, su comportamiento es similar al modelo bilineal. Cuando el punto de respuesta pasa del punto de fluencia, este sigue la parte de endurecimiento por deformación de la curva primaria. En el punto en el que se termina el rango de descarga, este punto se considera como el nuevo punto de fluencia para un nuevo ciclo. El modelo funciona como bilineal entre los puntos positivos y

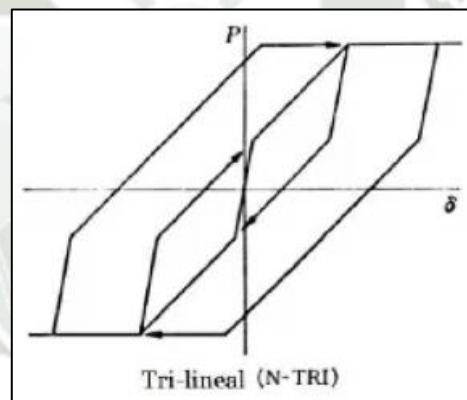
negativos de la fluencia con disminución de rigidez proporcional a las pendientes que se forman de conectar los puntos de fluencia iniciales y los actuales.

Propiedades del Modelo Trilineal:

- En la histéresis estacionaria, la disipación de energía es proporcional a la amplitud de su desplazamiento.
- La rigidez disminuye continuamente, pero con crecimiento de su amplitud, alcanzando la máxima después del punto de fluencia.
- En el primer ciclo, se tiene una gran disipación de energía después del punto de fluencia y en los siguientes ciclos se vuelve estacionaria.

Figura 18

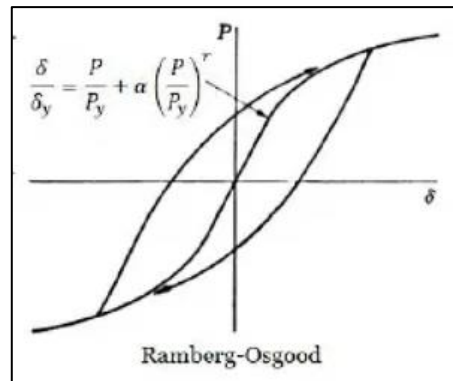
Modelo Trilineal (*Purca, 2012*).



- Modelo de Rosgood: Este modelo se utiliza especialmente para obtener la relación esfuerzo- deformación usando el análisis con el método de elementos finitos o modelo de lámina en elementos estructurales de acero. Una característica de este modelo es que aún si su factor de ductilidad es menor que 1, se puede considerar la disipación de energía por histéresis.

Figura 19

Modelo de Rosgood (*Purca, 2012*)



3. MARCO LEGAL

- NTE 030 Diseño Sismorresistente.
- Norma E.060 Concreto Armado.
- Norma FEMA 440 ("Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures")
- Norma ATC 40 ("Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings")
- Norma ACI 318- 2014 ("American Concrete Institute Building Code Requirements for Structural Concrete")
- Norma ASCE 41-17 (Seismic evaluation and retrofit of existing buildings)
- Norma ASCE 7-16 (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and other Structures)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tipo de Investigación

- *Por su Finalidad:*

Los objetivos de la presente investigación corresponden al tipo Puro o Básico, ya que busca analizar y sistematizar los conocimientos sobre el Análisis Tiempo-Historia, para practicidad en sus futuras aplicaciones.

- *Por sus Fuentes:*

Las fuentes con las que se realizará esta investigación serán Bibliográficas, se obtendrán de la revisión de diferentes libros o documentos que aborden el tema.

- *Por su tipo de Estudio:*

Considerando el objeto de estudio para cumplir con los objetivos de la investigación, se realizará un Estudio de caso; este permitirá un análisis profundo, contextualizado y detallado de los procedimientos y métodos en la aplicación del análisis no lineal tiempo-historia en estructuras aporcadas de concreto armado. Teniendo los siguientes factores en cuenta:

- **Comprensión Detallada:** La naturaleza técnica y especializada de los procedimientos de análisis no lineal tiempo-historia requiere un examen minucioso y detallado. Un estudio de caso permitirá un análisis profundo de un caso representativo, lo que brindará claridad sobre los pasos involucrados, los desafíos encontrados y las soluciones aplicadas.
- **Contexto:** Un estudio de caso proporciona la oportunidad de considerar el análisis en el contexto real de estructuras aporcadas de concreto armado. Esto permitirá abordar los aspectos prácticos que surgen al aplicar los procedimientos de análisis no lineal tiempo-historia en proyectos de ingeniería.
- **Comparación y Evaluación:** Al considerar dos métodos diferentes en el mismo caso representativo, podrás comparar y evaluar cómo los procedimientos se comportan en diferentes situaciones.

- Aplicación Práctica: Los resultados de un estudio de caso pueden proporcionar pautas y recomendaciones prácticas para la implementación efectiva de los procedimientos de análisis no lineal tiempo-historia en estructuras similares

1.2. Nivel de Investigación

Al estar dirigida a explicar como un fenómeno, en este caso los sismos (descritos a través de registros sísmicos), puede afectar a las estructuras (mediante su respuesta sísmica), considerando distintos tipos de cada factor, esta investigación se considera de nivel Explicativo.

1.3. Enfoque de Investigación

Tiene un enfoque Cuantitativo, al ser fundamental la recolección de datos de una previa medición o estimación de magnitudes en su procedimiento, para poder llegar a la recopilación de datos que cumplan el objetivo de la investigación, se hace el modelamiento de una estructura hipotética obteniendo valores cuantitativos para la verificación de los procedimientos analizados.

2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Variables

- Variable Independiente:

Procedimientos para la aplicación del Análisis no Lineal Tiempo-Historia en estructuras aporticadas de concreto armado.

- Definición Conceptual: Pasos a seguir para la aplicación del Análisis Tiempo-Historia en estructuras aporticadas de concreto armado.
- Definición Operacional: Metodologías que se siguen para la aplicación del Análisis Tiempo-Historia en pórticos de concreto armado considerando diferentes tipos de sismo.

- Variable Dependiente:

Comportamiento sísmico de estructuras aporticadas de concreto armado.

- Definición Conceptual: El comportamiento sísmico abarca cómo las estructuras y materiales reaccionan durante un evento sísmico, considerando fuerzas, deformaciones, capacidad de resistencia y seguridad.
- Definición Operacional: Analizar el comportamiento sísmico en estructuras de concreto armado sujetos a los procedimientos para la aplicación del Análisis no Lineal Tiempo-Historia.

2.2. Operacionalización de Variables

Tabla 6

Operacionalización de variable independiente (Talavera Flores, 2023)

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala	Herramienta	
Procedimientos para la aplicación del Análisis no Lineal Tiempo-Historia	Tratamiento de la Estructura	Modelamiento	Modelo	Software ETABS 21.0.0	
		Reducción de Rigidez	Porcentaje	Normas FEMA 440, ATC 40 y ASCE 41-17	
		Asignación de Rótulas Plásticas	Mét. de Coeficientes	Norma ASCE 41-17 y Software ETABS 21.0.0	
			Mét. de Fibras	Software ETABS 21.0.0	
		Selección de Registros Sísmicos	Magnitud	ML (magnitud local)	JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
			Aceleraciones	cm/s ²	
		Profundidad	km		
	Corrección de Linea base o filtrado	Aceleración	g	Software Seismo Signal	
		Tiempo	s	(Transformada de Fourier)	
		Duración significativa	s		
	Escalamiento o Ajuste	Periodo fundamental	s	Software Seismo Match	
		Aceleración	g		
Tiempo		s			

Tabla 7

Opeconalización de variable dependiente (Talavera Flores, 2023)

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala	Herramienta
Comportamiento sísmico no lineal en estructuras aporticadas de concreto armado	Comportamiento	Fuerza	kgf	Modelamiento en
	sísmico de modelo con	Aceleración	m/s	Software ETABS 21.0.0
	método de	Desplazamiento	mm	
	coeficientes	Tiempo	s	
	Comportamiento	Fuerza	kgf	Modelamiento en
	sísmico de modelo con	Aceleración	m/s	Software ETABS 21.0.0
	método de fibras	Desplazamiento	mm	
		Tiempo	s	
	Evaluación de Rótulas	Ocupación Inmediata	IO	Modelamiento en
	plásticas para ambos	Seguridad de Vida	LS	Software ETABS 21.0.0
	métodos	Prevención de Colapso	CP	

3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación de enfoque cuantitativo, al tener un procedimiento de modelos y representaciones matemáticas, además de poder hacer la verificación con los resultados obtenidos, tiene como metodología la aplicación del método estudiado (Análisis Tiempo-Historia), para, durante el proceso, poder analizar los procedimientos efectuados y a su vez, generar una metodología clara y concisa de este paso a paso, para lograr esto, se siguen una serie de pasos descritos en los siguientes puntos:

3.1. Realización del Modelo Lineal

Al tener como objeto de estudio un método de verificación de diseño estructural, el primer paso de la investigación, debe de ser el modelamiento y diseño de una estructura, de esta forma se tendrá una base sobre la cual trabajar efectuando el análisis no lineal Tiempo-Historia, para llevar a cabos este paso, se deben de realizar los siguientes pasos:

- *Definición de parámetros de peligro sísmico:*

Para la definición de parámetros de peligros sísmico se tomó en consideración los factores favorables para el estudio de los resultados obtenidos posteriormente en el análisis no lineal, teniendo como base la NTE 030, se revisó cada parámetro, por ejemplo, en la zonificación

se tomó la Zona 3 al ser una zona sísmica en donde la magnitud de los registros sísmicos recolectados, permitirán ver una diferencia importante con el análisis lineal, además de ser una zona en la que podría ser necesaria la utilización del método en una situación real posterior debido a sus solicitaciones por la carga sísmica; en el caso de las condiciones geotécnicas se tomó un suelo intermedio S2; para la determinación del uso de la estructura, se considera el tipo B de edificaciones importantes, porque el espectro de respuesta que se obtendrá posteriormente tiene aceleraciones considerables y porque es la categoría más importante en la que se puede diseñar con un sistema estructural de pórticos, que cumple con el alcance de la investigación; finalmente, para el diseño lineal, se toma un factor de reducción R de 8 correspondiente al sistema aporticado según lo indicado a la norma de diseño sismorresistente.

- *Predimensionamiento de los elementos estructurales:*

El predimensionamiento de los elementos estructurales se realizó con base en la Norma ACI 318-2014, tanto para vigas como para columnas, teniendo como referencia las dimensiones de las longitudes de los elementos y la concordancia en las uniones de los mismos, dependiendo estas de la disposición en la que se tienen las vigas y columnas.

- Ecuación para predimensionamiento de columnas:

$$A_{col} = \frac{P_{ser}}{0.35f'_c}$$

- Ecuación para predimensionamiento de Vigas:

$$h = \frac{L}{10}$$

- Ecuación para predimensionamiento de Losa Aligerada:

$$h = \frac{L}{20}$$

- *Análisis modal espectral:*

Para el análisis modal espectral, se realizó el modelamiento de la estructura utilizando como herramienta el software ETABS 20.0.0, definiendo primero la disposición de la estructura con los ejes que se usarán para el dibujo, procediendo con la definición de los materiales de

la estructura, que será el concreto y el acero, siguiendo con las secciones obtenidas del predimensionamiento señalado en el punto anterior, el espectro de respuesta para el cual se usan los parámetros de peligro sísmico que también se muestra en puntos anteriores, aplicándole los casos de carga y combinaciones regulados por la NTE 030 y la Norma E.060 y agregándole diafragmas a cada nivel de la estructura para garantizar su comportamiento lineal.

- *Diseño estructural:*

Se hace el procesamiento del modelamiento de la estructura, realizado con las consideraciones descritas en el punto de análisis modal espectral, evaluar e interpretar los resultados obtenidos evaluando los desplazamientos laterales por nivel y garantizando que cumpla con las condiciones que se encuentran en la NTE 030 de diseño sismorresistente, usando la opción de diseño del software ETABS 20.0.0 se obtienen las cantidades y disposición de las barras de acero de refuerzo correspondiente a cada sección de los elementos diseñados, una vez se compruebe que el comportamiento de la estructura analizándola linealmente cumple con las solicitaciones, el modelo queda lista para trabajar sobre él, el análisis no lineal de la estructura.

3.2. Recolección de información en Referencias

Se hizo la revisión en diferentes fuentes de información con respecto al análisis Tiempo-Historia y se organizó esta información para ser aplicada posteriormente, haciendo la recolección de la misma se pudo dividir la preparación para la ejecución del método en el tratamiento de la estructura, el tratamiento de los registros sísmicos, el procesamiento en el software de la no linealidad y finalmente la interpretación de los resultados obtenidos, para los objetivos de esta investigación, este paso es muy importante ya que garantizará la buena recopilación tanto de los pasos a seguir, como la de los conceptos básicos necesarios para el total entendimiento de estos procedimientos, teniendo así un buen resultado que sea funcional y práctico con el formato de manual elegido.

3.3. Tratamiento de la Estructura

Para asegurar una descripción clara del comportamiento de la estructura dentro del rango de la no linealidad, es necesario el tratamiento de la estructura, para lo cual se deben de tener los siguientes pasos:

- *Reducción de rigideces:*

La norma FEMA (Federal Emergency Management Agency) y el ATC (Applied Technology Council) recomiendan reducir las inercias en el análisis sísmico para garantizar la seguridad y la precisión en la simulación de cómo las estructuras responden a las cargas sísmicas. Esta sugerencia se fundamenta en la comprensión de los efectos de segundo orden, la redistribución de momentos y la degradación de la rigidez que pueden manifestarse en sistemas estructurales durante eventos sísmicos.

Se consideran los siguientes puntos para que la reducción de rigideces sea necesaria en este tipo de análisis:

- Durante sismos intensos, las estructuras sufren deformaciones laterales que pueden redistribuir los momentos en su altura. Reducir las inercias en el análisis sísmico ayuda a capturar con precisión estos efectos de segundo orden, especialmente en edificios altos y flexibles.
- Mediante la reducción de inercias, se puede lograr una simulación más aproximada del comportamiento de la estructura frente a cargas sísmicas. Si se conservan las inercias completas en el análisis, la estructura podría comportarse como si fuera más rígida de lo que es en realidad, lo que resultaría en la subestimación la deformación lateral y la redistribución de momentos.
- La disminución de la rigidez de los materiales durante cargas sísmicas repetidas se debe a factores como la fatiga. Se considera esto al reducir las inercias en el análisis, ya que la estructura puede volverse más flexible con el tiempo debido a los ciclos de carga repetitivos.

Se hace la reducción de rigideces con las consideraciones señaladas en las Normas FEMA 440, ATC 40 y ASCE 41- 17, teniendo el último mencionado condiciones adicionales, lo que implica un estudio más extenso, los cálculos para este punto se realizaron de forma manual y los resultados obtenidos se ingresaron al software en el modelamiento de la estructura teniendo diferentes porcentajes de reducción dependiendo de las propiedades geométricas en el caso columnas, y siendo el mismo porcentaje en el caso de vigas.

Asimismo, hay casos especiales en los que este procedimiento no es necesario o puede efectuarse de otra manera:

- En estructuras muy rígidas, como las de acero o aporricadas con elementos robustos, los efectos de segundo orden y la redistribución de momentos pueden tener menos impacto. En estos casos, reducir las inercias puede no ser necesario para obtener resultados eficientes.
 - En estructuras especiales, como sistemas de aislamiento sísmico o de disipación de energía, los patrones de deformación y distribución de momentos pueden ser diferentes a las estructuras convencionales. En tales casos, la reducción de inercias puede requerir un enfoque más específico y adaptado a las características del sistema.
 - En análisis específicos, como los análisis de fragilidad sísmica, los efectos de segundo orden y la redistribución de momentos pueden no ser necesarios.
 - En algunos casos, se pueden realizar estudios de sensibilidad para evaluar si la reducción de inercias es esencial en el análisis. Esto implica analizar cómo cambian los resultados al considerar o no esta reducción.
 - En estructuras históricas o patrimoniales, la reducción de inercias podría no ser adecuada, ya que la prioridad podría ser preservar la integridad estructural en lugar de adaptarla para resistir las cargas sísmicas.
- *Obtención de diagramas de interacción:*

Los diagramas de interacción se obtuvieron para las columnas de la estructura por ser los elementos que sufren cargas axiales importantes, lo que hace necesario este diagrama; para generarlo, se realizó tanto el proceso manual como la obtención utilizando el software ETABS 20.0.0 que lo genera automáticamente con las consideraciones ingresadas previamente.

- *Obtención de diagramas momento- curvatura:*

Al igual que los diagramas de interacción, para los diagramas momento- curvatura y momento- rotación, se realizaron los cálculos manuales, obteniendo también estos diagramas del software ETABS 20.0.0, de esta forma se hace posible la verificación de los resultados representados; para poder comparar ambos resultados, se le debe realizar la normalización del diagrama obtenido manualmente según lo indicado en la Norma ASCE 41-17, tomando así, la forma del diagrama obtenido con el software, además de obtener para este paso los

parámetros de modelo y criterios de aceptación con los que posteriormente se evaluará el comportamiento de las rótulas plásticas.

- *Asignación de rótulas plásticas:*

Con los resultados obtenidos en el punto anterior, y calculando la distancia relativa de la longitud plástica en relación a la longitud libre de los elementos, es posible la asignación de rótulas plásticas en el modelo de la estructura, este paso se hace netamente en el software ETABS 20.0.0.

Para la asignación de rótulas plásticas se tomaron dos métodos de aplicación, el método de coeficientes y el método de fibras que se implementará solo en columnas, teniendo así 2 modelos diferentes con los cuales se puede lograr una mejor interpretación de los resultados del análisis Tiempo- Historia.

3.4. Tratamiento de los Registros Sísmicos

Como primer paso se hace la elección de los registros sísmicos considerando factores como la proximidad a la ubicación en la que se realizará la construcción de la estructura, además de sus propiedades geotécnicas, una vez se obtienen los registros se les hizo un tratamiento para garantizar que los resultados del análisis de la respuesta sísmica debido a ellos, será consistente con el espectro objetivo definido con las regulaciones de la normativa correspondiente.

- *Definición de espectro objetivo:*

Este espectro de respuesta se obtiene de la los parámetros de peligro sísmico establecidos en la NTE 030, pero considerando un factor de reducción $R=1$; se hizo el cálculo e implementación del espectro objetivo en el software ETABS 20.0.0.

- *Selección de Registros Sísmicos:*

Para elegir adecuadamente los registros sísmicos para el análisis de una estructura, se consideró:

- Ubicación: Se seleccionaron registros de la misma zona de peligro sísmico (zona 3) establecida por la NTE 030 para Diseño sísmico.

- Magnitud: Se tomaron los registros sísmicos con mayor magnitud encontradas en la zona de estudio.
 - Distancia Epicentral: Este factor no se consideró al tener un enfoque académico y centrarse en el estudio de la metodología del análisis, sin embargo, en proyectos reales es importante revisar que la distancia entre el epicentro del sismo y la ubicación de la edificación no sea mucha.
 - Periodo: Se uniformizaron los datos de los sismos teniendo muestras cada 0.02 segundos en todos los casos y tomando la duración significativa de la envolvente de los registros.
 - Confiabilidad: Se tomaron los registros de la base de datos de CISMID (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres), siendo una fuente confiable para este proceso.
- *Corrección de línea base y filtrado:*

En el proceso de registro de los datos en eventos sísmicos, puede existir ruido causado por factores externos al equipo de medición y al sismo, por lo cual se hace la corrección de línea base utilizando como herramienta el software Seismo Signal, el cual también brinda el dato de la duración significativa del sismo, lo cual es importante para la eficiencia en el procesamiento de datos, ya que al usar el software el método de Newmark (método de integración en base a iteraciones) usar solo los periodos que están dentro de la duración significativa, puede ahorrar recursos máquina y disminuir significativamente el tiempo que se demora este procesamiento.

- *Escalamiento o ajuste:*

Para tener como registro final uno consistente con el espectro objetivo, se debe hacer el escalamiento o ajuste de este, se tiene como herramienta el software Seismo Match; para poder realizar este proceso, se trabaja independientemente cada registro elegido y evaluando los resultados de cada uno, se genera un registro envolvente final, esto depende del número de registros que se tengan, como indica la NTE 030 son necesarios al menos tres registros sísmicos, sin embargo, si se tienen siete registros o más, la envolvente considera un promedio

de las aceleraciones para cada periodo, pero si se tienen menos de siete, la envolvente considera la aceleración máxima para cada periodo.

3.5. Procesamiento del Análisis Tiempo- Historia

Habiendo completado todos los anteriores pasos satisfactoriamente, se tiene asignados todos esos resultados, con lo cual, se hace la definición de los últimos factores a considerar, señalados en los siguientes puntos:

- *Definición de la función Tiempo- Historia:*

Se ingresan los datos obtenidos del escalamiento en un registro sísmico envolvente de los escalamientos realizados en el software Seismo Match, para lo cual se debe de tener un registro para cada componente, la componente E-W (dirección X) y la componente N-S (dirección Y)

- *Definición de las cargas sísmicas:*

Los resultados se obtendrán por la aplicación y acción de las cargas cíclicas generadas por las aceleraciones correspondientes a las aceleraciones de cada componente de los registros sísmicos seleccionados, en este paso, además, se define el método de procesamiento, que en este caso es el método de Newmark, el número de puntos del acelerograma y el intervalo de muestras que compone el registro, analizando posteriormente el software cada punto con el método de iteraciones.

- *Definición de la no linealidad geométrica o análisis de segundo orden:*

Para tener en cuenta los efectos de segundo orden en el análisis no lineal de estructuras, se puede emplear el método "P-Delta" en conjunto con el análisis no lineal de cargas sísmicas. Los efectos de segundo orden se relacionan con las deformaciones y momentos adicionales que pueden surgir en una estructura debido a las deformaciones iniciales causadas por las cargas gravitacionales y las cargas laterales.

Se asignará las cargas P- Delta al modelamiento para hacer la corrección del factor de pandeo para ajustar las rigideces de los elementos estructurales en función de las deformaciones laterales que se generan en el análisis; de esta forma se puede mejorar la representación de la interacción entre las deformaciones y las cargas

- *Definición de la no linealidad de materiales:*

Es necesaria la definición de la no linealidad de materiales en el modelo de la estructura, para permitir el comportamiento más aproximado a la realidad de los elementos, de esta forma también se pueden verificar los resultados con los diagramas momento- curvatura y momento- rotación.

3.6. Recopilación de Información Obtenida

Finalmente, al tener los resultados y con la verificación de los procedimientos efectuados, se puede hacer la recopilación de la descripción de estos procesos, mostrando cada paso con cálculos o representaciones gráficas, y de los conceptos que tuvieron que revisarse para el entendimiento de las metodologías que se aplicaron; para cumplir con el objetivo de la investigación, se hizo la recopilación en un manual que representa el entregable y aporte del presente proyecto.

4. MATERIAL DE ESTUDIO

4.1. Población de Estudio

La población de interés en esta investigación comprende a todas las estructuras aporticadas de concreto armado ubicadas en una región sísmica específica. Estas estructuras incluyen edificaciones con diferentes configuraciones y usos. La población representa la diversidad estructural y funcional de la región, donde los elementos de concreto armado desempeñan roles fundamentales en la integridad y resistencia sísmica. Mediante el análisis comparativo de dos estructuras específicas, una analizada por el método de coeficientes y otra por el método de fibras, se busca comprender cómo diferentes enfoques de análisis no lineal tiempo-historia impactan su respuesta sísmica. Estas dos estructuras ejemplares se seleccionaron para capturar la heterogeneidad de la población.

4.2. Muestra de Estudio

La muestra de estudio, extraída de la población, consiste en un modelo representativo de una estructura con sistema aporticado de concreto armado; a la cual se le dieron condiciones que posibilitan la aplicación del Análisis Tiempo- Historia. Se optó por realizar el modelo representativo, teniendo en cuenta a esta investigación como un estudio de caso que tendrá como finalidad el análisis de una sola estructura realizando de manera detallada el estudio de las características y procedimientos que implican el Análisis Tiempo- Historia, lo que se busca es mostrar su proceso y funcionamiento, el cual se seguirá de la misma manera en diferentes estructuras que cuenten con la misma configuración y sistema. En este modelo se aplicaron dos diferentes métodos para la asignación de rótulas plásticas, procedimiento

esencial para el análisis, se le aplicaron al modelo el método de coeficientes y el método de fibras; de esta forma, se podrá tener claramente las diferencias en los procesos y resultados de cada una para la futura elección del método más conveniente considerando las condiciones que se presenten en cada proyecto. Aunque se analizó una sola estructura, se espera que los resultados y conclusiones obtenidas tengan la aplicabilidad y relevancia en un contexto más amplio, incluyendo otras estructuras similares dentro de la población.

Se eligió hacer el estudio de estructuras con sistema apoticado de concreto armado porque, aunque no es el sistema más usado en Arequipa, sin embargo, son adecuados para edificaciones de mediana a alta altura, como edificios de varios pisos donde la resistencia a las fuerzas laterales generadas por sismos es esencial, por lo cual es relevante usar esta configuración en el tipo de Análisis que se desarrolla en el presente proyecto, además, se quiere dejar un precedente de este tipo de investigación para ampliarlo considerando otros sistemas como son la albañilería armada o sistemas duales.

5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la verificación de la funcionalidad del trabajo realizado en la recopilación de información, el análisis y la sistematización de los pasos definidos con los procesos, se utilizó el modelamiento y análisis de una estructura hipotética en la cual se efectuaron los procedimientos que se consideran relevantes para formar una correcta metodología que facilite la aplicación del análisis Tiempo- Historia.

Al tener esta representación en un modelo, se puede tener una mejor recolección de datos, ya que se obtienen resultados cuantitativos que pueden ser interpretados y evaluados para garantizar que la recopilación de información cumple con el objetivo de que los procedimientos analizados y sistematizados son funcionales en cuanto a su finalidad.

6. VALIDACIÓN DEL MODELO

Dado a que la investigación depende en gran parte del procesamiento de modelos en software para el análisis, es crucial garantizar una confiabilidad adecuada en los resultados obtenidos. Para lograr esto, se llevará a cabo una validación utilizando un modelo básico. Esta validación consistirá en comparar los resultados del análisis usando el software con los resultados obtenidos manualmente para el mismo escenario. A través de esta comparación, se podrá evaluar la precisión y confiabilidad de los modelos que se utilizarán, considerando las características específicas de los mismos. Este modelo se enfocará en el Análisis tiempo-

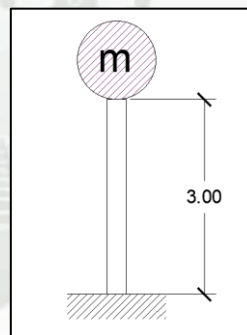
Historia del modelo simplificado, ya que la investigación se centra en este y en el desarrollo del Capítulo IV: Resultados y Discusión se hicieron manualmente los cálculos del tratamiento de la estructura, los cuales fueron validados por los resultados obtenidos por el software como en el caso de Diagramas de Interacción, Diagrama Momento- Curvatura y longitudes plásticas para la asignación de rótulas.

Para poder realizar la validación se propone realizar los cálculos manuales y modelamiento en software de un oscilador discográfico de un solo grado de libertad, siendo el modelo más básico pero funcional para este paso, ya que si validará la confiabilidad en el proceso sin tener la complejidad y amplitud del análisis de un pórtico o estructura.

El oscilador discográfico de un solo grado de libertad tendrá una altura de 3 m, sección de 30 cm x 30 cm y se le asignará una masa de 20000 kgf.

Figura 20

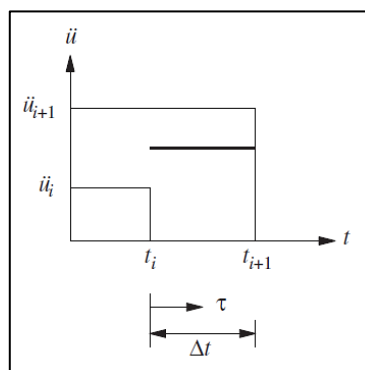
Esquema del oscilador discográfico para Validación (Talavera Flores, 2023)



Para el análisis se aplicará el método de Newmark considerando una aceleración constante o promedio:

Figura 21

Representación de aceleración promedio para el método de Newmark (Chopra, 2014)



6.1. Cálculo Manual

- Al considerar la aceleración promedio se tiene:

$$a(T) = \frac{a(i+1) + a(i)}{2} \dots Ec. 1$$

- Se integra esta expresión para obtener la ecuación de la velocidad:

$$v(T) = v(i) + (a(i+1) + a(i)) * \frac{T}{2} \dots Ec. 2$$

- A su vez, se integra Ec. 2 para obtener la ecuación del desplazamiento:

$$d(T) = d(i) + v(i) * T + (a(i+1) + a(i)) * \frac{T^2}{4} \dots Ec. 3$$

- Evaluando la Ec. 2 considerando que $T = \Delta t = t(i+1)$:

$$v(i+1) = v(i) + (a(i+1) + a(i)) * \frac{\Delta t}{2}$$

$$v(i+1) = v(i) + a(i+1) * \frac{\Delta t}{2} + a(i) * \frac{\Delta t}{2}; \gamma = \frac{1}{2}$$

$$v(i+1) = v(i) + a(i+1) * \Delta t * \gamma + a(i) * \Delta t * (1 - \gamma) \dots Ec. 4$$

- Evaluando la Ec. 3 considerando que $T = \Delta t = t(i+1)$:

$$d(i+1) = d(i) + v(i) * \Delta t + (a(i+1) + a(i)) * \frac{\Delta t^2}{4}; \beta = \frac{1}{4}$$

$$d(i+1) = d(i) + v(i) * \Delta t + a(i) * \left(\frac{1}{2} - \beta\right) * \Delta t^2 + a(i+1) * \beta * \Delta t^2 \dots Ec. 5$$

- Además, se tienen los valores cinemáticos expresados en su forma incremental:

$$\Delta d(i) = d(i+1) - d(i)$$

$$\Delta v(i) = v(i+1) - v(i)$$

$$\Delta a(i) = a(i+1) - a(i)$$

- Convirtiendo la Ec. 4 en su forma incremental:

$$v(i+1) = v(i) + a(i+1) * \Delta t * \gamma + a(i) * \Delta t * (1 - \gamma)$$

$$\Delta v(i) = a(i+1) * \Delta t * \gamma + a(i) * \Delta t * (1 - \gamma)$$

$$\Delta v(i) = a(i) * \Delta t + (a(i+1) - a(i)) * \Delta t * \gamma \dots Ec. 6$$

- Convirtiendo la Ec. 5 en su forma incremental:

$$d(i+1) = d(i) + v(i) * \Delta t + a(i) \left(\frac{1}{2} - \beta \right) * \Delta t^2 + a(i+1) * \beta * \Delta t^2$$

$$\Delta d(i) = v(i) * \Delta t + a(i) \left(\frac{1}{2} - \beta \right) * \Delta t^2 + a(i+1) * \beta * \Delta t^2$$

$$\Delta d(i) = v(i) * \Delta t + a(i) * \frac{\Delta t^2}{2} + \Delta a(i) * \beta * \Delta t^2 \dots Ec. 7$$

- Despejando $\Delta a(i)$ en Ec. 7:

$$\Delta a(i) = \frac{1}{\beta * \Delta t^2} * (-v(i) * \Delta t - a(i) * \frac{\Delta t^2}{2} + \Delta d(i))$$

$$\Delta a(i) = \frac{\Delta d(i)}{\beta * \Delta t^2} - \frac{v(i)}{\beta * \Delta t} - \frac{a(i)}{2 * \beta} \dots Ec. 8$$

- Se reemplaza Ec. 8 en Ec. 6:

$$\Delta v(i) = a(i) * \Delta t + (a(i+1) - a(i)) * \Delta t * \gamma$$

$$\Delta v(i) = a(i) * \Delta t + \left(\frac{\Delta d(i)}{\beta * \Delta t^2} - \frac{v(i)}{\beta * \Delta t} - \frac{a(i)}{2 * \beta} \right) * \Delta t * \gamma$$

$$\Delta v(i) = \frac{\Delta d(i) * \gamma}{\beta * \Delta t} - \frac{v(i) * \gamma}{\beta} + a(i) * \Delta t * \left(1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \dots Ec. 9$$

- Se reemplaza Ec. 8 y Ec. 9 en la ecuación general del movimiento:

$$m * \Delta a(i) + c * \Delta v(i) + k * \Delta d(i) = -m * ag = \Delta Pi$$

$$m * \left(\frac{\Delta d(i)}{\beta * \Delta t^2} - \frac{v(i)}{\beta * \Delta t} - \frac{a(i)}{2 * \beta} \right) + c \left(\frac{\Delta d(i) \gamma}{\beta * \Delta t} - \frac{v(i) \gamma}{\beta} + a(i) \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2 \beta} \right) \right) + k \Delta d(i) = -mag$$

$$\Delta d(i) * \underbrace{\left(k + \frac{m}{\beta \Delta t^2} + \frac{\gamma c}{\beta \Delta t} \right)}_K = \underbrace{\Delta Pi + v(i) \left(\frac{m}{\beta \Delta t} + \frac{\gamma * c}{\beta} \right)}_{\Delta Pi} + \underbrace{a(i) * \left(\frac{m}{2 * \beta} + \left(\frac{\gamma}{2 \beta} - 1 \right) * \Delta t * c \right)}_b$$

$$\Delta d(i) * K = \Delta Pi$$

$$\Delta d(i) = \frac{\Delta Pi}{K} \dots Ec. 10$$

- Propiedades del modelo:

- $E= 210000 \text{ kgf/cm}^2$

- $H= 3 \text{ m}$

- $B= 30 \text{ cm}$

- $H= 30 \text{ cm}$

- $I= 67500 \text{ cm}^4$

- $k = \frac{3*EI}{L^3} = 1575 \text{ kgf} * \text{cm}$

- $m= 20000 \text{ kgf}$

- $Wn = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1575}{20000}} = 0.28$

- $T = \frac{2*\pi}{Wn} = 22.39 \text{ s}$

- Amortiguamiento (ξ): 2%

- $c = 2 * m * \xi * Wn = 224.50$

- Con las ecuaciones descritas anteriormente se hace el análisis para $t=0$, considerando $d(0)=0$ y $v(0)=0$.

- Cálculo de K:

$$K = k + \frac{m}{\beta \Delta t^2} + \frac{\gamma c}{\beta \Delta t} = 47250000 + \frac{20000}{0.25 * 0.2^2} + \frac{0.5 * 224.50}{0.25 * 0.02}$$

$$K = 200024024.9$$

- Cálculo de a:

$$a = \frac{m}{\beta \Delta t} + \frac{\gamma * c}{\beta} = \frac{20000}{0.25 * 0.2} + \frac{0.5 * 224.50}{0.25}$$

$$a = 4000448.999$$

- Cálculo de b:

$$b = \frac{m}{2 * \beta} + \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) * \Delta t * c = \frac{20000}{2 * 0.25} + \left(\frac{0.5}{2 * 0.25} - 1 \right) * 0.02 * 224.50$$

$$b = 40004.48999$$

- Cálculo de Δp_i :

$$\Delta p_i = p(i + 1) - p(i) = -m * ag(i + 1) - (-m * ag(i))$$

Los datos de ag se obtienen del registro utilizado para este análisis, se tomó en cuenta los 2 primeros segundos del registro envolvente utilizado para esta investigación como muestra representativa, los datos del registro se muestran posteriormente en la Tabla 8.

$$\Delta p_i = -20000 * 0.0196134 - 0$$

$$\Delta p_i = -392.268 \text{ kgf}$$

- Cálculo de ΔP_i :

$$\Delta P_i = \Delta p_i + a * v(i) + b * a(i)$$

$$\Delta P_i = -392.268 + 0 + 0 = -392.268 \text{ kgf}$$

- Cálculo de $\Delta d(i)$:

$$\Delta a(i) = \frac{\Delta P_i}{K} = \frac{-392.268i}{200024024.9}$$

$$\Delta d(i) = -1.9611E - 06 \text{ cm}$$

- Cálculo de $\Delta v(i)$ con la Ec. 9:

$$\Delta v(i) = \frac{\Delta d(i) * \gamma}{\beta * \Delta t} - \frac{v(i) * \gamma}{\beta} + a(i) * \Delta t * \left(1 - \frac{\gamma}{2 * \beta}\right)$$

$$\Delta v(i) = \frac{-1.9611E - 06 * 0.5}{0.25 * 0.02} - 0 + 0$$

$$\Delta v(i) = -0.00019611 \text{ cm/s}$$

- Cálculo de $\Delta a(i)$ con la Ec. 8:

$$\Delta a(i) = \frac{\Delta d(i)}{\beta * \Delta t^2} - \frac{v(i)}{\beta * \Delta t} - \frac{a(i)}{2 * \beta}$$

$$\Delta a(i) = \frac{-1.9611E - 06}{0.25 * 0.02^2} - 0 - 0$$

$$\Delta a(i) = -0.019611044 \text{ cm/s}^2$$

- Cálculo de $d(i + 1)$:

$$\Delta d(i) = d(i + 1) - d(i)$$

$$d(i + 1) = -1.9611E - 06 + 0$$

$$d(i + 1) = -1.9611E - 06 \text{ cm}$$

– Cálculo de $v(i + 1)$:

$$\Delta v(i) = v(i + 1) - v(i)$$

$$v(i + 1) = -0.00019611 + 0$$

$$v(i + 1) = -0.00019611 \text{ cm/s}$$

– Cálculo de $a(i + 1)$:

$$\Delta a(i) = a(i + 1) - a(i)$$

$$a(i + 1) = -0.019611044 + 0$$

$$a(i + 1) = -0.019611044 \text{ cm/s}^2$$

– El procedimiento para cada dato de aceleración del registro, tomando los valores $d(i + 1)$, $v(i + 1)$ y $a(i + 1)$ como valores iniciales para el siguiente tiempo.

Tabla 8

Cálculo de los parámetros cinemáticos incrementales (Talavera Flores, 2023)

t(s)	a (cm/s²)	pi (kgf)	dpi (kgf)	Δd(i) (cm)	Δv(i) (cm/s)	Δa(i) (cm/s²)
0.00	0	0	-392.3	-2.0E-06	-2.0E-04	-2.0E-02
0.02	0.0196134	-392.3	980.67	-2.9E-06	9.8E-05	4.9E-02
0.04	-0.0294201	588.4	-2942	-1.1E-05	-8.8E-04	-1.5E-01
0.06	0.1176804	-2354	2745.9	-2.9E-05	-9.8E-04	1.4E-01
0.08	-0.0196134	392.27	-784.5	-3.9E-05	1.0E-07	-3.9E-02
0.10	0.0196134	-392.3	980.67	-3.8E-05	9.8E-05	4.9E-02
0.12	-0.0294201	588.4	2157.5	-2.1E-05	1.7E-03	1.1E-01
0.14	-0.1372938	2745.9	-3138	7.9E-06	1.2E-03	-1.6E-01
0.16	0.0196134	-392.3	-196.1	1.5E-05	-4.9E-04	-9.8E-03
0.18	0.0294201	-588.4	-588.4	1.0E-06	-8.8E-04	-2.9E-02
0.20	0.0588402	-1177	3922.7	2.5E-08	7.8E-04	2.0E-01
0.22	-0.1372938	2745.9	-3334	1.9E-05	1.1E-03	-1.7E-01
0.24	0.0294201	-588.4	980.67	2.8E-05	-9.8E-05	4.9E-02
0.26	-0.0196134	392.27	588.4	3.4E-05	6.9E-04	2.9E-02

0.28	-0.0490335	980.67	-588.4	4.8E-05	6.9E-04	-2.9E-02
0.30	-0.0196134	392.27	-1177	5.3E-05	-2.0E-04	-5.9E-02
0.32	0.0392268	-784.5	-980.7	3.8E-05	-1.3E-03	-4.9E-02
0.34	0.0882603	-1765	2942	2.3E-05	-2.9E-04	1.5E-01
0.36	-0.0588402	1176.8	196.13	3.2E-05	1.3E-03	9.8E-03
0.38	-0.0686469	1372.9	-4119	3.8E-05	-6.9E-04	-2.1E-01
0.40	0.1372938	-2746	2942	1.9E-05	-1.3E-03	1.5E-01
0.42	-0.0098067	196.13	-196.1	6.9E-06	9.8E-05	-9.8E-03
0.44	0.0E+00	0	-588.4	4.9E-06	-2.9E-04	-2.9E-02
0.46	0.0294201	-588.4	2157.5	6.9E-06	4.9E-04	1.1E-01
0.48	-0.0784536	1569.1	-784.5	2.4E-05	1.2E-03	-3.9E-02
0.50	-0.0392268	784.54	-1961	3.3E-05	-2.0E-04	-9.8E-02
0.52	0.0588402	-1177	1961.3	2.9E-05	-2.0E-04	9.8E-02
0.54	-0.0392268	784.54	-980.7	3.0E-05	2.9E-04	-4.9E-02
0.56	0.0098067	-196.1	588.4	3.4E-05	9.7E-05	2.9E-02
0.58	-0.0196134	392.27	-2157	2.8E-05	-6.9E-04	-1.1E-01
0.60	0.0882603	-1765	4314.9	2.5E-05	3.9E-04	2.2E-01
0.62	-0.1274871	2549.7	-4707	3.1E-05	2.0E-04	-2.4E-01
0.64	0.1078737	-2157	1961.3	2.1E-05	-1.2E-03	9.8E-02
0.66	0.0098067	-196.1	-588.4	4.8E-06	-4.9E-04	-2.9E-02
0.68	0.0392268	-784.5	1961.3	1.8E-06	2.0E-04	9.8E-02
0.70	-0.0588402	1176.8	-1961	5.7E-06	2.0E-04	-9.8E-02
0.72	0.0392268	-784.5	2157.5	1.1E-05	2.9E-04	1.1E-01
0.74	-0.0686469	1372.9	-2354	1.6E-05	2.0E-04	-1.2E-01
0.76	0.0490335	-980.7	-392.3	5.7E-06	-1.2E-03	-2.0E-02
0.78	0.0686469	-1373	1176.8	-1.4E-05	-7.9E-04	5.9E-02
0.80	0.0098067	-196.1	2157.5	-1.3E-05	8.8E-04	1.1E-01
0.82	-0.098067	1961.3	-3334	-1.2E-06	2.9E-04	-1.7E-01
0.84	0.0686469	-1373	1176.8	-6.1E-06	-7.9E-04	5.9E-02
0.86	0.0098067	-196.1	-196.1	-1.7E-05	-2.9E-04	-9.8E-03
0.88	0.0196134	-392.3	588.4	-2.1E-05	-9.9E-05	2.9E-02
0.90	-0.0098067	196.13	-1569	-2.8E-05	-5.9E-04	-7.8E-02

0.92	0.0686469	-1373	2157.5	-3.7E-05	-2.9E-04	1.1E-01
0.94	-0.0392268	784.54	392.27	-3.0E-05	9.8E-04	2.0E-02
0.96	-0.0588402	1176.8	-1569	-1.6E-05	3.9E-04	-7.8E-02
0.98	0.0196134	-392.3	1176.8	-1.0E-05	2.0E-04	5.9E-02
1.00	-0.0392268	784.54	-784.5	-4.3E-06	3.9E-04	-3.9E-02

Tabla 9

Cálculo de los parámetros cinemáticos resultantes del análisis (Talavera Flores, 2023)

t(s)	a (cm/s)	dP(i)	d(i) (cm)	v(i) (cm/s)	a(i) (cm/s²)
0.00	0	-392.27	0	0	0
0.02	0.0196134	-588.39	-1.9611E-06	-0.0002	-0.01961
0.04	-0.0294201	-2157.43	-4.9027E-06	-9.8E-05	0.029417
0.06	0.1176804	-5883.88	-1.56886E-05	-0.00098	-0.11767
0.08	-0.0196134	-7844.93	-4.51044E-05	-0.00196	0.019615
0.10	0.0196134	-7648.27	-8.43244E-05	-0.00196	-0.0196
0.12	-0.0294201	-4117.08	-0.000122561	-0.00186	0.029426
0.14	-0.1372938	1571.70	-0.000143144	-0.0002	0.13729
0.16	0.0196134	2945.49	-0.000135286	0.000981	-0.0196
0.18	0.0294201	200.38	-0.000120561	0.000491	-0.02941
0.20	0.0588402	5.00	-0.000119559	-0.00039	-0.05882
0.22	-0.1372938	3732.30	-0.000119534	0.000394	0.137288
0.24	0.0294201	5694.27	-0.000100875	0.001472	-0.02941
0.26	-0.0196134	6871.53	-7.24069E-05	0.001374	0.019617
0.28	-0.0490335	9617.65	-3.80534E-05	0.002061	0.049031
0.30	-0.0196134	10598.25	1.00291E-05	0.002747	0.01961
0.32	0.0392268	7655.85	6.3014E-05	0.002551	-0.03923
0.34	0.0882603	4517.06	0.000101289	0.001276	-0.08826
0.36	-0.0588402	6477.62	0.000123871	0.000982	0.058824
0.38	-0.0686469	7653.44	0.000156255	0.002256	0.068627
0.40	0.1372938	3729.54	0.000194518	0.00157	-0.13729

0.42	-0.0098067	1374.59	0.000213164	0.000295	0.009789
0.44	0.0E+00	980.93	0.000220036	0.000392	-1.7E-05
0.46	0.0294201	1371.78	0.00022494	9.79E-05	-0.02943
0.48	-0.0784536	4704.60	0.000231798	0.000588	0.078427
0.50	-0.0392268	6664.33	0.000255318	0.001764	0.039202
0.52	0.0588402	5877.98	0.000288636	0.001568	-0.05886
0.54	-0.0392268	6072.11	0.000318022	0.001371	0.039197
0.56	0.0098067	6854.45	0.000348379	0.001665	-0.00983
0.58	-0.0196134	5675.24	0.000382647	0.001762	0.019581
0.60	0.0882603	5084.24	0.00041102	0.001075	-0.08828
0.62	-0.1274871	6258.30	0.000436438	0.001467	0.127438
0.64	0.1078737	4294.01	0.000467726	0.001662	-0.1079
0.66	0.0098067	956.65	0.000489193	0.000485	-0.00984
0.68	0.0392268	365.14	0.000493976	-6.4E-06	-0.03926
0.70	-0.0588402	1146.55	0.000495801	0.000189	0.058795
0.72	0.0392268	2124.06	0.000501533	0.000384	-0.03926
0.74	-0.0686469	3101.50	0.000512153	0.000678	0.068599
0.76	0.0490335	1136.84	0.000527658	0.000873	-0.04907
0.78	0.0686469	-2789.20	0.000533342	-0.0003	-0.06868
0.80	0.0098067	-2596.34	0.000519397	-0.00109	-0.00985
0.82	-0.098067	-245.92	0.000506417	-0.00021	0.098016
0.84	0.0686469	-1229.77	0.000505188	8.52E-05	-0.06868
0.86	0.0098067	-3390.39	0.00049904	-0.0007	-0.00984
0.88	0.0196134	-4177.96	0.00048209	-0.00099	-0.01965
0.90	-0.0098067	-5553.81	0.000461202	-0.00109	0.009769
0.92	0.0686469	-7321.74	0.000433437	-0.00168	-0.06867
0.94	-0.0392268	-5951.31	0.000396832	-0.00198	0.039191
0.96	-0.0588402	-3207.74	0.000367079	-0.001	0.058805
0.98	0.0196134	-2033.15	0.000351043	-0.00061	-0.01964
1.00	-0.0392268	-858.49	0.000340878	-0.00041	0.039196

6.2. Modelamiento en Software

Se realizó el modelamiento en el software ETABS 21.0.0 considerando las mismas propiedades geométricas y de material, además se le asignó la misma masa de 20000 kgf y el registro sísmico. Además, se definieron las condiciones en el caso de carga para el análisis Tiempo- Historia, al igual que el cálculo manual, se utilizó el método de Newmark con $\Gamma = 0.5$ y $\beta = 0.25$.

Figura 22

Modelamiento para validación (ETABS, 2023)

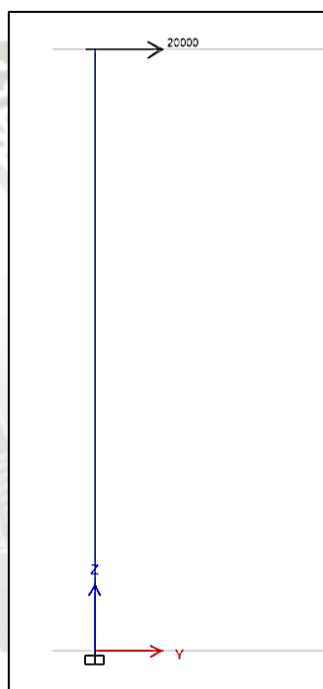


Figura 23

Definición de registro sísmico para Modelo de Validación (ETABS, 2023)

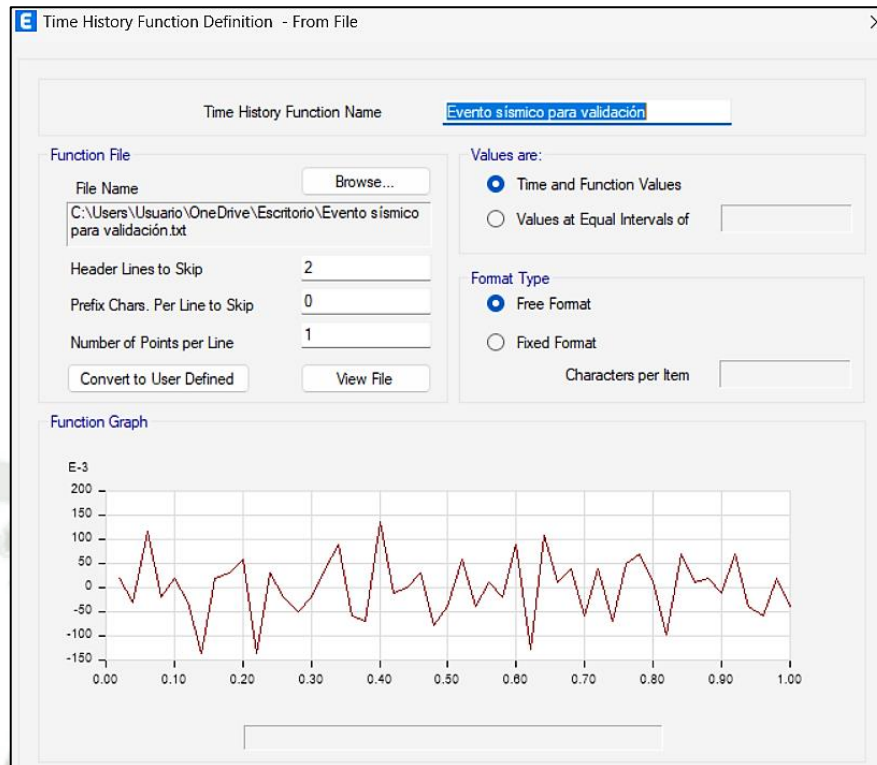


Figura 24

Definición de caso de carga para Análisis Tiempo- Historia (ETABS, 2023)

Figura 25

Método de Iteraciones para Análisis del Modelo de Validación (ETABS, 2023)

Del procesamiento del modelo en el software se obtuvieron los parámetros cinemáticos para cada aceleración del registro sísmico reflejados en la siguiente tabla.

Tabla 10

Parámetros Cinemáticos obtenidos del Modelamiento para Validación (ETABS, 2023)

t(s)	a (cm/s)	d(i)	v(i)	a(i)
0.00	0	0	0	0
0.02	0.0196134	0	0	-0.02
0.04	-0.0294201	-5.52E-07	9.82E-05	0.029
0.06	0.1176804	-3.73E-06	-0.000784	-0.117
0.08	-0.0196134	-2.92E-05	-0.001758	0.02
0.10	0.0196134	-0.0001	-0.001749	-0.019
0.12	-0.0294201	-0.0001	-0.001643	0.03
0.14	-0.1372938	-0.0001	0	0.137
0.16	0.0196134	-0.0001	0.001202	-0.02
0.18	0.0294201	-0.0001	0.000708	-0.03
0.20	0.0588402	-0.0001	-0.000176	-0.059
0.22	-0.1372938	-0.0001	0.000607	0.137
0.24	0.0294201	-0.0001	0.001681	-0.03
0.26	-0.0196134	-1.78E-05	0.001575	0.019
0.28	-0.0490335	2.04E-05	0.002252	0.048
0.30	-0.0196134	0.0001	0.002925	0.019
0.32	0.0392268	0.0001	0.002715	-0.04
0.34	0.0882603	0.0002	0.00143	-0.089
0.36	-0.0588402	0.0002	0.001129	0.059
0.38	-0.0686469	0.0002	0.002395	0.068
0.40	0.1372938	0.0003	0.001698	-0.138
0.42	-0.0098067	0.0003	0.000417	0.01
0.44	0.0E+00	0.0003	0.000513	-0.00015
0.46	0.0294201	0.0003	0.000216	-0.029
0.48	-0.0784536	0.0003	0.000704	0.078
0.50	-0.0392268	0.0003	0.001874	0.039
0.52	0.0588402	0.0004	0.001668	-0.059
0.54	-0.0392268	0.0004	0.001464	0.039

0.56	0.0098067	0.0004	0.001749	-0.01
0.58	-0.0196134	0.0005	0.001838	0.019
0.60	0.0882603	0.0005	0.001143	-0.089
0.62	-0.1274871	0.0005	0.001528	0.127
0.64	0.1078737	0.0006	0.001715	-0.108
0.66	0.0098067	0.0006	0.000532	-0.01
0.68	0.0392268	0.0006	0	-0.039
0.70	-0.0588402	0.0006	0.000234	0.059
0.72	0.0392268	0.0006	0.000428	-0.039
0.74	-0.0686469	0.0006	0.000718	0.068
0.76	0.0490335	0.0006	0.000909	-0.049
0.78	0.0686469	0.0006	-0.00027	-0.069
0.80	0.0098067	0.0006	-0.001052	-0.01
0.82	-0.098067	0.0006	-0.000168	0.098
0.84	0.0686469	0.0006	0.000126	-0.069
0.86	0.0098067	0.0006	-0.000659	-0.01
0.88	0.0196134	0.0006	-0.00095	-0.019
0.90	-0.0098067	0.0006	-0.001044	0.01
0.92	0.0686469	0.0005	-0.001627	-0.068
0.94	-0.0392268	0.0005	-0.001913	0.04
0.96	-0.0588402	0.0005	-0.000926	0.059
0.98	0.0196134	0.0005	-0.000531	-0.02
1.00	-0.0392268	0.0005	-0.000333	0.039

6.3. Comparación de Resultados

Se observaron los valores obtenidos en las tablas anteriores, notando que tienen valores aproximados cercanos, además, para la comparación de ambos procedimientos se obtuvieron gráficamente los resultados, ya que esto facilitará la comprobación del método y se validará la metodología usada para la presente investigación.

- Gráficos Tiempo- Desplazamiento:

Figura 26

Gráfico Tiempo- Desplazamiento obtenido con el Modelo para Validación (ETABS, 2023)

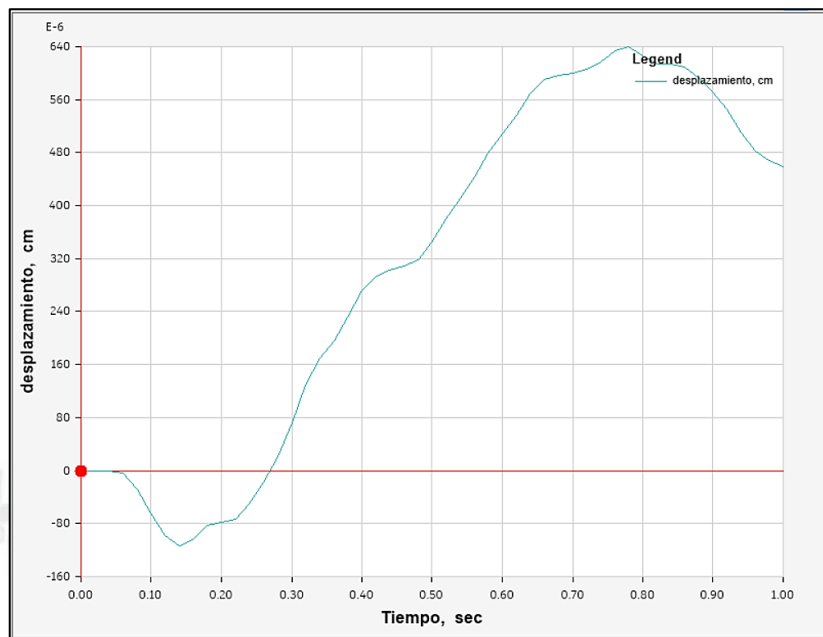


Figura 27

Gráfico Tiempo- Desplazamiento obtenido manualmente para Validación (Talavera Flores, 2023)



- Se observa que en el valor máximo de desplazamiento se tiene una variación pequeña por la diferencia de decimales entre ambos métodos, sin embargo, los valores se aproximan, de manera que el cálculo funciona, además de que el comportamiento de la estructura sigue la misma función.

- Gráficos Tiempo- Velocidad:

Figura 28

Gráfico Tiempo- Velocidad obtenido con el Modelo para Validación (ETABS, 2023)

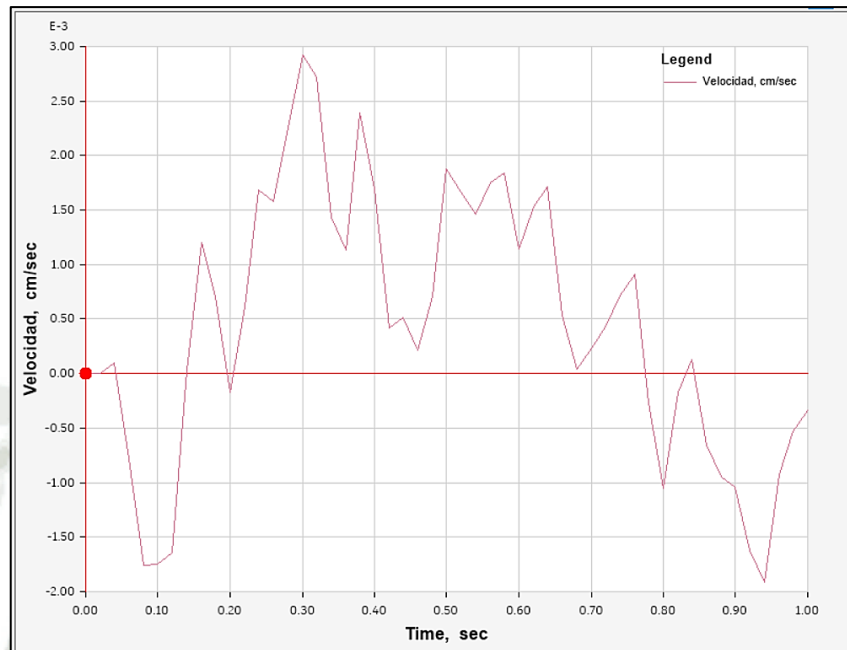
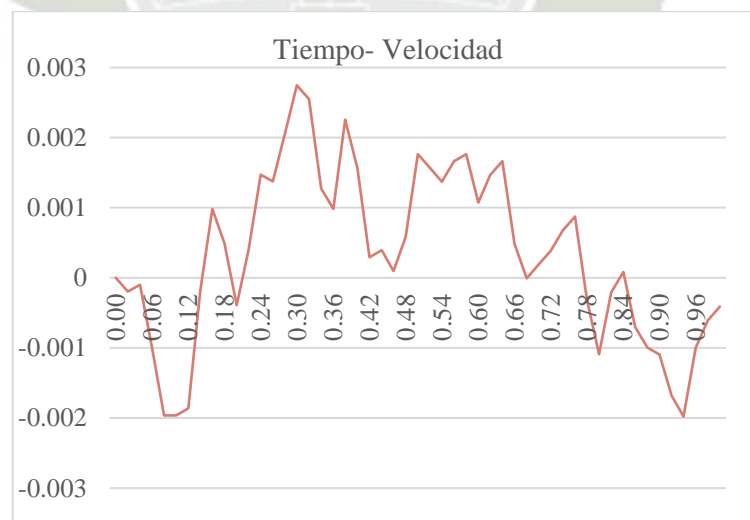


Figura 29

Gráfico Tiempo- Velocidad obtenido manualmente para Validación (Talavera Flores, 2023)



- Al igual que en los gráficos Tiempo – Desplazamiento, se tienen valores con una variación pequeña por la diferencia de decimales entre ambos métodos, sin embargo, los valores se aproximan, de manera que el cálculo funciona, además de que el comportamiento de la estructura sigue la misma función.

— Gráficos Tiempo- Aceleración:

Figura 30

Gráfico Tiempo- Aceleración obtenido con el Modelo para Validación (ETABS, 2023)

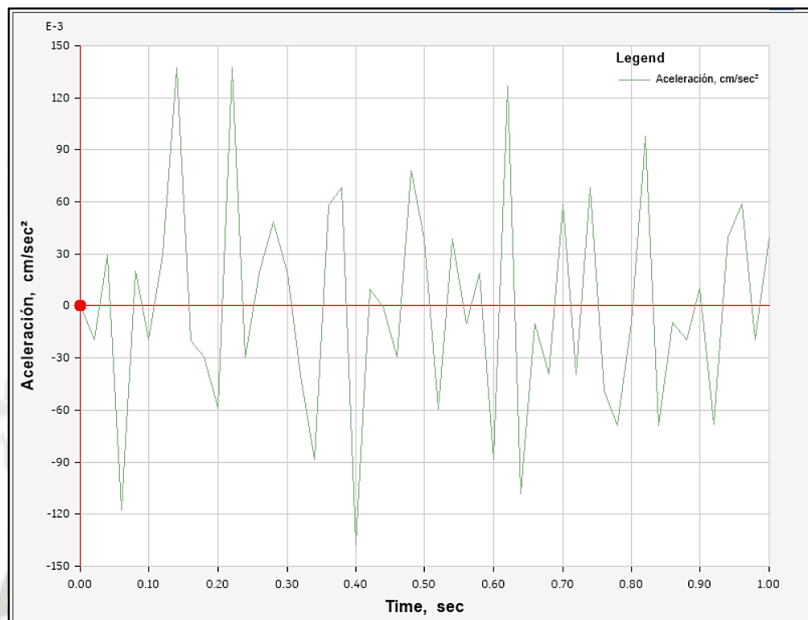


Figura 31

Gráfico Tiempo- Aceleración obtenido manualmente para Validación (Talavera Flores, 2023)



Como se puede notar en las 3 gráficas se tiene un comportamiento igual obtenido manualmente y computacionalmente y los valores numéricos se aproximan, lo que garantiza la confiabilidad en la metodología que se usó para el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ESTRUCTURACIÓN

Para el correcto análisis y sistematización de los procedimientos necesarios del análisis tiempo historia es esencial la construcción de un modelo estructural adecuado, de esta forma se obtendrán resultados concretos. El modelo representará a una estructura que se tomará como muestra para el análisis de su comportamiento ante diferentes cargas y eventos sísmicos.

El objetivo es proporcionar una guía detallada para la aplicación y el análisis tiempo historia utilizando las herramientas y técnicas apropiadas. Por lo que se incluye en la investigación ejemplos ilustrativos y detalles sobre los pasos a seguir para efectuar este método.

1.1. Parámetros de Peligro Sísmico

Para este modelo se consideraron los siguientes parámetros sísmicos:

- Zonificación (Z): Se realizará el modelo ubicándolo en la Zona 3, refiriéndose a una zona de alta intensidad sísmica, cubriendo las regiones con alta probabilidad de sufrir cargas sísmicas significativas. Lo cual, también requiere que se cumpla con un diseño sismorresistente capaz de resistir estas cargas garantizando la integridad de la estructura y justificando la aplicación del análisis tiempo historia siendo relevante para la investigación.

Figura 32

Mapa de zonificación de Perú (Figura N°1- NTE 030)



- Condiciones Geotécnicas (S): Se considera un suelo tipo S2 (suelo intermedio), teniendo como características una capacidad de soporte moderada, resistencia moderada y densidad intermedia.
- Factor de Amplificación Sísmica (C): Para definir este factor se debe obtener en primera instancia el periodo fundamental de vibración, este se calcula de acuerdo al numeral 4.5.4 de la NTE 030:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

En donde:

- h_n es igual a la altura total de la edificación, en este caso se tendrá un total de 18 metros, siendo 6 niveles de 3 metros cada uno.
- C_T es igual a 35; al ser un edificio que cuenta únicamente con pórticos de concreto armado como elementos resistentes.

$$T = \frac{18}{35} = 0.51$$

Además, por las condiciones geotécnicas, se utilizan los correspondientes periodos al suelo tipo S2, teniendo un T_P igual a 0.6 y un T_L igual a 2.0.

Teniendo los valores para cada periodo, podemos ir a las condiciones señaladas en el numeral 2.5 de la NTE 030, dentro de las cuales, se cumple la primera condición, donde $T < T_P$, siendo el Factor de Amplificación sísmica igual a 2.5.

- Categoría de la Edificación (U): Se tomará en consideración una estructura tipo B (edificaciones importantes), debido a su importancia y capacidad de resistir cargas moderadas, en general tienen uso administrativo, educativo, cultural, religioso, etc. Se diseñan para resistir cargas muertas, vivas variables y cargas sísmicas, cumpliendo con las condiciones establecidas en la norma, que además estipula que estas pueden tener un sistema estructural aporricado de concreto armado, lo cual la hace ideal para esta investigación.
- Coeficiente Básico de Reducción (R): Reduce la medida de la capacidad de la edificación a resistir cargas sísmicas en comparación al valor teórico máximo; al

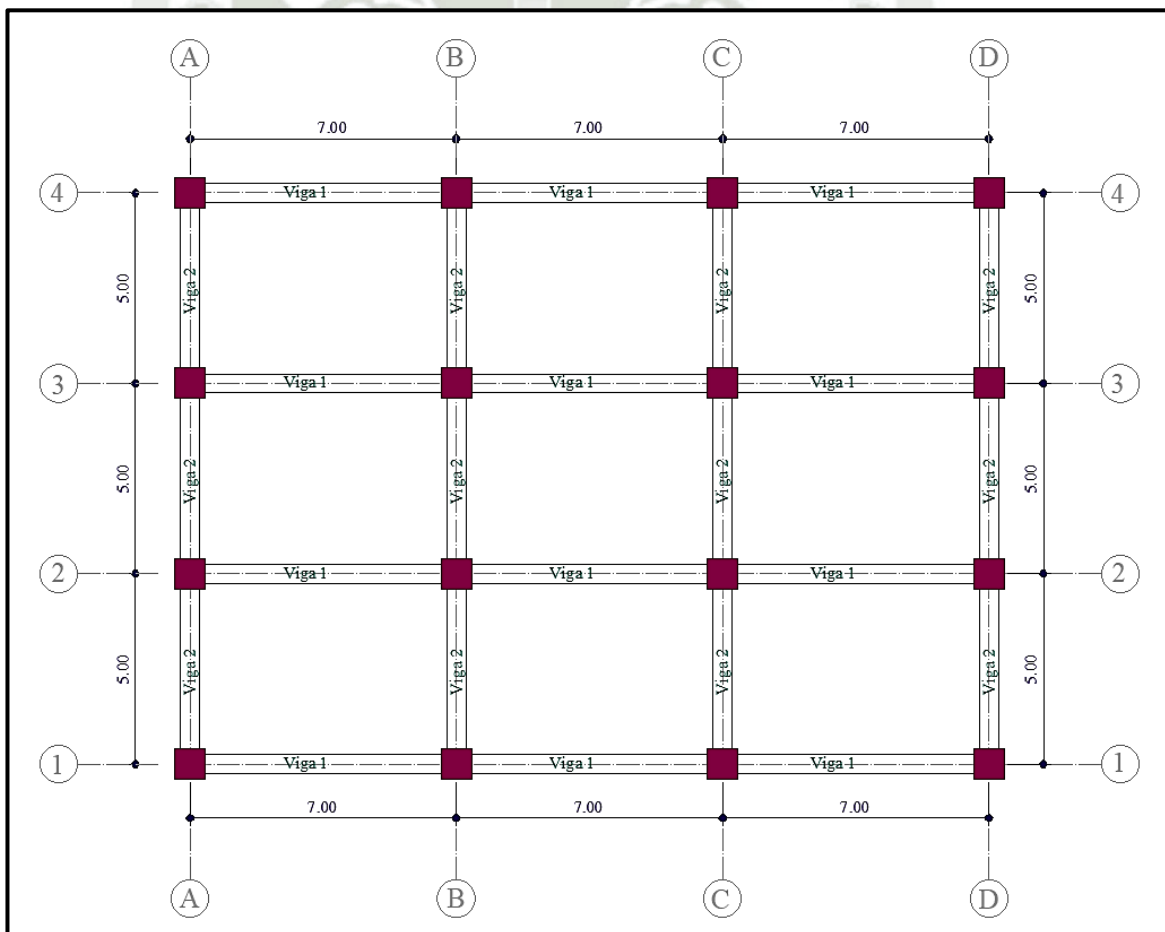
reducir el efecto de estas cargas en la estructura, también reduce la posibilidad de daños de colapso frente al sismo, en este caso se utilizará un R igual a 8 al tener un sistema estructural de pórticos de concreto armado.

1.2. Predimensionamiento

Para hacer el modelo muestra en el que se realizará el análisis pertinente para esta investigación, se considera una edificación con las características sísmicas mencionadas en el punto anterior, la cual cuenta con un área total de 325.90 m², un perímetro de 73.20 m y 6 niveles con la siguiente distribución de elementos estructurales:

Figura 33

Distribución de elementos estructurales para la edificación (Talavera Flores, 2023)



1.2.1. Predimensionamiento de Columnas

- *Predimensionamiento de Columnas Esquinas*

Para el predimensionamiento de la sección de columnas esquineras se toman los siguientes criterios:

$$A_{col} = \frac{P_{ser}}{0.35f'_c}$$

Donde:

- A col: Área requerida de columna esquinera en cm².
- P ser: Peso de servicio promedio; se considera un peso de servicio promedio estimado de cálculos prácticos según la categoría de edificación, en este caso se usará el valor de 1000 kgf/cm², correspondiente a la categoría B.

$$P_{ser} = P(uso) * Atrib * Npisos$$

- f'c: Resistencia a la compresión del concreto; se usará un f'c=280 kgf/cm².

Además, las dimensiones obtenidas para el área de columna, deben de estar conforme al factor de cumplimiento:

$$\frac{B}{L} \geq 0.40$$

De esta forma, se realiza el cálculo de sección de las columnas para cada Nivel.

Tabla 11

Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Esquineras por Nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Distancia Horizontal (m)	Distancia Vertical (m)	Área Tributaria (m ²)	P ser (kgf)	A col (cm ²)	B (cm)	L (cm)	F.C.
1	2.50	3.50	8.75	78750	803.57	30.00	30.00	1
2	2.50	3.50	8.75	65625	669.64	30.00	30.00	1
3	2.50	3.50	8.75	52500	535.71	25.00	25.00	1
4	2.50	3.50	8.75	39375	401.79	25.00	25.00	1
5	2.50	3.50	8.75	26250	267.86	25.00	25.00	1
6	2.50	3.50	8.75	13125	133.93	25.00	25.00	1

Con los valores obtenidos, se cumple que el área propuesta es mayor al área requerida y se tienen factores de cumplimiento aceptables, por lo que se definen las siguientes secciones:

Tabla 12

Secciones de Columnas Esquineras por Nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Ubicación	Sección	Nivel	Ubicación	Sección
1 y 2	A-1	30.00x30.00	3, 4, 5 y 6	A-1	25.00x25.00
	A-4	30.00x30.00		A-4	25.00x25.00
	D-1	30.00x30.00		D-1	25.00x25.00
	D-4	30.00x30.00		D-4	25.00x25.00

- **Predimensionamiento de Columna Excéntricas**

Para el predimensionamiento de columnas excéntricas se toma en consideración los criterios descritos en el punto anterior.

De igual manera, se realiza el cálculo de sección de las columnas para cada Nivel.

- Columnas Excéntricas en Ejes Verticales

Tabla 13

Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Verticales por Nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Distancia Horizontal (m)	Distancia Vertical (m)	Área Tributaria (m ²)	P ser (kgf)	A col (cm ²)	B (cm)	L (cm)	F.C.
1	3.50	5.00	17.50	157500	1607.14	45.00	45.00	1
2	3.50	5.00	17.50	131250	1339.29	40.00	40.00	1
3	3.50	5.00	17.50	105000	1071.43	35.00	35.00	1
4	3.50	5.00	17.50	78750	803.57	30.00	30.00	1
5	3.50	5.00	17.50	52500	535.71	25.00	25.00	1
6	3.50	5.00	17.50	26250	267.86	25.00	25.00	1

Con los valores obtenidos, se cumple que el área propuesta es mayor al área requerida y se tienen factores de cumplimiento aceptables, por lo que se definen las siguientes secciones:

Tabla 14

Secciones de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Verticales por Nivel (talavera Flores, 2023)

Nivel	Ubicación	Sección	Nivel	Ubicación	Sección
1	A-2	45.00x45.00	4	A-2	30.00x30.00
	A-3	45.00x45.00		A-3	30.00x30.00
	D-2	45.00x45.00		D-2	30.00x30.00
	D-3	45.00x45.00		D-3	30.00x30.00
2	A-2	40.00x40.00	5	A-2	25.00x25.00
	A-3	40.00x40.00		A-3	25.00x25.00
	D-2	40.00x40.00		D-2	25.00x25.00
	D-3	40.00x40.00		D-3	25.00x25.00
3	A-2	35.00x35.00	6	A-2	25.00x25.00
	A-3	35.00x35.00		A-3	25.00x25.00
	D-2	35.00x35.00		D-2	25.00x25.00
	D-3	35.00x35.00		D-3	25.00x25.00

- Columnas Excéntricas en Ejes Horizontales

Tabla 15

Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Horizontales por Nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Distancia Horizontal (m)	Distancia Vertical (m)	Área Tributaria (m ²)	P ser (kgf)	A col (cm ²)	B (cm)	L (cm)	F.C.
1	7.00	2.50	17.50	157500	1607.14	45.00	45.00	1
2	7.00	2.50	17.50	131250	1339.29	40.00	40.00	1
3	7.00	2.50	17.50	105000	1071.43	35.00	35.00	1
4	7.00	2.50	17.50	78750	803.57	30.00	30.00	1
5	7.00	2.50	17.50	52500	535.71	25.00	25.00	1
6	7.00	2.50	17.50	26250	267.86	25.00	25.00	1

Con los valores obtenidos, se cumple que el área propuesta es mayor al área requerida y se tienen factores de cumplimiento aceptables, por lo que se definen las siguientes secciones:

Tabla 16

Secciones de Columnas Excéntricas ubicadas en Ejes Horizontales por Nivel
(Talavera Flores, 2023)

Nivel	Ubicación	Sección	Nivel	Ubicación	Sección
1	B-1	45.00x45.00	3	B-1	35.00x35.00
	B-4	45.00x45.00		B-4	35.00x35.00
	C-1	45.00x45.00		C-1	35.00x35.00
	C-4	45.00x45.00		C-4	35.00x35.00
2	B-1	40.00x40.00	4, 5 y	B-1	30.00x30.00
	B-4	40.00x40.00	6	B-4	30.00x30.00
	C-1	40.00x40.00	C-1	30.00x30.00	
	C-4	40.00x40.00	C-4	30.00x30.00	

- **Predimensionamiento de Columnas Centrales**

Para el predimensionamiento de la sección de columnas esquineras se toman los siguientes criterios:

$$A_{col} = \frac{P_{ser}}{0.45f'c}$$

Donde:

- A col: Área requerida de columna central en cm².
- P ser: Como en los casos anteriores se tomará el peso de servicio promedio estimado de cálculos prácticos, siendo 1500 kgf/cm² el valor correspondiente para la categoría B.

$$P_{ser} = P(uso) * Atrib * Npisos$$

- f'c: Resistencia a la compresión del concreto; se usará un f'c=280 kgf/cm².

Además, las dimensiones obtenidas para el área de columna, deben de estar conforme al factor de cumplimiento:

$$\frac{B}{L} \geq 0.40$$

Siendo el cálculo de las áreas de columnas:

Tabla 17

Cálculo para Predimensionamiento de Columnas Centrales por Nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Distancia Horizontal (m)	Distancia Vertical (m)	Área Tributaria (m ²)	P ser (kgf)	A col (cm ²)	B (cm)	L (cm)	F.C.
1	7.00	5.00	35.00	315000	2500.00	50.00	50.00	1
2	7.00	5.00	35.00	262500	2083.33	50.00	50.00	1
3	7.00	5.00	35.00	210000	1666.67	45.00	45.00	1
4	7.00	5.00	35.00	157500	1250.00	40.00	40.00	1
5	7.00	5.00	35.00	105000	833.33	30.00	30.00	1
6	7.00	5.00	35.00	52500	416.67	25.00	25.00	1

Tabla 18

Secciones de Columnas Centrales por Nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Ubicación	Sección	Nivel	Ubicación	Sección
1 y 2	B-1	50.00x50.00	4	B-1	40.00x40.00
	B-4	50.00x50.00		B-4	40.00x40.00
	C-1	50.00x50.00		C-1	40.00x40.00
	C-4	50.00x50.00		C-4	40.00x40.00
2	B-1	45.00x45.00	5 y 6	B-1	30.00x30.00
	B-4	45.00x45.00		B-4	30.00x30.00
	C-1	45.00x45.00		C-1	30.00x30.00
	C-4	45.00x45.00		C-4	30.00x30.00

- **Cuadro Resumen Predimensionamiento de Secciones de Columnas**

Tabla 19

Resumen de Secciones de Columnas según Predimensionamiento (Talavera Flores, 2023)

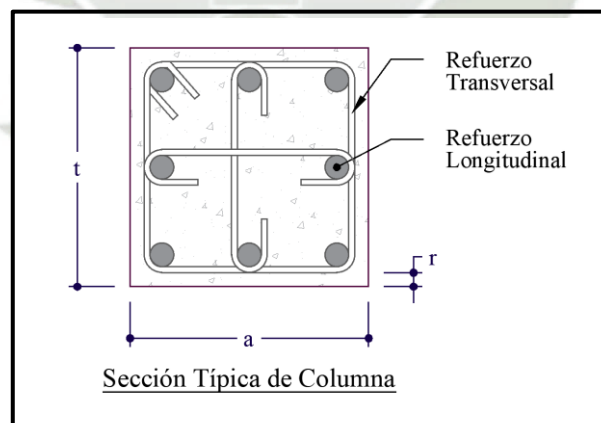
Nombre	Sección
C-1	50.00 x 50.00
C-2	45.00 x 45.00
C-3	40.00 x 40.00
C-4	35.00 x 35.00
C-5	30.00 x 30.00

- **Predimensionamiento de Refuerzo Longitudinal de Columnas**

Se predimensiona el refuerzo longitudinal de cada sección de columna señalada en el punto anterior, considerando el acero mínimo señalado en el punto 10.6. “Límites de refuerzo” del código ACI 318-14.

Figura 34

Imagen referencial para predimensionamiento de refuerzo longitudinal de columnas (Talavera Flores, 2023)



- Para la columna C-1 (50.00 x 50.00).

Tabla 20

Cálculo de Acero Mínimo para columna C-1 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero Mínimo		
a=	50.00	cm
t=	50.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As máx=	62.50	cm ²
As mín=	25.00	cm ²

Tabla 21

Comprobación de acero para columna C-1 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Comprobación de Acero			
	# barras	Ø	Área
Esquinas	4	1"	20.28 cm ²
Caras	4	3/4"	11.36 cm ²
	Área Total en barras=		31.64 cm ²

- Para la columna C-2 (45.00 x 45.00).

Tabla 22

Cálculo de Acero Mínimo para columna C-2 (45.00 x 45.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero Mínimo		
a=	45.00	cm
t=	45.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As máx=	50.63	cm ²
As mín=	20.25	cm ²

Tabla 23

Comprobación de acero para columna C-2 (45.00 x 45.00) (Talavera Flores, 2023)

Comprobación de Acero			
	# barras	Ø	Área
Esquinas	4	3/4"	11.36 cm ²
Caras	4	3/4"	11.36 cm ²
Área Total en barras=			22.72 cm ²

- Para la columna C-3 (40.00 x 40.00).

Tabla 24

Cálculo de Acero Mínimo para columna C-3 (40.00 x 40.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero Mínimo		
a=	40.00	cm
t=	40.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As máx=	40.00	cm ²
As mín=	16.00	cm ²

Tabla 25

Comprobación de acero para columna C-3 (40.00 x 40.00) (Talavera Flores, 2023)

Comprobación de Acero			
	# barras	Ø	Área
Esquinas	4	3/4"	11.36 cm ²
Caras	4	5/8"	7.96 cm ²
Área Total en barras=			19.32 cm ²

- Para la columna C-4 (35.00 x 35.00).

Tabla 26

Cálculo de Acero Mínimo para columna C-4 (35.00 x 35.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero Mínimo		
a=	35.00	cm
t=	35.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As máx=	30.63	cm ²

Tabla 27

Comprobación de acero para columna C-4 (35.00 x 35.00)

Comprobación de Acero			
	# barras	∅	Área
Esquinas	4	3/4"	11.36 cm ²
Caras	4	5/8"	7.96 cm ²
Área Total en barras=			19.32 cm ²

- Para la columna C-5 (30.00 x 30.00).

Tabla 28

Cálculo de Acero Mínimo para columna C-5 (30.00 x 30.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero Mínimo		
a=	30.00	cm
t=	30.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As máx=	22.50	cm ²
As mín=	9.00	cm ²

Tabla 29

Comprobación de acero para columna C-5 (30.00 x 30.00) (Talavera Flores, 2023)

Comprobación de Acero			
	# barras	Ø	Área
Esquinas	4	3/4"	11.36 cm ²
Área Total en barras=			11.36 cm ²

- Para la columna C-6 (25.00 x 25.00).

Tabla 30

Cálculo de Acero Mínimo para columna C-6 (25.00 x 25.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero Mínimo		
a=	25.00	cm
t=	25.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As máx=	15.63	cm ²
As mín=	6.25	cm ²

Tabla 31

Comprobación de acero para columna C-6 (25.00 x 25.00) (Talavera Flores, 2023)

Comprobación de Acero			
	# barras	Ø	Área
Esquinas	4	5/8"	7.96 cm ²
Área Total en barras=			7.96m ²

1.2.2. Predimensionamiento de Vigas

Para el predimensionamiento de vigas se tomará el criterio señalado en código ACI 318-2014, donde el peralte es igual a:

$$h = \frac{L}{10}$$

La base se tomará a criterio considerando las dimensiones de las columnas en las que se apoyará cada viga; obteniendo como resultado las siguientes secciones:

- Para el primer y segundo nivel:

Tabla 32

Predimensionamiento de Vigas del primer y segundo nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Eje	Longitud	Peralte	Base	Sección
1 y 2	A	5.00	0.50	0.30	30.00x50.00
	B	5.00	0.50	0.50	50.00x50.00
	C	5.00	0.50	0.50	50.00x50.00
	D	5.00	0.50	0.30	30.00x50.00
1	1	7.00	0.70	0.40	40.00x70.00
	2	7.00	0.70	0.50	50.00x70.00
	3	7.00	0.70	0.50	50.00x70.00
	4	7.00	0.70	0.40	40.00x70.00

- Para el tercer nivel:

Tabla 33

Predimensionamiento de Vigas del tercer nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Eje	Longitud	Peralte	Base	Sección
3	A	5.00	0.50	0.25	25.00x50.00
	B	5.00	0.50	0.45	45.00x50.00
	C	5.00	0.50	0.45	45.00x50.00
	D	5.00	0.50	0.30	25.00x50.00
1	1	7.00	0.70	0.35	35.00x70.00
	2	7.00	0.70	0.45	45.00x70.00
	3	7.00	0.70	0.45	45.00x70.00
	4	7.00	0.70	0.35	35.00x70.00

- Para el cuarto nivel:

Tabla 34

Predimensionamiento de Vigas del cuarto nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Eje	Longitud	Peralte	Base	Sección
4	A	5.00	0.50	0.25	25.00x50.00
	B	5.00	0.50	0.40	40.00x50.00
	C	5.00	0.50	0.40	40.00x50.00
	D	5.00	0.50	0.25	25.00x50.00
Nivel	Eje	Longitud	Peralte	Base	Sección
4	1	7.00	0.70	0.30	30.00x70.00
	2	7.00	0.70	0.40	40.00x70.00
	3	7.00	0.70	0.40	40.00x70.00
	4	7.00	0.70	0.30	30.00x70.00

- Para el quinto nivel:

Tabla 35

Predimensionamiento de Vigas del quinto nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Eje	Longitud	Peralte	Base	Sección
5	A	5.00	0.50	0.25	25.00x50.00
	B y C	5.00	0.50	0.30	30.00x50.00
	D	5.00	0.50	0.25	25.00x50.00
	1	7.00	0.70	0.25	25.00x70.00
	2	7.00	0.70	0.30	30.00x70.00
	3	7.00	0.70	0.30	30.00x70.00
	4	7.00	0.70	0.25	25.00x70.00

- Para el sexto nivel:

Tabla 36

Predimensionamiento de Vigas del sexto nivel (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Eje	Longitud	Peralte	Base	Sección
6	Verticales	5.00	0.50	0.25	25.00x50.00
	Horizontales	7.00	0.70	0.25	25.00x70.00

- **Cuadro Resumen Predimensionamiento de Secciones de Vigas**

Tabla 37

Resumen de Secciones de Columnas (Talavera Flores, 2023)

Nombre	Sección
V-1	50.00 x 50.00
V-2	45.00 x 50.00
V-3	40.00 x 50.00
V-4	30.00 x 50.00
V-5	25.00 x 50.00
V-6	50.00 x 70.00
V-7	45.00 x 70.00
V-8	40.00 x 70.00
V-9	35.00 x 70.00
V-10	30.00 x 70.00
V-11	25.0 70.00

1.2.3. Predimensionamiento de Losa

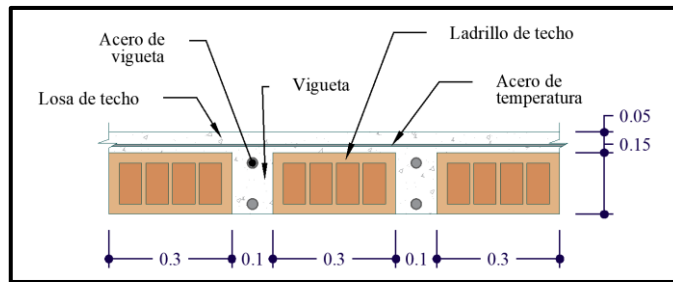
Usando la Tabla 7.3.1.1. “Espesor mínimo de losas en una dirección” del código ACI 318-14 para el predimensionamiento de losas, se tiene un espesor de losa:

$$h = \frac{L}{20} = 25 \text{ cm}$$

Siendo L la luz libre y h el espesor de losa, por lo que:

Figura 35

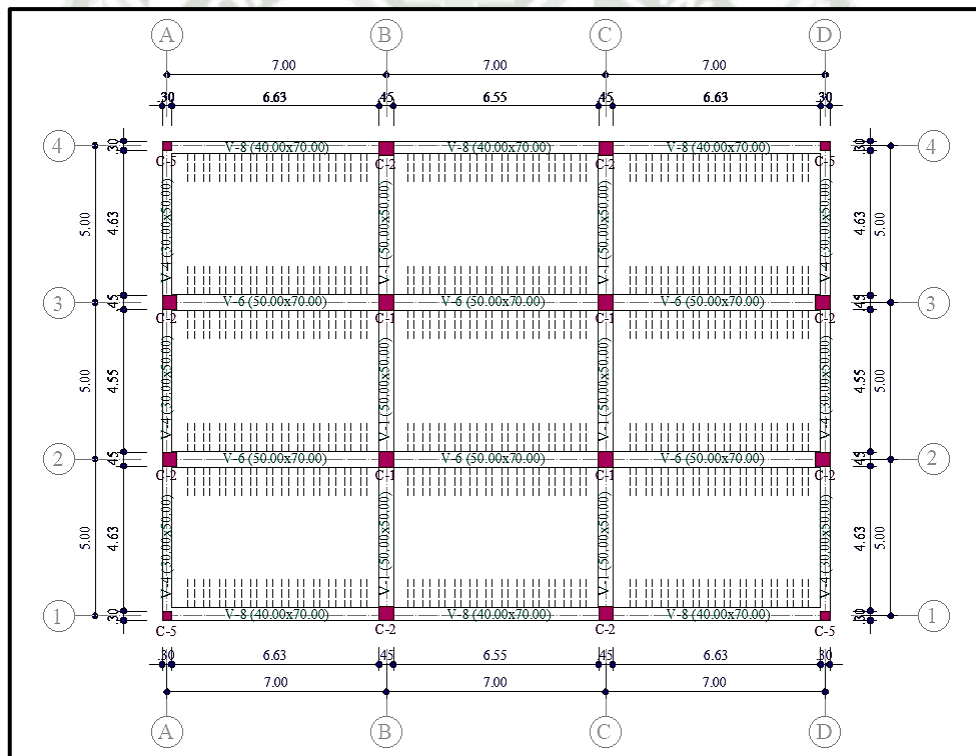
Sección Típica de Losa Aligerada (Talavera Flores, 2023)



1.2.4. Representación de Predimensionamiento

Figura 36

Imagen Referencial de Planta Típica (Se pueden encontrar planos por cada nivel en la sección de Anexos de la presente investigación) (Talavera Flores, 2023)



1.3. Análisis Modal Espectral

Se realizó el modelo usando el software ETABS 20.0.0, de este se obtuvieron los resultados para el análisis modal espectral y el diseño de la estructura.

1.3.1. Modelo de la Estructura

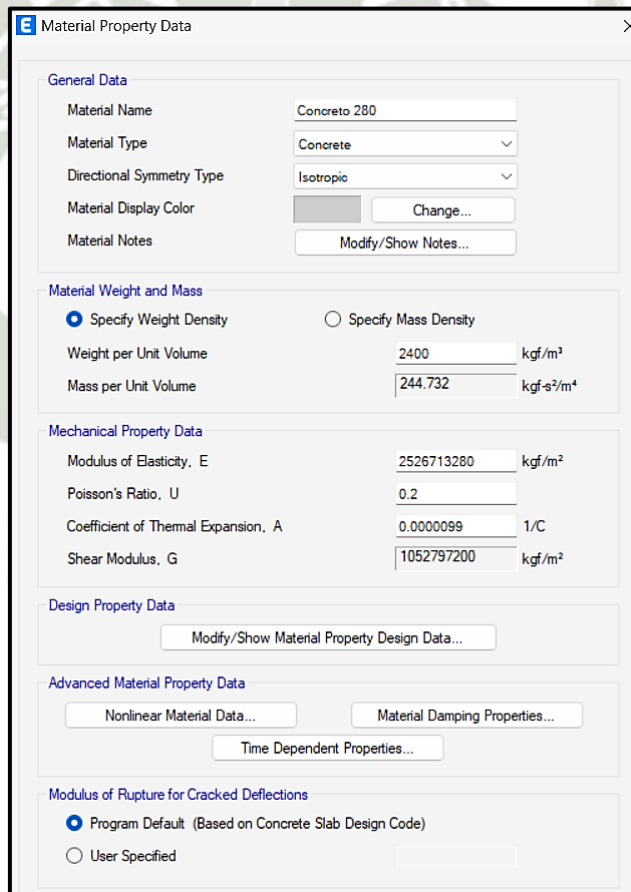
- **Propiedades de Materiales**

Se tiene una estructura de concreto armado con las siguientes propiedades mecánicas:

- Concreto:
 - Concreto isotrópico.
 - Resistencia a la compresión: $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$.
 - Peso específico: 2400 kgf/m^3 .
 - Módulo de Elasticidad: $252671.328 \text{ kgf/cm}^2$.

Figura 37

Definición de propiedades mecánicas del concreto (ETABS 20.0.0, 2023)



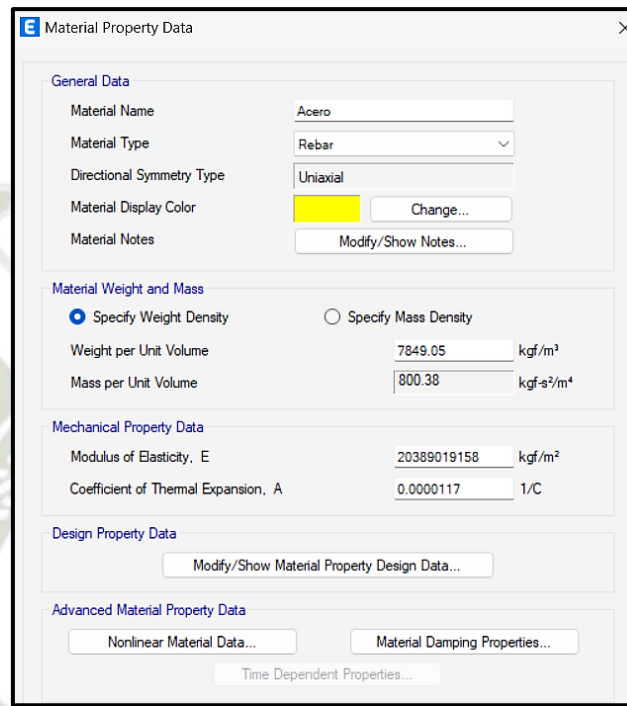
Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	Concreto 280	
	Material Type	Concrete	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color		
	Material Notes		
Material Weight and Mass	Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
	Specify Mass Density	<input type="radio"/>	
	Weight per Unit Volume	2400	kgf/m³
	Mass per Unit Volume	244.732	kgf-s²/m⁴
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	2526713280	kgf/m²
	Poisson's Ratio, U	0.2	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099	1/C
	Shear Modulus, G	1052797200	kgf/m²
Design Property Data			
Advanced Material Property Data			
Modulus of Rupture for Cracked Deflections	Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)	<input checked="" type="radio"/>	
	User Specified	<input type="radio"/>	

- Acero:
 - Límite de fluencia: $f_y = 4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
 - Peso específico: 7850 kgf/m^3 .

— Módulo de Elasticidad: 2000000 kgf/cm².

Figura 38

Definición de propiedades mecánicas del acero (ETABS 20.0.0, 2023)



- ***Elementos Estructurales***

Se tienen las secciones de elementos estructurales anteriormente obtenidos con el predimensionamiento, se muestran las secciones de las Tablas resumen de columnas y vigas, además de la sección de losa aligerada.

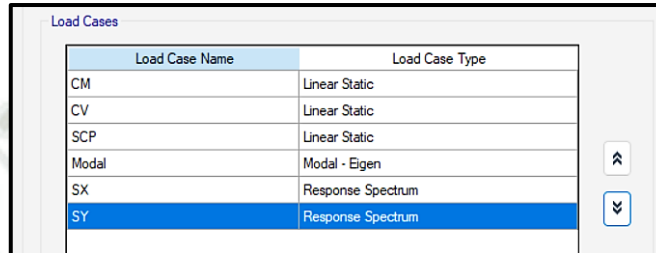
- ***Tipos de Carga***

- Carga muerta: Se considera el peso propio de los elementos estructurales de la edificación, en este caso, columnas, vigas y losa aligerada.
- Carga viva: Esta depende del uso que se le dará a la estructura, para el modelo se usará una carga de 250 kgf/m², siendo un valor promedio tomando como referencia las cargas establecidas por la Norma E.020.
- Sobrecarga permanente: Esta carga se considera por mantenerse constante durante la vida útil de una estructura, se produce por el peso de elementos permanentes no estructurales, como pueden ser acabados o instalaciones, por lo que se considera una carga de 100 kgf/m².

- Carga sísmica: La carga lateral producida por fuerzas sísmicas, es muy importante para el análisis dinámica, esta se obtiene de los parámetros sísmicos antes descritos formando el espectro de respuesta establecido por la NTE 030.

Figura 39

Definición de tipos de carga (ETABS 20.0.0, 2023)



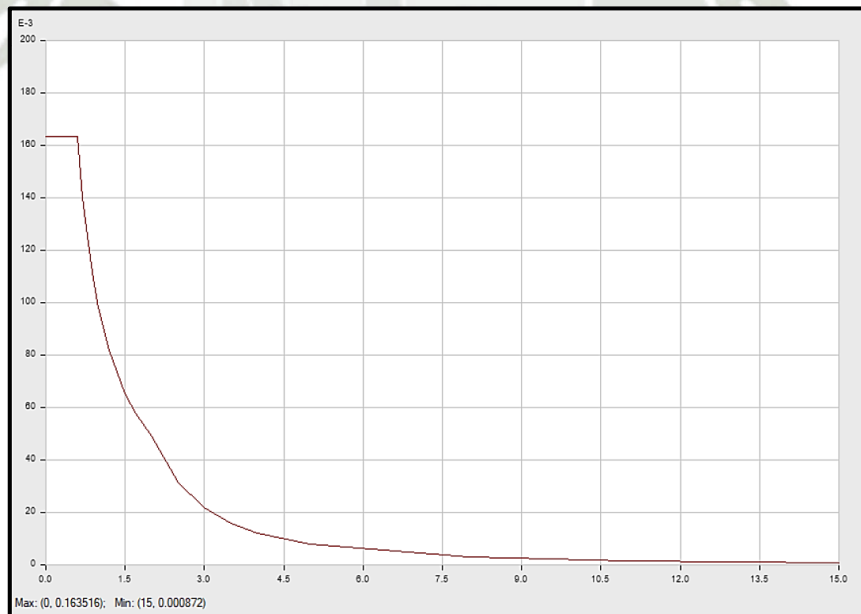
Load Case Name	Load Case Type
CM	Linear Static
CV	Linear Static
SCP	Linear Static
Modal	Modal - Eigen
SX	Response Spectrum
SY	Response Spectrum

- ***Función Espectral***

Con los parámetros de peligro sísmico señalados, se obtiene el espectro definido por la NTE 030 con el que se realizará el análisis modal espectral.

Figura 40

Espectro de Respuesta según la NTE 030 (ETABS 20.0.0, 2023)



- ***Combinaciones de carga***

Las combinaciones de carga que deben cumplir los elementos estructurales quedan estipuladas en la Parte 1: “Requisitos Generales de Resistencia” del Capítulo 9: “Requisitos

de Resistencia y Servicio” de la Norma E.060 sobre concreto armado; de estas se consideran las siguientes combinaciones:

- Resistencia mínima requerida para carga muerta y carga viva (CM y CV):

$$U = 1.4CM + 1.7CV$$

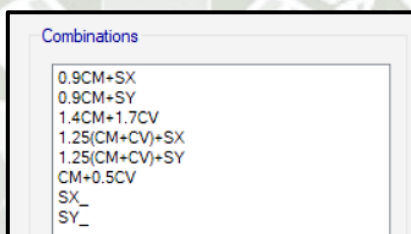
- Resistencia mínima requerida considerando carga sísmica (CS):

$$U = 1.25 (CM + CV) \pm CS$$

$$U = 0.9CM \pm CS$$

Figura 41

Definición de combinaciones (ETABS 20.0.0, 2023)



- **Dibujo de la estructura**

Figura 42

Planta de referencia- Nivel 1 (ETABS 20.0.0, 2023)

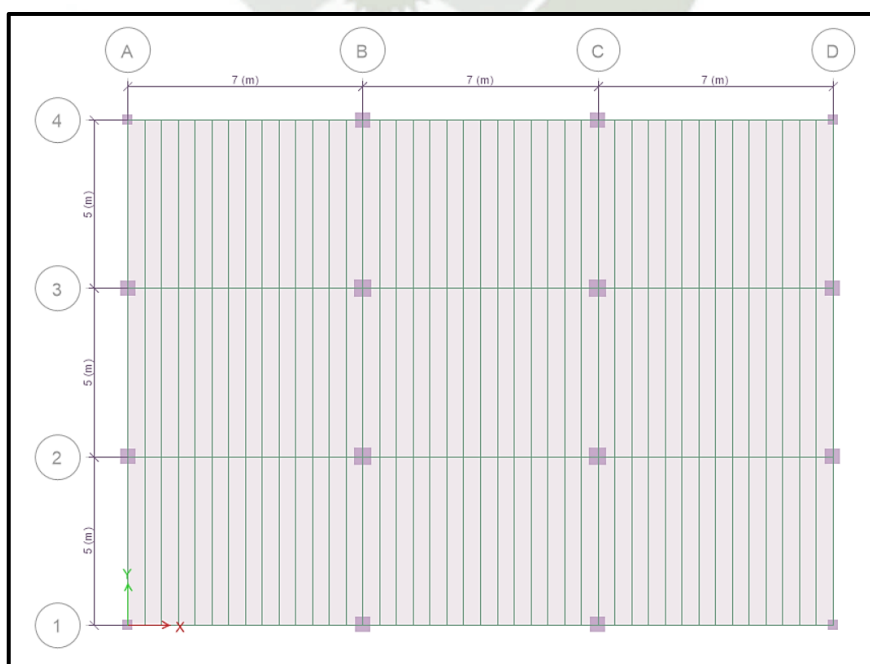
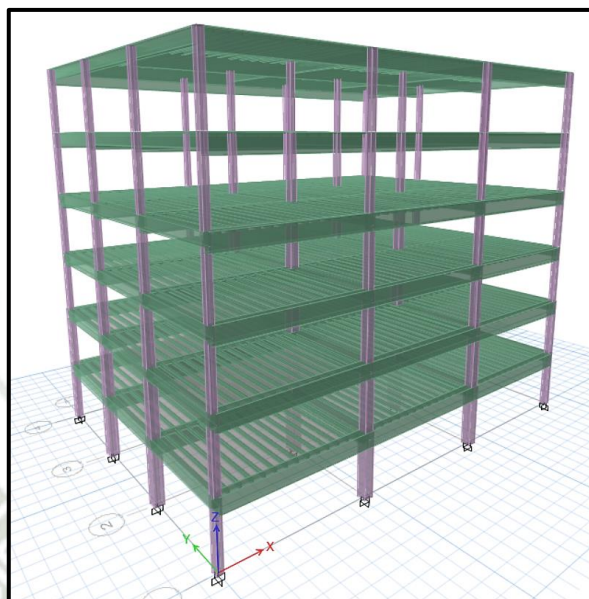


Figura 43

Vista 3D del modelo con Predimensionamiento (ETABS 20.0.0, 2023)



1.3.2. Análisis del Procesamiento del Modelo

- *Corrección de Cortante Basal*

Del procesamiento del modelo usando el software ETABS 20.0.0 se obtienen los datos para la corrección de cortante basal.

Por lo cual es necesario el peso total de la estructura:

Tabla 38

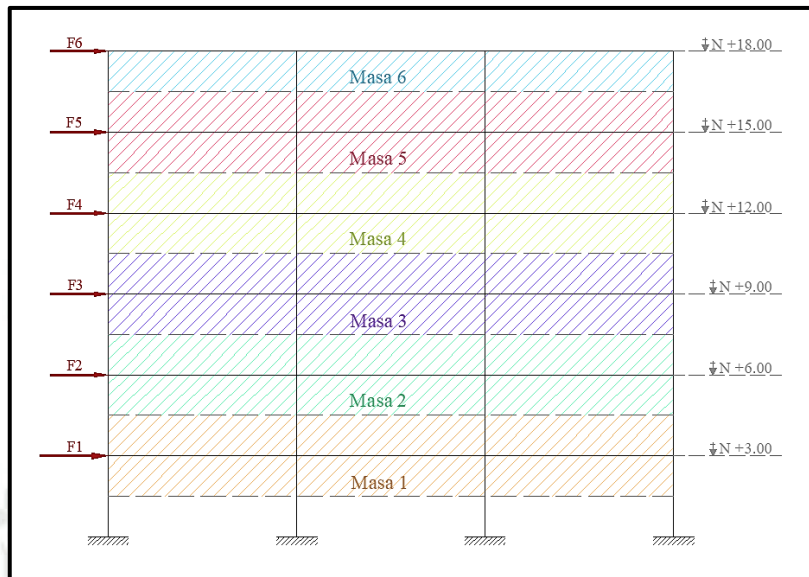
Fuerzas verticales en la estructura- Predimensionamiento (ETABS 20.0.0, 2023)

Tipo de Carga	Fz (Tnf)
Carga Muerta	859.54
Carga Viva	425.25
Sobrecarga Permanente	189.00

El peso total de la estructura está comprendido por el peso propio estructural, la sobrecarga permanente y la carga viva en un porcentaje, a este resultado hay que disminuirle la mitad del peso total de las columnas del primer nivel por la altura tributaria que carga cada columna.

Figura 44

Imagen referencial de las alturas tributarias en pórticos (Talavera Flores, 2023)



- Peso a disminuir de las columnas del Nivel 1:

Tabla 39

Cálculo de la mitad del peso a disminuir de las columnas del Nivel 1 (Talavera Flores, 2023)

	#columnas	PE (Ton/m3)	Área (m2)	Altura (m)	Peso*1/2 (Ton)
Peso - mitad de columnas C-1=	4.00	2.40	0.25	3.00	3.60
Peso - mitad de columnas C-2=	4.00	2.40	0.20	3.00	2.92
Peso - mitad de columnas C-5=	4.00	2.40	0.09	3.00	1.30

- Peso total de la estructura:

$$859.54 + 189.00 + (0.5 * 425.25) - 7.81 = 1253.35 \text{ Tnf}$$

Para hacer la corrección es necesario revisar los periodos fundamentales y los modos de vibración que se dan en la dirección X y la dirección Y; además, se evalúa las sumatorias de ratios de masas en ambas direcciones para verificar que superen el 90% de participación, en caso no ocurriera, deben de agregarse modos de vibración hasta cumplir con esta condición.

Tabla 40

Ratios de Participación de Masas (ETABS 20.0.0, 2023)

Carga	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		(s)				
Modal	1	0.947	0.00	0.6952	0.00	0.6952
Modal	2	0.866	0.00	0.00	0.00	0.6952
Modal	3	0.856	0.6758	0.00	0.6758	0.6952
Modal	4	0.397	0.00	0.1677	0.6758	0.8628
Modal	5	0.369	0.1836	0.00	0.8594	0.8628
Modal	6	0.351	0.00	0.00	0.8594	0.8628
Modal	7	0.241	0.00	0.0483	0.8594	0.9112
Modal	8	0.231	0.0477	0.00	0.9072	0.9112
Modal	9	0.215	0.00	0.00	0.9072	0.9112
Modal	10	0.184	0.00	0.0374	0.9072	0.9486
Modal	11	0.178	0.0431	0.00	0.9502	0.9486
Modal	12	0.169	0.00	0.00	0.9502	0.9486

- Siendo el UX máximo igual 0.6758 que corresponde al modo 3, por lo que su periodo fundamental es de 0.856.
- Mientras que el UY máximo igual 0.6952 que corresponde al modo 1, por lo que el periodo fundamental en esta dirección es de 0.947.

Tabla 41

Periodos Fundamentales de la estructura y Aceleraciones Espectrales (Talavera Flores, 2023)

Dirección	Modo	Periodo (s)	% Participación de masa		Aceleraciones Espectrales
			UX	UY	
En X	3	0.856	67.58%		0.1327
En Y	1	0.947		69.52%	0.1199

Las aceleraciones espectrales de la Tabla 36 se calcularon con la interpolación de aceleraciones del espectro de respuesta definido por la NTE 030 correspondientes a los periodos próximos a los periodos fundamentales obtenidos del software en la Tabla 35.

Para el cálculo de cortantes basales en ambas direcciones, se tiene:

Coefficiente de reducción del cortante según la Norma E.060: 0.85.

- Para X:

$$V_b = 0.85 * \text{Peso de la estructura} * Adg \text{ (dirección X)}$$

$$V_b = 0.85 * 1253.35 * 0.1327$$

$$V_b = 141.37 \text{ Tnf}$$

- Para Y:

$$V_b = 0.85 * \text{Peso de la estructura} * Adg \text{ (dirección X)}$$

$$V_b = 0.85 * 1253.35 * 0.1199$$

$$V_b = 127.71 \text{ Tnf}$$

Además, se tienen las cortantes basales obtenidas del software:

Tabla 42

Coefficiente de Corrección de Cortantes Basales (Talavera Flores, 2023)

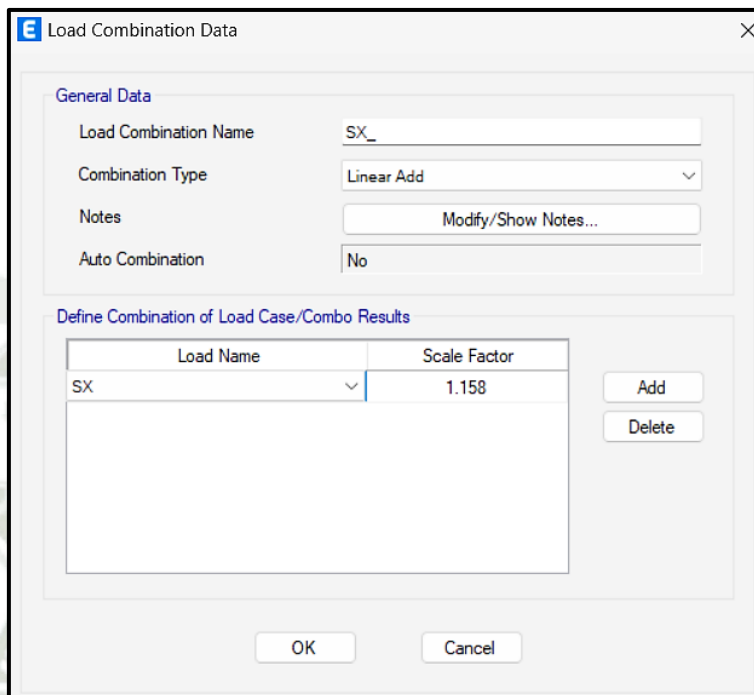
	Fuerza actuante por Sismo	Coefficiente de Corrección
SX	122.05 Tnf	1.158
SY	113.12 Tnf	1.129

Se realiza la corrección colocando el valor del coeficiente de corrección en el factor de escala de la combinación definida anteriormente, de esta forma, afectará a todas las combinaciones que contengan las cargas sísmicas automáticamente.

- Dirección X:

Figura 45

Corrección en Factor de Escala -Dirección X (ETABS 20.0.0, 2023)



E Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: SX_

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SX	1.158

Add

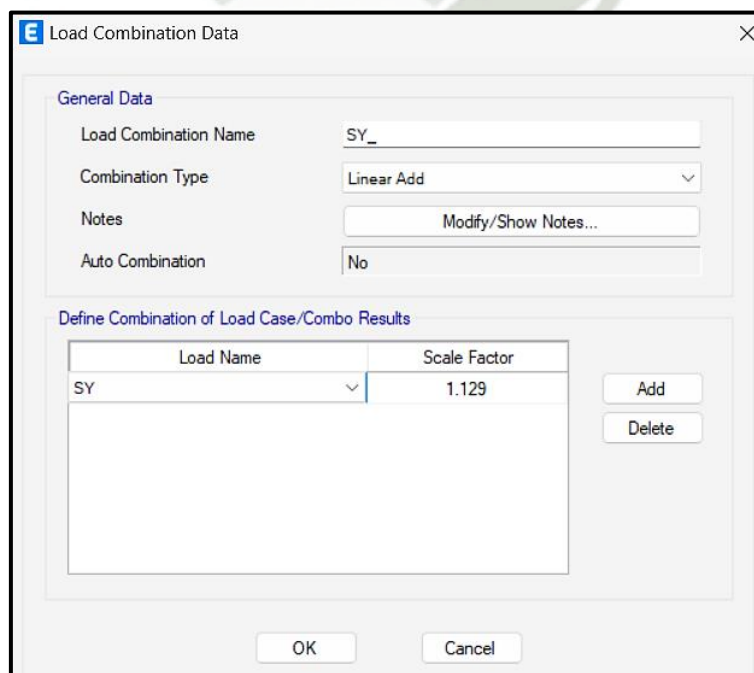
Delete

OK Cancel

- Dirección Y:

Figura 46

Corrección en Factor de Escala -Dirección Y (ETABS 20.0.0, 2023)



E Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: SY_

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SY	1.129

Add

Delete

OK Cancel

Al hacer la corrección en los factores de escala de las combinaciones de las fuerzas de sismo tanto en X como en Y, se obtienen nuevos valores de sus respectivas cortantes basales.

Tabla 43

Cortantes Basales con la Corrección en las Cargas Sísmicas (ETABS 20.0.0, 2023)

Output	Case Type	Step	FX	FY	FZ
Case		Type	kgf	kgf	kgf
SX_	Combinación	Max	141329.67	0.01	0.13
SX_	Combinación	Min	-	-0.01	-0.13
			141329.67		
SY_	Combinación	Max	0.04	127712	0.12
SY_	Combinación	Min	-0.04	-	-0.12
				127712	

Tabla 44

Comprobación de la Corrección de Cortantes Basales

	Fuerza actuante por Sismo	Coefficiente de Corrección
SX	141.33 Tnf	1.00
SY	127.71 Tnf	1.00

Del modelo en el software, se obtienen los desplazamientos del último nivel en ambas direcciones:

- Desplazamiento en X:

$$\delta = 41.55 \text{ mm} = 4.16 \text{ cm}$$

- Desplazamiento en Y:

$$\delta = 44.29 \text{ mm} = 4.43 \text{ cm}$$

Con los valores anteriores, se puede tener la curva bilineal, graficando la cortante vs el desplazamiento para cada dirección.

Tabla 45

Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)

Dirección X	
Vb [ton]	δ [cm]
0.00	0.00
141.37	4.16
141.37	35.00

Figura 47

Gráfico Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)

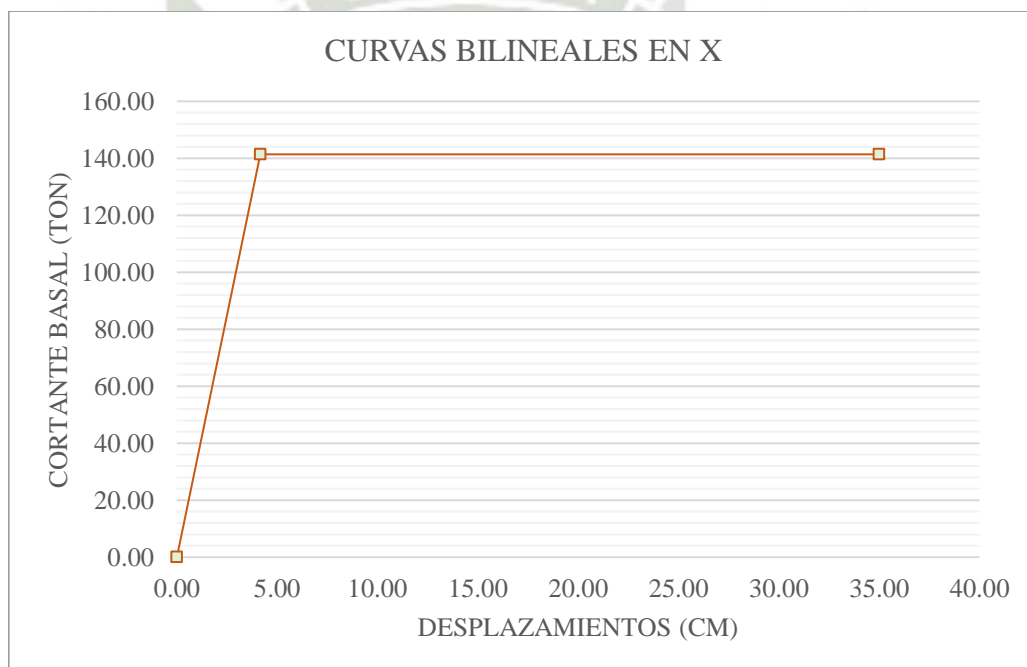


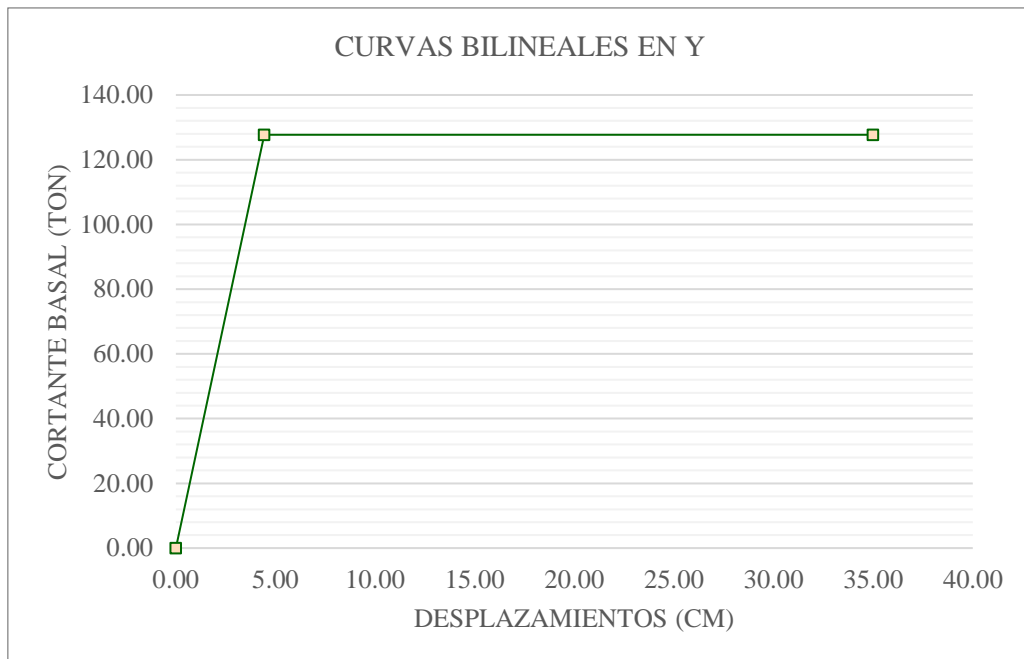
Tabla 46

Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)

Dirección Y	
Vb [ton]	δ [cm]
0.00	0.00
127.71	4.43
127.71	35.00

Figura 48

Gráfico Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)



- ***Revisión de Derivas por Nivel***

Como indica el numeral 5.1 “Determinación de Desplazamientos Laterales” del Capítulo 5 “Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad” de la NTE 030, se calculan los desplazamientos laterales multiplicando los valores de las derivas obtenidas del análisis elástico lineal con cargas sísmicas reducidas por 0.75R, esta condición se cumple para estructuras regulares como es el caso.

Del modelamiento en el software ETABS 20.0.0 se obtienen los siguientes desplazamientos laterales por Nivel:

- Dirección X:

Figura 49

Gráfico de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en X (ETABS 20.0.0, 2023)

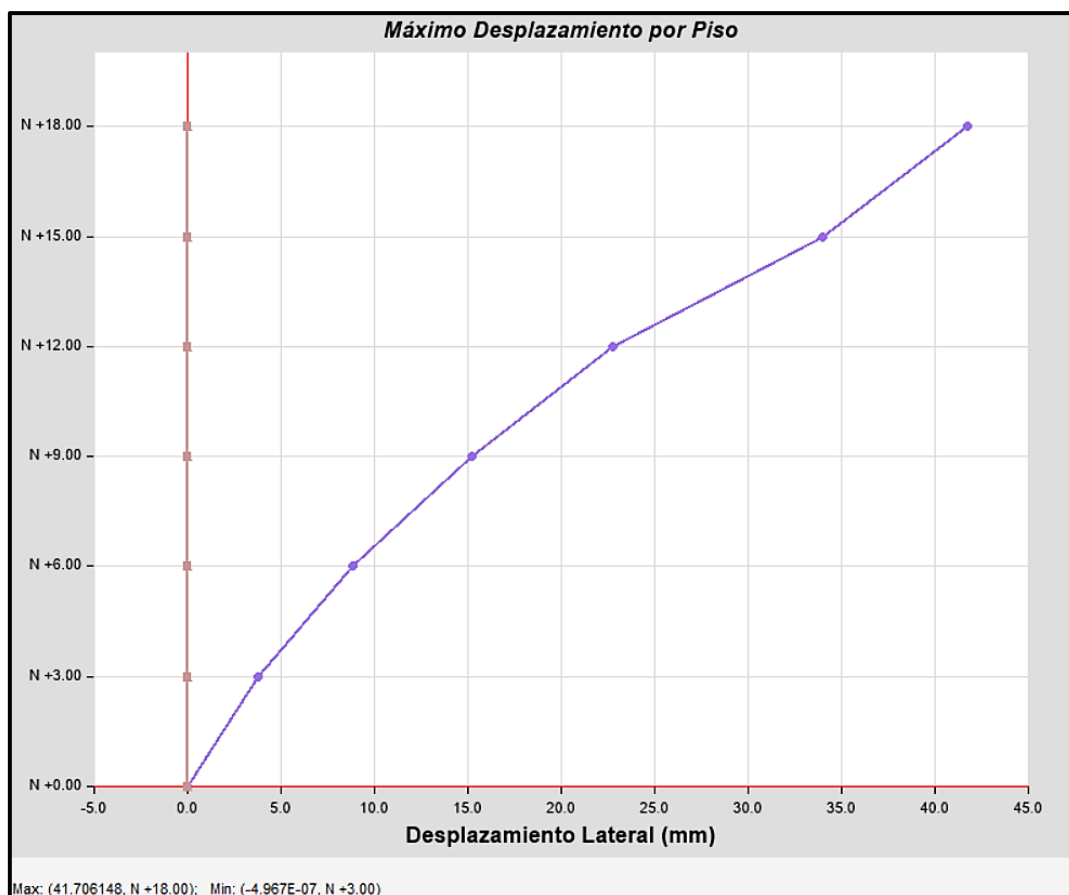


Tabla 47

Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección X (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Desplazamiento por Nivel	Desplazamiento por Nivel (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	41.547747	0.041547747	0.249286482	0.015503782
N +15.00	33.795856	0.033795856	0.202775136	0.022483428
N +12.00	22.554142	0.022554142	0.135324852	0.01514381
N +9.00	14.982237	0.014982237	0.089893422	0.012642588
N +6.00	8.660943	0.008660943	0.051965658	0.010090642
N +3.00	3.615622	0.003615622	0.021693732	0.007231244

- Dirección Y:

Figura 50

Gráfico de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en Y (ETABS 20.0.0, 2023)

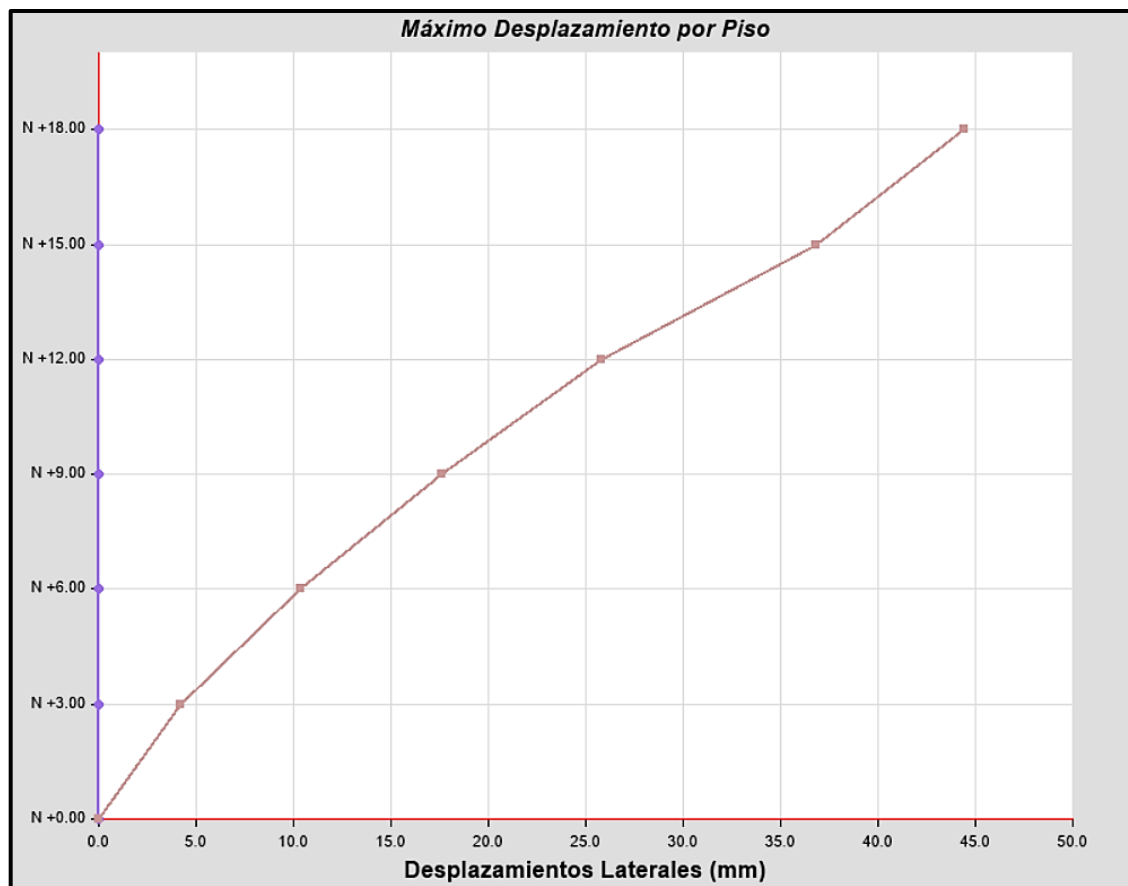


Tabla 48

Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Desplazamiento por Nivel	Desplazamiento por Nivel (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	44.286889	0.044286889	0.265721334	0.015245592
N +15.00	36.664093	0.036664093	0.219984558	0.022174536
N +12.00	25.576825	0.025576825	0.15346095	0.016369634
N +9.00	17.392008	0.017392008	0.104352048	0.014550804
N +6.00	10.116606	0.010116606	0.060699636	0.01220801
N +3.00	4.012601	0.004012601	0.024075606	0.008025202

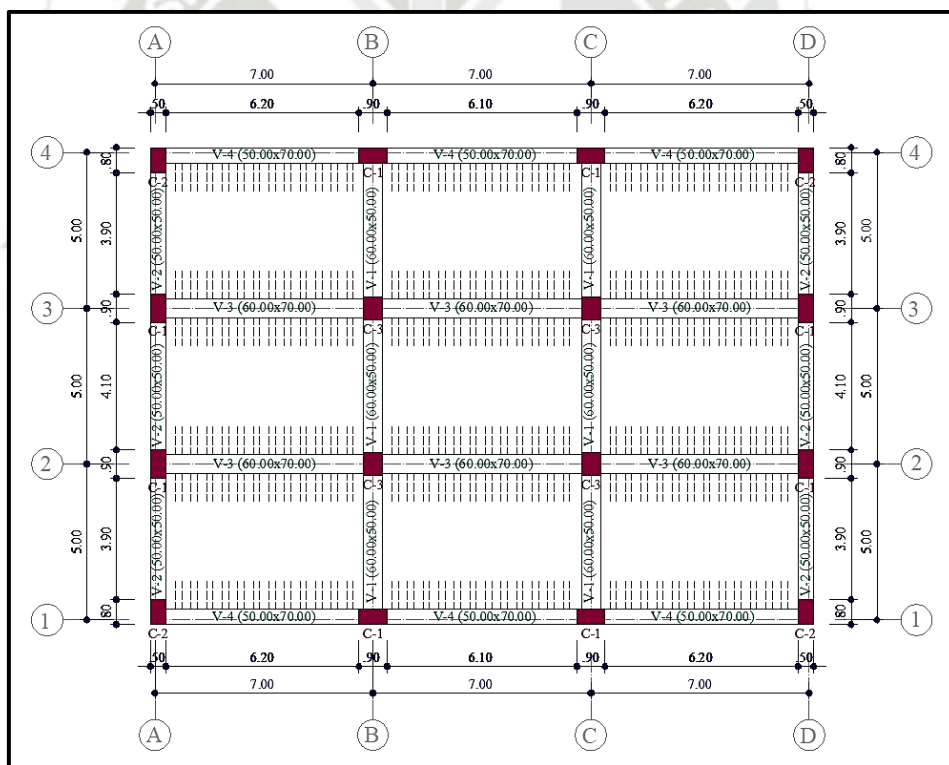
Del predimensionamiento, obtenemos que las derivas no cumplen con los requerimientos de la norma, por lo tanto, en el procedimiento de diseño se hará el redimensionamiento de las secciones y la definición del acero usando como herramienta el software.

1.4. Diseño Estructural

Con los resultados del análisis modal espectral descrito en el punto anterior se redimensionan las secciones de los elementos estructurales para lograr el comportamiento que cumpla con los requerimientos de la NTE 030, de esta manera se obtienen nuevos planos de planta y un nuevo modelo.

Figura 51

Imagen Referencial de Planta Típica (Se pueden encontrar planos por cada nivel en la sección de Anexos de la presente investigación) (Talavera Flores, 2023)



1.4.1. Elementos Estructurales

- **Columnas**

Tabla 49

Resumen de Secciones de Columnas según Diseño (Talavera Flores, 2023)

Nombre	Sección
C-1	50.00 x 90.00
C-2	50.00 x 80.00
C-3	60.00 x 75.00
C-4	50.00 x 70.00
C-5	50.0 60.00

- **Vigas**

Tabla 50

Resumen de Secciones de Vigas según Diseño (Talavera Flores, 2023)

Nombre	Sección
V-1	60.00 x 50.00
V-2	50.00 x 50.00
V-3	60.00 x 70.00
V-4	50.0 70.00

- **Losa**

Se considera la losa aligerada con viguetas de 10.00 cm x 25.00 cm y 5 cm de losa de techo.

1.4.2. Modelo de la Estructura

Se mantienen del modelo de la estructura con las dimensiones del predimensionamiento:

- Propiedades de los materiales.
- Distribución de los elementos estructurales.
- Tipos de carga.
- Función espectral de la NTE 030.
- Combinaciones de carga.

Con los puntos anteriores definidos se realizó el dibujo de la estructura.

Figura 52

Planta de referencia- Nivel 1 (Talavera Flores, 2023)

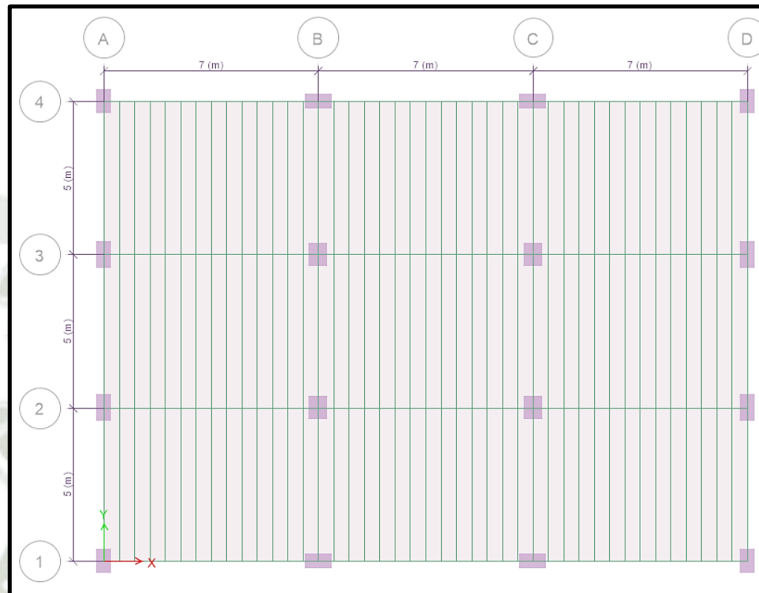
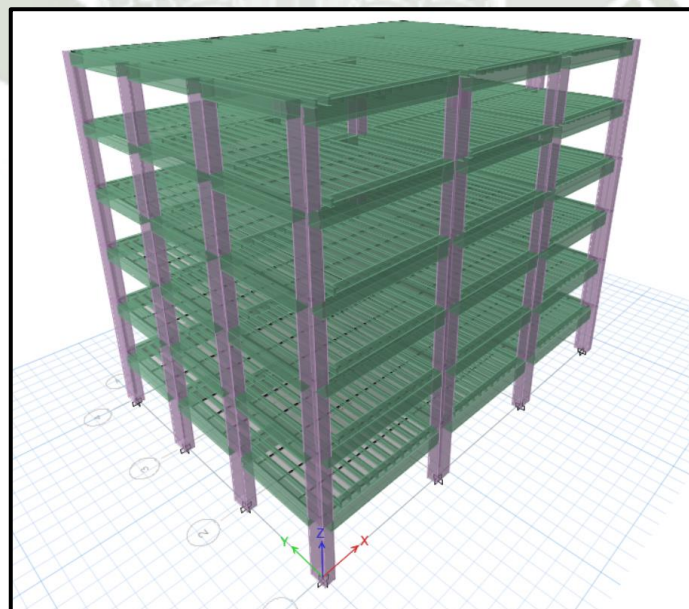


Figura 53

Vista 3D del modelo de Diseño (Talavera Flores, 2023)



1.4.3. Análisis del Procesamiento del Modelo

- **Corrección de Cortante Basal**

Se obtiene el peso de la estructura para la corrección de cortante basal del software ETABS 20.0.0.

Tabla 51

Fuerzas verticales en la estructura- Diseño (ETABS 20.0.0, 2023)

Tipo de Carga	Fz (Tnf)
Carga Muerta	1330.36
Carga Viva	425.25
Sobrecarga Permanente	189.00

El peso total de la estructura está comprendido por el peso propio estructural, la sobrecarga permanente y la carga viva en un porcentaje, a este resultado hay que disminuirle la mitad del peso total de las columnas del primer nivel por la altura tributaria que carga cada columna como se muestra en la Figura 28.

- Peso a disminuir de las columnas del Nivel 1:

Tabla 52

Cálculo de la mitad del peso a disminuir de las columnas del Nivel 1 (Talavera Flores, 2023)

	#columnas	PE (Ton/m3)	Área (m2)	Altura (m)	Peso*1/2 (Ton)
Peso - mitad de columnas C-1=	4.00	2.40	0.45	3.00	6.48
Peso - mitad de columnas C-2=	4.00	2.40	0.40	3.00	5.76
Peso - mitad de columnas C-3=	4.00	2.40	0.45	3.00	6.48

- Peso total de la estructura:

$$1330.36 + 189.00 + (0.5 * 425.25) - 18.72 = 1713.27 \text{ Tnf}$$

Para hacer la corrección es necesario revisar los periodos fundamentales y los modos de vibración que se dan en la dirección X y la dirección Y; además, se evalúa las sumatorias de

ratios de masas en ambas direcciones para verificar que superen el 90% de participación, en caso no ocurriera, deben de agregarse modos de vibración hasta cumplir con esta condición.

Tabla 53

Ratios de Participación de Masas (ETABS 20.0.0, 2023)

Carga	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		(s)				
Modal	1	0.578	0.00	0.7865	0.00	0.7865
Modal	2	0.516	0.8062	0.00	0.8062	0.7865
Modal	3	0.459	0.0007	0.00	0.8069	0.7865
Modal	4	0.184	0.00	0.1152	0.8069	0.9017
Modal	5	0.167	0.1113	0.00	0.9182	0.9017
Modal	6	0.144	0.000001413	0.00	0.9182	0.9017
Modal	7	0.098	0.00	0.0492	0.9182	0.9509
Modal	8	0.095	0.0416	0.00	0.9598	0.9509
Modal	9	0.078	0.00	0.00	0.9598	0.9509
Modal	10	0.077	0.000005481	0.00	0.9598	0.9509
Modal	11	0.073	0.0000467	0.00	0.9598	0.9509
Modal	12	0.072	0.00	0.00000299	0.9598	0.9509

- Siendo el UX máximo igual 0.8062 que corresponde al modo 2, por lo que su periodo fundamental es de 0.516.
- Mientras que el UY máximo igual 0.7865 que corresponde al modo 1, por lo que el periodo fundamental en esta dirección es de 0.578.

Tabla 54

Periodos Fundamentales de la estructura y Aceleraciones Espectrales (Talavera Flores, 2023)

Dirección	Modo	Periodo (s)	% Participación de masa		Aceleraciones Espectrales
			UX	UY	
En X	2	0.516	80.62%		0.1635
En Y	1	0.578		78.65%	0.1635

Las aceleraciones espectrales de la Tabla 49 se calcularon con la interpolación de aceleraciones del espectro de respuesta definido por la NTE 030 correspondientes a los periodos próximos a los periodos fundamentales obtenidos del software en la Tabla 48.

Para el cálculo de cortantes basales en ambas direcciones, se tiene:

Coefficiente de reducción del cortante según la Norma E.060: 0.85.

- Para X:

$$V_b = 0.85 * 1330.36 * 0.1635$$

$$V_b = 238.101 Tnf$$

- Para Y:

$$V_b = 0.85 * 1330.36 * 0.1635$$

$$V_b = 238.10 Tnf$$

Además, se tienen las cortantes basales obtenidas del software:

Tabla 55

Coefficiente de Corrección de Cortantes Basales (Talavera Flores, 2023)

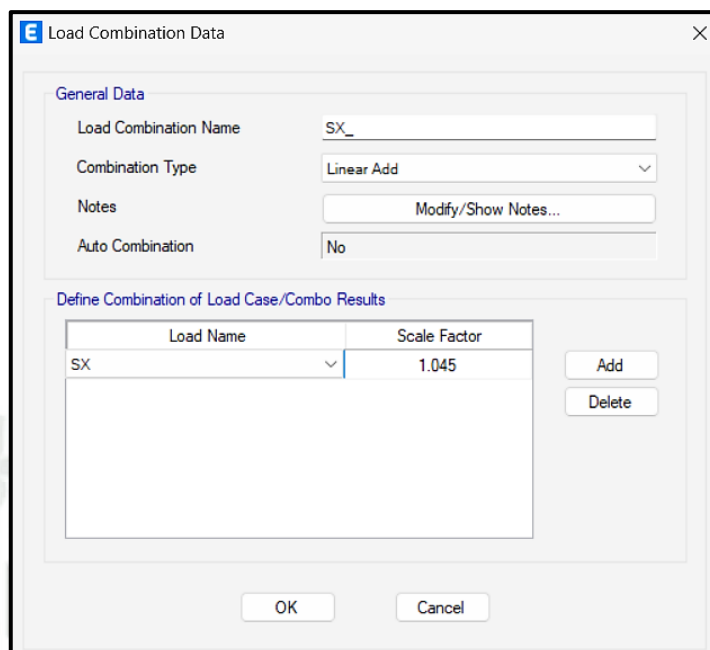
	Fuerza actuante por Sismo	Coefficiente de Corrección
SX	227.76 Tnf	1.045
SY	222.51 Tnf	1.070

Corrección en el factor de escala en el caso de carga sísmica de cada dirección:

- Dirección X:

Figura 54

Corrección en Factor de Escala -Dirección X (ETABS 20.0.0, 2023)



E Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: SX_

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SX	1.045

Add

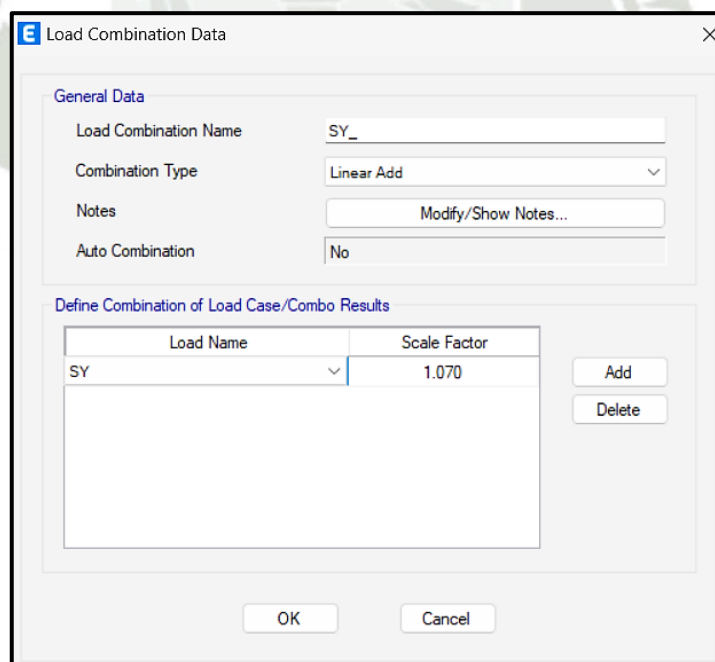
Delete

OK Cancel

- Dirección Y:

Figura 55

Corrección en Factor de Escala -Dirección Y (ETABS 20.0.0, 2023)



E Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: SY_

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SY	1.070

Add

Delete

OK Cancel

Habiendo hecho la corrección en los factores de escala, se revisan las cargas verticales producidas por el sismo obtenidas con el software, estas deben coincidir con las cargas calculadas.

Tabla 56

Cortantes Basales con la Corrección en las Cargas Sísmicas (ETABS 20.0.0, 2023)

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf
SX_	Combinación	Max	238008.47	0.02	0.15
SX_	Combinación	Min	- 238008.47	-0.02	-0.15
SY_	Combinación	Max	0.03	238090.09	19.93
SY_	Combinación	Min	-0.03	- 238090.09	-19.93

Tabla 57

Comprobación de la Corrección de Cortantes Basales (Talavera Flores, 2023)

	Fuerza actuante por Sismo	Coefficiente de Corrección
SX	238.01 Tnf	1.00
SY	238.09 Tnf	1.00

Del modelo en el software, se obtienen los desplazamientos del último nivel en ambas direcciones:

- Desplazamiento en X:

$$\delta = 14.64 \text{ mm} = 1.464 \text{ cm}$$

- Desplazamiento en Y:

$$\delta = 19.33 \text{ mm} = 1.933 \text{ cm}$$

Con los valores anteriores, se puede tener la curva bilineal, graficando la cortante vs el desplazamiento para cada dirección.

Tabla 58

Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)

Dirección X	
Vb [ton]	δ [cm]
0.00	0.00
238.10	1.464
238.10	15.00

Figura 56

Gráfico de Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección X (Talavera Flores, 2023)

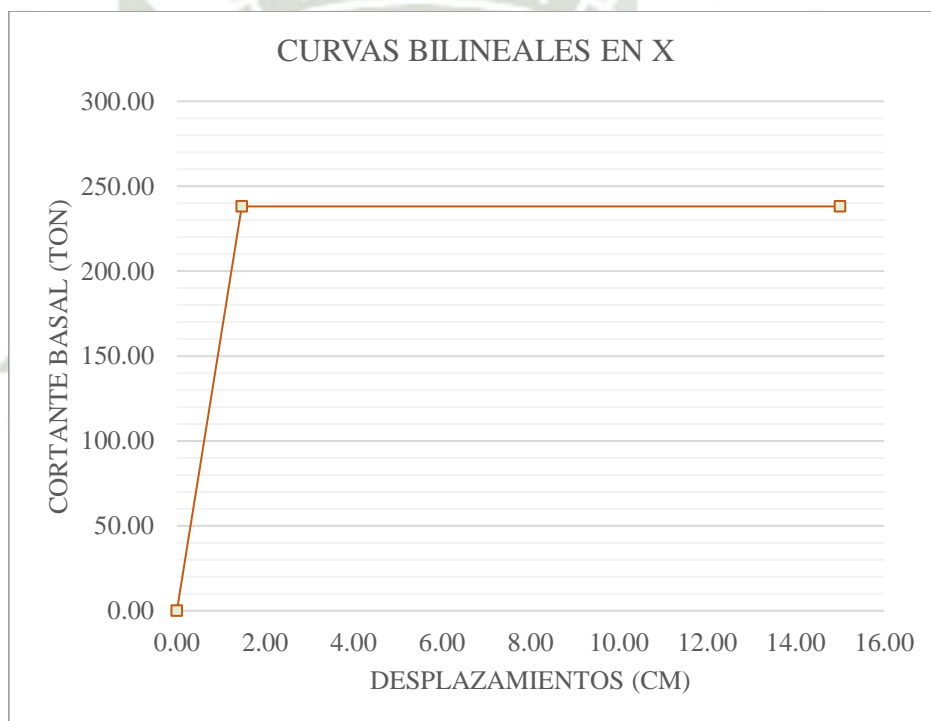


Tabla 59

Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)

Dirección Y	
Vb [ton]	δ [cm]
0.00	0.00
238.10	1.933
238.10	15.00

Figura 57

Gráfico de Cortante Basal vs Desplazamiento- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)



- **Verificación de Derivas por Nivel**

Como se indicó anteriormente la NTE 030 señala que los valores correspondientes a los desplazamientos laterales se obtienen multiplicando los valores de las derivas obtenidas del análisis elástico lineal con cargas sísmicas reducidas por $0.75R$, esta condición se cumple para estructuras regulares como es el caso.

Además, el numeral 5.2 “Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles” del Capítulo 5 “Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad” de la norma mencionada señala un valor máximo de 0.007 para estructuras de concreto armado, por lo que se hace la verificación de derivas con este parámetro.

- Dirección X:

Figura 58

Gráfico Representación de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en X (ETABS 20.0.0, 2023)

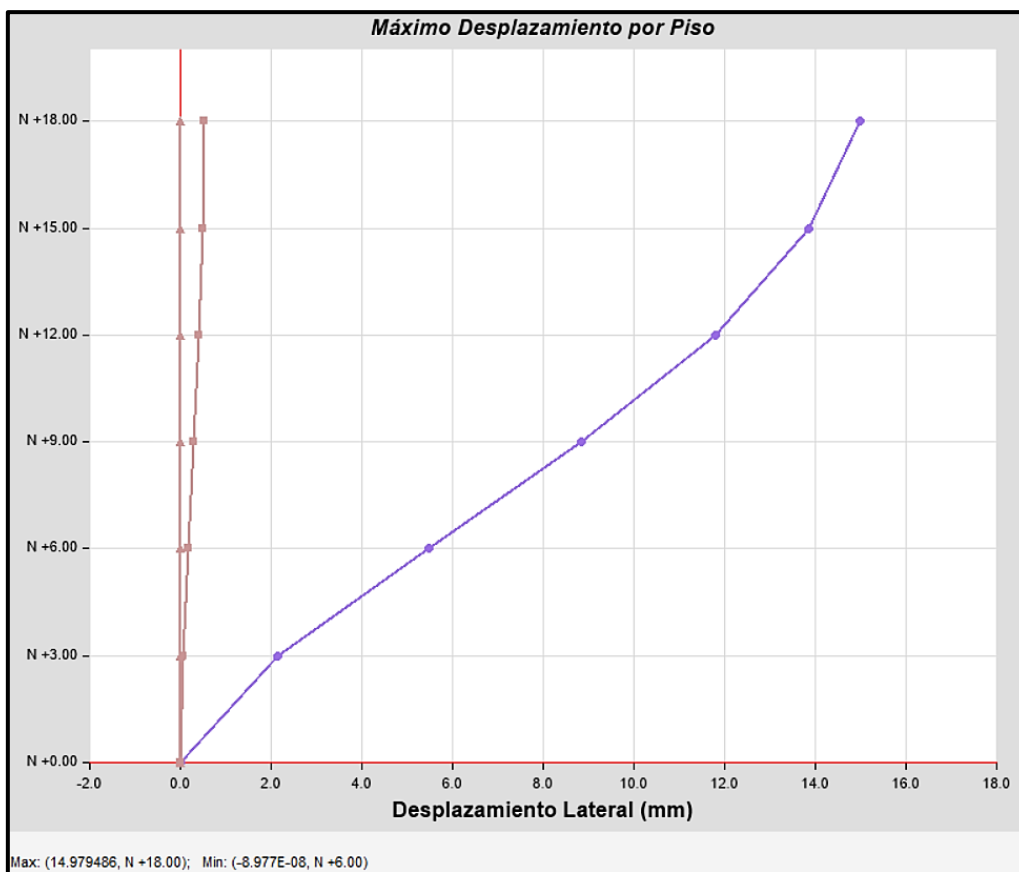


Tabla 60

Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección X (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Desplazamiento por Nivel	Desplazamiento por Nivel (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	14.980	0.01498	0.08988	0.00224000
N +15.00	13.860	0.01386	0.08316	0.00412000
N +12.00	11.800	0.0118	0.0708	0.00592000
N +9.00	8.840	0.00884	0.05304	0.00672000
N +6.00	5.480	0.00548	0.03288	0.00668000
N +3.00	2.140	0.00214	0.01284	0.00428000

- Dirección Y:

Figura 59

Gráfico de Representación de Máximos Desplazamientos por Nivel- Sismo en Y
(ETABS 20.0.0, 2023)

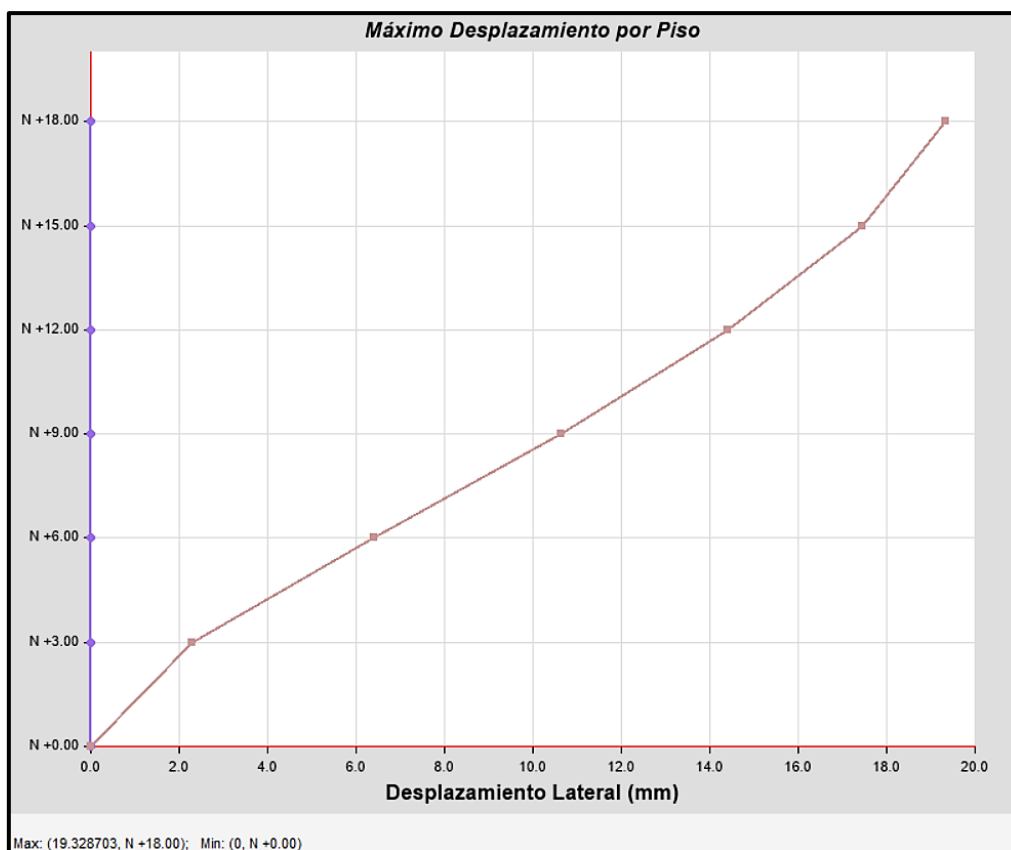


Tabla 61

Desplazamientos Laterales por Nivel- Dirección Y (Talavera Flores, 2023)

Nivel	Desplazamiento por Nivel	Desplazamiento por Nivel (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	19.330	0.01933	0.11598	0.00374000
N +15.00	17.460	0.01746	0.10476	0.00612000
N +12.00	14.400	0.0144	0.0864	0.00688160
N +9.00	10.640	0.01064	0.06384	0.00698570
N +6.00	6.410	0.00641	0.03846	0.00684000
N +3.00	2.300	0.0023	0.0138	0.00460000

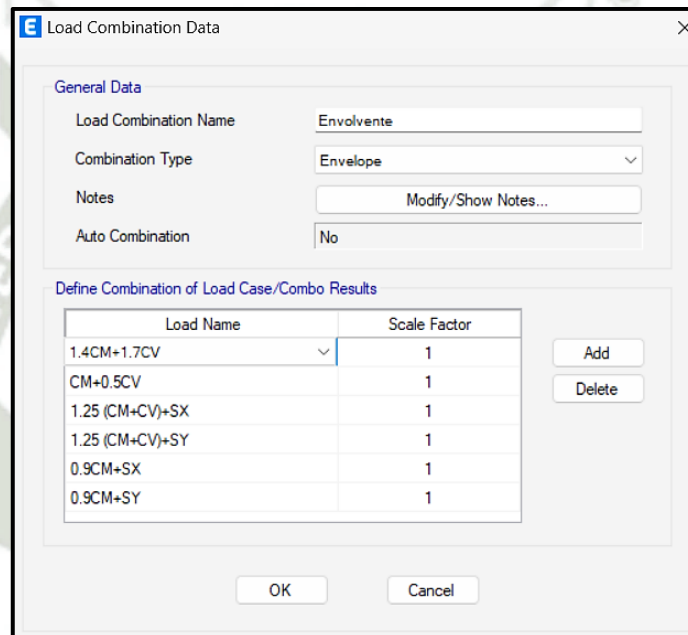
Se obtiene que los valores en todos los niveles, cumple con el máximo admisible establecido por la NTE 030; por lo que las secciones del diseño son correctas y tendrán el comportamiento adecuado con el análisis modal espectral.

1.4.4. Diseño de Acero

Para el diseño de acero se considera la envolvente de las combinaciones definidas anteriormente:

Figura 60

Envolvente de Combinaciones de Cargas (ETABS 20.0.0, 2023)



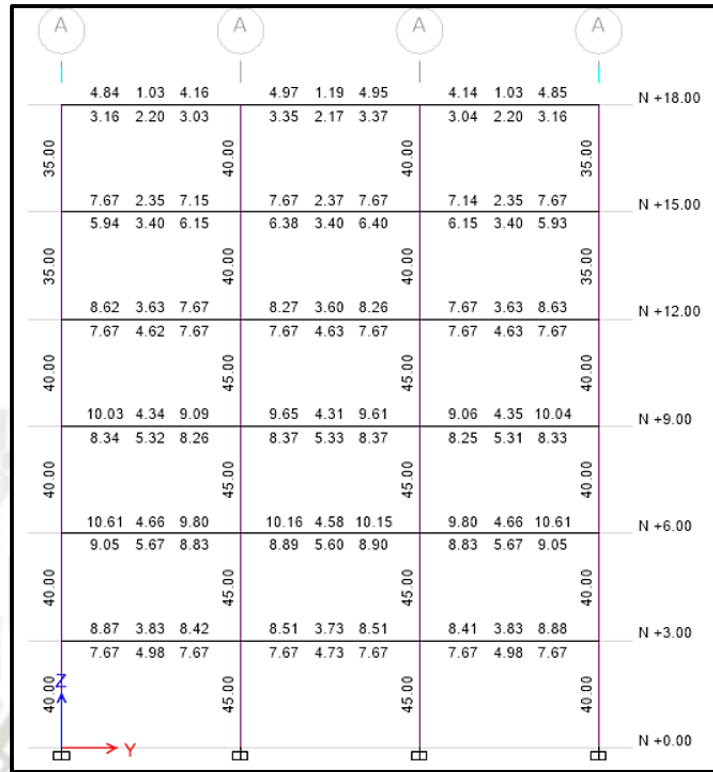
Load Name	Scale Factor
1.4CM+1.7CV	1
CM+0.5CV	1
1.25 (CM+CV)+SX	1
1.25 (CM+CV)+SY	1
0.9CM+SX	1
0.9CM+SY	1

Se obtiene el diseño del software ETABS 20.0.0, teniendo los siguientes valores para cada pórtico:

- Pórtico correspondiente al eje A y eje D:

Figura 61

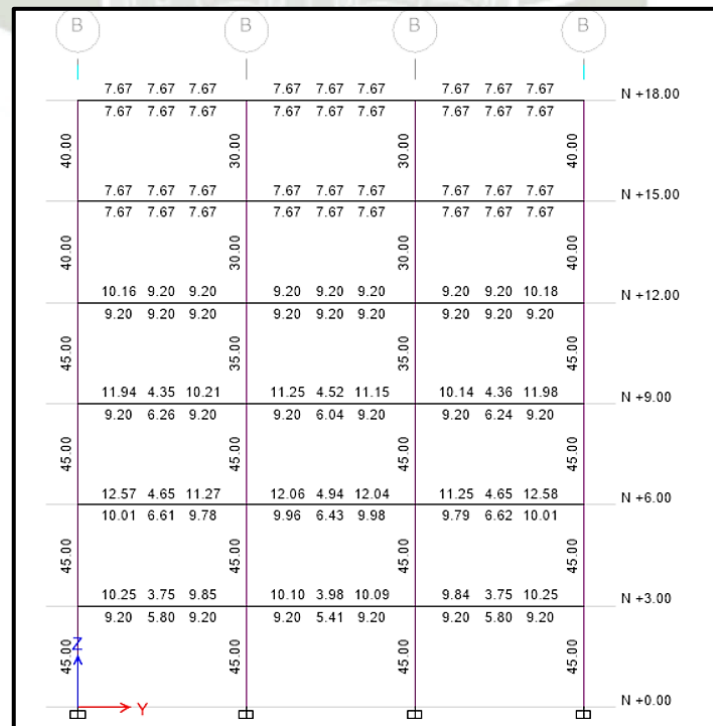
Disposición de acero en Pórticos de ejes A y D (ETABS 20.0.0, 2023)



- Pórtico correspondiente al eje B y eje C:

Figura 62

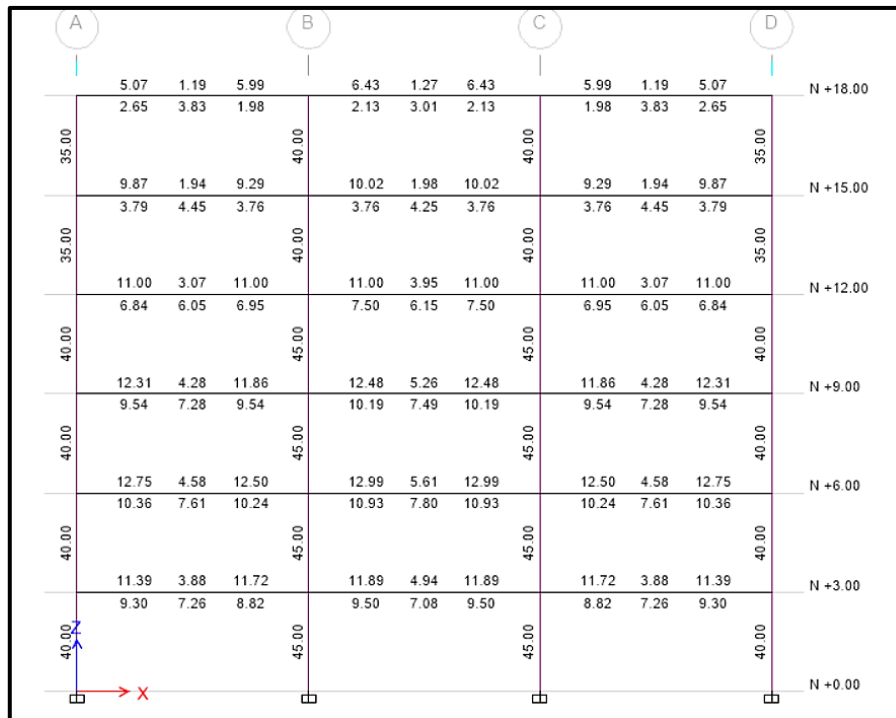
Disposición de acero en Pórticos de ejes B y C (ETABS 20.0.0, 2023)



- Pórtico correspondiente al eje 1 y eje 4:

Figura 63

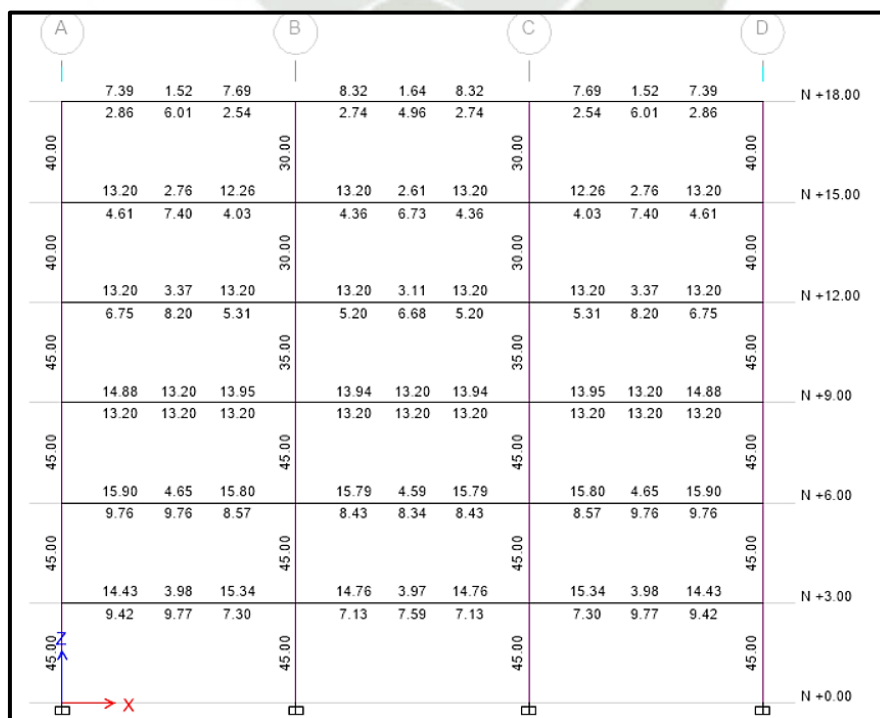
Disposición de acero en Pórticos de ejes 1 y 4 (ETABS 20.0.0, 2023)



- Pórtico correspondiente al eje 2 y eje 3:

Figura 64

Disposición de acero en Pórticos de ejes 2 y 3



- **Acero en Columnas**

Del diseño obtenido del software, se verifica el cumplimiento de la cuantía para el acero en columnas, por lo que se tienen las siguientes disposiciones para cada sección:

- C-1 (50.00 x 90.00):

Tabla 62

Cálculo de Acero para C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero		
a=	50.00	cm
t=	90.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As=	45.00	cm ²

Tabla 63

Disposición de Acero para C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023)

Disposición de Acero			
	# barras	ø	Área
Esquinas	4	1"	20.28
Caras	10	3/4"	28.4
	Área Total en barras=		48.68
	Cuantía de acero=		0.0108

- C-2 (50.00 x 80.00):

Tabla 64

Cálculo de Acero para C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero		
a=	50.00	cm
t=	80.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As=	40.00	cm ²

Tabla 65

Disposición de Acero para C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023)

Disposición de Acero			
	# barras	\varnothing	Área
Esquinas	4	1"	20.28
Caras	10	5/8"	19.9
Área Total en barras=			40.18
Cuantía de acero=			0.010

- C-3 (60.00 x 75.00):

Tabla 66

Cálculo de Acero para C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero		
a=	60.00	cm
t=	75.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As=	45.00	cm ²

Tabla 67

Disposición de Acero para C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023)

Disposición de Acero			
	# barras	\varnothing	Área
Esquinas	4	1"	20.28
Caras	10	3/4"	28.4
Área Total en barras=			48.68
Cuantía de acero=			0.0108

- C-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 68

Cálculo de Acero para C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero		
a=	50.00	cm
t=	70.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As=	35.00	cm ²

Tabla 69

Disposición de Acero para C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Disposición de Acero			
	# barras	∅	Área
Esquinas	4	1"	20.28
Caras	8	5/8"	15.92
	Área Total en barras=		36.20
	Cuantía de acero=		0.0103

- C-5 (50.00 x 60.00):

Tabla 70

Cálculo de Acero para C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)

Cálculo de Acero		
a=	50.00	cm
t=	60.00	cm
fy=	4218.42	kgf/cm ²
As=	30.00	cm ²

Tabla 71

Disposición de Acero para C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)

Disposición de Acero			
	# barras	ø	Área
Esquinas	4	1"	20.28
Caras	4	3/4"	11.36
	Área Total en barras=		31.64
	Cuantía de acero=		0.0105

- **Acero en Vigas**

Con los valores de diseño obtenidos con el software, se hace la verificación del acero en vigas para cada sección usando los momentos máximos que sufre la viga:

- V-1 (60.00 x 50.00):

Tabla 72

Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-1 (60.00x50.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

	Momento de Diseño kgf-m	P_u de Diseño kgf	Acero Mínimo cm²	Acero Requerido cm²
Top	-21112.95	0	9.2	12.6
Bottom	16947.54	0	9.2	10.03

Tabla 73

Características de la viga V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Características del Elemento			
b=	60.00	cm	
h=	50.00	cm	
r=	4.00	cm	
d=	46.00	cm	

Tabla 74

Acero de la viga- Top V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Top		
ϕ =	0.90	
Mn =	16.95	Tn.m
ρ b =	0.028	
As =	10.03	cm ²
ρ =	0.0036	
ρ mín =	0.0033	
As mín =	9.16	cm ²

El acero fluye, teniendo una falla dúctil, por lo que se tiene 10.06 cm² de acero en tracción distribuidos en 4 ϕ 3/4" ($A's$ = 11.36 cm²).

Tabla 75

Acero de la viga- Bottom V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Bottom		
ϕ =	0.90	
Mn =	21.11	Tn.m
ρ b =	0.028	
As =	12.60	cm ²
ρ =	0.0046	
ρ mín =	0.0033	
As mín =	9.16	cm ²

El acero fluye, teniendo una falla dúctil, por lo que se tiene 12.60 cm² de acero en tracción distribuidos en 5 ϕ 3/4" (A_s = 14.20 cm²).

- V-2 (50.00 x 50.00):

Tabla 76

Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-2 (50.00x50.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

	Momento de Diseño kgf-m	P_u de Diseño kgf	Acero Mínimo cm²	Acero Requerido cm²
Top	-17800.43	0	7.67	10.63
Bottom	15275.99	0	7.67	9.06

Tabla 77

Características de la viga V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Características del Elemento		
b=	50.00	cm
h=	50.00	cm
r=	4.00	cm
d=	46.00	cm

Tabla 78

Acero de la viga- Top V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Top		
ϕ=	0.90	
Mn=	15.28	Tn.m
ρb=	0.028	
As=	9.06	cm ²
ρ=	0.0033	
ρ mín=	0.0033	
As mín=	9.16	cm ²

El acero calculado es menor que el acero mínimo, por lo que se usa 9.16 cm² de acero en tracción distribuidos en 2 ϕ 3/4" en las esquinas y 2 ϕ 5/8" en la cara (A's= 9.66 cm²).

Tabla 79

Acero de la viga- Bottom V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Bottom		
ϕ=	0.90	
Mn=	17.80	Tn.m
As=	10.55	cm ²
ρ=	0.0038	
ρ mín=	0.0033	
As mín=	9.16	cm ²

El acero fluye, teniendo una falla dúctil, por lo que se tiene 10.55 cm² de acero en tracción distribuidos en 4 ø 3/4" (As= 11.36 cm²).

- V-3 (60.00 x 70.00):

Tabla 80

Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-3 (60.00x70.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

	Momento de Diseño kgf-m	P_u de Diseño kgf	Acero Mínimo cm²	Acero Requerido cm²
Top	-38419.82	0	13.20	15.90
Bottom	18034.23	0	9.76	9.76

Tabla 81

Características de la viga V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Características del Elemento		
b=	60.00	cm
h=	70.00	cm
r=	4.00	cm
d=	66.00	cm

Tabla 82

Acero de la viga- Top V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Top		
φ=	0.90	
Mn=	18.03	Tn.m
ρb=	0.028	
As=	7.32	cm ²
ρ=	0.0033	
ρ mín=	0.0033	
As mín=	9.66	cm ²

El acero calculado es menor que el acero mínimo, por lo que se usa 9.66 cm² de acero en tracción distribuidos en 4 \varnothing 3/4" ($A's= 11.36$ cm²).

Tabla 83

Acero de la viga- Bottom V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Bottom		
$\phi=$	0.90	
$Mn=$	38.42	Tn.m
$\rho b=$	0.028	
$As=$	15.90	cm ²
$\rho=$	0.0040	
ρ mín= ρ	0.0033	
As mín= As	13.14	cm ²

El acero fluye, teniendo una falla dúctil, por lo que se tiene 15.90 cm² de acero en tracción distribuidos en 2 \varnothing 1" en las esquinas y 3 \varnothing 5/8" en la cara ($A's= 16$ cm²).

- V-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 84

Momento de diseño y refuerzo a flexión- V-4 (50.00x70.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

	Momento de Diseño kgf-m	P_u de Diseño kgf	Acero Mínimo cm²	Acero Requerido cm²
Top	-30459.87	0	11.00	12.58
Bottom	19143.80	0	10.40	10.40

Tabla 85

Acero de la viga- Top V-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Top		
ϕ =	0.90	
Mn =	19.14	Tn.m
ρ_b =	0.028	
As =	7.80	cm ²
ρ =	0.0024	
ρ mín =	0.0033	
As mín =	10.40	cm ²

El acero calculado es menor que el acero mínimo, por lo que se usa 10.40 cm² de acero en tracción distribuidos en 4 \emptyset 3/4" ($A's$ = 11.36 cm²).

Tabla 86

Acero de la viga- BottomV-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Acero de Viga- Bottom		
ϕ =	0.90	
Mn =	30.46	Tn.m
ρ_b =	0.028	
As =	12.58	cm ²
ρ =	0.0032	
ρ mín =	0.0033	
As mín =	11.00	cm ²

El acero fluye, teniendo una falla dúctil, por lo que se tiene 12.58 cm² de acero en tracción distribuidos en 5 \emptyset 3/4" (A_s = 14.20 cm²).

2. ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO HISTORIA

2.1. Tratamiento de la Estructura

2.1.1. Reducción de Rigideces

Para el análisis no lineal, como primer paso se debe hacer la reducción de rigideces en los elementos estructurales, tomando los porcentajes de estas según se estipule en las normas correspondientes:

- Normas FEMA 440 y ATC 40:

Tabla 87

Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según las Normas FEMA 440 y ATC 40 (Normas FEMA 440 y ATC 40)

Elemento	Flexión	Corte
Vigas	50%	40%
Columnas	70%	40%

- Normas ASCE 41-17:

Tabla 88

Condiciones para reducción de rigidez de vigas y columnas según la Norma ASCE 41-17 (Norma ASCE 41-17)

Elemento	Flexión	Corte
Vigas	30%	40%
Columnas $P \geq 0.5f'cAg$	70%	40%
Columnas $P \leq 0.1f'cAg$	30%	40%

Considerando la combinación de cargas 1.4D+1.7L para el valor de P; si este tiene un valor que se encuentra entre ambas condiciones, se realiza una interpolación lineal para la determinación del porcentaje de reducción.

- **Reducción en Columnas**

En el caso de las columnas se hará el análisis por Nivel y por columna para ver dentro de que condición que señala la norma se encuentra la columna, obteniendo B de los resultados obtenidos del modelamiento en el software ETABS 20.0.0.

- Nivel 1:

— Pórticos A y D:

Tabla 89

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 1 (Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	160.60	33%	40%
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	99.96	30%	40%

— Pórticos B y C:

Tabla 90

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 1
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	173.85	34%	40%
C-3	60.00	75.00	126.00	630.00	279.24	42%	40%

• Nivel 2:

— Pórticos A y D:

Tabla 91

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 2
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	133.18	31%	40%
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	83.24	30%	40%

— Pórticos B y C:

Tabla 92

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 2
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	144.31	31%	40%
C-3	60.00	75.00	126.00	630.00	228.89	38%	40%

- Nivel 3:

- Pórticos A y D:

Tabla 93

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 3
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	105.47	30%	40%
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	66.10	30%	40%

- Pórticos B y C:

Tabla 94

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 3
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	114.56	30%	40%
C-3	60.00	75.00	126.00	630.00	179.47	34%	40%

- Nivel 4:

- Pórticos A y D:

Tabla 95

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 4
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	77.67	30%	40%
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	48.77	30%	40%

— Pórticos B y C:

Tabla 96

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 4
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-1	50.00	90.00	126.00	630.00	84.64	30%	40%
C-4	50.00	70.00	98.00	490.00	130.50	33%	40%

• Nivel 5:

— Pórticos A y D:

Tabla 97

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 5
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	49.75	30%	40%
C-4	50.00	70.00	98.00	490.00	31.36	30%	40%

— Pórticos B y C:

Tabla 98

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 5
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	54.52	30%	40%
C-5	50.00	60.00	84.00	420.00	82.74	30%	40%

- Nivel 6:

- Pórticos A y D:

Tabla 99

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos A y D del Nivel 6
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	22.08	30%	40%
C-4	50.00	70.00	98.00	490.00	14.29	30%	40%

- Pórticos B y C:

Tabla 100

Cálculo de Reducción de Rigidez por Flexión para los Pórticos B y C del Nivel 6
(Talavera Flores, 2023)

Columna	a (cm)	t (cm)	0.1f'cAg (Tnf)	0.5f'cAg (Tnf)	P (Tnf)	If	Is
C-2	50.00	80.00	112.00	560.00	25.06	30%	40%
C-5	50.00	60.00	84.00	420.00	36.58	30%	40%

- **Reducción en Vigas**

Para todas las vigas se aplica 70% de reducción de rigidez para flexión y 40% de reducción en corte.

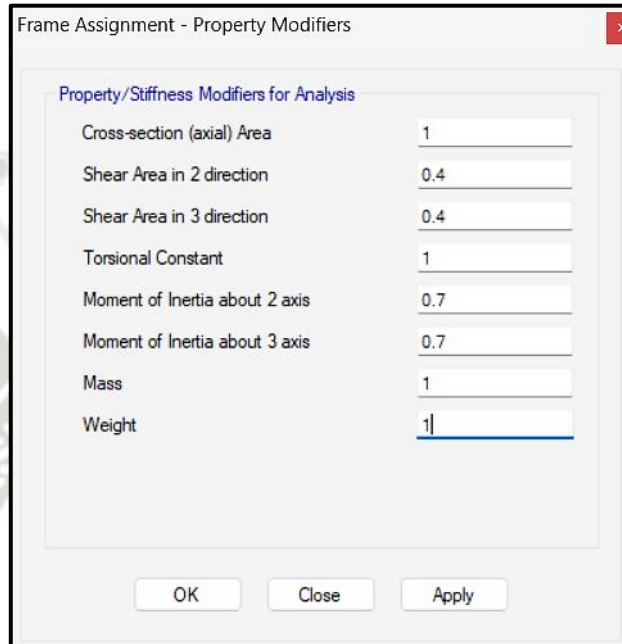
- **Definición de Reducción de Rigidez en el Modelo**

Los porcentajes obtenidos en las tablas anteriores se asignan a cada elemento, seleccionándolo y modificando sus propiedades en el modelo, siendo Shear Area in 2 direction y Shear Area in 3 direction los factores correspondientes a la cortante, mientras que

Moment of Inertia about 2 axis y Momento of Inertia about 3 axis correspondientes a la flexión.

Tabla 101

Reducción de Rigidez en Vigas (ETABS 20.0.0, 2023)



2.1.2. Diagrama de Interacción

Se definieron las propiedades de material para las columnas:

- Resistencia a la compresión del concreto: $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$
 - Límite de fluencia del acero: $f_y = 4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
 - Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$
 - Deformación unitaria del acero en fluencia: $\epsilon_y = 0.0021$
 - Deformación última del concreto: $\epsilon_{cu} = 0.003$
 - Factor de reducción: $\beta_1 = 0.85$
- C-1 (50.00 x 90.00):

Tabla 102

Propiedades Geométricas de C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023)

Geometría de C-1		
b	50.00	cm
h	90.00	cm
d'	4.00	cm
dc	4.00	cm
d	86.00	cm

- Se hace el cálculo de aceros en la columna según su distribución en la sección.

Tabla 103

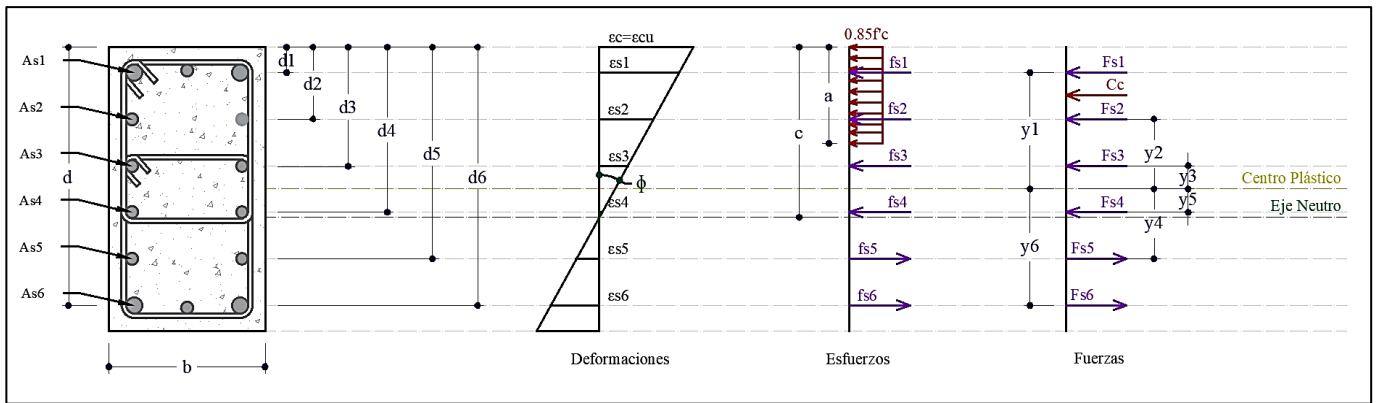
Áreas de acero por fila C-1 (50.00 x 90.00) (Talavera Flores, 2023)

	As (cm²)	di (cm)	yi (cm)
As1	12.98	4.00	41.00
As2	5.68	20.40	24.60
As3	5.68	36.80	8.20
As4	5.68	53.20	-8.20
As5	5.68	69.60	-24.60
As6	12.98	86.00	-41.00
Ast	48.68	cm ²	

- Considerando falla balanceada, se hace el cálculo de fuerzas actuantes en la sección de la columna C-1 (50.00 x 90.00):

Figura 65

Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-1(50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$c = d * \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y + \epsilon_{cu}}$$

$$c = 86.00 * \frac{0.003}{0.0021 + 0.003}$$

$$c = 50.50 \text{ cm}$$

$$C_c = 0.85 * 280 * 0.85 * 50.50 * 50.00$$

$$C_c = 510.78 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de brazo de la fuerza de compresión del concreto:

$$y_c = \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$y_c = \frac{90}{2} - \frac{0.85 * 50.50}{2}$$

$$y_c = 23.54 \text{ cm}$$

- Cálculo de deformaciones unitarias, esfuerzos, fuerzas y momentos actuantes en la sección de la columna.

Tabla 104

Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-1 (50.00 x 90.00)

(Talavera Flores, 2023)

	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)	ϵ_{si}	fsi	Fsi (Tnf)	Mi (Tnf*m)
As1=	12.98	4.00	41.00	0.0028	4218.42	54.76	22.45
As2=	5.68	20.40	24.60	0.0018	3576.10	20.31	5.00
As3=	5.68	36.80	8.20	0.0008	1627.47	9.24	0.76
As4=	5.68	53.20	-8.20	-0.0002	-321.16	-1.82	0.15
As5=	5.68	69.60	-24.60	-0.0011	-2269.79	-12.89	3.17
As6=	12.98	86.00	-41.00	-0.0021	-4218.42	-54.76	22.45

- Cálculo la fuerza total que actúa en la sección de la columna:

$$Pb = Cc + \sum Fsi$$

$$Pb = 525.62 \text{ Tnf}$$

- Para el momento nominal se calcula la sumatoria de todas las fuerzas obtenidas por sus respectivos brazos.

$$Mn = Cc * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 510.78 * \left(\frac{90}{2} - \frac{0.85 * 50.50}{2} \right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 174.21 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de fuerza considerando una compresión pura:

$$Pno = 0.85 * f'c * (Ag - Ast) + (Ast * fy)$$

$$Pno = 0.85 * 280 * (4500 - 48.68) + (48.68 * 4218.42)$$

$$Pno = 1264.77 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de fuerza considerando una tracción pura:

$$Tn = Ast * fy$$

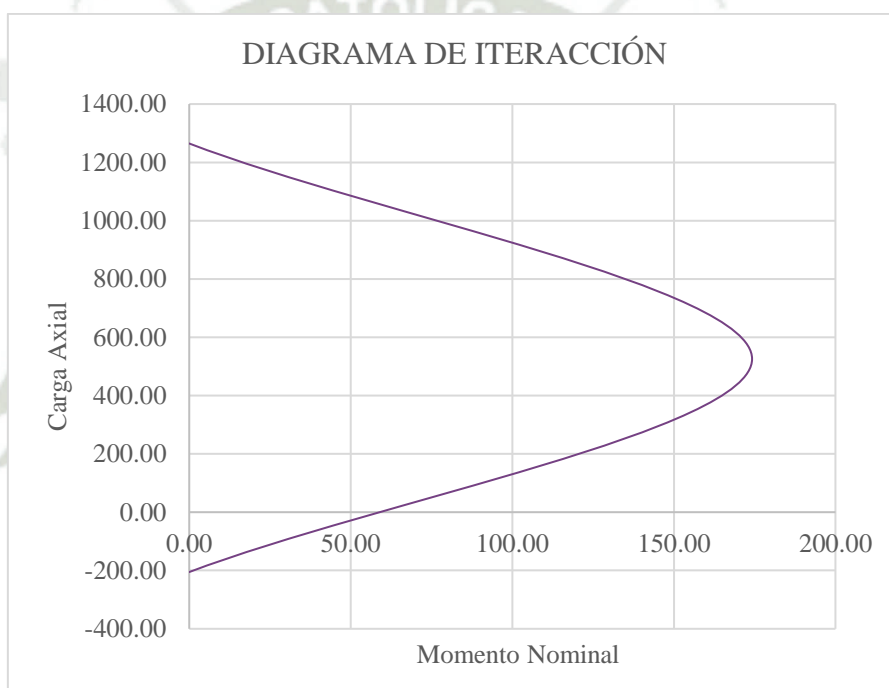
$$Tn = 48.68 * 4218.42$$

$$Tn = -205.35 Tnf$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama de Interacción de la columna:

Figura 66

Diagrama de Interacción de columna C-1 (50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)



- C-2 (50.00 x 80.00):

Tabla 105

Propiedades Geométricas de C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023)

Geometría de C-2		
b	50.00	cm
h	80.00	cm
d'	4.00	cm
dc	4.00	cm
d	76.00	cm

- Se hace el cálculo de aceros en la columna según su distribución en la sección.

Tabla 106

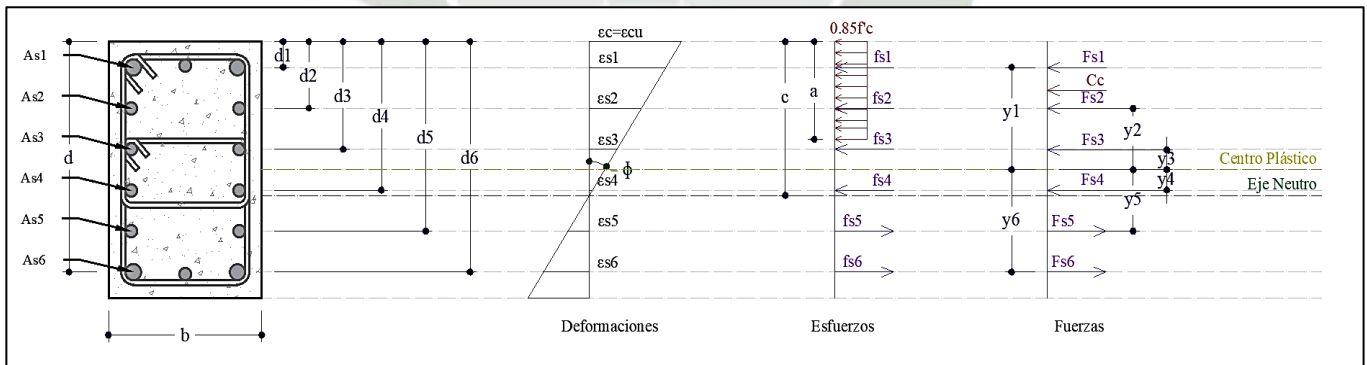
Áreas de acero por fila C-2 (50.00 x 80.00) (Talavera Flores, 2023)

	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)
As1	12.13	4.00	36.00
As2	3.98	20.40	19.60
As3	3.98	36.80	3.20
As4	3.98	53.20	-13.20
As5	3.98	69.60	-29.60
As6	12.13	76.00	-36.00
As _t	40.18	cm ²	

- Considerando falla balanceada, se hace el cálculo de fuerzas actuantes en la sección de la columna C-2 (50.00 x 80.00):

Figura 67

Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-2(50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$c = d * \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y + \epsilon_{cu}}$$

$$c = 76.00 * \frac{0.003}{0.0021 + 0.003}$$

$$c = 44.63 \text{ cm}$$

$$Cc = 0.85 * 280 * 0.85 * 44.63 * 50.00$$

$$Cc = 451.38 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de brazo de la fuerza de compresión del concreto:

$$yc = \frac{90}{2} - \frac{0.85 * 44.63}{2}$$

$$yc = 21.03 \text{ cm}$$

- Cálculo de deformaciones unitarias, esfuerzos, fuerzas y momentos actuantes en la sección de la columna.

Tabla 107

Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-2 (50.00 x 80.00)
(Talavera Flores, 2023)

	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)	εsi	fsi	Fsi (Tnf)	Mi (Tnf*m)
As1	12.13	4.00	36.00	0.0027	4218.42	51.17	18.42
As2	3.98	20.40	19.60	0.0016	3257.16	12.96	2.54
As3	3.98	36.80	3.20	0.0005	1052.13	4.19	0.13
As4	3.98	53.20	-13.20	-0.0006	-1152.89	-4.59	0.61
As5	3.98	69.60	-29.60	-0.0017	-3357.92	-13.36	3.96
As6	12.13	76.00	-36.00	-0.0021	-4218.42	-51.17	18.42

- Cálculo la fuerza total que actúa en la sección de la columna:

$$Pb = Cc + \sum Fsi$$

$$Pb = 450.58 \text{ Tnf}$$

- Para el momento nominal se calcula la sumatoria de todas las fuerzas obtenidas por sus respectivos brazos.

$$Mn = Cc * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 451.38 * \left(\frac{90}{2} - \frac{0.85 * 44.63}{2}\right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 139.02 Tnf * m$$

- Cálculo de fuerza considerando una compresión pura:

$$Pno = 0.85 * f'c * (Ag - Ast) + (Ast * fy)$$

$$Pno = 0.85 * 280 * (4000 - 40.18) + (40.18 * 4218.42)$$

$$Pno = 1111.93 Tnf$$

- Cálculo de fuerza considerando una tracción pura:

$$Tn = Ast * fy$$

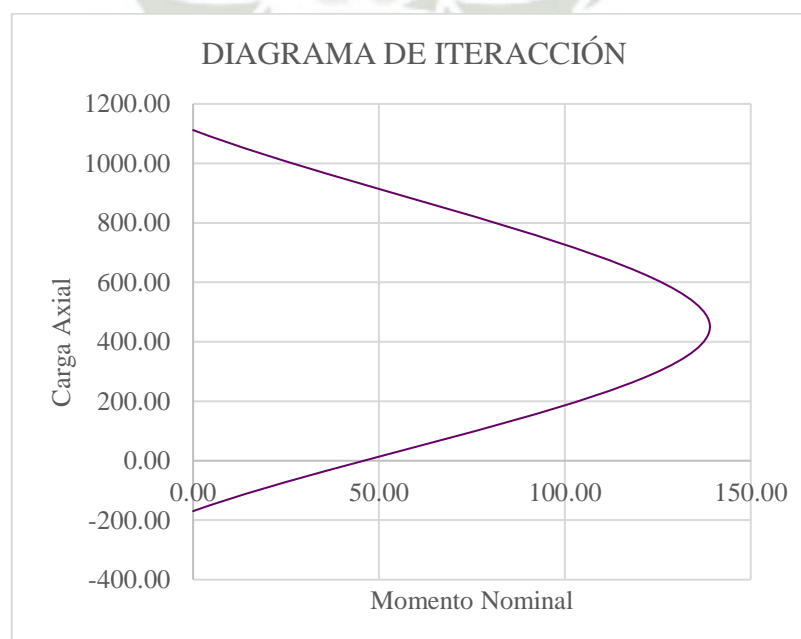
$$Tn = 40.18 * 4218.42$$

$$Tn = -169.50 Tnf$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama de Interacción de la columna:

Figura 68

Diagrama de Interacción de columna C-2 (50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)



- C-3 (60.00 x 75.00):

Tabla 108

Propiedades Geométricas de C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023)

Geometría de C-3		
b	60.00	cm
h	75.00	cm
d'	4.00	cm
dc	4.00	cm
d	71.00	cm

- Se hace el cálculo de aceros en la columna según su distribución en la sección.

Tabla 109

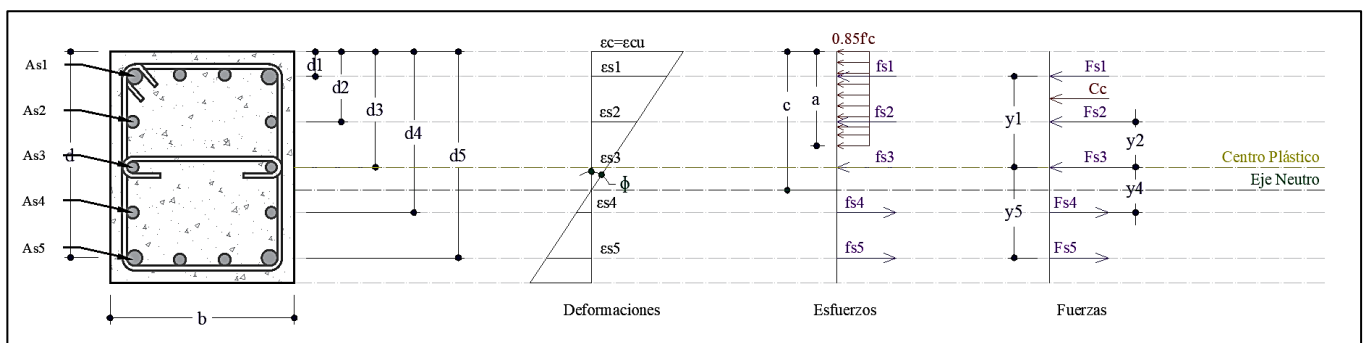
Áreas de acero por fila C-3 (60.00 x 75.00) (Talavera Flores, 2023)

	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)
As1 y As5	15.82	4.00	36.00
As2=	5.68	20.40	19.60
As3=	5.68	36.80	3.20
As4=	5.68	53.20	-13.20

- Considerando falla balanceada, se hace el cálculo de fuerzas actuantes en la sección de la columna C-3 (60.00 x 75.00):

Figura 69

Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$c = d * \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y + \epsilon_{cu}}$$

$$c = 71.00 * \frac{0.003}{0.0021 + 0.003}$$

$$c = 41.69 \text{ cm}$$

$$C_c = 0.85 * 280 * 0.85 * 41.69 * 60.00$$

$$C_c = 506.03 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de brazo de la fuerza de compresión del concreto:

$$y_c = \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$y_c = \frac{90}{2} - \frac{0.85 * 41.69}{2}$$

$$y_c = 19.78 \text{ cm}$$

- Cálculo de deformaciones unitarias, esfuerzos, fuerzas y momentos actuantes en la sección de la columna.

Tabla 110

Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-3 (60.00 x 75.00)
(Talavera Flores, 2023)

	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)	esi	fsi	Fsi (Tnf)	Mi (Tnf*m)
As1	15.82	4.00	33.50	0.0027	4218.42	66.74	22.36
As2	5.68	20.40	17.10	0.0015	3064.00	17.40	2.98
As3	5.68	36.80	0.70	0.0004	703.69	4.00	0.03
As4	5.68	53.20	-15.70	-0.0008	-1656.62	-9.41	1.48
As5	15.82	69.60	-32.10	-0.0020	-4016.93	-63.55	20.40

- Cálculo la fuerza total que actúa en la sección de la columna:

$$Pb = Cc + \sum Fsi$$

$$Pb = 521.20 Tnf$$

- Para el momento nominal se calcula la sumatoria de todas las fuerzas obtenidas por sus respectivos brazos.

$$Mn = Cc * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 451.38 * \left(\frac{90}{2} - \frac{0.85 * 41.69}{2} \right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 147.34 Tnf * m$$

- Cálculo de fuerza considerando una compresión pura:

$$Pno = 0.85 * f'c * (Ag - Ast) + (Ast * fy)$$

$$Pno = 0.85 * 280 * (4500 - 48.68) + (48.68 * 4218.42)$$

$$Pno = 1264.77 Tnf$$

- Cálculo de fuerza considerando una tracción pura:

$$Tn = Ast * fy$$

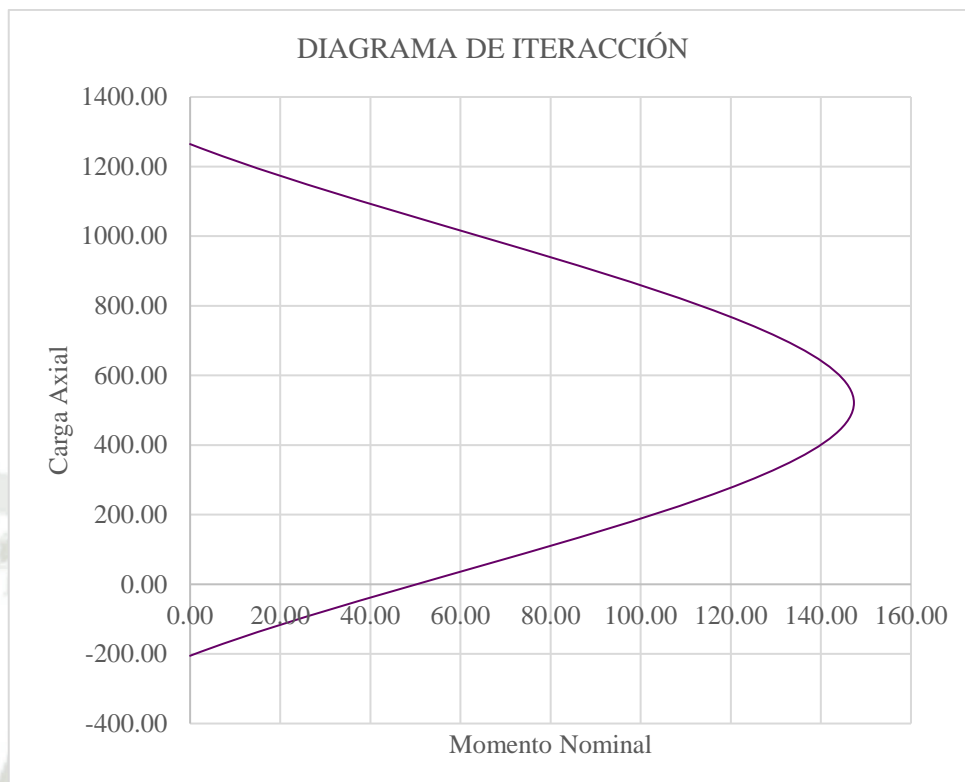
$$Tn = 48.68 * 4218.42$$

$$Tn = -205.35 Tnf$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama de Interacción de la columna:

Figura 70

Diagrama de Interacción de columna C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)



- C-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 111

Propiedades Geométricas de C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Geometría de C-4		
b	65.00	cm
h	70.00	cm
d'	4.00	cm
dc	4.00	cm
d	66.00	cm

- Se hace el cálculo de aceros en la columna según su distribución en la sección.

Tabla 112

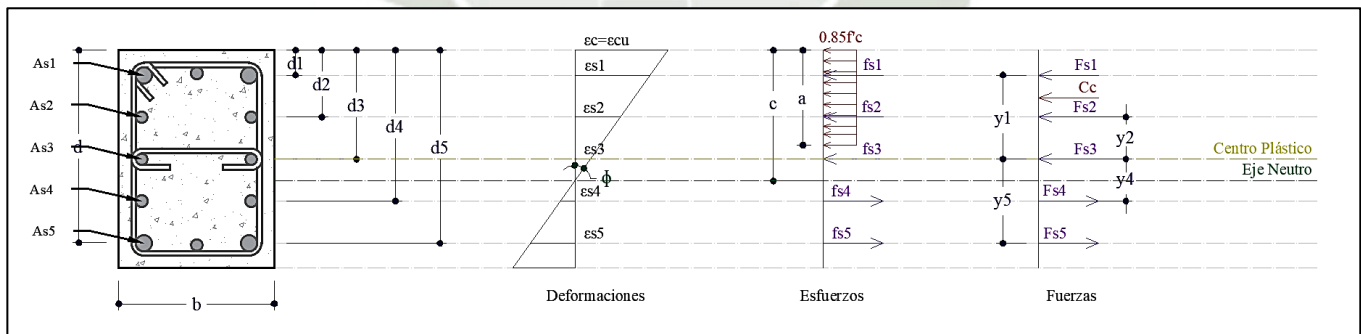
Áreas de acero por fila C-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Áreas de Acero			
	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)
As1	12.13	4.00	31.00
As2	3.98	20.40	14.60
As3	3.98	36.80	-1.80
As4	3.98	53.20	-18.20
As5	12.13	69.60	-34.60
Ast	36.2	cm ²	

- Considerando falla balanceada, se hace el cálculo de fuerzas actuantes en la sección de la columna C-4 (50.00 x 70.00):

Figura 71

Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$c = d * \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y + \epsilon_{cu}}$$

$$c = 66.00 * \frac{0.003}{0.0021 + 0.003}$$

$$c = 38.75 \text{ cm}$$

$$Cc = 0.85 * 280 * 0.85 * 38.75 * 50.00$$

$$Cc = 391.99 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de brazo de la fuerza de compresión del concreto:

$$yc = \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$yc = \frac{90}{2} - \frac{0.85 * 38.75}{2}$$

$$yc = 18.53 \text{ cm}$$

- Cálculo de deformaciones unitarias, esfuerzos, fuerzas y momentos actuantes en la sección de la columna.

Tabla 113

Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-4 (50.00 x 70.00)
(Talavera Flores, 2023)

	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)	εsi	fsi	Fsi (Tnf)	Mi (Tnf*m)
As1	12.13	4.00	31.00	0.0027	4218.42	51.17	15.86
As2	3.98	20.40	14.60	0.0014	2841.58	11.31	1.65
As3	3.98	36.80	-1.80	0.0002	302.46	1.20	-0.02
As4	3.98	53.20	-18.20	-0.0011	-2236.67	-8.90	1.62
As5	12.13	69.60	-34.60	-0.0024	4218.42	51.17	-17.70

- Cálculo la fuerza total que actúa en la sección de la columna:

$$Pb = Cc + \sum Fsi$$

$$Pb = 497.94 \text{ Tnf}$$

- Para el momento nominal se calcula la sumatoria de todas las fuerzas obtenidas por sus respectivos brazos.

$$Mn = Cc * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 451.38 * \left(\frac{90}{2} - \frac{0.85 * 38.75}{2}\right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 74.04 Tnf * m$$

- Cálculo de fuerza considerando una compresión pura:

$$Pno = 0.85 * f'c * (Ag - Ast) + (Ast * fy)$$

$$Pno = 0.85 * 280 * (3500 - 36.20) + (36.20 * 4218.42)$$

$$Pno = 977.09 Tnf$$

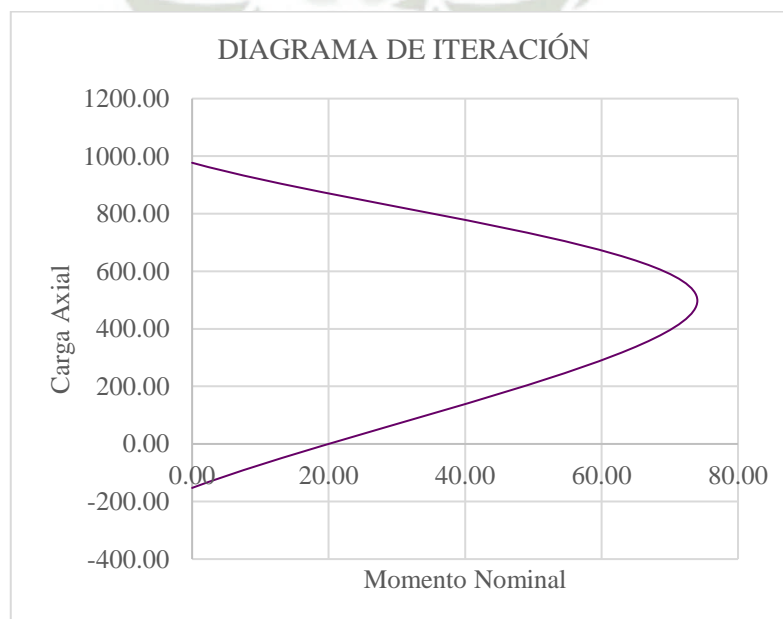
- Cálculo de fuerza considerando una tracción pura:

$$Tn = Ast * fy = 48.68 * 4218.42 = -152.71 Tnf$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama de Interacción de la columna:

Figura 72

Diagrama de Interacción de columna C-4 (50.00x7000) (Talavera Flores, 2023)



- C-5 (50.00 x 60.00):

Tabla 114

Propiedades Geométricas de C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)

Geometría de C-5		
b	50.00	cm
h	60.00	cm
d'	4.00	cm
dc	4.00	cm
d	56.00	cm

- Se hace el cálculo de aceros en la columna según su distribución en la sección.

Tabla 115

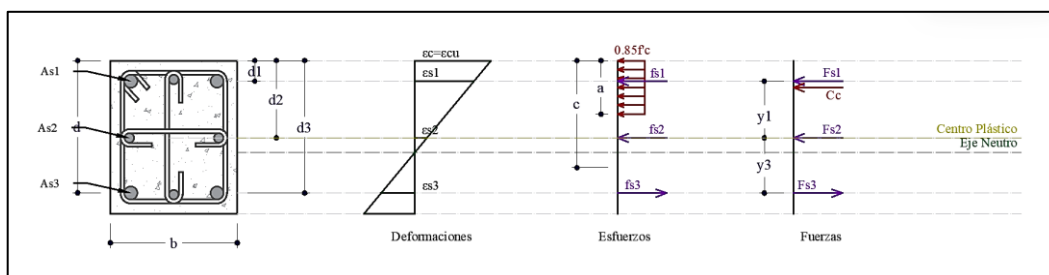
Áreas de acero por fila C-5 (50.00 x 60.00) (Talavera Flores, 2023)

Áreas de Acero			
	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)
As1	12.98	4.00	26.00
As2	5.68	20.40	9.60
As3	12.98	36.80	-6.80
Ast	31.64	cm ²	

- Considerando falla balanceada, se hace el cálculo de fuerzas actuantes en la sección de la columna C-5 (50.00 x 60.00):

Figura 73

Diagramas de deformaciones unitarias, esfuerzos y fuerzas actuantes en la columna C-5(50.00x60.00) (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$c = d * \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y + \epsilon_{cu}}$$

$$c = 56.00 * \frac{0.003}{0.0021 + 0.003}$$

$$c = 32.88 \text{ cm}$$

$$C_c = 0.85 * 280 * 0.85 * 32.88 * 50.00$$

$$C_c = 332.60 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de brazo de la fuerza de compresión del concreto:

$$y_c = \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$y_c = \frac{90}{2} - \frac{0.85 * 32.88}{2}$$

$$y_c = 16.03 \text{ cm}$$

- Cálculo de deformaciones unitarias, esfuerzos, fuerzas y momentos actuantes en la sección de la columna.

Tabla 116

Deformaciones unitarias, Esfuerzos, Fuerzas y Momentos en C-5 (50.00 x 60.00)
(Talavera Flores, 2023)

	As (cm ²)	di (cm)	yi (cm)	εsi	fsi	Fsi (Tnf)	Mi (Tnf*m)
As1	12.98	4.00	26.00	0.0026	4218.42	54.76	14.24
As2	5.68	20.40	9.60	0.0011	2277.58	12.94	1.24
As3	12.98	36.80	-6.80	-0.0004	-714.96	-9.28	0.63

- Cálculo la fuerza total que actúa en la sección de la columna:

$$P_b = C_c + \sum F_{si}$$

$$P_b = 391.01 \text{ Tnf}$$

- Para el momento nominal se calcula la sumatoria de todas las fuerzas obtenidas por sus respectivos brazos.

$$M_n = C_c * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum F_{si} * y_i$$

$$M_n = 451.38 * \left(\frac{90}{2} - \frac{0.85 * 32.88}{2} \right) + \sum F_{si} * y_i$$

$$M_n = 69.41 \text{ Tnf} * \text{m}$$

- Cálculo de fuerza considerando una compresión pura:

$$P_{no} = 0.85 * f'_c * (A_g - A_{st}) + (A_{st} * f_y)$$

$$P_{no} = 0.85 * 280 * (3000 - 31.64) + (31.64 * 4218.42)$$

$$P_{no} = 839.94 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de fuerza considerando una tracción pura:

$$T_n = A_{st} * f_y$$

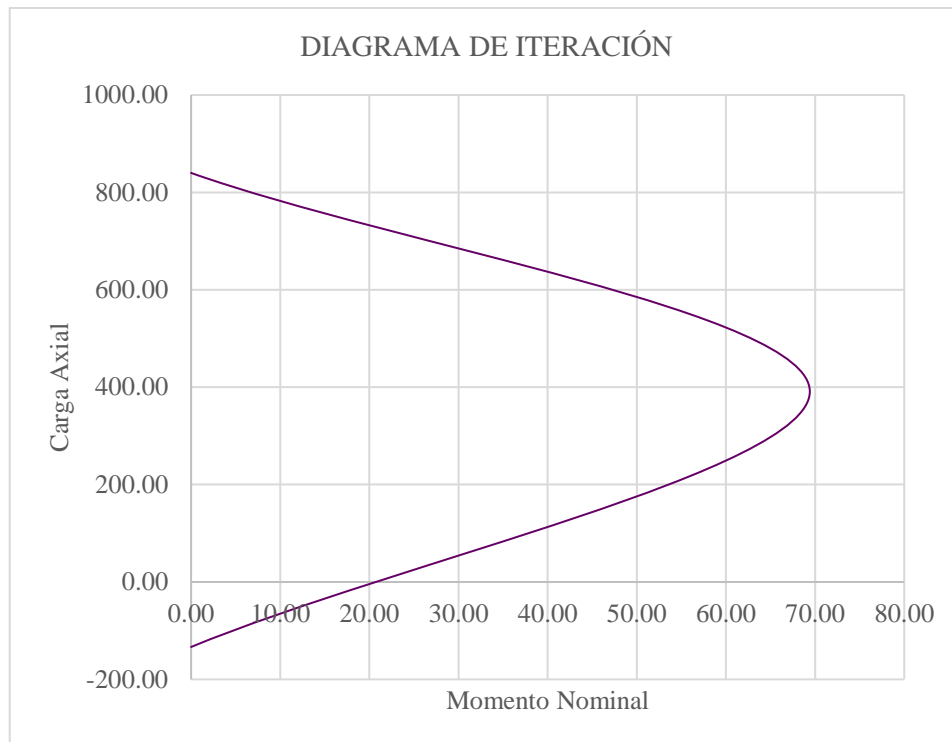
$$T_n = 31.64 * 4218.42$$

$$T_n = -133.47 \text{ Tnf}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama de Interacción de la columna:

Figura 74

Diagrama de Interacción de columna C-5 (50.00x6000) (Talavera Flores, 2023)



2.1.3. Rótulas Plásticas

Para la asignación Método de Rótulas Plásticas, es necesario primero establecer los diagramas de Momento Curvatura de cada Elemento.

Diagrama Momento- Curvatura

- **Diagrama Momento- Curvatura en Columnas**

Considerando las propiedades de material y geométricas definidas anteriormente; se analiza el elemento en falla balanceada, tomando sus estados de fluencia y de deformación última, tomando como fuerza axial actuante para cada columna de la estructura; siendo el objetivo de esta investigación, el entendimiento del procedimiento para la aplicación del Análisis Tiempo- Historia, no se considera relevante obtener el Diagrama Momento- Curvatura de todas las columnas, por lo que se realizaron los diagramas de las columnas críticas de cada tipo para la explicación del concepto, las cuales son las siguientes:

- Nivel 1: Pórticos A y D
 - C-1 (50.00 x 90.00):

- Fuerza: $P_n = 156.35 \text{ Tnf}$
- Para el estado de fluencia se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 28.41 \text{ cm}$$

Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\epsilon_c = 0.0010$$

Tabla 117

Análisis de C-1 (90.00 x 50.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)

Estado de Fluencia				
Fila de Acero	ϵ_s	f_s (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0009	1787.81	23.21	9.51
2	0.0003	586.57	3.33	0.82
3	-0.0003	-614.68	-3.49	-0.29
4	-0.0009	-1815.93	-10.31	0.85
5	-0.0015	-3017.17	-17.14	4.22
6	-0.0021	-4218.42	-54.76	22.45

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{ny} = \sum M + C_c * y_c$$

$$M_{ny} = \sum M + (0.85 * f'_c * a * b) * \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$M_{ny} = \sum M + 215.51 * 32.93$$

$$M_{ny} = 108.52 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{(d - c)}$$

$$\phi_y = 3.66 \text{ 1/cm}$$

- Para el estado de deformación última se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c:

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 27.34 \text{ cm}$$

Tabla 118

Análisis de C-1 (90.00 x 50.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023)

Estado de Deformación Última				
Fila de Acero	ϵ_s	f_s (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0026	4218.42	54.76	22.45
2	0.0008	1523.11	8.65	2.13
3	-0.0010	-2075.95	-11.79	-0.97
4	-0.0028	-4218.42	-23.96	1.96
5	-0.0046	-4218.42	-23.96	5.89
6	-0.0064	-4218.42	-54.76	22.45

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{nu} = \sum M + C_c * y_c$$

$$M_{nu} = \sum M + 207.41 * 33.38$$

$$M_{nu} = 123.15 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura última:

$$\phi u = \frac{\epsilon c u}{c}$$

$$\phi u = 10.97 \text{ 1/cm}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama Momento- Curvatura:

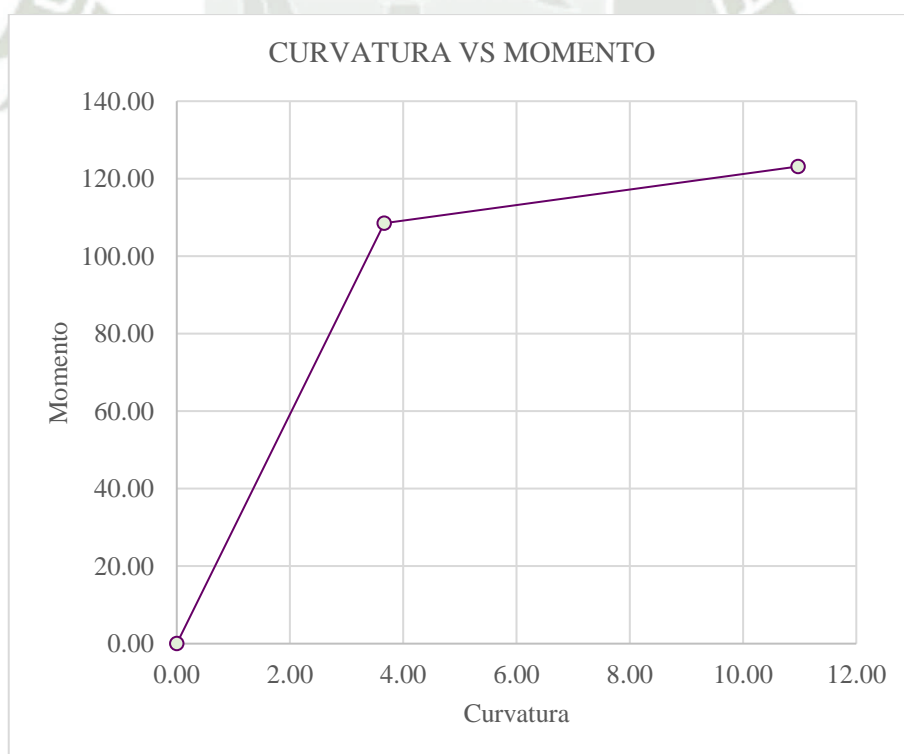
Tabla 119

Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-1 (50.00x90.00) para P=156.35 Tnf (Talavera Flores, 2023)

ϕ	Mn
0.00	0.00
3.66	108.52
10.97	123.15

Figura 75

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-1 (50.00x90.00) para P=156.35 Tnf (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la ductilidad de curvatura balanceada:

$$u\phi = \frac{\phi u}{\phi y}$$

$$u\phi = \frac{10.97}{3.66}$$

$$u\phi = 3.00$$

- Se sigue el mismo procedimiento para los diferentes casos de cargas que se presentan para esta sección de columna en la estructura, añadiendo un caso de carga donde P es igual a la fuerza para una falla balanceada, teniendo los datos obtenidos en el punto de Diagrama de Interacción, de esta forma se obtiene el Diagrama Momento- Curvatura de C-1 (50.00 x 90.00).

Figura 76

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-1 (50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)

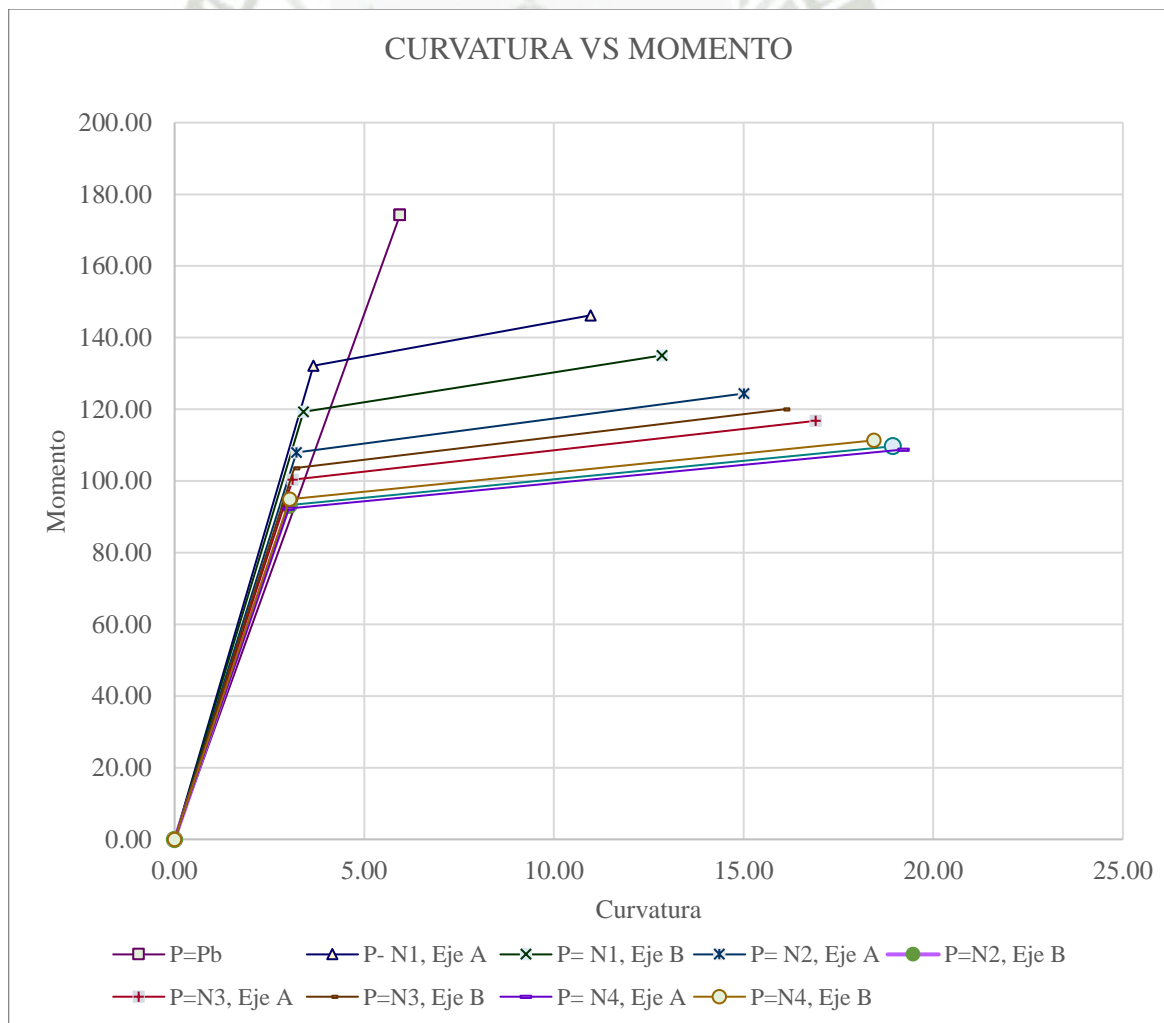


Tabla 120

Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-1
(50.00x90.00) (Talavera Flores, 2023)

P (Tnf)	c (último)	ϕ_y	ϕ_u	$\mu\phi$
P=Pb	50.50	5.94	5.94	1.00
P=156.35	27.34	3.66	10.97	3.00
P=172.90	23.98	3.40	12.85	3.78
P=129.55	19.98	3.22	15.01	15.01
P=78.53	15.84	3.02	18.94	6.27
P=102.56	17.75	3.11	16.90	5.44
P=113.78	18.67	3.15	16.07	5.10
P=75.52	15.61	3.01	19.22	6.39
P=84.03	16.27	3.04	18.44	6.07

– C-2 (50.00 x 80.00):

- Fuerza: $P_n = 94.50$ Tnf
 - Para el estado de fluencia se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c:

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 16.52 \text{ cm}$$

Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}; \epsilon_c = 0.0006$$

Tabla 121

Análisis de C-2 (80.00 x 50.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)

Estado de Fluencia				
Fila de Acero	ϵ_s	f_s (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0004	887.61	10.77	3.88
2	-0.0001	-275.43	-1.10	-0.21
3	-0.0007	-1438.47	-5.73	-0.18
4	-0.0013	-2601.51	-10.35	1.37
5	-0.0019	-3764.55	-14.98	4.43
6	-0.0021	-4218.42	-51.17	23.54

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{ny} = \sum M + Cc * yc$$

$$M_{ny} = \sum M + 167.06 * 32.981$$

$$M_{ny} = 87.92 Tnf * m$$

Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{(d - c)}$$

$$\phi_y = 3.55 \text{ 1/cm}$$

- Para el estado de deformación última se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c:

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 15.14 \text{ cm}$$

Tabla 122

Análisis de C-2 (80.00 x 50.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023)

Estado de Deformación Última				
Fila de Acero	ϵ_s	f_s (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0022	4218.42	51.17	18.42
2	-0.0010	-2083.53	-8.29	-1.63
3	-0.0043	-4218.42	-16.79	-0.54
4	-0.0075	-4218.42	-16.79	2.22
5	-0.0108	-4218.42	-16.79	4.97
6	-0.0140	-4218.42	-51.17	23.54

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{nu} = \sum M + C_c * y_c$$

$$M_{nu} = \sum M + 153.16 * 98.39$$

$$M_{nu} = 98.39 T_{nf} * m$$

Cálculo de curvatura última:

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{c}$$

$$\phi_u = 19.81 \text{ 1/cm}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama Momento- Curvatura:

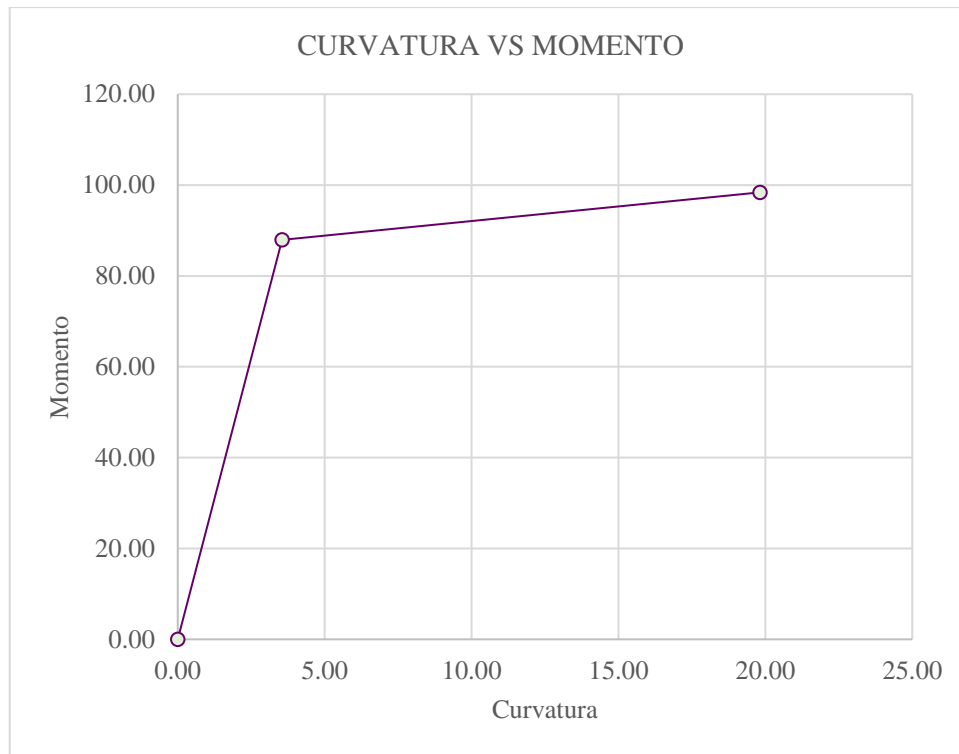
Tabla 123

Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-2 (50.00x80.00) para P=94.50 Tnf (Talavera Flores, 2023)

ϕ	Mn
0.00	0.00
3.55	87.92
19.81	98.39

Figura 77

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-2 (50.00x80.00) para P=94.50 Tnf
(Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la ductilidad de curvatura balanceada:

$$u\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

$$u\phi = \frac{19.81}{3.55}$$

$$u\phi = 5.59$$

- De igual forma, se sigue el procedimiento para las diferentes cargas P que se presentan para esta sección de columna en los diferentes niveles y pórticos incluyendo el P correspondiente a la falla balanceada, teniendo los datos obtenidos en el punto de Diagrama de Interacción, de esta forma se obtiene el Diagrama Momento- Curvatura de C-2 (50.00 x 80.00).

Figura 78

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-2 (50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)

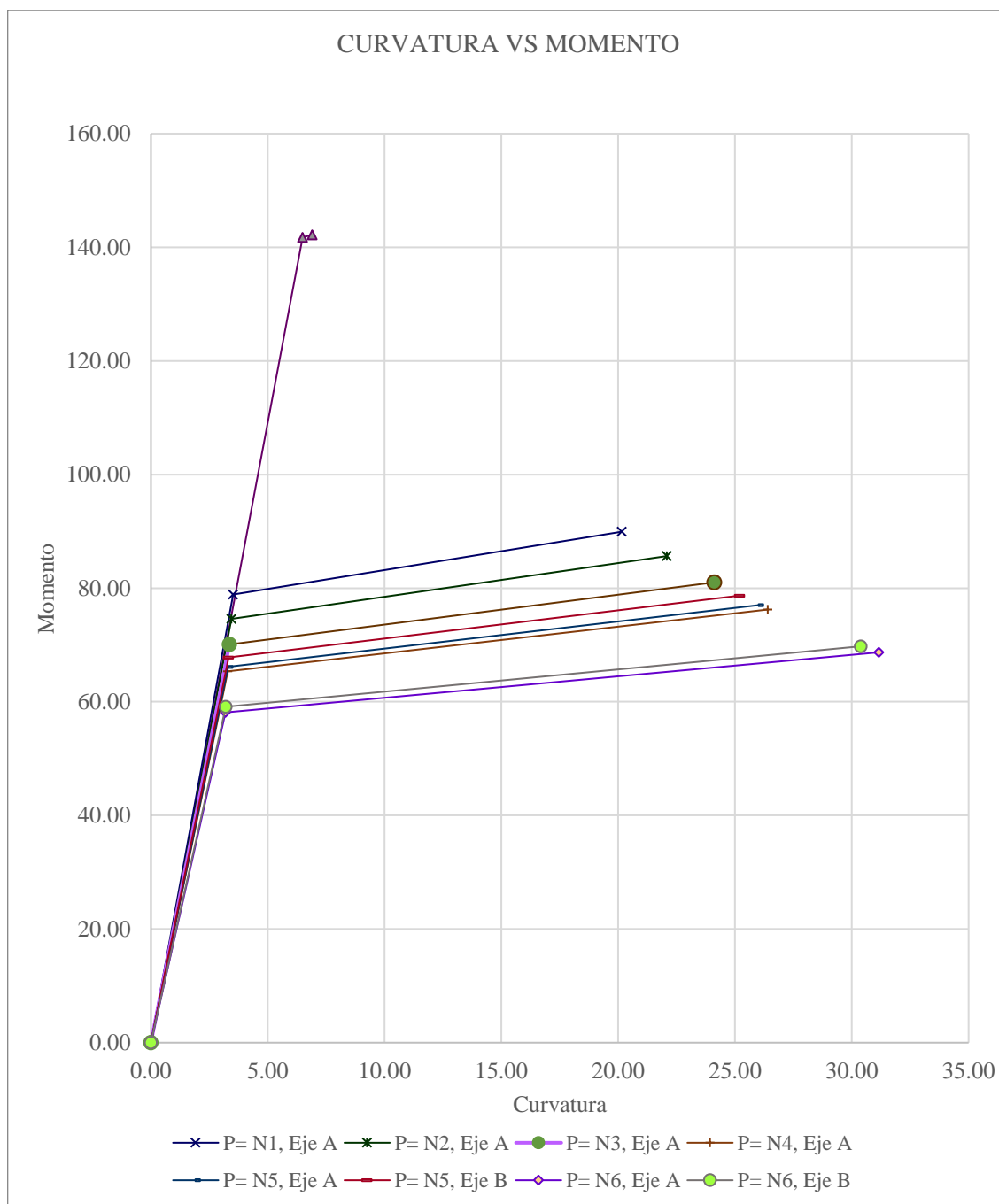


Tabla 124

Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-2
(50.00x80.00) (Talavera Flores, 2023)

P	c (último)	ϕ_y	ϕ_u	$\mu\phi$
P=Pb	43.47	6.49	6.90	1.06
P=94.50	14.88	3.52	20.16	5.73
P=78.53	13.58	3.44	22.09	6.42
P=62.19	12.44	3.36	24.12	7.17
P=45.72	11.36	3.29	26.41	8.03
P=48.38	11.53	3.30	26.02	7.88
P=54.13	11.90	3.33	25.21	7.58
P=21.59	9.63	3.19	31.16	9.78
P=24.84	9.87	3.20	30.38	9.50

- Nivel 1: Pórticos B y C

— C-3 (60.00 x 75.00):

- Fuerza: $P_n = 289.90 \text{ Tnf}$
- Para el estado de fluencia se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c:

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 27.71 \text{ cm}$$

Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}; \epsilon_c = 0.0014$$

Tabla 125

Análisis de C-3 (60.00 x 75.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)

Estado de Fluencia				
Fila de Acero	ϵ_s	f_s (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0012	2310.40	36.55	12.24
2	0.0003	678.20	3.85	0.65
3	-0.0005	-954.01	-5.42	0.00
4	-0.0013	-2586.21	-14.69	2.46
5	-0.0021	-4218.42	-66.74	22.36

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{ny} = \sum M + Cc * y_c$$

$$M_{ny} = \sum M + 336.34 * 25.72$$

$$M_{ny} = 124.22 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{(d - c)} = 4.87 \text{ 1/cm}$$

- Para el estado de deformación última se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c:

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 26.43 \text{ cm}$$

Tabla 126

Análisis de C-3 (60.00 x 75.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023)

Estado de Deformación Última				
Fila de Acero	ϵ_s	f_s (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0025	4218.42	66.74	22.36
2	0.0006	1289.48	7.32	1.23
3	-0.0013	-2512.98	-14.27	0.00
4	-0.0032	-4218.42	-23.96	4.01
5	-0.0051	-4218.42	-66.74	22.36

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{nu} = \sum M + C_c * y_c$$

$$M_{nu} = \sum M + 320.81 * 26.27$$

$$M_{nu} = 134.22 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura última:

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{c}$$

$$\phi_u = 11.35 \text{ 1/cm}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama Momento- Curvatura:

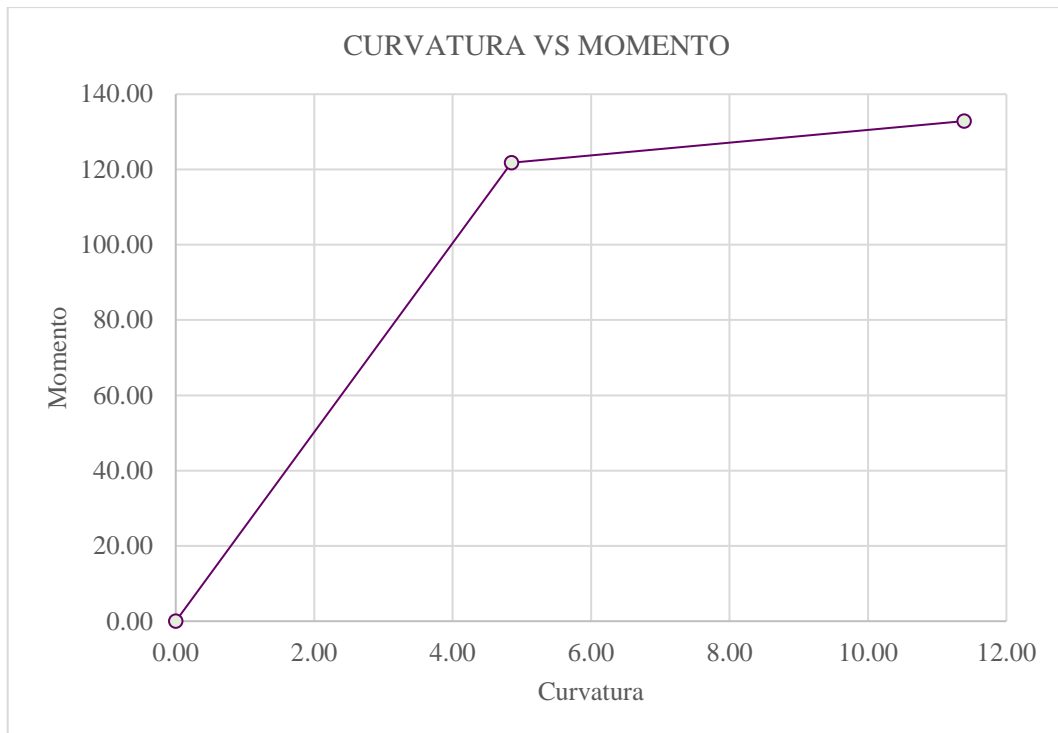
Tabla 127

Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-3 (60.00x75.00) para P=289.90 Tnf (Talavera Flores, 2023)

ϕ	Mn
0.00	0.00
4.87	124.22
11.35	134.22

Figura 79

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-3 (60.00x75.00) para P=289.90 Tnf
(Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la ductilidad de curvatura balanceada:

$$u\phi = \frac{\phi u}{\phi y}$$

$$u\phi = \frac{11.35}{4.87}$$

$$u\phi = 2.33$$

- De igual forma, se sigue el procedimiento para las diferentes cargas P que se presentan para esta sección de columna en los diferentes niveles y pórticos incluyendo el P correspondiente a la falla balanceada, teniendo los datos obtenidos en el punto de Diagrama de Interacción, de esta forma se obtiene el Diagrama Momento- Curvatura de C-3 (60.00 x 75.00).

Figura 80

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)

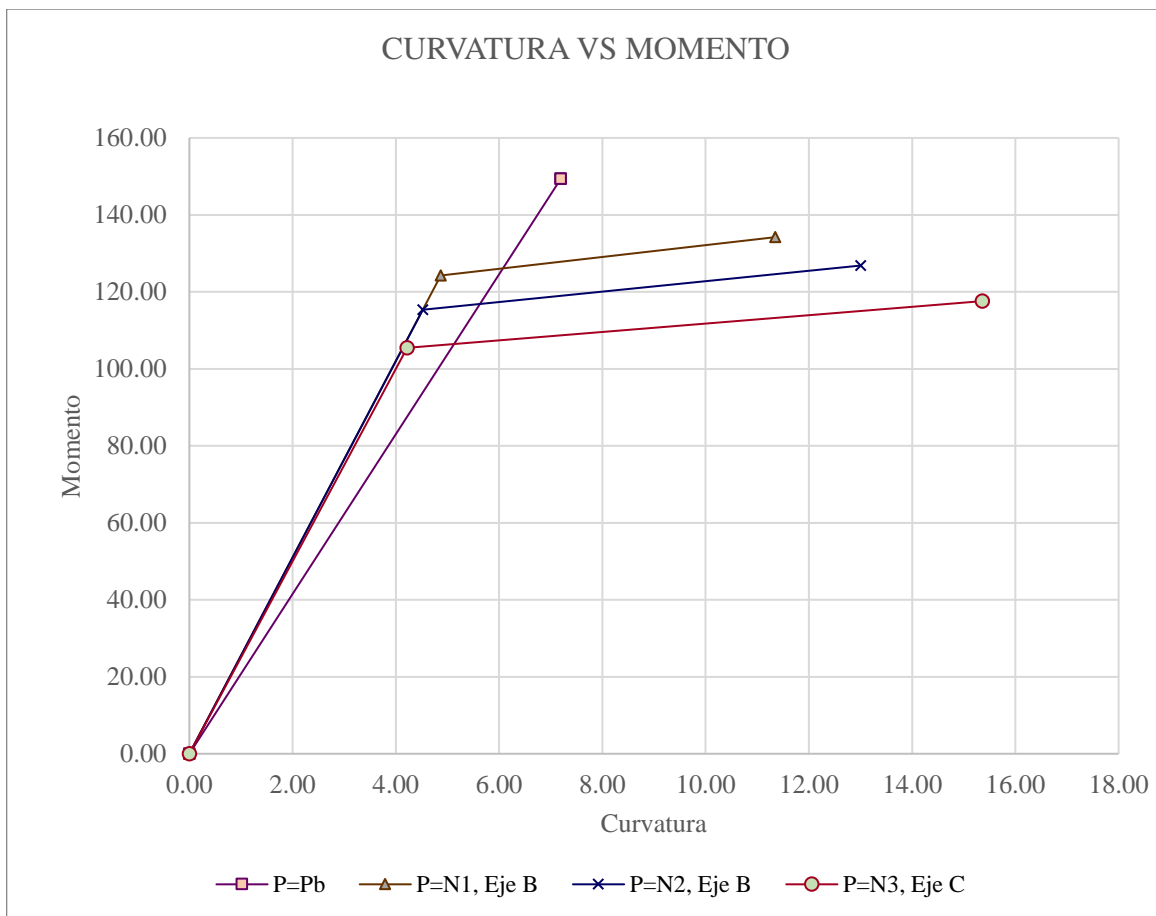


Tabla 128

Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-3 (60.00x75.00) (Talavera Flores, 2023)

P	c (último)	ϕ_y	ϕ_u	$\mu\phi$
P=Pb	41.69	7.20	7.20	1.00
P=289.90	26.43	4.87	11.35	2.33
P=238.13	23.07	4.52	13.01	2.87
P=187.06	187.06	4.22	15.36	3.64

- Nivel 4: Pórticos B y C

— C-4 (50.00 x 70.00):

- Fuerza: $P_n = 136.30 \text{ Tnf}$
- Para el estado de fluencia se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c :

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 18.90 \text{ cm}$$

Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\epsilon_c = 0.0008$$

Tabla 129

Análisis de C-4 (50.00 x 70.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)

Estado de Fluencia				
Fila de Acero	ϵ_s	$f_s \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$F \text{ (Tnf)}$	$M \text{ (Tnf*m)}$
1	0.0007	1334.48	16.19	5.02
2	-0.0001	-165.70	-0.66	-0.09
3	-0.0008	-1665.88	-6.63	0.17
4	-0.0016	-3166.06	-12.60	2.43
5	-0.0023	-4218.42	-51.17	18.42

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{ny} = \sum M + Cc * yc$$

$$M_{ny} = \sum M + 191.17 * 26.97$$

$$M_{ny} = 77.49 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{(d - c)}$$

$$\phi_y = 4.48 \text{ 1/cm}$$

- Para el estado de deformación última se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c:

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 17.27 \text{ cm}$$

Tabla 130

Análisis de C-4 (50.00 x 70.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023)

Estado de Deformación Última				
Fila de Acero	ϵ_s	fs (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0023	4218.42	51.17	15.86
2	-0.0006	-1208.85	-4.81	-0.69
3	-0.0035	-4218.42	-16.79	0.42
4	-0.0064	-4218.42	-16.79	3.23
5	-0.0093	-4218.42	-51.17	18.42

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{nu} = \sum M + C_c * y_c$$

$$M_{nu} = \sum M + 174.69 * 27.66$$

$$M_{nu} = 85.57 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura última:

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{c}$$

$$\phi_u = 17.37 \text{ 1/cm}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama Momento- Curvatura:

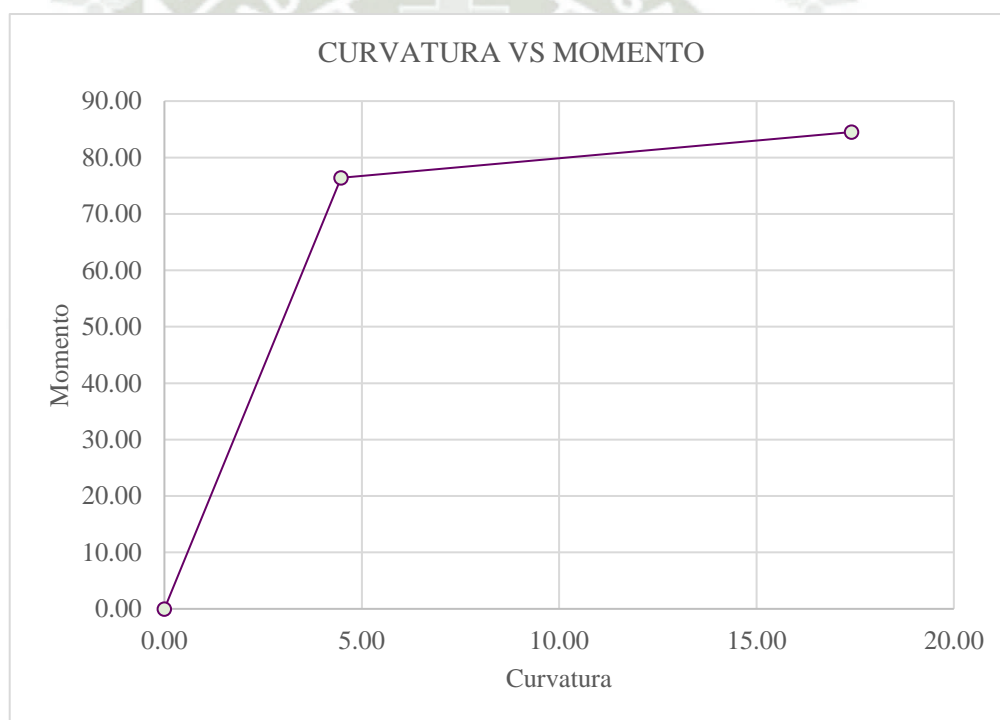
Tabla 131

Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-4 para P=136.30 Tnf
(50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)

ϕ	Mn
0.00	0.00
4.48	77.49
17.37	85.57

Figura 81

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-4 (50.00x70.00) para P=136.30 Tnf
(Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la ductilidad de curvatura balanceada:

$$u\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

$$u\phi = \frac{17.41}{4.47}$$

$$u\phi = 3.88$$

- De igual forma, se sigue el procedimiento para las diferentes cargas P que se presentan para esta sección de columna en los diferentes niveles y pórticos incluyendo el P correspondiente a la falla balanceada, teniendo los datos obtenidos en el punto de Diagrama de Interacción, de esta forma se obtiene el Diagrama Momento- Curvatura de C-4 (50.00 x 70.00).

Figura 82

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)

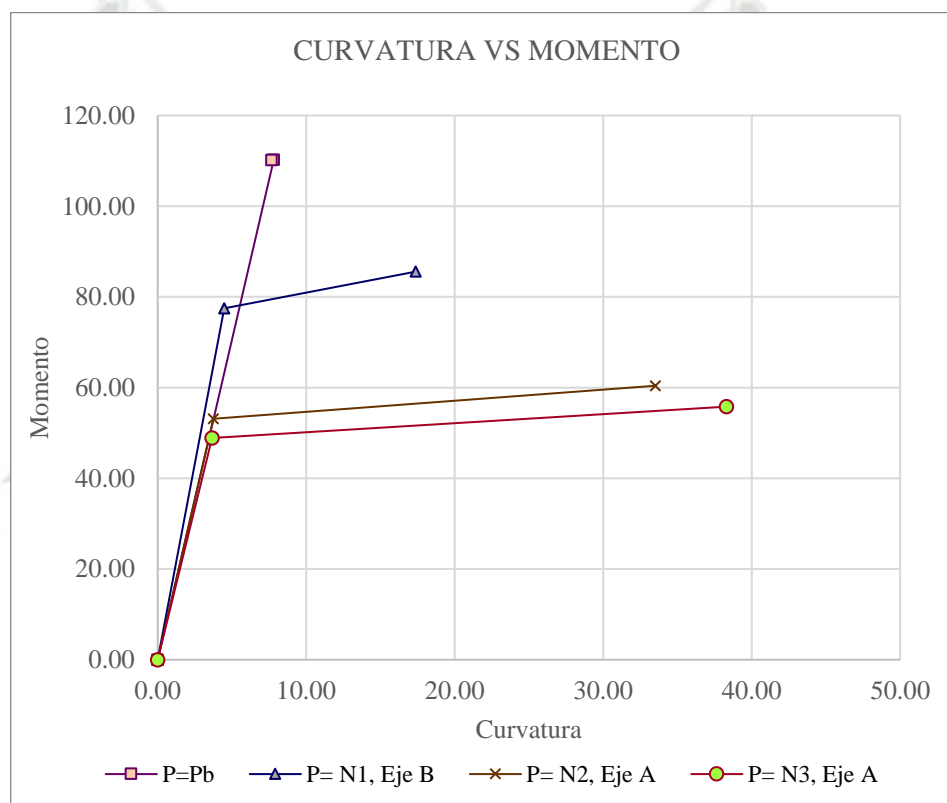


Tabla 132

Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)

P	c (último)	ϕ_y	ϕ_u	$\mu\phi$
P=Pb	39.14	7.82	7.66	0.98
P=136.30	17.27	4.48	17.37	33.51
P=29.28	8.95	3.76	33.51	8.92
P=13.27	7.83	3.67	38.31	10.45

- Nivel 5: Pórticos B y C

– C-5 (50.00 x 60.00):

- Fuerza: $P_n = 86.58 \text{ Tnf}$
- Para el estado de fluencia se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 13.65 \text{ cm}$$

Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\epsilon_c = 0.0007$$

Tabla 133

Análisis de C-5 (50.00 x 60.00) en estado de fluencia (Talavera Flores, 2023)

Estado de Fluencia				
Fila de Acero	ϵ_s	$f_s \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$F \text{ (Tnf)}$	$M \text{ (Tnf*m)}$
1	0.0005	961.61	12.48	3.25
2	-0.0008	-1628.40	-9.25	0.00
3	-0.0021	-4218.42	-54.76	14.24

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{ny} = \sum M + C_c * y_c$$

$$M_{ny} = \sum M + 138.10 * 24.20$$

$$M_{ny} = 50.90 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\phi y = \frac{\varepsilon y}{(d - c)}$$

$$\phi y = 4.98 \text{ 1/cm}$$

- Para el estado de deformación última se obtienen los siguientes valores:

Cálculo de c:

$$T_s = Cc + Cs$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \varepsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 17.35 \text{ cm}$$

Tabla 134

Análisis de C-5 (50.00 x 60.00) en estado de deformación última (Talavera Flores, 2023)

Estado de Deformación Última				
Fila de Acero	ε_s	fs (kgf/cm ²)	F (Tnf)	M (Tnf*m)
1	0.0019	3886.31	50.44	13.12
2	-0.0049	-4218.42	-23.96	0.00
3	-0.0118	-4218.42	-54.76	14.24

Cálculo de la sumatoria de momentos en la columna en estado de fluencia:

$$M_{nu} = \sum M + Cc * yc$$

$$M_{ny} = \sum M + (0.85 * f'_c * a * b) * \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$M_{nu} = \sum M + 114.85 * 25.17$$

$$M_{nu} = 56.26 \text{ Tnf} * m$$

Cálculo de curvatura última:

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{c}$$

$$\phi_u = 26.42 \text{ 1/cm}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama Momento- Curvatura:

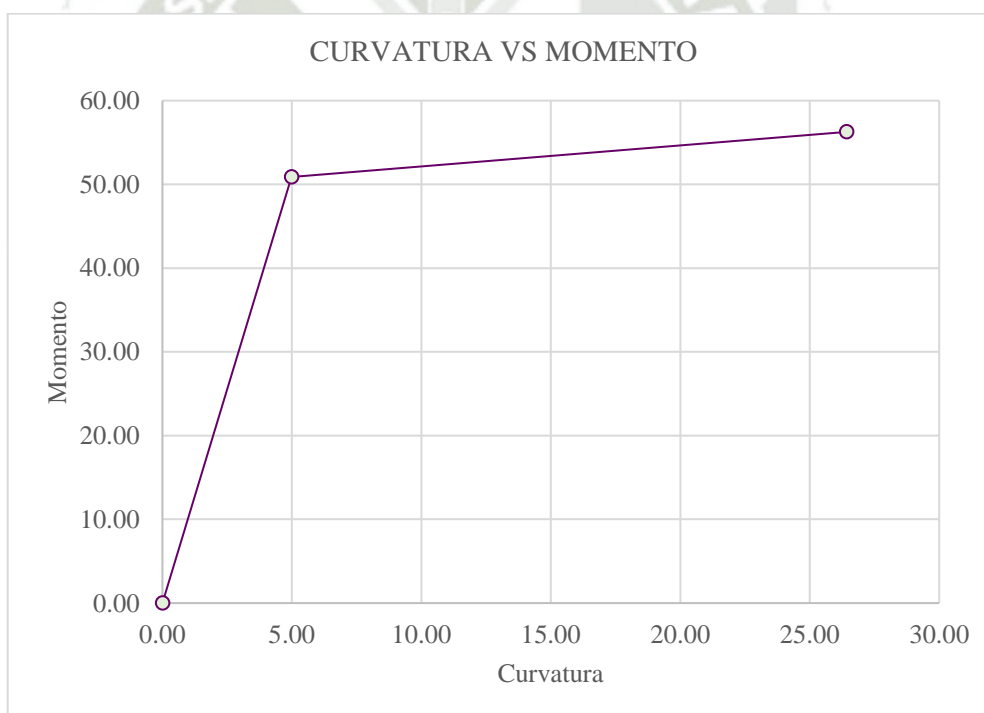
Tabla 135

Resumen para graficar Momento- Curvatura de C-5 (50.00x60.00) para P=86.58 Tnf (Talavera Flores, 2023)

ϕ	Mn
0.00	0.00
4.98	50.90
26.42	56.26

Figura 83

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-5 (50.00x60.00) para P=86.58 Tnf (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la ductilidad de curvatura balanceada:

$$u\phi = \frac{\phi u}{\phi y}$$

$$u\phi = \frac{26.42}{4.98}$$

$$u\phi = 5.30$$

- De igual forma, se sigue el procedimiento para las diferentes cargas P que se presentan para esta sección de columna en los diferentes niveles y pórticos incluyendo el P correspondiente a la falla balanceada, teniendo los datos obtenidos en el punto de Diagrama de Interacción, de esta forma se obtiene el Diagrama Momento- Curvatura de C-5 (50.00 x 60.00).

Figura 84

Diagrama Momento- Curvatura de columna C-5 (50.00x60.00) (Talavera Flores, 2023)

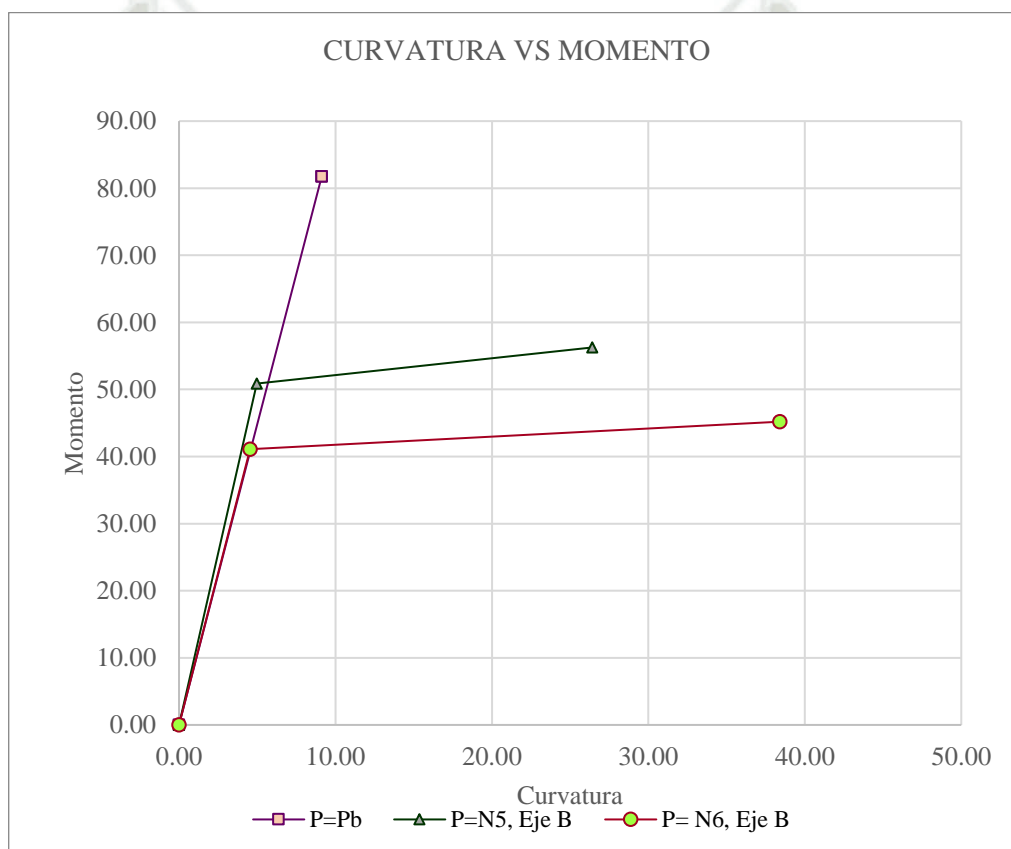


Tabla 136

Resumen de valores correspondientes para cada carga que se presenta en C-5 (50.00x60.00) (Talavera Flores, 2023)

P	c (último)	ϕ_y	ϕ_u	$\mu\phi$
P=Pb	32.88	9.12	9.12	1.00
P=86.58	11.35	4.98	26.42	5.30
P=38.30	7.81	4.54	38.40	8.45

- **Diagrama Momento- Curvatura en Vigas**

Para la realización del diagrama momento curvatura en vigas, se analiza el elemento en 3 momentos de su estado elástico: Estado Elástico no Agrietado, Estado Elástico Agrietado (este se da antes o al inicio de la fluencia) y Estado de Deformación Última para cada tipo de viga con propiedades de material y geométrica en los puntos anteriores de la presente investigación.

- V-1 (60.00 x 50.00):

- Cálculo de Módulo de Rotura del concreto:

$$f_r = 2 * \sqrt{f'_c}$$

$$f_r = 33.47 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de Relación de Módulos:

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.97$$

- Análisis en el Estado Elástico no Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$c = b * h * \left(\frac{h}{2}\right) + (n - 1) * A_s * d + (n - 1) * A'_s * d'$$

$$c = 60 * 50 * \left(\frac{50}{2}\right) + (7.97 - 1) * 14.20 * 46 + (7.97 - 1) * 11.36 * 4$$

$$c = 25.13 \text{ cm}$$

- Cálculo de inercia:

$$I_{tr} = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left(\frac{h}{2} - c\right)^2 + (n - 1) * A_s * (d - c)^2 + (n - 1) * A'_s * (c - d')^2$$

$$I_{tr} = 703490.82 \text{ cm}^4$$

- Cálculo del momento en Estado Elástico no Agrietado:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_{tr}}{h - c}$$

$$M_{cr} = 9.47 Tnf * m$$

$$\text{curvatura de agrietamiento: } \Phi_{cr} = \frac{f_r}{\epsilon_c} * \frac{1}{h - c}$$

$$\Phi_{cr} = 0.00005 \text{ 1/mm}$$

- Análisis en el Estado Elástico Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$T_s = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta * c$$

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * a * b - \epsilon'_s * E_s * A'_s = 0$$

$$A_s * f_y - 0.5 * c * b * E_c * \epsilon_y * \left(\frac{c}{d - c} \right) - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 10.72 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_y * \left(\frac{c}{d - c} \right)$$

$$\epsilon_c = 0.0021 * \left(\frac{10.72}{46 - 10.72} \right)$$

$$\epsilon_c = 0.0006$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\varepsilon's = \varepsilon c * \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$\varepsilon's = 0.0006 * \left(\frac{10.72 - 4.00}{10.72} \right)$$

$$\varepsilon's = 0.0004$$

- Cálculo de esfuerzo del concreto en compresión:

$$f_{cc} = \varepsilon c * E_c, \text{ siendo } E_c = 250998.01 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cc} = 160.19 \text{ kgf/cm}^2$$

Si el f_{cc} es menor igual a $0.45 f'_c$, se considera una carga triangular del concreto, en caso de ser mayor, se considera una carga rectangular, en la que:

$$f_{cc} = 0.85 * f'_c * a * b$$

- Cálculo de esfuerzo del acero en compresión:

$$f's = \varepsilon's * E_s, \text{ siendo } E_s = 2000000.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f's = 800.23 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 14.20/1000$$

$$T_s = 59.64 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = \frac{1}{2} * c * f_{cc} * b$$

$$C_c = \frac{1}{2} * c * b * E_c * \varepsilon y * \left(\frac{c}{d - c} \right)$$

$$C_c = 51.53 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = \varepsilon's * E_s * A's$$

$$C_s = 0.0004 * 2000000 * 10.14$$

$$C_s = 8.11 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_y = C_c * \left(d - \frac{c}{3}\right) + C_s * (d - d')$$

$$M_y = 51.53 * \left(46 - \frac{10.72}{3}\right) + 8.11 * (46 - 4)$$

$$M_y = 25.27 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = \frac{0.0021}{46 - 10.72}$$

$$\Phi_y = 0.000595 \text{ 1/mm}$$

- Análisis en el Estado de Deformación Última:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$T_s = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta * c$$

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 4.43 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\epsilon'_s = \epsilon_c * \left(\frac{c - d'}{c}\right)$$

$$\varepsilon's = 0.003 * \left(\frac{4.43 - 4.00}{4.43} \right)$$

$$\varepsilon's = 0.0003$$

- Cálculo del esfuerzo del acero en compresión:

$$f's = \varepsilon's * E_s, \text{ siendo } E_s = 2000000.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f's = 580.56 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 14.20/1000$$

$$T_s = 59.64 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * a * b, \text{ siendo: } a = \beta * c$$

$$C_c = 0.85 * 0.85 * 4.43 * 60$$

$$C_c = 53.75 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = f's * A's$$

$$C_s = 580.56 * 10.14$$

$$C_s = 5.89 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_u = C_c * \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s * (d - d')$$

$$M_u = 53.75 * \left(46.00 - \frac{0.85 * 4.43}{2} \right) + 5.89 * (46.00 - 4.00)$$

$$M_u = 26.19 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_u = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

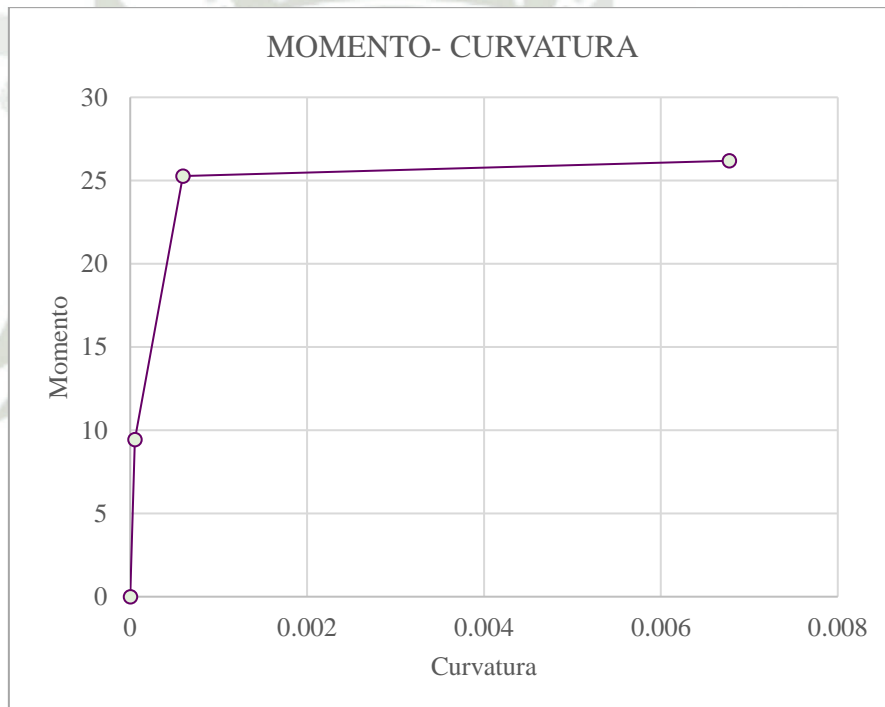
$$\Phi_u = \frac{0.0021}{46.00 - 4.43}$$

$$\Phi_u = 0.0068 \text{ 1/mm}$$

- Diagrama Momento- Curvatura considerando los 3 puntos analizados:

Figura 85

Diagrama Momento- Curvatura de columna V-1 (60.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la ductilidad de curvatura:

$$u\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

$$u\phi = \frac{0.0068}{0.000595}$$

$$u\phi = 11.38$$

- V-2 (50.00 x 50.00):

– Análisis en el Estado Elástico no Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$c = b * h * \left(\frac{h}{2}\right) + (n - 1) * A_s * d + (n - 1) * A's * d'$$

$$c = 25.04 \text{ cm}$$

- Cálculo de inercia:

$$I_{tr} = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left(\frac{h}{2} - c\right)^2 + (n - 1) * A_s * (d - c)^2 + (n - 1) * A's * (c - d')^2$$

$$I_{tr} = 592668.26 \text{ cm}^4$$

- Cálculo del momento en Estado Elástico no Agrietado:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_{tr}}{h - c}$$

$$M_{cr} = 7.95 \text{ Tnf} * m$$

$$\text{curvatura de agrietamiento: } \Phi_{cr} = \frac{f_r}{\epsilon_c} * \frac{1}{h - c}$$

$$\Phi_{cr} = 0.00005 \text{ 1/mm}$$

– Análisis en el Estado Elástico Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.5 * c * b * E_c * \epsilon_y * \left(\frac{c}{d - c}\right) - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A's = 0$$

$$c = 10.58 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\varepsilon_c = 0.0021 * \left(\frac{10.58}{46 - 10.58} \right)$$

$$\varepsilon_c = 0.0006$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c * \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$\varepsilon'_s = 0.00039$$

- Cálculo de esfuerzo del concreto en compresión:

$$f_{cc} = \varepsilon_c * E_c,$$

$$f_{cc} = 157.38 \text{ kgf/cm}^2$$

Se considera una carga triangular del concreto.

- Cálculo de esfuerzo del acero en compresión:

$$f'_s = \varepsilon'_s * E_s$$

$$f'_s = 779.79 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 12.02/1000$$

$$T_s = 50.47 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = \frac{1}{2} * c * f_{cc} * b$$

$$C_c = 41.62 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = \varepsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$C_s = 0.0004 * 2000000 * 11.36$$

$$C_s = 8.86 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_y = C_c * \left(d - \frac{c}{3}\right) + C_s * (d - d')$$

$$M_y = 21.40 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000593 \text{ 1/mm}$$

- Análisis en el Estado de Deformación Última:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 4.39 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\epsilon'_s = \epsilon_c * \left(\frac{c - d'}{c}\right)$$

$$\epsilon'_s = 0.0003$$

- Cálculo del esfuerzo del acero en compresión:

$$f'_s = \epsilon'_s * E_s$$

$$f'_s = 533.76 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 12.02/1000$$

$$T_s = 50.47 T_{nf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b$$

$$C_c = 44.41 T_{nf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = f'_s * A'_s$$

$$C_s = 533.76 * 11.36$$

$$C_s = 6.06 T_{nf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_u = C_c * \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s * (d - d')$$

$$M_u = 22.15 T_{nf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

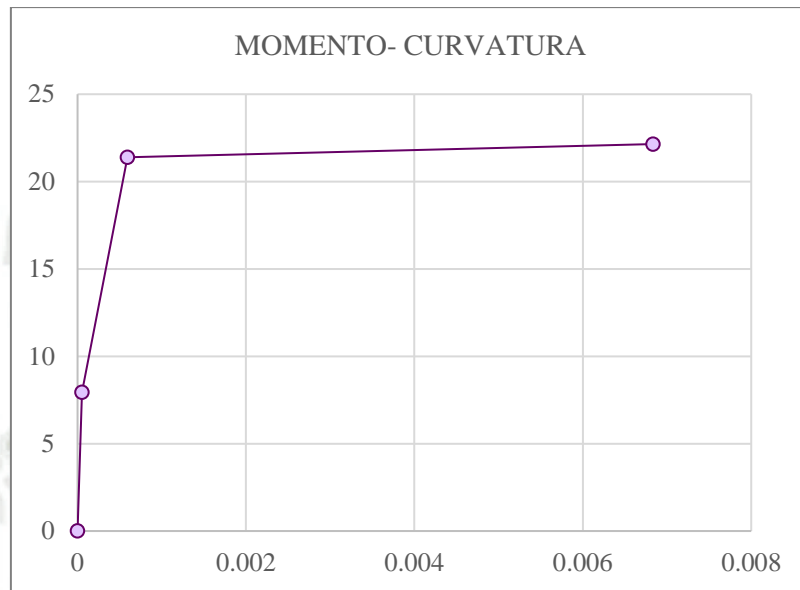
$$\Phi_u = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_u = 0.0068 \text{ 1/mm}$$

- Diagrama Momento- Curvatura considerando los 3 puntos analizados:

Figura 86

Diagrama Momento- Curvatura de columna V-2 (50.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)



– Cálculo de la ductilidad de curvatura:

$$u\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

$$u\phi = \frac{0.0068}{0.000593}$$

$$u\phi = 11.53$$

• V-3 (60.00 x 70.00):

– Análisis en el Estado Elástico no Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$c = b * h * \left(\frac{h}{2}\right) + (n - 1) * A_s * d + (n - 1) * A's * d'$$

$$c = 35.41 \text{ cm}$$

- Cálculo de inercia:

$$I_{tr} = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left(\frac{h}{2} - c\right)^2 + (n - 1) * A_s * (d - c)^2 + (n - 1) * A'_s * (c - d')^2$$

$$I_{tr} = 1921905.71 \text{ cm}^4$$

- Cálculo del momento en Estado Elástico no Agrietado:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_{tr}}{h - c}$$

$$M_{cr} = 18.59 \text{ Tnf} * m$$

$$\text{curvatura de agrietamiento: } \Phi_{cr} = \frac{f_r}{\epsilon_c} * \frac{1}{h - c}$$

$$\Phi_{cr} = 0.00004 \text{ 1/mm}$$

- Análisis en el Estado Elástico Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.5 * c * b * E_c * \epsilon_y * \left(\frac{c}{d - c}\right) - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 15.21 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\epsilon_c = 0.0021 * \left(\frac{15.21}{66 - 15.21}\right)$$

$$\epsilon_c = 0.0006$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\epsilon'_s = \epsilon_c * \left(\frac{c - d'}{c}\right)$$

$$\epsilon'_s = 0.0006 * \left(\frac{15.21 - 4.00}{15.21}\right)$$

$$\varepsilon's = 0.00046$$

- Cálculo de esfuerzo del concreto en compresión:

$$fcc = \varepsilon c * Ec,$$

$$fcc = 157.80 \text{ kgf/cm}^2$$

Se considera una carga triangular del concreto.

- Cálculo de esfuerzo del acero en compresión:

$$f's = \varepsilon's * Es$$

$$f's = 926.64 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$Ts = fy * As$$

$$Ts = 4200 * 19.65/1000$$

$$Ts = 82.51 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$Cc = \frac{1}{2} * c * fcc * b$$

$$Cc = 71.99 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$Cs = \varepsilon's * Es * A's$$

$$Cs = 0.0004 * 2000000 * 11.36$$

$$Cs = 10.53 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$My = Cc * \left(d - \frac{c}{3}\right) + Cs * (d - d')$$

$$My = 50.39 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000413 \text{ 1/mm}$$

— Análisis en el Estado de Deformación Última:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \varepsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 5.37 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c * \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$\varepsilon'_s = 0.003 * \left(\frac{5.37 - 4.00}{5.37} \right)$$

$$\varepsilon'_s = 0.00046$$

- Cálculo del esfuerzo del acero en compresión:

$$f'_s = \varepsilon'_s * E_s$$

$$f'_s = 1528.57 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 19.65/1000$$

$$T_s = 82.51 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b$$

$$C_c = 65.15 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = f'_s * A'_s$$

$$C_s = 1528.57 * 11.36$$

$$C_s = 17.36 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_u = C_c * \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s * (d - d')$$

$$M_u = 52.28 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

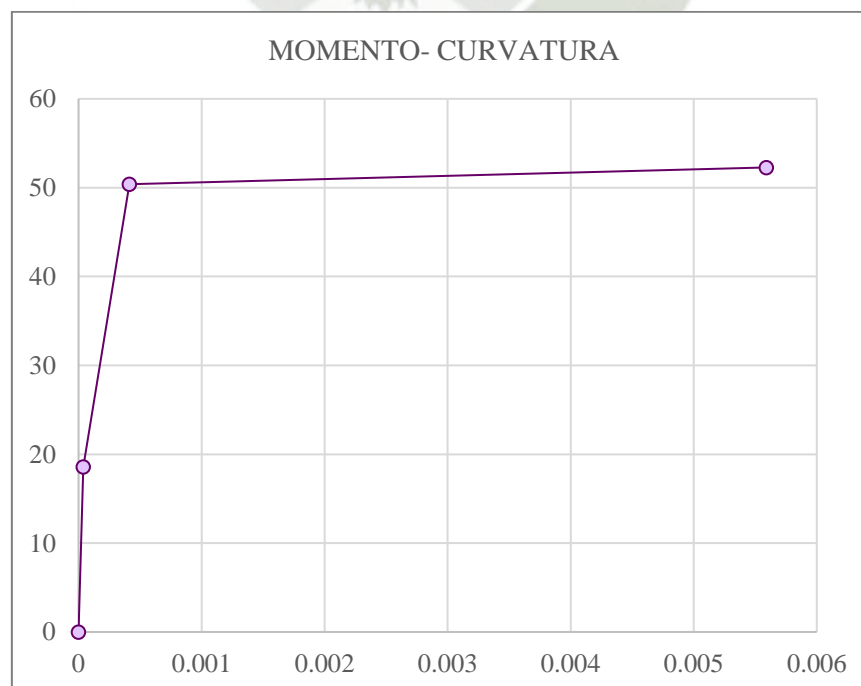
$$\Phi_u = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_u = 0.0056 \text{ 1/mm}$$

- Diagrama Momento- Curvatura considerando los 3 puntos analizados:

Figura 87

Diagrama Momento- Curvatura de columna V-3 (60.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)



– Cálculo de la ductilidad de curvatura:

$$u\phi = \frac{\phi u}{\phi y}$$

$$u\phi = \frac{0.0056}{0.000413}$$

$$u\phi = 13.52$$

• V-4 (50.00 x 70.00):

– Análisis en el Estado Elástico no Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$c = b * h * \left(\frac{h}{2}\right) + (n - 1) * A_s * d + (n - 1) * A'_s * d'$$

$$c = 35.17 \text{ cm}$$

- Cálculo de inercia:

$$I_{tr} = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left(\frac{h}{2} - c\right)^2 + (n - 1) * A_s * (d - c)^2 + (n - 1) * A'_s * (c - d')^2$$

$$I_{tr} = 1600225.13 \text{ cm}^4$$

- Cálculo del momento en Estado Elástico no Agrietado:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_{tr}}{h - c}$$

$$M_{cr} = 15.37 \text{ Tnf} * m$$

$$\text{curvatura de agrietamiento: } \Phi_{cr} = \frac{f_r}{\epsilon_c} * \frac{1}{h - c}$$

$$\Phi_{cr} = 0.00004 \text{ 1/mm}$$

– Análisis en el Estado Elástico Agrietado:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.5 * c * b * E_c * \epsilon_y * \left(\frac{c}{d - c} \right) - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 14.09 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\epsilon_c = 0.0021 * \left(\frac{14.09}{66 - 14.09} \right)$$

$$\epsilon_c = 0.0006$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\epsilon'_s = \epsilon_c * \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$\epsilon'_s = 0.0006 * \left(\frac{14.09 - 4.00}{14.09} \right)$$

$$\epsilon'_s = 0.00041$$

- Cálculo de esfuerzo del concreto en compresión:

$$f_{cc} = \epsilon_c * E_c,$$

$$f_{cc} = 143.03 \text{ kgf/cm}^2$$

Se considera una carga triangular del concreto.

- Cálculo de esfuerzo del acero en compresión:

$$f'_s = \epsilon'_s * E_s$$

$$f'_s = 816.05 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 14.20/1000$$

$$T_s = 59.64 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = \frac{1}{2} * c * f_{cc} * b$$

$$C_c = 50.37 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$C_s = 0.0004 * 2000000 * 11.36$$

$$C_s = 9.27 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_y = C_c * \left(d - \frac{c}{3}\right) + C_s * (d - d')$$

$$M_y = 36.63 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000405 \text{ 1/mm}$$

- Análisis en el Estado de Deformación Última:

- Cálculo de C, obtenido de los diagramas de deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas de la viga.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

$$c = 4.79 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\varepsilon's = \varepsilon c * \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$\varepsilon's = 0.003 * \left(\frac{4.79 - 4.00}{4.79} \right)$$

$$\varepsilon's = 0.0005$$

- Cálculo del esfuerzo del acero en compresión:

$$f's = \varepsilon's * E_s$$

$$f's = 0.0005 * 2 * 10^6$$

$$f's = 987.08 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 14.20 / 1000$$

$$T_s = 59.64 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b$$

$$C_c = 48.43 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = f's * A's$$

$$C_s = 987.08 * 11.36$$

$$C_s = 11.21 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_u = C_c * \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s * (d - d')$$

$$M_u = 37.93 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

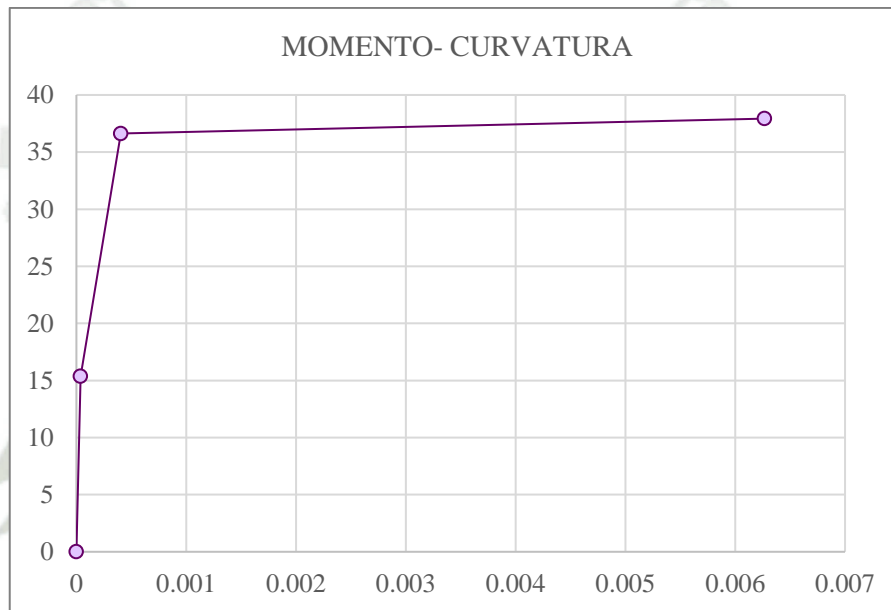
$$\Phi_u = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_u = 0.0063 \text{ 1/mm}$$

- Diagrama Momento- Curvatura considerando los 3 puntos analizados:

Figura 88

Diagrama Momento- Curvatura de columna V-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)



- Cálculo de la ductilidad de curvatura:

$$u\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

$$u\phi = \frac{0.0063}{0.000405}$$

$$u\phi = 15.49$$

Método de Coeficientes para Rótulas Plásticas

- **Asignación de Rótulas Plásticas en Vigas**

Se evalúan las condiciones de cada viga según la Condición i para elementos controlados por flexión de la Tabla 10-7: Parámetros de modelo y criterios de aceptación numéricos para procedimientos no lineales: vigas de concreto armado, de la norma ASCE 41-17:

Tabla 137

Parámetros de modelado y criterios de aceptación numéricos para procedimientos no lineales: vigas de concreto armado (ASCE 41-17, Pág 197)

Condiciones			Parámetros de Modelo			Criterios de Aceptación		
Condición i. Elementos por flexión			Ángulo de Rotación Plástica (rad)		Resistencia Residual	Ángulo de Rotación Plástica (rad)		
r1	Refuerzo Transversal	r2	a	b	c	Nivel de Desempeño		
						IO	LS	CP
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.025	0.050	0.2	0.0100	0.025	0.050
≤0.0	C	≥6 (0.50)	0.020	0.040	0.2	0.0050	0.020	0.040
≤0.5	C	≤3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≤0.5	C	≥6 (0.50)	0.015	0.020	0.2	0.0050	0.015	0.020
≤0.0	NC	≤3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≤0.0	NC	≥6 (0.50)	0.010	0.015	0.2	0.0015	0.010	0.015
≤0.5	NC	≤3 (0.25)	0.010	0.015	0.2	0.0050	0.010	0.015
≤0.5	NC	≥6 (0.50)	0.005	0.010	0.2	0.0015	0.005	0.010

- Condiciones para elementos a flexión

Se tiene r1 y r2 para evaluar las condiciones de las vigas, las cuales se obtienen de las siguientes fórmulas:

$$r1 = \frac{\rho - \rho'}{\rho b'}$$

Donde: ρ : Cuantía para acero en tracción.

ρ' : Cuantía de acero en compresión.

$\rho b'$: Cuantía balanceada para sección doblemente reforzada.

$$r2 = \frac{Vu}{bw * d * \sqrt{f'c}}$$

Donde: Vu : Cortante actuante en la viga.

bw : Base de la viga.

d: Distancia de la cara superior de la viga a la última fila de acero.

f'c: Resistencia a la compresión del concreto: 280 kgf/cm².

Además, se debe evaluar si el refuerzo transversal en la viga es conforme o no conforme, para lo que se tienen las siguientes condiciones:

- Conforme o confinado (C):

$$S \leq \frac{d}{3}, V_s > \frac{3}{4} V_u$$

Donde: S : Separación entre estribos.

V_s : Fuerza cortante máxima.

V_u : Cortante actuante (obtenida de la envolvente de las cargas sísmica).

- No conforme o no confinado (NC):

$$S > \frac{d}{3}, V_s \leq \frac{3}{4} V_u$$

Para el análisis, se tienen valores que dependen del diseño de acero de las vigas, por lo que se mantienen constantes, independientemente de su longitud, o ubicación:

Tabla 138

Propiedades constantes de las vigas para rótulas plásticas (Talavera Flores, 2023)

Viga	ρ	ρ'	ρ_b	S (cm)	d/3 (cm)
V-1 (60.00x50.00)	0.00514	0.00412	0.0323	15.00	15.33
V-2 (50.00x50.00)	0.00494	0.00420	0.0282	15.00	15.33
V-3 (60.00x70.00)	0.00408	0.00287	0.0310	15.00	22.00
V-4 (50.00x70.00)	0.00344	0.00430	0.0325	15.00	22.00

Se realiza el análisis individual de cada viga, con lo que se tienen los siguientes valores para las condiciones mencionadas en Tabla #:

- Piso 1:

— Viga V-1 (60.00 x 50.00):

Tabla 139

Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje B (1-2)	437.50	24.09	18.37	0.0319	1.967	C
Eje B (2-3)	425.00	23.06	18.37	0.0319	1.883	C
Eje B (3-4)	437.50	21.38	18.37	0.0319	1.746	C
Eje C (1-2)	437.50	24.09	18.37	0.0319	1.967	C
Eje C (2-3)	425.00	23.06	18.37	0.0319	1.883	C
Eje C (3-4)	437.50	21.38	18.37	0.0319	1.746	C

— Viga V-2 (50.00 x 50.00):

Tabla 140

Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje A (1-2)	417.50	19.75	18.37	0.0228	1.935	C
Eje A (2-3)	410.00	18.86	18.37	0.0228	1.848	C
Eje A (3-4)	417.50	18.93	18.37	0.0228	1.855	C
Eje D (1-2)	417.50	19.75	18.37	0.0228	1.935	C
Eje D (2-3)	410.00	18.86	18.37	0.0228	1.848	C
Eje D (3-4)	417.50	18.93	18.37	0.0228	1.855	C

— Viga V-3 (60.00 x 70.00):

Tabla 141

Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 2 (A-B)	645.00	61.16	45.97	0.0391	3.481	C
Eje 2 (B-C)	640.00	56.79	45.97	0.0391	3.232	C
Eje 2 (C-D)	645.00	53.06	45.97	0.0391	3.020	C
Eje 3 (A-B)	645.00	61.16	45.97	0.0391	3.481	C
Eje 3 (B-C)	640.00	56.79	45.97	0.0391	3.232	C
Eje 3 (C-D)	645.00	53.06	45.97	0.0391	3.020	C

— Viga V-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 142

Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 1 (A-B)	650.00	42.63	32.01	0.0272	2.911	C
Eje 1 (B-C)	610.00	41.19	32.01	0.0272	2.813	C
Eje 1 (C-D)	650.00	37.53	32.01	0.0272	2.563	C
Eje 4 (A-B)	650.00	42.63	32.01	0.0272	2.911	C
Eje 4 (B-C)	610.00	41.19	32.01	0.0272	2.813	C
Eje 4 (C-D)	650.00	37.53	32.01	0.0272	2.563	C

- Piso 2:

— Viga V-1 (60.00 x 50.00):

Tabla 143

Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje B (1-2)	437.50	24.49	18.37	0.0319	2.000	C
Eje B (2-3)	425.00	24.33	18.37	0.0319	1.987	C
Eje B (3-4)	437.50	23.10	18.37	0.0319	1.886	C
Eje C (1-2)	437.50	24.49	18.37	0.0319	2.000	C
Eje C (2-3)	425.00	24.33	18.37	0.0319	1.987	C
Eje C (3-4)	437.50	23.10	18.37	0.0319	1.886	C

— Viga V-2 (50.00 x 50.00):

Tabla 144

Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje A (1-2)	417.50	20.53	18.37	0.0228	2.012	C
Eje A (2-3)	410.00	20.05	18.37	0.0228	1.965	C
Eje A (3-4)	417.50	20.33	18.37	0.0228	1.992	C
Eje D (1-2)	417.50	20.53	18.37	0.0228	2.012	C
Eje D (2-3)	410.00	20.05	18.37	0.0228	1.965	C
Eje D (3-4)	417.50	20.33	18.37	0.0228	1.992	C

— Viga V-3 (60.00 x 70.00):

Tabla 145

Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 2 (A-B)	645.00	60.44	45.97	0.0391	3.440	C
Eje 2 (B-C)	640.00	56.97	45.97	0.0391	3.242	C
Eje 2 (C-D)	645.00	54.06	45.97	0.0391	3.077	C
Eje 3 (A-B)	645.00	60.44	45.97	0.0391	3.440	C
Eje 3 (B-C)	640.00	56.97	45.97	0.0391	3.242	C
Eje 3 (C-D)	645.00	54.06	45.97	0.0391	3.077	C

— Viga V-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 146

Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 1 (A-B)	650.00	42.68	32.01	0.0272	2.915	C
Eje 1 (B-C)	610.00	41.68	32.01	0.0272	2.846	C
Eje 1 (C-D)	650.00	38.74	32.01	0.0272	2.646	C
Eje 4 (A-B)	650.00	42.68	32.01	0.0272	2.915	C
Eje 4 (B-C)	610.00	41.68	32.01	0.0272	2.846	C
Eje 4 (C-D)	650.00	38.74	32.01	0.0272	2.646	C

- Piso 3:

— Viga V-1 (60.00 x 50.00):

Tabla 147

Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje B (1-2)	437.50	22.59	18.37	0.0319	1.845	C
Eje B (2-3)	425.00	22.33	18.37	0.0319	1.823	C
Eje B (3-4)	437.50	21.85	18.37	0.0319	1.784	C
Eje C (1-2)	437.50	22.59	18.37	0.0319	1.845	C
Eje C (2-3)	425.00	22.33	18.37	0.0319	1.823	C
Eje C (3-4)	437.50	21.85	18.37	0.0319	1.784	C

— Viga V-2 (50.00 x 50.00):

Tabla 148

Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje A (1-2)	417.50	19.16	18.37	0.0228	1.877	C
Eje A (2-3)	410.00	18.94	18.37	0.0228	1.856	C
Eje A (3-4)	417.50	19.25	18.37	0.0228	1.886	C
Eje D (1-2)	417.50	19.16	18.37	0.0228	1.877	C
Eje D (2-3)	410.00	18.94	18.37	0.0228	1.856	C
Eje D (3-4)	417.50	19.25	18.37	0.0228	1.886	C

— Viga V-3 (60.00 x 70.00):

Tabla 149

Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 2 (A-B)	645.00	57.99	45.97	0.0391	3.300	C
Eje 2 (B-C)	640.00	53.80	45.97	0.0391	3.062	C
Eje 2 (C-D)	645.00	52.35	45.97	0.0391	2.979	C
Eje 3 (A-B)	645.00	57.99	45.97	0.0391	3.300	C
Eje 3 (B-C)	640.00	53.8	45.97	0.0391	3.062	C
Eje 3 (C-D)	645.00	52.35	45.97	0.0391	2.979	C

– Viga V-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 150

Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 1 (A-B)	650.00	41.31	32.01	0.0272	2.821	C
Eje 1 (B-C)	610.00	40.23	32.01	0.0272	2.747	C
Eje 1 (C-D)	650.00	37.54	32.01	0.0272	2.564	C
Eje 4 (A-B)	650.00	41.31	32.01	0.0272	2.821	C
Eje 4 (B-C)	610.00	40.23	32.01	0.0272	2.747	C
Eje 4 (C-D)	650.00	37.54	32.01	0.0272	2.564	C

- Piso 4:

– Viga V-1 (60.00 x 50.00):

Tabla 151

Condiciones para elementos a flexión de V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje B (1-2)	440.00	19.77	18.37	0.0319	1.614	C
Eje B (2-3)	430.00	18.49	18.37	0.0319	1.510	C
Eje B (3-4)	440.00	19.50	18.37	0.0319	1.592	C
Eje C (1-2)	440.00	19.77	18.37	0.0319	1.614	C
Eje C (2-3)	430.00	18.49	18.37	0.0319	1.510	C
Eje C (3-4)	440.00	19.50	18.37	0.0319	1.592	C

— Viga V-2 (50.00 x 50.00):

Tabla 152

Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje A (1-2)	417.50	17.41	18.37	0.0228	1.706	C
Eje A (2-3)	410.00	17.17	18.37	0.0228	1.682	C
Eje A (3-4)	417.50	17.41	18.37	0.0228	1.706	C
Eje D (1-2)	417.50	17.41	18.37	0.0228	1.706	C
Eje D (2-3)	410.00	17.17	18.37	0.0228	1.682	C
Eje D (3-4)	417.50	17.41	18.37	0.0228	1.706	C

— Viga V-3 (60.00 x 70.00):

Tabla 153

Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 2 (A-B)	650.00	55.53	45.97	0.0391	3.160	C
Eje 2 (B-C)	650.00	51.01	45.97	0.0391	2.903	C
Eje 2 (C-D)	650.00	50.05	45.97	0.0391	2.848	C
Eje 3 (A-B)	650.00	55.53	45.97	0.0391	3.160	C
Eje 3 (B-C)	650.00	51.01	45.97	0.0391	2.903	C
Eje 3 (C-D)	650.00	50.05	45.97	0.0391	2.848	C

— Viga V-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 154

Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 1 (A-B)	650.00	38.77	32.01	0.0272	2.648	C
Eje 1 (B-C)	610.00	37.34	32.01	0.0272	2.550	C
Eje 1 (C-D)	650.00	30.02	32.01	0.0272	2.050	C
Eje 4 (A-B)	650.00	38.77	32.01	0.0272	2.648	C
Eje 4 (B-C)	610.00	37.34	32.01	0.0272	2.550	C
Eje 4 (C-D)	650.00	30.02	32.01	0.0272	2.050	C

• Piso 5:

— Viga V-2 (50.00 x 50.00):

Tabla 155

Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje A (1-2)	417.50	14.79	18.37	0.0228	1.449	C
Eje A (2-3)	410.00	14.26	18.37	0.0228	1.397	C
Eje A (3-4)	417.50	15.16	18.37	0.0228	1.485	C
Eje B (1-2)	417.50	13.99	18.37	0.0228	1.371	C
Eje B (2-3)	410.00	13.95	18.37	0.0228	1.367	C
Eje B (3-4)	417.50	14.06	18.37	0.0228	1.378	C
Eje C (1-2)	417.50	13.99	18.37	0.0228	1.371	C
Eje C (2-3)	410.00	13.95	18.37	0.0228	1.367	C
Eje C (3-4)	417.50	14.06	18.37	0.0228	1.378	C
Eje D (1-2)	417.50	14.79	18.37	0.0228	1.449	C
Eje D (2-3)	410.00	14.26	18.37	0.0228	1.397	C
Eje D (3-4)	417.50	15.16	18.37	0.0228	1.485	C

— Viga V-3 (60.00 x 70.00):

Tabla 156

Condiciones para elementos a flexión de V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 2 (A-B)	650.00	52.22	45.97	0.0391	2.972	C
Eje 2 (B-C)	650.00	48.39	45.97	0.0391	2.754	C
Eje 2 (C-D)	650.00	47.27	45.97	0.0391	2.690	C
Eje 3 (A-B)	650.00	52.22	45.97	0.0391	2.972	C
Eje 3 (B-C)	650.00	48.39	45.97	0.0391	2.754	C
Eje 3 (C-D)	650.00	47.27	45.97	0.0391	2.690	C

— Viga V-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 157

Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 1 (A-B)	635.00	35.21	32.01	0.0272	2.405	C
Eje 1 (B-C)	620.00	33.52	32.01	0.0272	2.289	C
Eje 1 (C-D)	635.00	31.43	32.01	0.0272	2.146	C
Eje 4 (A-B)	635.00	35.21	32.01	0.0272	2.405	C
Eje 4 (B-C)	620.00	33.52	32.01	0.0272	2.289	C
Eje 4 (C-D)	635.00	31.43	32.01	0.0272	2.146	C

- Piso 6:

- Viga V-2 (50.00 x 50.00):

Tabla 158

Condiciones para elementos a flexión de V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje A y B (1-2)	445.00	14.79	18.37	0.0228	1.449	C
Eje A (2-3)	440.00	14.26	18.37	0.0228	1.397	C
Eje A y D (3-4)	445.00	15.16	18.37	0.0228	1.485	C
Eje B (1-2)	425.00	13.99	18.37	0.0228	1.371	C
Eje B (2-3)	420.00	13.95	18.37	0.0228	1.367	C
Eje B (3-4)	425.00	14.06	18.37	0.0228	1.378	C
Eje C (1-2)	425.00	13.99	18.37	0.0228	1.371	C
Eje C (2-3)	420.00	13.95	18.37	0.0228	1.367	C
Eje C (3-4)	425.00	14.06	18.37	0.0228	1.378	C
Eje D (2-3)	440.00	14.26	18.37	0.0228	1.397	C

- Viga V-4 (50.00 x 70.00):

Tabla 159

Condiciones para elementos a flexión de V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Vu (Tnf)	Vs (Tnf)	r1	r2	Ref. Transversal
Eje 1 (A-B)	650.00	42.37	32.01	0.0272	2.893	C
Eje 1 (B-C)	650.00	35.85	32.01	0.0272	2.448	C
Eje 1 (C-D)	650.00	38.86	32.01	0.0272	2.654	C
Eje 4 (A-B)	635.00	29.35	32.01	0.0272	2.004	C
Eje 4 (B-C)	620.00	20.24	32.01	0.0272	1.382	C
Eje 4 (C-D)	635.00	23.7	32.01	0.0272	1.618	C
Eje 1 (A-B)	635.00	29.35	32.01	0.0272	2.004	C
Eje 1 (B-C)	620.00	20.24	32.01	0.0272	1.382	C
Eje 1 (C-D)	635.00	23.70	32.01	0.0272	1.618	C
Eje 4 (A-B)	650.00	42.37	32.01	0.0272	2.893	C
Eje 4 (B-C)	650.00	35.85	32.01	0.0272	2.448	C
Eje 4 (C-D)	650.00	38.86	32.01	0.0272	2.654	C

- Parámetros de Modelo

Con los valores obtenidos se ubican en la Tabla # los factores r1, r2 y el tipo de refuerzo transversal para obtener los parámetros del modelo haciendo su interpolación lineal; los cálculos de la interpolación dependen de r1, que a su vez depende del diseño de acero de la viga, por lo que los valores de los parámetros de modelo se mantienen constantes para cada tipo de viga.

Tabla 160

Parámetros de Modelo para cada tipo de viga (Talavera Flores, 2023)

Viga	r1	a	b	c
V-1 (60.00 x 50.00)	0.0319	0.0247	0.0487	0.20
V-2 (50.00 x 50.00)	0.0228	0.0152	0.0109	0.20
V-3 (60.00 x 70.00)	0.0391	0.0154	0.0116	0.20
V-4 (50.00 x 70.00)	0.0272	0.0153	0.0111	0.20

- Criterios de Aceptación

De igual forma, los valores para criterios de aceptación se mantienen constantes para cada tipo de viga, independientemente de su longitud o su ubicación, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 161

Criterios de Aceptación para cada tipo de viga (Talavera Flores, 2023)

Viga	r1	IO	LS	CP
V-1 (60.00 x 50.00)	0.0319	0.0097	0.0247	0.0487
V-2 (50.00 x 50.00)	0.0228	0.0098	0.0248	0.0491
V-3 (60.00 x 70.00)	0.0391	0.0096	0.0246	0.0484
V-4 (50.00 x 70.00)	0.0272	0.0097	0.0247	0.0489

- Diagramas Momento- Rotación y Momento- Curvatura

- V-1 (60.00 x 50.00)

- Cálculo de momento flector obtenido anteriormente para el estado elástico agrietado o estado de fluencia:

$$My = Cc * \left(d - \frac{c}{3}\right) + Cs * (d - d')$$

$$My = 51.53 * \left(46 - \frac{10.72}{3}\right) + 8.11 * (46 - 4)$$

$$My = 25.28 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000594 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de rotación en estado de fluencia por momento flector:

$$\theta_y = \frac{L}{6} * \frac{My}{EIe}, Ie = \frac{bw * h^3}{12}$$

$$\theta_y = \frac{5}{6} * \frac{25.28}{250998.01 * 625000.00}$$

$$\theta_y = 0.00134 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación última:

$$\theta_u = \theta_y + a$$

$$\theta_u = 0.00134 + 0.0247$$

$$\theta_u = 0.026 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación residual:

$$\theta_r = \theta_y + b$$

$$\theta_r = 0.00134 + 0.0488$$

$$\theta_r = 0.050 \text{ rad}$$

- Cálculo de momento último:

$$M_u = M_y + \alpha * EI * (\theta_u - \theta_y), EI = \frac{M_y}{\Phi_y}$$

$$M_u = 25.28 \text{ Tnf} * m + 0.02 * \frac{25.28}{\frac{0.000594}{1000}} * (0.026 - 0.00134)$$

$$M_u = 25.49 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de momento residual:

$$M_r = M_y * c$$

$$M_r = 25.28 \text{ Tnf} * m * 0.2$$

$$M_r = 5.06 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura última:

$$\Phi_u = \Phi_y + \frac{\theta_u}{l_p}$$

$$l_p = 0.08 * l + 0.022 * d * f_y \text{ (MPa)} \text{ (Paulay \& Priestley, 1992)}$$

$$l_p = 0.08 * 437.5 + 0.022 * 1.91 * 411.88 \text{ (MPa)}$$

$$l_p = 52.31 \text{ cm}$$

$$\Phi_u = 0.000594 + \frac{0.026}{52.31}$$

$$\Phi_u = 0.00064 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de curvatura residual:

$$\Phi_r = \Phi_y + \frac{\theta r}{l_p}$$

$$\Phi_r = 0.000594 + \frac{0.050}{52.31} = 0.00069 \text{ 1/mm}$$

$$\Phi_r = 0.00069 \text{ 1/mm}$$

- Diagramas Momento- Rotación y Momento- Curvatura; considerando los puntos de: Estado de fluencia, Estado de deformación última y residual.

Tabla 162

Rotación, Curvatura y Momentos de V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Θ (rad)	ϕ (rad/mm)	M (Tnf*m)	
0	0	0	
0.00134	0.00059	25.28	fluencia
0.02602	0.00064	25.49	última
0.02602	0.00064	5.06	
0.05010	0.00069	5.06	residual
0.05010	0.00069	0.00	

Figura 89

Diagrama Momento- Rotación de V-1 (60.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)

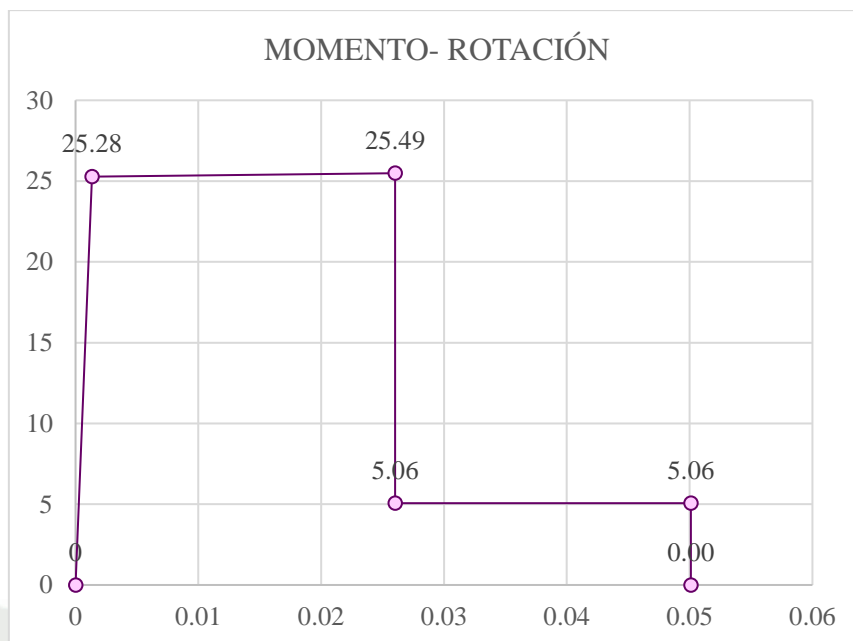
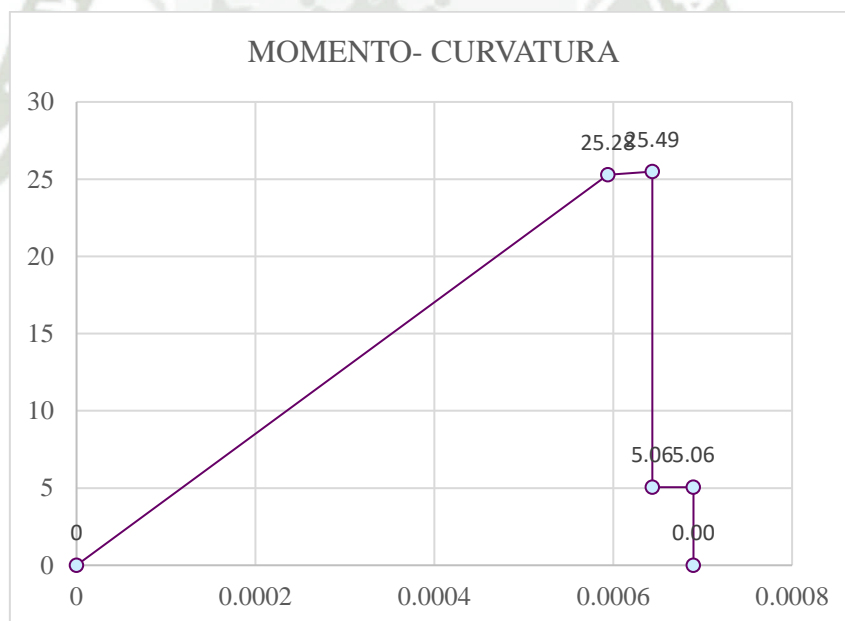


Figura 90

Diagrama Momento- Curvatura de V-1 (60.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)



– V-2 (50.00 x 50.00)

- Cálculo de momento flector obtenido anteriormente para el estado elástico agrietado o estado de fluencia:

$$M_y = C_c * \left(d - \frac{c}{3} \right) + C_s * (d - d')$$

$$M_y = 40.37 * \left(46 - \frac{10.44}{3}\right) + 7.34 * (46 - 4)$$

$$M_y = 20.25 T_{nf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000591 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de rotación en estado de fluencia por momento flector:

$$\theta_y = \frac{L}{6} * \frac{M_y}{EIe}, Ie = \frac{bw * h^3}{12}$$

$$\theta_y = \frac{5}{6} * \frac{20.25}{250998.01 * 520833.33}$$

$$\theta_y = 0.00129 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación última:

$$\theta_u = \theta_y + a$$

$$\theta_u = 0.00129 + 0.0152$$

$$\theta_u = 0.0165 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación residual:

$$\theta_r = \theta_y + b$$

$$\theta_r = 0.00129 + 0.0491$$

$$\theta_r = 0.050 \text{ rad}$$

- Cálculo de momento último:

$$M_u = M_y + \alpha * EI * (\theta_u - \theta_y), EI = \frac{M_y}{\Phi_y}$$

$$M_u = 20.25 T_{nf} * m + 0.02 * \frac{20.25}{\frac{0.000591}{1000}} * (0.0165 - 0.00129)$$

$$M_u = 20.25 T_{nf} * m$$

- Cálculo de momento residual:

$$Mr = My * c$$

$$Mr = 20.25 Tnf * m * 0.2$$

$$Mr = 4.05 Tnf * m$$

- Cálculo de curvatura última:

$$\Phi_u = \Phi_y + \frac{\theta_u}{lp}$$

$$l\Phi_u = 0.000591 + \frac{0.0165}{52.31}$$

$$\Phi_u = 0.00062 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de curvatura residual:

$$\Phi_r = \Phi_y + \frac{\theta_r}{lp}$$

$$\Phi_r = 0.000591 + \frac{0.050}{52.31}$$

$$\Phi_r = 0.00069 \text{ 1/mm}$$

- Diagramas Momento- Rotación y Momento- Curvatura; considerando los puntos de: Estado de fluencia, Estado de deformación última y residual.

Tabla 163

Rotación, Curvatura y Momentos de V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

Θ (rad)	ϕ (rad/mm)	M (Tnf*m)	
0	0	0	
0.00129	0.00059	20.25	fluencia
0.01652	0.00062	20.35	última
0.01652	0.00062	4.05	
0.05038	0.00069	4.05	residual
0.05038	0.00069	0.00	

Figura 91

Diagrama Momento- Rotación de V-2 (50.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)

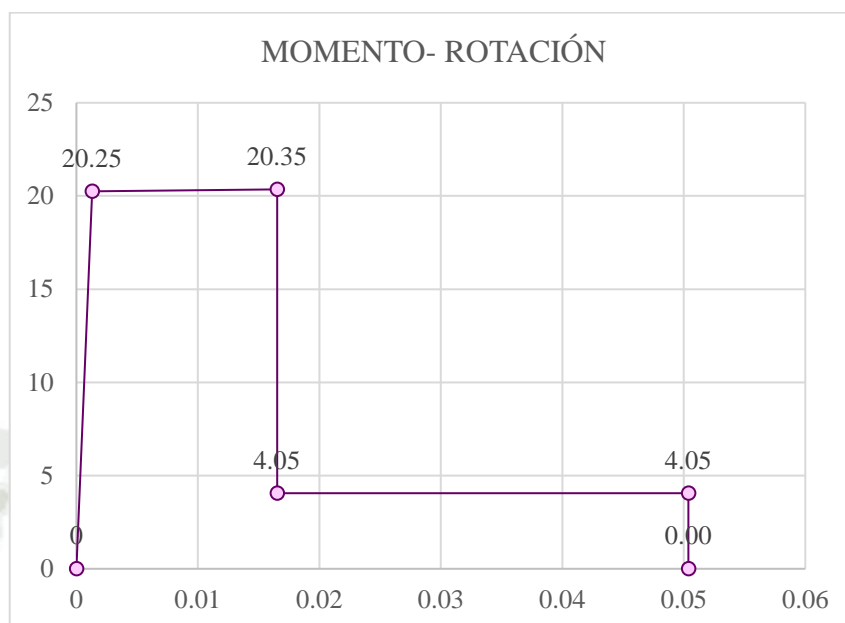
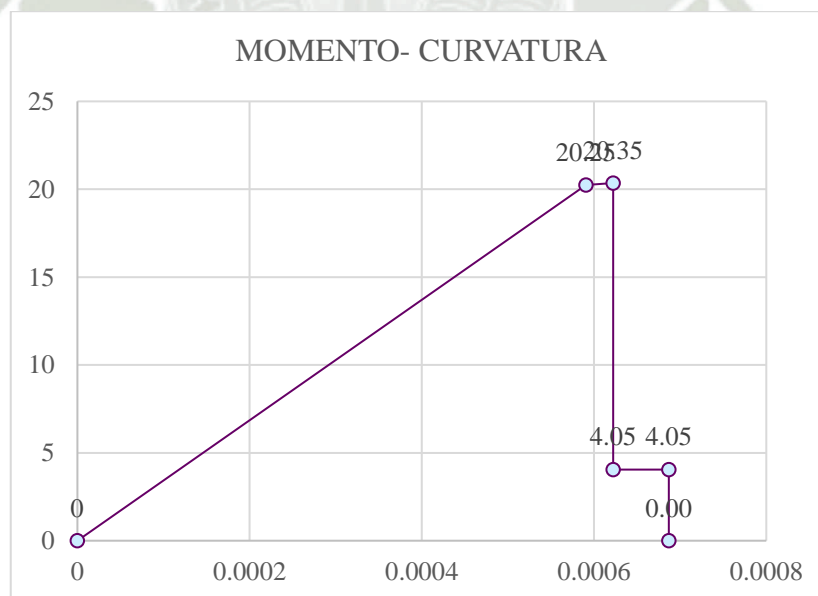


Figura 92

Diagrama Momento- Curvatura de V-2 (50.00x50.00) (Talavera Flores, 2023)



— V-3 (60.00 x 70.00)

- Cálculo de momento flector obtenido anteriormente para el estado elástico agrietado o estado de fluencia:

$$M_y = C_c * \left(d - \frac{c}{3}\right) + C_s * (d - d')$$

$$M_y = 58.83 * \left(66 - \frac{13.92}{3}\right) + 9.09 * (66 - 4)$$

$$M_y = 41.73 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000403 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de rotación en estado de fluencia por momento flector:

$$\theta_y = \frac{L}{6} * \frac{M_y}{EIe}, Ie = \frac{bw * h^3}{12}$$

$$\theta_y = \frac{7}{6} * \frac{41.73}{250998.01 * 1715000.00}$$

$$\theta_y = 0.00113 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación última:

$$\theta_u = \theta_y + a$$

$$\theta_u = 0.00113 + 0.0154$$

$$\theta_u = 0.0165 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación residual:

$$\theta_r = \theta_y + b$$

$$\theta_r = 0.00113 + 0.0484 = 0.050 \text{ rad}$$

- Cálculo de momento último:

$$M_u = M_y + \alpha * EI * (\theta_u - \theta_y), EI = \frac{M_y}{\Phi_y}$$

$$M_u = 41.73 \text{ Tnf} * m + 0.02 * \frac{41.73}{\frac{0.000403}{1000}} * (0.0165 - 0.00113)$$

$$M_u = 42.05 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de momento residual:

$$Mr = My * c$$

$$Mr = 41.73 Tnf * m * 0.2$$

$$Mr = 8.35 Tnf * m$$

- Cálculo de curvatura última:

$$\Phi_u = \Phi_y + \frac{\theta_u}{lp}$$

$$l\Phi_u = 0.000403 + \frac{0.0165}{70.41}$$

$$\Phi_u = 0.00043 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de curvatura residual:

$$\Phi_r = \Phi_y + \frac{\theta_r}{lp}$$

$$\Phi_r = 0.000403 + \frac{0.050}{70.41}$$

$$\Phi_r = 0.00047 \text{ 1/mm}$$

- Diagramas Momento- Rotación y Momento- Curvatura; considerando los puntos de: Estado de fluencia, Estado de deformación última y residual.

Tabla 164

Rotación, Curvatura y Momentos de V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Θ (rad)	ϕ (rad/mm)	M (Tnf*m)	
0	0	0	
0.00113	0.00040	41.73	fluencia
0.01652	0.00043	42.05	última
0.01652	0.00043	8.35	
0.04957	0.00047	8.35	residual
0.04957	0.00047	0.00	

Figura 93

Diagrama Momento- Rotación de V-3 (60.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)

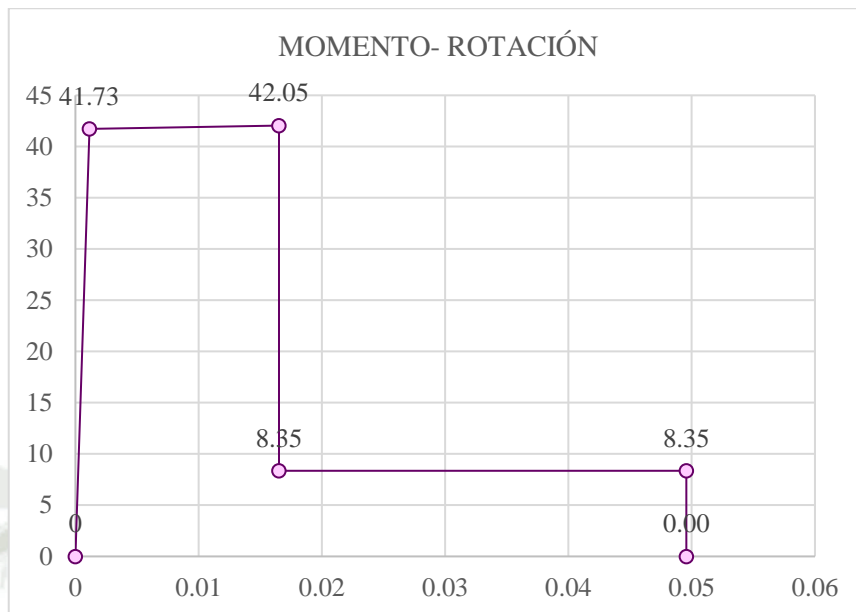
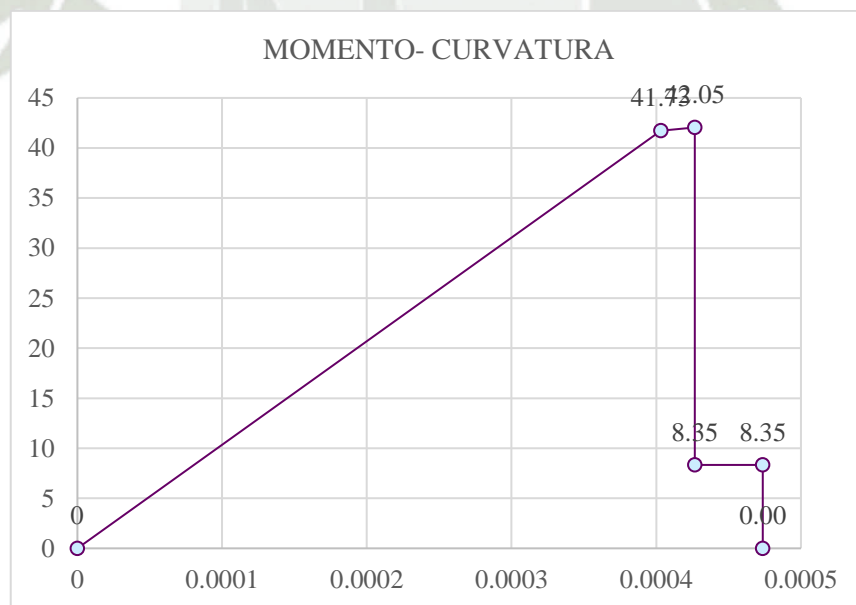


Figura 94

Diagrama Momento- Curvatura de V-3 (60.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)



– V-4 (50.00 x 70.00)

- Cálculo de momento flector obtenido anteriormente para el estado elástico agrietado o estado de fluencia:

$$M_y = C_c * \left(d - \frac{c}{3} \right) + C_s * (d - d')$$

$$M_y = 38.28 * \left(66 - \frac{12.47}{3} \right) + 7.55 * (66 - 4)$$

$$M_y = 28.35 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\varepsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000392 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de rotación en estado de fluencia por momento flector:

$$\theta_y = \frac{L}{6} * \frac{M_y}{EIe}, Ie = \frac{bw * h^3}{12}$$

$$\theta_y = \frac{7}{6} * \frac{28.35}{250998.01 * 1429166.67}$$

$$\theta_y = 0.00092 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación última:

$$\theta_u = \theta_y + a$$

$$\theta_u = 0.00092 + 0.0153$$

$$\theta_u = 0.0162 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación residual:

$$\theta_r = \theta_y + b$$

$$\theta_r = 0.00092 + 0.0489$$

$$\theta_r = 0.050 \text{ rad}$$

- Cálculo de momento último:

$$M_u = M_y + \alpha * EI * (\theta_u - \theta_y), EI = \frac{M_y}{\Phi_y}$$

$$M_u = 28.35 \text{ Tnf} * m + 0.02 * \frac{28.35}{\frac{0.000392}{1000}} * (0.0162 - 0.00092)$$

$$Mu = 28.57 Tnf * m$$

- Cálculo de momento residual:

$$Mr = My * c$$

$$Mr = 28.35 Tnf * m * 0.2$$

$$Mr = 5.67 Tnf * m$$

- Cálculo de curvatura última:

$$\Phi_u = \Phi_y + \frac{\theta_u}{l_p}$$

$$\Phi_u = 0.000392 + \frac{0.0162}{73.31}$$

$$\Phi_u = 0.00041 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de curvatura residual:

$$\Phi_r = \Phi_y + \frac{\theta_r}{l_p}$$

$$\Phi_r = 0.000392 + \frac{0.050}{73.31}$$

$$\Phi_r = 0.00046 \text{ 1/mm}$$

- Diagramas Momento- Rotación y Momento- Curvatura; considerando los puntos de: Estado de fluencia, Estado de deformación última y residual.

Tabla 165

Rotación, Curvatura y Momentos de V-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

Θ (rad)	ϕ (rad/mm)	M (Tnf*m)	
0	0	0	
0.00092	0.00039	28.35	fluencia
0.01619	0.00041	28.57	última
0.01619	0.00041	5.67	
0.04983	0.00046	5.67	residual
0.04983	0.00046	0.00	

Figura 95

Diagrama Momento- Rotación de V-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)

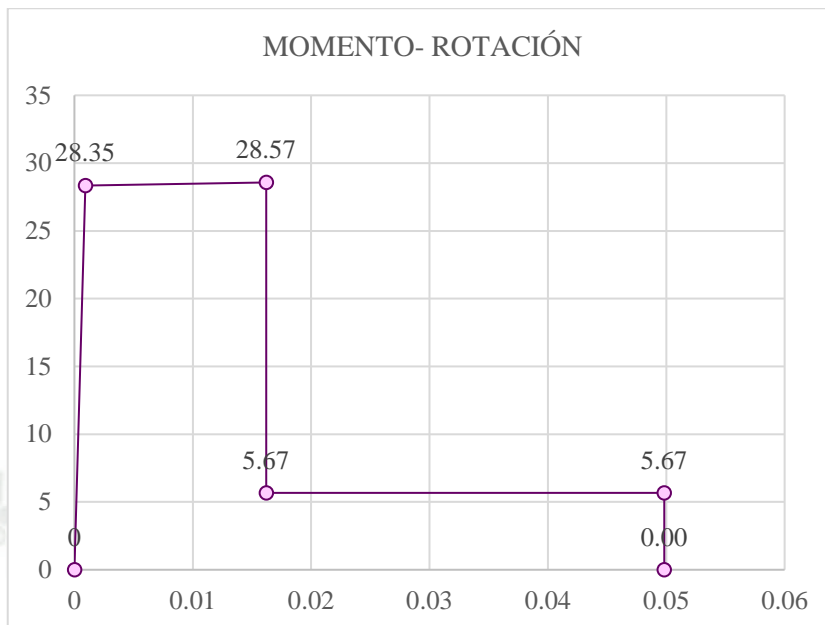
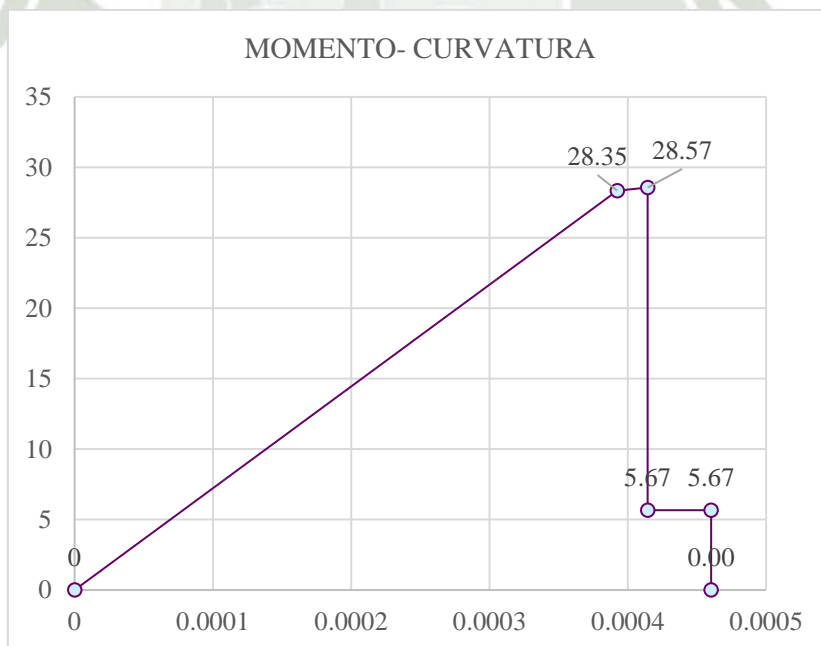


Figura 96

Diagrama Momento- Curvatura de V-4 (50.00x70.00) (Talavera Flores, 2023)



- Asignación de Rótulas Plásticas en Vigas

— Cálculo de distancias relativas de vigas:

— Piso 1:

- V-1 (60.00 x 50.00)

Tabla 166

Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje B (1-2)	437.5	52.31	11.96%
Eje B (2-3)	425	52.31	12.31%
Eje B (3-4)	437.5	52.31	11.96%
Eje C (1-2)	437.5	52.31	11.96%
Eje C (2-3)	425	52.31	12.31%
Eje C (3-4)	437.5	52.31	11.96%

- V-2 (50.00 x 50.00)

Tabla 167

Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje A (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje A (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje A (3-4)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje D (3-4)	417.50	52.31	12.53%

- V-3 (60.00 x 70.00)

Tabla 168

Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 2 (A-B)	645.00	70.41	10.92%
Eje 2 y 3 (B-C)	640.00	70.41	11.00%
Eje 2 y 3 (C-D)	645.00	70.41	10.92%
Eje 3 (A-B)	645.00	70.41	10.92%

- V-4 (50.00 x 70.00)

Tabla 169

Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 1 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 1 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 1 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 1 (C-D)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 4 (C-D)	650.00	73.31	11.28%

— Piso 2:

- V-1 (60.00 x 50.00)

Tabla 170

Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje B (1-2)	437.50	52.31	11.96%
Eje B (2-3)	425.00	52.31	12.31%
Eje B (3-4)	437.50	52.31	11.96%
Eje C (1-2)	437.50	52.31	11.96%
Eje C (2-3)	425.00	52.31	12.31%
Eje C (3-4)	437.50	52.31	11.96%

- V-2 (50.00 x 50.00)

Tabla 171

Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje A (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje A (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje A (3-4)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje D (3-4)	417.50	52.31	12.53%

- V-3 (60.00 x 70.00)

Tabla 172

Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 2 (A-B)	645.00	70.41	10.92%
Eje 2 (B-C)	640.00	70.41	11.00%
Eje 2 (C-D)	645.00	70.41	10.92%
Eje 3 (A-B)	645.00	70.41	10.92%
Eje 3 (B-C)	640.00	70.41	11.00%
Eje 3 (C-D)	645.00	70.41	10.92%

- V-4 (50.00 x 70.00)

Tabla 173

Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 2 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 1 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 1 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 1 (C-D)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 4 (C-D)	650.00	73.31	11.28%

- Piso 3:
 - V-1 (60.00 x 50.00)

Tabla 174

Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje B (1-2)	440.00	52.31	11.89%
Eje B (2-3)	430.00	52.31	12.17%
Eje B (3-4)	440.00	52.31	11.89%
Eje C (1-2)	440.00	52.31	11.89%
Eje C (2-3)	430.00	52.31	12.17%
Eje C (3-4)	440.00	52.31	11.89%

- V-2 (50.00 x 50.00)

Tabla 175

Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje A (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje A (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje A (3-4)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje D (3-4)	417.50	52.31	12.53%

- V-3 (60.00 x 70.00)

Tabla 176

Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 2 (A-B)	650.00	70.41	10.83%
Eje 2 (B-C)	650.00	70.41	10.83%
Eje 2 (C-D)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (A-B)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (B-C)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (C-D)	650.00	70.41	10.83%

- V-4 (50.00 x 70.00)

Tabla 177

Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 3 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 1 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 1 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 1 (C-D)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 4 (C-D)	650.00	73.31	11.28%

— Piso 4:

- V-1 (60.00 x 50.00)

Tabla 178

Distancias relativas de vigas V-1 (60.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje B (1-2)	440.00	52.31	11.89%
Eje B (2-3)	430.00	52.31	12.17%
Eje B (3-4)	440.00	52.31	11.89%
Eje C (1-2)	440.00	52.31	11.89%
Eje C (2-3)	430.00	52.31	12.17%
Eje C (3-4)	440.00	52.31	11.89%

- V-2 (50.00 x 50.00)

Tabla 179

Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje A (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje A (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje A (3-4)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje D (3-4)	417.50	52.31	12.53%

- V-3 (60.00 x 70.00)

Tabla 180

Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 2 (A-B)	650.00	70.41	10.83%
Eje 2 (B-C)	650.00	70.41	10.83%
Eje 2 (C-D)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (A-B)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (B-C)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (C-D)	650.00	70.41	10.83%

- V-4 (50.00 x 70.00)

Tabla 181

Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 4 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 1 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 1 y 4 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 1 y 4 (C-D)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (A-B)	650.00	73.31	11.28%

- Piso 5:
 - V-2 (50.00 x 50.00)

Tabla 182

Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje A (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje A (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje A (3-4)	417.50	52.31	12.53%
Eje B (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje B (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje B (3-4)	417.50	52.31	12.53%
Eje C (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje C (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje C (3-4)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (1-2)	417.50	52.31	12.53%
Eje D (2-3)	410.00	52.31	12.76%
Eje D (3-4)	417.50	52.31	12.53%

- V-3 (60.00 x 70.00)

Tabla 183

Distancias relativas de vigas V-3 (60.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 2 (A-B)	650.00	70.41	10.83%
Eje 2 (B-C)	650.00	70.41	10.83%
Eje 2 (C-D)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (A-B)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (B-C)	650.00	70.41	10.83%
Eje 3 (C-D)	650.00	70.41	10.83%

- V-4 (50.00 x 70.00)

Tabla 184

Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 5 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje 1 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 1 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 1 (C-D)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (A-B)	650.00	73.31	11.28%
Eje 4 (B-C)	610.00	73.31	12.02%
Eje 4 (C-D)	650.00	73.31	11.28%

— Piso 6:

- V-2 (50.00 x 50.00)

Tabla 185

Distancias relativas de vigas V-2 (50.00 x 50.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje A (1-2)	445.00	52.31	11.76%
Eje A (2-3)	440.00	52.31	11.89%
Eje A (3-4)	445.00	52.31	11.76%
Eje B (1-2)	425.00	52.31	12.31%
Eje B (2-3)	420.00	52.31	12.45%
Eje B (3-4)	425.00	52.31	12.31%
Eje C (1-2)	425.00	52.31	12.31%
Eje C (2-3)	420.00	52.31	12.45%
Eje C (3-4)	425.00	52.31	12.31%
Eje D (1-2)	445.00	52.31	11.76%
Eje D (2-3)	440.00	52.31	11.89%
Eje D (3-4)	445.00	52.31	11.76%

- V-4 (50.00 x 70.00)

Tabla 186

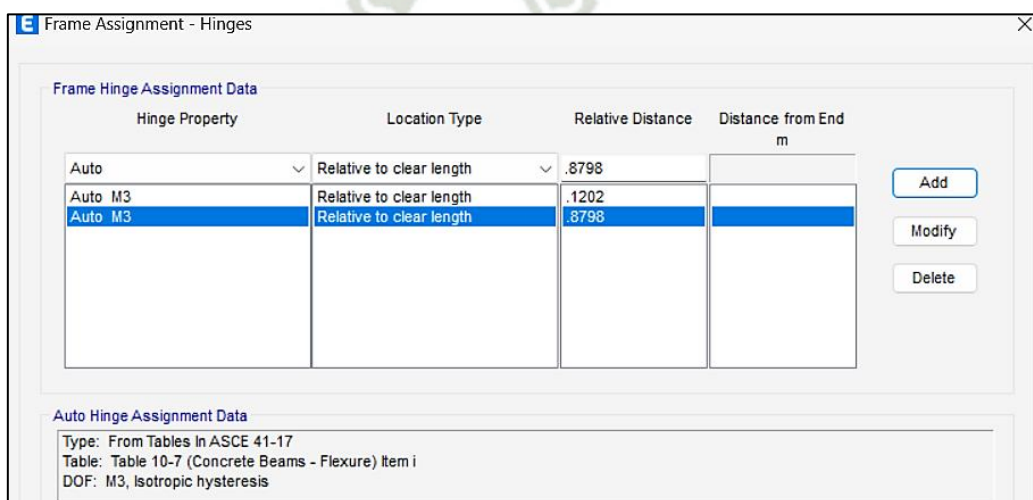
Distancias relativas de vigas V-4 (50.00 x 70.00)- Piso 6 (Talavera Flores, 2023)

Ubicación	L libre (cm)	Lp (cm)	Distancia Relativa (%)
Eje A (1-2)	650.00	73.31	11.28%
Eje A (2-3)	650.00	73.31	11.28%
Eje A (3-4)	650.00	73.31	11.28%
Eje B (1-2)	635.00	73.31	11.54%
Eje B (2-3)	620.00	73.31	11.82%
Eje B (3-4)	635.00	73.31	11.54%
Eje C (1-2)	635.00	73.31	11.54%
Eje C (2-3)	620.00	73.31	11.82%
Eje C (3-4)	635.00	73.31	11.54%
Eje D (1-2)	650.00	73.31	11.28%
Eje D (2-3)	650.00	73.31	11.28%
Eje D (3-4)	650.00	73.31	11.28%

- Creación de las rótulas plásticas en el software:
 - Para asignar las rótulas plásticas, se selecciona y se insertan en las vigas considerando su distancia relativa calculada en el punto anterior:

Figura 97

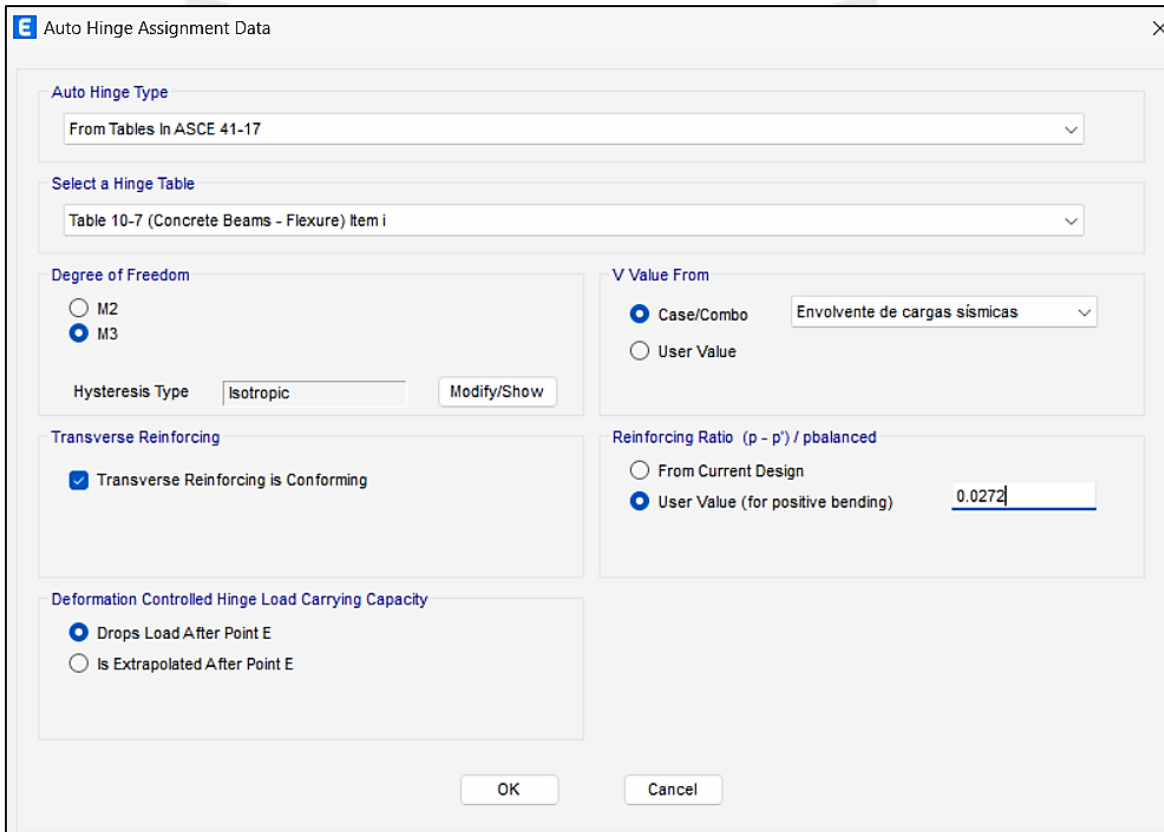
Captura de pantalla de la ventana para asignación de rótulas plásticas en vigas (ETABS 20.0.0, 2023)



- Se hace la configuración de las rótulas plásticas para vigas considerando la Tabla 10-7 de la norma ASCE 41-17, su comportamiento a flexión, que estarán sometidas a cargas sísmicas y asignando el valor de r_1 , que toma la relación de cuantías.

Figura 98

Captura de pantalla de la ventana de propiedades de las rótulas plásticas en vigas (ETABS 20.0.0, 2023)



- En las propiedades de la rótula, se asigna también el comportamiento de la viga a flexión y su distancia relativa calculada, de esta forma también se puede visualizar los diagramas correspondientes al elemento y sus criterios de aceptación que deben coincidir con los obtenidos del cálculo:
 - V-1 (60.00 x 50.00)

Figura 99

Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-1 (60.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

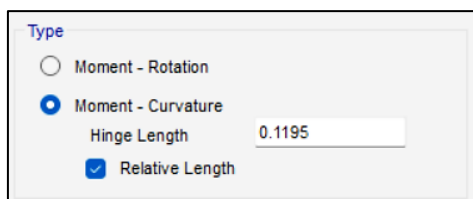


Figura 100

Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-1 (60.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

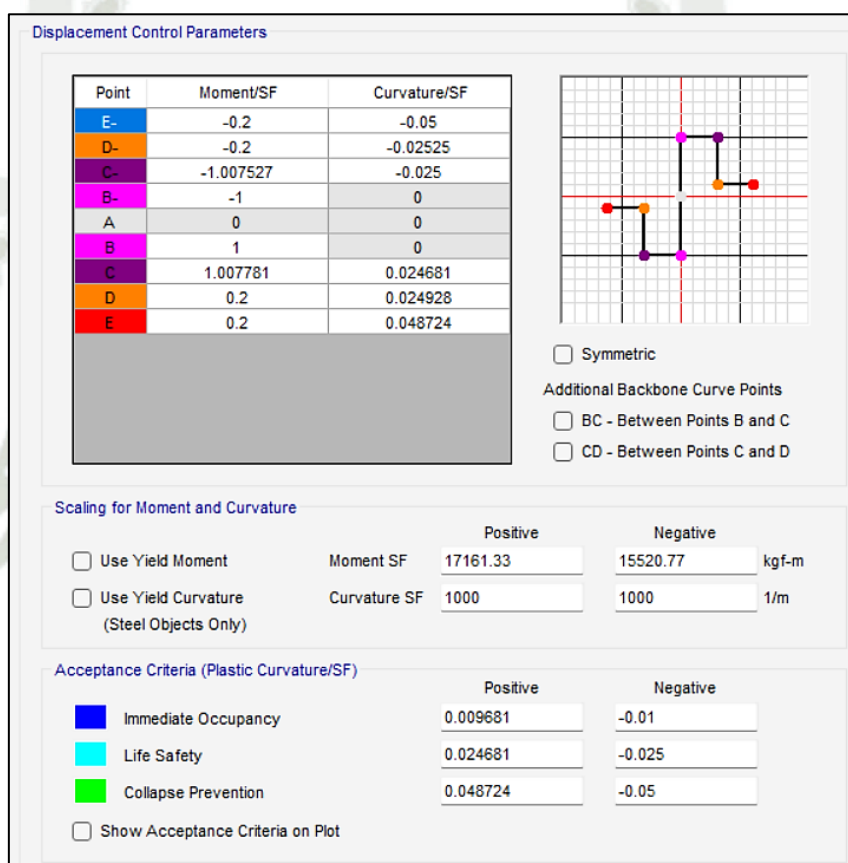


Diagrama calculado:

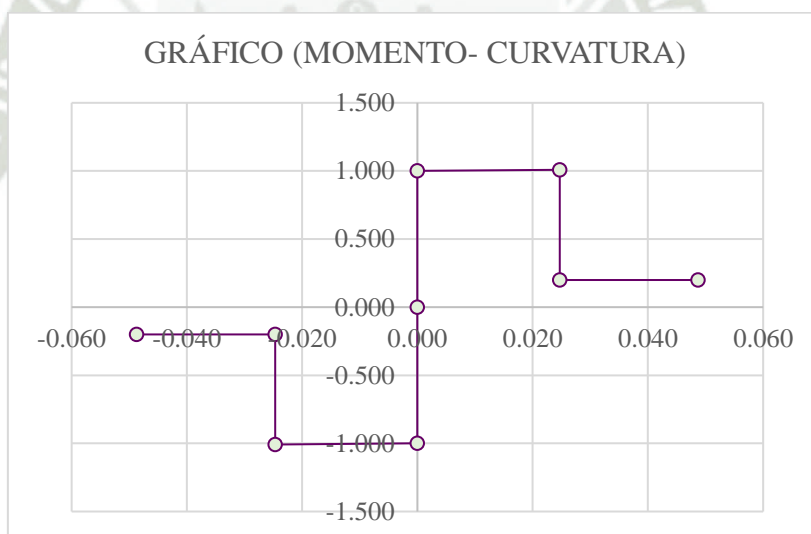
Tabla 187

Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-1 (60.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

ϕ (rad/mm)	M/My	
-0.049	-0.200	residual
-0.025	-0.200	
-0.025	-1.008	última
0.000	-1.000	fluencia
0.000	0.000	
0.000	1.000	fluencia
0.025	1.008	última
0.025	0.200	
0.049	0.200	residual

Figura 101

*Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-1 (60.00 x 50.00)
(Talavera Flores, 2023)*



- V-2 (50.00 x 50.00)

Figura 102

*Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-2
(50.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023)*

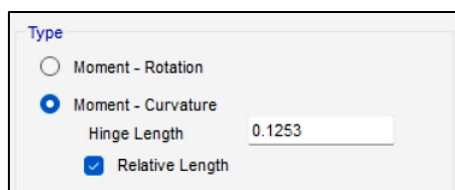


Figura 103

Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-2 (50.00 x 50.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

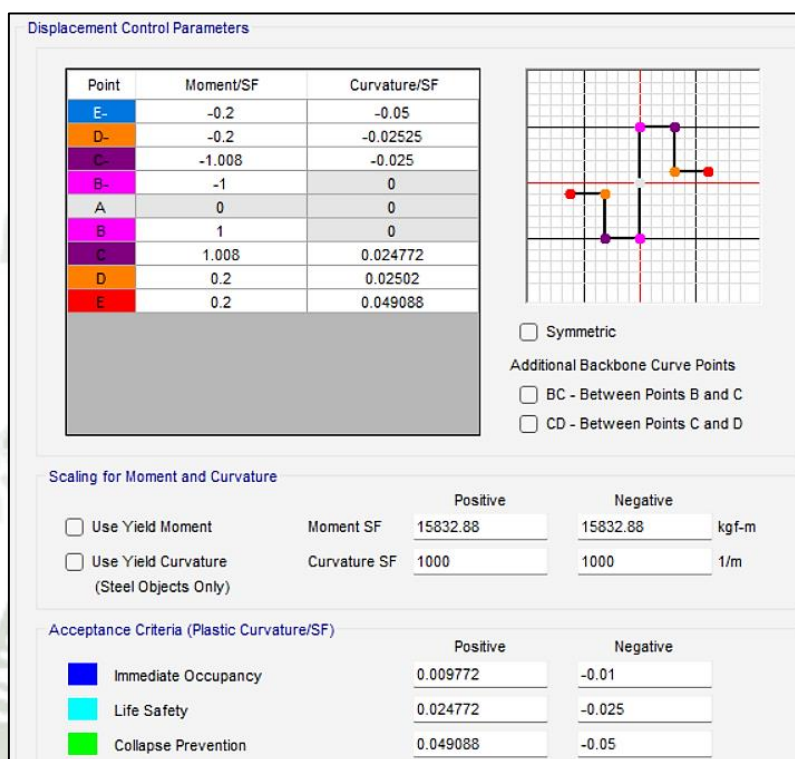


Diagrama calculado:

Tabla 188

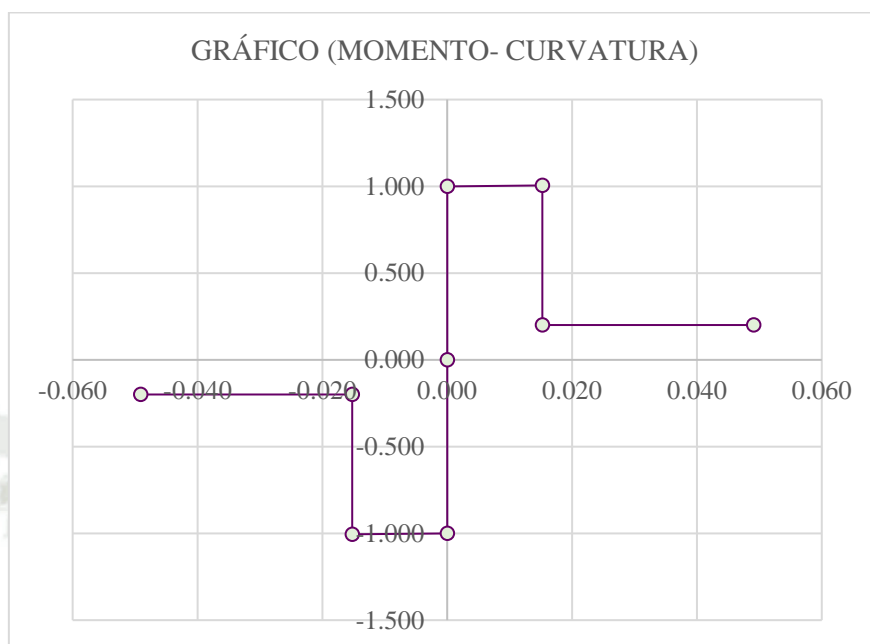
Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-2 (50.00 x 50.00) (Talavera Flores, 2023)

ϕ (rad/mm)	M/My	
-0.049	-0.200	residual
-0.015	-0.200	
-0.015	-1.005	última
0.000	-1.000	fluencia
0.000	0.000	
0.000	1.000	fluencia
0.015	1.005	última
0.015	0.200	
0.049	0.200	residual

Figura 104

Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-2 (50.00 x 50.00)

(Talavera Flores, 2023)



- V-3 (60.00 x 70.00)

Figura 105

Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-3

(60.00 x 57.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

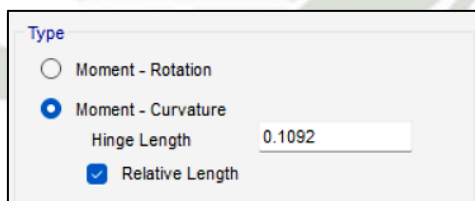


Figura 106

Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-3 (60.00 x 70.00) (ETABS

20.0.0, 2023)

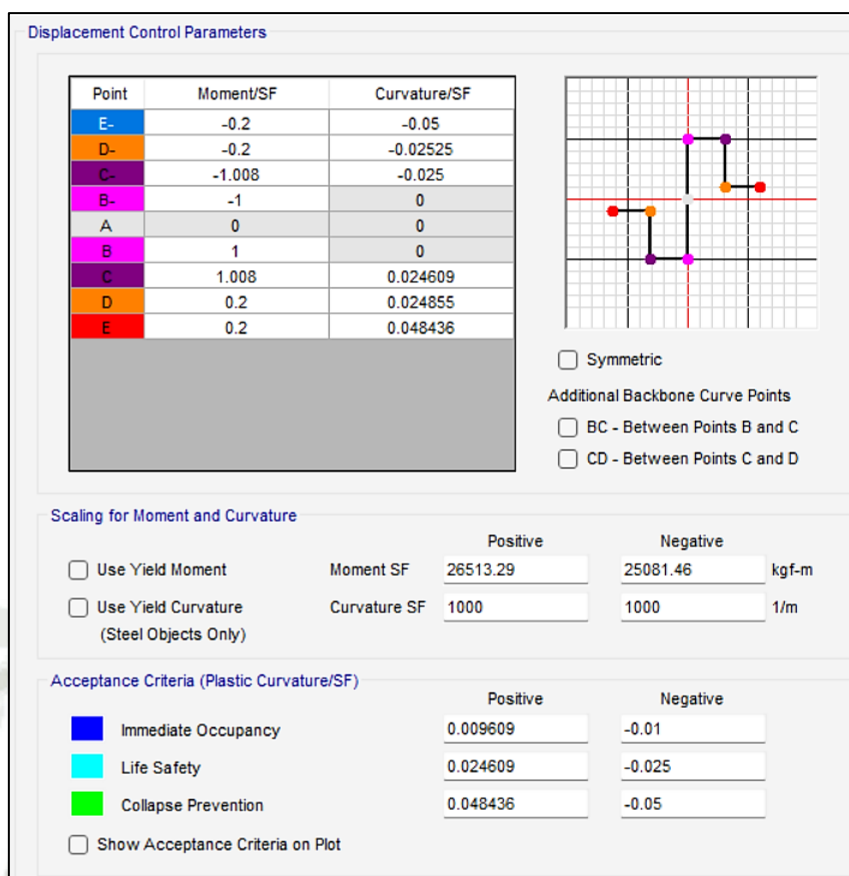


Diagrama calculado:

Tabla 189

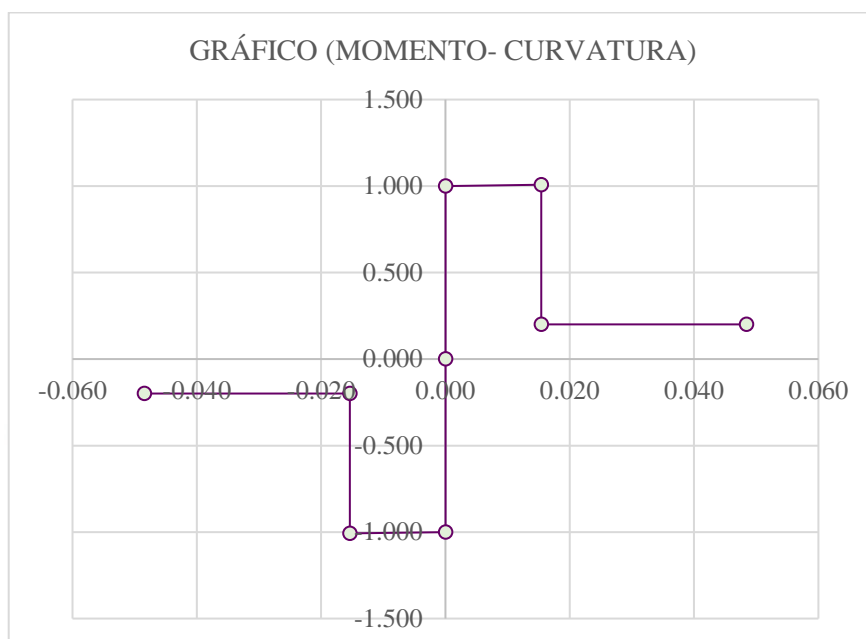
Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-3 (60.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

ϕ (rad/mm)	M/My	
-0.048	-0.200	residual
-0.015	-0.200	
-0.015	-1.008	última
0.000	-1.000	fluencia
0.000	0.000	
0.000	1.000	fluencia
0.015	1.008	última
0.015	0.200	
0.048	0.200	residual

Figura 107

Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-3 (60.00 x 70.00)

(Talavera Flores, 2023)



- V-4 (50.00 x 70.00)

Figura 108

Captura de pantalla de la ventana de opciones de diagramas de rótulas plásticas de V-4

(50.00 x 57.00) (ETABS 20.0.0, 2023)

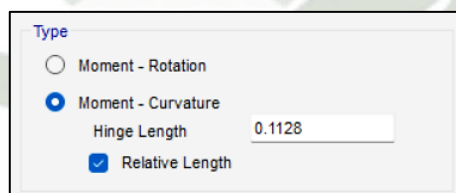


Figura 109

Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de V-4 (50.00 x 70.00) (ETABS

20.0.0, 2023)

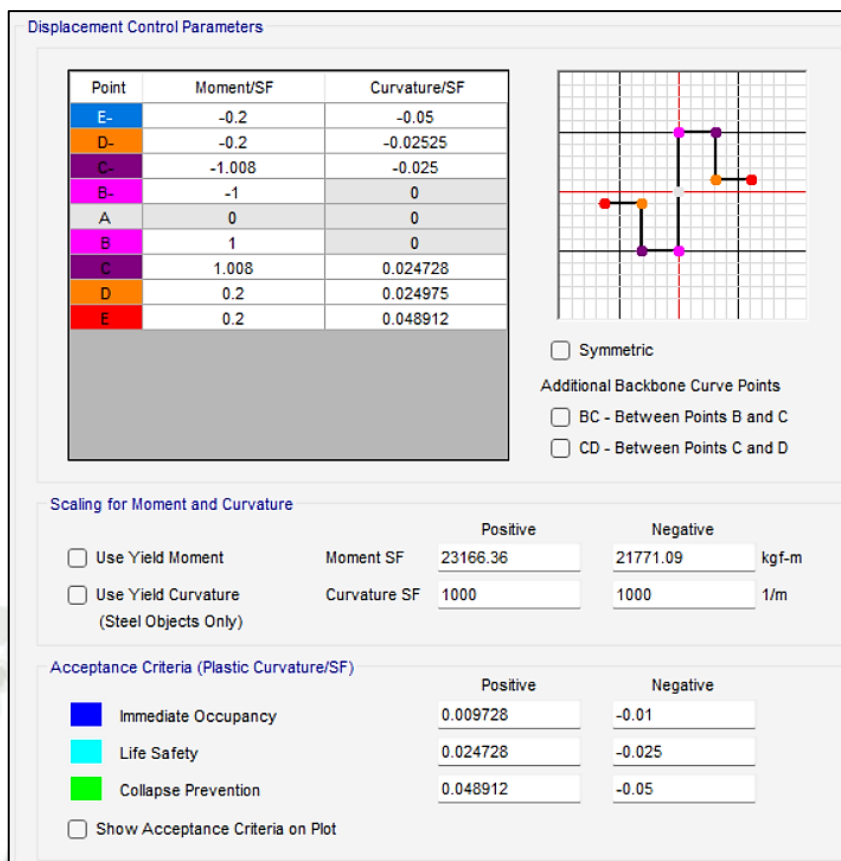


Diagrama calculado:

Tabla 190

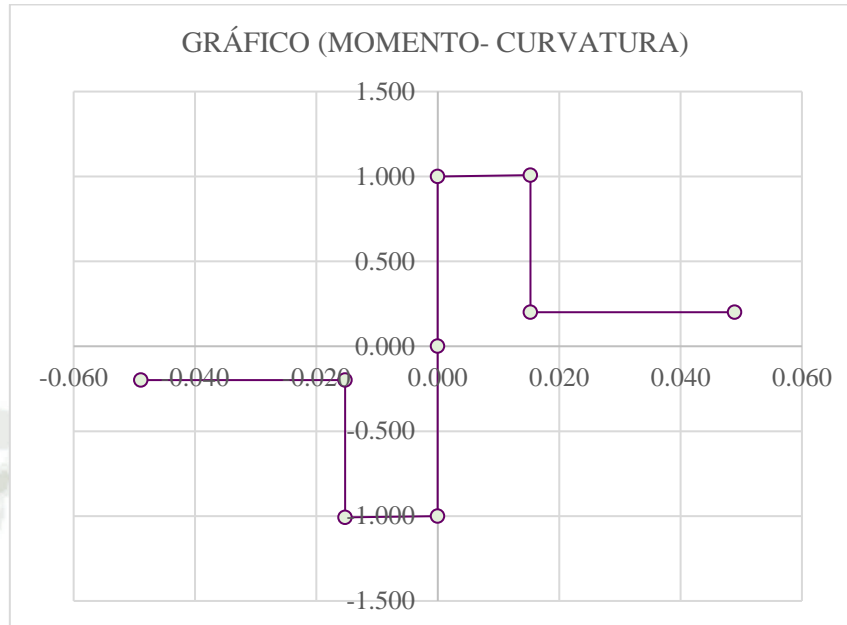
Tabla Momento- Curvatura con el Momento normalizado según ASCE 41-17 de V-4 (50.00 x 70.00) (Talavera Flores, 2023)

ϕ (rad/mm)	M/My	
-0.049	-0.200	residual
-0.015	-0.200	
-0.015	-1.008	última
0.000	-1.000	fluencia
0.000	0.000	
0.000	1.000	fluencia
0.015	1.008	última
0.015	0.200	
0.049	0.200	residual

Figura 110

Diagrama Momento- Curvatura con momento normalizado de V-4 (50.00 x 70.00)

(Talavera Flores, 2023)



- **Asignación de Rótulas Plásticas en Columnas**
- Cálculo de distancia relativa de la rótula plástica con respecto a la luz libre de la columna.

$$L \text{ libre} = L \text{ colum} - h \text{ viga}$$

$$L \text{ libre} = 300 \text{ m} - 50 \text{ m}$$

$$L \text{ libre} = 2.50 \text{ m}$$

- Cálculo de longitud plástica:

$$l_p = 0.08 * l + 0.022 * d * f_y \text{ (MPa)} \text{ (Paulay \& Priestley, 1992)}$$

$$l_p = 0.08 * 250.00 + 0.022 * 1.91 * 411.88 \text{ (MPa)}$$

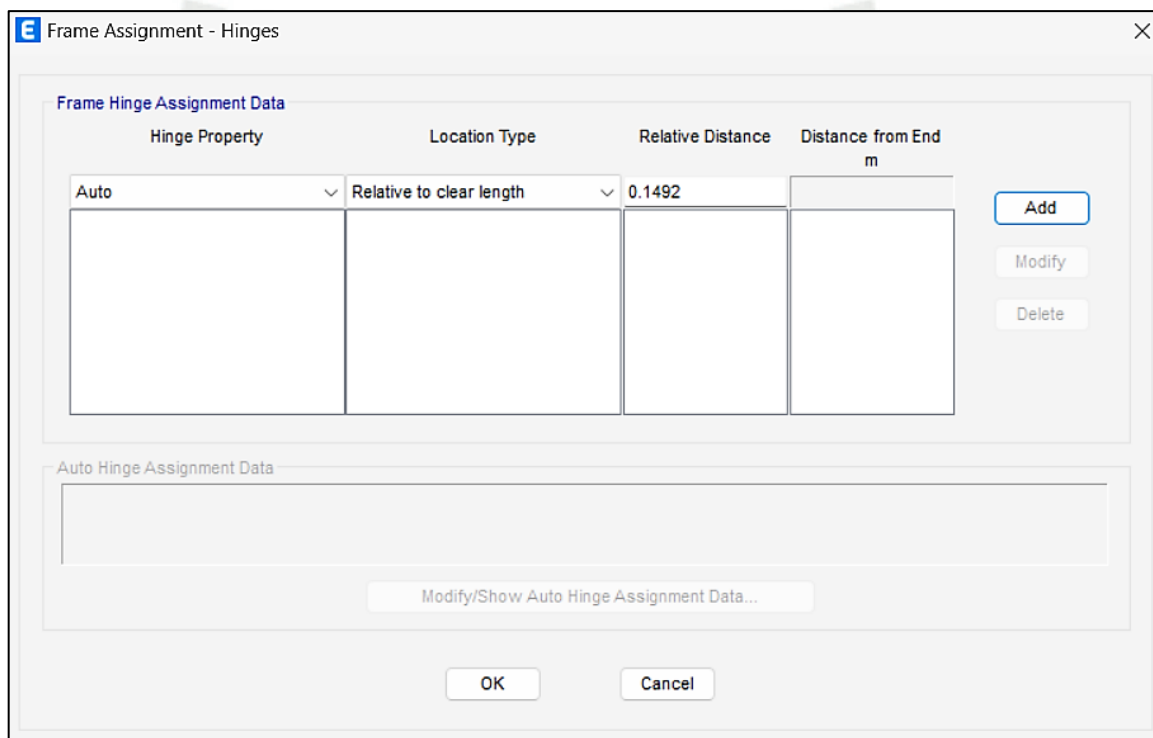
$$l_p = 37.31$$

- Siendo 250 el 100%, la longitud plástica representa el 14.92%, teniendo una distancia relativa de 0.1492.
- Creación de las rótulas plásticas en el software:

- Para asignar las rótulas plásticas, se seleccionan todas las columnas y se insertan las rótulas considerando su distancia relativa calculada en el punto anterior:

Figura 111

Captura de pantalla de la ventana para asignación de rótulas plásticas en columnas (ETABS 20.0.0, 2023)



- Se configuran sus propiedades, teniendo en cuenta la Tabla 10-8 de la norma ASCE 41-17, su comportamiento a flexo compresión, además de la combinación $1.4D+1.7L$ que corresponde a las cargas verticales por gravedad y la envolvente de cargas sísmicas para las cargas laterales aplicadas a las columnas.

Figura 112

Captura de pantalla de la ventana de propiedades de las rótulas plásticas en columnas (ETABS 20.0.0, 2023)

E Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables in ASCE 41-17

Select a Hinge Table
Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns)

Degree of Freedom
 M2 P-M2 Parametric P-M2-M3
 M3 P-M3
 M2-M3 P-M2-M3

P Values From
 Case/Combo User Value
 Gravity: 1.4CM+1.7CV
 Gravity + Lateral: Envolverte de cargas sísmicas

Concrete Column Behavior
 Not Controlled by Inadequate Development or Splicing
 Controlled by Inadequate Development or Splicing

Shear Demand at Flexural Yielding / Shear Capacity (VyE / Vcol0E)
 Program Calculated
 User-specified Shear Demand, VyE
 V2: [] V3: []
 User-specified Ratio, VyE / Vcol0E
 V2: [] V3: []

Shear Reinforcing Ratio $\rho = A_v / (b_w * s)$
 From Current Design
 User Value []

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

Shear Reinforcement Spacing Ratio (s/d)
 From Current Design
 User Value []

- De las propiedades de la rótula, se obtienen los diagramas de Momento Rotación y Momento Curvatura de las columnas, además de sus criterios de aceptación:

Figura 113

Diagrama Momento- Rotación y Criterios de Aceptación de columnas (ETABS 20.0.0, 2023)

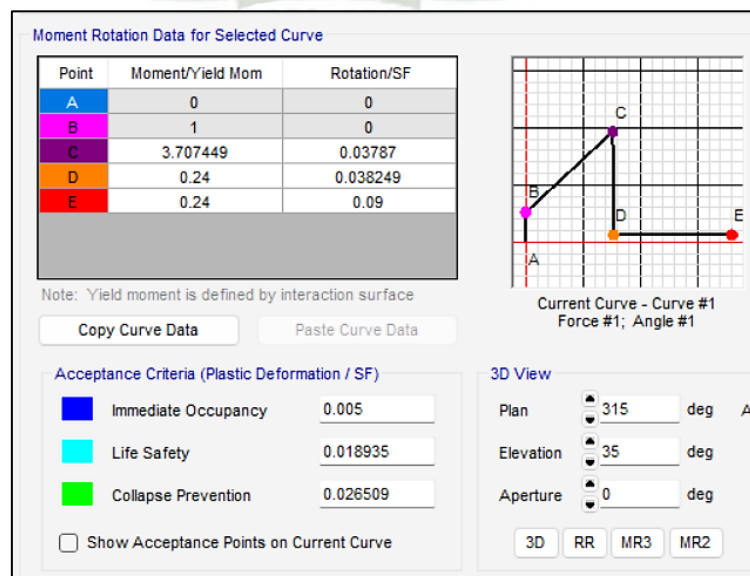
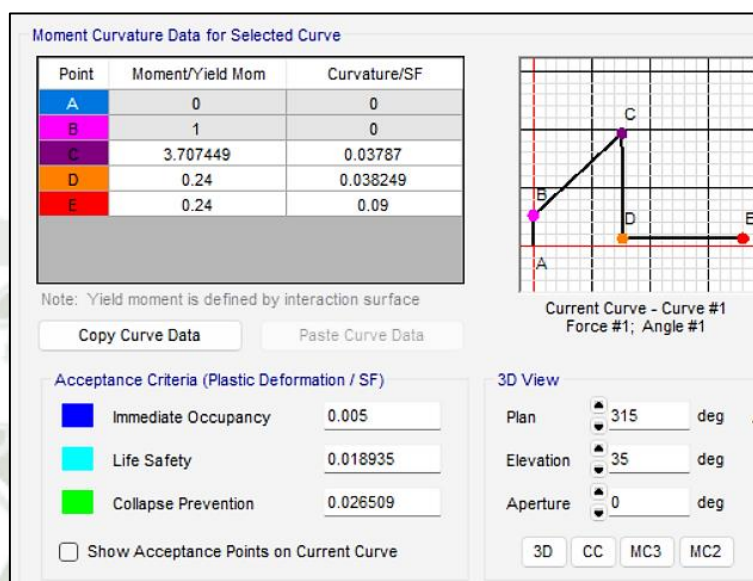


Figura 114

Diagrama Momento- Curvatura y Criterios de Aceptación de columnas (ETABS 20.0.0, 2023)



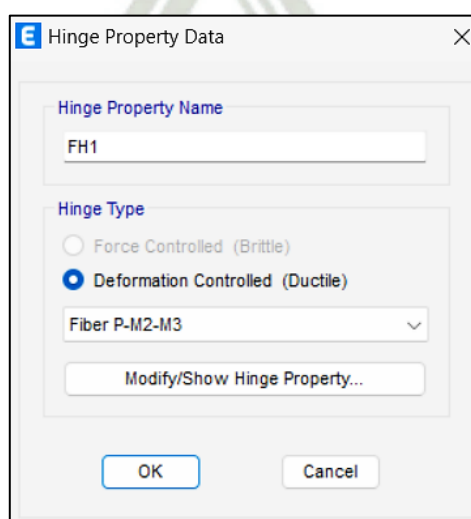
Método de Fibras para Rótulas Plásticas

En este caso se usará el método de fibras en las columnas para desarrollar el proceso y sus pasos a seguir, ya que su uso es para un comportamiento de flexocompresión.

- Definición la rótula plástica por el método de fibras.

Figura 115

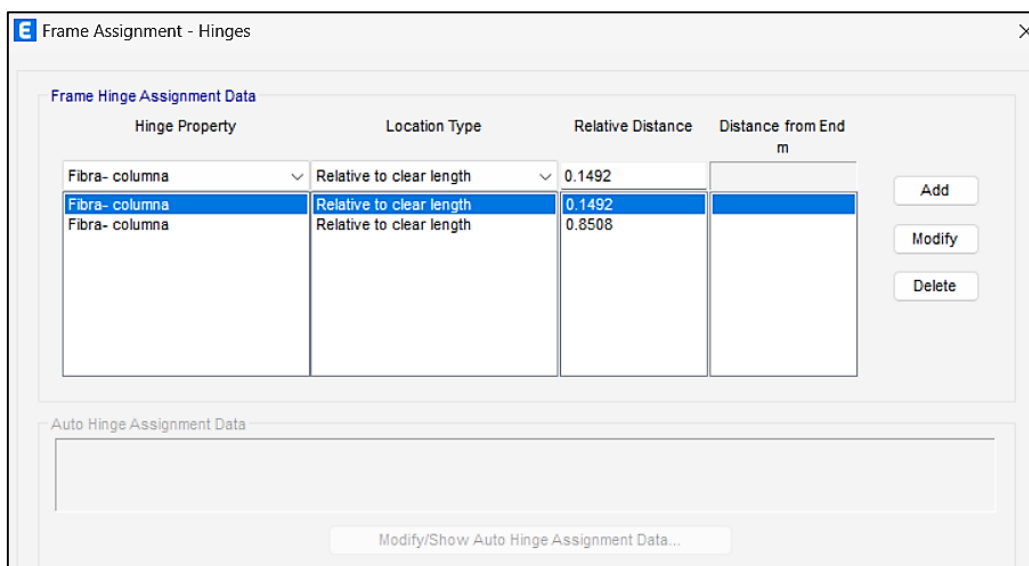
Captura de las propiedades de rótulas plásticas por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)



- Asignación las rótulas plásticas definidas por el método de fibra en columnas:

Figura 116

Captura de pantalla de la ventana para asignación de rótulas plásticas en columnas por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)



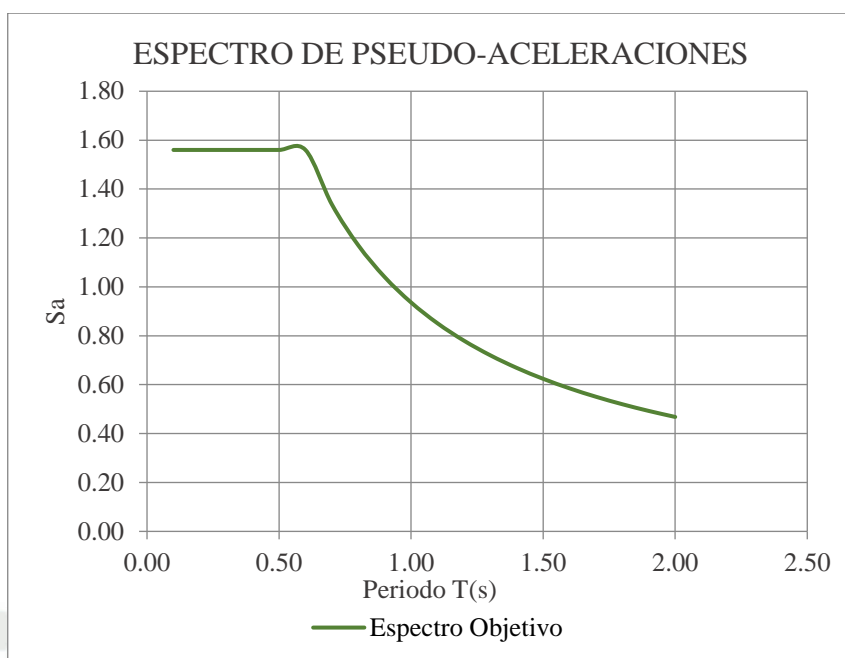
2.2. Tratamiento de Registros Sísmicos

2.2.1. Espectro Objetivo

El espectro objetivo para diseño sísmico se representa con la curva de aceleración máxima teórica que debe resistir una estructura con determinado amortiguamiento y ductilidad durante un movimiento sísmico. Siguiendo lo indicado en la Norma Sismorresistente E. 030, se utiliza el método modal espectral para la obtención del espectro objetivo, usando los parámetros sísmicos correspondientes a la estructura usados anteriormente para el análisis lineal, con la diferencia del valor en el factor reducción, el cual, en este caso, será igual a 1.

Figura 117

Espectro Objetivo (R=1) (Talavera Flores, 2023)



2.2.2. Registros Compatibles

Para la elección de los registros sísmicos, se deben tomar en cuenta diferentes criterios como sus magnitudes, distancia a las fallas, la zonificación en la que transcurren y su proximidad, de esta forma se debe garantizar la concordancia entre ellos, en especial con el de mayor magnitud, los registros se obtuvieron de la página online de CISMID.

Para este caso se encontraron los siguientes sismos compatibles:

Tabla 191

Cuadro resumen de los eventos sísmicos elegidos para el análisis (Talavera Flores, 2023)

Sismo	Componentes	Magnitud de Momento	Aceleración Máxima (gal= cm/s ²)	Aceleración máxima (g) sin esc.	Intervalo de muestreo
01 de abril de 2014, Moquegua	E-W	8.2	-51.49	-0.0515	0.005
	N-S		-33.34	-0.0333	
13 de junio de 2005, Moquegua	E-W	7.2	57.45	0.0574	0.005
	N-S		65.83	0.0658	
10 de octubre de 2017, Arequipa	E-W	6.3	35.34	0.0353	0.005
	N-S		-32.53	-0.0325	

2.2.3. Procesamiento de Registros Sísmicos

- *Corrección de Línea Base y Filtrado*

Para este procedimiento se tiene como herramienta el software Seismo Signal.

- Sismo 1: 01 de abril de 2014, Moquegua.

- Componente E-W:

Figura 118

Captura del registro original del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)

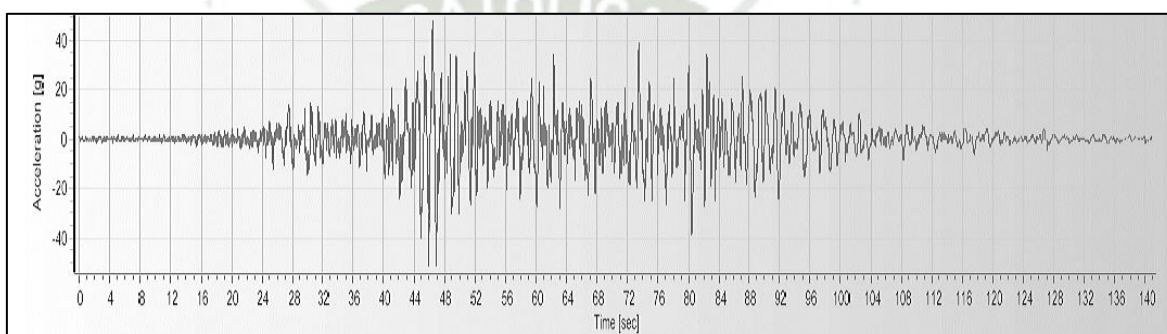
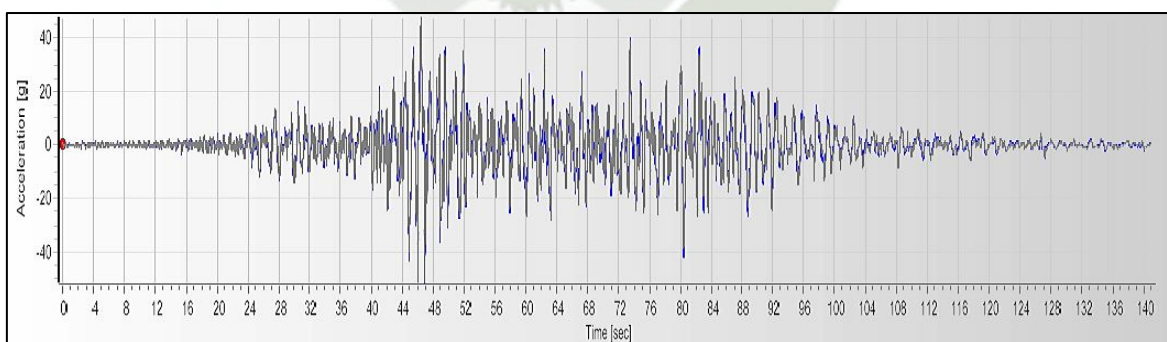


Figura 119

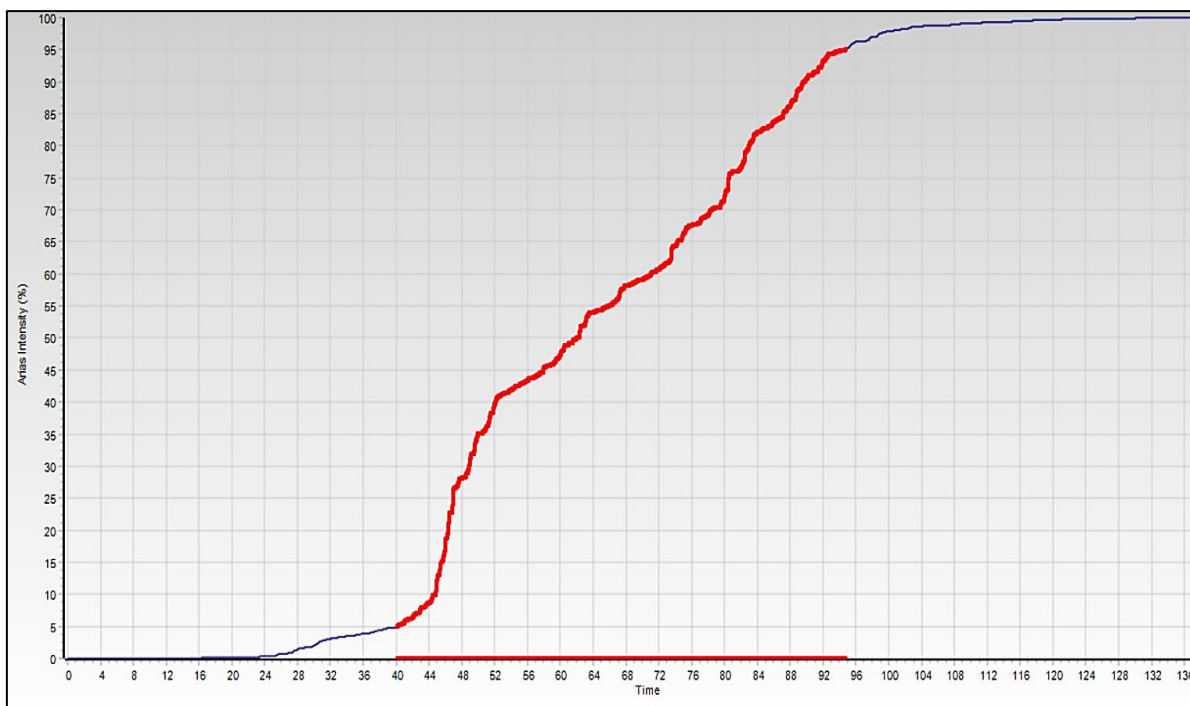
Captura del espectro de Fourier del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)



- Duración significativa:

Figura 120

Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)



Se obtiene una duración significativa de 95 s.

— Componente N-S:

Figura 121

Captura del registro original del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023)

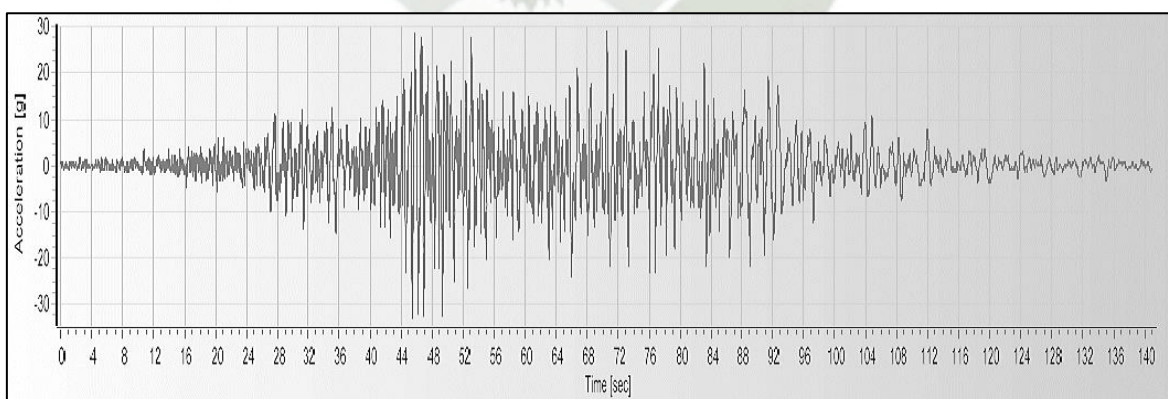
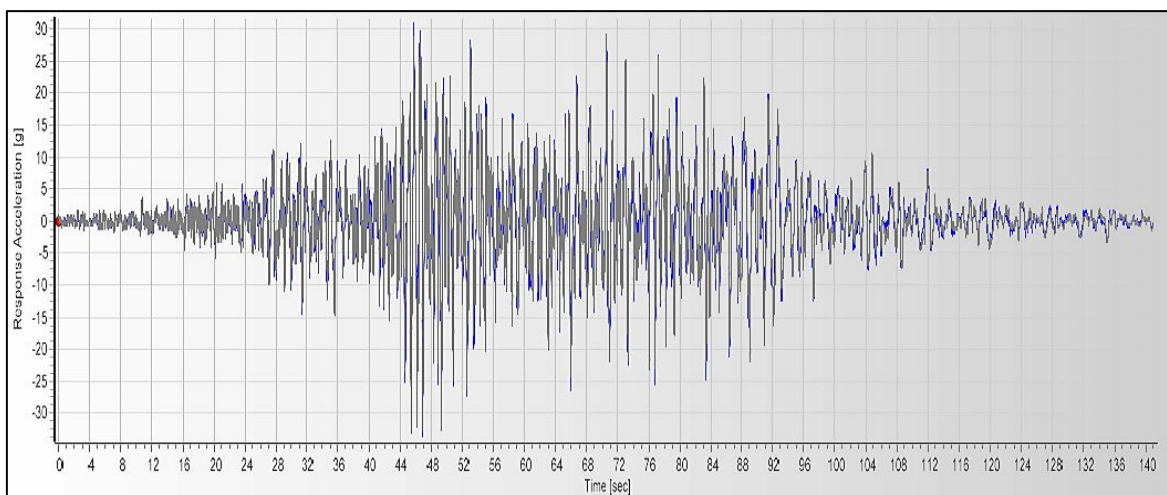


Figura 122

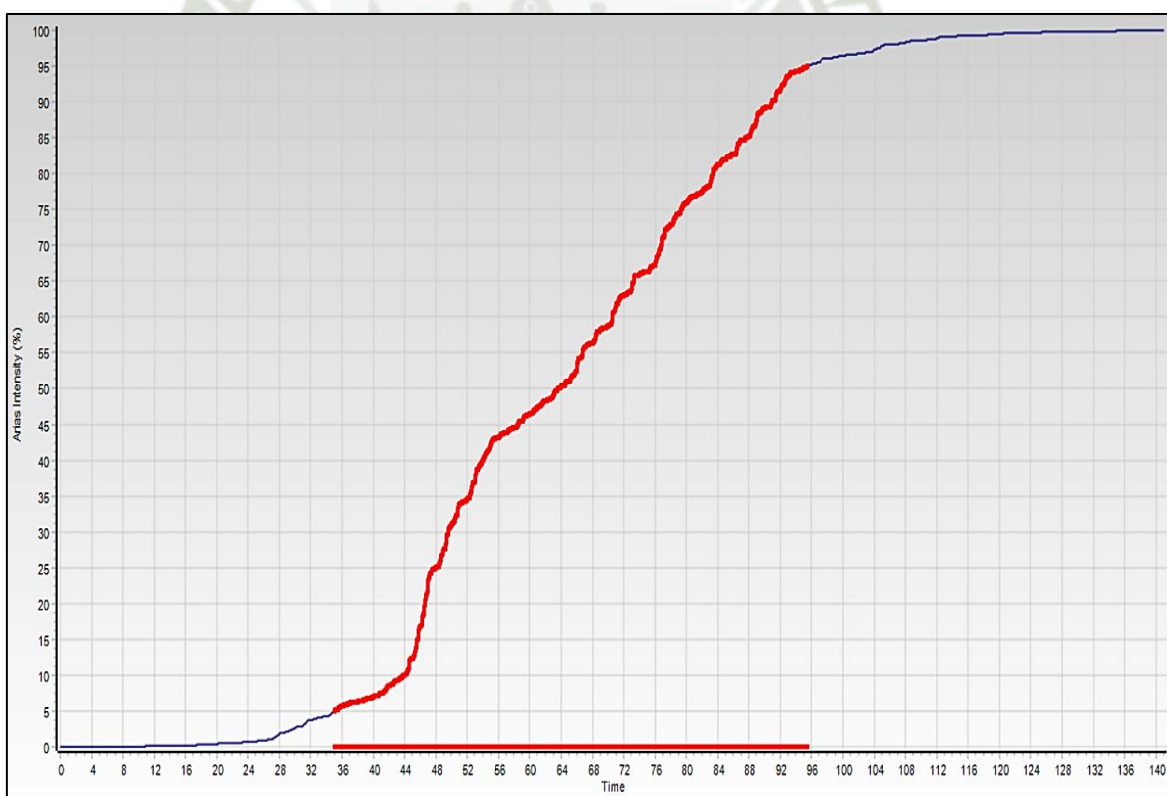
Captura del espectro de Fourier del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023)



- Duración significativa:

Figura 123

Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023)



Se obtiene una duración significativa de 96 s.

- Sismo 2: 13 de junio de 2005, Moquegua
 - Componente E-W:

Figura 124

*Captura del registro original del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente EW
(Seismo Signal 2022, 2023)*

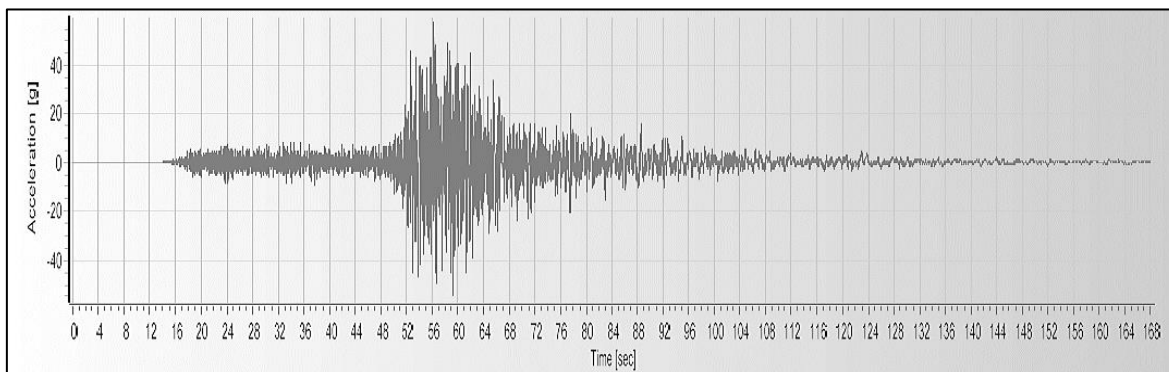
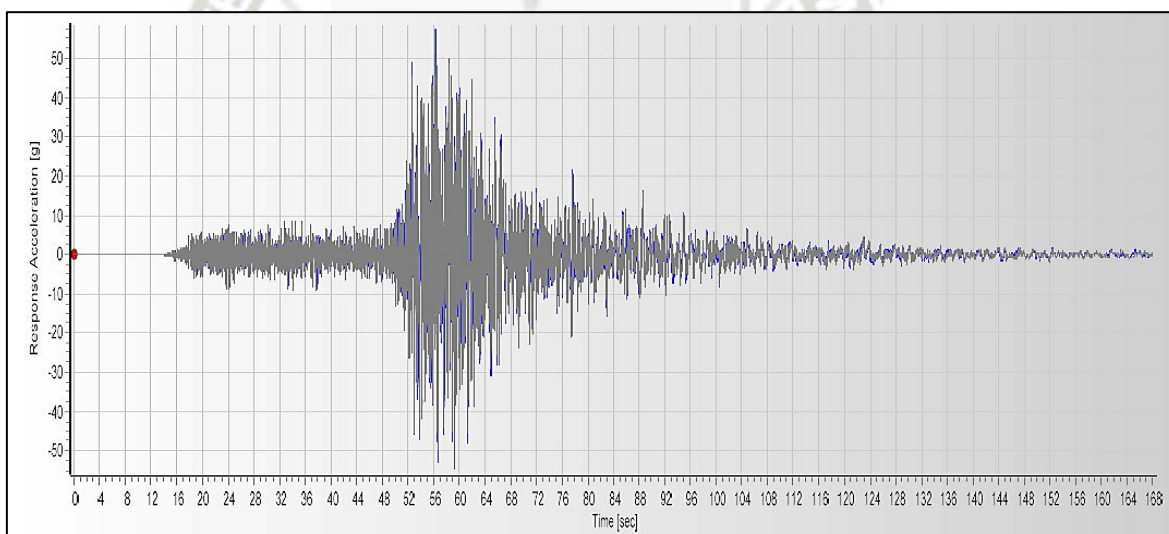


Figura 125

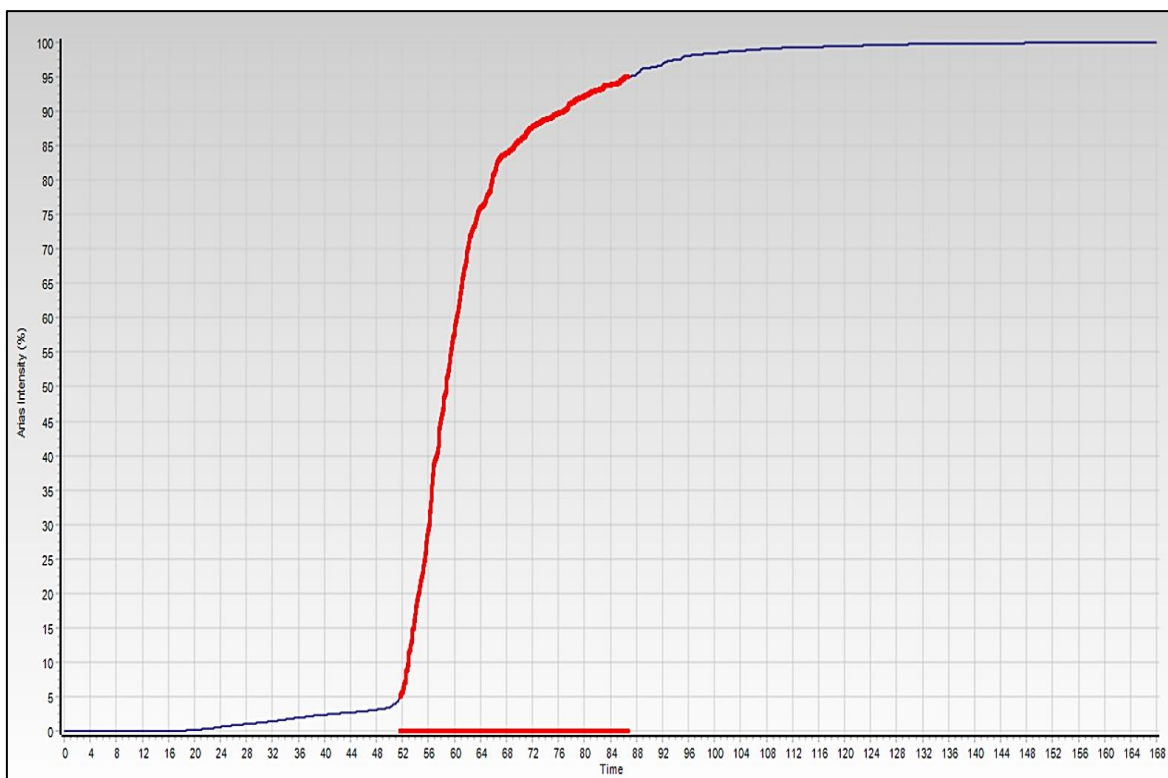
*Captura del espectro de Fourier del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente EW
(Seismo Signal 2022, 2023)*



- Duración significativa:

Figura 126

*Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua -
Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)*



Se obtiene una duración significativa de 87 s.

— Componente N-S:

Figura 127

*Captura del registro original del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente NS
(Seismo Signal 2022, 2023)*

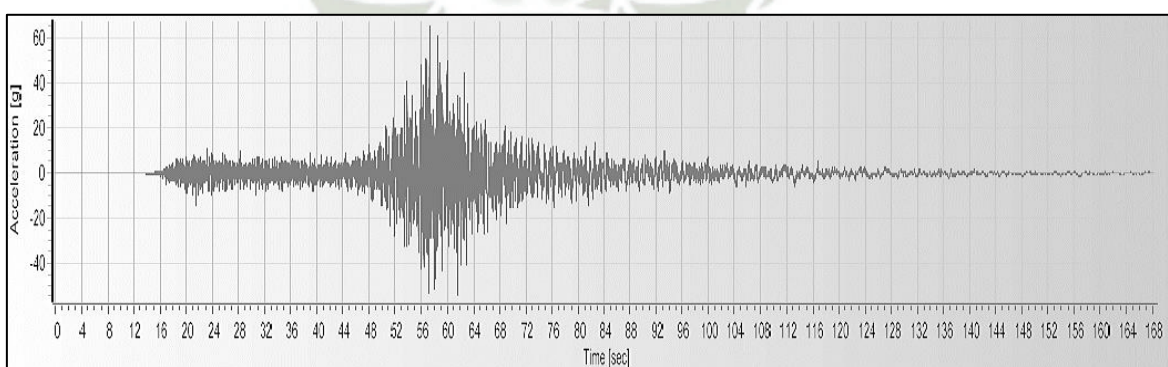
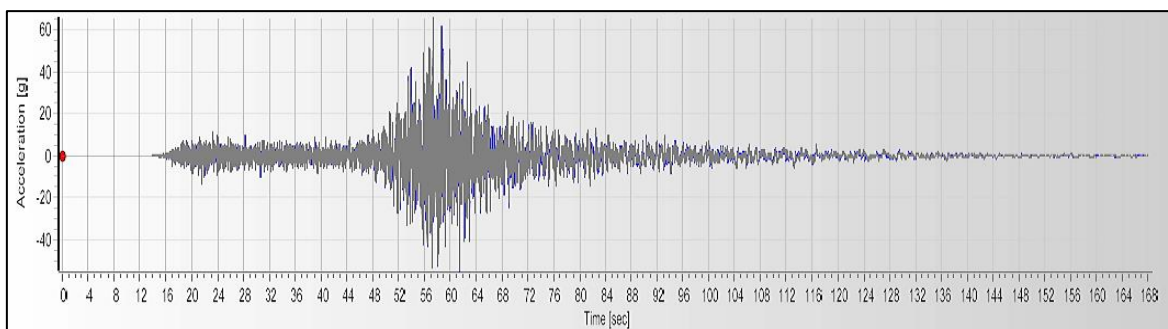


Figura 128

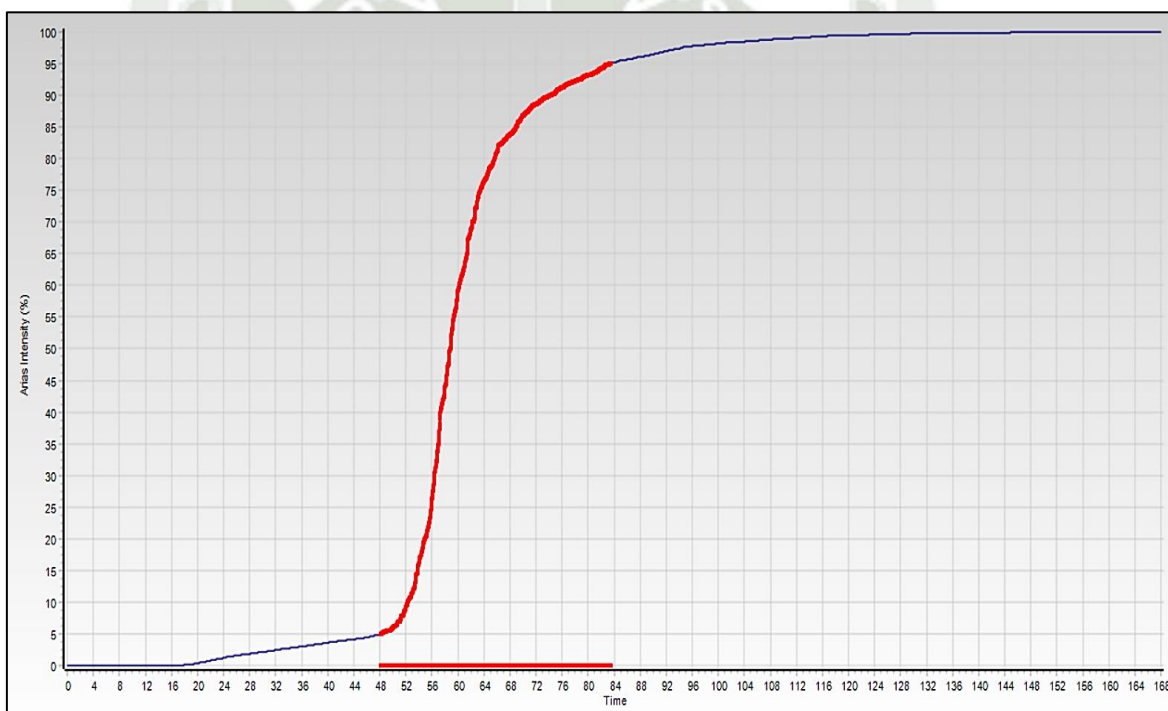
*Captura del espectro de Fourier del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente NS
(Seismo Signal 2022, 2023)*



- Duración significativa:

Figura 129

Gráfico de Intensidad de Arias- Tiempo del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua - Componente NS (Seismo Signal 2022, 2023)



Se obtiene una duración significativa de 84 s.

- Sismo 3: 10 de octubre de 2017, Arequipa.
 - Componente E-W:

Figura 130

Captura del registro original del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)

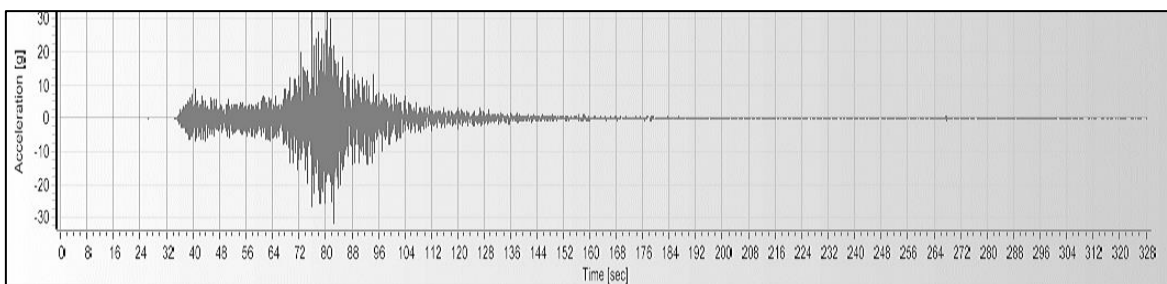
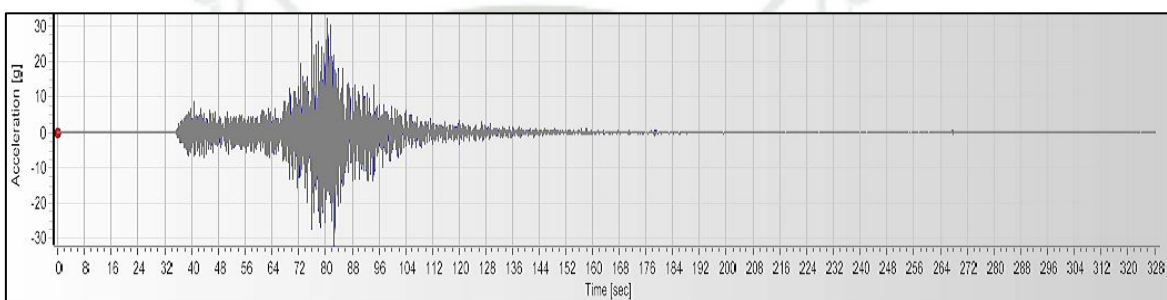


Figura 131

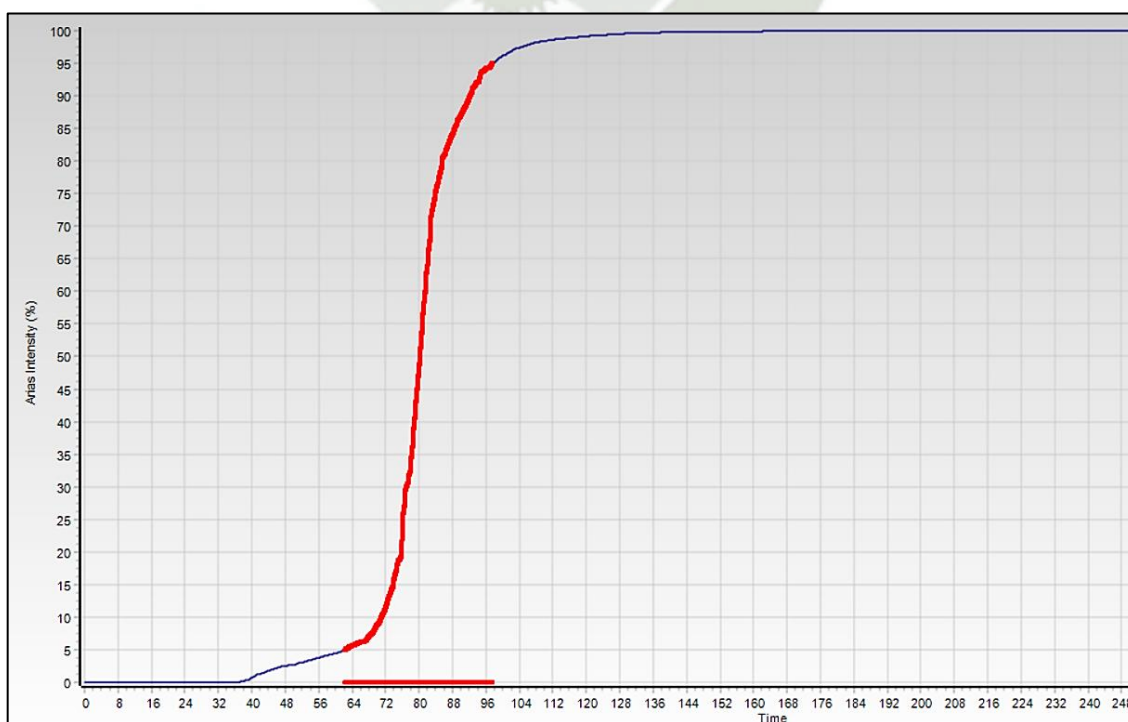
Captura del espectro de Fourier del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)



- Duración significativa:

Figura 132

Intensidad de Arias - Tiempo del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Signal 2022, 2023)



Se obtiene una duración significativa de 98 s.

— Componente N-S:

Figura 133

*Captura del registro original del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente NS
(Seismo Signal 2022, 2023)*

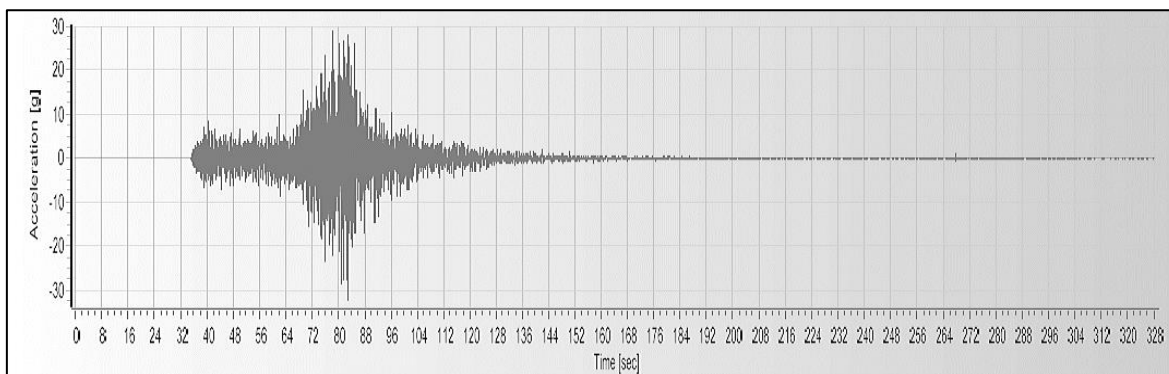
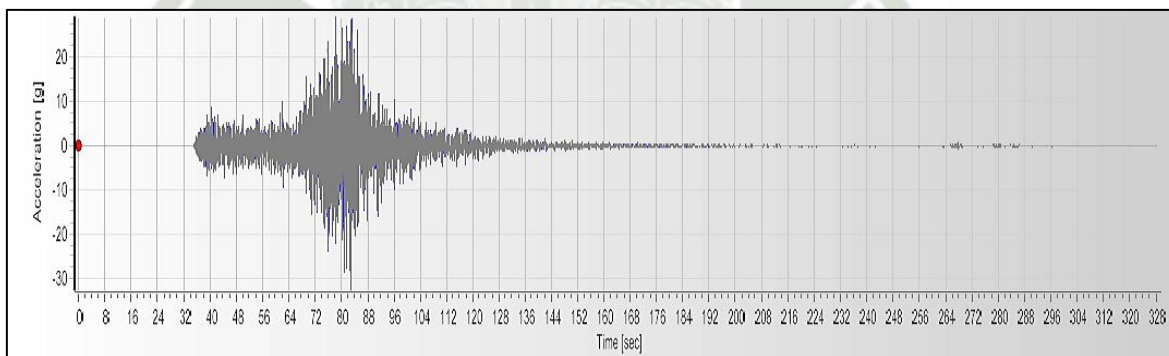


Figura 134

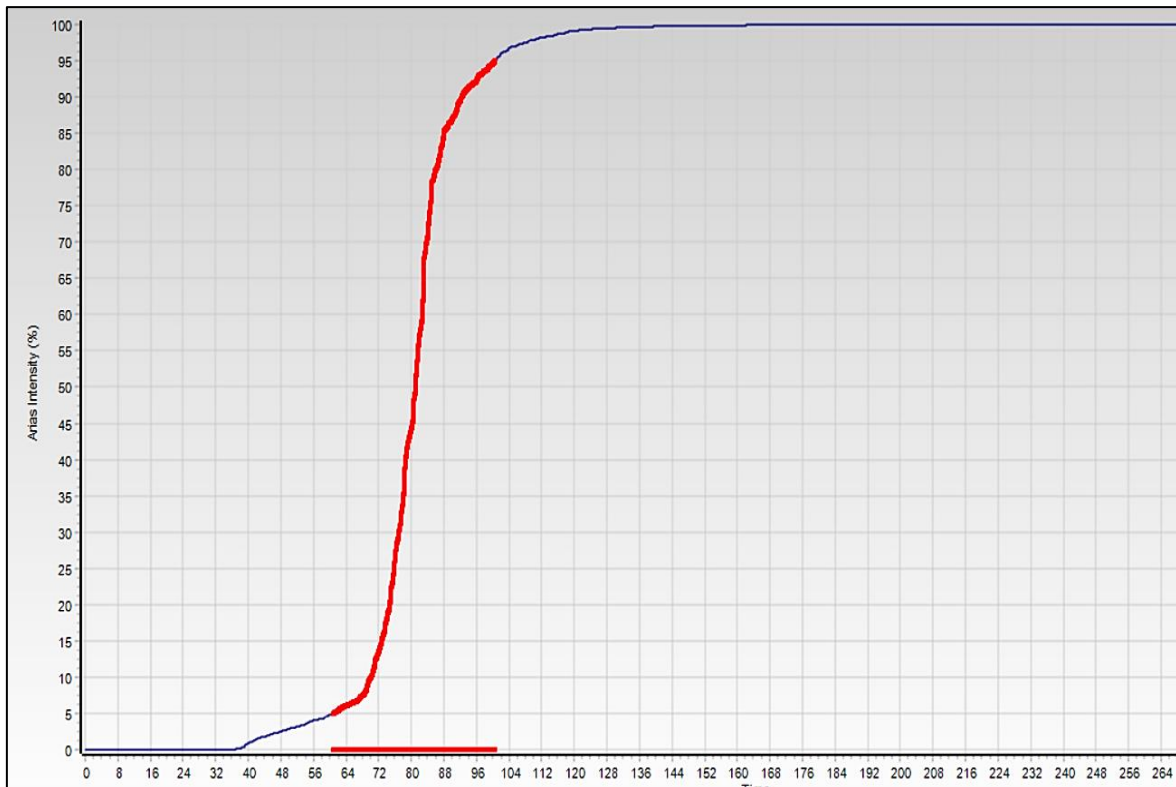
*Captura del espectro de Fourier del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente NS
(Seismo Signal 2022, 2023)*



- Duración significativa:

Figura 135

*Intensidad de Arias - Tiempo del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente NS
(Seismo Signal 2022, 2023)*



Se obtiene una duración significativa de 101 s.

- **Escalamiento o Ajuste del Registro**

El proceso de escalamiento o ajuste se realiza usando como herramienta el software Seismo Match, este hace la consistencia entre los registros sísmicos elegidos y el objetivo habiéndolos corregido previamente. Los sismos se escalan para el rango de $0.2T$ a $1.5T$ conforme indica la NTE 030, se debe realizar el escalamiento ya que, al estar en el rango no lineal, el periodo es variable, si durante el evento la estructura pierde rigidez, el periodo va aumentando.

- **Periodo Fundamental de la Estructura:**

Periodo fundamental de X: 0.721 s.

Periodo fundamental de Y: 0.763 s.

Rango: $0.2T - 1.5T = 0.2 * 0.721 - 1.5 * 0.721$

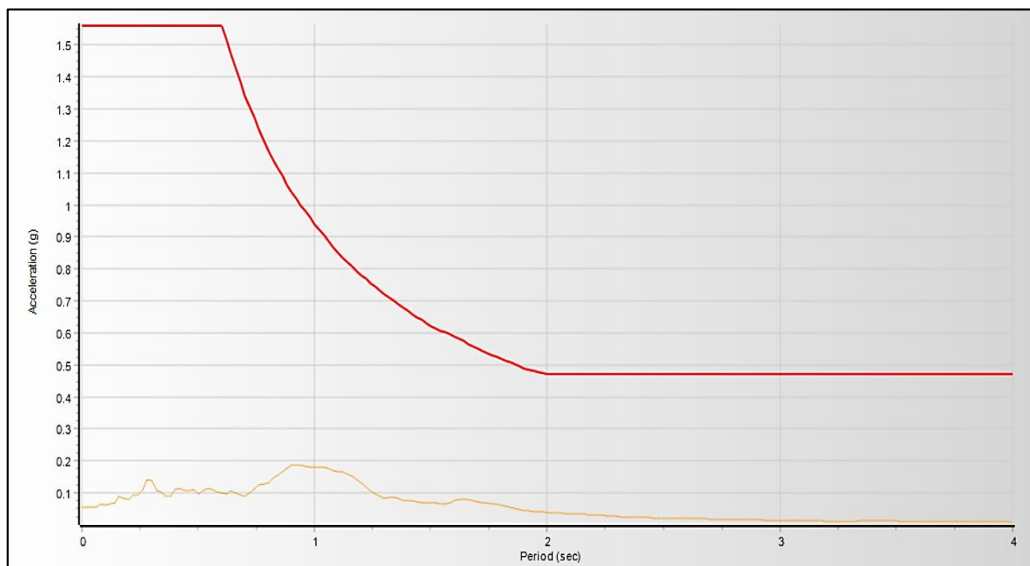
Rango: 0.144 – 1.082

- **Match de la componente E-W.**

— Sismo 1: 01 de abril de 2014, Moquegua.

Figura 136

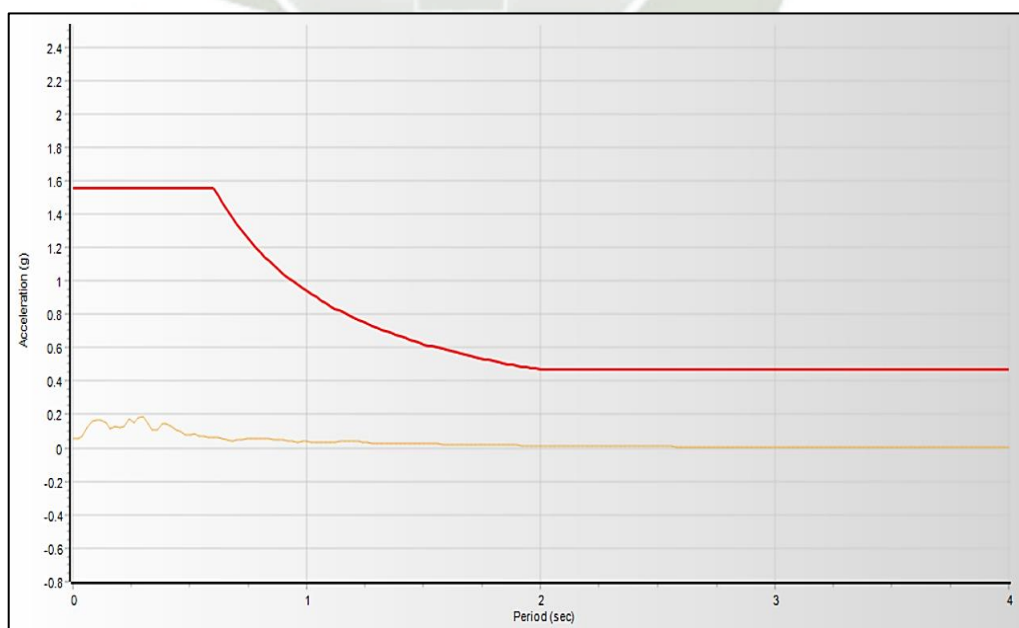
*Espectro de Respuesta del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente EW
(Seismo Match, 2023)*



— Sismo 2: 13 de junio de 2005, Moquegua

Figura 137

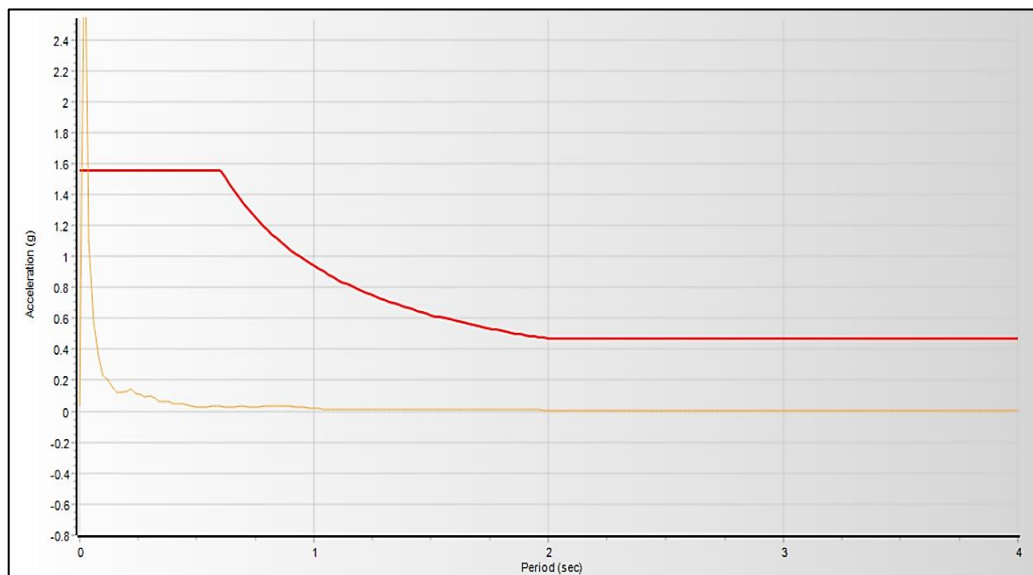
*Espectro de Respuesta del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua- Componente EW
(Seismo Match, 2023)*



— Sismo 3: 10 de octubre de 2017, Arequipa.

Figura 138

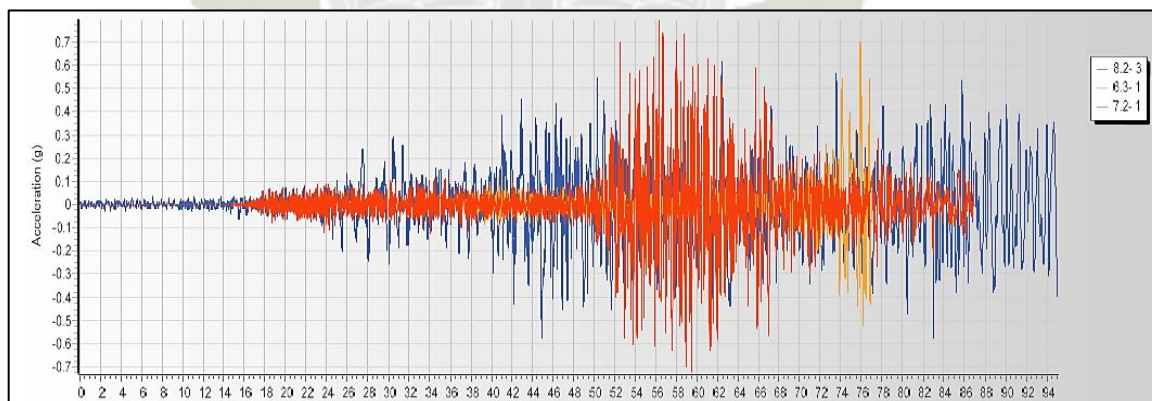
*Espectro de Respuesta del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW
(Seismo Match, 2023)*



— Match de los acelerogramas de los tres eventos sísmicos:

Figura 139

Match de aceleraciones de los eventos sísmicos- Componente EW (Seismo Match, 2023)



— Espectros de respuesta de los 3 eventos sísmicos:

Figura 140

Espectros de respuesta originales de los eventos sísmicos- Componente EW (Seismo Match, 2023)

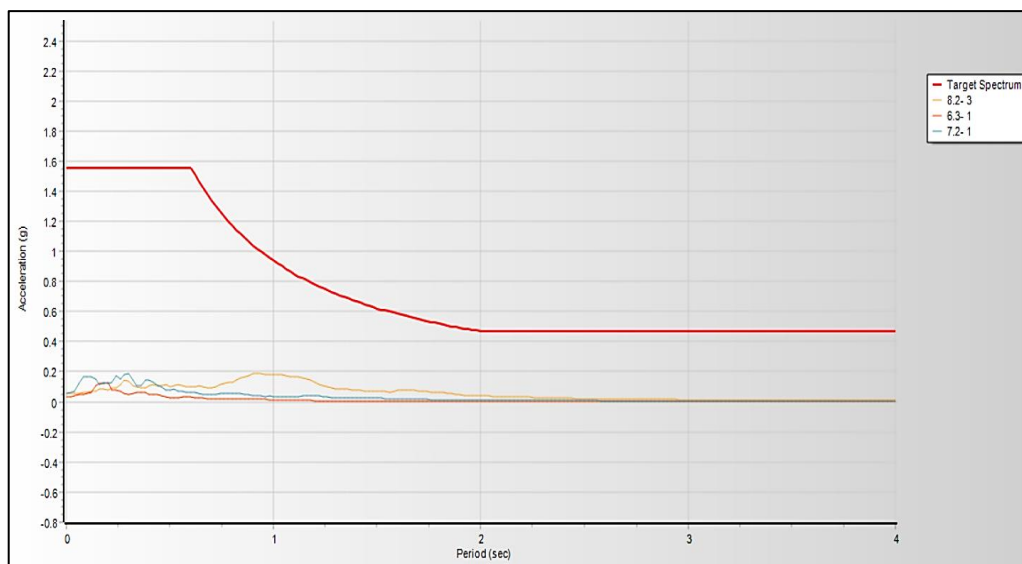
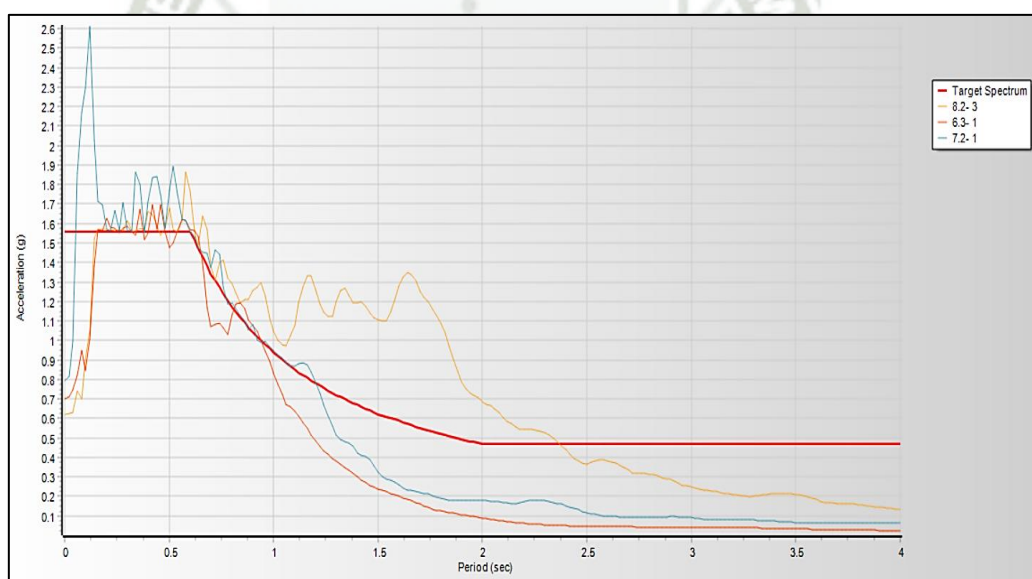


Figura 141

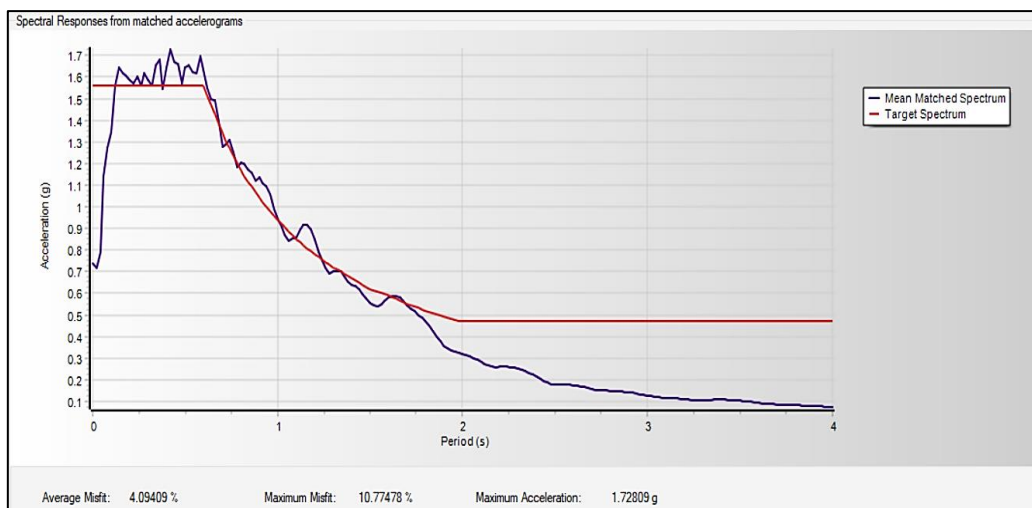
Match de los Espectros de respuesta originales de los eventos sísmicos y el Espectro objetivo- Componente EW (Seismo Match, 2023)



- Gráfico del espectro de respuesta resultado del match de todos los registros sísmicos cargados y previamente corregido con el espectro objetivo considerando la ubicación de la estructura.

Figura 142

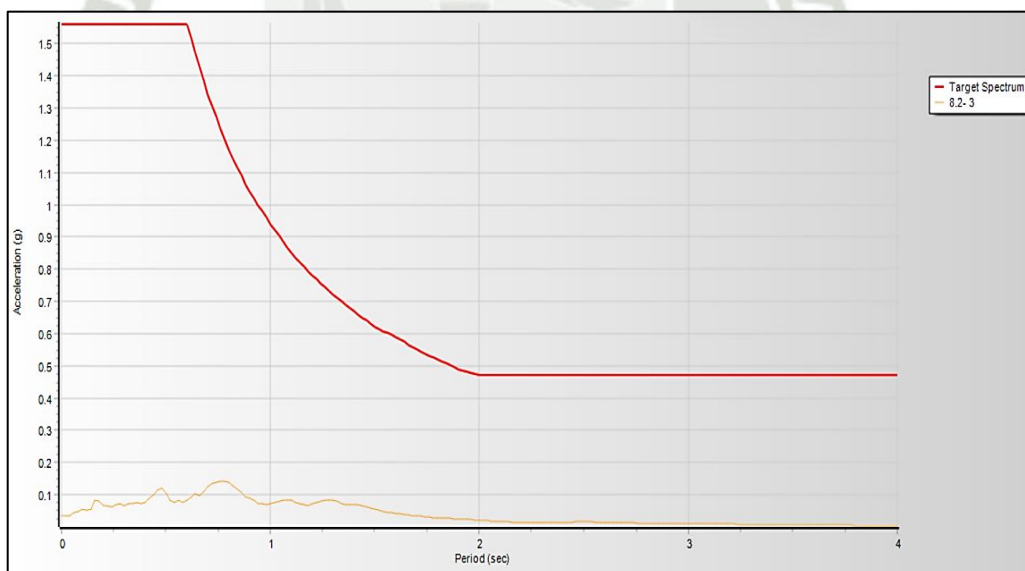
Espectro de respuesta del match de los registros sísmicos y el espectro objetivo- Componente EW (Seismo Match, 2023)



- Match de la componente N-S.
 - Sismo 1: 01 de abril de 2014, Moquegua.

Figura 143

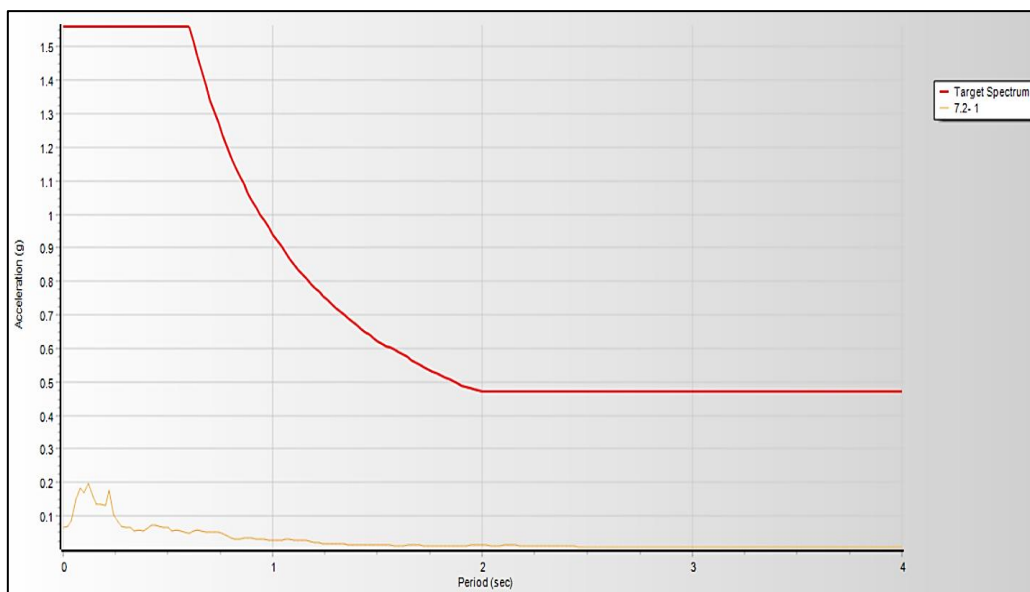
Espectro de Respuesta del sismo 01 de abril de 2014, Moquegua- Componente NS (Seismo Match, 2023)



- Sismo 2: 13 de junio de 2005, Moquegua

Figura 144

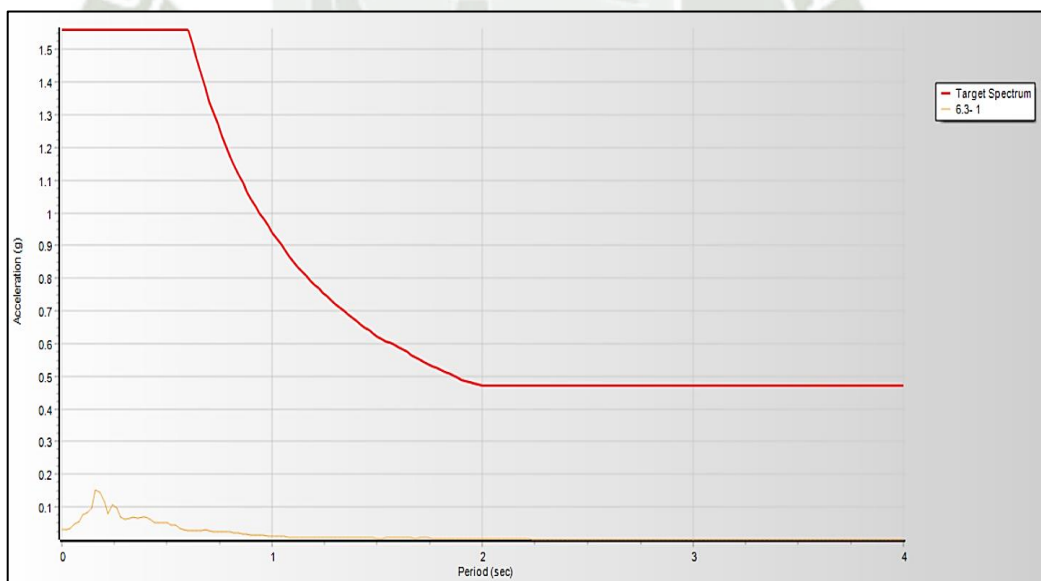
Espectro de Respuesta del sismo 13 de junio de 2005, Moquegua- Componente NS (Seismo Match, 2023)



— Sismo 3: 10 de octubre de 2017, Arequipa.

Figura 145

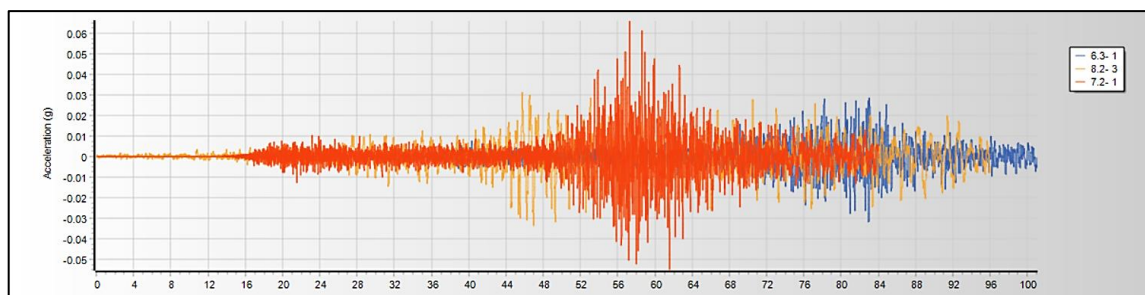
Espectro de Respuesta del sismo 10 de octubre de 2017, Arequipa - Componente EW (Seismo Match, 2023)



— Match de los acelerogramas de los tres eventos sísmicos:

Figura 146

Match de aceleraciones de los eventos sísmicos- Componente NS (Seismo Match, 2023)



— Espectros de respuesta de los 3 eventos sísmicos:

Figura 147

Espectros de respuesta originales - Componente NS (Seismo Match, 2023)

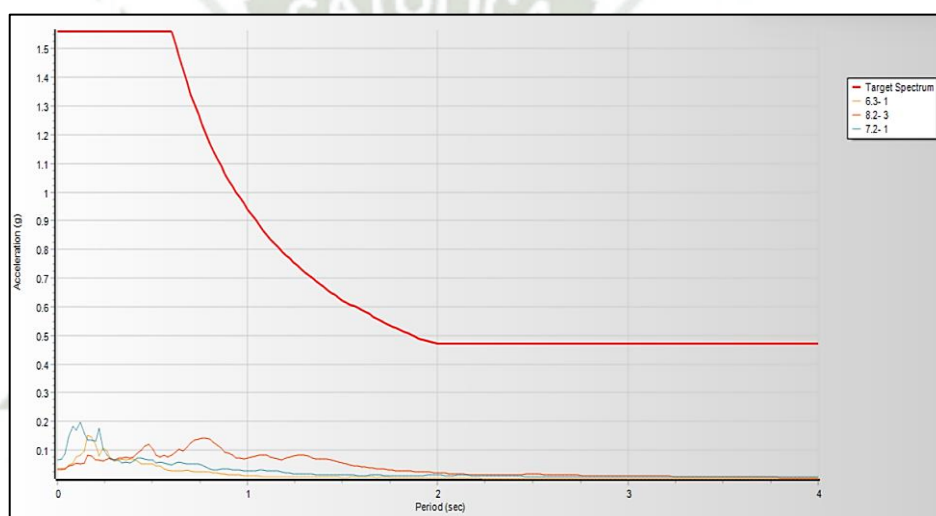
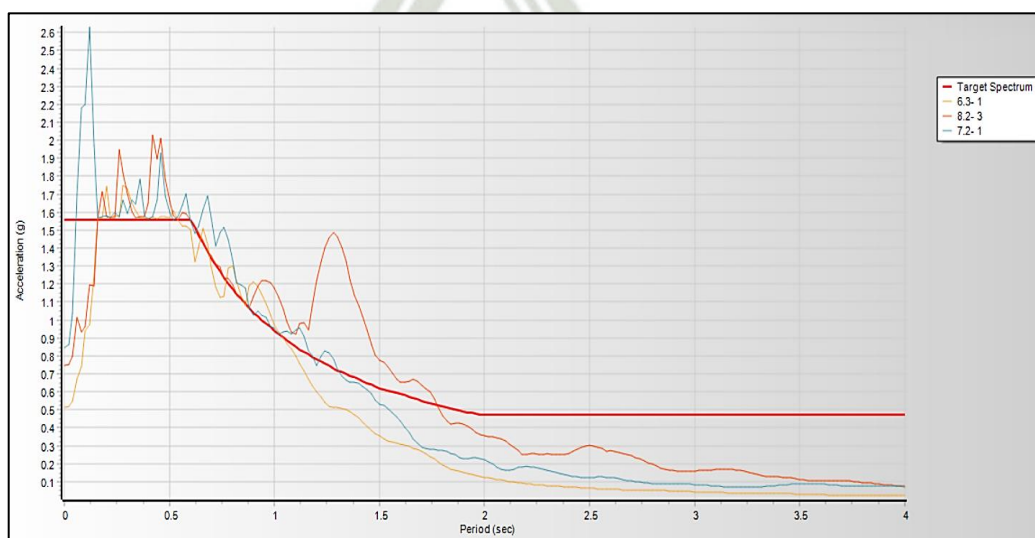


Figura 148

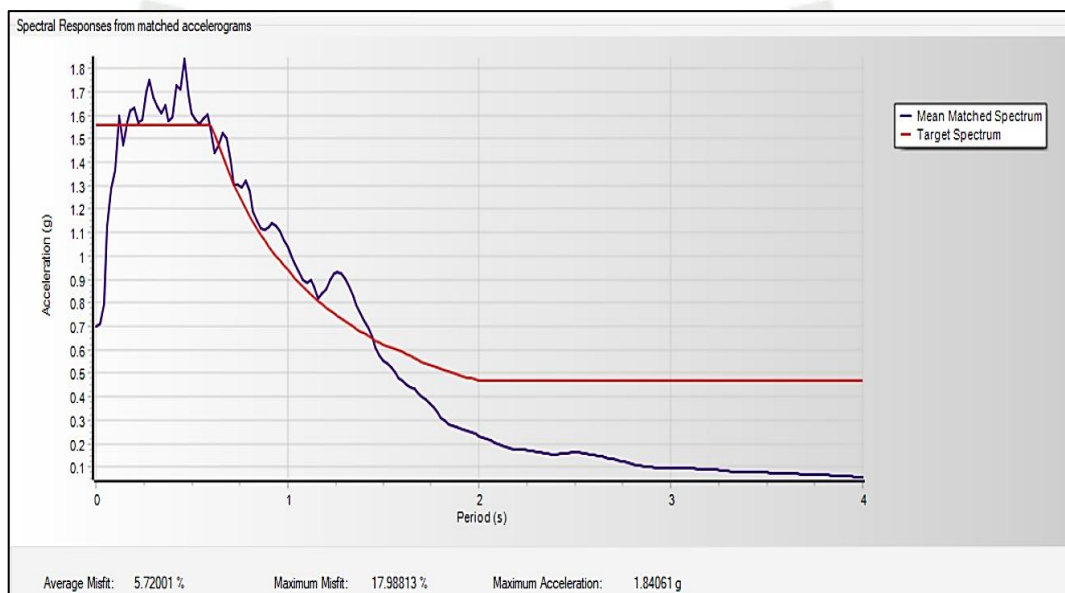
Match de los Espectros de respuesta originales y el Espectro objetivo- Componente NS (Seismo Match, 2023)



- Gráfico del espectro de respuesta resultado del match de todos los registros sísmicos cargados y previamente corregido con el espectro objetivo considerando la ubicación de la estructura.

Figura 149

*Espectro de respuesta del match de los registros sísmicos y el espectro objetivo-
Componente NS (Seismo Match, 2023)*



2.3. Análisis Tiempo- Historia

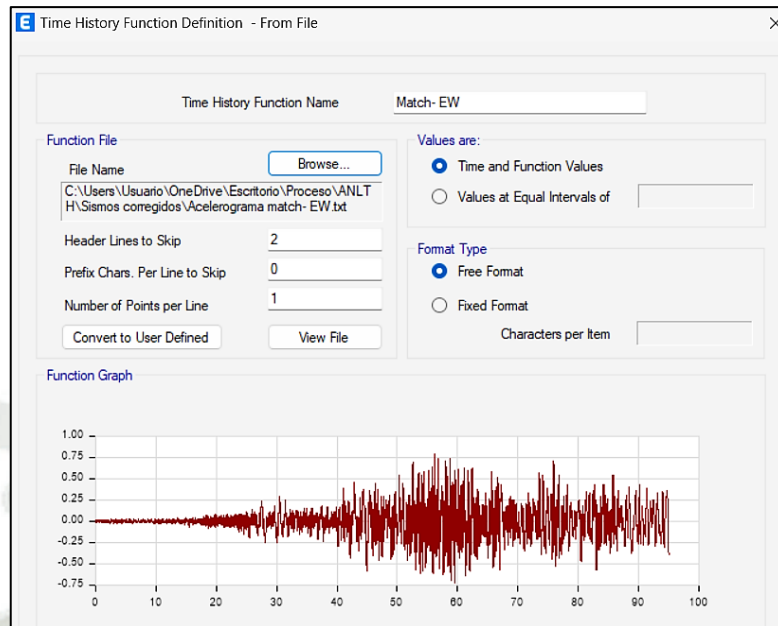
2.3.1. Definición de la función Tiempo- Historia

Se cargan los datos del sismo definido usando los valores máximos de los sismos tratados hasta su duración significativa establecida en el punto anterior como documento txt. en el modelo existente de la estructura.

- Componente E-W (Este- Oeste)

Figura 150

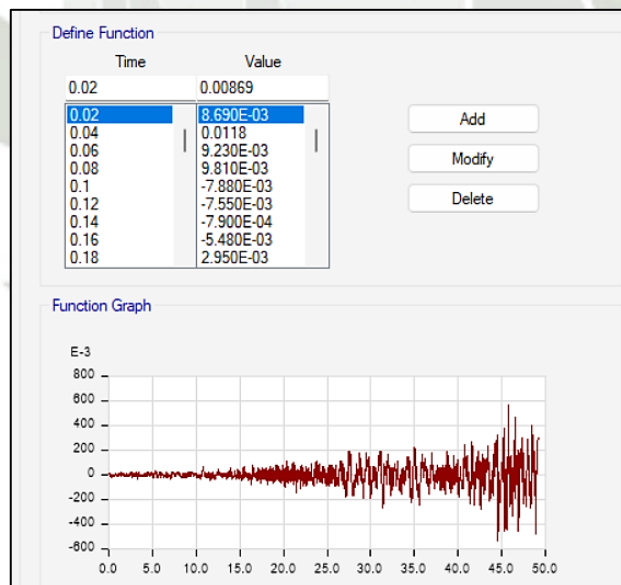
*Captura de pantalla de la ventana para asignación del registro sísmico- Componente E- W
(ETABS 20.0.0, 2023)*



- Componente N-S (Norte- Sur)

Figura 151

Captura de pantalla de la ventana para asignación del registro sísmico- Componente N-S (ETABS 20.0.0, 2023)



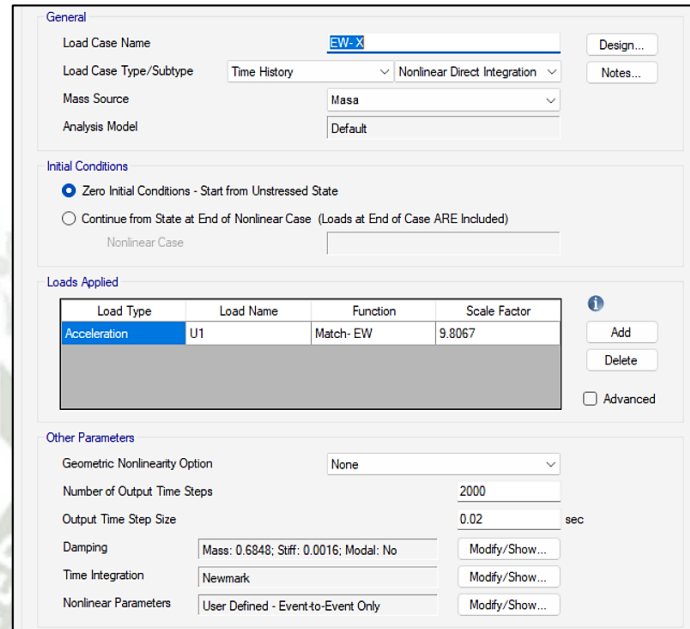
2.3.2. Definición de la Carga Sísmica

Se define la carga sísmica ocasionada por los eventos sísmicos cargados al modelo de la estructura, para este paso se usan los datos de la duración en donde se encuentran las aceleraciones más significativas para no sobrecargar el software.

- Componente E-W (Este- Oeste)

Figura 152

Captura de pantalla de la ventana para asignación Carga Sísmica producida por la componente E-W del sismo (ETABS 20.0.0, 2023)

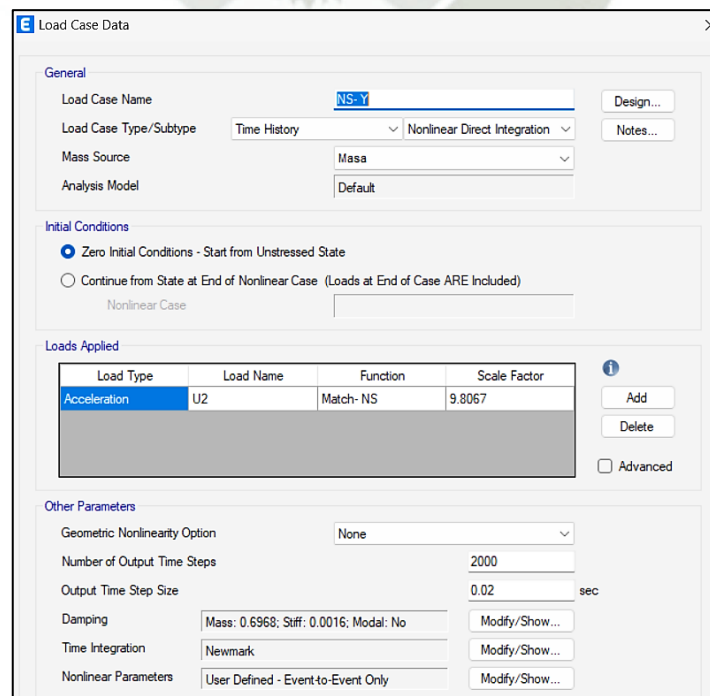


Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Match- EW	9.8067

- Componente N-S (Norte- Sur)

Figura 153

Captura de pantalla de la ventana para asignación Carga Sísmica producida por la componente N-S del sismo (ETABS 20.0.0, 2023)



Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Match- NS	9.8067

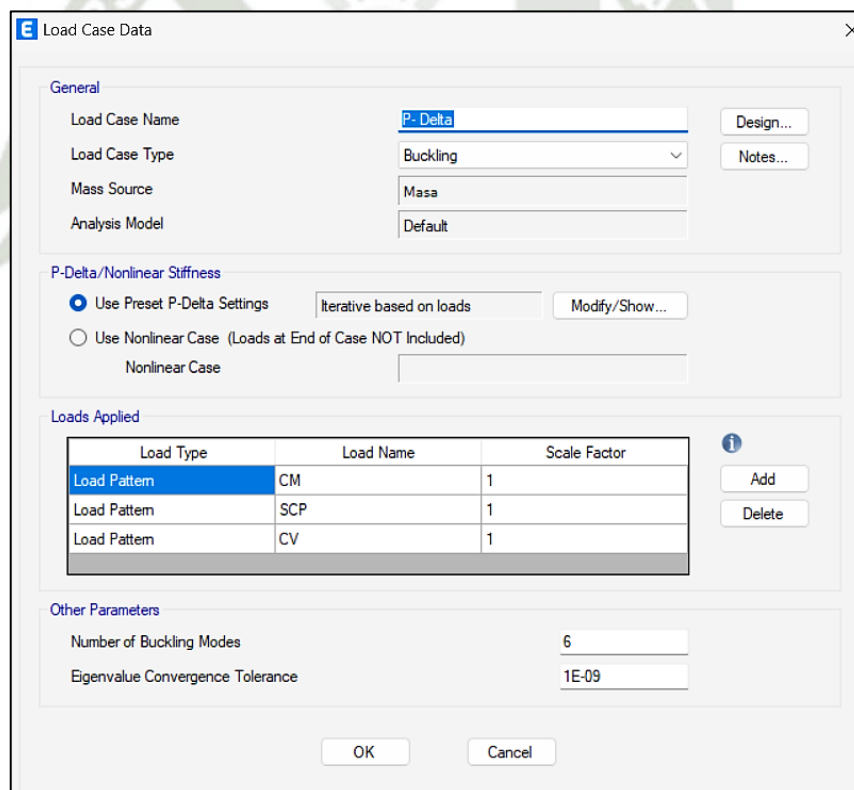
2.3.3. Definición de la no Linealidad Geométrica o Análisis de Segundo Orden

La no linealidad geométrica se realiza para considerar los efectos de segundo orden, para el análisis no lineal, es necesaria la definición de la no linealidad geométrica para la representación de deformaciones y desplazamientos, ya que estos pueden verse afectados por los daños acumulados como la plasticidad en el acero o la fisuración en el concreto.

- Definición de la carga P- Delta: Definiendo el tipo de carga como Buckling porque esta es la opción del software que permite el análisis de pandeo en columnas, experimentando este fenómeno por la compresión axial que se genera de las cargas gravitatorias.

Figura 154

Definición de la carga P- Delta (ETABS, 2023)

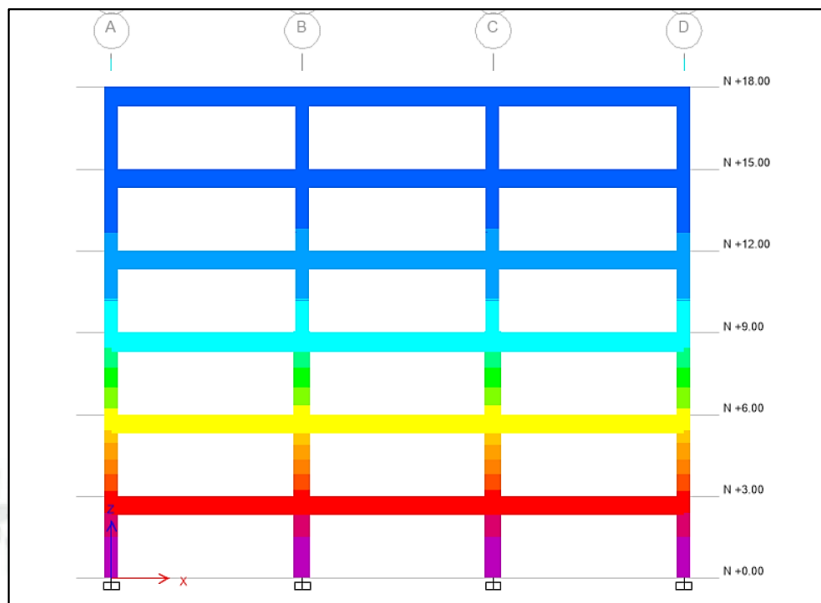


Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	CM	1
Load Pattern	SCP	1
Load Pattern	CV	1

- Del procesamiento se obtiene los desplazamientos y estado de los elementos por los efectos de la carga P- Delta.
 - Componente E- W (Este- Oeste).
 - Resultado de pórtico en el eje vertical:

Figura 155

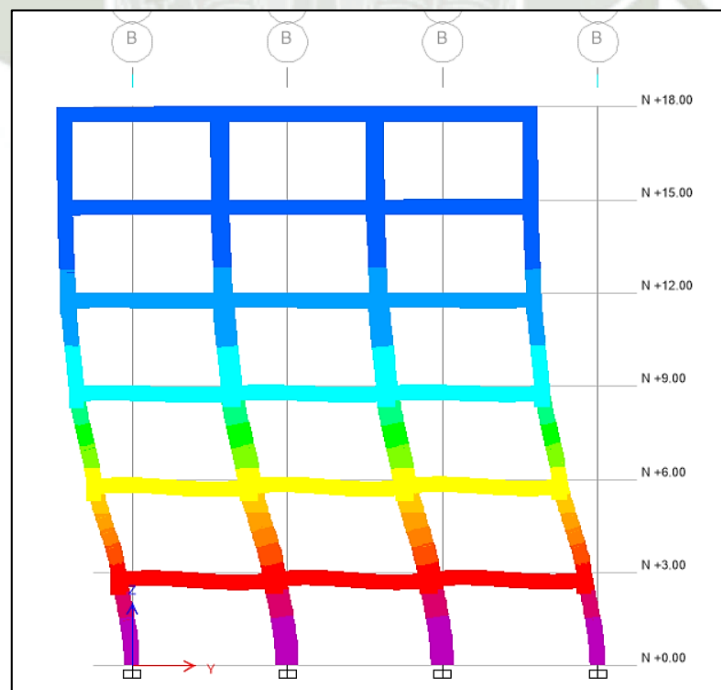
Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje vertical, Componente E- W (ETABS, 2023)



- Resultado de pórtico en el eje horizontal:

Figura 156

Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje horizontal, Componente E- W (ETABS, 2023)

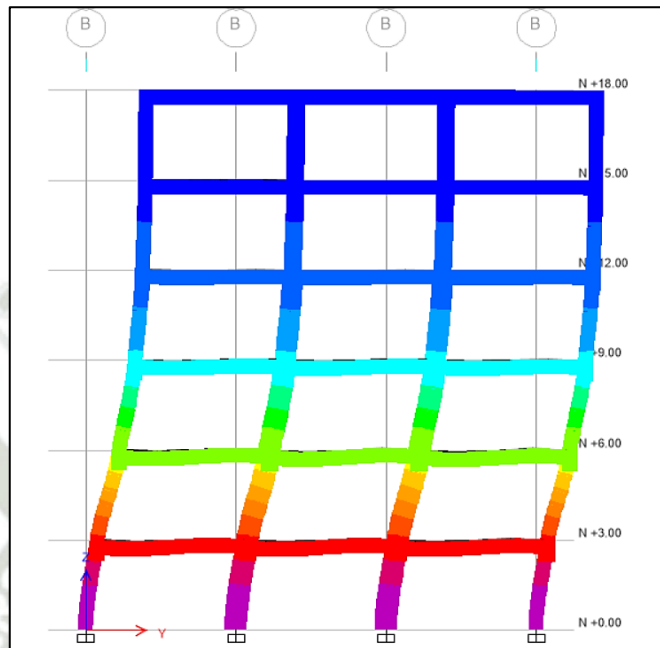


- Componente N- S (Norte- Sur).

- Resultado de pórtico en el eje vertical:

Figura 157

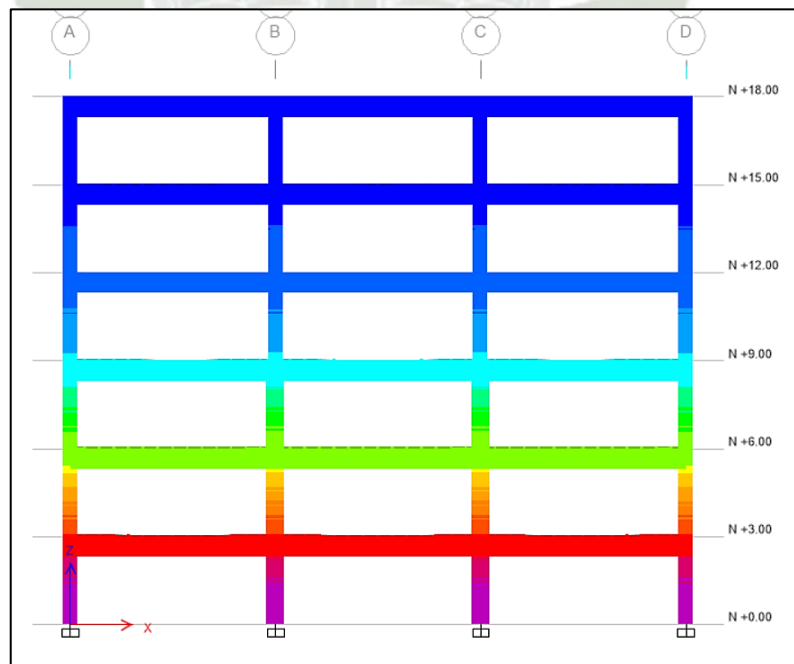
Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje vertical, Componente N- S (ETABS, 2023)



- Resultado de pórtico en el eje horizontal:

Figura 158

Efectos de la Carga P- Delta, Pórtico en eje horizontal, Componente N- S (ETABS, 2023)



— Interpretación de Resultados:

- Los elementos que presentan color azul o cian: Los efectos del análisis de segundo orden, son menos significativos, por lo que estos elementos tienen un comportamiento que se asemeja al lineal.
 - Los elementos que presentan color verde: Pasan ligeramente la compresión mínima, por lo que los efectos P- Delta, van aumentando conforme el color va hacia el amarillo.
 - Los elementos que presentan color amarillo: En esta zona ya se puede considerar los efectos de segundo orden, ya que este ocasionó que la estructura experimente tensiones moderadas.
 - Los elementos que presentan color naranja: Estos elementos comienzan a presentar tensiones más altas en la estructura, causadas por los efectos de segundo orden, en esta zona ya tienen un papel importante.
 - Los elementos que presentan color rojo: Estas áreas requieren de una revisión en el diseño, ya que los efectos de segundo orden son significativos, causando las mayores deformaciones y tensiones en los elementos.
 - Los elementos que presentan color violeta: Tienen un comportamiento similar a los elementos en color rojo, pero con mayor severidad, lo que las hace zonas críticas de la estructura.
- Corrección de factores de Pandeo:
 - Componente E- W (Este- Oeste).

Tabla 192

Factores de Pandeo, Componente E- W (ETABS, 2023)

Carga	Modo	Factor
P- Delta	1	64.00
P- Delta	2	68.56
P- Delta	3	91.00
P- Delta	4	91.92
P- Delta	5	93.45
P- Delta	6	109.06

- Componente N- S (Norte- Sur).

Tabla 193

Factores de Pandeo, Componente N- S (ETABS, 2023)

Carga	Modo	Factor
P- Delta	1	71.67
P- Delta	2	76.8
P- Delta	3	101.80
P- Delta	4	101.81
P- Delta	5	104.40
P- Delta	6	121.93

- Se ingresar estos valores en los factores de escala para las carga muerta y carga viva en la configuración de la carga P- Delta.

2.3.4. Definición de la no Linealidad de Materiales

La no linealidad en materiales permite que las propiedades del material no varíen proporcionalmente a las cargas aplicadas a él, por lo que no sigue la ley de Hooke, la relación entre su deformación y su esfuerzo no es lineal. Es importante definirla para este análisis porque afecta el comportamiento de los elementos y permite un modelamiento más efectivo y preciso.

- No linealidad en el concreto.

Figura 159

Captura de pantalla de la ventana para asignación de no linealidad en el Concreto (ETABS 20.0.0, 2023)

E Nonlinear Material Data

Material Name and Type
 Material Name: Concreto 280
 Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters
 Hysteresis Type: Concrete
 Modify/Show Hysteresis Parameters...
 Drucker-Prager Parameters
 Friction Angle: 0 deg
 Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.003	cm/cm
LS	0.02	-0.006	cm/cm
CP	0.05	-0.015	cm/cm

 Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options
 Parametric
 User Defined
 Convert to User Defined

User Stress-Strain Curve Data
 Number of Points in Stress-Strain Curve: 10

Point Number	Strain	Stress (kgf/cm2)	Point ID
1	-0.006	-182.56	
2	-0.005	-207.82	-E
3	-0.00361	-249.93	
4	-0.002219	-280	-B
5	-0.001553	-263.12	
6	-0.000887	-193.19	
7	-0.000222	-56	
8	0	0	A
9	0.000132	23.28	

Buttons: Add Row, Delete Rows, Order Rows, Show Plot...

OK Cancel

- No linealidad en el acero.

Figura 160

Captura de pantalla de la ventana para asignación de no linealidad en el Acero (ETABS 20.0.0, 2023)

Material Name and Type
 Material Name: Acero
 Material Type: Rebar, Uniaxial

Miscellaneous Parameters
 Hysteresis Type: Kinematic

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.005	cm/cm
LS	0.02	-0.01	cm/cm
CP	0.05	-0.02	cm/cm

Stress Strain Curve Definition Options
 Parametric
 User Defined
 Convert to User Defined

User Stress-Strain Curve Data
 Number of Points in Stress-Strain Curve: 11

Point Number	Strain	Stress (kgf/cm2)	Point ID
1	-0.108	-3290.37	
2	-0.09	-6960.39	-E
3	-0.045556	-6187.01	-D
4	-0.018889	-5413.64	-C
5	-0.002276	-4640.26	-B
6	0	0	A
7	0.002276	4640.26	B
8	0.018889	5413.64	C
9	0.045556	6187.01	D

Buttons: Add Row, Delete Rows, Order Rows, Show Plot...

2.4. Análisis de Resultados

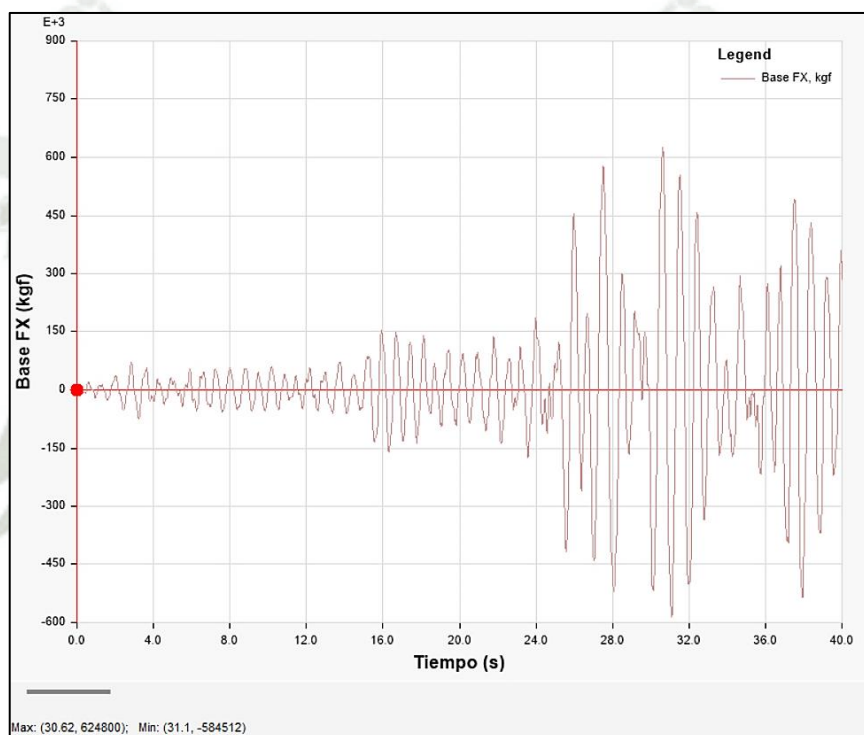
2.4.1. Resultados de Método de Rótulas Plásticas

- Gráfico Fuerzas cortantes- Tiempo:

— Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 161

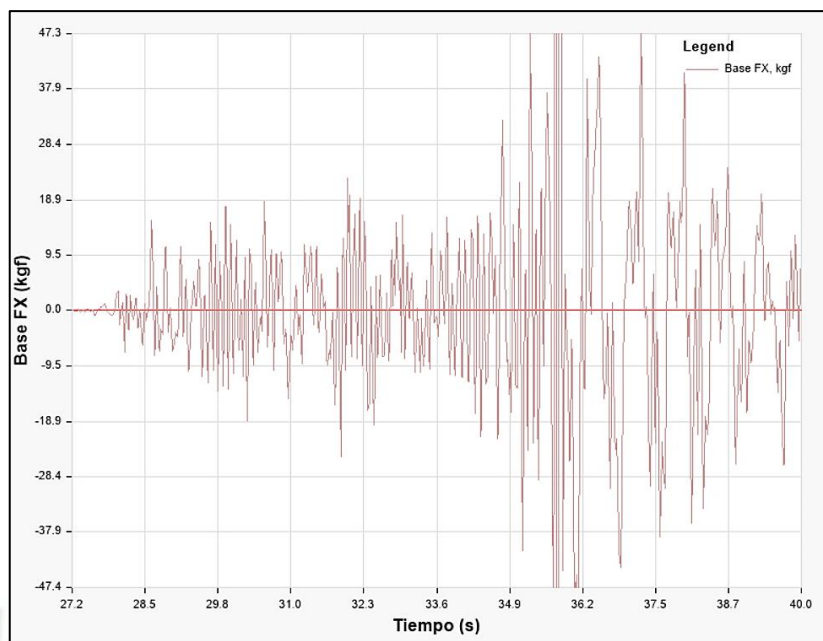
Fuerzas cortantes- Tiempo para componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)



— Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 162

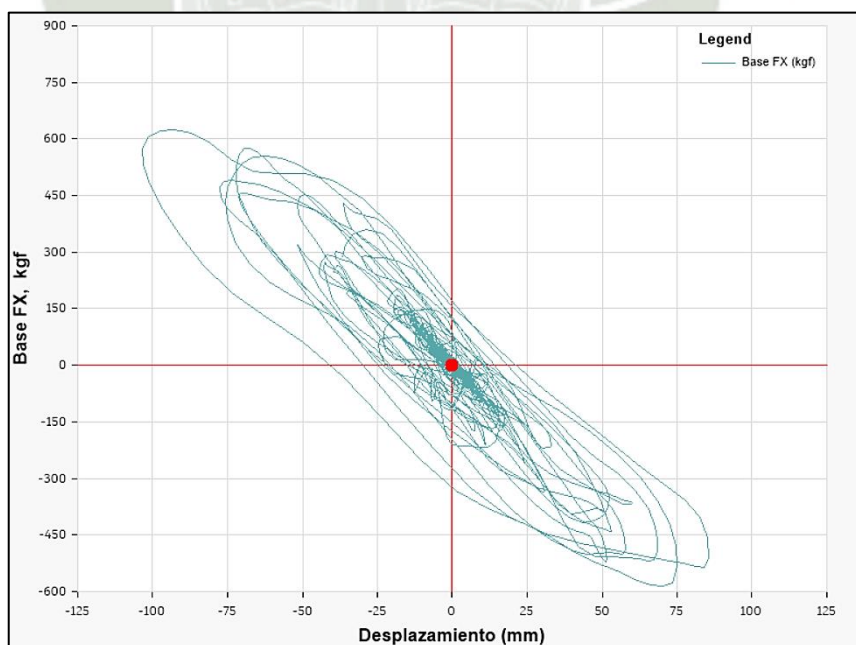
Fuerzas cortantes- Tiempo para componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)



- Gráfico Fuerzas cortantes- Desplazamientos:
 - Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 163

Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)



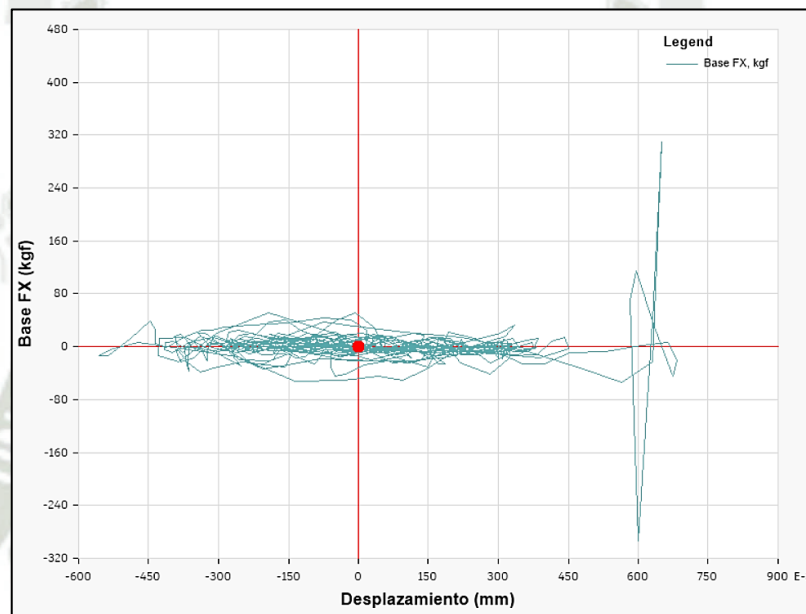
La Figura 163 es la curva histerética que representan la relación de Fuerza- Deformación de las cargas cíclicas que se generan de las aceleraciones del registro sísmico en la componente

E- W, en la cual el punto de respuesta recorre toda la curva, durante los 40 segundos de duración del sismo.

- Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 164

Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)

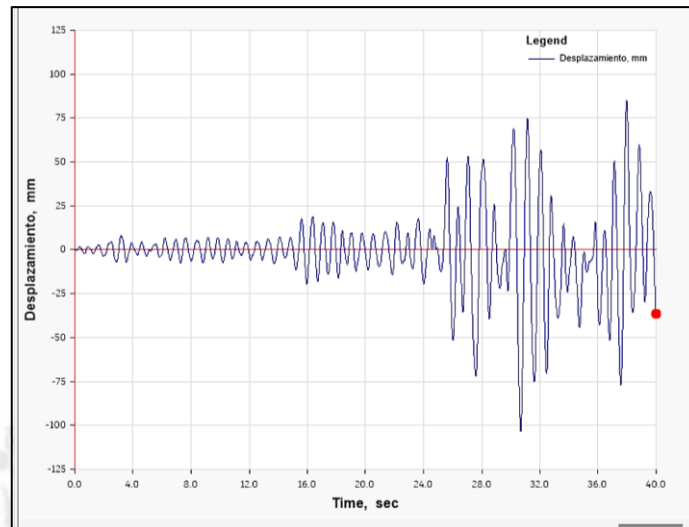


En la Figura 164 se representa la relación de Fuerza- Deformación de las cargas cíclicas que se generan de las aceleraciones del registro sísmico en la componente N- S, como se ve esta componente tiene un comportamiento de respuesta muy diferente a la componente E- W, debido a que las fuerzas se redistribuyen de diferente forma por la disposición de elementos estructurales.

- Gráfico Desplazamientos- Tiempo:
 - Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 165

Desplazamientos- Tiempo para componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)

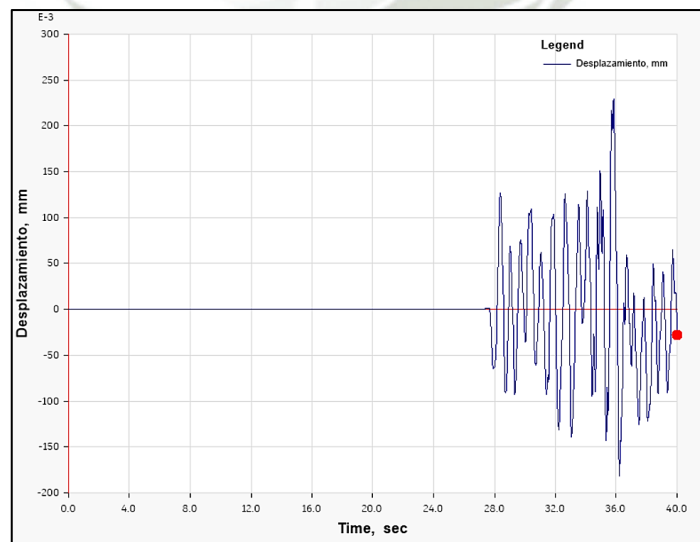


En la Figura 165 se representa el cambio de desplazamientos en la componente E- W a lo largo del tiempo de duración del evento sísmico, siendo el mayor desplazamiento de 10.3 milímetros en el segundo 30.68, este dato se utilizará para el análisis del estado de rótulas plásticas en este periodo, ya que se considera como el estado crítico por el que pasa la estructura.

— Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 166

Desplazamientos- Tiempo para componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)



En la Figura 166 se representan los desplazamientos a lo largo del tiempo en el que transcurre el sismo, siendo el mayor desplazamiento de 0.23 milímetros en el segundo 35.84, este dato

se utilizará para el análisis del estado de rótulas plásticas en este periodo, ya que se considera como el estado crítico por el que pasa la estructura.

- Máximos Desplazamientos Laterales por Piso:
 - Componente E-W (Este- Oeste).

Tabla 194

Máxima derivas por piso causadas por la Componente E-W de la carga sísmica por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)

Piso	Desplazamiento por piso	Desplazamiento por piso (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	84.950	0.08495	0.042475	0.00095333
N +15.00	79.230	0.07923	0.039615	0.00222333
N +12.00	65.890	0.06589	0.032945	0.00288500
N +9.00	48.580	0.04858	0.02429	0.00271333
N +6.00	32.300	0.0323	0.01615	0.00323000
N +3.00	12.920	0.01292	0.00646	0.00215333

- Componente N-S (Norte- Sur).

Tabla 195

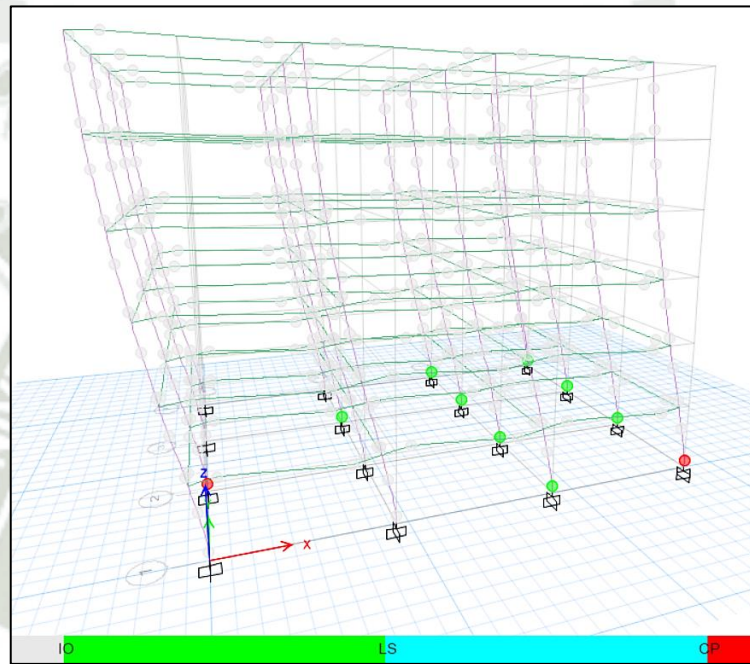
Máxima derivas por piso causadas por la Componente N-S de la carga sísmica por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)

Piso	Desplazamiento por piso	Desplazamiento por piso (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	110.580	0.11058	0.05529	0.00123167
N +15.00	103.190	0.10319	0.051595	0.00234500
N +12.00	89.120	0.08912	0.04456	0.00283152
N +9.00	70.030	0.07003	0.035015	0.00320696
N +6.00	45.550	0.04555	0.022775	0.00359850
N +3.00	18.430	0.01843	0.009215	0.00307167

- Modelo global de la estructura deformada a causa de la aplicación de las cargas sísmicas y rótulas plásticas evaluadas con los criterios de aceptación.
 - Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 167

Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente E-W por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)

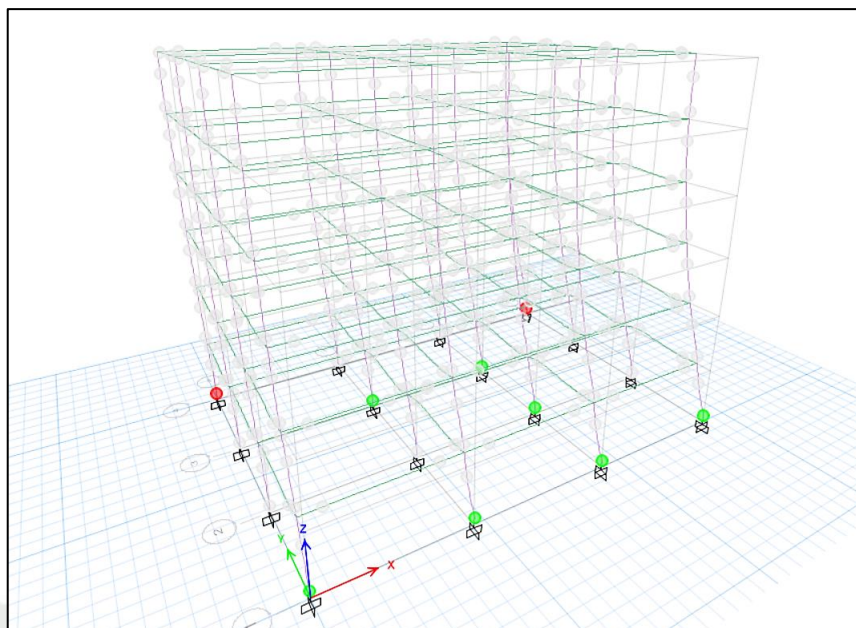


Como se muestra en la Figura 167 se obtiene el análisis de las rótulas plásticas de la componente E- W, la mayor parte de ellas se encuentran en un rango anterior al criterio IO (las rótulas en color gris), algunas de las rótulas plásticas de las columnas en el primer nivel se encuentran entre los criterios IO y LS (Ocupación Inmediata y Seguridad de Vida), y por último se tienen 2 rótulas en las columnas del primer nivel que pasan el criterio CP (Prevención de Colapso). En general, la estructura tiene un comportamiento de respuesta adecuado para resistir el sismo sin mayores daños.

- Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 168

Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente N-S por método de coeficientes (ETABS 20.0.0, 2023)



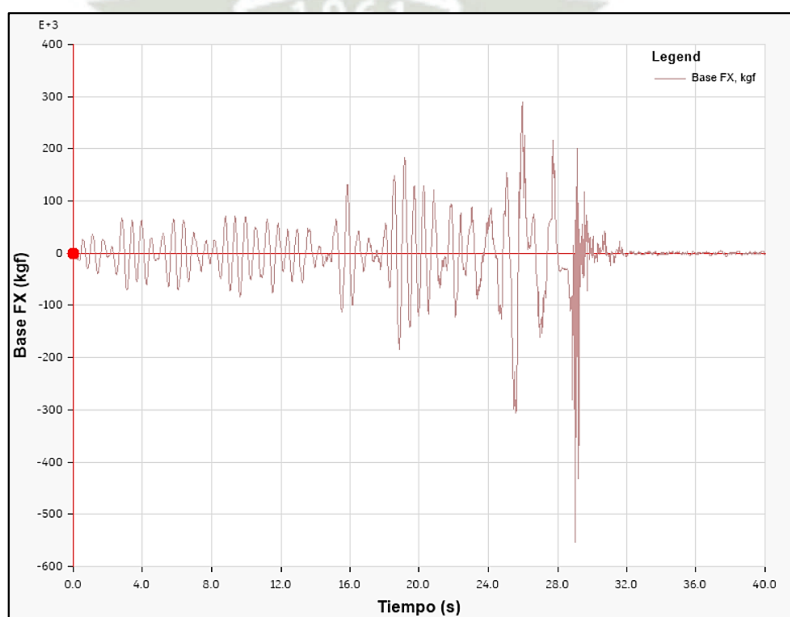
Al igual que en la Figura 167, la Figura 168 representa el análisis de las rótulas plásticas, teniendo un comportamiento similar a la componente N-S, teniendo también un comportamiento adecuado, quedando en un rango seguro estructuralmente.

2.4.2. Resultados de Método de Fibras

- Gráfico Fuerzas cortantes- Tiempo:
 - Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 169

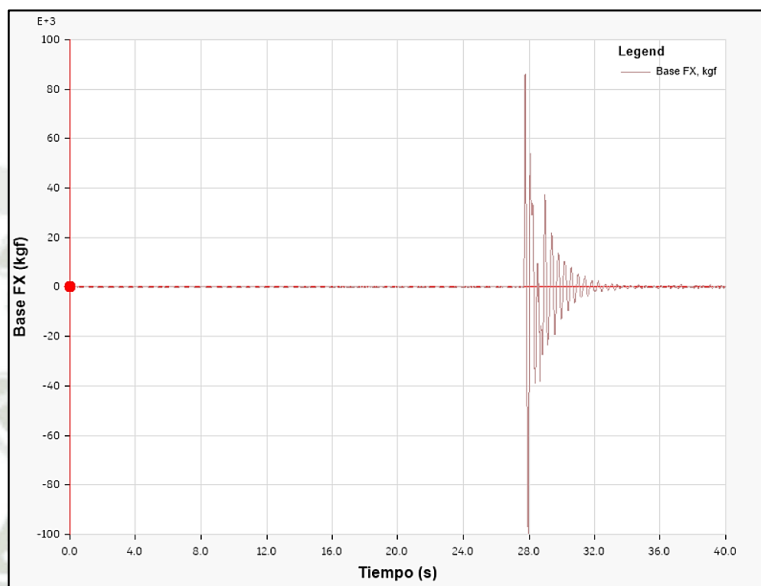
Fuerzas cortantes- Tiempo- Componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)



- Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 170

Fuerzas cortantes- Tiempo- Componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)

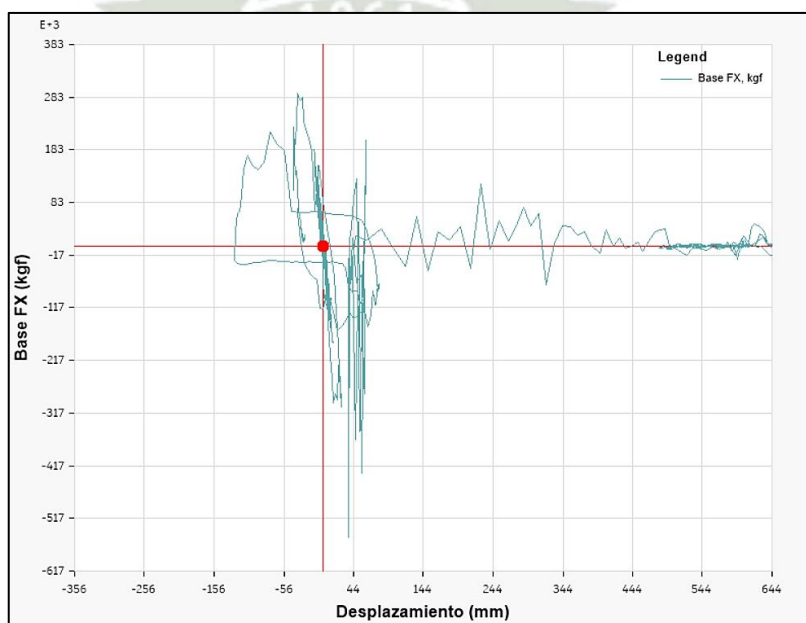


- Gráfico Fuerzas cortantes- Desplazamientos:

- Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 171

Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)

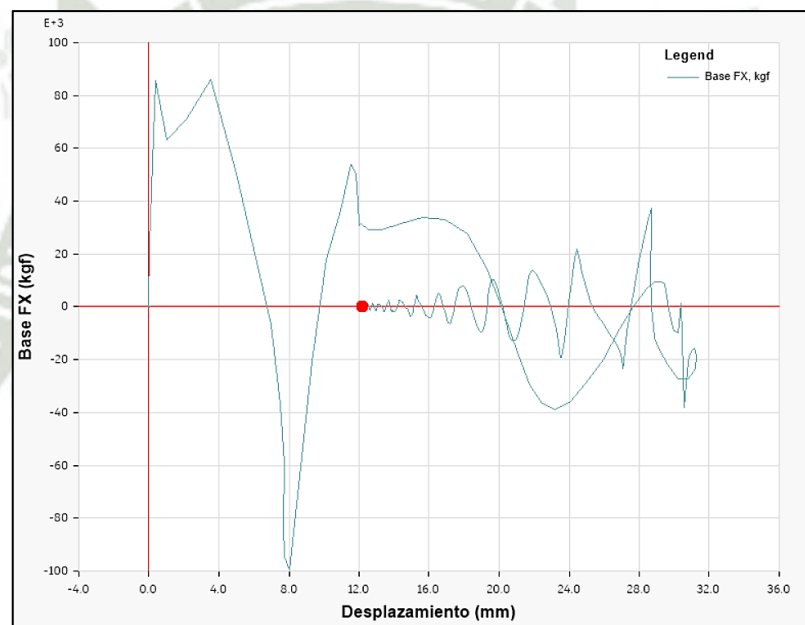


En la Figura 171 se represente la curva de histéresis, en la que se puede ver la relación Fuerza- Deformación en la componente E- W a lo largo del sismo, que describe el comportamiento del material en los ciclos de carga y descarga, en este caso se tienen formas más irregulares que el gráfico correspondiente al método de coeficientes, debido a que con el método de fibras se considera la variación de rigidez a lo largo del área.

— Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 172

Fuerzas cortantes- Desplazamientos para componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)



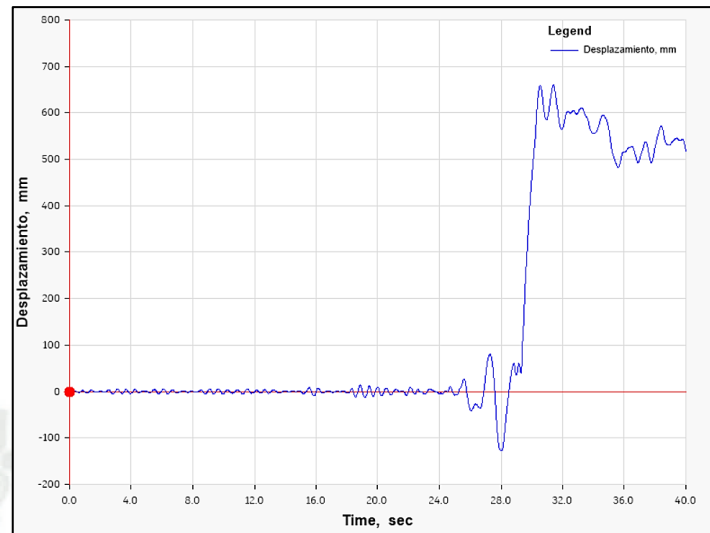
En la Figura 172 se represente la curva de histéresis, en la que se puede ver la relación Fuerza- Deformación en la componente N- S a lo largo del sismo, al igual que en la componente E- W, también es notable que las funciones son irregulares en comparación con el método de coeficientes por la razón mencionada anteriormente.

- Gráfico Desplazamientos- Tiempo:

— Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 173

Desplazamientos- Tiempo- Componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)

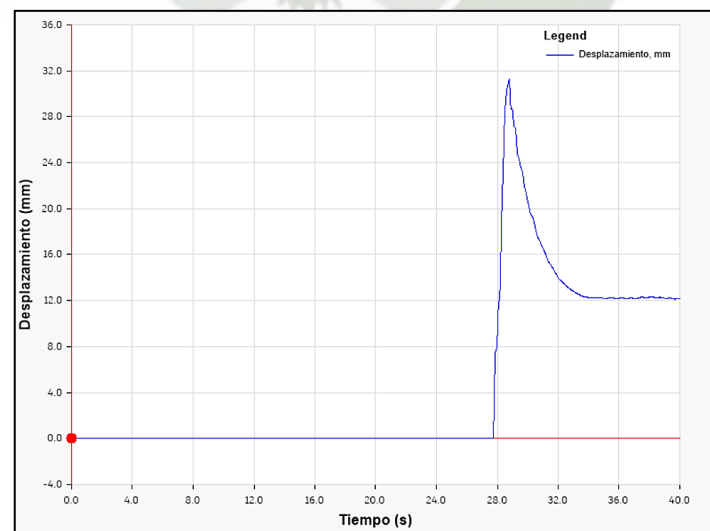


La Figura 165 muestra la evolución de los desplazamientos en la dirección E-W a lo largo del tiempo durante el evento sísmico. Se observa que el mayor desplazamiento registrado es de 66.06 milímetros, ocurriendo en el segundo 31.40. Este valor se empleará para el análisis de las rótulas plásticas durante este periodo, ya que se considera una fase crítica por la que atraviesa la estructura.

— Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 174

Desplazamientos- Tiempo- Componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)



Al igual que con la figura anterior, la Figura 174 muestran los desplazamientos en el tiempo correspondientes a la componente N- S, en este caso, el desplazamiento mayor es de 31.28 mm en el segundo 28.76, lo que se usará para el análisis de rótulas plásticas.

- Máximas Derivas por Piso:
 - Componente E-W (Este- Oeste).

Tabla 196

Máxima derivas por piso causadas por la Componente E-W de la carga sísmica por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)

Piso	Desplazamiento por piso	Desplazamiento por piso (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	125.310000	0.12531	0.062655	0.001492
N +15.00	116.360000	0.11636	0.05818	0.002917
N +12.00	98.860000	0.09886	0.04943	0.004983
N +9.00	68.960000	0.06896	0.03448	0.004005
N +6.00	44.930000	0.04493	0.022465	0.004830
N +3.00	15.950000	0.01595	0.007975	0.002658

- Componente N-S (Norte- Sur).

Tabla 197

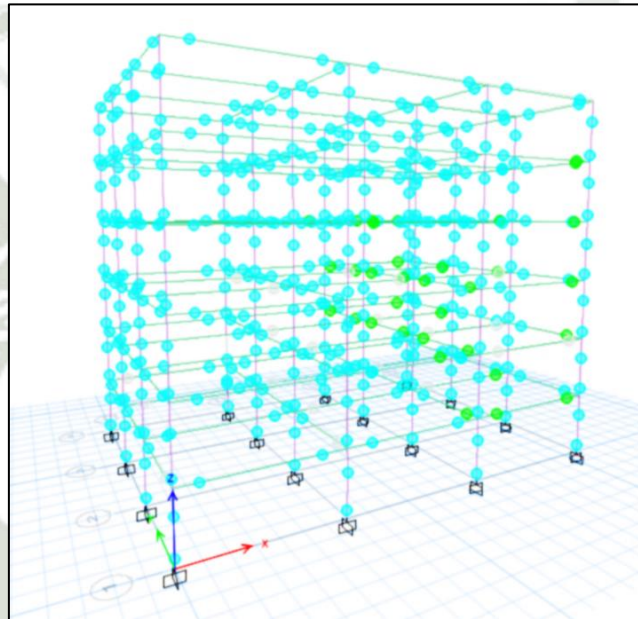
Máxima derivas por piso causadas por la Componente N-S de la carga sísmica por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)

Piso	Desplazamiento por piso	Desplazamiento por piso (ETABS)	Desplazamiento Lateral (NTE 030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	136.6300	0.13663	0.068315	0.004192
N +15.00	111.4800	0.11148	0.05574	0.004000
N +12.00	87.4800	0.08748	0.04374	0.003823
N +9.00	64.5400	0.06454	0.03227	0.003755
N +6.00	42.0100	0.04201	0.021005	0.003728
N +3.00	19.6400	0.01964	0.00982	0.003273

- Modelo global de la estructura deformada a causa de la aplicación de las cargas sísmicas y rótulas plásticas evaluadas con los criterios de aceptación.
 - Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 175

Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente E-W por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)

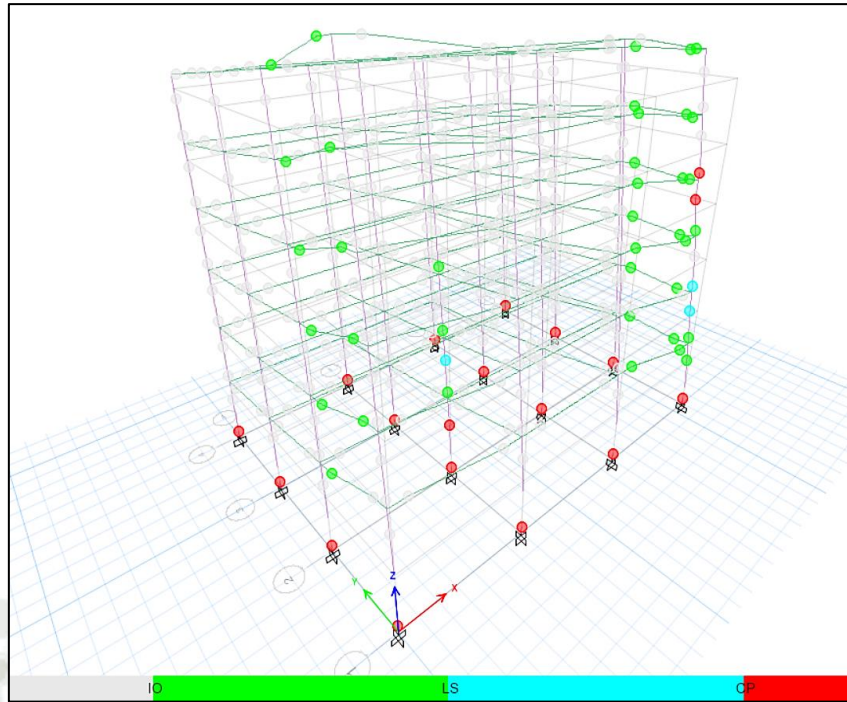


Como se muestra en la Figura 175 del análisis de rótulas plásticas, la mayor parte de ellas se encuentran en el rango posterior al criterio LS (Seguridad de Vida), y algunas de las rótulas plásticas de las vigas se encuentran entre los criterios IO y LS (correspondientes a los rangos entre Ocupación Inmediata y Seguridad de Vida), teniendo algunos daños, pero sin estar en peligro de colapso, por lo que se necesitarían reparaciones que pueden ser importantes.

- Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 176

Modelo deformado y rótulas plásticas evaluadas con criterios de aceptación- Componente N-S por método de fibras (ETABS 20.0.0, 2023)



En el caso del método de fibras se obtienen resultados significativamente diferentes para ambas componentes, teniendo en la componente N-S la mayor parte de rótulas plásticas en el rango anterior al criterio IO (rótulas en color gris), algunas de las rótulas plásticas de las vigas se encuentran entre los criterios IO y CP (correspondientes a los rangos entre Ocupación Inmediata y Seguridad de Vida, y entre Seguridad de Vida y Prevención de Colapso) estas rótulas son las de color verde y cian, y por últimos, se tienen rótulas plásticas en las columnas de los niveles inferiores en el rango posterior a CP (rótulas en color rojo), las cuales necesitarían de un mayor análisis para evitar que se encuentren en este estado.

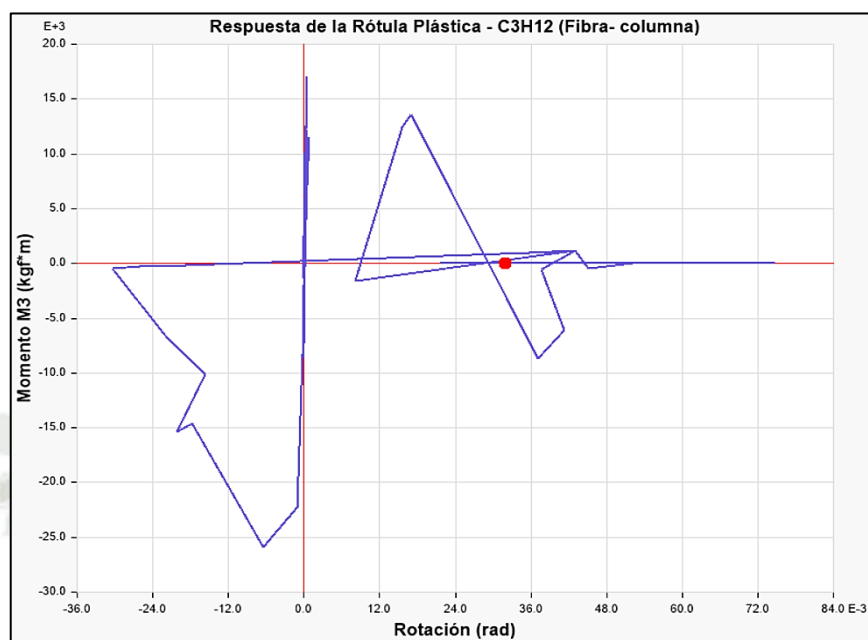
- Se obtiene el gráfico Momento- Rotación de una rótula para el método de fibras, este gráfico describe la relación entre el momento actuante en la sección transversal y la deformación que produce en ella.

Aplicando el método de fibras se obtiene el gráfico de rótulas plásticas con histéresis, esta es una herramienta que permite la representación de las deformaciones plásticas cuando el elemento se somete a cargas cíclicas o cíclicas reversa de un evento sísmico.

— Componente E-W (Este- Oeste).

Figura 177

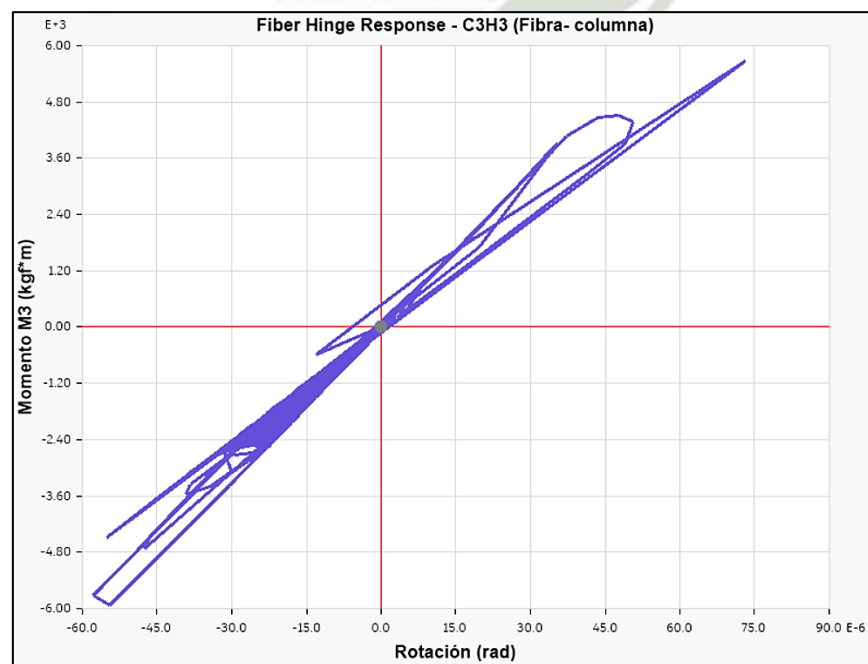
Rótula Plástica de Columna con método de fibras afectada por componente E-W (ETABS 20.0.0, 2023)



— Componente N-S (Norte- Sur).

Figura 178

Rótula Plástica de Columna con método de fibras afectada por componente N-S (ETABS 20.0.0, 2023)



2.4.3. Comparación de Desplazamientos Laterales Máximos obtenidas por Método de Coeficientes y Método de Fibras

- Resultados de Desplazamientos Laterales Máximos por piso en dirección X o componente E- W.

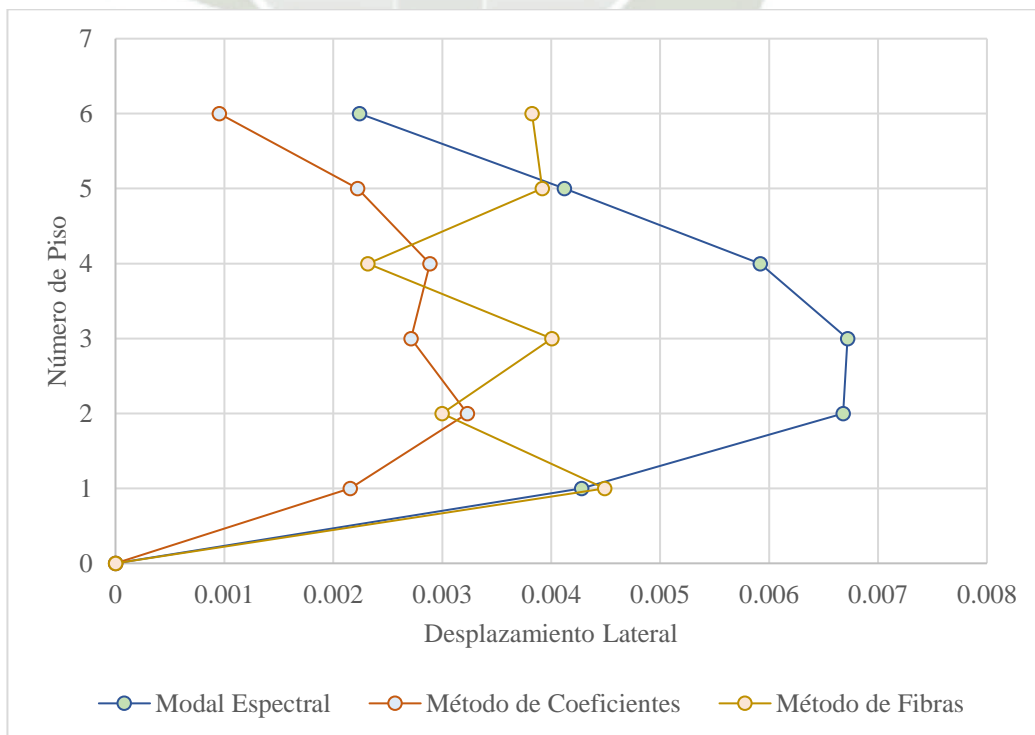
Tabla 198

Comparación de Desplazamientos Laterales Máximos por Piso- Componente E-W (Talavera Flores, 2023)

Piso	Modal Espectral	Método de Coeficientes	Método de Fibras
N +18.00	0.00224	0.000953	0.001492
N +15.00	0.00412	0.002223	0.002917
N +12.00	0.00592	0.002885	0.004983
N +9.00	0.00672	0.002713	0.004005
N +6.00	0.00668	0.003230	0.004830
N +3.00	0.00428	0.002153	0.002658

Figura 179

Gráfico Comparativo de Desplazamientos Laterales Máximos- Componente E- W (Talavera Flores, 2023)



- Resultados de Desplazamientos Laterales Máximos por piso en dirección Y o componente N- S.

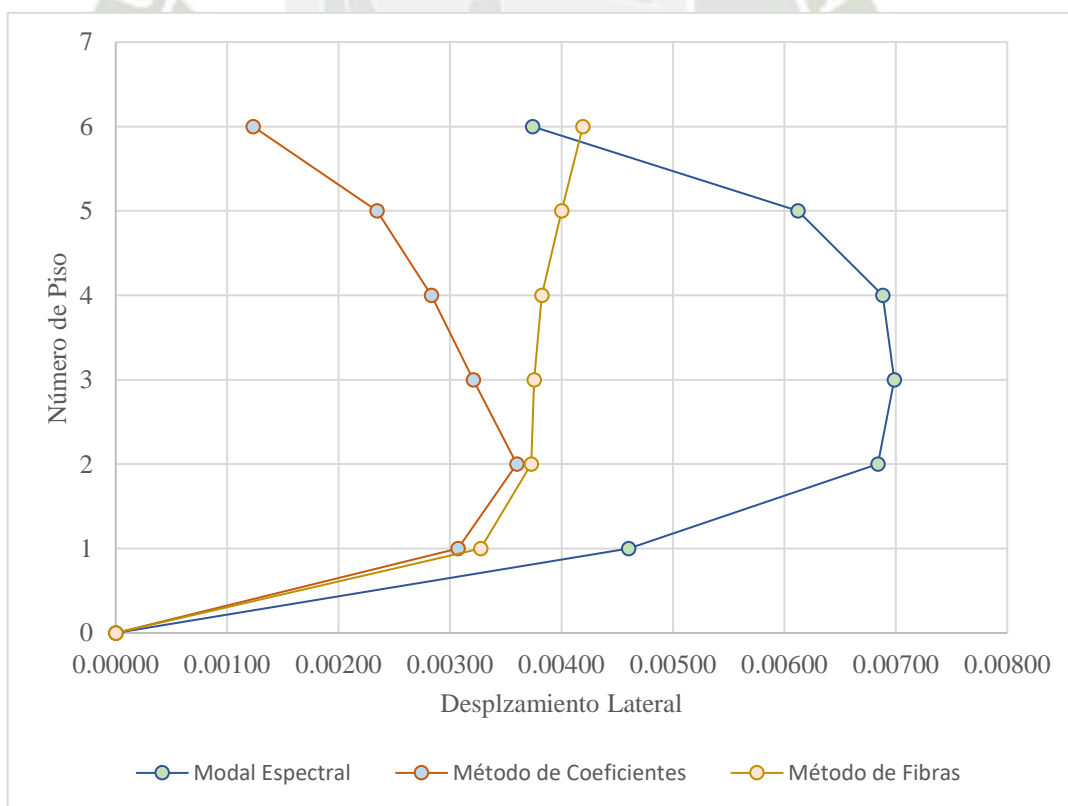
Tabla 199

Comparación de Desplazamientos Laterales Máximos por Piso- Componente N- S (Talavera Flores, 2023)

Piso	Modal Espectral	Método de Coeficientes	Método de Fibras
N +12.00	0.00688	0.002832	0.003823
N +9.00	0.00699	0.003207	0.003755
N +6.00	0.00684	0.003599	0.003728
N +3.00	0.00460	0.003072	0.003273
N +0.00	0.000	0.000	0.000000

Figura 180

Gráfico Comparativo de Desplazamientos Laterales Máximos- Componente N- S (Talavera Flores, 2023)



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Conclusión General:

Habiendo concluido la realización de la presente investigación, con los resultados y entregable obtenido (adjunto en la sección de Anexos de la misma), se ha logrado el análisis de los procedimientos implicados en la aplicación del análisis no lineal Tiempo- Historia en estructuras con sistema aporticado en concreto armado de la aplicación de los mismos en una estructura ejemplo, reuniendo estos procedimientos para formar una metodología detallada en formato de manual.

Conclusiones Específicas:

Con Respecto al Tratamiento de la Estructura:

- Los resultados correspondientes al porcentaje de reducción de rigidez de los elementos siguiendo las condiciones dispuestas en las Normas FEMA 440 y ATC 40, son constantes tanto para flexión como para corte, siendo en el caso de flexión 50% para vigas y 70% para columnas, mientras que en el caso de corte es de 40% para ambos elementos; sin embargo, siguiendo la Norma ASCE 41-17, los resultados son variables para cada columna, considerando su área de sección gruesa y la fuerza por compresión que estas soportan, al realizar los cálculos los porcentajes de reducción se encuentran en un rango de entre 30% y 42% debido a que sus cargas axiales se encuentran aproximadas a la condición menor; en el caso de vigas siguiendo esta misma norma, los porcentajes de reducción son constantes; 30% para flexión y 40% para corte.
- Los diagramas de interacción de la estructura se obtuvieron para las columnas, debido a que se obtiene la respuesta a cargas de compresión y corte, que es el comportamiento que tienen estos elementos.
- Los diagramas Momento- Curvatura siguen un procedimiento para vigas y para columnas; en el caso de vigas, se obtiene el diagrama del análisis de sus estados elástico no agrietado, agrietado y último, y de sus propiedades geométricas, mientras que en el caso de columnas, depende además, de las cargas por compresión que estas soporten, teniendo varias series en el diagrama Momento- Curvatura de cada tipo de sección, teniendo como referencia que estas cargas por compresión, obtenidas del modelamiento en el Software ETABS 20.0.0, en todos los casos son menores a la carga obtenida considerando su falla balanceada.

- En lo que respecta a la asignación de rótulas plásticas, se utilizaron dos métodos diferentes; el método de rótulas plásticas y el método de fibras, en ambos casos se consideraron los parámetros de modelos y los criterios de aceptación definidos por la Norma ASCE 41-17, al realizar este procedimiento, se tuvo como principal conclusión que los factores más influyentes son la sección, la disposición y la cantidad de acero de refuerzo en ellas, por lo que se tienen los mismos parámetros de modelo para cada sección, independientemente del piso o eje en el que se encuentren, del mismo modo, los criterios de aceptación.
- Se realizó la obtención manual de los diagramas Momento- Curvatura con los criterios para la aplicación de rótulas plásticas, al igual que la obtención por la asignación en el Software ETABS 20.0.0, teniendo como conclusión diagramas semejantes, después de la normalización del diagrama obtenido de los cálculos, según lo indicado en la Norma ASCE 41-17.
- Para el cálculo de las distancias relativas, se realizó el cálculo de las longitudes plásticas de cada elemento utilizando la expresión de Pauloy y Priestley, siendo conveniente, ya que permite su aplicación tanto en vigas como en columnas, de este cálculo de obtienen distancias relativas que están en el rango de 10% a 12%, para la realización de la presente investigación se hizo la recopilación de diferentes ejemplos de este proceso, en algunos de ellos se considera un 10%, lo que refiere un valor aproximado de los valores obtenidos con la ecuación utilizada.
- Se uso el método de fibras solo en el caso del análisis de columnas por su comportamiento bajo flexo compresión, es conveniente la aplicación de este método cuando se tienen áreas de sección significativas o irregulares, esto debido a que al realizarse un análisis no lineal, la rigidez no se mantiene constante a lo largo del área, este método divide virtualmente la sección en fibras dependiendo del material y posición de cada fibra, haciendo un análisis más detallado, por está razón, se aplica el método en muros estructurales o en columnas, al estar enfocada la presente investigación en estructuras aporricadas, se le asignaron fibras a las columnas para la demostración y explicación del método.
- El análisis para cumplir con el objetivo de investigación se hizo de los resultados obtenidos del modelo considerando el método de coeficientes para vigas y columnas, y del modelo considerando el método de coeficientes en vigas y método de fibras en columnas.

Con Respecto al Tratamiento de los Registros Sísmicos:

- Se seleccionaron para el análisis los sismos descritos en la Tabla 186, teniendo en consideración su ubicación y magnitud, para la corrección de los registros sísmicos se utilizó el software Seismo Signal y para garantizar su consistencia con el espectro de registro objetivo (obtenido con los parámetros sísmicos, considerando un factor de reducción $R=1$ según lo estipulado en la NTE 030), se utilizó el software Seismo Match.
- Se obtuvo un espectro de la combinación de los 3 elegido similar al espectro objetivo de respuesta; sin embargo, se ingresaron al modelamiento los acelerogramas envolventes para cada componente del sismo (Componente E- W y Componente N-S)
- Para el procesamiento de datos de los registros, se utilizó un intervalo en los periodos de 0.02 segundos, aunque los registros originalmente tenían un intervalo de 0.005 segundos, se utilizó este rango para una mejor velocidad y practicidad en el Software, debido a que este puede tener una sobrecarga al realizar un análisis de varias iteraciones en cada punto de los registros.

Con Respecto al Análisis Tiempo- Historia

- Se definió la no linealidad en las cargas sísmicas, usando la función Tiempo- Historia correspondientes a los acelerogramas de los eventos sísmicos, y la no linealidad en los materiales, para garantizar el comportamiento más preciso de la estructura.
- Se obtuvieron los siguientes resultados como respuesta de la estructura a la aplicación de las cargas sísmicas:
 - Gráfico Fuerzas cortantes- Tiempo.
 - Gráfico Fuerzas cortantes- Desplazamientos.
 - Gráfico Desplazamientos- Tiempo.
 - Máximos Desplazamientos Laterales por Piso.
 - Modelo global de la estructura deformada a causa de la aplicación de las cargas sísmicas y rótulas plásticas.
- Del modelo global de la estructura deformada y rótulas plásticas, se puede hacer la evaluación de las respuestas de la estructura ante cada componente de los sismos, como se muestra en: Figura 146, Figura 147, Figura 154 y Figura 155; el software ETABS 20.0.0 da como resultado del procesamiento, la evaluación de cada rótula dentro de los

criterios de aceptación asignándole a cada criterio un color diferente, la interpretación de los resultados obtenidos del modelo global se tienen en la sección de análisis de respuesta para cada método de asignación de estas rótulas.

- Se realizó la comparación de los desplazamientos laterales correspondientes a cada método incluyendo los valores obtenidos del análisis modal espectral, teniendo valores mayores en este método, esto debido al tratamiento de los resultados descrito en la NTE 030 y considerando que el diseño que se hizo como muestra para la aplicación del método cumple con lo que dice la norma, aunque en la evaluación considerando los criterios de aceptación, en especial en lo obtenido con el método de fibras, se tienen la mayoría de rótulas plásticas en el rango de Prevención de Colapso.

RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones, se recomienda el estudio del análisis no lineal Tiempo-Historia con diferentes sistemas estructurales como los de muros estructurales o duales, ya que se tendrá un espectro de respuesta objetivo con mayores solicitaciones, además de una indagación más profunda con respecto a la no linealidad en este tipo de elementos.
- Para la aplicación de este método de análisis se recomienda un estudio completo para la selección de registros sísmicos considerando las propiedades mecánicas del suelo de donde se haya hecho la medición para la obtención de estos registros siendo relevante en la propagación de las ondas sísmicas y en la respuesta de la estructura.
- Además, se recomienda seguir con esta investigación considerando también el método de elementos finitos para la asignación de rótulas plásticas, profundizando en las diferencias con los métodos que se utilizaron en la presente tanto en su aplicación como en resultados.
- Finalmente, se recomienda para futuros proyectos de investigación la aplicación y descripción del procedimiento para añadir registros sísmicos sintéticos evaluando las diferencias y similitudes con la utilización de registros sísmicos reales.

REFERENCIAS

- Aguiar, R., Mora, D., & Rodríguez, M. (2015). Diagrama Momento-Curvatura y Momento- Rotación para Elementos de Hormigón. *Ciencia*, 39.
- Beer, F., Johnston, R., & DeWolf, J. (2013). *Mecánica de Materiales*.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras*. California, Estados Unidos.
- Chuquicahua Zelada, D. E. (2020). *ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO Y DINÁMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA SLB EN LA CIUDAD DE CHICLAYO*. Chiclayo, Perú.
- DeGarmo, P., Black , T., & Kohser, R. (1988). *Materiales y Procesos de Fabricación*.
- DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICIOS: BINOMIO CAPACIDAD-DEMANDA. (s.f.).
- Dr. Cendoya, P. (2011). *Apuntes Curso Dinámica de Estructuras*. Bio Bio, Chile.
- Esteba Apaza, A. E. (2017). *ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO NO LINEAL EN EL DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO DISEÑADO BAJO LA NORMA E-030 EN PUNO*. Puno, Perú.
- Gallegos Vicente, C. J. (2018). *COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO TIEMPO HISTORIA LINEAL ELÁSTICO Y MODAL ESPECTRAL*. Arequipa, Perú.
- Gálvez Chunas, V. A. (2011). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE USANDO ANÁLISIS NO LINEAL EN EL TIEMPO*. Lima, Perú.
- Gere, J., & Goodno, B. (2009). *Mecánica de Materiales: Séptima Edición*.
- GSHAP, G. H. (1999). *GLOBAL MAP*.
- Guallpa Uvidia, C. J. (2017). *ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL SAN SEBASTIÁN (SIGSIG), MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL*. Cuenca, Ecuador.
- Guerrero Verdugo, O., & Sánchez Cordero, F. J. (2015). *ANÁLISIS DINÁMICO LINEAL MEDIANTE UN MÉTODO SIMPLIFICADO Y UN MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DE UN TANQUE PARA CONTENCIÓN DE HIDROCARBUROS*. Cuenca Ecuador.

- Herráiz Sarachaga, M. (1997). *Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros*. Lima, Perú.
- Karnovsky, I. (2010). *Plastic Deformation and Fracture of Materials*. New York.
- Lafuente, M., Grases, J., & Genatios, C. (2014). *REVISIÓN DE LA NORMATIVA SÍSMICA EN AMÉRICA LATINA*. Caracas.
- Lui, W. C. (1991). *Principios de la Ingeniería Estructural*.
- Maldonado Tapia, R. A. (2012). *Sensibilidad y Seguridad de Estructuras de Hormigón en Régimen No Lineal*. Barcelona, España.
- Manquelaquén Villalobos, R. A. (2018). *ANÁLISIS SÍSMICO CON MÉTODOS MODAL ESPECTRAL Y TIEMPO HISTORIA PARA UN MODELO INTEGRADO DE TURBO GENERADOR DE 375 MW, NCh2369 ACTUALIZADA*. Santiago de Chile, Chile.
- Medina, R., & Music, J. (2018). *DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO HABITACIONAL ESTRUCTURADO EN BASE A MUROS DE HORMIGÓN ARMADO Y DISEÑADO SEGÚN NORMATIVA CHILENA*. Antofagasta.
- Moreno Iraola, L., & Agaoglou, M. (24 de Abril de 2021). MARY CARTWRIGHT, LA MATEMÁTICA QUE DESCUBRIÓ EL CAOS. *El País*.
- Muñoz Peláez, A. (2020). *Comentarios a la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima, Perú.
- Naeim, F. (2001). *Diseño Sismorresistente de Edificios*.
- Núñez Palacios, A. B. (2017). *DISEÑO POR DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA*. Ambato, Ecuador.
- Ocaña Peláez, A. P. (2016). *Análisis no lineal de un marco de un edificio de concreto reforzado, diseñado a ejes y con una excentricidad entre ejes*. Puebla, México.
- Pérez Zerpa, J., & Bruno Bazzano, J. (2017). *Introducción al Análisis No Lineal de Estructuras*. Montevideo, Uruguay.

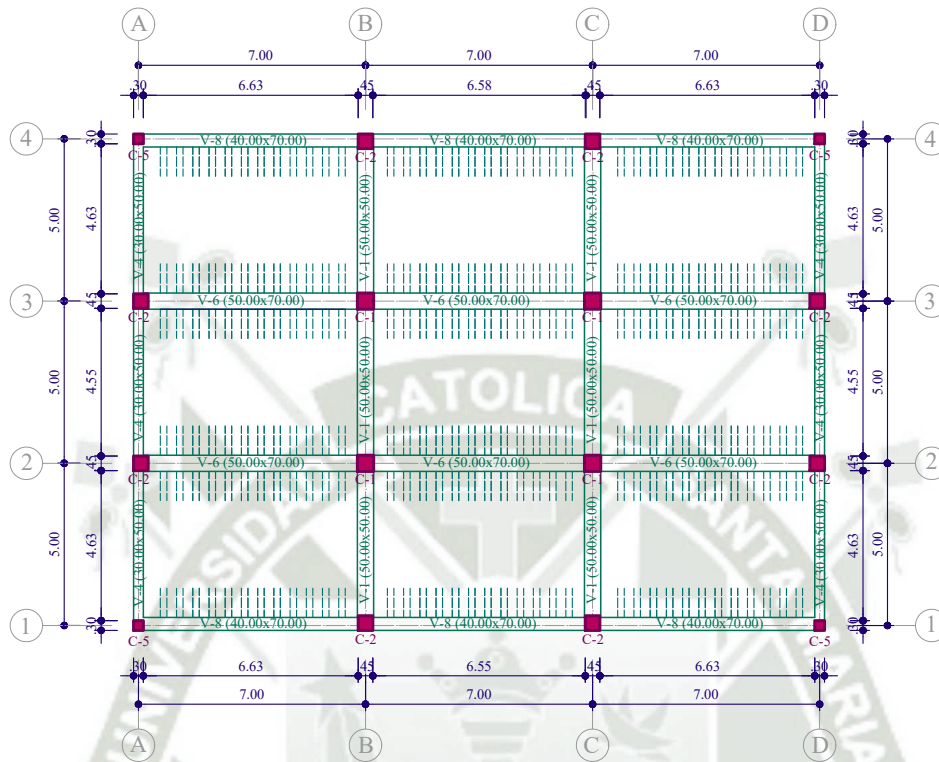
- Pérez-Gavilán, J. J., Aguirre, J., & Ramírez, L. (2018). *Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México*. Cuernavaca, México.
- Philpot, T. (2013). *Mechanics of Materials*.
- Purca, R. (2012). *TRADUCCIÓN DE MODELOS DE HISTERÉISIS- OTANI*.
- Quispe Cantolin, P. J. (2021). *COMPARACIÓN ENTRE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA EN SISMOS FRECUENTES Y ANÁLISIS ESPECTRAL PARA UN EDIFICIO DE VIVIENDA DE 14 PISOS*. Lima, Perú.
- SEAOC. (s.f.). *CAPÍTULO 3: DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS BINOMIO CAPACIDAD- DEMANDA*.
- SEAOC. (s.f.). *CAPÍTULO 6: DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES ESCENCIALES*.
- Urone, P. P., & Hinrichs, R. (2013). *Oscillatory Motion and Waves*.
- USACH. (2018). *Deflexión en Vigas*. Santiago, Chile.
- USGS. (2012). *Historical perspective*.
- Valencia Vásconez, J. D. (2012). *Análisis del método “Modal Push-Over” y su incidencia en el cálculo de pórticos de hormigón armado en el cantón de Ambato*. Ambato, Ecuador.
- Velásquez Londoño, C. (2017). *Evaluación Experimental de la Longitud de Rotación*.
- Vielma, J., & Cando, M. (2014). El efecto P-delta y su influencia sobre la ductilidad de las estructuras.
- Vivienda, M. d. (2018). *NTE 030 Diseño Sismorresistente*. Perú.
- Vortize. (s.f.). *Vortize Arquitectos*. Obtenido de <http://www.vortize.com/blog/diagramas-momento-curvatura/>
- Zhou, e. (s.f.). *Nonlinear Finite Element Analysis for Materials Science: Recent Developments and Future Directions*.



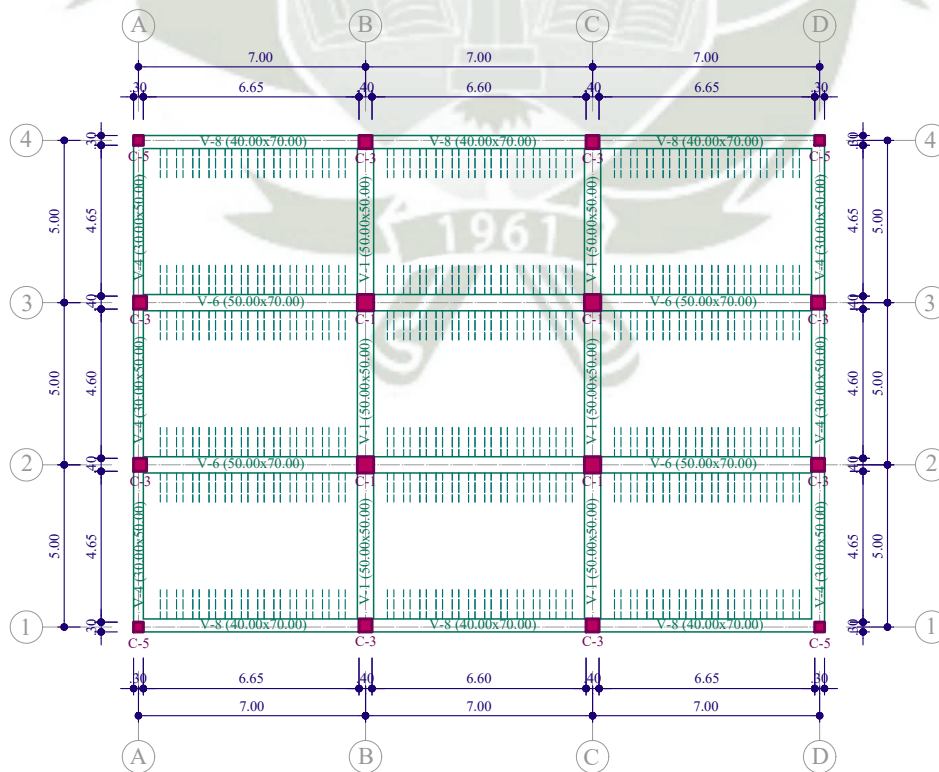


ANEXO 1:
PREDIMENSIONAMIENTO DE PLANTAS

Predimensionamiento- Niveles 1 y 2

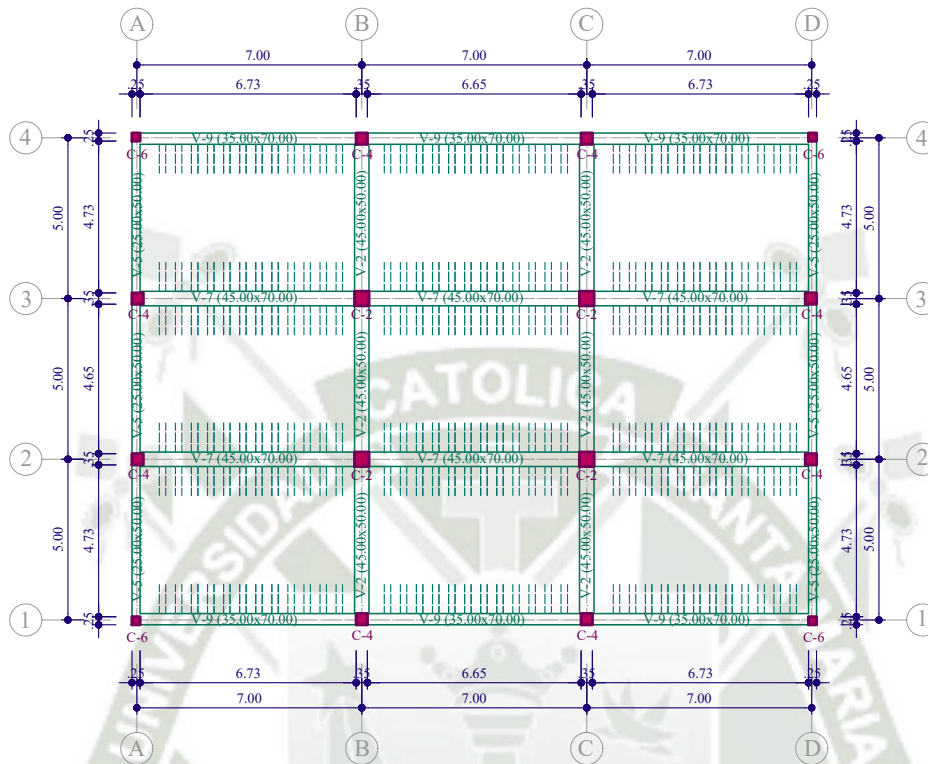


Predimensionamiento- Nivel 1
Ese 1:50



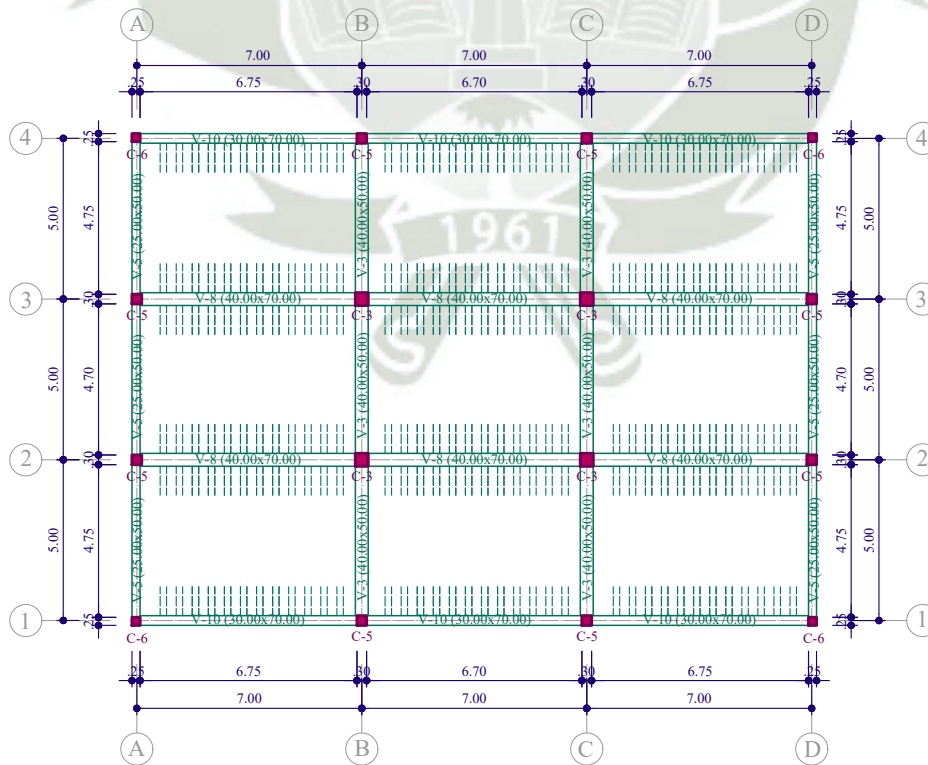
Predimensionamiento- Nivel 2
Ese 1:50

Predimensionamiento- Niveles 3 y 4



Predimensionamiento- Nivel 3

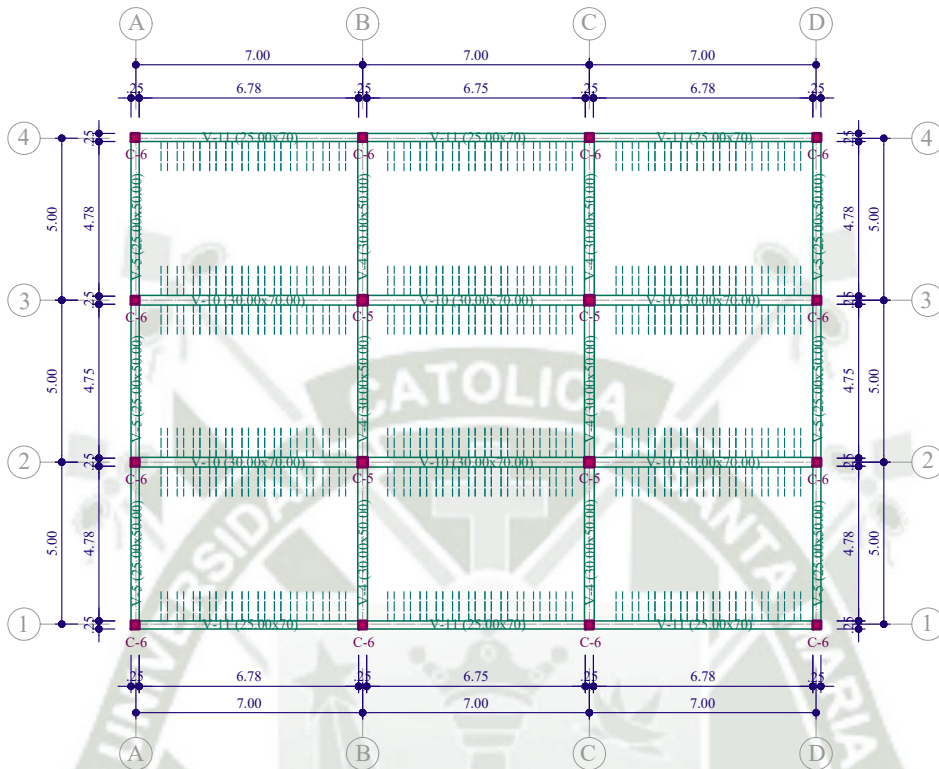
Esc 1:50



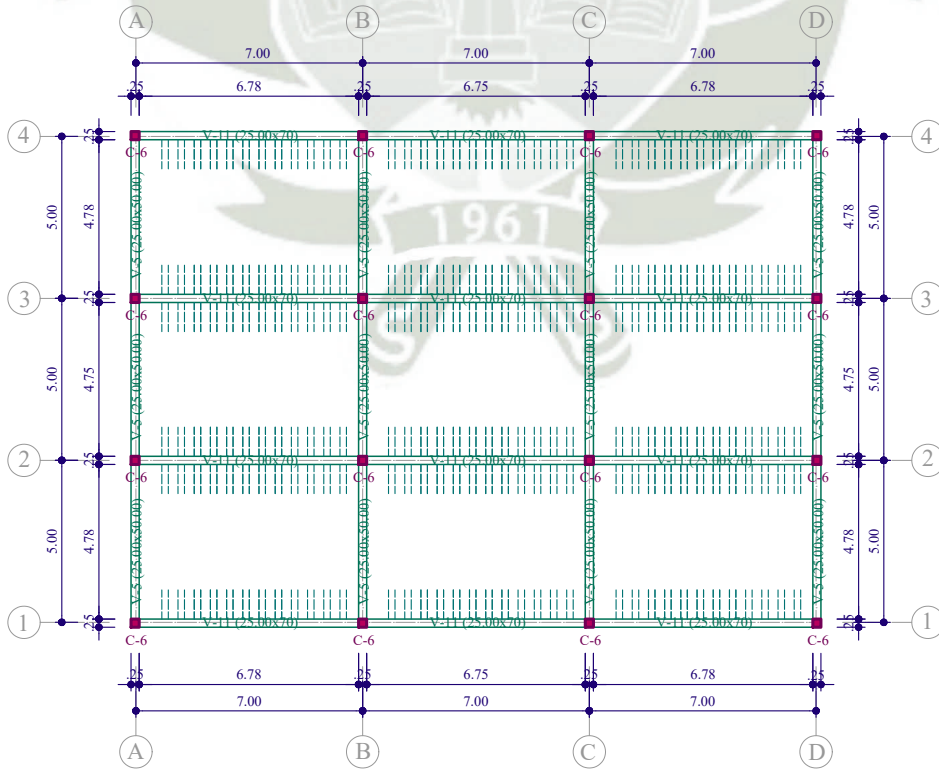
Predimensionamiento- Nivel 4

Esc 1:50

Predimensionamiento- Niveles 5 y 6



Predimensionamiento- Nivel 5
Esc 1:50

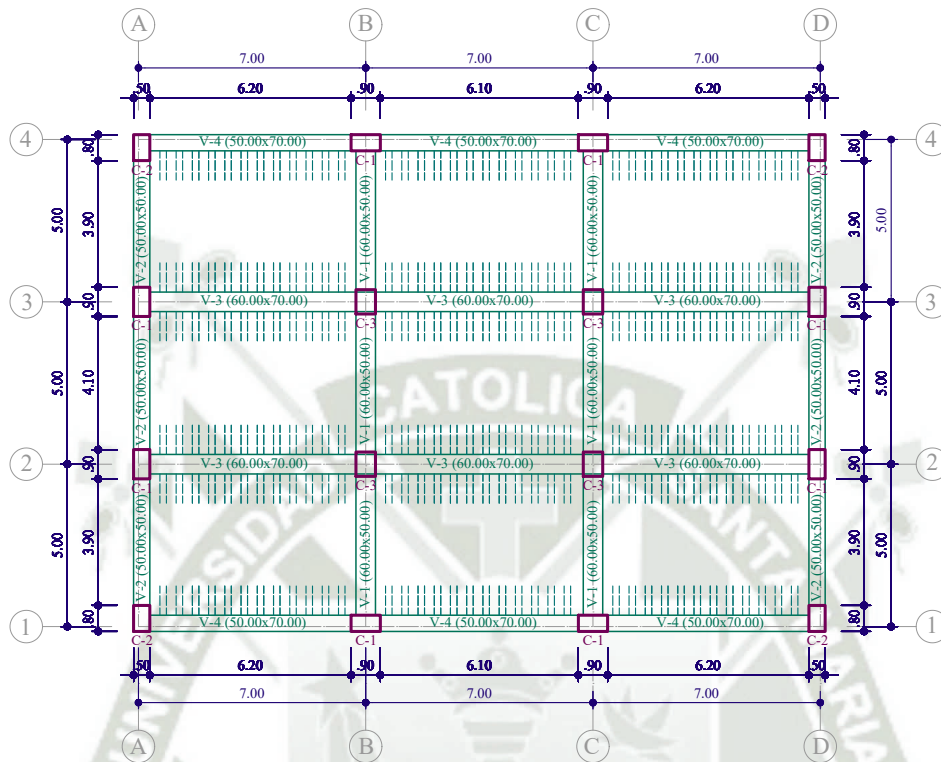


Predimensionamiento- Nivel 6
Esc 1:50

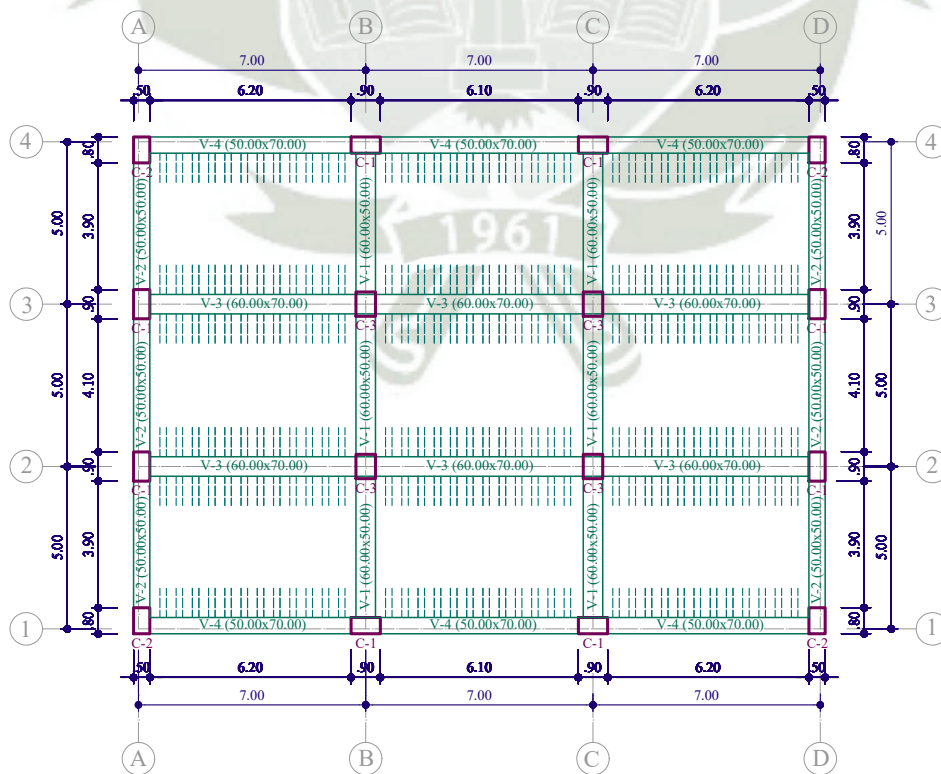


ANEXO 2:
ESTRUCTURACIÓN DE PLANTAS

Estructuras - Niveles 1 y 2

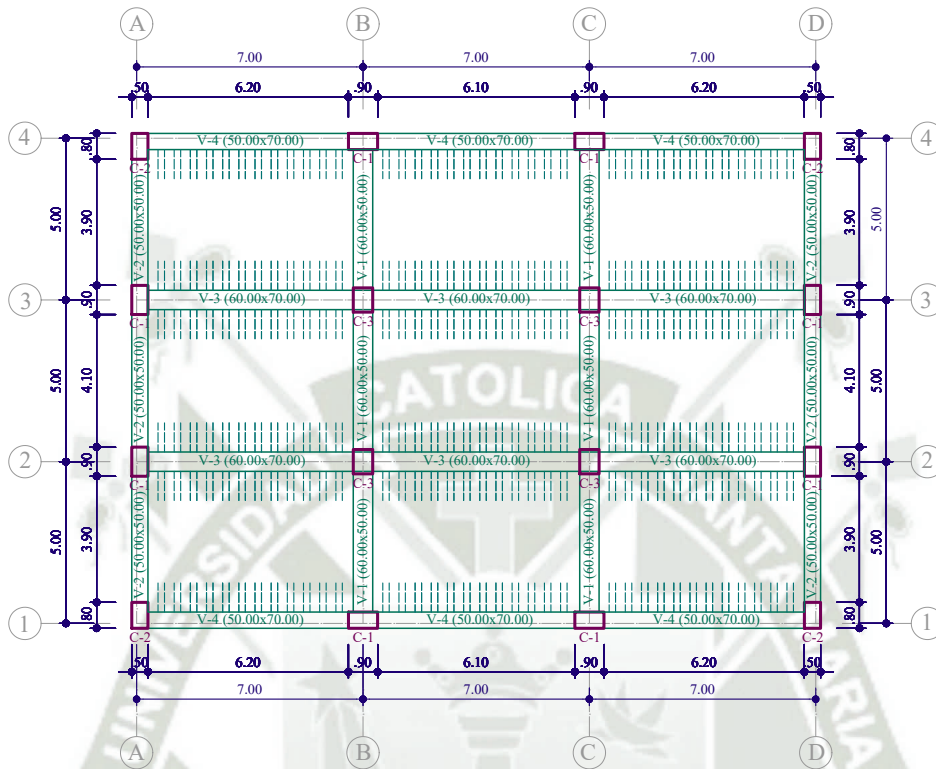


Diseño- Nivel 1
Esc 1:50

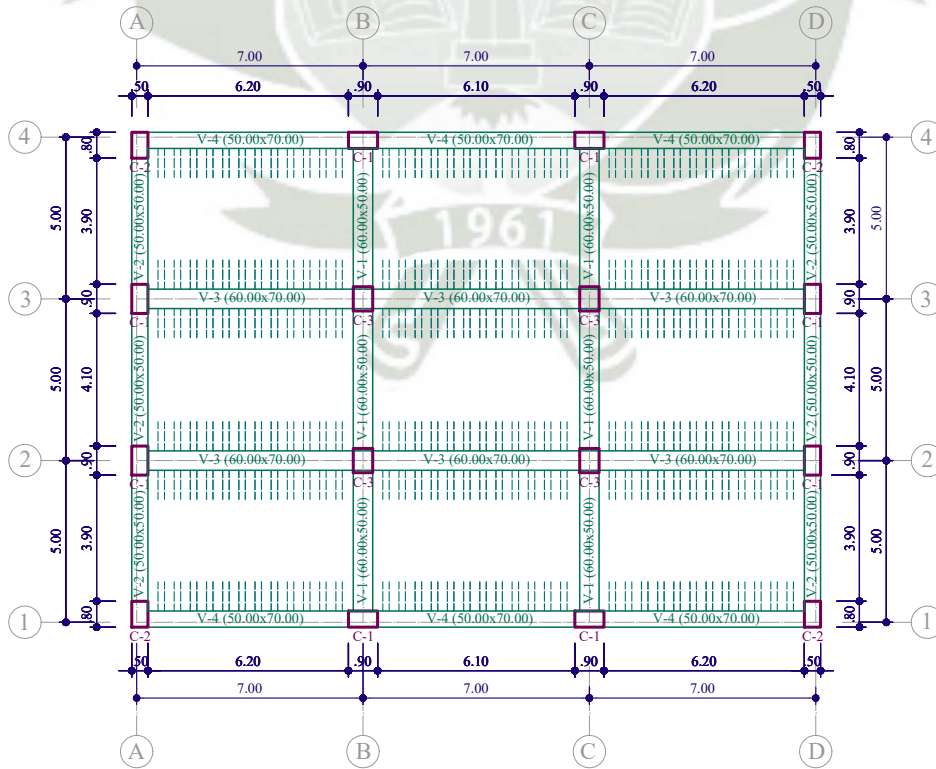


Diseño- Nivel 2
Esc 1:50

Estructuras - Niveles 3 y 4

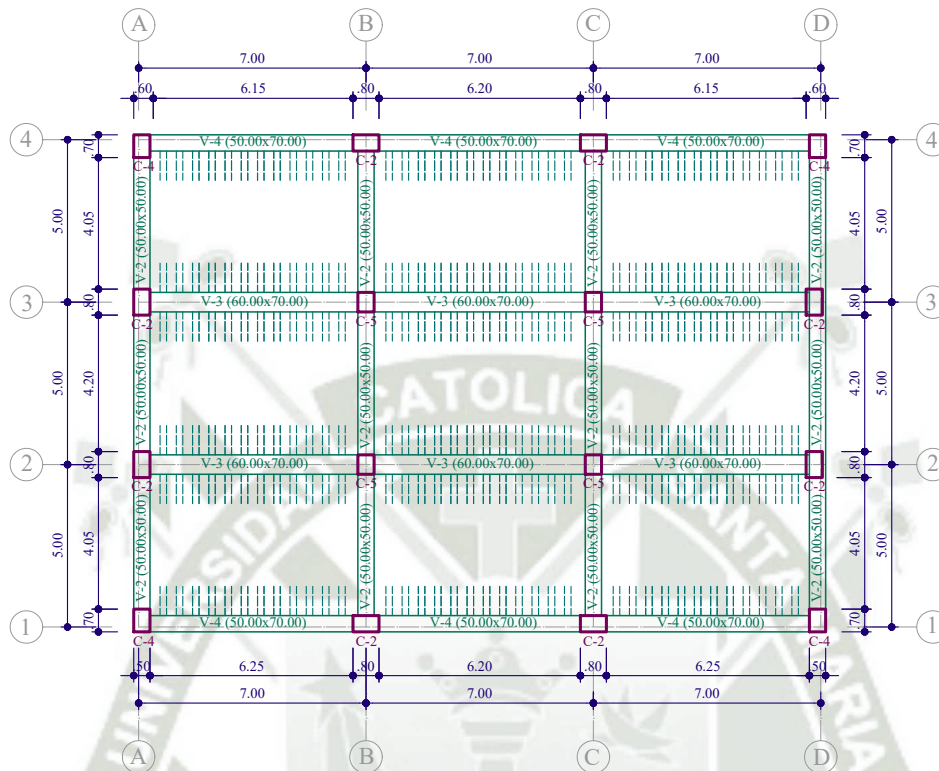


Diseño- Nivel 3
Esc 1:50

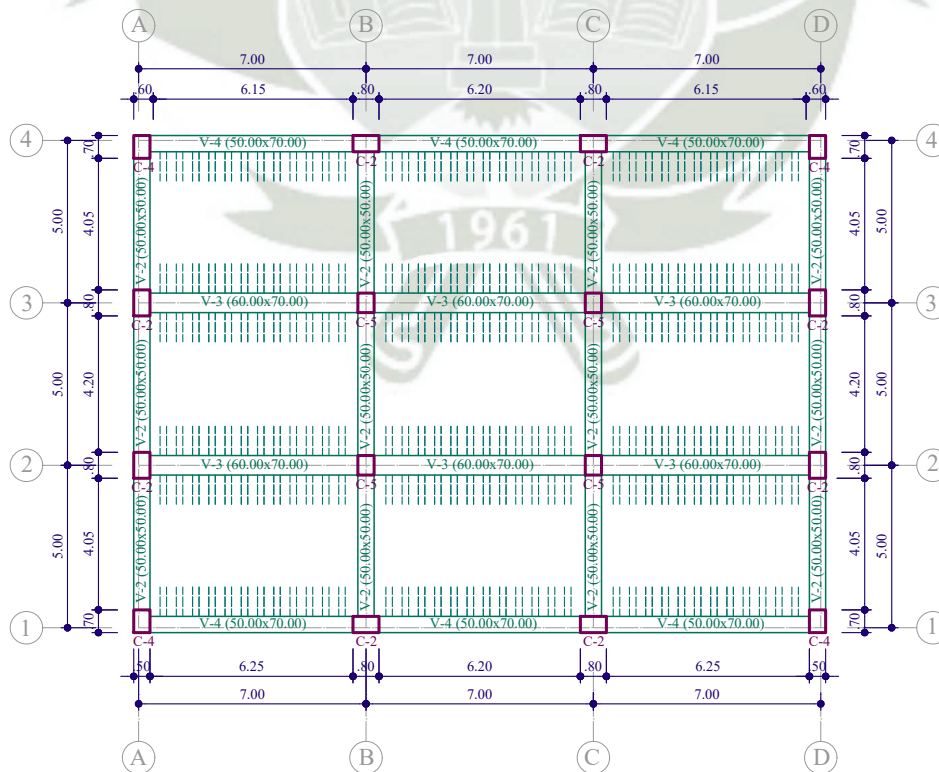


Diseño- Nivel 4
Esc 1:50

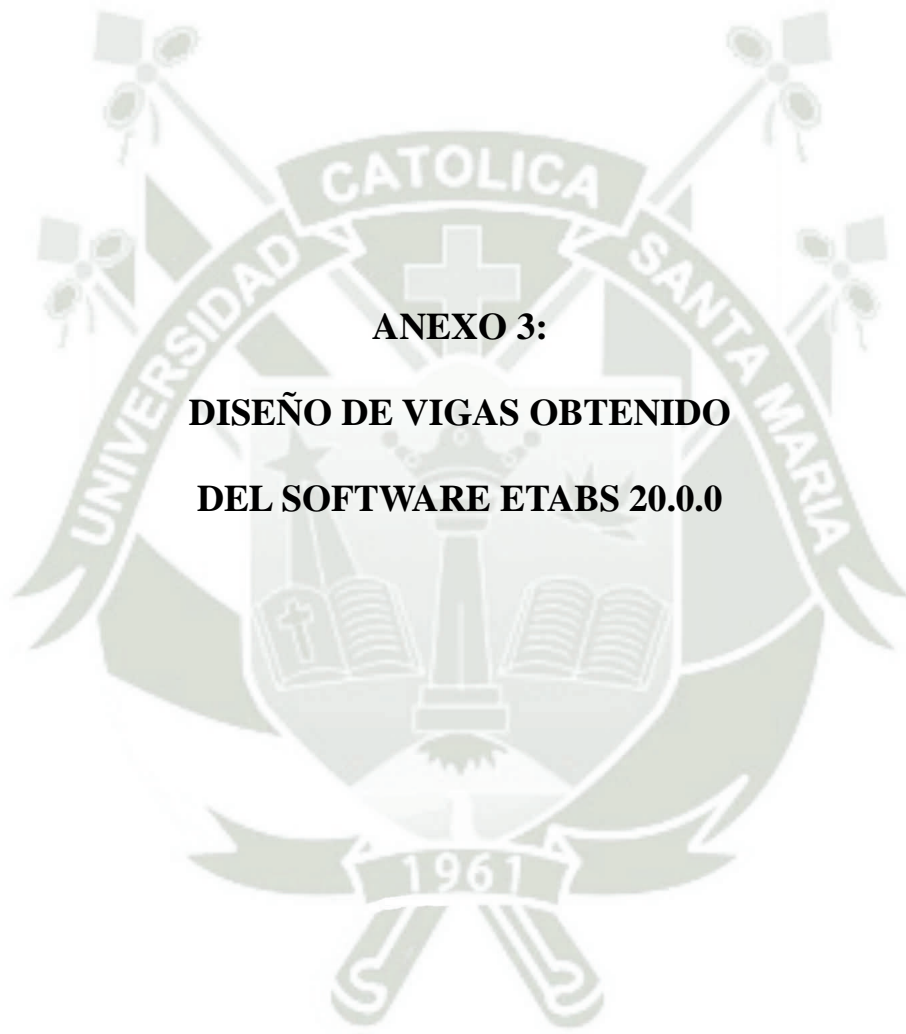
Estructuras - Niveles 5 y 6



Diseño- Nivel 5
Esc 1:50



Diseño- Nivel 6
Esc 1:50

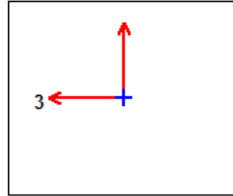


ANEXO 3:

**DISEÑO DE VIGAS OBTENIDO
DEL SOFTWARE ETABS 20.0.0**

ETABS Concrete Frame Design

ACI 318-14 Beam Section Design (Summary)



Beam Element Details

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (cm)	LLR F	Type
N +6.00	B4	202	V-1 (60x50)	Envolv ente	25	500	1	Sway Intermediate

Section Properties

b (cm)	h (cm)	b _f (cm)	d _s (cm)	d _{ct} (cm)	d _{cb} (cm)
60	50	60	0	4	4

Material Properties

E _c (kgf/cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	Lt. Wt Factor (Unitless)	f _y (kgf/cm ²)	f _{ys} (kgf/cm ²)
252671.33	280	1	4218.42	4218.42

Design Code Parameters

φ _T	φ _{CTied}	φ _{CSpiral}	φ _{Vns}	φ _{Vs}	φ _{Vjoint}
0.9	0.65	0.75	0.75	0.6	0.85

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{u3}

	Design Moment kgf-m	Design P _u kgf	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	-21112.95	0	12.6	0	9.2	12.6
Bottom (-2 Axis)	16947.54	0	0	10.03	9.2	10.03

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{u2}

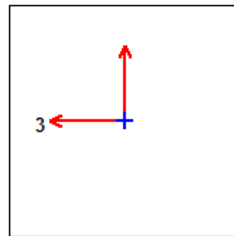
Shear V_{u2}	Shear ϕV_c	Shear ϕV_s	Shear V_p	Rebar A_v / s
kgf	kgf	kgf	kgf	cm ² /cm
14076.47	18368.7	7276.77	9574.05	0.05

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_u

T_u	ϕT_{th}	ϕT_{cr}	Area A_o	Perimeter, p_h	Rebar A_t / s	Rebar A_t
kgf-m	kgf-m	kgf-m	cm ²	cm	cm ² /cm	cm ²
553.85	1361.32	5445.27	1785.96	184.44	0	0

ETABS Concrete Frame Design

ACI 318-14 Beam Section Design (Summary)



Beam Element Details

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Leng th (cm)	LLR F	Type
N +6.00	B10	211	V-2 (50x50)	Envolvente	40	500	1	Sway Intermediate

Section Properties

b (cm)	h (cm)	b_f (cm)	d_s (cm)	d_{ct} (cm)	d_{cb} (cm)
50	50	50	0	4	4

Material Properties

E_c	f_c	Lt. Wt Factor	f_y	f_{ys} (kgf/cm ²)
(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(Unitless)	(kgf/cm ²)	
252671.33	280	1	4218.42	4218.42

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_{CTied}	$\phi_{CSpiral}$	ϕ_{Vns}	ϕ_{Vs}	ϕ_{Vjoint}
0.9	0.65	0.75	0.75	0.6	0.85

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{u3}

	Design Moment kgf-m	Design P_u kgf	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	-17800.43	0	10.63	0	7.67	10.63
Bottom (-2 Axis)	15275.99	0	0	9.06	7.67	9.06

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{u2}

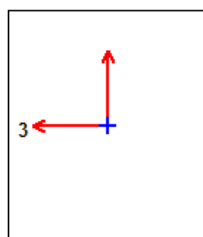
Shear V_{u2} kgf	Shear ϕV_c kgf	Shear ϕV_s kgf	Shear V_p kgf	Rebar A_v / s cm ² /cm
11705.06	15307.25	6063.98	8762.25	0.04

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_u

T_u kgf-m	ϕT_{th} kgf-m	ϕT_{cr} kgf-m	Area A_o cm ²	Perimeter, p_h cm	Rebar A_t / s cm ² /cm	Rebar A_l cm ²
477.09	1039.89	4159.58	1436.53	164.44	0	0

ETABS Concrete Frame Design

ACI 318-14 Beam Section Design (Summary)



Beam Element Details

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (cm)	LL RF	Type
N +6.00	B16	220	V-3 (60x70)	Envolvente	25	700	0.8	Sway
							45	Intermediate

Section Properties

b (cm)	h (cm)	b _f (cm)	d _s (cm)	d _{ct} (cm)	d _{cb} (cm)
60	70	60	0	4	4

Material Properties

E _c (kgf/cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	Lt. Wt Factor (Unitless)	f _y (kgf/cm ²)	f _{ys} (kgf/cm ²)
252671.33	280	1	4218.42	4218.42

Design Code Parameters

φ _T	φ _{CTied}	φ _{CSpiral}	φ _{Vns}	φ _{Vs}	φ _{Vjoint}
0.9	0.65	0.75	0.75	0.6	0.85

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{u3}

	Design Moment kgf-m	Design P _u kgf	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	-38419.82	0	15.9	0	13.2	15.9
Bottom (-2 Axis)	18034.23	0	0	7.32	9.76	9.76

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{u2}

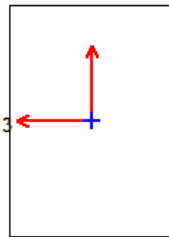
Shear V _{u2} kgf	Shear φV _c kgf	Shear φV _s kgf	Shear V _p kgf	Rebar A _v /s cm ² /cm
26667.36	26355.1	312.26	10696.27	1.495E-03

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_u

T_u	ϕT_{th}	ϕT_{cr}	Area A_o	Perimeter, p_h	Rebar A_t / s	Rebar A_l
kgf-m	kgf-m	kgf-m	cm ²	cm	cm ² /cm	cm ²
5472.91	2257.69	9030.77	2654.83	224.44	0.03	14.78

ETABS Concrete Frame Design

ACI 318-14 Beam Section Design (Summary)



Beam Element Details

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (cm)	Type
N +6.00	B23	218	V-4 (50x70)	Envolvente	45	700	Sway Intermediate

Section Properties

b (cm)	h (cm)	b_f (cm)	d_s (cm)	d_{ct} (cm)	d_{cb} (cm)
50	70	50	0	4	4

Material Properties

E_c	f'_c	Lt. Wt Factor	f_y	f_{ys} (kgf/cm ²)
(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(Unitless)	(kgf/cm ²)	
252671.33	280	1	4218.42	4218.42

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_{CTied}	$\phi_{CSpiral}$	ϕ_{Vns}	ϕ_{Vs}	ϕ_{Vjoint}
0.9	0.65	0.75	0.75	0.6	0.85

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{u3}

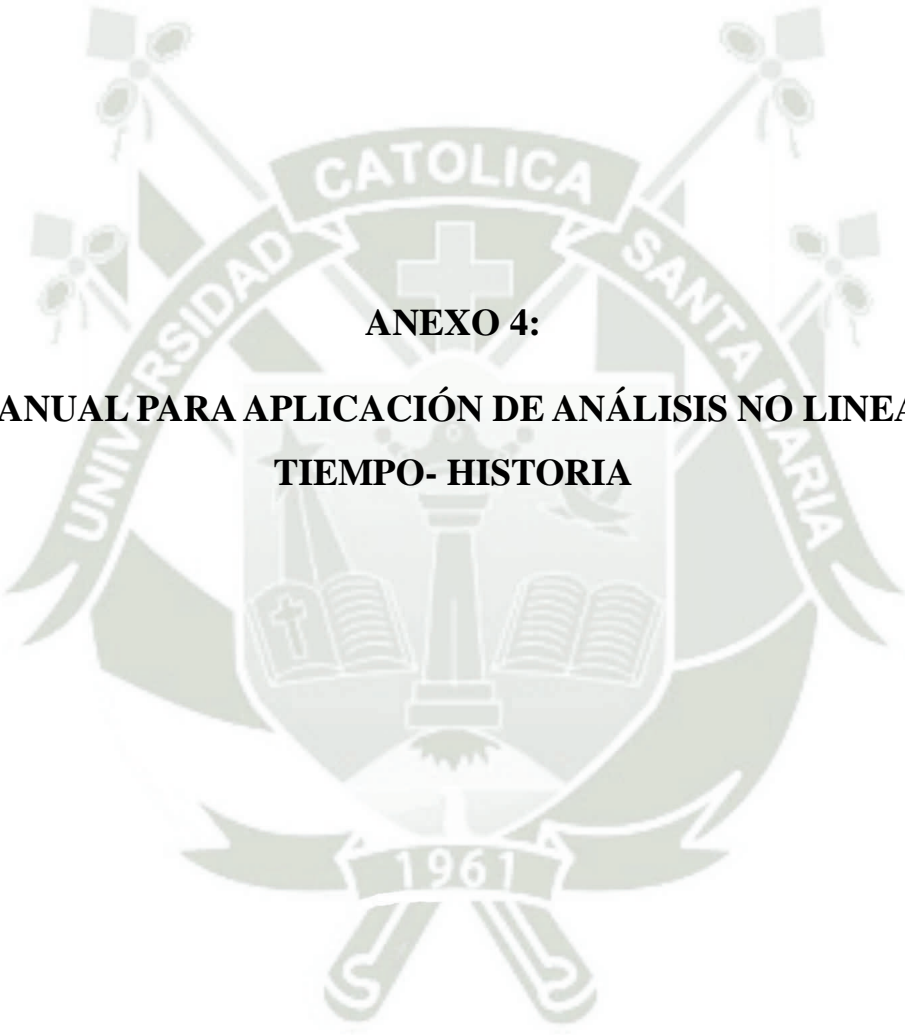
	Design Moment kgf-m	Design P_u kgf	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	-30459.87	0	12.58	0	11	12.58
Bottom (-2 Axis)	19143.8	0	0	7.8	10.4	10.4

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{u2}

Shear V_{u2}	Shear ϕV_c	Shear ϕV_s	Shear V_p	Rebar A_v / s
kgf	kgf	kgf	kgf	cm ² /cm
20204	21962.58	0	10164.45	0

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_u

T_u	ϕT_{th}	ϕT_{cr}	Area A_o	Perimeter, p_h	Rebar A_t / s	Rebar A_1
kgf-m	kgf-m	kgf-m	cm ²	cm	cm ² /cm	cm ²
6085.02	1698.5	6793.98	2135.4	204.44	0.05	9.21



ANEXO 4:
MANUAL PARA APLICACIÓN DE ANÁLISIS NO LINEAL
TIEMPO- HISTORIA

MANUAL PARA APLICACIÓN DE ANÁLISIS NO LINEAL TIEMPO HISTORIA

PRESENTADO POR:
ANTUANÉ MILAGROS TALAVERA FLORES



1. CAPÍTULO I: TRATAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

1.1.	<i>Reducción de la Rigidez.</i>	1
1.1.1.	<i>Reducción de la Rigidez en Columnas.</i>	2
1.1.2.	<i>Reducción de la Rigidez en Vigas.</i>	6
1.2.	<i>Diagrama de Interacción.</i>	8
1.3.	<i>Rótulas Plásticas.</i>	14
1.3.1.	<i>Diagrama Momento- Curvatura.</i>	14
1.3.2.	<i>Método de Coeficientes para Rótulas Plásticas.</i>	28
1.3.3.	<i>Método de Fibras para Rótulas Plásticas.</i>	48

2. CAPÍTULO II: TRATAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS

2.1.	<i>Espectro Objetivo.</i>	51
2.2.	<i>Registros Compatibles.</i>	52
2.3.	<i>Procesamiento de Registros Sísmicos.</i>	53
2.3.1.	<i>Corrección de Línea Base y Filtrado.</i>	53
2.3.2.	<i>Escalamiento o Ajuste del Registro.</i>	57

3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS NO LINEAL TIEMPO- HISTORIA

3.1.	<i>Definición de la Función Tiempo- Historia.</i>	64
3.2.	<i>Definición de la carga Sísmica.</i>	66
3.3.	<i>Definición de la no Linealidad Geométrica.</i>	68
3.4.	<i>Definición de la no Linealidad de Materiales.</i>	73

4. CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.	<i>Resultados de Método de Coeficientes para Rótulas Plásticas.</i>	69
4.2.	<i>Resultados de Método de Fibras para Rótulas Plásticas.</i>	77

PRESENTACIÓN

El presente manual es una recopilación bibliográfica incluyendo normas, códigos, libros y apuntes referentes a procedimientos para la aplicación del Análisis no lineal Tiempo Historia empleando tanto cálculos manuales como el uso del software de análisis ETABS. Se tiene como objetivo sistematizar los procedimientos de análisis y de esta forma desarrollar una metodología con la cual se realice este método de análisis con una mayor eficiencia y facilidad.

ALCANCE

El manual tiene como alcance el análisis en estructuras con un sistema estructural aporticado de concreto armado, pudiendo analizar vigas y columnas con el empleo del software ETABS.

Al ser un proceso de verificación, se necesita que exista un diseño estructural y análisis lineal previo, acompañado del modelo respectivo para sobre él, aplicar los procedimientos correspondientes al Análisis no lineal Tiempo Historia.

INTRODUCCIÓN

El Análisis no lineal Tiempo Historia se emplea como un procedimiento complementario para el diseño sismorresistente de estructuras, en este caso se especificará como herramienta para la verificación del diseño en estructuras de concreto armado con sistema de pórticos; este método es importante especialmente en zonas donde se tiene un riesgo sísmico elevado, ya que permite el análisis del comportamiento dinámico de la edificación durante el sismo.

Al tener un análisis utilizando registros sísmicos reales se pueden identificar los puntos críticos de la estructura a consecuencia del mismo, además de verificar su el dimensionamiento de sus elementos estructurales es el adecuado para garantizar su estabilidad y seguridad en caso se presenten cargas sísmicas similares.

En este manual se explicará de manera detallada las principales consideraciones y pasos que se deben seguir para realizar un análisis no lineal tiempo historia en estructuras de concreto armado, con el fin de garantizar un adecuado desempeño sísmico de las mismas.

Ag	: Área gruesa (área de la sección del elemento).
Ast	: Área total de acero.
As	: Área de acero en tracción.
A's	: Área de acero en compresión.
Cc	: Fuerza de compresión del concreto.
Cs	: Fuerza de compresión del acero.
Es	: Módulo de elasticidad del acero.
Fcc	: Esfuerzo de compresión del concreto.
Fs	: Fuerza del acero.
f'c	: Resistencia a compresión del concreto.
fy	: Límite de fluencia del acero.
fs	: Esfuerzo del acero.
fcc	: Esfuerzo del concreto en compresión.
fct	: Esfuerzo del concreto en tracción.
fr	: Módulo de rotura del concreto.
Ie	: Inercia del elemento.
IO	: Ocupación Inmediata
LS	: Seguridad de vida
CP	: Prevención de Colapso
My	: Momento flector en estado de fluencia.
S	: Separación entre estribos.
Ts	: Fuerza de tracción del acero.
Vs	: Fuerza cortante máxima.
Vu	: Cortante actuante.

- β_1 : Factor de reducción.
- ϵ_y : Deformación unitaria de fluencia en el acero.
- ϵ_{cc} : Deformación unitaria del concreto en compresión.
- ϵ_{ct} : Deformación unitaria del concreto en tracción.
- ϵ_{cu} : Deformación última del concreto.
- ϵ_s : Deformación unitaria de acero en tracción.
- ϵ'_s : Deformación unitaria de acero en compresión.
- ϵ_r : Deformación unitaria de rotura.
- ρ : Cuantía para acero en tracción.
- ρ' : Cuantía de acero en compresión.
- ρ_b : Cuantía balaceada.
- $\rho_{b'}$: Cuantía balaceada para sección doblemente reforzada.
- Θ_y : Rotación en estado de fluencia.
- Θ_u : Rotación última.
- Θ_r : Rotación residual.
- Φ_y : Curvatura en estado de fluencia.
- Φ_u : Curvatura última.
- Φ_r : Curvatura residual.

1. CAPÍTULO I: Tratamiento de la Estructura.

Al tratarse de un método que permite la verificación del diseño estructural existente de una edificación, es necesario el modelo y análisis lineal de la estructura realizado con anterioridad, esta herramienta permitirá el obtener la respuesta sísmica de la estructura frente a aceleraciones aplicadas al terreno.

Para garantizar un análisis correcto, se deben definir algunos criterios en la estructura. Al realizar un análisis no lineal que además es inelástico, se debe permitir que tanto vigas como columnas sufran deformaciones inelásticas cuando estén sometidas a las cargas sísmicas a las que se verán expuestas en el procedimiento del Análisis Tiempo Historia, por lo que, el tratamiento de la estructura tiene como objetivo evitar la falla de la estructura.

1.1. Reducción de la Rigidez

Se hace la reducción de rigideces en la estructura de concreto armado analiza para así mejorar el comportamiento y desempeño sísmico en la estructura, al reducir la rigidez de cada elemento estructural, se reduce la cantidad de energía que se transmite a través de ellos mientras esta ocurriendo el evento sísmico, lo cual minimiza el riesgo de que exista daño en la estructura o que llegue al colapso.

De igual forma, la reducción de la rigidez puede mejorar la capacidad de deformación plástica de los elementos, lo cual genera que se disminuya la probabilidad de fallo en caso la estructura absorba una mayor cantidad de energía durante el sismo establecido.

Para el análisis no lineal, como primer paso se debe hacer la reducción de rigideces en los elementos estructurales, tomando los porcentajes de estas según se estipule en las normas correspondientes:

- Normas FEMA 440 y ATC 40:

Elemento	Flexión	Corte
Vigas	50%	40%
Columnas	70%	40%

- Normas ASCE 41-17:

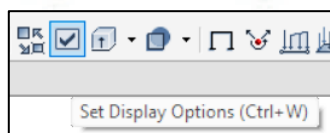
Elemento	Flexión	Corte
Vigas	30%	40%
Columnas $P \geq 0.5f'cAg$	70%	40%
Columnas $P \leq 0.1f'cAg$	30%	40%

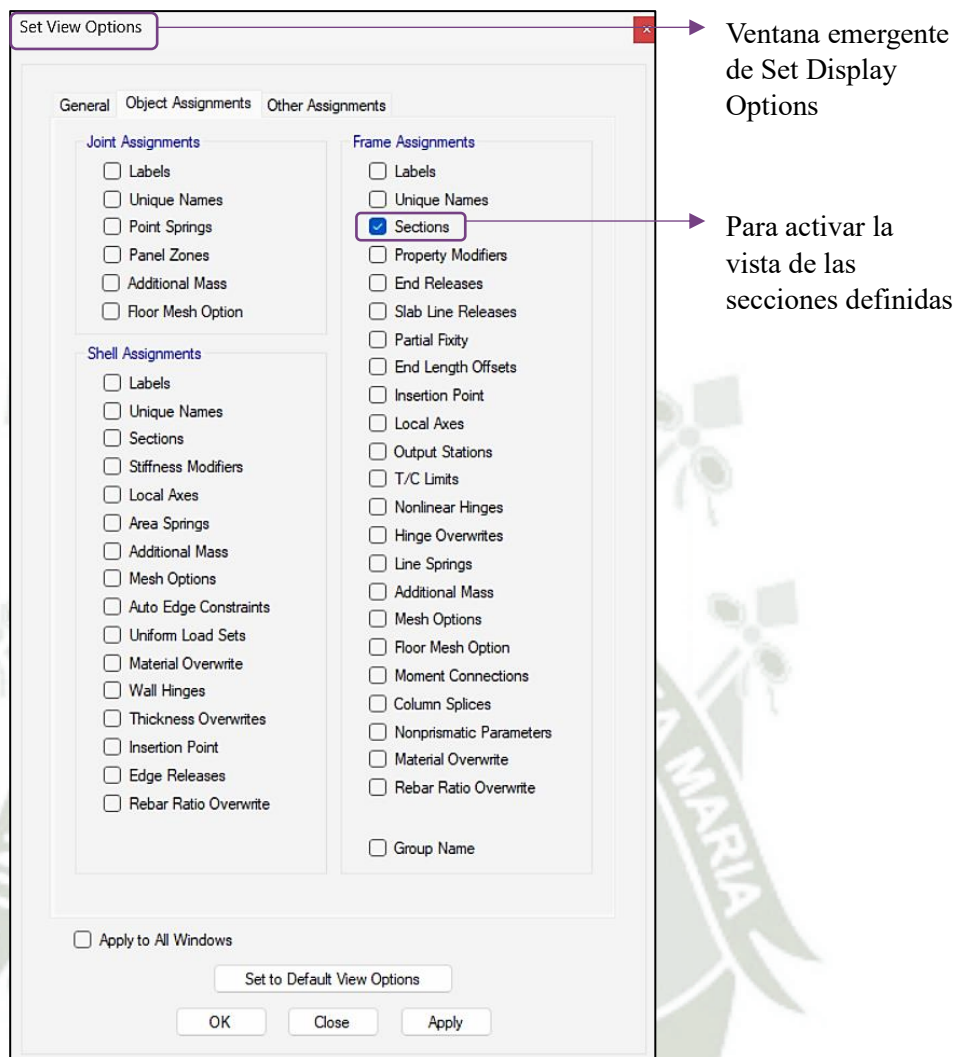
Considerando la combinación de cargas 1.4D+1.7L para el valor de P; si este tiene un valor que se encuentra entre ambas condiciones, se realiza una interpolación lineal para la determinación del porcentaje de reducción.

1.1.1. Reducción de la Rigidez en Columnas

En el caso de columnas, las Normas FEMA 440 y ATC 40 señalan un porcentaje de reducción constante de 70% para flexión y 40% para corte; sin embargo, la Norma ASCE 41-17 indica dos condiciones que dependen de la carga P que sufre la columna, la cual se obtiene del modelo en el software.

- Para obtener P en columnas del modelo en ETABS:
 - En una de las ventanas de trabajo del software seleccionar en vista de elevación el pórtico que va a analizarse:
 - Show Elevation View > Aplicar la selección del pórtico.
 - Activar la vista de sección de cada elemento para facilitar la obtención del valor de la fuerza P con la columna correspondiente:
 - Set Display Options > Object Assignments > Frame Assignments > Activar opción Section > Apply > Ok.



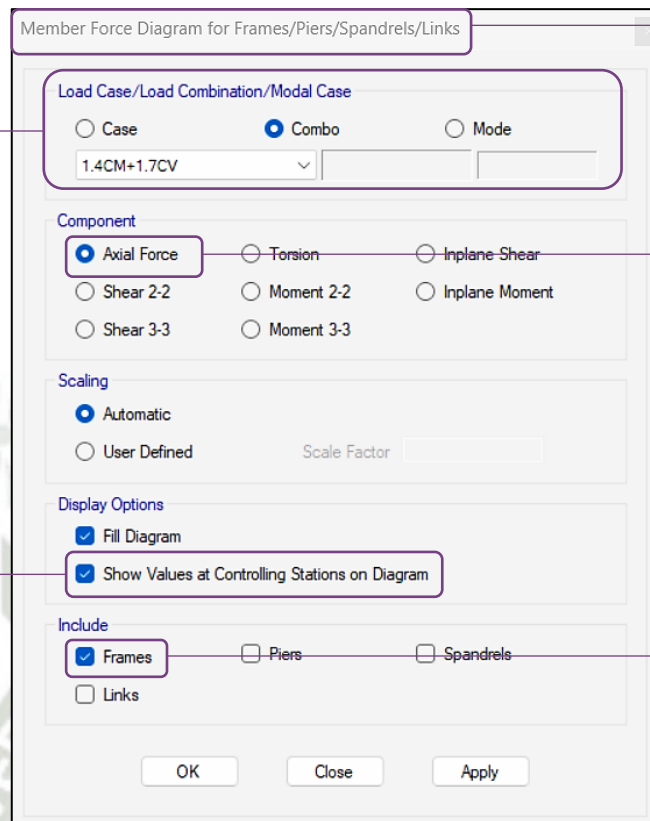


- En la ventana de trabajo que queda obtener el diagrama para la fuerza vertical P, usando la combinación 1.4D+1.7L definida anteriormente para el análisis lineal, está combinación se señala en la Norma E.060 para diseño de concreto armado:
 - Run Analysis > Display Frame/ Pier/ Spandrel/ Link Forces > en Load Case/ Load combination/ Modal Case activar la opción Combo y seleccionar la combinación 1.4D+1.7L > en Component activar la opción Axial Force > en Display Options activar la opción Show Values at Controlling Stations on Diagram > en Include activar la opción Frames.



Para seleccionar la combinación de la que se requieren los resultados

Para activar la vista de los valores correspondientes a la combinación

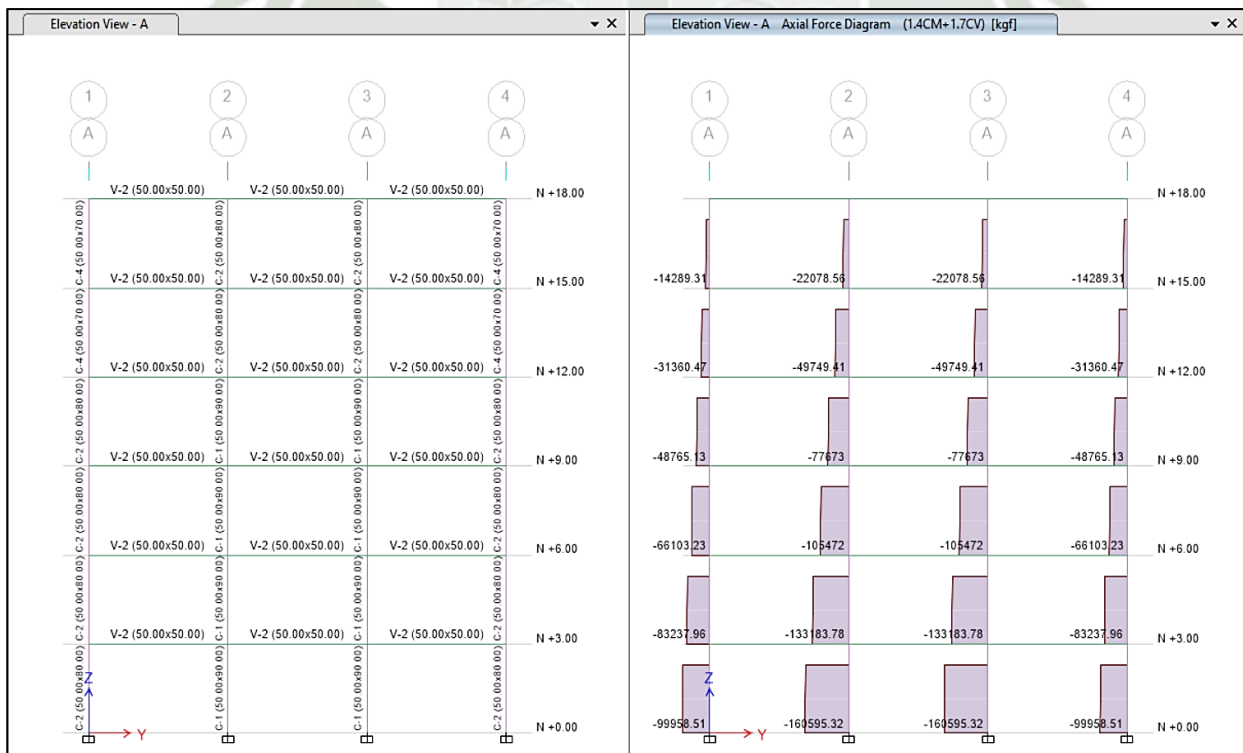


Ventana emergente de Display Frame/ Pier/ Spandrel/ Link Forces

Fuerza Axial

Tipo de elementos de los que se obtendrán los resultados

— Imagen ejemplo del resultado siguiendo los pasos descritos:



- Calcular de las condiciones señaladas en la norma para determinar el porcentaje de reducción de rigidez:
 - Para el mejor entendimiento del procedimiento, se tomará una columna como ejemplo, considerando una resistencia a la compresión del concreto de la estructura de 280 kgf/cm²:
 - Columna C-1 (50.00x90.00) en el primer nivel ubicada en el eje 2 del pórtico A:

Primera condición:

$$P \geq 0.5f'cAg$$

$$0.5f'cAg = 0.5 * 280 \text{ kgf/cm}^2 * 50 \text{ cm} * 90 \text{ cm}$$

$$0.5f'cAg = 630000 \text{ Kgf} = 630.00 \text{ Tnf}$$

Segunda condición:

$$P \leq 0.1f'cAg$$

$$0.1f'cAg = 0.1 * 280 \text{ kgf/cm}^2 * 50 \text{ cm} * 90 \text{ cm}$$

$$0.1f'cAg = 126000 \text{ Kgf} = 126.00 \text{ Tnf}$$

Fuerza vertical en P obtenida con el software:

$$P = 160595.32 \text{ kgf} = 160.60 \text{ Tnf}$$

El valor de P correspondiente a la columna se encuentra entre ambas condiciones, por lo que se requiere hacer una interpolación lineal con los porcentajes correspondientes a cada condición en caso de flexión:

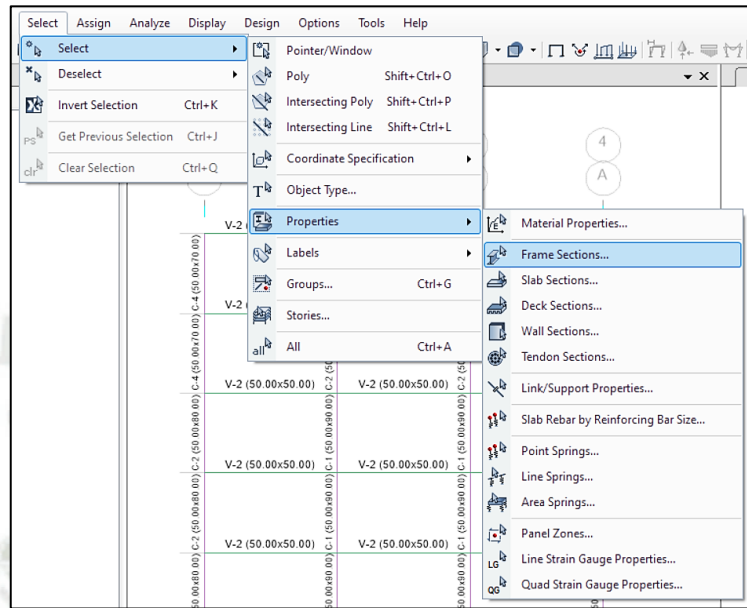
$$\frac{70\% - 30\%}{0.5f'cAg - 0.1f'cAg} = \frac{70\% - x}{0.5f'cAg - P}$$

$$\frac{40\%}{630.00 - 126.00} = \frac{70\% - x}{630.00 - 160.00}$$

$$x = 33\%$$

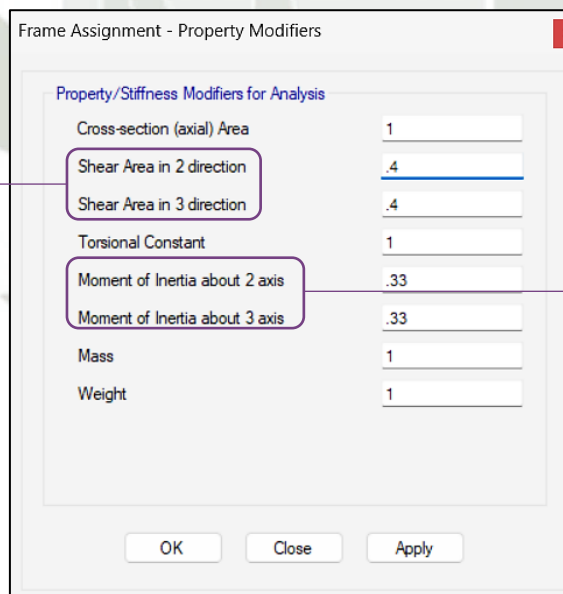
- Este procedimiento se repite para cada columna de la estructura, de esta forma se obtienen sus porcentajes de reducción de rigidez.
- Asignar los porcentajes de reducción de rigidez a cada columna:
 - Seleccionar la columna a la que se le asignará el porcentaje haciendo click sobre ella.
 - Asignar el porcentaje de reducción a la columna:

- Menú Select > Properties > Frame Sections.



- De la ventana emergente de Frame Sections cambiar los factores de Shear Area in 2 direction y Shear Area in 3 direction para la reducción en cortante; y los factores de Moment of Inertia about 2 axis y Moment of Inertia about 3 axis para flexión.

Cambiar con porcentajes para cortante



Cambiar con porcentajes para flexión

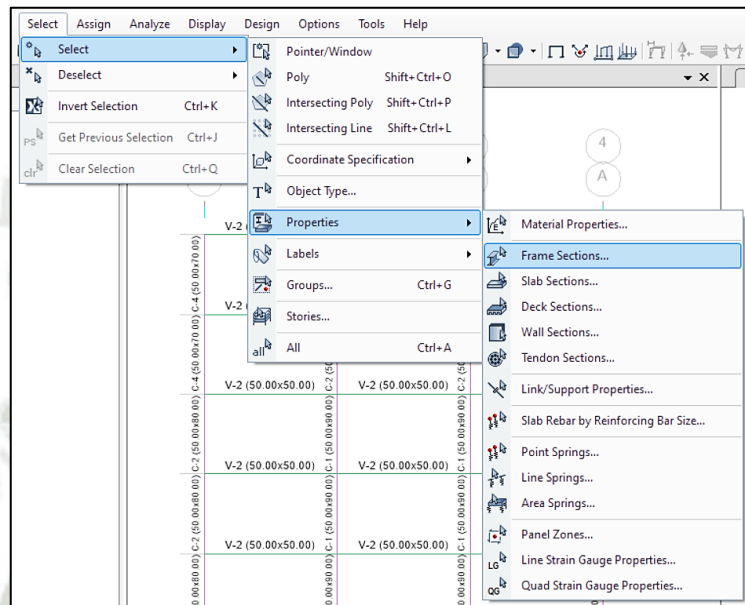
1.1.2. Reducción de la Rigidez en Vigas

Como se muestra en las tablas anteriores, según las normas FEMA 440, ATC 40 y ASCE 41-17, el porcentaje de reducción de rigideces para vigas se mantiene constante, es decir, no tiene condiciones o restricciones por lo que usa directamente 30% para flexión y 40% para corte.

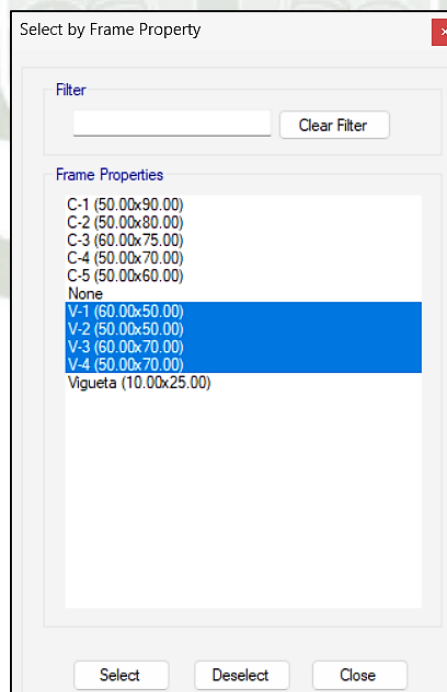
- Para asignar los porcentajes de reducción en vigas se siguen los siguientes pasos:

– Seleccionar todas las vigas de la estructura:

- Menú Select > Properties > Frame Sections.

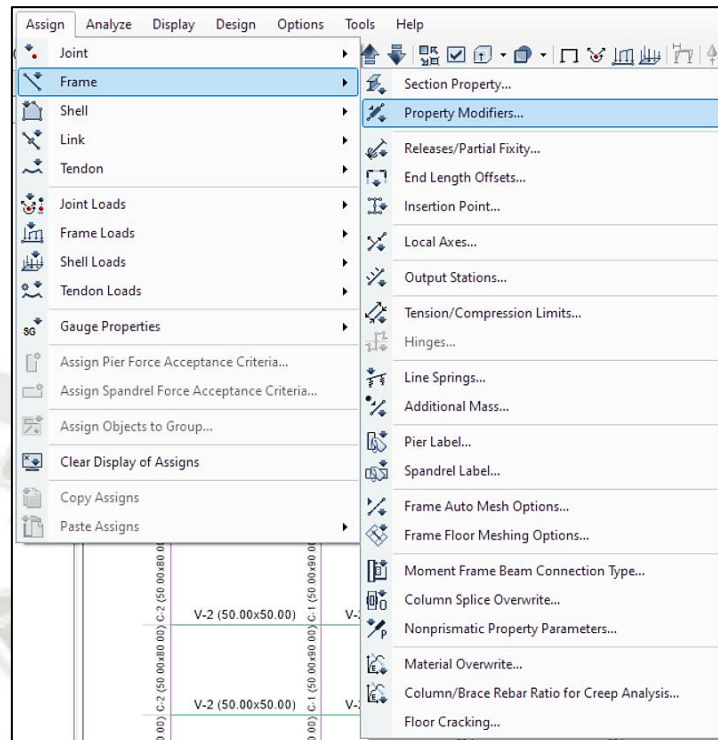


- De la ventana emergente de Frame Sections seleccionar todas las vigas asignadas a la estructura > Select > Close.



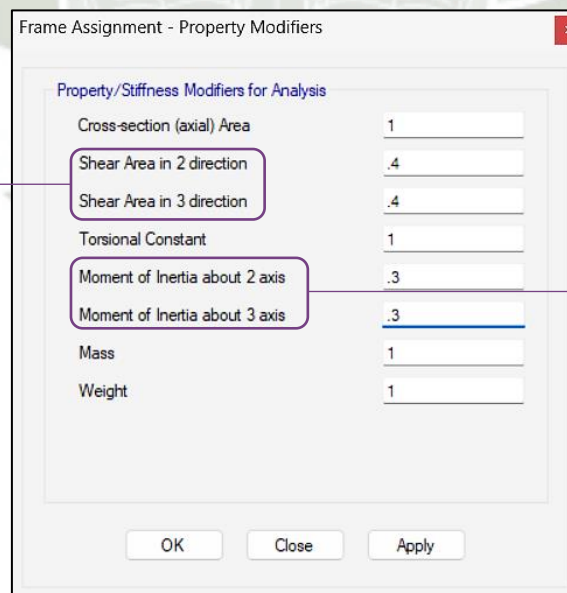
– Asignar los porcentajes de reducción de rigidez:

- Menú Assign > Frame > Property Modifiers.



- De la ventana emergente de Frame Sections cambiar los factores de Shear Area in 2 direction y Shear Area in 3 direction para la reducción en cortante; y los factores de Moment of Inertia about 2 axis y Moment of Inertia about 3 axis para flexión.

Cambiar con porcentajes para cortante



Cambiar con porcentajes para flexión

1.2. Diagrama de Interacción

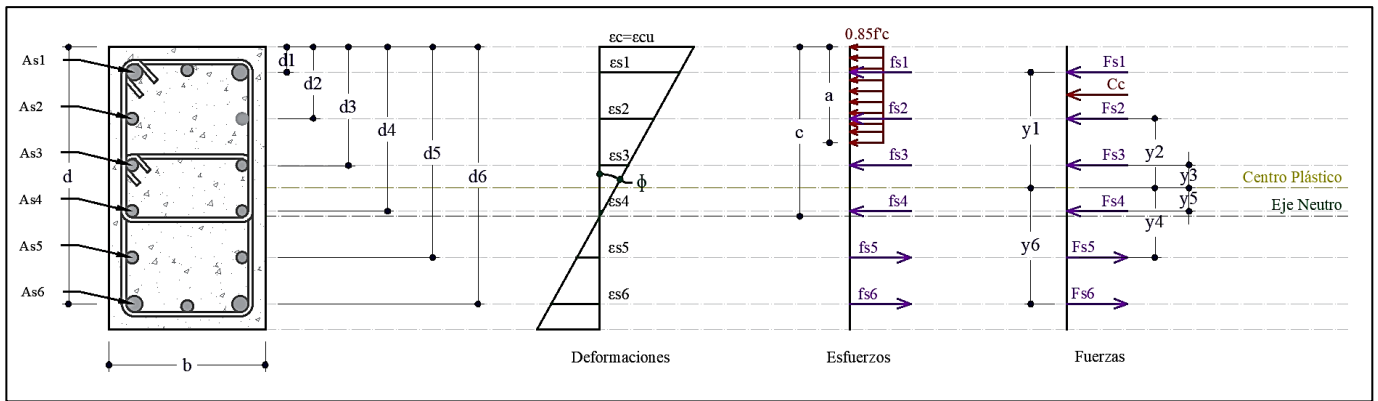
El diagrama de interacción permite describir y representar las interacciones entre los elementos estructurales y las cargas aplicadas en ellos; se realiza con la finalidad de evaluar

la capacidad del elemento de soportar su carga máxima, siendo la relación entre el momento flector que actúa en la sección transversal del elemento y su fuerza axial.

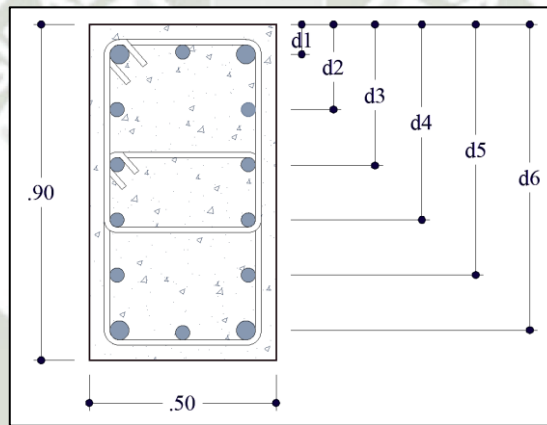
Este diagrama se hace para columnas porque son los elementos que soportan cargas axiales de compresión, mientras que las vigas trabajan sujetas a momentos flectores y esfuerzos cortantes, en algunos casos también soportan esfuerzos axiales generados por otras cargas.

- Propiedades del material definidas en el diseño:
 - Resistencia a la compresión del concreto: $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$
 - Límite de fluencia del acero: $f_y = 4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
 - Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$
 - Deformación unitaria del acero en fluencia: $\epsilon_y = f_y/E_s = 0.0021$
 - Deformación última del concreto: $\epsilon_{cu} = 0.003$
 - Factor de reducción: $\beta_1 = 0.85$
- Para el mejor entendimiento del procedimiento, se tomará una columna como ejemplo; esta será C-1 de 50.00 x 90.00, de la cual se tiene:
 - Geometría:
 - $b = 50.00 \text{ cm}$
 - $h = 90.00 \text{ cm}$
 - $d' = 4.00 \text{ cm}$
 - $dc = 4.00 \text{ cm}$
 - $d = 90.00 - 4.00 = 86 \text{ cm}$
 - Áreas de acero por fila:
 - $A_{s1} = 2\emptyset 1 + 1\emptyset 3/4" = 10.14 + 2.84 = 12.98 \text{ cm}^2$
 - $A_{s2}, A_{s3}, A_{s4}, A_{s5} = 2\emptyset 3/4" = 2.84 * 2 = 5.68 \text{ cm}^2$
 - $A_{s6} = 2\emptyset 1 + 1\emptyset 3/4" = 10.14 + 2.84 = 12.98 \text{ cm}^2$

Cada fila de acero tiene sus deformaciones, esfuerzos y fuerzas correspondientes, al igual que el concreto, por lo que se debe realizar el cálculo de cada uno; esto se puede observar e interpretar mejor con el siguiente diagrama:



- Posición de cada fila considerando el $d' = 4.00$ cm y que las filas aceros se distribuyen simétricamente a lo largo de la sección:



- Por lo que se calcula la distancia entre As1 y As6 entre el número de espacios entre filas para obtener la separación entre estas:

$$\text{Separación entre filas} = \frac{90 - 4 - 4}{5} = \frac{82}{5} = 16.4 \text{ cm}$$

- Con la separación se puede obtener los valores de la posición de las filas de acero:

- $d1 = 4.00 \text{ cm}$
- $d2 = 4.00 + 16.40 = 20.40 \text{ cm}$
- $d3 = 20.40 + 16.40 = 36.80 \text{ cm}$
- $d4 = 36.80 + 16.40 = 53.20 \text{ cm}$
- $d5 = 43.20 + 16.40 = 69.60 \text{ cm}$
- $d6 = 59.60 + 16.40 = 86.00 \text{ cm}$

- Teniendo las posiciones de las filas de acero se calcula la distancia entre estas y el centro de la altura de la columna (centro plástico), para obtener los brazos que servirán para el calculo posterior del momento nominal:

$$y = \frac{h}{2} - d$$

- $y_1 = 45.00 - 4.00 = 41.00 \text{ cm}$
 - $y_2 = 45.00 - 20.40 = 24.60 \text{ cm}$
 - $y_3 = 45.00 - 36.80 = 8.20 \text{ cm}$
 - $y_4 = 45.00 - 53.20 = -8.20 \text{ cm}$
 - $y_5 = 45.00 - 69.60 = -24.60 \text{ cm}$
 - $y_6 = 45.00 - 86.00 = -41.00 \text{ cm}$
- } Compresión
} Tracción

- Haciendo el análisis considerando una falla balanceada, se tiene:

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$c = d * \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y + \epsilon_{cu}}$$

$$c = 86.00 * \frac{0.003}{0.0021 + 0.003}$$

$$c = 50.50 \text{ cm}$$

$$C_c = 0.85 * 280 * 0.85 * 50.50 * 50.00$$

$$C_c = 510.78 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de deformaciones de cada fila de acero:

$$\epsilon_{si} = \epsilon_{cu} * \left(\frac{c - d_i}{c} \right)$$

Si estos valores son mayores a la deformación del acero en fluencia se usará el esfuerzo de límite de fluencia, de lo contrario, se usa el valor calculado; esta condición se cumple al asumir un estado elastoplástico perfecto.

- $\epsilon_{s1} = \epsilon_{cu} * \left(\frac{c - d_1}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{50.50 - 4}{50.50} \right) = 0.0028 > \epsilon_y$
- $\epsilon_{s2} = \epsilon_{cu} * \left(\frac{c - d_2}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{50.50 - 20.40}{50.50} \right) = 0.0018$

- $\epsilon_{s3} = \epsilon_{cu} * \left(\frac{c-d3}{c}\right) = 0.003 * \left(\frac{50.50-36.80}{50.50}\right) = 0.0008$
- $\epsilon_{s4} = \epsilon_{cu} * \left(\frac{c-d4}{c}\right) = 0.003 * \left(\frac{50.50-53.20}{50.50}\right) = -0.0002$
- $\epsilon_{s5} = \epsilon_{cu} * \left(\frac{c-d5}{c}\right) = 0.003 * \left(\frac{50.50-69.60}{50.50}\right) = -0.0011$
- $\epsilon_{s6} = \epsilon_{cu} * \left(\frac{c-d6}{c}\right) = 0.003 * \left(\frac{50.50-86.00}{50.50}\right) = -0.00211 > \epsilon_y$

– Cálculo de esfuerzos de cada fila de acero:

$$f_{si} = \epsilon_{si} * E_s, \text{ siendo } E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$$

Los esfuerzos de las filas 1 y 6 serán iguales al límite de fluencia porque sus deformaciones unitarias son mayores a la deformación unitaria del acero en fluencia.

- $f_{s1} = 4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
- $f_{s2} = \epsilon_{s2} * E_s = 0.0018 * 2000000 = 3576.10 \text{ kgf/cm}^2$
- $f_{s3} = \epsilon_{s3} * E_s = 0.0008 * 2000000 = 1627.47 \text{ kgf/cm}^2$
- $f_{s4} = \epsilon_{s4} * E_s = -0.0002 * 2000000 = -321.16 \text{ kgf/cm}^2$
- $f_{s5} = \epsilon_{s5} * E_s = -0.0011 * 2000000 = -2269.79 \text{ kgf/cm}^2$
- $f_{s6} = -4218.42 \text{ kgf/cm}^2$

– Con los esfuerzos y área de acero de cada columna se procede al cálculo de sus fuerzas.

$$F_{si} = f_{si} * A_{si}$$

- $F_{s1} = f_{s1} * A_{s1} = 4218.42 * 12.98/1000 = 54.76 \text{ Tnf}$
- $F_{s2} = f_{s2} * A_{s2} = 3576.10 * 5.68/1000 = 20.31 \text{ Tnf}$
- $F_{s3} = f_{s3} * A_{s3} = 1627.41 * 5.68/1000 = 9.24 \text{ Tnf}$
- $F_{s4} = f_{s4} * A_{s4} = -321.16 * 5.68/1000 = -1.82 \text{ Tnf}$
- $F_{s5} = f_{s5} * A_{s5} = -2269.79 * 5.68/1000 = -12.88 \text{ Tnf}$
- $F_{s6} = f_{s6} * A_{s6} = -4218.42 * 12.98/1000 = -54.76 \text{ Tnf}$

– Para la fuerza total que actúa en la sección de la columna:

$$P_b = C_c + \sum F_{si}$$

$$P_b = 525.62 \text{ Tnf}$$

– Para el momento nominal se calcula la sumatoria de todas las fuerzas obtenidas por sus respectivos brazos.

$$Mn = Cc * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 510.78 * \left(\frac{90}{2} - \frac{0.85 * 50.50}{2}\right) + \sum Fsi * yi$$

$$Mn = 174.21 \text{ Tnf} * m$$

– Cálculo de fuerza considerando una compresión pura:

$$Pno = 0.85 * f'c * (Ag - Ast) + (Ast * fy)$$

$$Pno = 0.85 * 280 * (4500 - 48.68) + (48.68 * 4218.42)$$

$$Pno = 1264.77 \text{ Tnf}$$

– Cálculo de fuerza considerando una tracción pura:

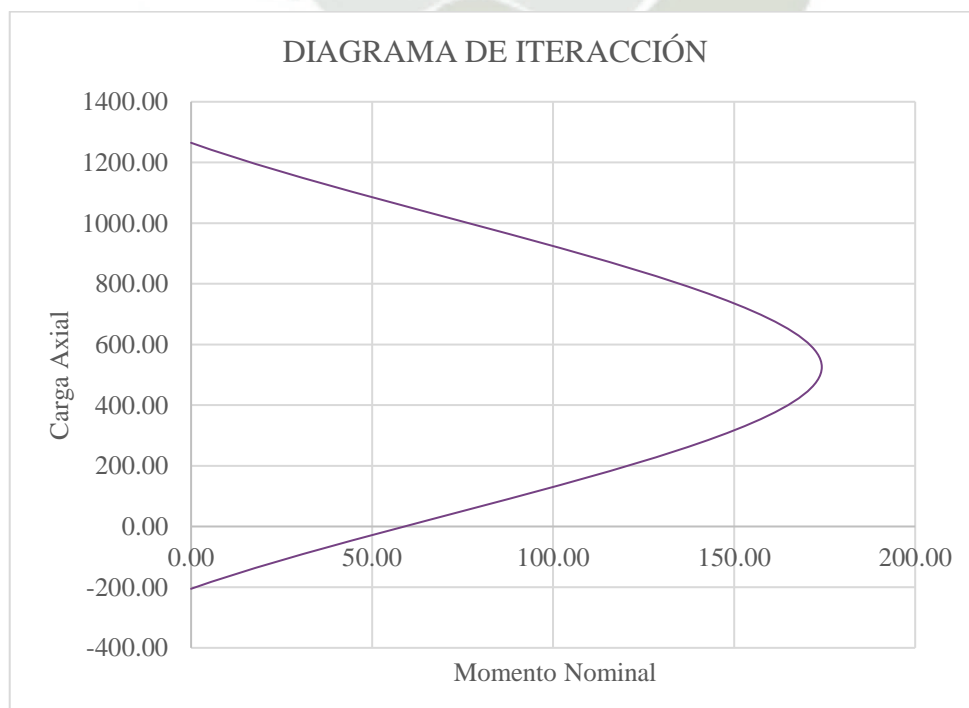
$$Tn = Ast * fy$$

$$Tn = 48.68 * 4218.42$$

$$Tn = -205.35 \text{ Tnf}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama de Interacción de la columna:

Mn	Pn
0.00	1264.77
174.21	525.62
0.00	-205.35



1.3. Rótulas Plásticas

Las rótulas plásticas se usan como herramienta para el análisis no lineal en estructuras, ya que ayudan a representar el comportamiento no lineal de sus elementos; se utilizan con el objetivo de modelar en el modelo la respuesta sísmica de una forma adecuada para su estado elástico- plástico.

Para la aplicación del Análisis no lineal Tiempo Historia se deben aplicar aceleraciones sísmicas a través del tiempo a la estructura, de lo que se obtiene su respuesta dinámica; al asignarle rótulas plásticas en el modelamiento a sus elementos estructurales, estas simulan la resistencia y capacidad de deformación de los mismos antes de que ocurra la falla.

La representación más detallada que se obtiene permite la evaluación más precisa de seguridad y vulnerabilidad de la estructura cuando está expuesta a cargas sísmicas.

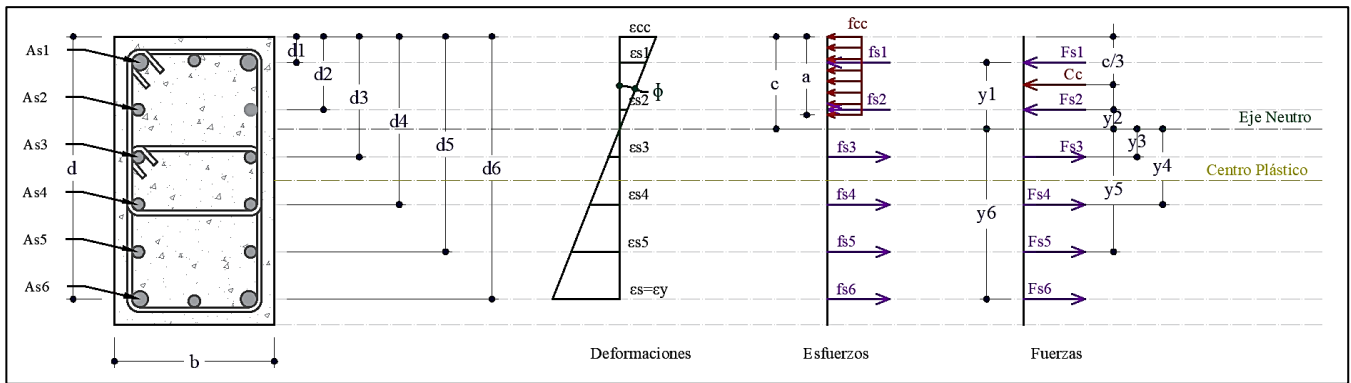
1.3.1. Diagrama Momento- Curvatura

Se hace el diagrama Momento- Curvatura de cada elemento con el objetivo de evaluar la capacidad de resistencia de las secciones de cada uno ante la demanda de un momento flector y el comportamiento de los mismos al ser sometidos ante cargas actuales o previstas. El análisis de resistencia para el diseño de una estructura implica la evaluación de cada elemento estructural individual para asegurarse de que sea capaz de resistir las cargas esperadas con esta finalidad se lleva a cabo el proceso de realización de los diagramas momento-curvatura para cada elemento.

Para la asignación Método de Rótulas Plásticas, es necesario primero establecer los diagramas de Momento Curvatura de cada Elemento.

1.3.1.1. Diagrama Momento- Curvatura en Columnas

- Para entender el procedimiento, se tomará la columna ejemplo C-1 de 50.00 x 90.00, esta cuenta con las propiedades de material y geométricas descritas en puntos anteriores.
 - Para la realización del Diagrama Momento- Curvatura es necesario el análisis del elemento tanto en su estado de fluencia como de su deformación última del concreto cuando actúa sobre ella la carga axial después de aplicar la reducción de rigideces, las cuales se mostrará en los siguientes pasos:
 - El estado de fluencia del elemento cumple con la condición: $\epsilon_s = \epsilon_y$ (deformación unitaria del acero igual a la deformación unitaria del acero en fluencia); con lo que se obtienen los valores necesarios del análisis de los diagramas de deformación unitaria y esfuerzos de la columna.



- Al no tener los valores de la deformación unitaria del concreto, ni de c , se hace la sumatoria de fuerzas en equilibrio, se reemplaza cada fuerza por su equivalencia en función a c y se resuelve la ecuación para obtener el valor real de c :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$T_s = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta * c$$

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * a * b - \epsilon'_s * E_s * A'_s = 0$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_y * \frac{c - d'}{d - c} * E_s * A'_s = 0$$

Resolviendo la ecuación implícita, se obtiene:

$$c = 28.77 \text{ cm}$$

- Teniendo el valor de c que cumple con la condición del estado de fluencia, se puede calcular como primer paso, la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_y * \left(\frac{c}{d - c} \right)$$

$$\epsilon_c = 0.0021 * \left(\frac{28.77}{86 - 28.77} \right)$$

$$\epsilon_c = 0.0011$$

- Con la deformación unitaria del concreto, se hace el cálculo de deformaciones para cada fila de acero de la sección:

$$\epsilon_{si} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_i}{c} \right)$$

- $\epsilon s1 = \epsilon c * \left(\frac{c-d1}{c}\right) = 0.0011 * \left(\frac{28.77-4.00}{28.77}\right) = 0.0009$
- $\epsilon s2 = \epsilon c * \left(\frac{c-d2}{c}\right) = 0.0011 * \left(\frac{28.77-20.40}{28.77}\right) = 0.0003$
- $\epsilon s3 = \epsilon c * \left(\frac{c-d3}{c}\right) = 0.0011 * \left(\frac{28.77-36.80}{28.77}\right) = -0.0003$
- $\epsilon s4 = \epsilon c * \left(\frac{c-d4}{c}\right) = 0.0011 * \left(\frac{28.77-53.20}{28.77}\right) = -0.0009$
- $\epsilon s5 = \epsilon c * \left(\frac{c-d5}{c}\right) = 0.0011 * \left(\frac{28.77-69.60}{28.77}\right) = -0.0015$
- $\epsilon s6 = \epsilon c * \left(\frac{c-d6}{c}\right) = 0.0011 * \left(\frac{28.77-86.00}{28.77}\right) = -0.0021$
- Cálculo de esfuerzos de cada fila de acero:
 - $f_{si} = \epsilon_{si} * E_s$, siendo $E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$
 - $f_{s1} = \epsilon s1 * E_s = 0.0009 * 2000000 = 1825.60 \text{ kgf/cm}^2$
 - $f_{s2} = \epsilon s2 * E_s = 0.0003 * 2000000 = 616.80 \text{ kgf/cm}^2$
 - $f_{s3} = \epsilon s3 * E_s = -0.0003 * 2000000 = -592.00 \text{ kgf/cm}^2$
 - $f_{s4} = \epsilon s4 * E_s = -0.0009 * 2000000 = -1800.80 \text{ kgf/cm}^2$
 - $f_{s5} = \epsilon s5 * E_s = -0.0015 * 2000000 = -3009.60 \text{ kgf/cm}^2$
 - $f_{s6} = \epsilon s6 * E_s = -0.0021 * 2000000 = -4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
- Con los esfuerzos y área de acero de cada columna se procede al cálculo de sus fuerzas.
 - $F_{si} = f_{si} * A_{si}$
 - $F_{s1} = f_{s1} * A_{s1} = 1825.60 * 12.98/1000 = 23.70 \text{ Tnf}$
 - $F_{s2} = f_{s2} * A_{s2} = 616.80 * 5.68/1000 = 3.50 \text{ Tnf}$
 - $F_{s3} = f_{s3} * A_{s3} = -592.00 * 5.68/1000 = -3.36 \text{ Tnf}$
 - $F_{s4} = f_{s4} * A_{s4} = -1800.80 * 5.68/1000 = -10.23 \text{ Tnf}$
 - $F_{s5} = f_{s5} * A_{s5} = -3009.60 * 5.68/1000 = -17.09 \text{ Tnf}$
 - $F_{s6} = f_{s6} * A_{s6} = -4218.42 * 12.98/1000 = -54.76 \text{ Tnf}$
- Cálculo de momentos generados por las fuerzas obtenidas por fila de acero:
 - $F_{s1} * y_1 = 23.70 \text{ Tnf} * 41.00 \text{ cm} = 9.72 \text{ Tnf} * m$
 - $F_{s2} * y_2 = 3.50 \text{ Tnf} * 24.60 \text{ cm} = 3.54 \text{ Tnf} * m$
 - $F_{s3} * y_3 = -3.36 \text{ Tnf} * 8.20 \text{ cm} = -0.28 \text{ Tnf} * m$
 - $F_{s4} * y_4 = -10.23 \text{ Tnf} * -8.20 \text{ cm} = 0.84 \text{ Tnf} * m$
 - $F_{s5} * y_5 = -17.09 \text{ Tnf} * -24.60 \text{ cm} = 4.21 \text{ Tnf} * m$

- $F_{s6} * y_6 = 54.76 \text{ Tnf} * 41.00 \text{ cm} = 22.45 \text{ Tnf} * m$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$C_c = 0.85 * 280 * 0.85 * 28.77 * 50$$

$$C_c = 218.24 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de brazo correspondiente a la fuerza de compresión del concreto:

$$y_c = \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$y_c = \frac{90}{2} - \frac{0.85 * 28.77}{2}$$

$$y_c = 32.77 \text{ cm}$$

- Cálculo de momento flector actuante en la sección transversal de la columna:

$$M_{ny} = 9.72 + 0.86 - 0.28 + 0.84 + 4.21 + 22.45 + 218.24 \text{ Tnf} * 32.77 \text{ cm}$$

$$M_{ny} = 109.32 \text{ Tnf} * m$$

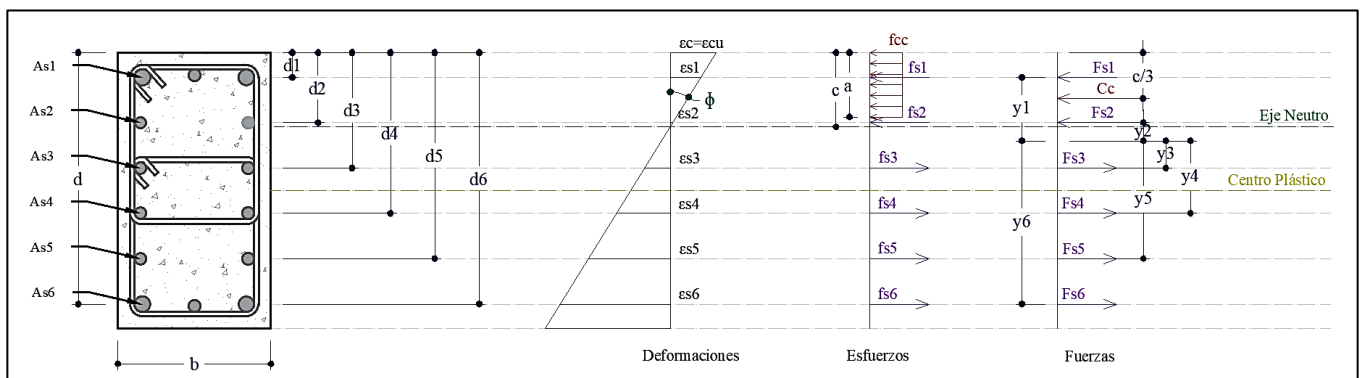
- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{(d - c)} * 10^5$$

$$\phi_y = \frac{0.0021}{(86.00 - 28.77)}$$

$$\phi_y = 3.69 \text{ 1/cm}$$

- El estado de deformación última del concreto en el elemento cumple con las condiciones: $\epsilon_s > \epsilon_y$ (deformación unitaria del acero igual mayor a deformación unitaria del acero en fluencia) y $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$ (deformación unitaria del concreto igual a su deformación última); con lo que se obtienen los valores necesarios del análisis de los diagramas de deformación unitaria y esfuerzos de la columna.



- Al no tener los valores de la deformación unitaria del concreto, ni de c , se hace la sumatoria de fuerzas en equilibrio, se reemplaza cada fuerza por su equivalencia en función a c y se resuelve la ecuación para obtener el valor real de c :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$T_s = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta * c$$

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * a * b - \epsilon'_s * E_s * A'_s = 0$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_c * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

Resolviendo la ecuación implícita, se obtiene:

$$c = 27.70 \text{ cm}$$

- Con la deformación unitaria del concreto, se hace el cálculo de deformaciones para cada fila de acero de la sección:

$$\epsilon_{si} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_i}{c} \right)$$

- $\epsilon_{s1} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_1}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{27.70 - 4.00}{27.70} \right) = 0.0026$

- $\epsilon_{s2} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_2}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{27.70 - 20.40}{27.70} \right) = 0.0008$

- $\epsilon_{s3} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_3}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{27.70 - 36.80}{27.70} \right) = -0.0010$

- $\epsilon_{s4} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_4}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{27.70 - 53.20}{27.70} \right) = -0.0028$

- $\epsilon_{s5} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_5}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{27.70 - 69.60}{27.70} \right) = -0.0045$

- $\epsilon_{s6} = \epsilon_c * \left(\frac{c - d_6}{c} \right) = 0.003 * \left(\frac{27.70 - 86.00}{27.70} \right) = -0.0063$

- Cálculo de esfuerzos de cada fila de acero:

$$f_{si} = \epsilon_{si} * E_s, \text{ siendo } E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$$

- $f_{s1} = \epsilon_{s1} * E_s = 0.0026 * 2000000 = 4218.42 \text{ kgf/cm}^2$

- $f_{s2} = \epsilon_{s2} * E_s = 0.0008 * 2000000 = 1581.20 \text{ kgf/cm}^2$

- $f_{s3} = \epsilon_{s3} * E_s = -0.0010 * 2000000 = -1971.20 \text{ kgf/cm}^2$

- $f_{s4} = \epsilon_{s4} * E_s = -0.0028 * 2000000 = -4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
- $f_{s5} = \epsilon_{s5} * E_s = -0.0045 * 2000000 = -4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
- $f_{s6} = \epsilon_{s5} * E_s = -0.0063 * 2000000 = -4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
- Con los esfuerzos y área de acero de cada columna se procede al cálculo de sus fuerzas.

$$F_{si} = f_{si} * A_{si}$$

- $F_{s1} = f_{s1} * A_{s1} = 4218.42 * 12.98/1000 = 54.76 \text{ Tnf}$
- $F_{s2} = f_{s2} * A_{s2} = 1581.20 * 5.68/1000 = 8.98 \text{ Tnf}$
- $F_{s3} = f_{s3} * A_{s3} = -1971.20 * 5.68/1000 = -11.20 \text{ Tnf}$
- $F_{s4} = f_{s4} * A_{s4} = -4218.42 * 5.68/1000 = -23.96 \text{ Tnf}$
- $F_{s5} = f_{s5} * A_{s5} = -4218.42 * 5.68/1000 = -23.96 \text{ Tnf}$
- $F_{s6} = f_{s6} * A_{s6} = -4218.42 * 12.98/1000 = -54.76 \text{ Tnf}$

- Cálculo de momentos generados por las fuerzas obtenidas por fila de acero:

- $F_{s1} * y_1 = 54.76 \text{ Tnf} * 41.00 \text{ cm} = 22.45 \text{ Tnf} * \text{m}$
- $F_{s2} * y_2 = 8.98 \text{ Tnf} * 24.60 \text{ cm} = 2.21 \text{ Tnf} * \text{m}$
- $F_{s3} * y_3 = -11.20 \text{ Tnf} * 8.20 \text{ cm} = -0.92 \text{ Tnf} * \text{m}$
- $F_{s4} * y_4 = -23.96 \text{ Tnf} * -8.20 \text{ cm} = 1.96 \text{ Tnf} * \text{m}$
- $F_{s5} * y_5 = -23.96 \text{ Tnf} * -24.60 \text{ cm} = 5.89 \text{ Tnf} * \text{m}$
- $F_{s6} * y_6 = -54.76 \text{ Tnf} * 41.00 \text{ cm} = 22.45 \text{ Tnf} * \text{m}$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta_1 * c$$

$$C_c = 0.85 * 280 * 0.85 * 27.70 * 50$$

$$C_c = 210.42 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de brazo correspondiente a la fuerza de compresión del concreto:

$$y_c = \frac{h}{2} - \frac{a}{2}$$

$$y_c = \frac{90}{2} - \frac{0.85 * 27.70}{2}$$

$$y_c = 33.23 \text{ cm}$$

- Cálculo de momento flector actuante en la sección transversal de la columna:

$$M_{nu} = 22.45 + 2.21 - 0.92 + 1.96 + 5.89 + 22.45 + 210.42 \text{ Tnf} * 33.23 \text{ cm}$$

$$M_{ny} = 123.87 \text{ Tnf} * \text{m}$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

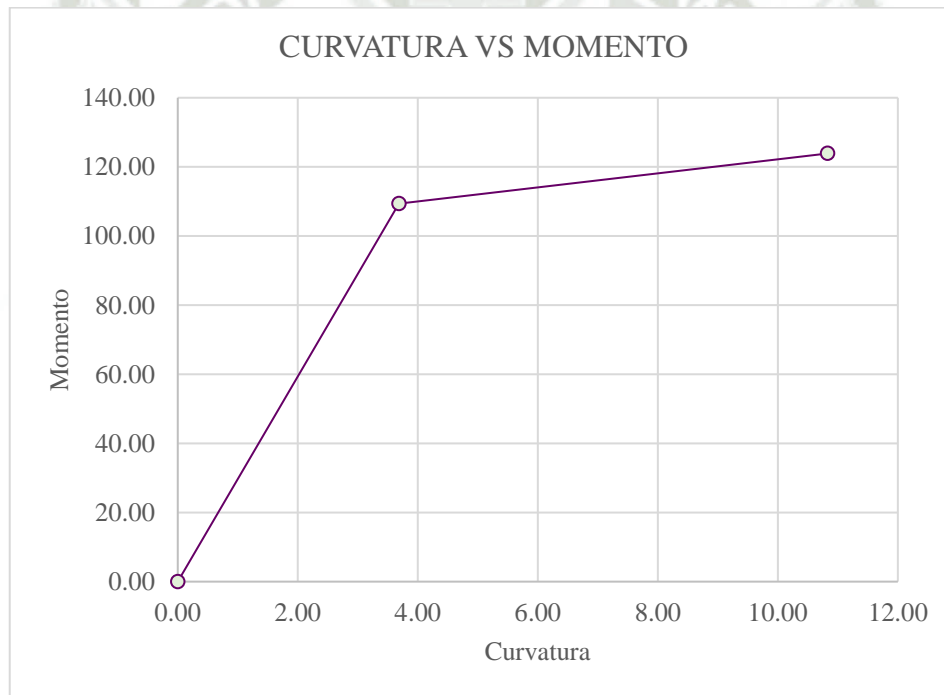
$$\phi u = \frac{\varepsilon c u}{c} * 10^5$$

$$\phi u = \frac{0.0030}{27.70}$$

$$\phi u = 10.83 \text{ 1/cm}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama Momento- Curvatura:

ϕ	Mn
0.00	0.00
3.69	109.32
10.86	123.87



- Cálculo de la ductilidad de curvatura balanceada:

$$u\phi = \frac{\phi u}{\phi y}$$

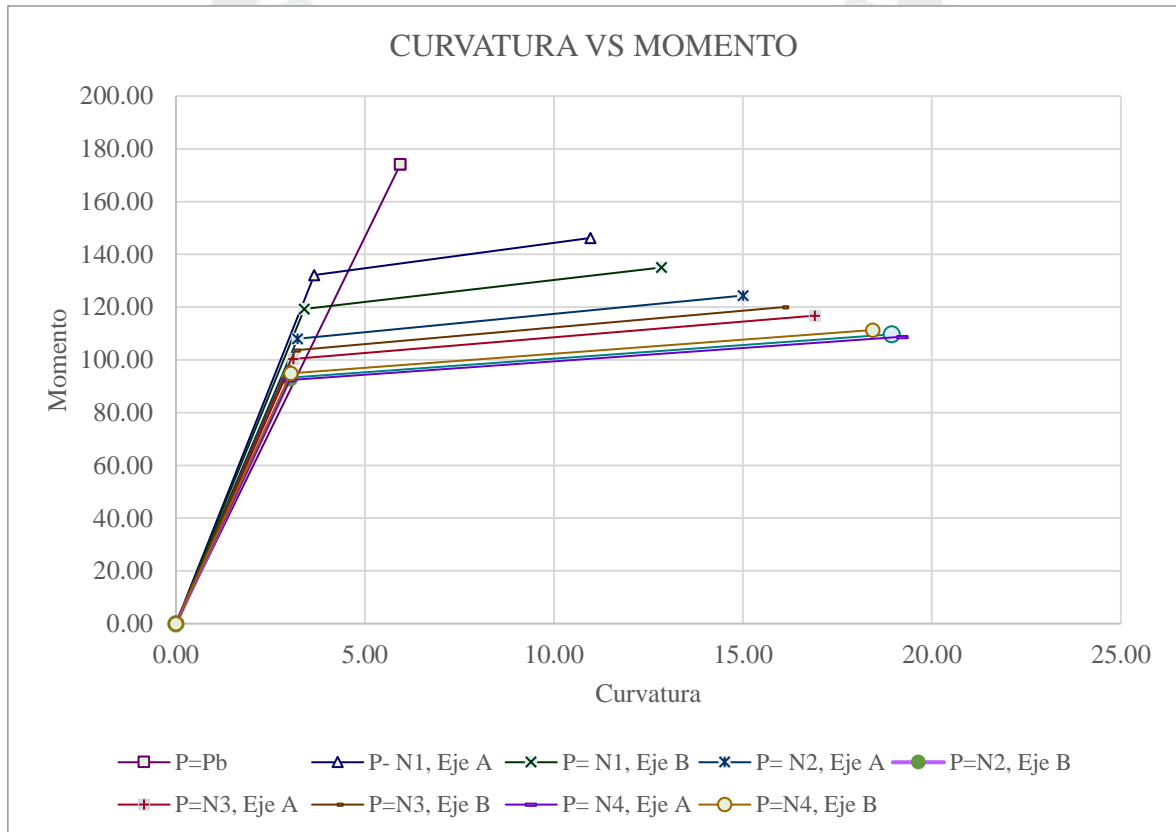
$$u\phi = \frac{10.83}{3.69}$$

$$u\phi = 2.94$$

La ductilidad de curvatura balanceada se refiere a la capacidad de la sección transversal de la columna para tener una deformación plástica ante de su falla

balanceada, este factor puede ayudar a garantizar el correcto comportamiento del elemento cuando este se acerque a su capacidad máxima de carga.

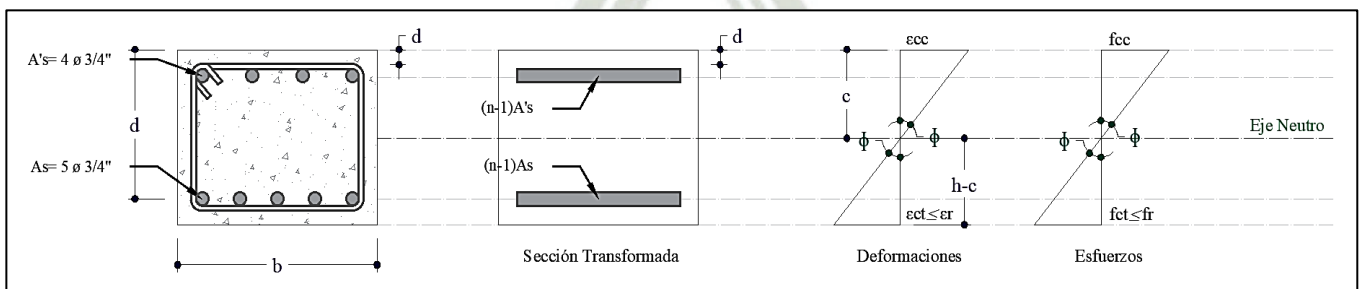
- Se sigue el mismo procedimiento para los diferentes casos de cargas que se presenten para esta sección de columna en la estructura, añadiendo un caso de carga donde P es igual a la fuerza suponiendo una falla balanceada, obteniendo de este proceso el diagrama momento curvatura del elemento, teniendo como resultado una gráfica como la siguiente:



1.3.1.2. Diagrama Momento- Curvatura en Vigas

- Para entender el procedimiento, se tomará la Viga ejemplo V-1 de 60.00 x 50.00, la cual cuenta con las mismas propiedades de material que la columna analizada anteriormente, las cuales son:
 - Resistencia a la compresión del concreto: $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$
 - Límite de fluencia del acero: $f_y = 4218.42 \text{ kgf/cm}^2$
 - Módulo de rotura del concreto: $f_r = 2 * \sqrt{f'c} = 33.47 \text{ kgf/cm}^2$
 - Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} = 250998.01 \text{ kgf/cm}^2$

- Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$
- Deformación unitaria del acero en fluencia: $\epsilon_y = f_y/E_s = 0.0021$
- Deformación última del concreto: $\epsilon_{cu} = 0.003$
- Relación de módulos: $n = E_s/E_c = 7.97$
- Factor de reducción: $\beta_1 = 0.85$
- Se tienen también las propiedades geométricas de la viga:
 - $b = 60.00 \text{ cm}$
 - $h = 50.00 \text{ cm}$
 - $d' = 4.00 \text{ cm}$
 - $dc = 4.00 \text{ cm}$
 - $d = 50.00 - 4.00 = 46 \text{ cm}$
 - $A'_s = 4\phi 3/4" = 11.36 \text{ cm}^2$
 - $A_s = 5\phi 3/4" = 14.20 \text{ cm}^2$
- Para la realización del diagrama momento curvatura en vigas, se analizará el elemento en 3 momentos de su estado elástico: Estado Elástico no Agrietado, Estado Elástico Agrietado (este se da antes o al inicio de la fluencia) y Estado de Deformación Última:
 - Estado Elástico no Agrietado:



- De los diagramas, se obtiene por geometría:

$$c = b * h * \left(\frac{h}{2}\right) + (n - 1) * A_s * d + (n - 1) * A'_s * d'$$

$$c = 60 * 50 * \left(\frac{50}{2}\right) + (7.97 - 1) * 14.20 * 46 + (7.97 - 1) * 11.36 * 4$$

$$c = 25.13 \text{ cm}$$

- Por el teorema de Steiner, se tiene la inercia:

$$I_{tr} = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left(\frac{h}{2} - c\right)^2 + (n - 1) * A_s * (d - c)^2 + (n - 1) * A'_s * (c - d')^2$$

$$I_{tr} = 703490.82 \text{ cm}^4$$

- Cálculo del momento en Estado Elástico no Agrietado:

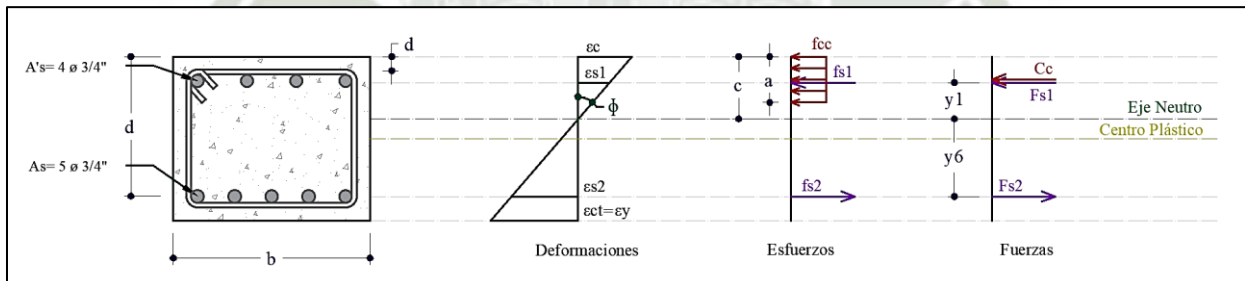
$$M_{cr} = \frac{f_r * I_{tr}}{h - c}$$

$$M_{cr} = 9.47 \text{ Tnf} * m$$

$$\text{curvatura de agrietamiento: } \Phi_{cr} = \frac{f_r}{\epsilon_c} * \frac{1}{h - c}$$

$$\Phi_{cr} = 0.00005 \text{ 1/mm}$$

- Estado Elástico Agrietado:



- Al no tener los valores de la deformación unitaria del concreto, ni de c , se hace la sumatoria de fuerzas en equilibrio, se reemplaza cada fuerza por su equivalencia en función a c y se resuelve la ecuación para obtener el valor real de c :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$T_s = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta * c$$

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * a * b - \epsilon'_s * E_s * A'_s = 0$$

$$A_s * f_y - 0.5 * c * b * E_c * \epsilon_y * \left(\frac{c}{d-c}\right) - \epsilon_y * \frac{c-d'}{d-c} * E_s * A'_s = 0$$

Resolviendo la ecuación implícita, se obtiene:

$$c = 10.72 \text{ cm}$$

- Teniendo el valor de c que cumple con la condición del estado de fluencia, se puede calcular como primer paso, la deformación unitaria del concreto:

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_y * \left(\frac{c}{d-c}\right)$$

$$\epsilon_c = 0.0021 * \left(\frac{10.72}{46 - 10.72}\right)$$

$$\epsilon_c = 0.0006$$

- Con la deformación unitaria del concreto en compresión, se hace el cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\epsilon'_s = \epsilon_c * \left(\frac{c-d'}{c}\right)$$

$$\epsilon'_s = 0.0006 * \left(\frac{10.72 - 4.00}{10.72}\right)$$

$$\epsilon'_s = 0.0004$$

- Cálculo de esfuerzo del concreto en compresión:

$$f_{cc} = \epsilon_c * E_c, \text{ siendo } E_c = 250998.01 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cc} = 160.19 \text{ kgf/cm}^2$$

Si el f_{cc} es menor igual a $0.45 f'_c$, se considera una carga triangular del concreto, en caso de ser mayor, se considera una carga rectangular, en la que:

$$f_{cc} = 0.85 * f'_c * a * b$$

- Cálculo de esfuerzo del acero en compresión:

$$f'_s = \epsilon'_s * E_s, \text{ siendo } E_s = 2000000.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f'_s = 800.23 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 14.20/1000$$

$$T_s = 59.64 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = \frac{1}{2} * c * f_{cc} * b$$

$$C_c = \frac{1}{2} * c * b * E_c * \epsilon_y * \left(\frac{c}{d - c} \right)$$

$$C_c = 51.53 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$C_s = 0.0004 * 2000000 * 10.14$$

$$C_s = 8.11 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_y = C_c * \left(d - \frac{c}{3} \right) + C_s * (d - d')$$

$$M_y = 51.53 * \left(46 - \frac{10.72}{3} \right) + 8.11 * (46 - 4)$$

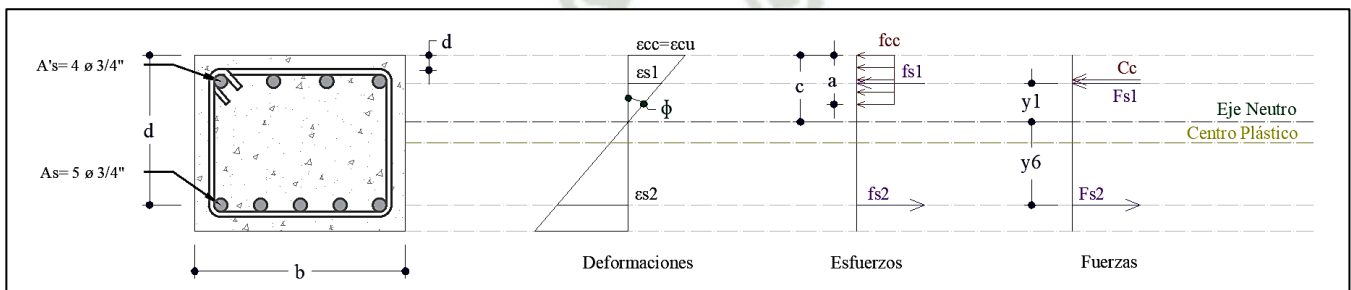
$$M_y = 25.28 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000594 \text{ 1/mm}$$

— Estado de Deformación Última:



- Se hace el análisis de los diagramas, para poder obtener c por geometría:

$$T_s = C_c + C_s$$

$$T_s = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b, \text{ siendo } a = \beta * c$$

$$C_s = \epsilon'_s * E_s * A'_s$$

$$A_s * f_y - 0.85 * f'_c * \beta * c * b - \epsilon_{cu} * \frac{c - d'}{c} * E_s * A'_s = 0$$

Resolviendo la ecuación implícita, se obtiene:

$$c = 4.43 \text{ cm}$$

- Cálculo de la deformación unitaria del acero en compresión:

$$\epsilon_s = \epsilon_c * \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$\epsilon_s = 0.003 * \left(\frac{4.43 - 4.00}{4.43} \right)$$

$$\epsilon_s = 0.0003$$

- Cálculo del esfuerzo del acero en compresión:

$$f'_s = \epsilon'_s * E_s, \text{ siendo } E_s = 2000000.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f'_s = 580.56 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cálculo de la fuerza de tracción del acero:

$$T_s = f_y * A_s$$

$$T_s = 4200 * 14.20 / 1000$$

$$T_s = 59.64 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del concreto:

$$C_c = 0.85 * a * b, \text{ siendo: } a = \beta * c$$

$$C_c = 0.85 * 0.85 * 4.43 * 60$$

$$C_c = 53.75 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de la fuerza de compresión del acero:

$$C_s = f'_s * A'_s$$

$$C_s = 580.56 * 10.14$$

$$C_s = 5.89 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de momento de fluencia considerando una carga triangular:

$$M_u = C_c * \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s * (d - d')$$

$$M_u = 53.75 * \left(46.00 - \frac{0.85 * 4.43}{2}\right) + 5.89 * (46.00 - 4.00)$$

$$M_u = 26.19 \text{ Tnf} * m$$

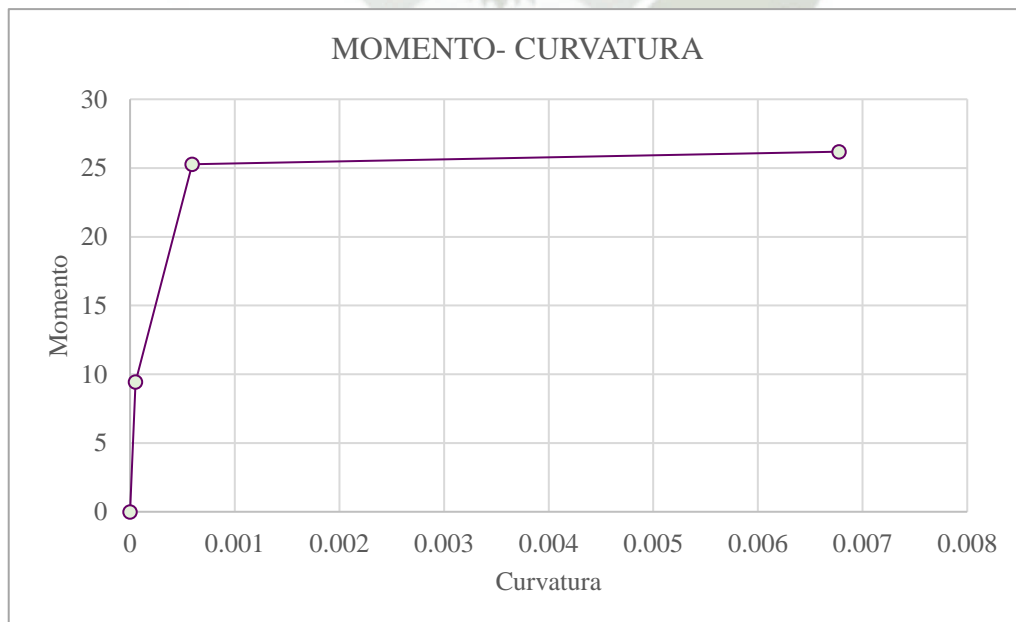
- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_u = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_u = 0.0068 \text{ 1/mm}$$

- Con los valores obtenidos se puede graficar el diagrama Momento- Curvatura:

	ϕ	M
	0	0
Punto A	0.00005	9.44
Punto B	0.00060	25.27
Punto C	0.00677	26.19



- Cálculo de la ductilidad de curvatura:

$$u\phi = \frac{\phi u}{\phi y}$$

$$u\phi = \frac{0.0068}{0.000595}$$

$$u\phi = 11.38$$

1.3.2. Método de Coeficientes para Rótulas Plásticas

1.3.2.1. Asignación de Rótulas Plásticas en Vigas

Las rótulas plásticas se asignan en las vigas con el fin de mejorar su capacidad de resistir las cargas sísmicas, se permite deformación plástica en la rótula, lo cual puede evitar que la viga falle cuando sea expuesta a estas cargas, puede lograr un incremento en la ductilidad de la estructura y minimiza el riesgo de daños y de colapso.

Para el desarrollo de este paso, se utilizará como ejemplo, la viga V-1 de 60.00 x 50.00 descrita en el punto anterior, usando sus propiedades y el Diagrama Momento- Curvatura.

Se evalúan las condiciones de la viga según la Condición i para elementos controlados por flexión de la Tabla 10-7: Parámetros de modelo y criterios de aceptación numéricos para procedimientos no lineales: vigas de concreto armado, de la norma ASCE 41-17:

Condiciones			Parámetros de Modelo			Criterios de Aceptación		
Condición i. Elementos por flexión			Ángulo de Rotación Plástica (rad)		Resistencia Residual	Ángulo de Rotación Plástica (rad)		
r1	Refuerzo Transversal	r2	a	b	c	Nivel de Desempeño		
						IO	LS	CP
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.025	0.050	0.2	0.0100	0.025	0.050
≤0.0	C	≥6 (0.50)	0.020	0.040	0.2	0.0050	0.020	0.040
≤0.5	C	≤3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≤0.5	C	≥6 (0.50)	0.015	0.020	0.2	0.0050	0.015	0.020
≤0.0	NC	≤3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≤0.0	NC	≥6 (0.50)	0.010	0.015	0.2	0.0015	0.010	0.015
≤0.5	NC	≤3 (0.25)	0.010	0.015	0.2	0.0050	0.010	0.015
≤0.5	NC	≥6 (0.50)	0.005	0.010	0.2	0.0015	0.005	0.010

1.3.2.1.1. Condiciones para Elementos en Flexión

- Cálculo de r_1 para evaluar las condiciones de la viga:

$$r_1 = \frac{\rho - \rho'}{\rho b'}$$

Donde: ρ : Cuantía para acero en tracción.

ρ' : Cuantía de acero en compresión.

$\rho b'$: Cuantía balaceada para sección doblemente reforzada.

- Cálculo de cuantía para acero en tracción.

$$\rho = \frac{A_s}{A_g}$$

$$\rho = \frac{14.20 \text{ cm}^2}{4500.00 \text{ cm}^2}$$

$$\rho = 0.00514$$

- Cálculo de cuantía para acero en compresión:

$$\rho' = \frac{A'_s}{A_g}$$

$$\rho' = \frac{11.36 \text{ cm}^2}{4500.00 \text{ cm}^2}$$

$$\rho' = 0.00412$$

- Cálculo de cuantía balaceada para sección doblemente reforzada:

$$\rho b' = \rho b + \rho' * \frac{f_{sc}}{f_y}, \text{ siendo: } \rho b = 0.85 * \frac{f'_c}{f_y} * \beta_1 * \left(\frac{E_s * \epsilon_{cu}}{f_y + (E_s * \epsilon_{cu})} \right)$$

- Cálculo de cuantía balaceada:

$$\rho b = 0.85 * \frac{280}{4218.42} * 0.85 * \left(\frac{2 * 10^6 * 0.003}{4218.42 + (2 * 10^6 * 0.003)} \right)$$

$$\rho b = 0.0282$$

- Cálculo de esfuerzo de acero en compresión:

$$f_{sc} = E_s * \epsilon_{cu} * \left(1 - \frac{d'}{d} * \left(1 + \frac{f_y}{E_s * \epsilon_{cu}} \right) \right)$$

$$f_{sc} = 2 * 10^6 * 0.003 * \left(1 - \frac{4.00}{46.00} * \left(1 + \frac{4218.42}{2 * 10^6 * 0.003} \right) \right)$$

$f_{sc} = 5111.4 \text{ kgf/cm}^2$, al ser un valor mayor a f_y , se toma el valor:

$$f_{sc} = 4218.42 \text{ kgf/cm}^2$$

- Cuantía balanceada para sección doblemente reforzada:

$$\rho b' = 0.0282 + 0.00412 * \frac{4218.42}{4218.42}$$

$$\rho b' = 0.0323$$

- Cálculo de r_1 :

$$r_1 = \frac{0.00514 - 0.00412}{0.00323}$$

$$r_1 = 0.0319$$

- Condición de refuerzo transversal:

- Conforme o confinado (C): $S \leq \frac{d}{3}, V_s > \frac{3}{4} V_u$

- Donde:
 - S : Separación entre estribos.
 - V_s : Fuerza cortante máxima.
 - V_u : Cortante actuante (obtenida de la envolvente de las cargas sísmica).

- $S \leq \frac{d}{3}$

$$15 \text{ cm} \leq \frac{46 \text{ cm}}{3}$$

$$15 \text{ cm} \leq 15.33 \text{ cm}$$

- $V_s > \frac{3}{4} V_u$

- Cálculo de V_s :

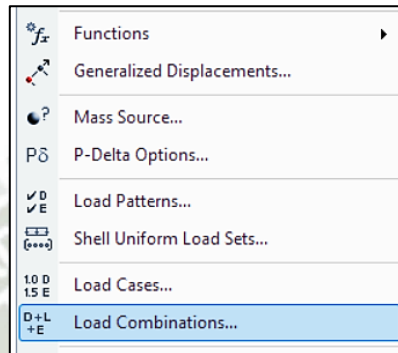
$$V_s = A_v * f_y * \frac{d}{s}$$

$$V_s = 2 * 0.71 * 4218.42 * \frac{46}{15}$$

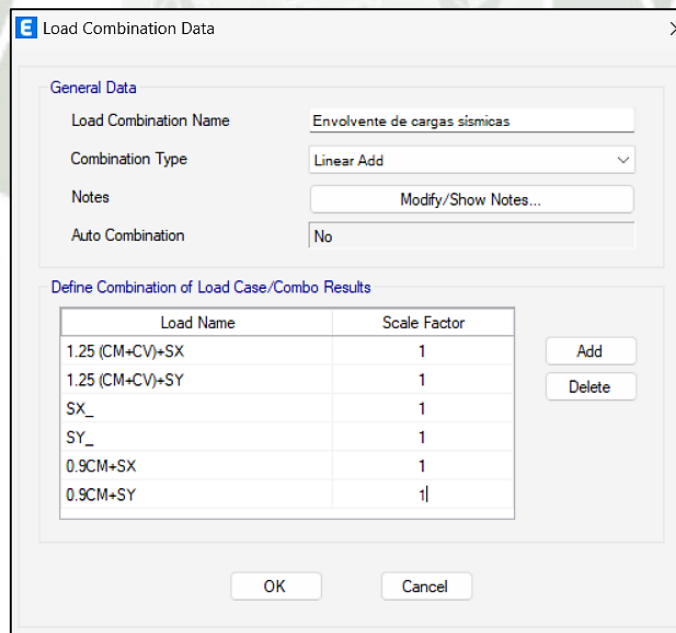
$$V_s = 18.37 \text{ Tnf}$$

- Cálculo de Vu:

Se obtiene el valor de la cortante actuante del software ETABS, como primer paso se crea la envolvente de las fuerzas sísmicas: Menú define > Load Combinations > Add New Combo.

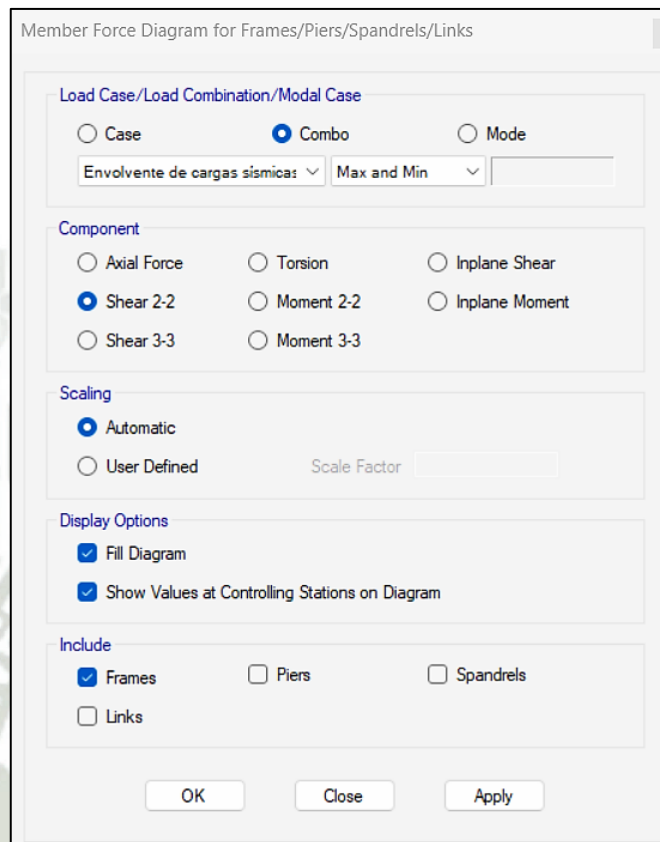


Seleccionar las combinaciones y tipos de cargas en las que actúen las cargas sísmicas:

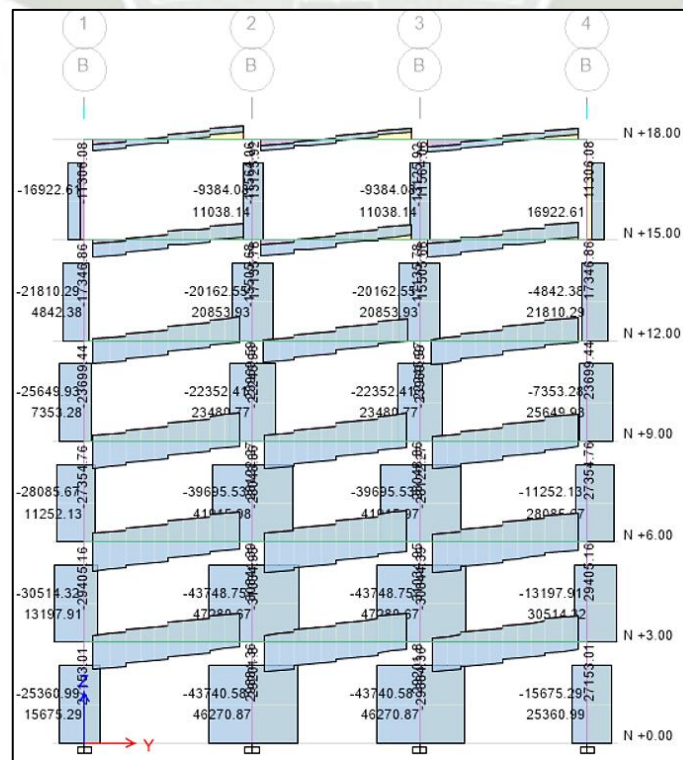


Para visualizar la fuerza cortante: Run Analysis > Display Frame/ Pier/ Spandrel/ Link Forces > en Load Case/ Load combination/ Modal Case activar la opción Combo y seleccionar la combinación de la envolvente de las cargas sísmicas > en Component activar la opción Shear 2-2 > en Display Options activar la opción

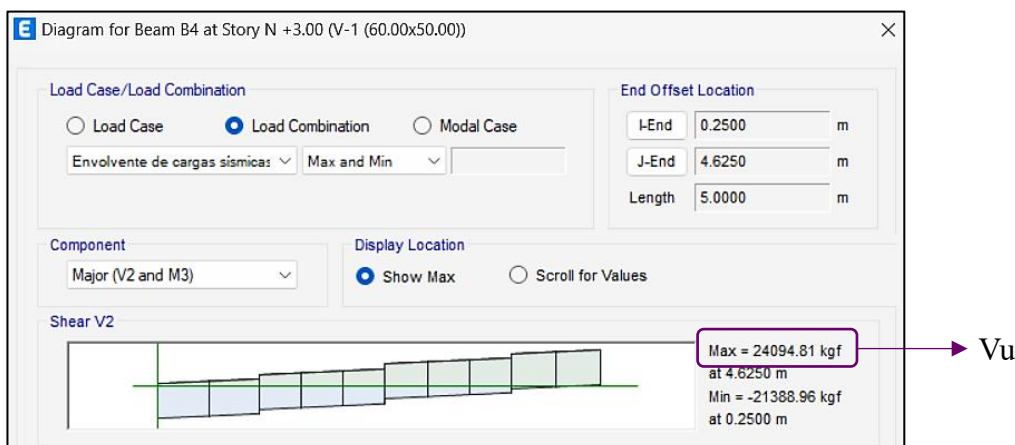
Show Values at Controlling Stations on Diagram > en Include activar la opción Frames > OK.



De esta forma se obtienen los diagramas de cortantes actuantes en cada elemento.



Para visualizar la carga solo en la viga analizada se hace anti- click sobre el elemento y se obtiene el valor.



Se obtiene una cortante actuante de 24.09 Tnf generada por las cargas sísmicas.

- $V_s > \frac{3}{4} V_u$

$$18.37 \text{ Tnf} > \frac{3}{4} * 24.09 \text{ Tnf}$$

$$18.37 \text{ Tnf} > 18.07 \text{ Tnf}$$

- Cumple con las condiciones por lo que es conforme o confinada, de no ser así, analizarlo como no conforme o no confinada.

– No conforme o no confinado (NC): $S > \frac{d}{3}, V_s \leq \frac{3}{4} V_u$

- Cálculo de r2 para evaluar las condiciones de la viga:

$$r_2 = \frac{V_u}{bw * d * \sqrt{f'_c}}$$

$$r_2 = \frac{24.09 \text{ Tnf}}{60.00 * 46.00 * \sqrt{280}}$$

$$r_2 = 1.97$$

1.3.2.1.2. Parámetros del Modelo

Con los valores obtenidos en el punto anterior, se ubica en la Tabla 10-7 de la Norma ASCE 41-17 los valores que corresponde a la viga de los Parámetros del modelo, al estar los valores obtenidos entre los valores de la tabla, se hace una interpolación lineal para tener los parámetros a, b y c.

- Condiciones:

Condiciones			Parámetros de Modelo		
Condición i. Elementos por flexión			Ángulo de Rotación		Resistencia
r1	Refuerzo Transversal	r2	Plástica (rad)		Residual
			a	b	c
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.025	0.050	0.2
0.0319	C	1.97	a	b	c
≤0.5	C	≤3 (0.25)	0.020	0.030	0.2

- Cálculo de a con interpolación lineal:

$$\frac{0.5 - 0.0}{0.020 - 0.025} = \frac{0.0319 - 0.0}{a - 0.025}$$

$$a - 0.025 = \frac{0.0319 * (-0.005)}{0.5}$$

$$a = 0.0247$$

- Cálculo de b con interpolación lineal:

$$\frac{0.5 - 0.0}{0.030 - 0.050} = \frac{0.0319 - 0.0}{b - 0.050}$$

$$b - 0.050 = \frac{0.0319 * (-0.020)}{0.5}$$

$$b = 0.0488$$

- El parámetro c se mantiene constante para estas condiciones, por lo que:

$$c = 0.2$$

1.3.2.1.3. Criterios de Aceptación

Al igual que con los parámetros, para obtener los valores correspondientes a cada criterio de aceptación, se debe realizar una interpolación lineal con los valores obtenidos de las condiciones y los valores establecidos por la Norma ASCE 41-17 en el la Tabla 10-7:

- Condiciones:

Condiciones			Criterios de Aceptación		
Condición i. Elementos por flexión			Ángulo de Rotación Plástica (rad)		
r1	Refuerzo Transversal	r2	Nivel de Desempeño		
			IO	LS	CP
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.0100	0.025	0.050
0.0319	C	1.97	IO	LS	CP
≤0.5	C	≤3 (0.25)	0.0050	0.020	0.030

- Cálculo de IO con interpolación lineal:

$$\frac{0.5 - 0.0}{0.0050 - 0.01} = \frac{0.0319 - 0.0}{IO - 0.01}$$

$$IO - 0.01 = \frac{0.0319 * (-0.005)}{0.5}$$

$$IO = 0.00968$$

- Cálculo de LS con interpolación lineal:

$$\frac{0.5 - 0.0}{0.020 - 0.025} = \frac{0.0319 - 0.0}{LS - 0.025}$$

$$LS - 0.025 = \frac{0.0319 * (-0.005)}{0.5}$$

$$LS = 0.0247$$

- Cálculo de CP con interpolación lineal:

$$\frac{0.5 - 0.0}{0.050 - 0.030} = \frac{0.0319 - 0.0}{CP - 0.050}$$

$$CP - 0.050 = \frac{0.0319 * (-0.020)}{0.5}$$

$$CP = 0.0487$$

1.3.2.1.4. Diagramas Momento- Rotación y Momento- Curvatura

El diagrama Momento- Rotación será para representar la relación entre el momento flector y la rotación que sufrirá la viga a causa de este, de esta forma se puede mostrar la deformación elástica inicial y las deformaciones plásticas en su rango de carga.

Mientras que el diagrama Momento- Curvatura representa la relación entre el mismo momento flector y su radio de curvatura en la viga.

- Cálculo de momento flector obtenido anteriormente para el estado elástico agrietado o estado de fluencia:

$$My = Cc * \left(d - \frac{c}{3}\right) + Cs * (d - d')$$

$$My = 51.53 * \left(46 - \frac{10.72}{3}\right) + 8.11 * (46 - 4)$$

$$My = 25.28 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura de fluencia:

$$\Phi_y = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$\Phi_y = 0.000594 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de rotación en estado de fluencia por momento flector:

$$\theta_y = \frac{L}{6} * \frac{My}{E I_e}, I_e = \frac{bw * h^3}{12}$$

$$\theta_y = \frac{5}{6} * \frac{25.28}{250998.01 * 625000.00}$$

$$\theta_y = 0.00134 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación última:

$$\theta_u = \theta_y + a$$

$$\theta_u = 0.00134 + 0.0247$$

$$\theta_u = 0.026 \text{ rad}$$

- Cálculo de rotación residual:

$$\theta_r = \theta_y + b$$

$$\theta_r = 0.00134 + 0.0488$$

$$\theta_r = 0.050 \text{ rad}$$

- Cálculo de momento último:

$$M_u = M_y + \alpha * EI * (\theta_u - \theta_y), EI = \frac{My}{\Phi_y}$$

$$M_u = 25.28 \text{ Tnf} * m + 0.02 * \frac{25.28}{\frac{0.000594}{1000}} * (0.026 - 0.00134)$$

$$M_u = 25.49 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de momento residual:

$$M_r = M_y * c$$

$$M_r = 25.28 \text{ Tnf} * m * 0.2$$

$$M_r = 5.06 \text{ Tnf} * m$$

- Cálculo de curvatura última:

$$\Phi_u = \Phi_y + \frac{\theta_u}{l_p}$$

$$l_p = 0.08 * l + 0.022 * d * f_y \text{ (MPa)} \text{ (Paulay \& Priestley, 1992)}$$

$$l_p = 0.08 * 437.5 + 0.022 * 1.91 * 411.88 \text{ (MPa)}$$

$$l_p = 52.31 \text{ cm}$$

$$\Phi_u = 0.000594 + \frac{0.026}{52.31}$$

$$\Phi_u = 0.00064 \text{ 1/mm}$$

- Cálculo de curvatura residual:

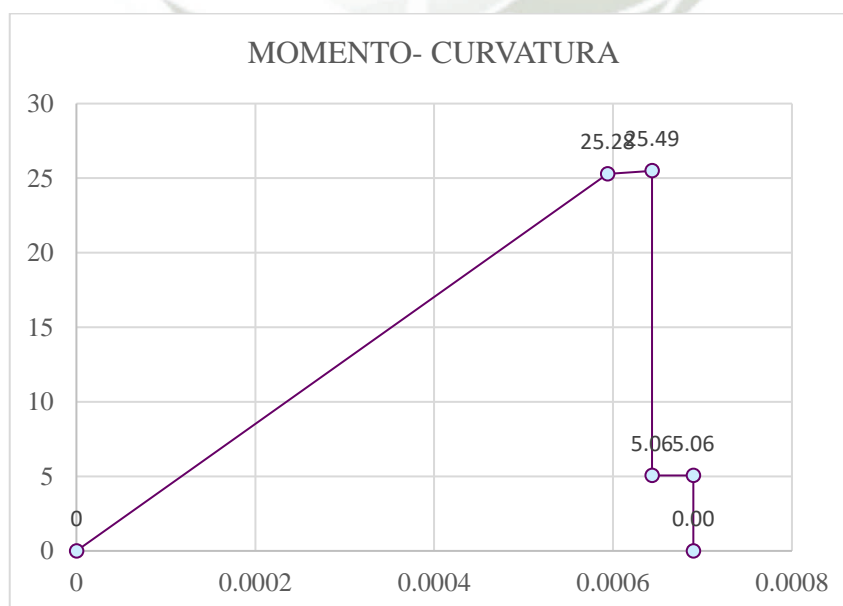
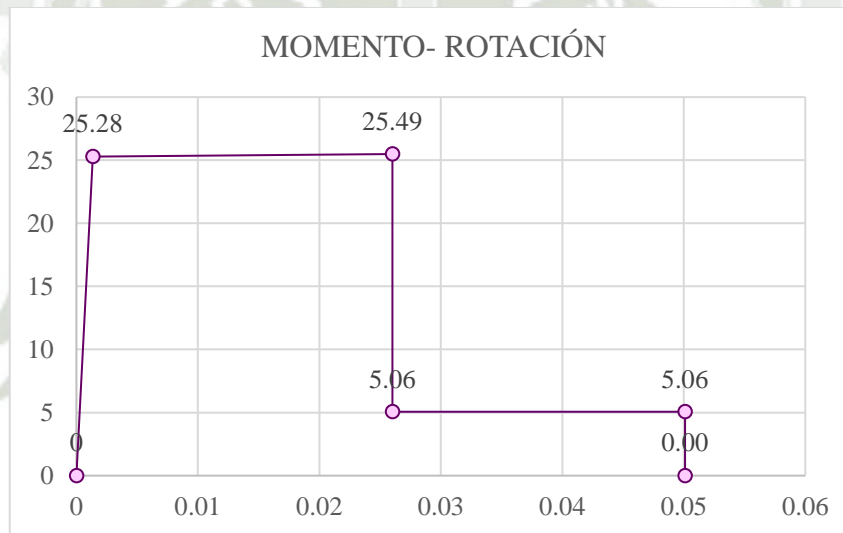
$$\Phi_r = \Phi_y + \frac{\theta_r}{l_p}$$

$$\Phi_r = 0.000594 + \frac{0.050}{52.31}$$

$$\Phi_r = 0.00069 \text{ 1/mm}$$

- Diagramas Momento- Rotación y Momento- Curvatura; considerando los puntos de: Estado de fluencia, Estado de deformación última y residual.

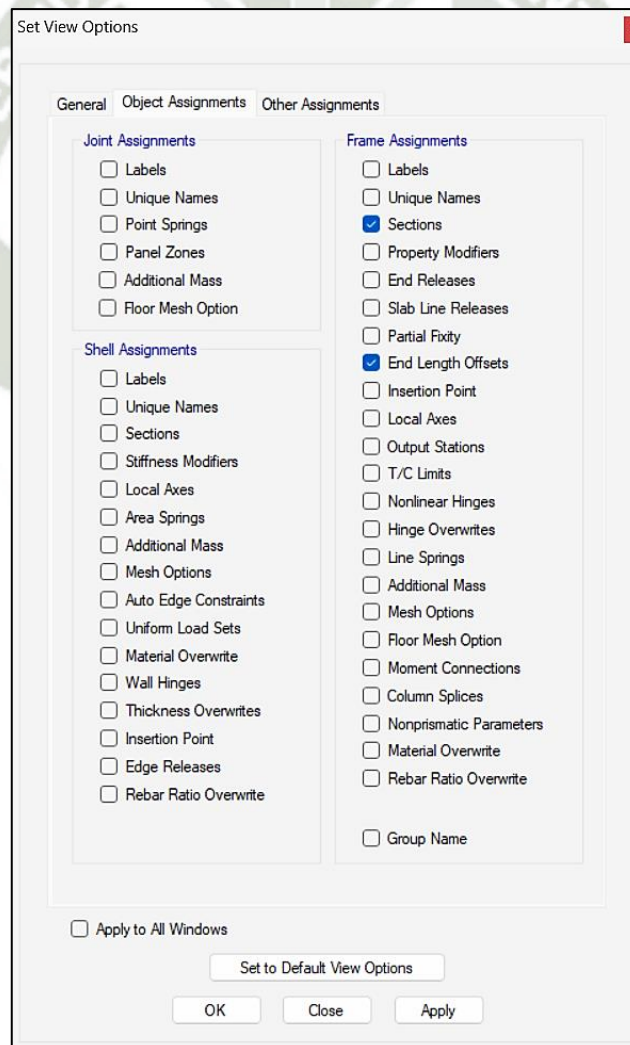
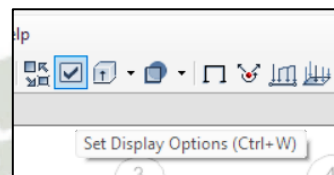
Θ (rad)	ϕ (rad/mm)	M (Tnf*m)	
0	0	0	
0.00134	0.00059	25.28	fluencia
0.02602	0.00064	25.49	última
0.02602	0.00064	5.06	residual
0.05010	0.00069	5.06	
0.05010	0.00069	0.00	



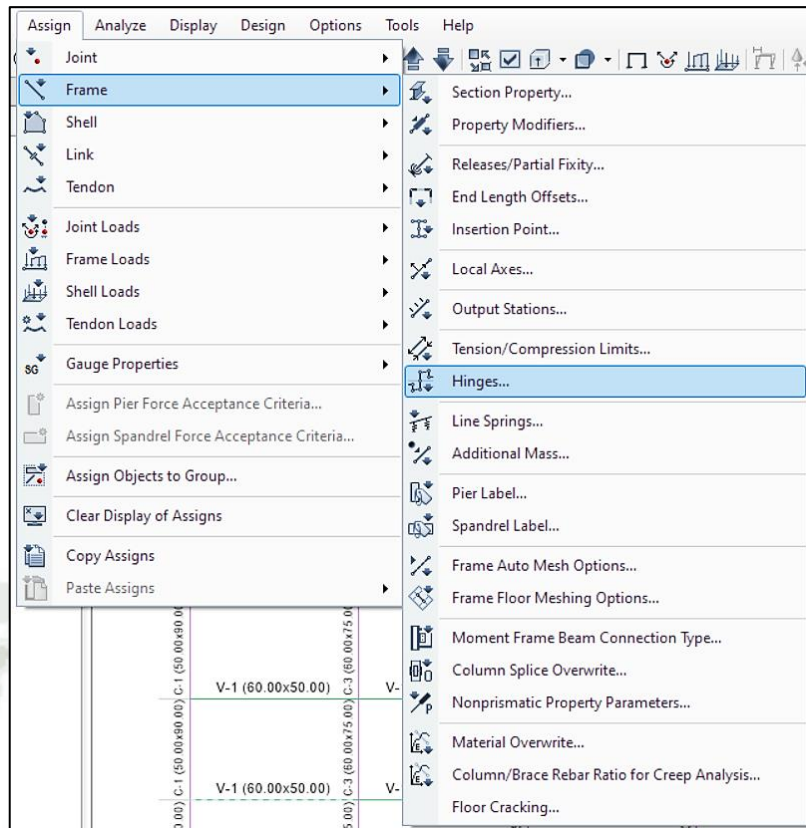
1.3.2.1.5. Asignación de Rótulas Plásticas

Se asignarán las rótulas plásticas en el software para poder proceder con el análisis no lineal Tiempo- Historia.

- Asignación de rótula plástica:
 - Para asignar brazos rígidos por defecto:
 - Set Display Options > Object Assignments > Activar la opción de End Length Offset > Apply > OK.



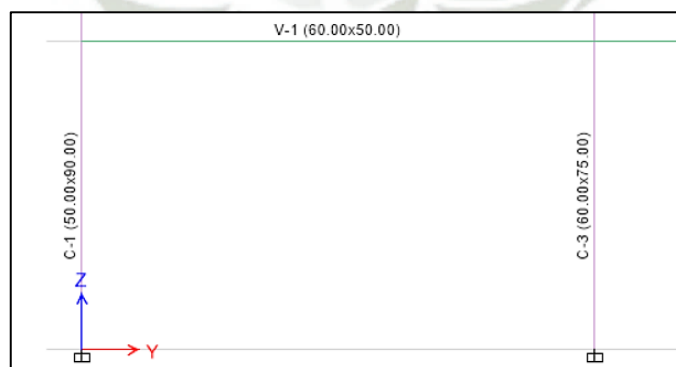
- Seleccionar viga > Menú Assign > Frame > Hinges.



— Definir la distancia relativa en la rótula plástica:

Es necesaria la obtención de la distancia relativa de la longitud plástica con respecto a la longitud libre de viga del cálculo del porcentaje que esta representa.

- Longitud libre de la viga: Se disminuye las partes de sección de columnas sobre las que se apoya la viga.



$$L - libre = 500 \text{ cm} - \left(\frac{50}{2} + \frac{75}{2} \right)$$

$$L - libre = 437.50 \text{ cm}$$

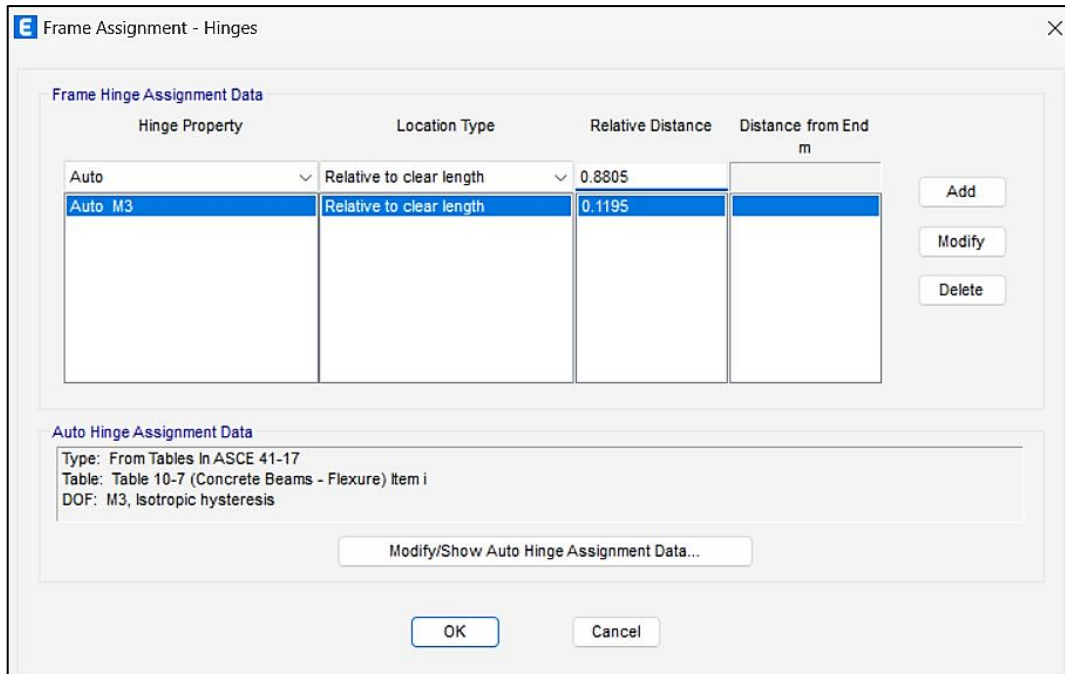
- Siendo 437.50 cm el 100% de la distancia, se tendría 11.95% como distancia relativa de la longitud plástica.

- Ingresar la distancia relativa en el software > Add.

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto	Relative to clear length	0.1195	

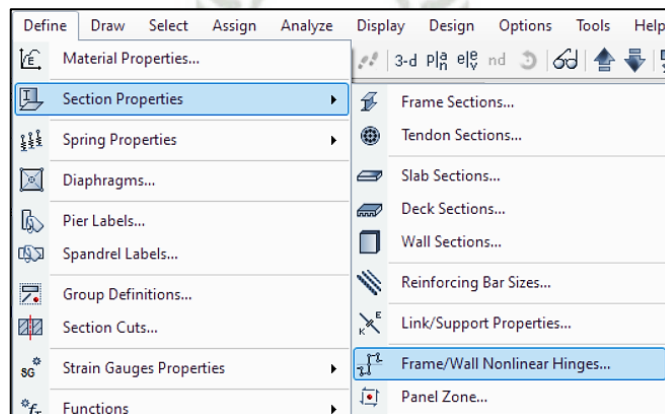
- En la ventana emergente: Auto Hinge Type: From Tables in ASCE 41-17 > Select a Hinge Table: Table 10-7 (Concrete Beams- Flexure) item i > Degree of Freedom: M3 > V Value From: Case/ Combo (seleccionar la envolvente creada anteriormente) > Transverse Reinforcing: Activar la opción de Transverse Reinforcing is Conforming > Refinforcing Ratio: User Value (for positive bending) (usar el valor obtenido para r1) > Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity: Drops Load After Point E > OK.

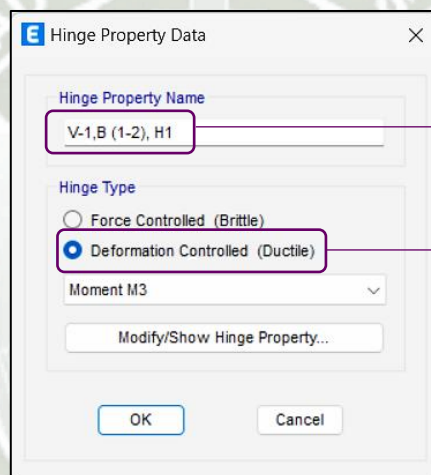
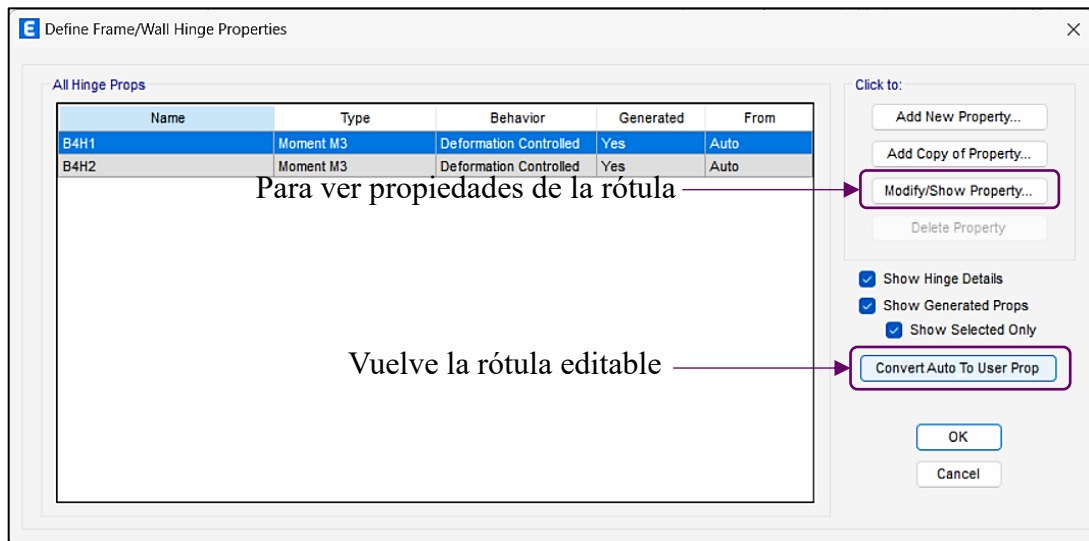
- Con el proceso anterior se establece la rótula plástica correspondiente al inicio de la viga, para definir la rótula plástica correspondiente al final de la viga, se repite el proceso, cambiando la distancia relativa a 1 menos el porcentaje obtenido en el punto anterior: $1 - 0.0571 = 0.9429$.



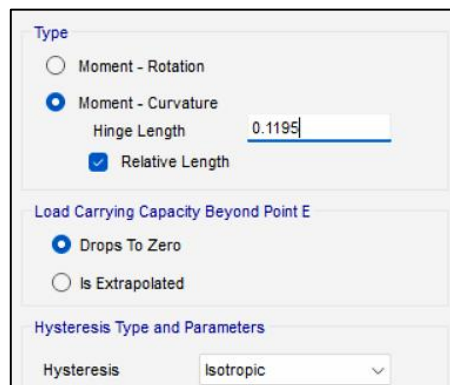
– Hacer la rótula plástica editable:

- Menú Define > Section Properties > Frame/ Wall Nonlinear Hinge > Activar opciones Show Hinge Details y Show Generates Props > Seleccionar la rótula creada > Convert Auto to User Prop > Modify Show Property > En la ventana emergente: Agregar nombre en Hinge Property Name > Hinge Type: Deformation Controlled (Ductile) > Seleccionar Moment M3 > Modify/ Show Hinge Property.



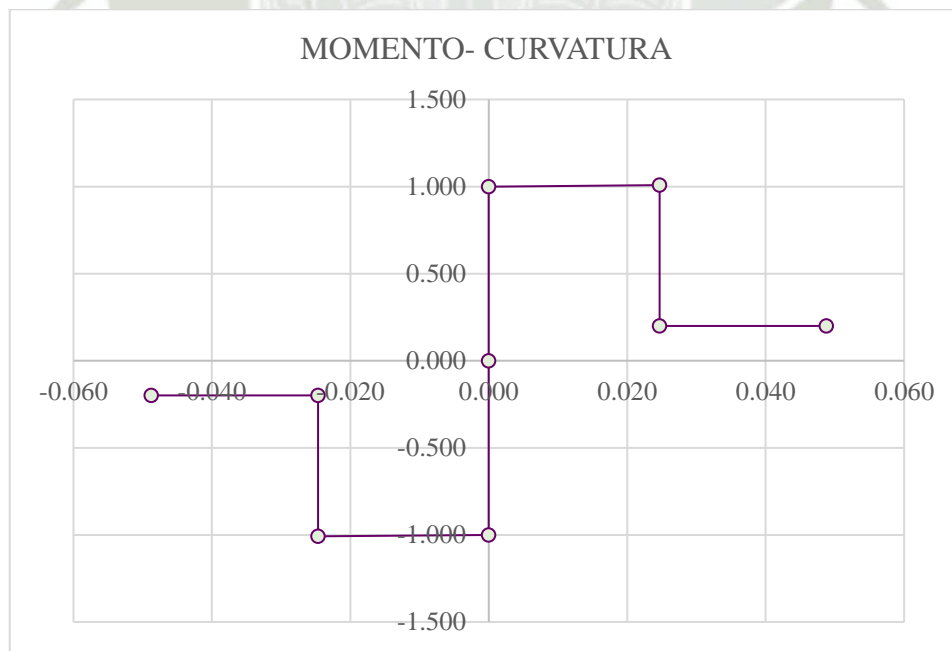


- Asignar y analizar valores obtenidos para definir las propiedades de la rótula:
 - Al presionar Modify/ Show Hinge Property se abrirá una ventana emergente en la que se asignarán los valores: Type: Moment- Curvature > en Hinge Length corresponde el valor obtenido de la distancia relativa en porcentaje de la longitud plástica.



- Teniendo como base el diagrama Momento- Curvatura obtenido de los cálculos anteriormente, se normaliza la demanda como indica la Norma ASCE 41-17, dividiendo los momentos obtenidos entre el momento de fluencia; además, a los valores de la rotación se le resta la rotación en fluencia y, por último, se hace un espejo de los valores después de cero, de esta forma se debe obtener un diagrama similar al software para su comprobación.

Θ (rad)	M (Tnf*m)	Θ (rad)	M/My	
0.00134-0.00134	25.28/25.28	-0.049	-0.200	residual
0.02602-0.00134	25.49/25.28	-0.025	-0.200	
0.02602-0.00134	5.06/25.28	-0.025	-1.008	última
0.05010-0.00134	5.06/25.28	0.000	-1.000	fluencia
		0.000	0.000	
		0.000	1.000	fluencia
		0.025	1.008	última
		0.025	0.200	
		0.049	0.200	residual



- En la ventana emergente de las propiedades de rótula plástica, se muestra también el diagrama Momento- Curvatura de la rótula plástica.

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-0.05
D-	-0.2	-0.02525
C-	-1.007527	-0.025
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.007781	0.024681
D	0.2	0.024928
E	0.2	0.048724

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Moment and Curvature

Use Yield Moment

Use Yield Curvature (Steel Objects Only)

	Positive	Negative	
Moment SF	17161.33	15520.77	kgf-m
Curvature SF	1000	1000	1/m

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	0.009681	-0.01
Life Safety	0.024681	-0.025
Collapse Prevention	0.048724	-0.05

Show Acceptance Criteria on Plot

- Se tiene como resultado la coincidencia tanto de los valores utilizados para la representación del diagrama, como los valores correspondientes a los criterios de aceptación

1.3.2.2. Asignación de Rótulas Plásticas en Columnas

Se hace la asignación de rótulas plásticas para mejorar la capacidad de resistencia a cargas sísmicas de las columnas, esto reduce en la estructura el riesgo de colapso.

Para el desarrollo de este paso, se utilizará como ejemplo, la viga C-1 de 50.00 x 90.00 descrita en el punto anterior, usando sus propiedades y el Diagrama Momento- Curvatura.

- Determinar distancia relativa de la rótula plástica con respecto a la luz libre de la columna.

— Cálculo de luz libre:

$$L \text{ libre} = L \text{ colum} - h \text{ viga}$$

$$L \text{ libre} = 300 \text{ cm} - 50 \text{ cm}$$

$$L \text{ libre} = 250 \text{ cm}$$

— Cálculo de longitud plástica:

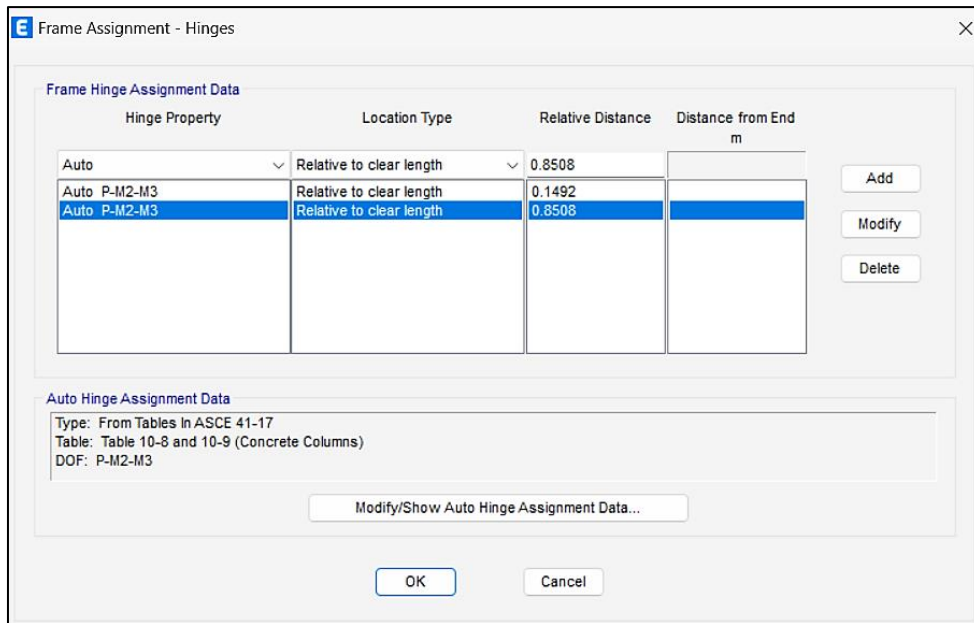
$$l_p = 0.08 * l + 0.022 * d * f_y \text{ (MPa)} \text{ (Paulay \& Priestley, 1992)}$$

$$l_p = 0.08 * 250.00 + 0.022 * 1.91 * 411.88 \text{ (MPa)}$$

$$l_p = 37.31 \text{ cm}$$

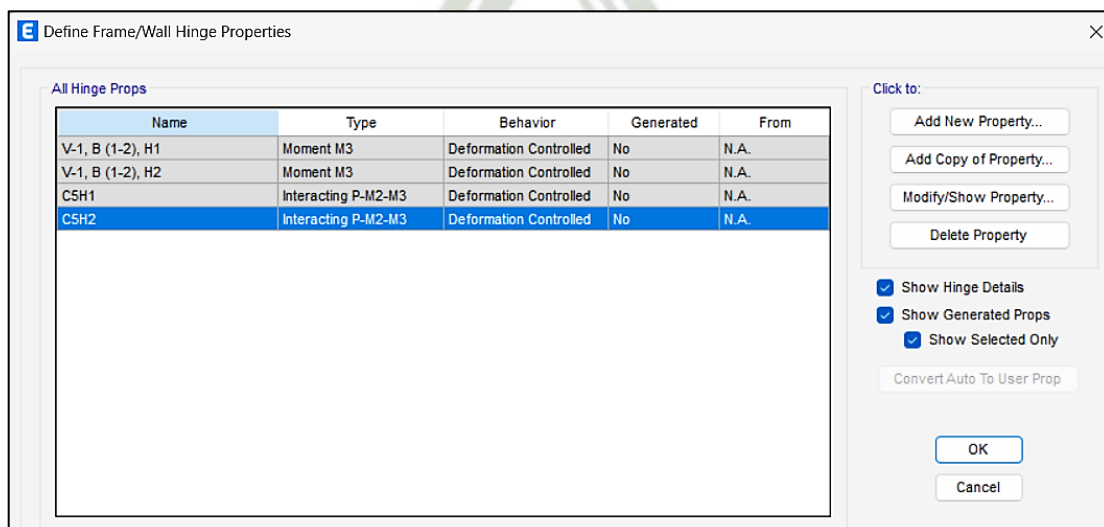
- Siendo 250 cm el 100%, la longitud plástica representa el 14.92%, teniendo una distancia relativa de 0.1492.
- Asignar rótulas plásticas en columnas:
 - Seleccionar la columna > Menú Assign > Relative to clear length: distancia relativa > Add > Modify/ Show Auto Hinge Assignment Data > En la ventana emergente: Auto Hinge Type: From Tables in ASCE 41-17 > Select a Hinge Table: Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns) > Degree of Freedom: P- M2- M3 > V Value From: Case/ Combo (seleccionar la combinación correspondiente a las cargas verticales para Gravity y la envolvente de cargas sísmicas creada anteriormente para Gravity + Lateral) > Concrete Column Behavior: Not controlled by Inadequate Development of Spicing (está opción se refiere a tener empalmes adecuados, en caso de tener empalmes inadecuados activar la opción de Controlled by Inadequate Development of Spicing).

- Con el proceso anterior se establece la rótula plástica correspondiente al inicio de la viga, para definir la rótula plástica correspondiente al final de la viga, se repite el proceso, cambiando la distancia relativa a 1 menos el porcentaje obtenido en el punto anterior: $1 - 0.1492 = 0.8508$.



- **Obtener Diagrama Momento- Curvatura del Software:**

- Menú Define > Section Properties > Frame/ Wall Nonlinear Hinge > Activar opciones Show Hinge Details y Show Generates Props > Seleccionar la rótula creada > Convert Auto to User Prop > Modify Show Property > En la ventana emergente: Agregar nombre en Hinge Property Name > Hinge Type: Deformation Controlled (Ductile) > Seleccionar Interacting P- M2- M3 > Modify/ Show Hinge Property.



- En la ventana emergente: Seleccionar la opción de Hinge Specification Type: Moment- Curvature > Ingresar distancia relativa en Hinge Length > Modify/ Show Moment Curvature Curve Data.

Moment Curvature Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Curvature/SF
A	0	0
B	1	0
C	4.203237	0.037792
D	0.24	0.03817
E	0.24	0.09

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

<input checked="" type="checkbox"/> Immediate Occupancy	0.005
<input checked="" type="checkbox"/> Life Safety	0.018896
<input checked="" type="checkbox"/> Collapse Prevention	0.026454

Show Acceptance Points on Current Curve

3D View

Plan: 315 deg, Axial Force: -756000 kgf
 Elevation: 35 deg
 Aperture: 0 deg

Hide Backbone Lines
 Show Acceptance Criteria
 Show Thickened Lines
 Highlight Current Curve

Moment Curvature Information

Symmetry Condition: None
 Number of Axial Force Values: 3
 Number of Angles: 4
 Total Number of Curves: 12

Angle Is Moment About

0 degrees = About Positive M2 Axis
 90 degrees = About Positive M3 Axis
 180 degrees = About Negative M2 Axis
 270 degrees = About Negative M3 Axis

Buttons: OK, Cancel

- Se hace siguiendo el mismo procedimiento para la rótula correspondiente al final de la columna.

1.3.3. Método de Fibras para Rótulas Plásticas

El método de fibras para la asignación de rótulas plásticas consiste en la división virtual de la sección transversal del elemento al cual se le aplica, se idealiza en forma de fibras las componentes del elemento a lo largo del elemento, asigna las rótulas para permitir el comportamiento plástico en la sección transversal al ser expuesta a cargas sísmicas.

En este método se consideran los efectos de la rotación y plastificación dentro del comportamiento de los elementos, es una herramienta importante para el análisis estructural no lineal, por lo que su uso es común en los softwares de análisis y diseño sismorresistente,

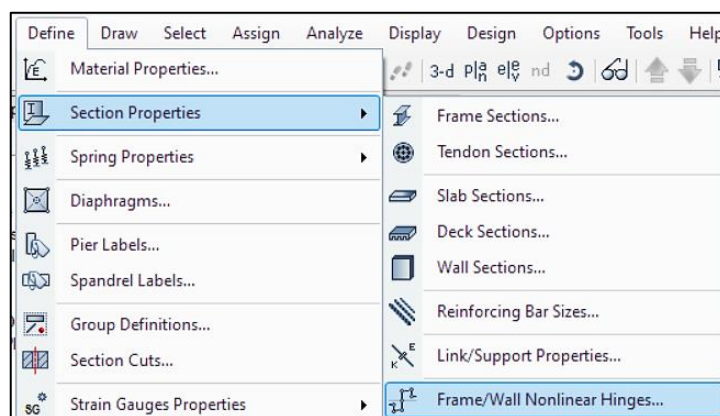
ya que permite la determinación de la cantidad de rótulas plásticas y su ubicación aumentando la precisión y seguridad en el diseño.

Es conveniente utilizar el método de fibras para casos en donde sea necesario un análisis más preciso y detallado, especialmente cuando se tienen secciones geométricas irregulares que estén expuestas a cargas sísmicas significativas.

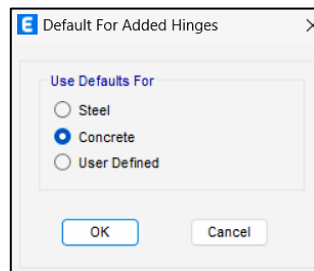
Además se debe tener en cuenta el uso que se le da al método según las dimensiones de los elementos a la que se le aplique; en el caso de rótulas plásticas, se modela comúnmente en elementos lineales o unidimensionales como vigas, columnas o barras, debido a que tienen secciones transversales más pequeñas y se puede idealizar su comportamiento con una rótula plástica al inicio del elemento y una al final, ubicadas donde se espera que se produzcan mayores deformaciones plásticas, sin embargo, el uso del método de fibras corresponde a elementos con una mayor área como placas o muros, teniendo una mejor representación del comportamiento plástico de la sección a lo largo de toda su extensión que la colocación de rótulas plásticas en puntos específicos. Teniendo elementos de mayores dimensiones de sección, se espera que la rigidez y las deformaciones sean variables en diferentes puntos del área; por ejemplo, en el punto más alejado del eje neutro, el elemento experimenta una deformación mayor que los puntos más cercanos al eje neutro, este método considera estas variaciones, permitiendo el análisis de la sección dividida en fibras, las cuales pueden tener propiedades geométricas y mecánicas diferentes.

En este caso se usará el método de fibras en las columnas para desarrollar el proceso y sus pasos a seguir, ya que su uso es para un comportamiento de flexocompresión.

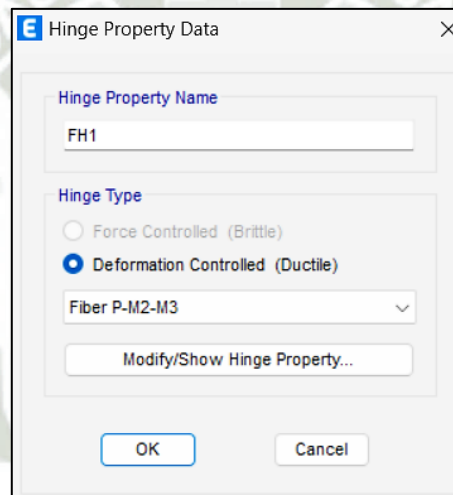
- Definir la rótula plástica por el método de fibras.
 - Menú Define > Section Properties > Frame/ Wall Nonlinear Hinges.



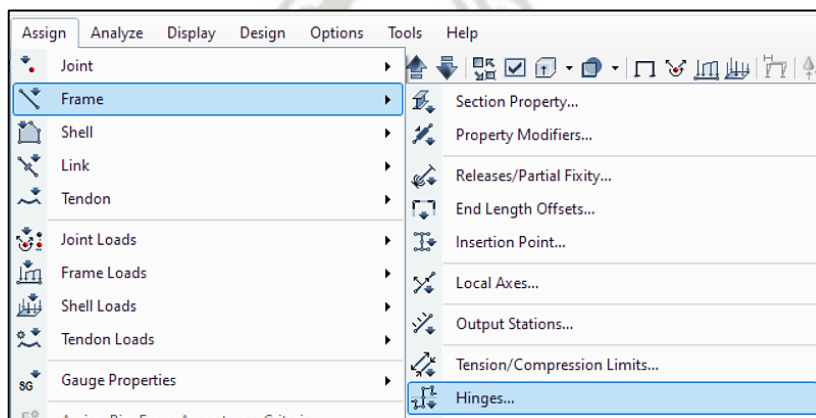
- En la ventana emergente seleccionar el material de los elementos, Use Defaults For: Concrete > OK.



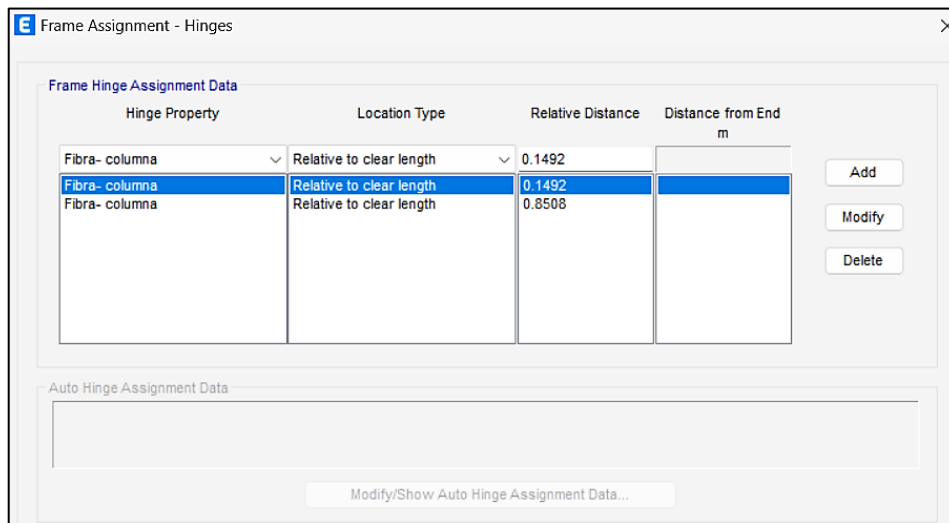
- En la ventana emergente asignar nombre a las rótulas plásticas, seleccionar la deformación dúctil y comportamiento de fibras en flexocompresión.



- Asignar las rótulas plásticas definidas por el método de fibra en columnas:
 - Seleccionar todas las columnas de la estructura > Menú Assign > Frame > Hinges.



- En la ventana emergente seleccionar la rótula definida anteriormente y colocar las distancias relativas para las rótulas plásticas de cada extremo del elemento.

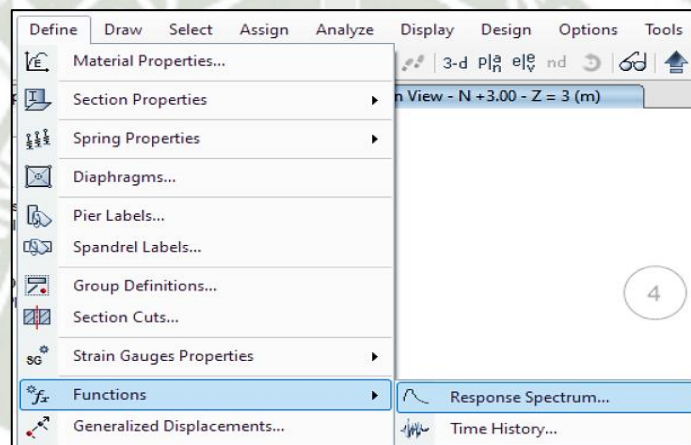


2. CAPÍTULO II: Tratamiento de Registros Sísmicos.

2.1. Espectro Objetivo

El espectro objetivo para diseño sísmico se representa con la curva de aceleración máxima teórica que debe resistir una estructura con determinado amortiguamiento y ductilidad durante un movimiento sísmico. Siguiendo lo indicado en la Norma Sismorresistente E. 030, se utiliza el método modal espectral para la obtención del espectro objetivo, usando los parámetros sísmicos correspondientes a la estructura usados anteriormente para el análisis lineal, con la diferencia del valor en el factor reducción, el cual, en este caso, será igual a 1.

- Definición del espectro objetivo:
 - Define > Functions > Response Spectrum.



- En la ventana emergente del espectro, se crea uno nuevo insertando los parámetros sísmicos.

A screenshot of a 'Parameters' dialog box. It contains several fields for defining seismic parameters:

Seismic Zone	Zone 3
Occupation Category	B
Soil Type	S2
Irregularity Factor, I _a	1
Irregularity Factor, I _p	1
Basic Response Modification Factor, R ₀	1

At the bottom of the dialog box, there is a button labeled 'Convert to User Defined'.

2.2. Registros Compatibles

La Norma E. 030 de diseño sismorresistente indica que al menos deben tomarse 3 eventos sísmicos con sus dos direcciones ortogonales cada uno para el análisis; cada evento debe elegirse, corregirse y escalarse individualmente.

Para la elección de los registros sísmicos, se deben tomar en cuenta diferentes criterios como sus magnitudes, distancia a las fallas, la zonificación en la que transcurren y su proximidad, de esta forma se debe garantizar la concordancia entre ellos, en especial con el de mayor magnitud.

En la Norma ASCE 7-161, también se señalan los criterios para que los sismos elegidos sean compatibles con la estructura, entre ellos; la magnitud de los sismos elegidos debe ser representativa según la amenaza sísmica esperada en la ubicación de la estructura, las condiciones de suelo deben ser similares de la zona de interés para que la aceleración del suelo coincida con la aceleración que tendría en un posible evento sísmico y se recomienda tener en cuenta la importancia de la edificación para seleccionar los sismos de acuerdo a su magnitud.

Para la obtención de registros sísmicos se pueden utilizar los datos de páginas libres como la de CISMID, en la que se encuentran diferentes registros de estaciones en todo el país, se buscan los eventos sísmicos compatibles con los criterios mencionados y se realiza la descarga.

Para este caso se encontraron los siguientes sismos compatibles:

Sismo	Componentes	Magnitud de Momento	Aceleración Máxima (gal= cm/s ²)	Aceleración máxima (g) sin esc.	Intervalo de muestreo	N° de muestras
01 de abril de 2014, Moquegua	E-W	8.2	-51.49	-0.0515	0.005	28200
	N-S		-33.34	-0.0333		
13 de junio de 2005, Moquegua	E-W	7.2	57.45	0.0574	0.005	33600
	N-S		65.83	0.0658		
10 de octubre de 2017, Arequipa	E-W	6.3	35.34	0.0353	0.005	65678
	N-S		-32.53	-0.0325		

De estos sismos se tomará uno como ejemplo para realizar el procesamiento con fines explicativos.

2.3. Procesamiento de Registros Sísmicos

2.3.1. Corrección de Línea Base y Filtrado

La corrección de línea base se hace en un registro sísmico para eliminar la intervención de fuentes externas de aceleración, como puede ser la vibración de equipo de medición o la gravedad, de esta forma se pueden tener valores más precisos y claros que la señal real sísmica.

Para este procedimiento se tiene como herramienta el software Seismo Signal, el cual se encarga de hacer la corrección obteniendo un registro más preciso para el análisis.

Se realizará el proceso utilizando como ejemplo el sismo del 13 de junio de 2005 en Moquegua, siendo un sismo compatible para el análisis, por lo cual se seguirán los siguientes pasos:

- Ingresar los datos del sismo en el software Seismo Signal:
 - Los datos del sismo descargados se tienen en un archivo txt., para ingresarlo al software se usa Ctrl+O y se abre el archivo, aparecerá una ventana emergente para ingresar las especificaciones que debe seguir el software para el procesamiento de datos:

Nº de línea en la que comienzan las aceleraciones

Intervalo de muestreo

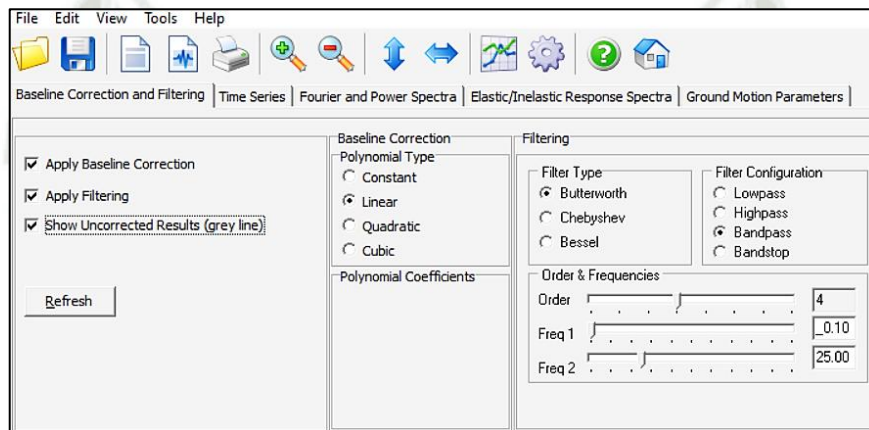
T	EW	NS	UD
0.0000	-0.0034	-0.0031	-0.0001
0.0050	0.0020	-0.0032	-0.0001
0.0100	0.0052	-0.0047	-0.0001
0.0150	0.0029	-0.0102	-0.0001
0.0200	-0.0040	-0.0131	-0.0001
0.0250	-0.0113	-0.0044	-0.0001
0.0300	-0.0144	0.0111	-0.0001
0.0350	-0.0109	0.0164	0.0001
0.0400	-0.0030	0.0051	0.0001
0.0450	0.0041	-0.0084	0.0001
0.0500	0.0060	-0.0084	-0.0001
0.0550	0.0035	0.0012	-0.0001

Considera 1 aceleración por línea
Nº de muestras +1

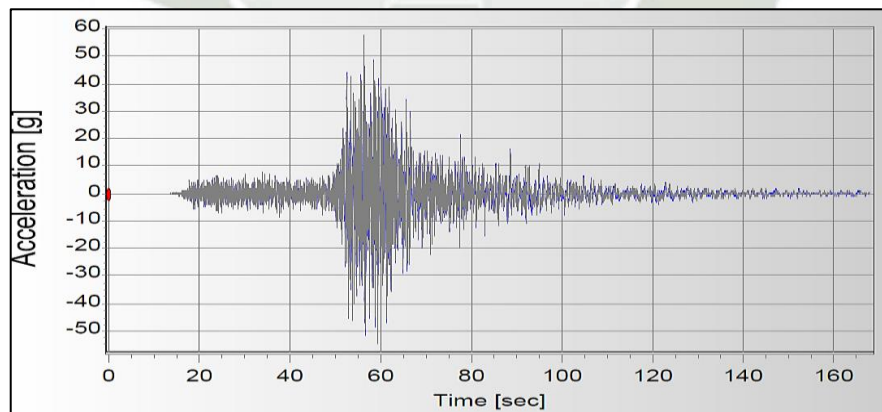
Columna en la que se encuentra la aceleración

En este caso se ingresa 2 en el número de columna de aceleración porque corresponde a la componente EW, cuando se ingresen los valores para la componente NS, se debe de tomar la columna 3.

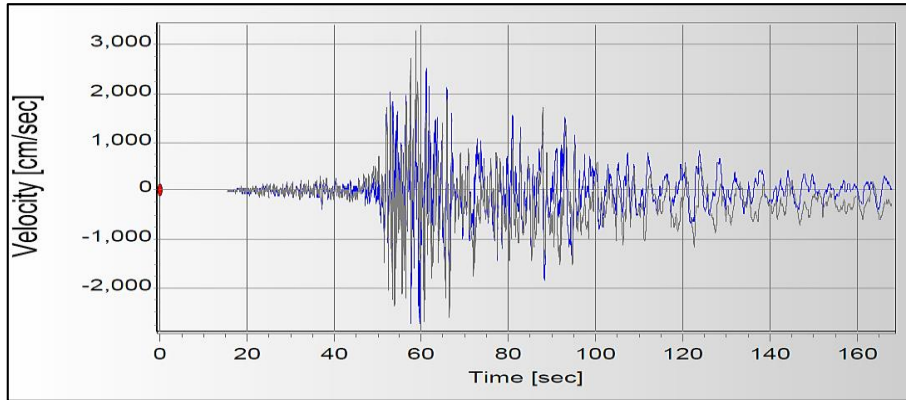
- Corrección del registro sísmico:
 - Con los registros en el software, se ingresa en el Menú Baseline Correction and Filtering y seleccionar las opciones de Apply Baseline Correction, Apply Filtering y Show Uncorrected Results (grey line) > Refresh.



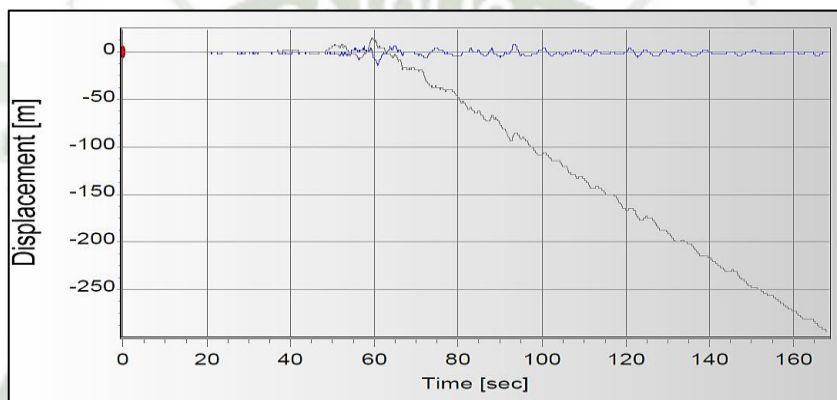
- Registros sísmicos corregidos:
 - Gráfico Tiempo- Aceleración (donde la línea gris es el registro corregido).



- Gráfico Tiempo- Velocidad (donde la línea gris es el registro corregido).

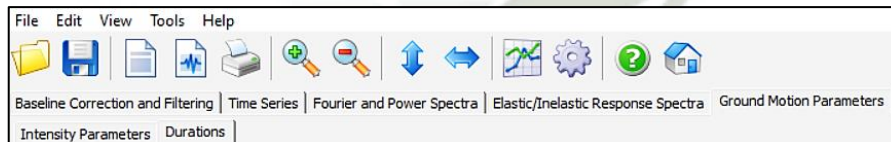


- Gráfico Tiempo- Desplazamiento (donde la línea gris es el registro corregido).

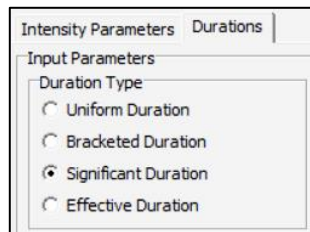


- Duración Significativa:

- Se ingresa en el Menú Ground Motion Parameters y dentro de este a la pestaña Durations.



- Seleccionar Significant Duration > Refresh.

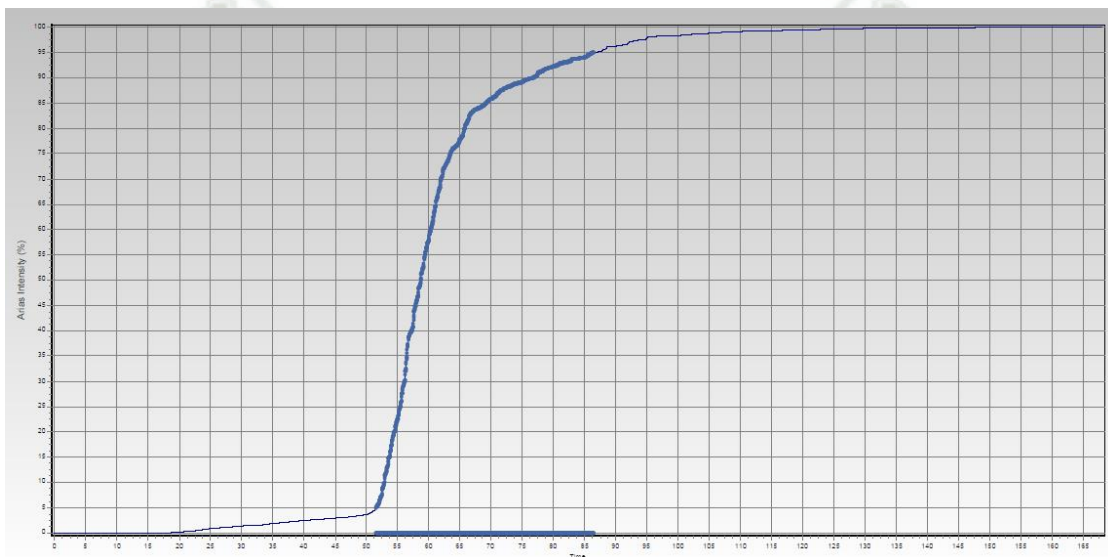


- Se obtiene de esta forma el resultado de la duración significativa, siendo igual a 34.86 segundos.

Duration estimated between
 %
 and
 %
 of the Arias Intensity

Significant Duration: 34.860sec

— Gráfico Tiempo (s) – Intensidad de Área (%)



2.3.2. Escalamiento o Ajuste del Registro

Se debe hacer el escalamiento o ajuste de los registros sísmicos que se usarán para que sus respuestas sean consistentes con la respuesta del espectro objetivo definido.

El escalamiento hace posible el ajuste del registro para que represente la geometría y características del suelo de la zona en la que se encuentra la estructura, parte importante del diseño sismorresistente de la misma; este proceso implica la comparación con la amplitud del espectro objetivo para una determinada frecuencia

El proceso de escalamiento o ajuste se realiza usando como herramienta el software Seismo Match, este hace la consistencia entre los registros sísmicos elegidos y el objetivo habiéndolos corregido previamente. Los sismos se escalan para el rango de 0.2T a 1.5T conforme indica la norma E. 030, se debe realizar el escalamiento ya que, al estar en el rango no lineal, el periodo es variable, si durante el evento la estructura pierde rigidez, el periodo va aumentando.

- Ingresa en Seismo Match el registro del sismo elegido:
 - Los datos del registro sísmico se tienen en un archivo txt., para ingresarlo al software se usa Ctrl+O y se abre el archivo, aparecerá una ventana emergente para ingresar las especificaciones que debe seguir el software para el procesamiento de datos:

N° de línea en la que comienzan las aceleraciones

Intervalo de muestras

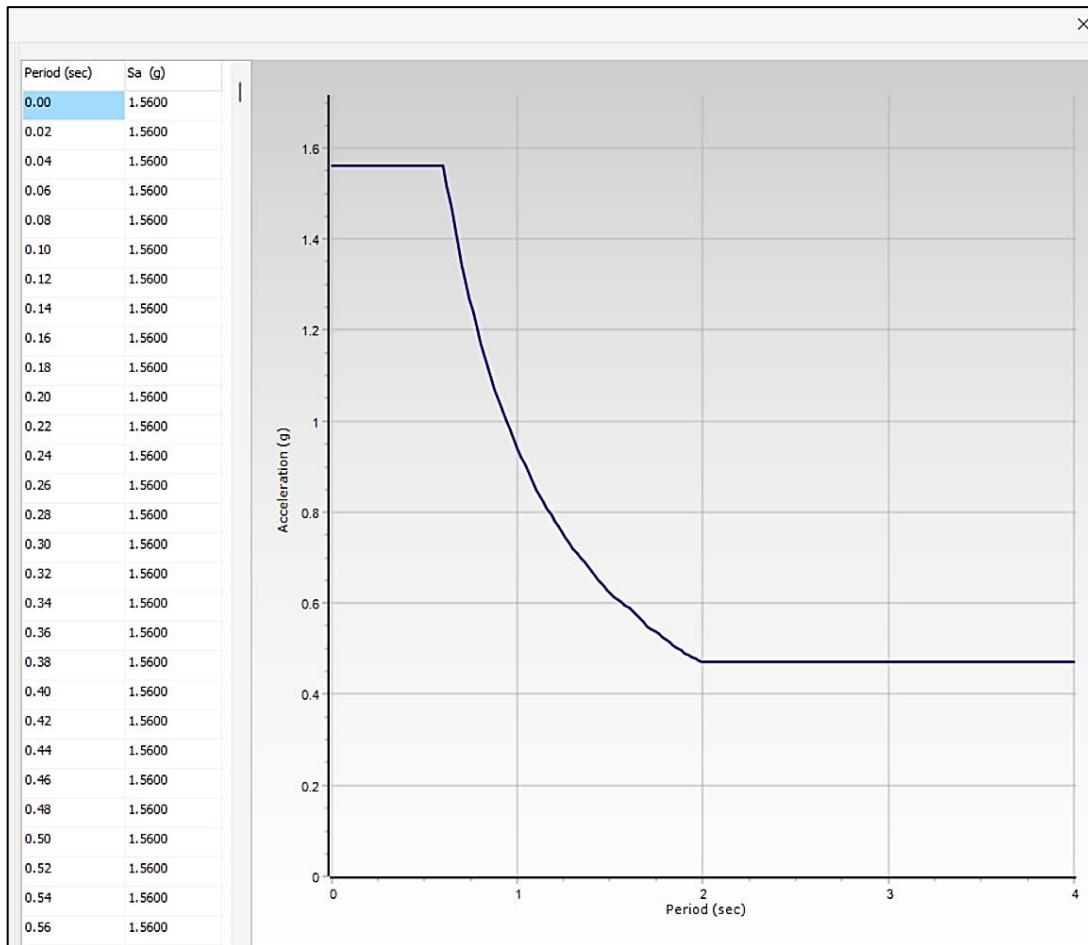
N° de columna de los datos de tiempo

T	EW	NS	UD
0	-0.0034	-0.0031	-0.0087
0.02	-0.004	-0.0131	-0.0047
0.04	-0.003	0.0051	0.0096
0.06	0.0009	0.0053	-0.0053
0.08	0.0085	0.0028	-0.0041
0.1	-0.0091	0.004	-0.0027
0.12	0.0065	-0.0044	0.014
0.14	0.0052	0.0047	-0.0095
0.16	-0.0051	-0.0048	-0.0044

Considera datos de tiempo y aceleración

N° de columna de los datos de aceleración

- Ingresa en Seismo Match el espectro objetivo:
 - Los datos del espectro se tienen en un archivo txt., para ingresarlo al software se usa la opción Define Target Spectrum y se abre el archivo, aparecerá una ventana emergente en la que se selecciona la opción de Load Spectrum from Load y se carga el espectro:



- Hacer el Match del registro y el espectro objetivo:
 - Para el match se debe tener en cuenta el rango indicado en la norma de 0.2T y 1.5T, para lo que se tienen los periodos fundamentales tanto para X como para Y obtenidos anteriormente del modelamiento en ETABS:
 - Run Analysis > Tables > Analysis Results > Structure Output > Modal Participating Mass Ratios.

E Modal Participating Mass Ratios					
File Edit Format-Filter-Sort Select Options					
Units: As Noted		Hidden Columns: No		Sort: None	
Filter: None					
	Case	Mode	Period sec	UX	UY
▶	Modal	1	0.763	0	0.8042
	Modal	2	0.721	0.8162	0

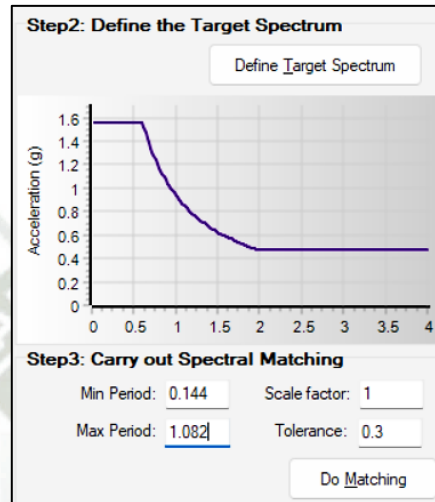
Periodo fundamental de X: 0.721 s.

Periodo fundamental de Y: 0.763 s.

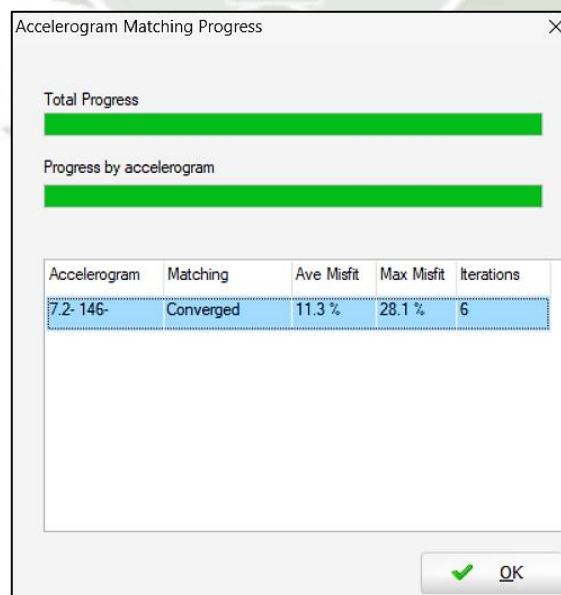
Rango: $0.2T - 1.5T = 0.2 * 0.721 - 1.5 * 0.721$

Rango: 0.144 – 1.082

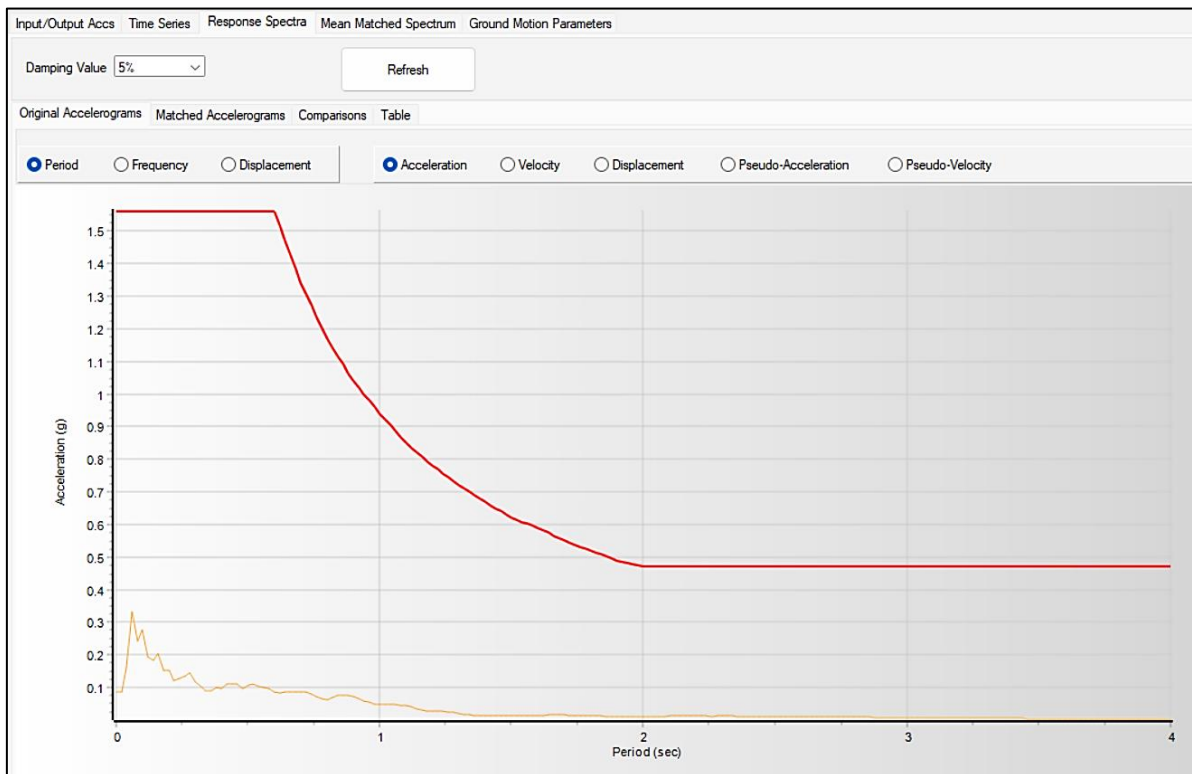
- Se ingresa este rango en el software Seismo Match y se presiona el botón Do Matching.



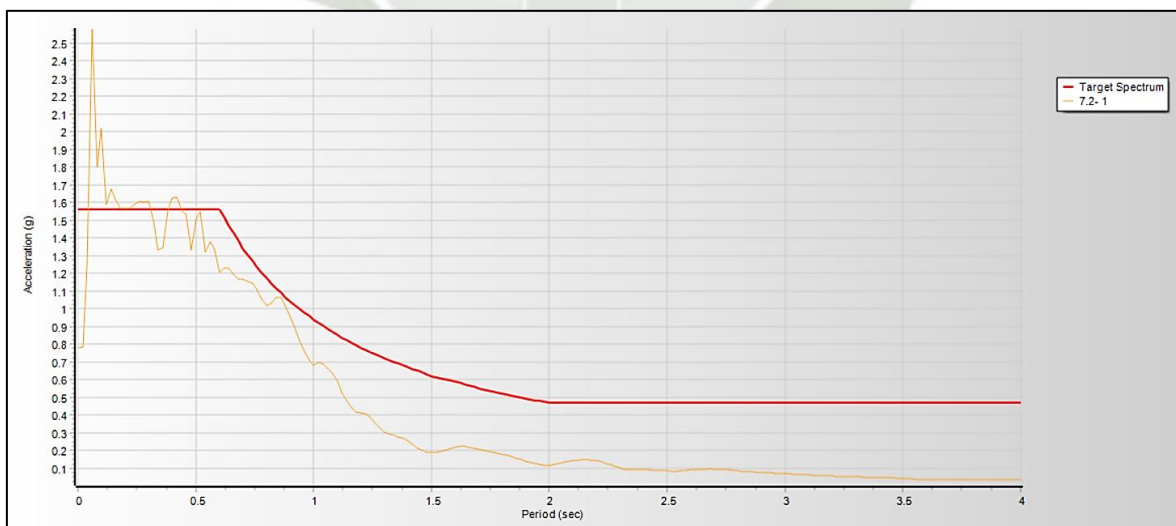
- Revisar que en la ventana emergente confirme la consistencia entre ambos con el estado de Covered.



- Terminando de cargar el software, se obtiene el diagrama Tiempo- Aceleración original del espectro y el registro sísmico.

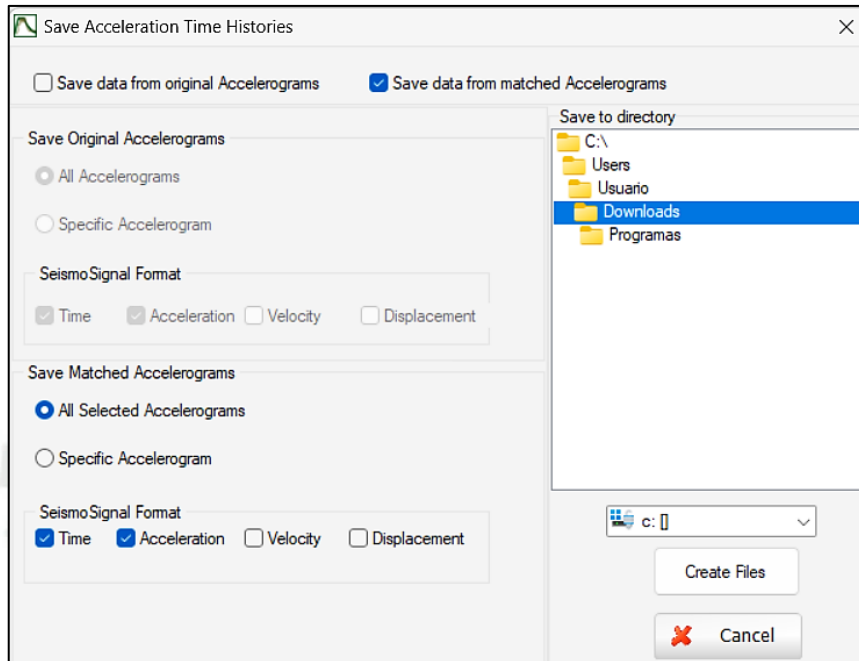


- El acelerograma y el espectro en match.

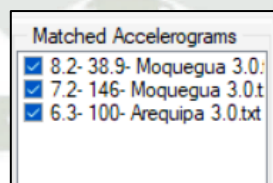


- Se guardan los datos del match seleccionando en la ventana para guardar la opción de Save Data from matched Accelerogram > Save Matched Accelerogram: All

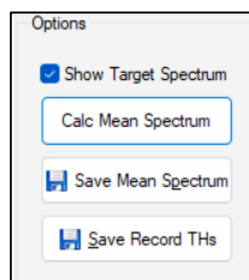
Selected Accelerograms > Seismo Signal Format: Time y Acceleration > Seleccionar la carpeta para crear el txt. de los datos.



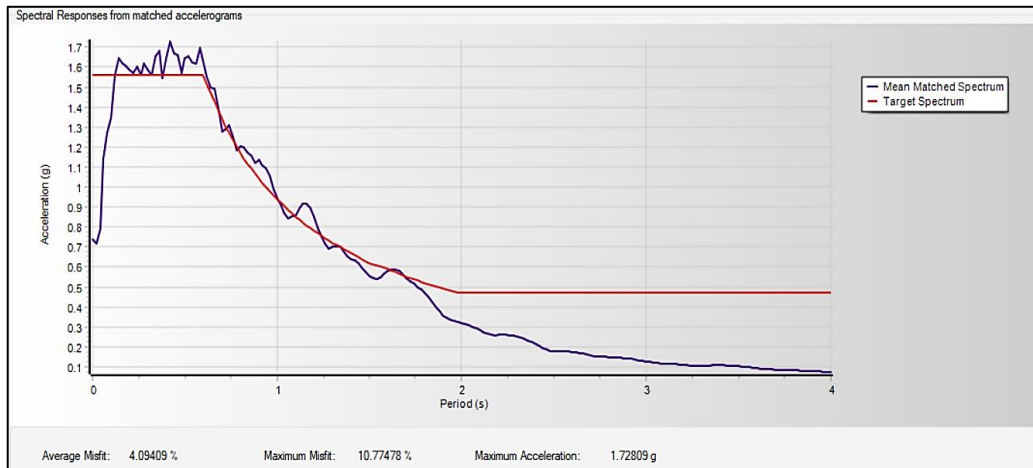
- Se repite el proceso con los registros sísmicos que se tenga, para obtener un espectro de respuesta de todos.
 - Ir a la pestaña de Mean Matched Spectrum, seleccionar todos los sismos cargados en la ventana de la parte derecha y presionar Calc Mean Spectrum.



- Guardar los datos que se obtienen de este espectro para posteriormente cargarlos al modelo de la estructura en el software ETABS con el botón Save Mean Spectrum en la ventana de opciones ubicada en la parte inferior derecha.



- Gráfico del espectro de respuesta resultado del match de todos los registros sísmicos cargados y previamente corregido con el espectro objetivo considerando la ubicación de la estructura.



- Se repite el proceso para el número de sismos que se tengan para el análisis de la estructura, obteniendo un espectro para la componente E-W y un espectro para la componente N-S.

3. CAPÍTULO III: Análisis no Lineal Tiempo- Historia

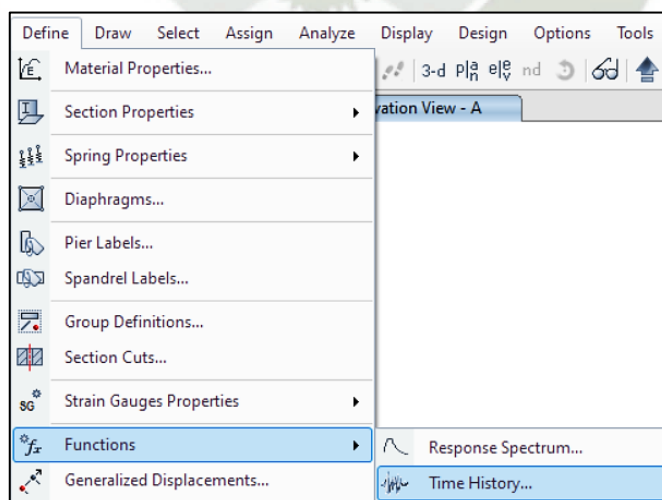
El análisis no lineal Tiempo- Historia es utilizado en la ingeniería estructural como método de análisis y verificación sísmica para aumentar su seguridad y precisión, este permite la simulación del comportamiento en respuesta a las cargas de un evento sísmico de la estructura en la que se aplica.

Para su aplicación es necesario el modelamiento de una estructura cuyo diseño cumpla con las consideraciones de las normas sismorresistentes y registros sísmicos de eventos reales que se podrían dar en la zona en la que se ubica la estructura.

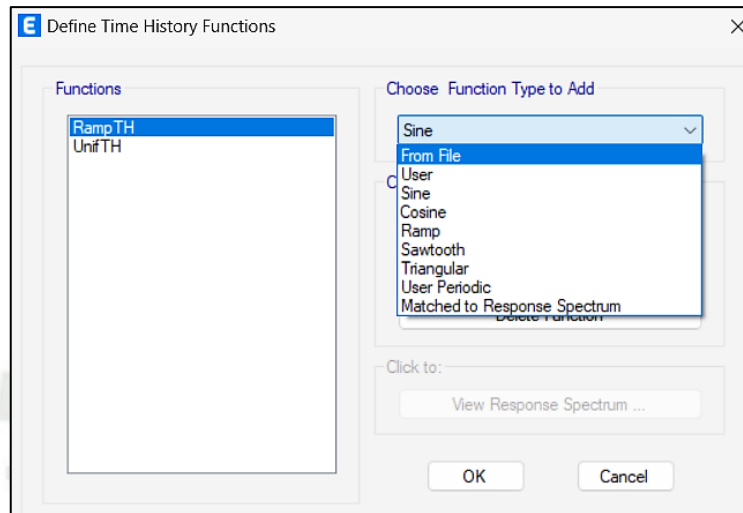
Una vez que se ha realizado tanto el tratamiento de la estructura como el tratamiento de los registros, se utiliza el software ETABS para el análisis dinámico y el cálculo de la respuesta de la estructura en el transcurso del tiempo que ocurre el sismo, definiendo las características de la zona, la estructura y las cargas sísmicas. Para obtener la respuesta se deben aplicar los espectros de respuesta de los sismos al modelamiento de la estructura.

3.1. Definición de la Función Tiempo- Historia

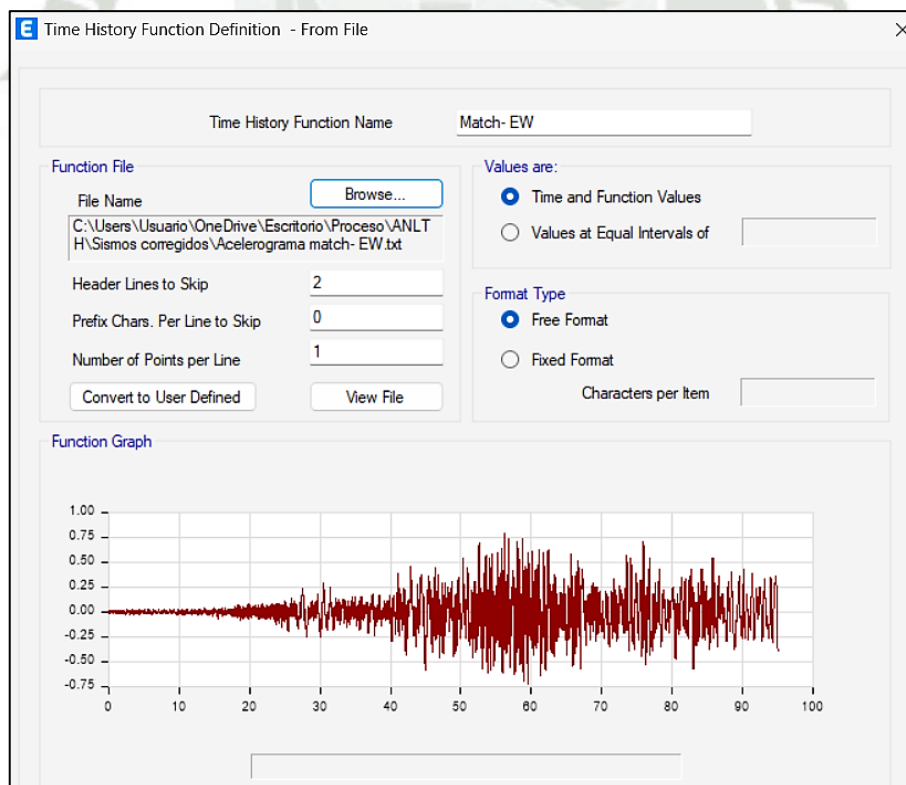
- Se cargan los datos del sismo definido usando los valores máximos de los sismos tratados hasta su duración significativa establecida en el punto anterior como documento txt. en el modelo existente de la estructura.
 - Menú Define > Functions > Time History.



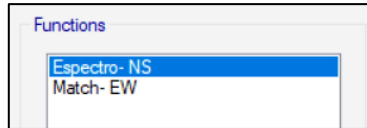
- En la ventana emergente se eligen las opciones de From File en Choose Function Type to Add y presionar Add New Function.



- En la ventana emergente se carga el documento txt. de los datos del sismo con la opción Brose y se definen los datos del número de líneas del documento que el software debe de saltarse para procesar el inicio de datos y cuantos puntos representa cada línea, además se definen los valores como: Time and Function Values y un formato libre

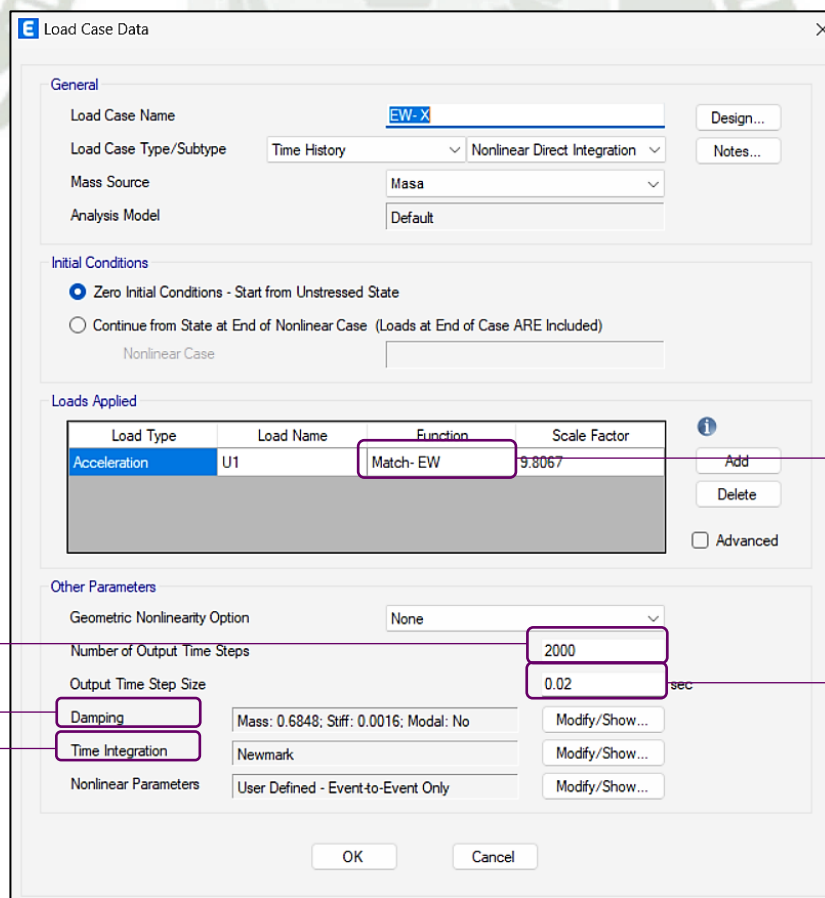


- Se repite el proceso para cargar el acelerograma de la componente N-S.



3.2. Definición de la carga Sísmica

- Se define la carga sísmica ocasionada por los eventos sísmicos cargados al modelo de la estructura, para este paso se usan los datos de la duración en donde se encuentran las aceleraciones más significativas para no sobrecargar el software.
 - Menú Define > Load Cases > Add New Case > en la ventana nombrar la carga > Load Case Type/ Subtype: Time History- Nonlinear Direct Integration > Mass Source: Mass Source definido para el análisis lineal > Analysis Model: Default > Initial Conditions: Zero Initial Conditions > Load Applied: Acceleration, seleccionar la dirección U1 para la componente E-W y U2 para la componente N-S, seleccionar la función tiempo historia definido para cada componente y colocar el valor de la gravedad en m/s² > Number of Output Time Steps: Colocar el número de datos del acelerograma > Output Time Step Size: Colocar la diferencia de periodos.



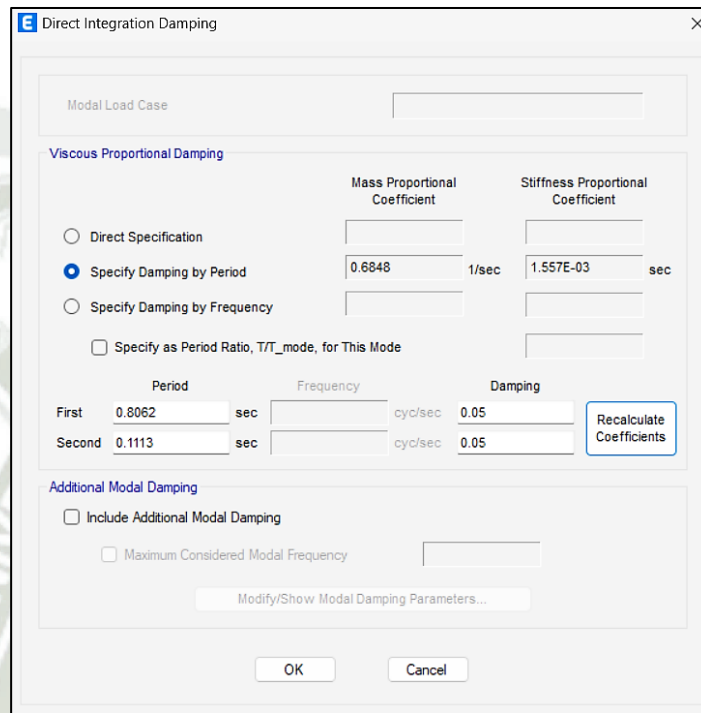
Función Tiempo-Historia

Nº de datos

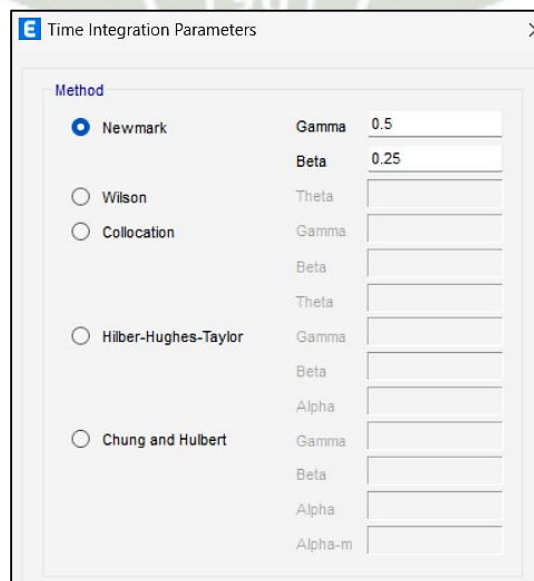
Amortiguamiento
Método de Integración

Intervalo de muestras

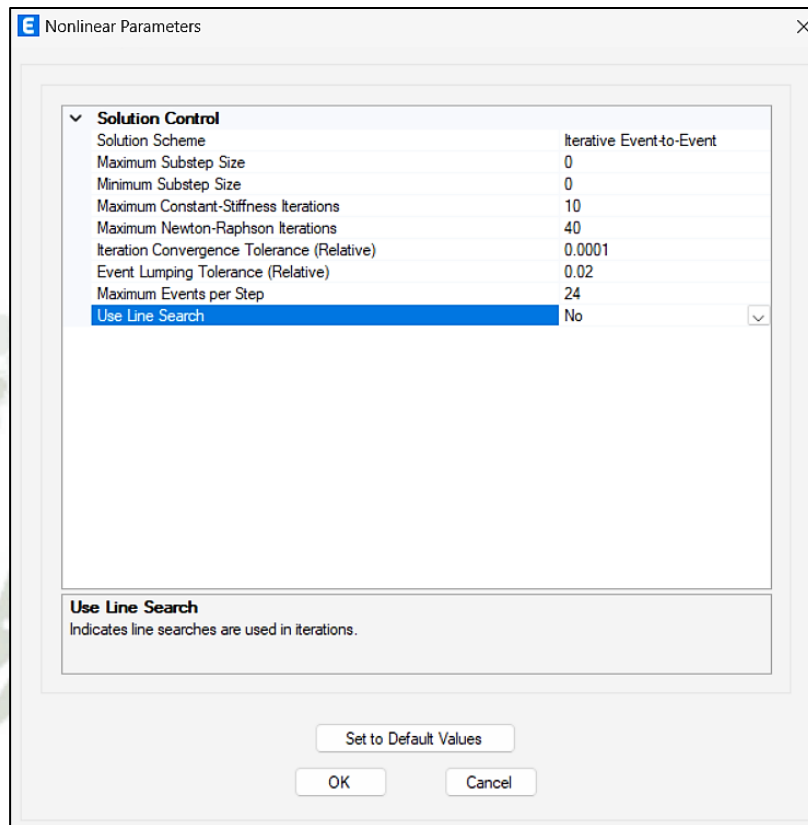
- Configurar el amortiguamiento en la opción Modify/ Show de Damping > Viscous Proportional Damping: Specify Damping by Period > Aplicar 5% de amortiguamiento según lo establecido en la norma E. 030 para los periodos fundamentales de la estructura y presioinar el botón de Recalculate Coefficients.



- Seleccionar el método de integración de Newmark en la opción Modify/ Show de Time Integration > seleccionar el método de Newmark con los factores de 0.5 para Gamma y 0.25 para Beta.



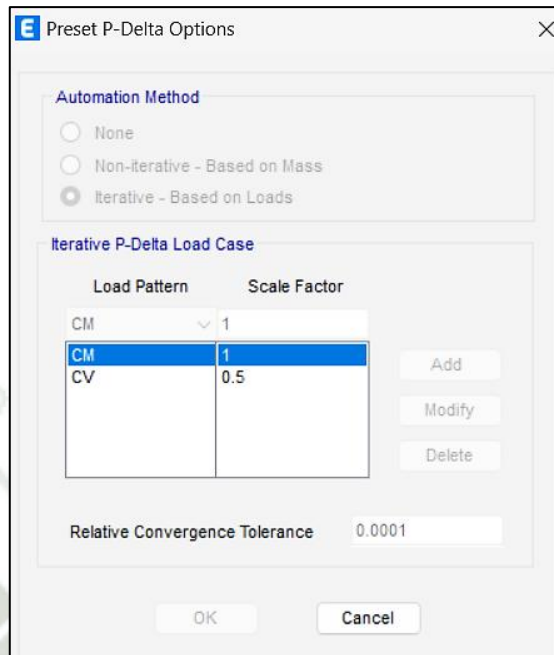
- Definir los parámetros no lineales en la opción Modify/ Show de Nonlinear Parameters > seleccionar en Solution Scheme > Iterative Event to Event > Maximum Substep Size: 0 > Minimum Substep Size: 0 > Cambiar el intervalo de muestras en Event Lumping Tolerance (Relative) y mantener los demás parámetros por defecto.



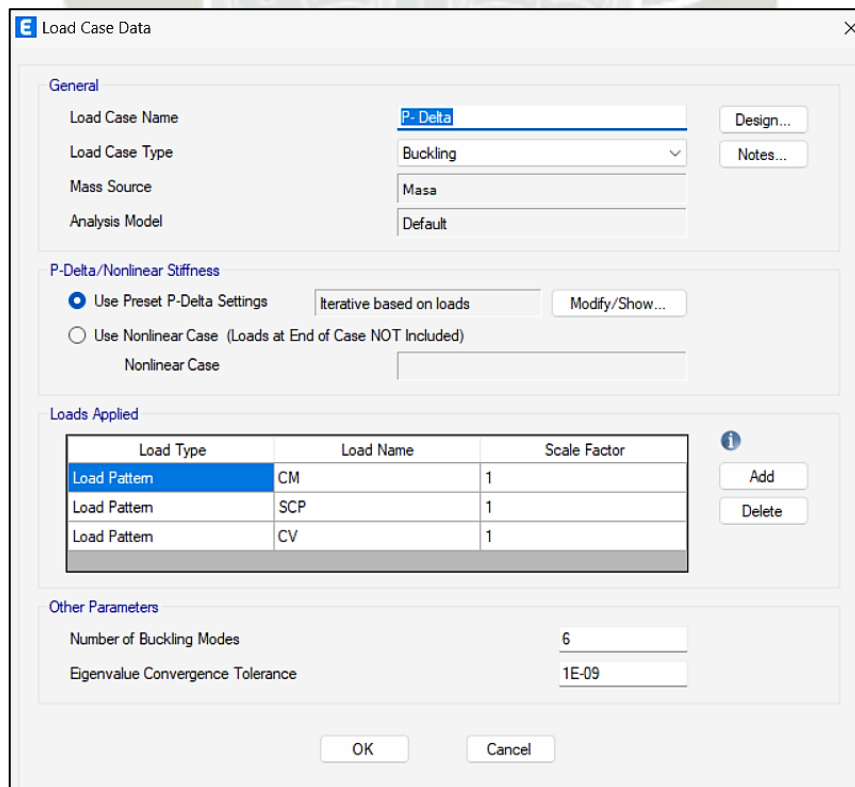
3.3. Definición de la no Linealidad Geométrica

La no linealidad geométrica se realiza para considerar los efectos de segundo orden, para el análisis no lineal, es necesaria la definición de la no linealidad geométrica para la representación de deformaciones y desplazamientos, ya que estos pueden verse afectados por los daños acumulados como la plasticidad en el acero o la fisuración en el concreto.

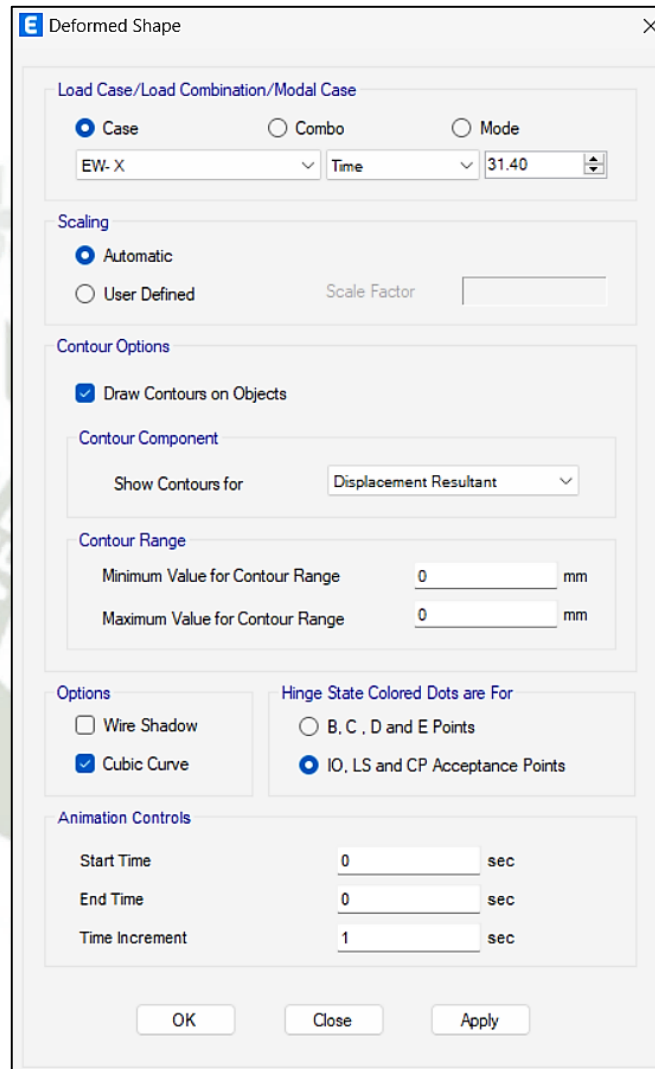
- Definición de la carga P- Delta:
 - Menú Define > P-Delta Options > Activar opción de Iterative- Base don Loads > Asignar las cargas muerta y viva con el porcentaje correspondiente con los asignados en el análisis modal espectral > OK.



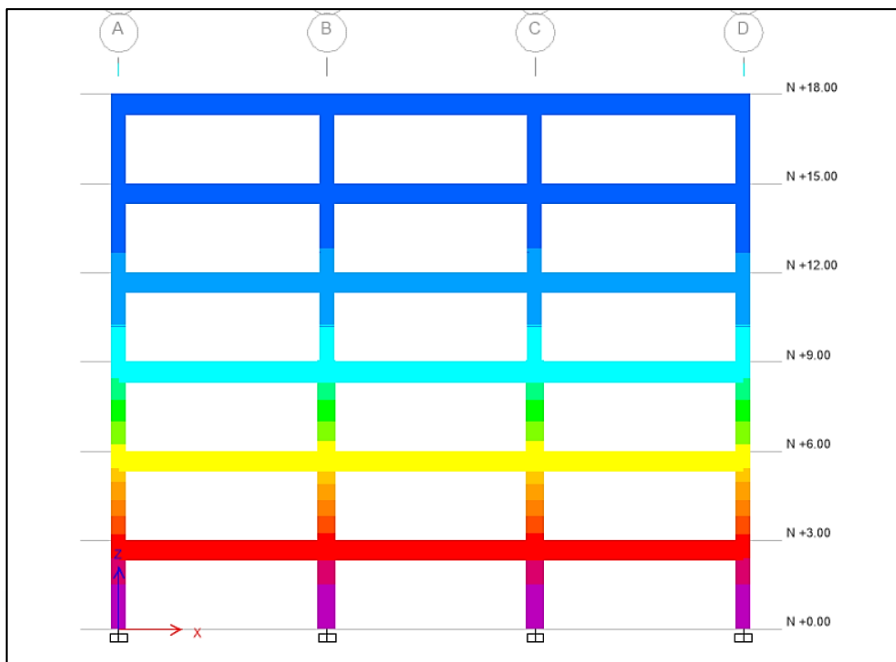
- Menú Define > Load Cases > Add New Case > Load Case Type: Buckling (está es la opción del software que permite el análisis de pandeo en columnas, experimentando esté fenómeno por la compresión axial que se genera de las cargas gravitatorias) > P-Delta/ Nonlinear Stiffness- Activar opción Use Preset P- Delta Settings > Agregar en Load Applied la carga viva y carga muera con un factor de 1 > OK.



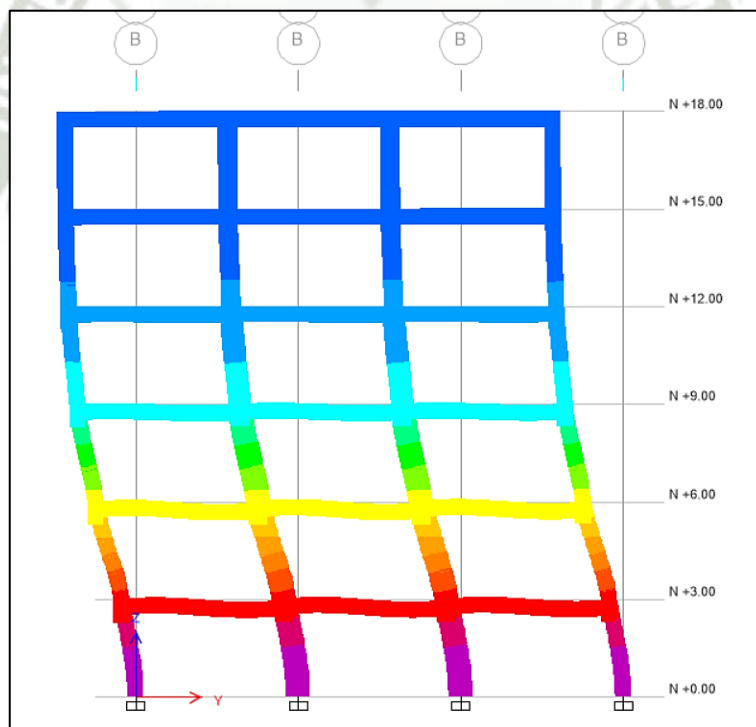
- Run Analysis > Show Deformed Shapes > Load: Case- Elegir el caso de carga para sismo con la dirección analizada, poniendo el tiempo en el que se des los mayores desplazamientos > Contour Component: Displacement Resultant > Apply > OK.



- Se obtiene la siguiente gráfica del modelo.
 - Resultado de pórtico en el eje perpendicular a la carga:

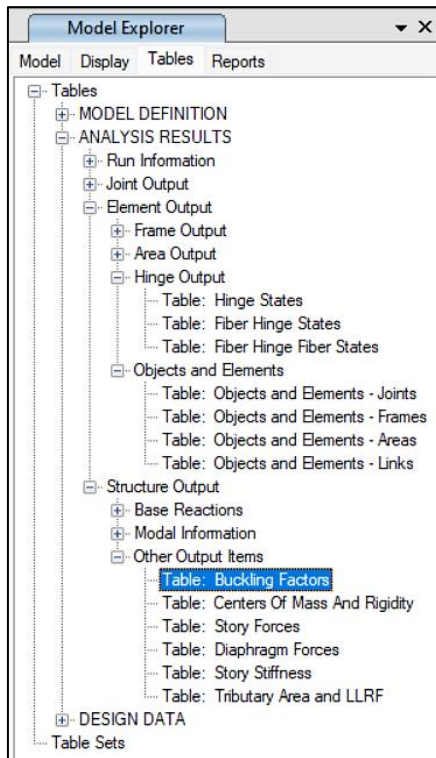


- Resultado de pórtico en el eje paralelo a la carga:



Donde cada uno de estos colores muestran el comportamiento en el análisis de los efectos P- Delta que tiene la estructura, siendo:

- Los elementos que presentan color azul o cian: Los efectos del análisis de segundo orden, son menos significativos, por lo que estos elementos tienen un comportamiento que se asemeja al lineal.
- Los elementos que presentan color verde: Pasan ligeramente la compresión mínima, por lo que los efectos P- Delta, van aumentando conforme el color va hacia el amarillo.
- Los elementos que presentan color amarillo: En esta zona ya se puede considerar los efectos de segundo orden, ya que este ocasionó que la estructura experimente tensiones moderadas.
- Los elementos que presentan color naranja: Estos elementos comienzan a presentar tensiones más altas en la estructura, causadas por los efectos de segundo orden, en esta zona ya tienen un papel importante.
- Los elementos que presentan color rojo: Estas áreas requieren de una revisión en el diseño, ya que los efectos de segundo orden son significativos, causando las mayores deformaciones y tensiones en los elementos.
- Los elementos que presentan color violeta: Tienen un comportamiento similar a los elementos en color rojo, pero con mayor severidad, lo que las hace zonas críticas de la estructura.
- Corrección de factores de pandeo: La corrección de pandeo en el análisis P-Delta ajusta las rigideces de los elementos estructurales en función de las deformaciones laterales que se generan en el análisis; de esta forma se puede mejorar la representación de la interacción entre las deformaciones y las cargas, especialmente cuando los desplazamientos laterales son lo suficientemente grandes como para influir en la distribución de cargas y momentos en la estructura.
 - Para obtener los factores de pandeo:
 - Run Analysis > En la ventana Model Explorer seleccionar la pestaña de Tables > Analysis Results > Structure Output > Other Output Items > Table: Bucling Factors > Click derecho > Shoe Table.



	Case	Mode	Scale Factor
▶	P- Delta	1	64
	P- Delta	2	68.558
	P- Delta	3	91
	P- Delta	4	91.921
	P- Delta	5	93.452
	P- Delta	6	109.062

- Corrección del factor de pandeo en el Caso de Carga P- Delta.
 - Menú Define > Load Cases > Seleccionar P- Delta > Modify/ Show Case > Cambiar los factores de escala para cada carga con el valor que aparece en el cuadro anterior en el Modo 1.
 - Se revisa los factores de pandeo al correr de nuevo el modelo.

	Case	Mode	Scale Factor
▶	P- Delta	1	1
	P- Delta	2	1.071
	P- Delta	3	1.422
	P- Delta	4	1.436
	P- Delta	5	1.46
	P- Delta	6	1.704

3.4. Definición de la no Linealidad de Materiales

La no linealidad en materiales permite que las propiedades del material no varíen proporcionalmente a las cargas aplicadas a él, por lo que no sigue la ley de Hooke, la relación entre su deformación y su esfuerzo no es lineal. Es importante definirla para este análisis porque afecta el comportamiento de los elementos y permite un modelamiento más efectivo y preciso.

- No linealidad en el concreto:

- Menú Define > Material Properties > Seleccionar Concreto > Modify/ Sow Material Property Data > Nonlinear Material Data > en Stress Curve Definition Options Activar la opción de Convert to User Defined en Parametric > OK.

Material Name and Type

Material Name: Concreto 280
Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters

Hysteresis Type: Concrete
Modify/Show Hysteresis Parameters...
Drucker-Prager Parameters
Friction Angle: 0 deg
Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.003	cm/cm
LS	0.02	-0.006	cm/cm
CP	0.05	-0.015	cm/cm

Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options

Parametric
 User Defined

User Stress-Strain Curve Data

Number of Points in Stress-Strain Curve: 10

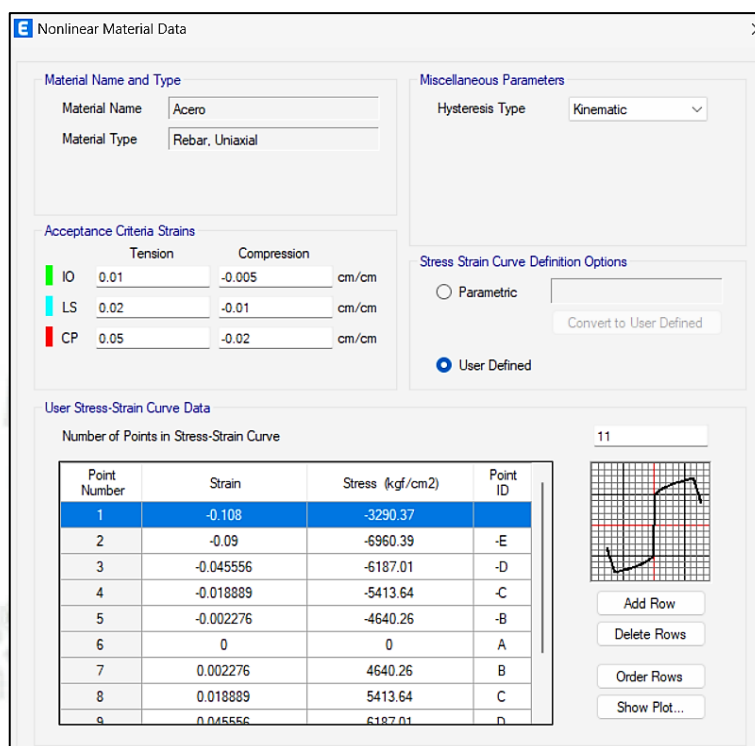
Point Number	Strain	Stress (kgf/cm2)	Point ID
1	-0.006	-182.56	
2	-0.005	-207.82	-E
3	-0.00361	-249.93	
4	-0.002219	-280	-B
5	-0.001553	-263.12	
6	-0.000887	-193.19	
7	-0.000222	-56	
8	0	0	A
9	0.000132	33.28	

Plot area showing a stress-strain curve with a peak and subsequent drop.

Buttons: Add Row, Delete Rows, Order Rows, Show Plot...

- No linealidad en el acero:

- Menú Define > Material Properties > Seleccionar Acero 60 > Modify/ Sow Material Property Data > Nonlinear Material Data > en Stress Curve Definition Options Activar la opción de Convert to User Defined en Parametric > OK.



4. CAPÍTULO IV: Análisis de Resultados

Dentro de la evaluación de los resultados obtenidos del análisis Tiempo- Historia, se debe analizar los resultados de:

- **Desplazamientos:** Se realiza la evaluación de las deformaciones y la respuesta de la estructura a causa de las cargas sísmicas, los desplazamientos se pueden obtener de cada punto y elemento de la estructura, para el análisis se tomarán los máximos desplazamientos por piso.
- **Aceleraciones:** Obtener las aceleraciones es importante ya que de estas depende el cálculo de las magnitudes de las fuerzas que actúan sobre la estructura y que grado de seguridad tiene de acuerdo a ellas.
- **Fuerzas cortantes:** Estas fuerzas y momentos señalan cual es la capacidad de resistencia de la estructura y de cada elemento que pueden soportar.

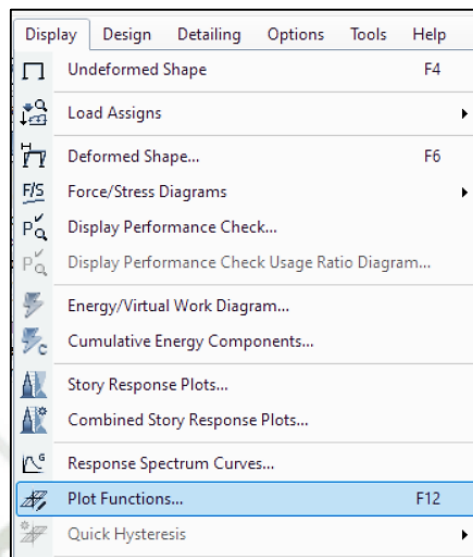
Para la obtención de los resultados descritos se sigue el siguiente procedimiento:

- Se hace el procesamiento del modelo con los registros sísmicos aplicado con el software ETABS presionando Run Analysis.

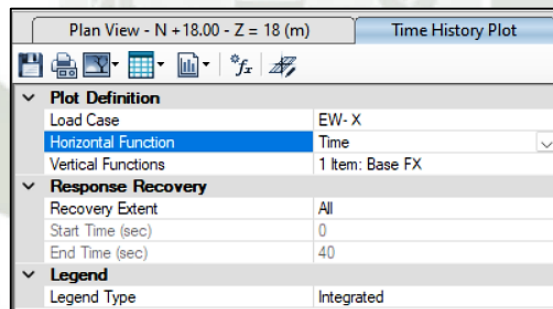
4.1. Resultados de Método de Coeficientes para Rótulas Plásticas

— Gráfico Fuerzas cortantes- Tiempo:

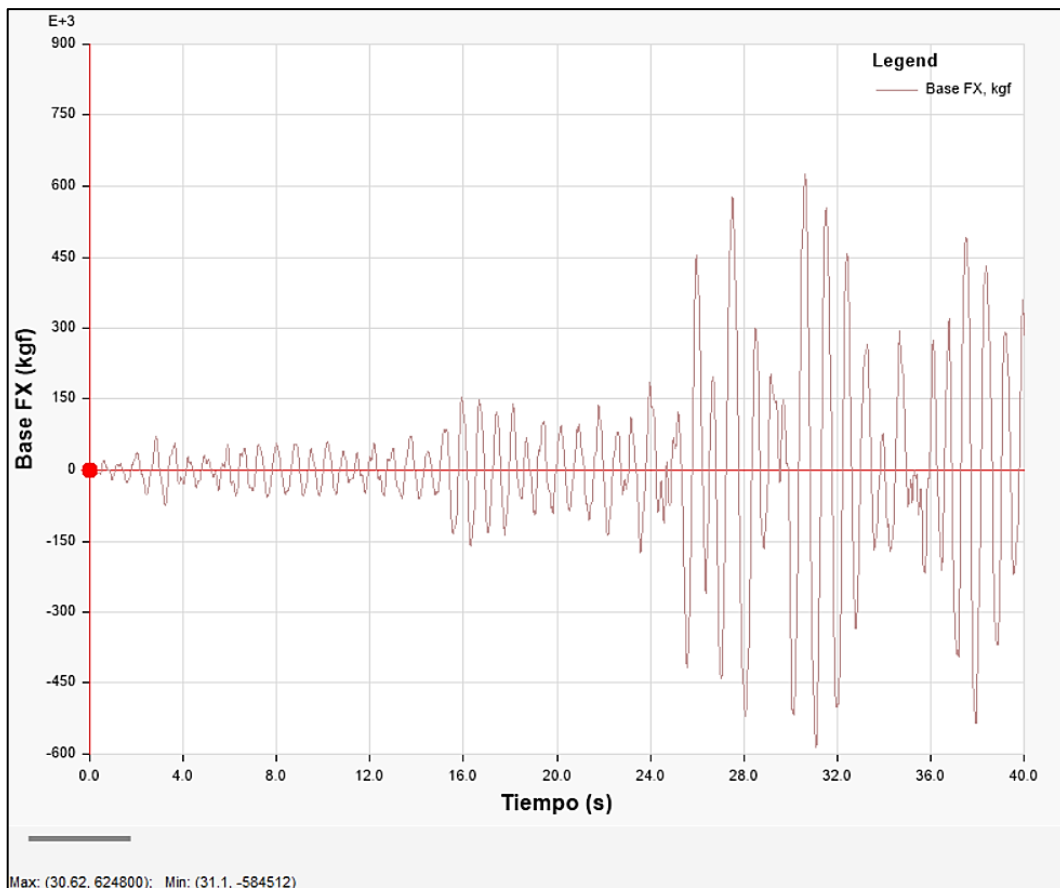
- Menú Display > Plot Functions > aparecerá la pestaña de Time History Plot.



- En la pestaña de Time History Plot > Plot Definition > Load Case: seleccionar la componente del sismo que se va a analizar > Horizontal Function: Time > Vertical Functions: 1 item: Base FX.



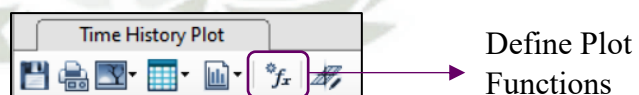
- Se obtiene el gráfico de Fuerzas cortantes- Tiempo:



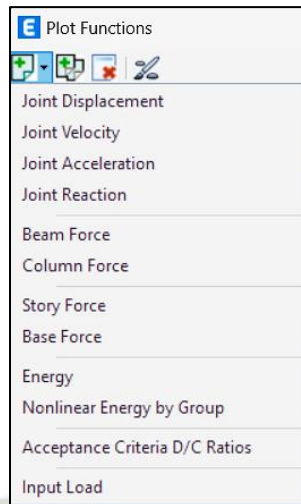
- Se verifica que el total del tiempo de análisis cumpla con el tiempo del espectro asignado para asegurar que no hubo errores en el procesamiento de datos.

— Gráfico Fuerzas cortantes- Desplazamientos:

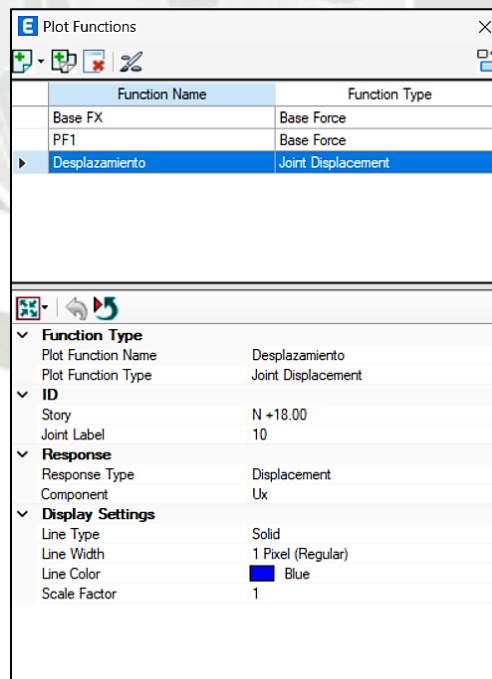
- En la pestaña Time History Plot ir a la opción de Define Plot Functions.



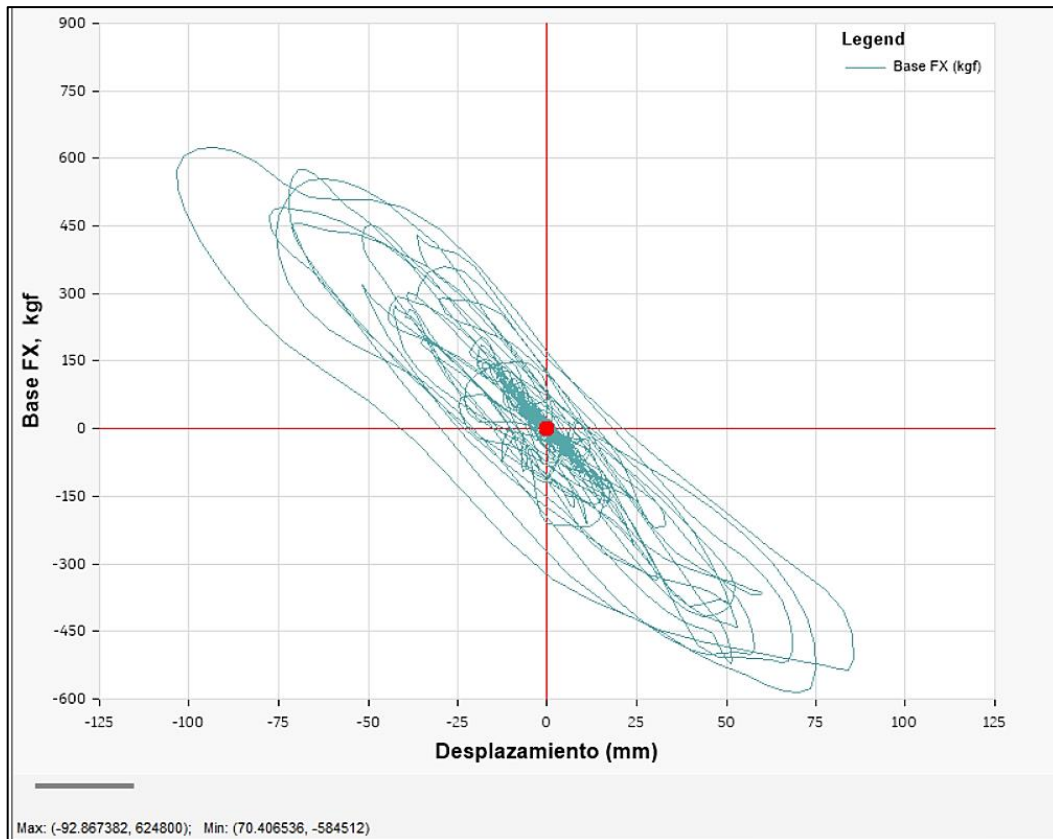
- En la ventana de Plot Functions > seleccionar el primer ícono y seleccionar Joint Displacement.



- Seleccionando la parte de desplazamientos en la ventana inferior asignar las propiedades del gráfico > Plot Function Name: Nombre del eje donde estarán los desplazamientos > Plot Function Type: Joint Displacement > Story: Seleccionar el piso del que se quiere el grafico > Joint Label: Número del Punto del que se quieren los desplazamientos > Response Type: Displacement > Component: Seleccionar la componente > OK.

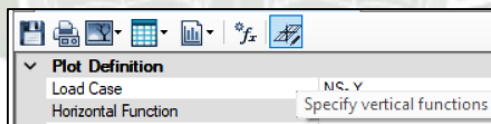


- Se obtiene el gráfico de Fuerzas cortantes- Desplazamientos:

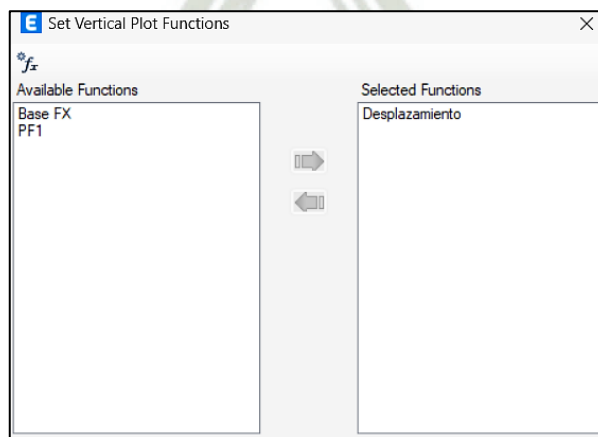


— Gráfico Desplazamiento- Tiempo:

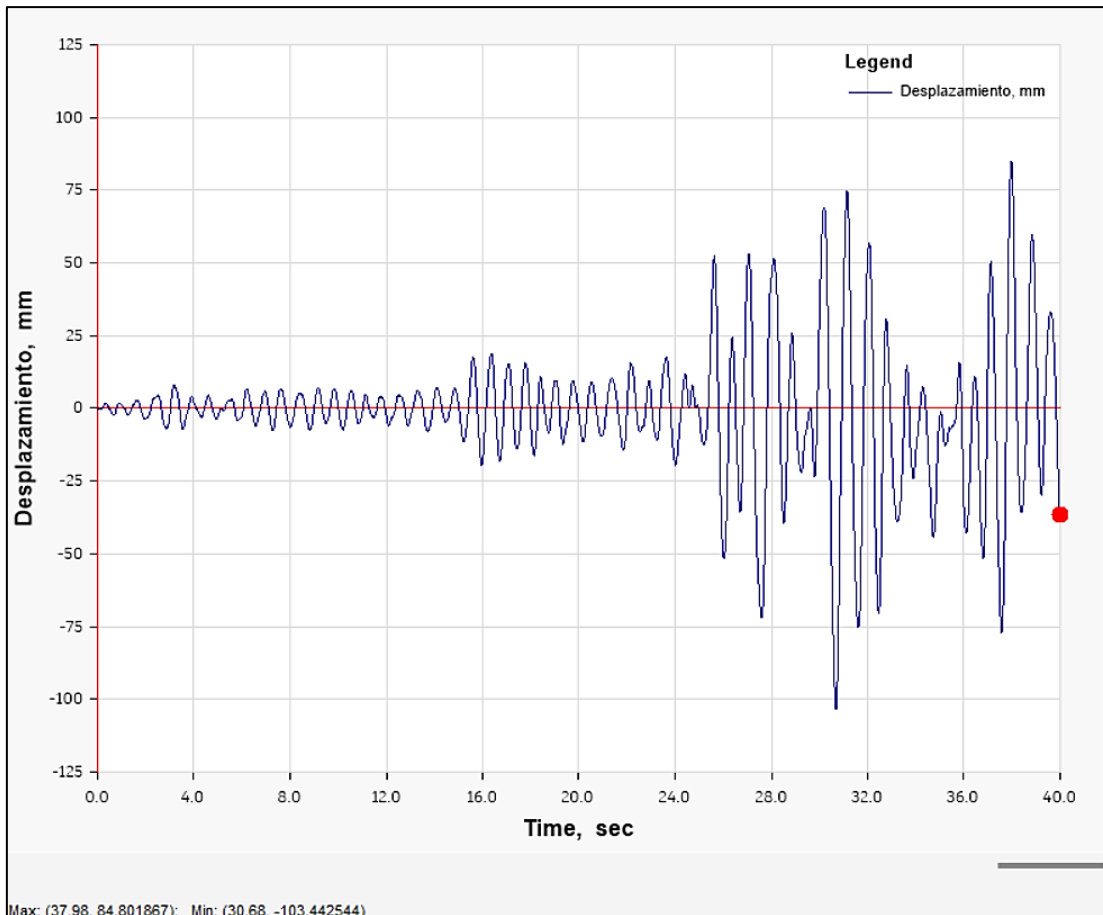
- En la pestaña Time History Plot ir a la opción de Specify Vertical Functions.



- En la venta emergente se selecciona el desplazamiento en Selected Functions ubicado en la lista de la derecha.



- Se obtiene el gráfico de Desplazamientos- Tiempo:

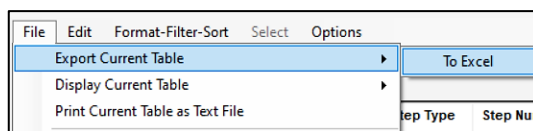


— Máximas derivas por piso:

- En la ventana de navegación en la parte izquierda Model Explorer ir a la pestaña de Tables > Analysis Results > Joint Output > Displacements > Anticlick en Table: Story Max Over Avg Drifts, seleccionando en Output Case la carga correspondiente al sismo asignado y Step Type: Max.

Diaphragm Max Over Avg Drifts										
File Edit Format-Filter-Sort Select Options										
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Diaphragm Max Over Avg Drifts										
Filter: ((Output Case) = 'EW- X') AND ((Step Type) = 'Max')										
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Step Label	Item	Max Drift	Avg Drift	Ratio
▶	N +18.00	EW- X	NonDirHist	Max			Diaph D1 X	0.002713	0.002708	1.002
	N +15.00	EW- X	NonDirHist	Max			Diaph D1 X	0.00486	0.004798	1.013
	N +12.00	EW- X	NonDirHist	Max			Diaph D1 X	0.01	0.01	1.006
	N +9.00	EW- X	NonDirHist	Max			Diaph D1 X	0.01	0.01	1.004
	N +6.00	EW- X	NonDirHist	Max			Diaph D1 X	0.01	0.01	1.01
	N +3.00	EW- X	NonDirHist	Max			Diaph D1 X	0.004359	0.004308	1.012

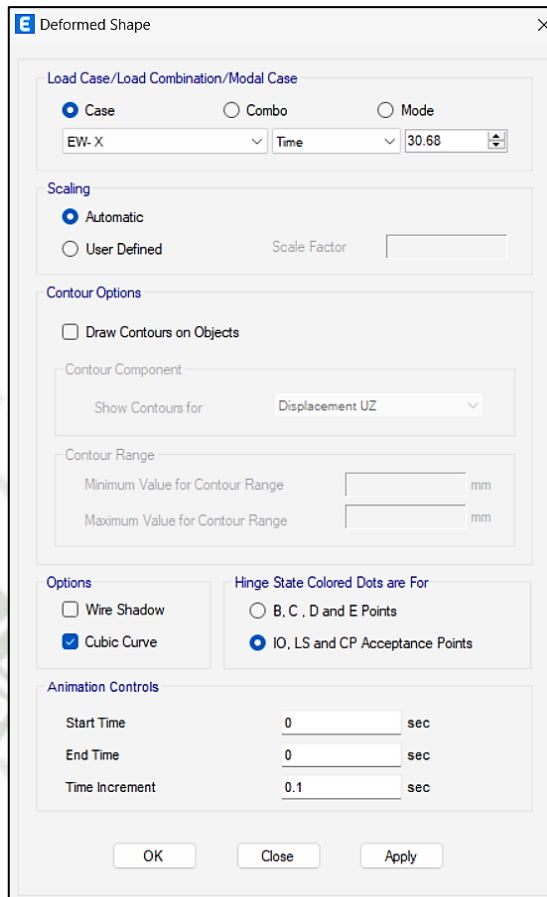
- Para exportar los datos a Excel ir al Menú File > Export Current Table > To Excel.



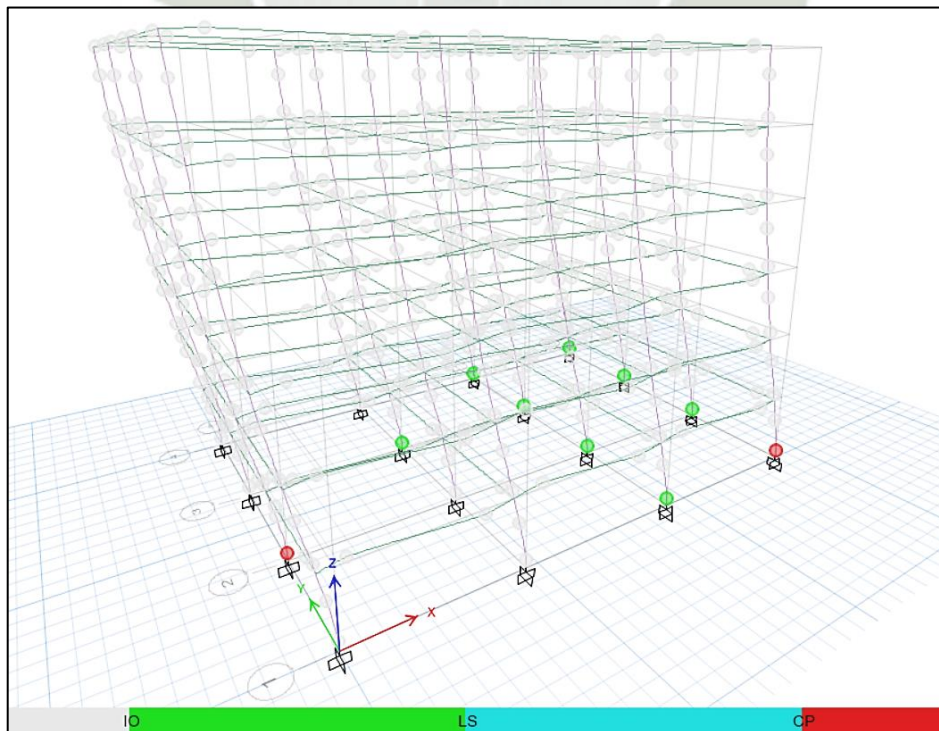
- Máximas desplazamientos por piso por piso:
 - En la ventana de navegación en la parte izquierda Model Explorer ir a la pestaña de Tables > Analysis Results > Joint Output > Displacements > Anticlick en Table: Story Max Over Avg Displacements, seleccionando en Output Case la carga correspondiente al sismo asignado y Step Type: Max.
 - Los resultados que se obtienen de este proceso deben de ser tratados según lo que indica la norma E. 030, la cual indica en la parte 4.7.3. Tratamiento de Resultados del punto 4.7. Análisis Dinámico Tiempo- Historia, que los resultados obtenidos deben dividirse entre R=2 para verificar la resistencia de los elementos estos resultados no deben exceder 1.25 veces los valores establecidos en la Tabla N°11 de la norma que define los límites para la distorsión del entrepiso, que en este caso es de 0.007 al tener una estructura de concreto armado.

TABLE: Story Max Over Avg Displacements- Dirección X					
Piso	Carga	Desplazamiento por piso	Desplazamiento por piso (ETABS)	Desplazamiento Lateral (Norma E.030)	Desplazamiento Lateral Relativo
N +18.00	SX_	84.950	0.08495	0.042475	0.00095333
N +15.00	SX_	79.230	0.07923	0.039615	0.00222333
N +12.00	SX_	65.890	0.06589	0.032945	0.00288500
N +9.00	SX_	48.580	0.04858	0.02429	0.00271333
N +6.00	SX_	32.300	0.0323	0.01615	0.00323000
N +3.00	SX_	12.920	0.01292	0.00646	0.00215333

- Modelo global de la estructura deformada a causa de la aplicación de las cargas sísmicas.
 - Ir a la opción Show Deformed Shape > Seleccionar Case en Load Case/ Load Combination/ Modal Case > Seleccionar la carga sísmica definida y el tiempo en donde se genera la máxima deformación, este dato se obtiene de la gráfica Deformación- Tiempo > Hinge State Colored Dots are For: IO, LS and CP Acceptance Point para evaluar las rótulas plásticas con los criterios de aceptación > Apply > OK.

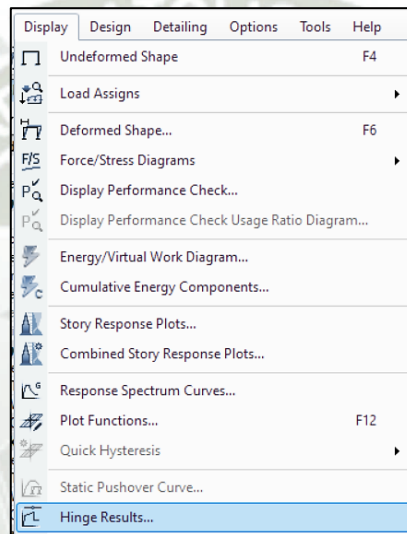


- Se obtiene el modelo deformado y las rótulas plásticas evaluadas con los criterios de aceptación.

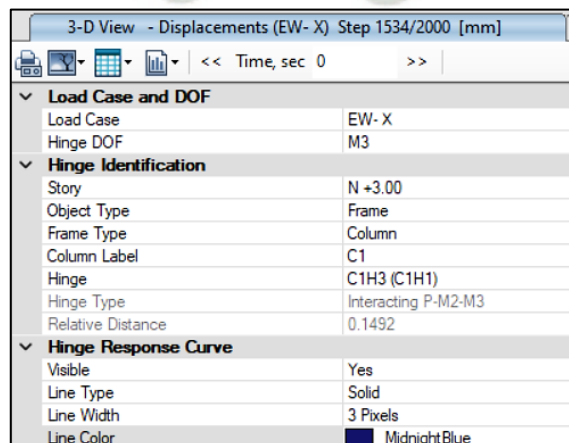


Como se muestra en la imagen se obtiene que casi todas las rótulas plásticas se encuentran en un rango anterior al criterio IO (las rótulas en color gris), algunas de las rótulas plásticas de las columnas en el primer nivel se encuentran entre los criterios IO y LS (Ocupación Inmediata y Seguridad de Vida), y por último se tienen 2 rótulas en las columnas del primer nivel que pasan el criterio CP (Prevención de Colapso).

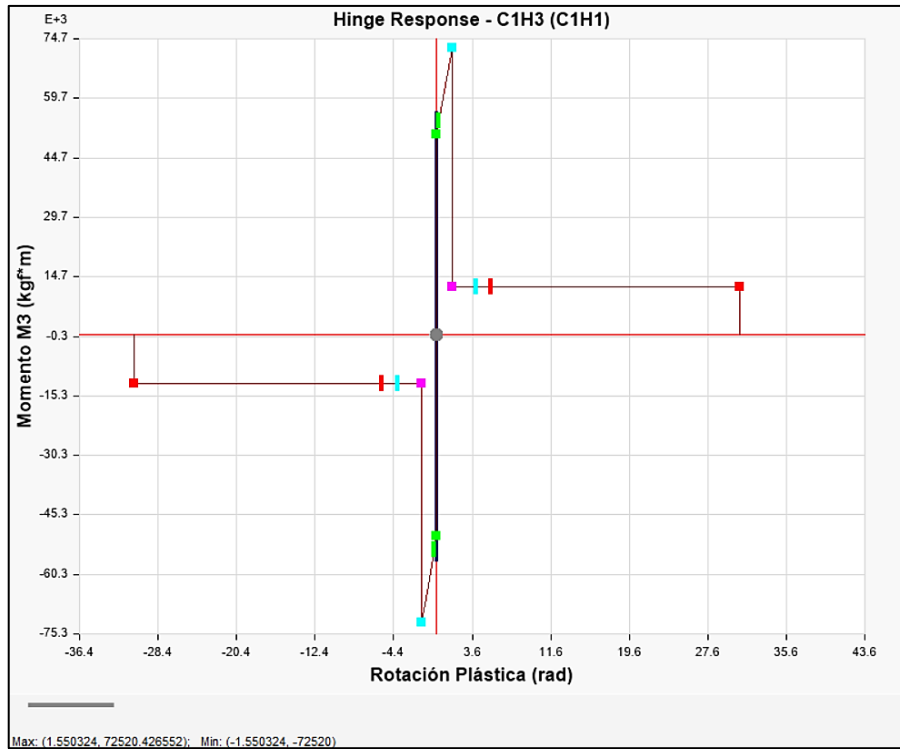
- Se pueden revisar los criterios en el gráfico Momento- Rotación para un mejor entendimiento del estado en el que se encuentran las rótulas plásticas.
 - Ir a Menú Display > Hinge Results.



- Se definen las propiedades del gráfico, seleccionando la carga sísmica en Load Case > Story: El piso del que se quiere obtener el gráfico > Frame Type: Seleccionar si se quiere viga o columna > Column Label Seleccionar la columna > Hinge: Seleccionar la rótula > Las demás propiedades se mantienen por defecto.



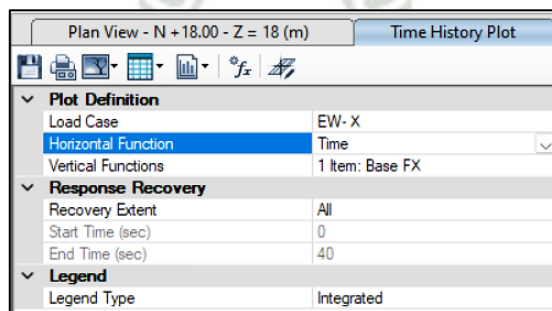
- Se obtiene el gráfico Momento- Rotación de una rótula, este procedimiento se puede seguir para evaluar cada rótula plástica tanto en columnas como en vigas.

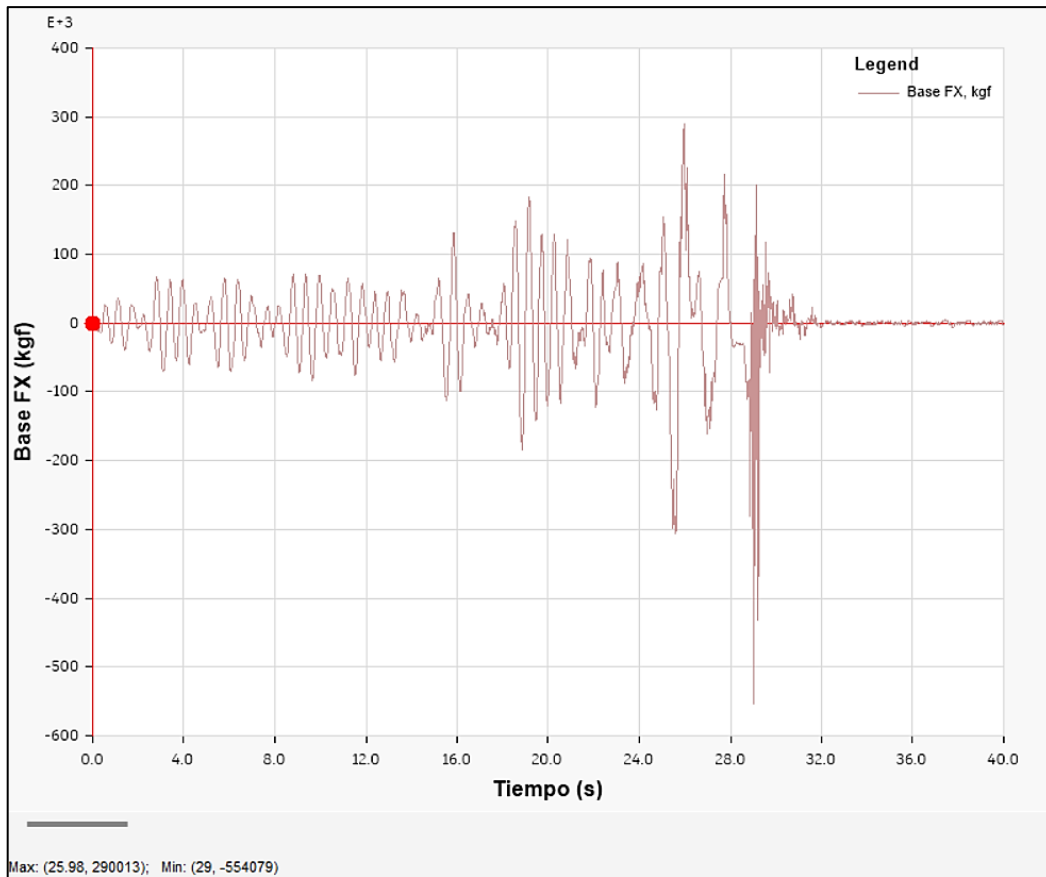


4.2. Resultados de Método de Fibras para Rótulas Plásticas

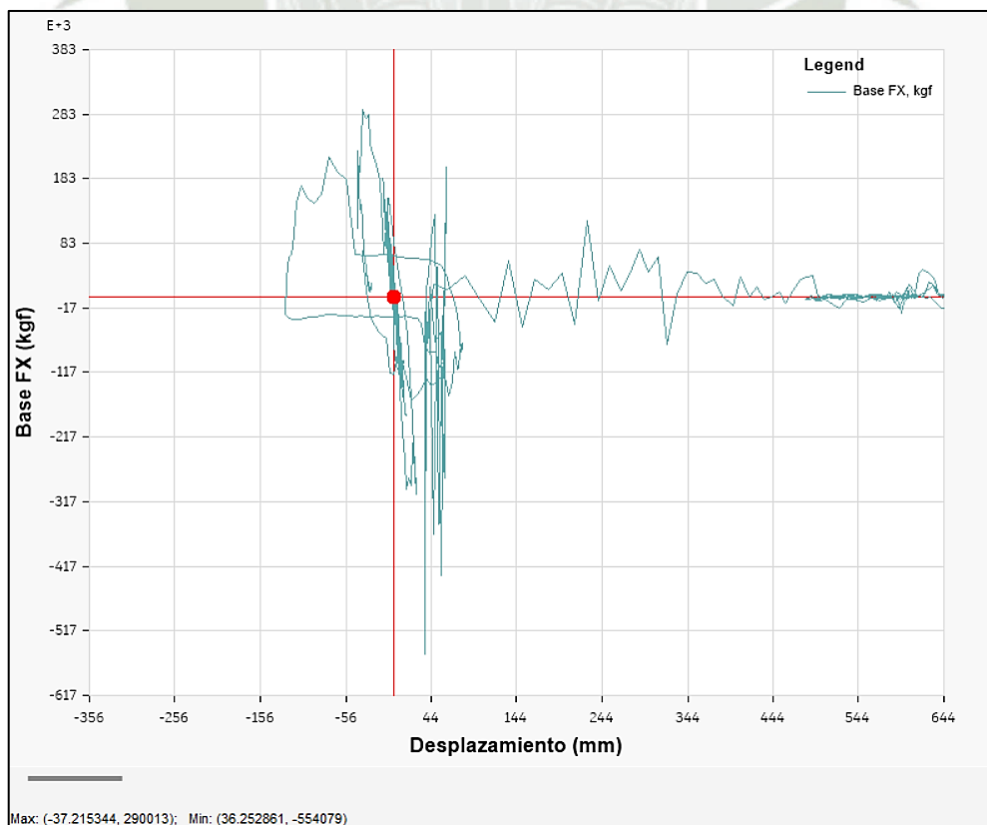
Para la obtención de resultados del método de fibras se sigue el mismo procedimiento que para el método de coeficientes, teniendo respuestas diferentes.

- Gráfico Fuerzas cortantes- Tiempo:
 - Se establecen las propiedades del gráfico en la pestaña de Time History Plot > Plot Definition > Load Case: seleccionar la componente del sismo que se va a analizar > Horizontal Function: Time > Vertical Functions: 1 ítem: Base FX.

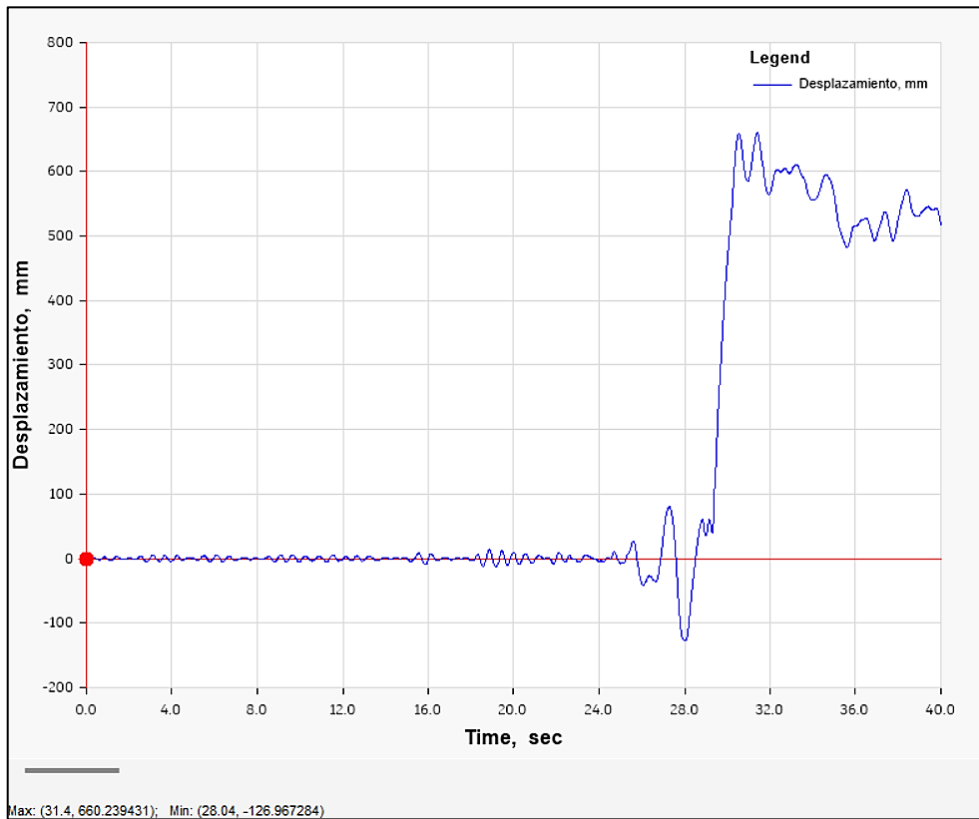




— Gráfico Fuerzas cortantes- Desplazamientos:



- Gráfico Desplazamiento- Tiempo:



- Máximas derivas por piso:

E Story Max Over Avg Drifts

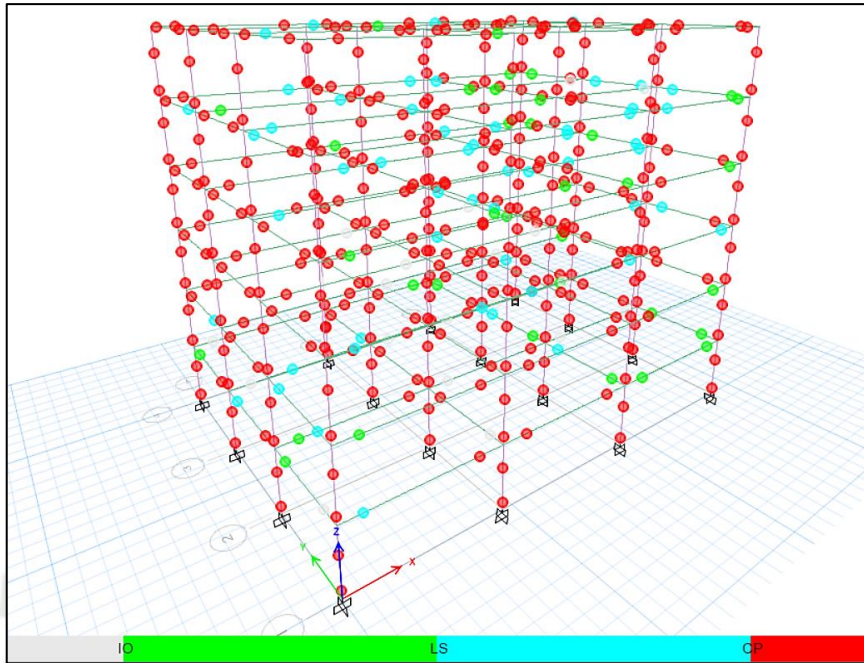
File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Max Over Avg Drifts

Filter: ([Output Case] = 'EO- X') AND ([Step Type] = 'Max')

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
▶	N +18.00	EO- X	NonDirHist	Max	X	1994.66	1979.31	1.008
	N +15.00	EO- X	NonDirHist	Max	Y	1401.12	1389.06	1.009
	N +12.00	EO- X	NonDirHist	Max	X	1338.43	1338.08	1
	N +9.00	EO- X	NonDirHist	Max	X	230.52	229.51	1.004
	N +6.00	EO- X	NonDirHist	Max	X	321.09	301.41	1.065
	N +3.00	EO- X	NonDirHist	Max	X	62.5	61.75	1.012
	N +3.00	EO- X	NonDirHist	Max	Y	394.17	358.19	1.1

- Modelo global de la estructura deformada a causa de la aplicación de las cargas sísmicas.



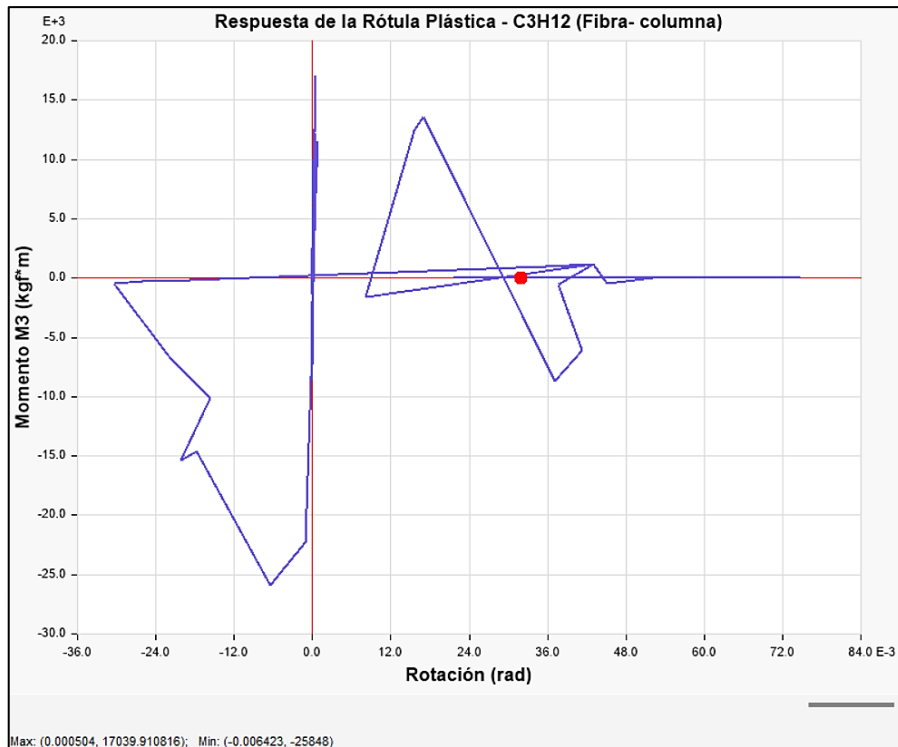
Como se muestra en la imagen se obtiene que casi todas las rótulas plásticas se encuentran en el rango posterior al criterio CP (las rótulas en color rojo), y algunas de las rótulas plásticas de las vigas se encuentran entre los criterios IO y CP (correspondientes a los rangos entre Ocupación Inmediata y Seguridad de Vida, y entre Seguridad de Vida y Prevención de Colapso).

- Se obtiene el gráfico Momento- Rotación de una rótula con el mismo procedimiento que se sigue en el método de coeficientes, este gráfico se utiliza para el análisis del comportamiento estructural de la deformación de la sección transversal del elemento; el eje en el que actúa el momento se encuentra en la misma dirección de su eje longitudinal, mientras que el eje de la curvatura está en la dirección perpendicular. Este gráfico describe la relación entre el momento actuante en la sección transversal y la deformación que produce en ella.

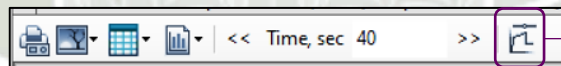
Aplicando el método de fibras se obtiene el gráfico de rótulas plásticas con histéresis, esta es una herramienta que permite la representación de las deformaciones plásticas cuando el elemento se somete a cargas cíclicas o cíclicas reversa de un evento sísmico.

La forma y amplitud que forma la histéresis es variable y depende de la resistencia del elemento y la posible necesidad de un refuerzo en el diseño, evaluando la rótula con los criterios de aceptación.

Se obtiene el gráfico con histéresis de las columnas, ya que fueron los elementos a los que se les asignaron el método de fibras.



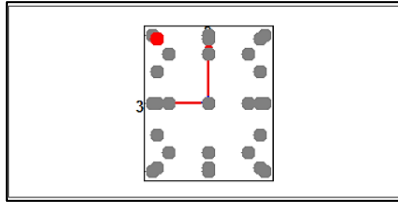
- Se puede obtener el gráfico de la rótula plástica que se desee de cada elemento, a su vez, se puede ver el comportamiento de cada fibra en la que se separa el elemento durante el análisis de este método, para lo cual sirve la herramienta de Show individual fiber results en la pestaña de Fiber Hinge Response.



→ Show individual fiber results

- Se selecciona la fibra de la que se quiere el gráfico con histéresis de la rótula plástica, en la parte inferior izquierda de la pantalla se señala gráficamente que fibra se analiza con color rojo.

Load Case and Fiber	
Load Case	E0- X
Fiber Number	5
Current Fiber Data	
Area (cm ²)	0.28
Coordinate 3 (cm)	20.1
Coordinate 2 (cm)	25.1
Material	Acero
Hinge Identification	
Story	N +18.00
Object Type	Frame
Frame Type	Column
Column Label	C3
Hinge	C3H12 (Fibra-columna)
Relative Distance	0.8508
Hinge Response Curve	
Visible	Yes
Line Type	Solid
Line Width	2 Pixels
Line Color	█ SlateBlue
Line Color	
The line color for the fiber response curve.	



- Gráfico de rótula plástica usando el método de fibras:

