

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
CHOTA**



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**

**“DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO  
ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN  
SUELO – ESTRUCTURA, CHOTA”**

**Tesis para optar el título de Ingeniero Civil**

**Línea de investigación:**

**COMPORTAMIENTO DE SUELOS SUJETOS A CARGAS SÍSMICAS**

**Autor(es):**

**YONER IVÁN HEREDIA ROJAS  
MANUEL ROJAS FUSTAMANTE**

**Asesor:**

**Mg. Ing. MIGUEL ÁNGEL SILVA TARRILLO**

**Chota – Perú**

**2026**

**DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO  
ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA  
INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA, CHOTA**

**POR:**

**YONER IVÁN HEREDIA ROJAS**

**MANUEL ROJAS FUSTAMANTE**

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la  
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título de  
INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**



-----  
**Dr. Ing. Claudia Benavidez Núñez**

**PRESIDENTE**



-----  
**Dr. Ing. Luis Fernando Romero Chuquilín**

**SECRETARIO**



-----  
**Dr. Ing. Dante Hartman Cieza León**

**VOCAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**



**CARTA N° 33-2025-UNACH/UI/MAST**

**A** : **Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez**  
Presidente del jurado de tesis FCI-UNACH.

**ASUNTO** : Constancia de Originalidad de Turnitin de YONER IVÁN HEREDIA ROJAS y MANUEL ROJAS FUSTAMANTE.

**FECHA** : Colpa Matara, 19 de noviembre del 2025.

**REFERENCIA:** i) Envío de tesis en digital en su versión final  
ii) INFORME N° 006-2025-UNACH/CEBN-PJ / Conformidad por parte del presidente del jurado de tesis.  
iii) Carta N° 031-2025-LFRCH-SJE-FCI/UNACH / Conformidad por parte del secretario del jurado de tesis.  
iv) Carta N° 0075 – 2025 – DGCD– JT – UNACH / Conformidad por parte del vocal del jurado de tesis

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a Usted para expresar mi saludo, y a la vez alcanzar la constancia de originalidad de TURNITIN de la tesis denominada: **“DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA, CHOTA”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil **YONER IVÁN HEREDIA ROJAS y MANUEL ROJAS FUSTAMANTE**, para continuar con sus trámites ante la UNACH.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi distinguida consideración y estima.

Atentamente,

Miguel Ángel SILVA TARRILLO  
INGENIERO CIVIL  
N° 12732

Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo  
Director de la unidad de  
investigación FCI-UNACH

CC.

Archivo

Adjunto:

- 1) Constancia de originalidad N° 33-2025.
- 2) Reporte TURNITIN



Colpa Matara, 19 de noviembre del 2025.

C.O. N° 33-2025-UI-EPIC

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE IA




El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA, CHOTA”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **YONER IVÁN HEREDIA ROJAS y MANUEL ROJAS FUSTAMANTE**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 10% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras, no teniendo un porcentaje de escritura con inteligencia artificial; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.

Miguel Ángel SILVA TARRILLO  
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo  
Director de la unidad de  
investigación FCI-UNACH

# YONER IVÁN HEREDIA ROJAS y MANUEL ROJAS F... DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO ...

-  Informe Final de Tesis
-  UNIDAD DE INVESTIGACION FIC 2025-1
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota

## Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3417516301

Fecha de entrega

19 nov 2025, 10:57 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

19 nov 2025, 2:40 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME\_FINAL\_DE\_TESIS\_Rojas\_-\_Heredia\_27.10.25\_TNT.pdf

Tamaño del archivo

11.8 MB

270 páginas

62.160 palabras

322.412 caracteres




# 10% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe



- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
60 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**  
95 caracteres sospechosos en N.º de página  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

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

## Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	4%
2	Internet	hdl.handle.net	1%
3	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
4	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
5	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
7	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
9	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
10	Internet	tesis.unap.edu.pe	<1%
11	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%

12	Trabajos del estudiante	Universidad Católica San Pablo	<1%
13	Publicación	Lujano, Ingrid Angela Villafuerte. "Influencia de la configuración irregular en pla...	<1%
14	Internet	repositorio.utp.edu.pe	<1%
15	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
16	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
17	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
18	Trabajos del estudiante	Instituto Superior Tecnológico Sudamericano	<1%
19	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Santa	<1%
20	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
21	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad Privada Antenor Orrego	<1%
23	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
24	Internet	repositorio.uancv.edu.pe	<1%
25	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%

26	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
27	Trabajos del estudiante	Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL)	<1%
28	Trabajos del estudiante	Universidad Antonio Nariño, UAN	<1%
29	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
30	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
31	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
32	Internet	vdocumento.com	<1%
33	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%
34	Internet	idoc.pub	<1%
35	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
36	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
37	Internet	repositorio.usmp.edu.pe	<1%
38	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
39	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	<1%

40	Trabajos del estudiante	uni	<1%
41	Internet	revistas.um.edu.uy	<1%
42	Trabajos del estudiante	Universidad EAFIT	<1%
43	Internet	preprints.scielo.org	<1%
44	Internet	repositorio.ucp.edu.pe	<1%
45	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
47	Internet	ri.ues.edu.sv	<1%
48	Internet	vriunap.pe	<1%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador	<1%
51	Trabajos del estudiante	Universidad Carlos III de Madrid - EUR	<1%
52	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
53	Trabajos del estudiante	Universidad Politécnica del Perú	<1%

54	Trabajos del estudiante	University of California, Los Angeles	<1%
55	Trabajos del estudiante	ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	<1%
56	Trabajos del estudiante	Universidad Privada Antenor Orrego 2025	<1%
57	Internet	cybertesis.uach.cl	<1%
58	Internet	idoc.tips	<1%
59	Internet	revistas.ucsc.cl	<1%
60	Publicación	Urbina Gordillo, Claudia Pamela   Valencia Vega, Yelis Katherine. "Conocimiento S...	<1%
61	Internet	pt.scribd.com	<1%
62	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
63	Internet	repositorio.umariana.edu.co	<1%
64	Internet	repositorio.umsa.bo	<1%
65	Internet	revistas.uclave.org	<1%
66	Internet	www.moia.gov.il	<1%
67	Internet	www.slideshare.net	<1%

68	Publicación	"Análisis de fragilidad sísmica de edificaciones de albañilería armada de bloques ...	<1%
69	Publicación	Lovera Martinez, Luis Guillermo. "El refuerzo de las estructuras de concreto arma...	<1%
70	Publicación	Mendoza, Damaso Eduardo Zambrano. "Aplicacion del Metodo de los 3 Campos e...	<1%
71	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
72	Internet	dspace.ucuenca.edu.ec	<1%
73	Internet	prezi.com	<1%
74	Internet	repositorio.cidecuador.org	<1%
75	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
76	Internet	rus.ucf.edu.cu	<1%
77	Internet	www.coursehero.com	<1%
78	Internet	www.inti.gov.ar	<1%
79	Internet	www.researchgate.net	<1%
80	Internet	www.scribd.com	<1%



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 am del día 20 de enero, reunidos en la sala de Incuba- 2do piso del local administrativo, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los bachilleres: **Yoner Iván Heredia Rojas** y **Manuel Rojas Fustamante**, denominada: “Desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez considerando la interacción suelo- estructura, Chota”; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO (\*)

DIECISEIS

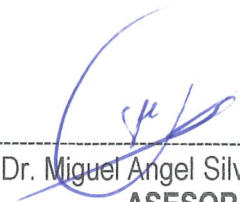
En consecuencia, se les declara **EXPEDITOS** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 20 de enero del 2026.

  
Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez  
**PRESIDENTE**

  
Dr. Luis Fernando Romero Chuquilin  
**SECRETARIO**

  
Dr. Dante Hartman Cieza León  
**VOCAL**

  
Dr. Miguel Angel Silva Tarrillo.  
**ASESOR**

(\*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: ( 20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).

## **DEDICATORIA**

Con profunda gratitud y respeto, dedicamos este trabajo de investigación a Dios, por ser nuestra guía y fortaleza en cada paso del camino, brindándonos sabiduría y perseverancia para alcanzar este importante logro. A nuestras familias, por su apoyo incondicional, amor y paciencia a lo largo de nuestra formación académica, siendo nuestro pilar fundamental en los momentos de mayor desafío. A nuestros amigos, quienes con palabras de aliento y compañía han sido parte esencial de esta etapa, motivándonos a seguir adelante ya no rendirnos ante las dificultades.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a Dios.

A nuestro asesor, el Mg. Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo, por su invaluable orientación, paciencia y disposición para guiarnos con sabiduría en el desarrollo de esta investigación, contribuyendo con sus conocimientos a la calidad y rigor del presente trabajo.

Al director del colegio Abel Carbajal Perez, por su generosidad al facilitar el acceso a los planos originales.

A los técnicos de los laboratorios, cuyo apoyo técnico y colaboración resultaron fundamentales para la correcta realización de los ensayos.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron a que este proyecto se concrete, acompañándonos con palabras de aliento, apoyo técnico y motivación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>ABREVIATURAS Y/O SIGLAS.....</b>	<b>xviii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xxii</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2. Justificación.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3. Formulación del problema.....</b>	<b>27</b>
<b>1.4. Delimitación de la investigación.....</b>	<b>27</b>
<b>1.5. Limitaciones.....</b>	<b>29</b>
<b>1.6. Objetivos.....</b>	<b>30</b>
1.6.1. Objetivo general.....	30
1.6.2. Objetivos específicos.....	31
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>32</b>
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	32
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	36
2.1.3. Antecedentes regionales.....	40
<b>2.2. Bases teóricas.....</b>	<b>42</b>
2.2.1. Teoría de la interacción suelo-estructura (ISE).....	42
2.2.2. Teorías de mecánica de suelos aplicadas a la ISE.....	47
2.2.3. Teoría de la plasticidad en materiales.....	48
2.2.4. Teoría del análisis sísmico.....	51
<b>2.3. Definiciones conceptuales.....</b>	<b>59</b>
2.3.1. Suelo sobre el que se cimenta la edificación.....	59
2.3.2. Cimentaciones superficiales.....	61
2.3.3. Cargas que soporta la edificación.....	62
2.3.4. Propiedades de los materiales.....	63

2.3.5. Interacción suelo estructura (ISE).....	63
2.3.6. Análisis sísmico .....	65
2.3.7. Desempeño sísmico lineal y no lineal de una estructura.....	65
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>69</b>
<b>3.1. Tipo, diseño y enfoque de investigación .....</b>	<b>69</b>
<b>3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....</b>	<b>72</b>
3.2.1. Ubicación .....	72
3.2.2. Población.....	72
3.2.3. Muestreo.....	73
3.2.4. Muestra.....	74
3.2.5. Unidad de análisis .....	74
<b>3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>75</b>
3.3.1. Técnicas de recolección de datos .....	75
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos .....	77
3.3.3. Validación y confiabilidad de los instrumentos .....	78
<b>3.4. Hipótesis .....</b>	<b>81</b>
<b>3.5. Operacionalización de variables .....</b>	<b>81</b>
3.5.1. Variable independiente: “Interacción suelo – estructura” .....	81
3.5.2. Variable dependiente: “Desempeño sísmico” .....	81
<b>3.6. Procedimientos de recolección de datos .....</b>	<b>83</b>
3.6.1. Vistas en campo: Revisión de planos y medición de los módulos.....	83
3.6.2. Elaboración de planos de la edificación en Revit 2023 .....	85
3.6.3. Exploración, muestreo, ensayo SPT, toma de muestra, y ensayos de laboratorio en el suelo de cimentación.....	88
3.6.4. Ensayo de esclerometría.....	95
3.6.5. Modelamiento de la edificación en ETABS 2018 con base empotrada.....	99
3.6.6. Modelamiento de la edificación en ETABS 2018 con base flexible: modelo dinámico norma rusa SNIP 2.02.05-87.....	116
3.6.7. Análisis de irregularidades estructurales.....	135
3.6.8. Análisis sísmico lineal con la norma E.030 (MVCS, 2018).....	155
3.6.9. Análisis sísmico no lineal estático Pushover con la norma ATC-40 (1996).....	161

<b>3.7. Procedimientos de análisis de datos .....</b>	<b>170</b>
3.7.1. Procesamiento de datos .....	170
3.7.2. Análisis de datos .....	171
<b>3.8. Material y equipos .....</b>	<b>172</b>
<b>3.9. Aspectos éticos .....</b>	<b>174</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>175</b>
<b>4.1. Descripción de resultados .....</b>	<b>175</b>
4.1.1. Análisis estático – dinámico norma E.030.....	175
4.1.2. Desempeño sísmico estático no lineal sin considerar la ISE .....	205
4.1.3. Desempeño sísmico estático no lineal considerando la ISE .....	226
4.1.4. Comparación del desempeño sísmico sin considerar y considerando la Interacción suelo-estructura (ISE) .....	248
<b>4.2. Contrastación de hipótesis .....</b>	<b>256</b>
4.2.1. Datos utilizados para el análisis estadístico .....	256
4.2.2. Análisis de normalidad.....	256
4.2.3. Hipótesis general.....	261
4.2.4. Criterio de aceptación de la hipótesis.....	262
4.2.5. Análisis estático y dinámico lineal.....	262
4.2.6. Análisis estático no lineal (Pushover).....	267
4.2.7. Inferencia final del cumplimiento o rechazo de la hipótesis general .....	272
<b>4.3. Discusión.....</b>	<b>273</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>284</b>
<b>5.1. Conclusiones.....</b>	<b>284</b>
<b>5.2. Recomendaciones.....</b>	<b>285</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>287</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>297</b>
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	297
Anexo 2. Ficha de datos de la institución educativa.....	298
Anexo 3. Panel fotográfico .....	299
Anexo 4. Datos para el análisis estadístico.....	304

Anexo 5. Tabla de conversión de unidades del modelo estructural.....	311
Anexo 6. Validación de instrumentos.....	318
Anexo 7. Estudio de mecánica de suelos.....	325
Anexo 8. Ensayo de esclerometría.....	348
Anexo 9. Análisis de irregularidad estructural de la edificación.....	374
Anexo 10. Análisis estático – dinámico de la edificación.....	411
Anexo 11. Planos.....	440
Anexo 12. Archivos del modelo en formatos editables.....	441

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Escenarios de Variación de Parámetros Geotécnicos para el Análisis de Sensibilidad .....	29
<b>Tabla 2</b>	Resultados del Análisis de Sensibilidad en la Respuesta Estructural .....	30
<b>Tabla 3</b>	Categorización de los Perfiles de Suelo .....	52
<b>Tabla 4</b>	Factor S .....	52
<b>Tabla 5</b>	Períodos $T_P$ y $T_L$ .....	52
<b>Tabla 6</b>	Categoría y Factor “U” del Edificio.....	53
<b>Tabla 7</b>	Coefficiente Básico de Reducción ( $R_o$ ) según Sistema Estructural.....	53
<b>Tabla 8</b>	Irregularidades Estructurales en Altura ( $I_a$ ) y Planta ( $I_p$ ).....	53
<b>Tabla 9</b>	Límites para la Distorsión del Entrepiso.....	55
<b>Tabla 10</b>	ATC-40 – Sismos.....	57
<b>Tabla 11</b>	Tipo de Investigación.....	70
<b>Tabla 12</b>	Criterios de Inclusión y Exclusión .....	73
<b>Tabla 13</b>	Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos .....	78
<b>Tabla 14</b>	Validación y Confiabilidad de los Instrumentos .....	80
<b>Tabla 15</b>	Matriz de Operacionalización .....	82
<b>Tabla 16</b>	Resultados de los Ensayos de Laboratorio al Suelo de Cimentación.....	93
<b>Tabla 17</b>	Cálculo de la Capacidad Portante del Suelo .....	93
<b>Tabla 18</b>	Parámetros Geotécnicos y Factores para Análisis ISE .....	94
<b>Tabla 19</b>	Resistencia a la Compresión del Concreto - Ensayo de Esclerometría.....	98
<b>Tabla 20</b>	Propiedades de los Materiales.....	100
<b>Tabla 21</b>	Comparación entre modelos de ISE.....	120
<b>Tabla 22</b>	Comparación de los coeficientes de rigidez y amortiguación.....	121
<b>Tabla 23</b>	Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 1, Pabellón A.....	135
<b>Tabla 24</b>	Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 1, Pabellón A.....	135
<b>Tabla 25</b>	Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón A, Módulo 1 .....	136
<b>Tabla 26</b>	Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón A, Módulo 1 .....	136
<b>Tabla 27</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón A, Módulo 1 .....	137
<b>Tabla 28</b>	Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón A, Módulo 1 .....	138
<b>Tabla 29</b>	Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón A, Módulo 1 .....	138
<b>Tabla 30</b>	Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón A, Módulo 1 .....	139
<b>Tabla 31</b>	Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón A, Módulo 1 .....	139
<b>Tabla 32</b>	Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 1, Pabellón C .....	140
<b>Tabla 33</b>	Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 1, Pabellón C .....	140
<b>Tabla 34</b>	Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón C, Módulo 1.....	141

<b>Tabla 35</b>	Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón C, Módulo 1 .....	141
<b>Tabla 36</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 1.....	142
<b>Tabla 37</b>	Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón C, Módulo 1 .....	143
<b>Tabla 38</b>	Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón C, Módulo 1 .....	143
<b>Tabla 39</b>	Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón C, Módulo 1 .....	144
<b>Tabla 40</b>	Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón C, Módulo 1 .....	144
<b>Tabla 41</b>	Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 2, Pabellón C .....	145
<b>Tabla 42</b>	Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 2, Pabellón C .....	145
<b>Tabla 43</b>	Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón C, Módulo 2.....	146
<b>Tabla 44</b>	Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón C, Módulo 2 .....	146
<b>Tabla 45</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 2.....	147
<b>Tabla 46</b>	Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón C, Módulo 2 .....	148
<b>Tabla 47</b>	Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón C, Módulo 2 .....	148
<b>Tabla 48</b>	Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón C, Módulo 2 .....	149
<b>Tabla 49</b>	Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón C, Módulo 2 .....	149
<b>Tabla 50</b>	Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 3, Pabellón C .....	150
<b>Tabla 51</b>	Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 3, Pabellón C .....	150
<b>Tabla 52</b>	Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón C, Módulo 3.....	151
<b>Tabla 53</b>	Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón C, Módulo 3 .....	151
<b>Tabla 54</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 3.....	152
<b>Tabla 55</b>	Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón C, Módulo 3 .....	153
<b>Tabla 56</b>	Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón C, Módulo 3 .....	153
<b>Tabla 57</b>	Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón C, Módulo 3 .....	154
<b>Tabla 58</b>	Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón C, Módulo 3 .....	154
<b>Tabla 59</b>	Parámetros para el Análisis Sísmico .....	155
<b>Tabla 60</b>	Verificación Vdyn vs 0.8·Vest y Factor de Compatibilización Ks (E.030).....	160
<b>Tabla 61</b>	Espectros de Demanda Usados en Pushover (Multiplicadores de E.030).....	168
<b>Tabla 62</b>	Equipos, Materiales e Insumos Utilizados en la Investigación y su Función .....	172
<b>Tabla 63</b>	Cortante Basal del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE .....	176
<b>Tabla 64</b>	Desplazamientos Laterales del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE.....	177
<b>Tabla 65</b>	Derivas Relativas del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE .....	178
<b>Tabla 66</b>	Verificación de derivas máximas (Deriva·0.75R) frente a la NTE E.030-2018 por módulo y dirección.....	180
<b>Tabla 67</b>	Periodos de Vibración del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE.....	181
<b>Tabla 68</b>	Cortante en la Base del Pabellón A, Módulo 1 .....	182
<b>Tabla 69</b>	Derivas Relativas del Módulo N° 1 .....	184
<b>Tabla 70</b>	Cortante en la Base del Pabellón C, Módulo 1 .....	188

<b>Tabla 71</b>	Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 1 .....	190
<b>Tabla 72</b>	Cortante en la Base del Pabellón C, Módulo 2 .....	194
<b>Tabla 73</b>	Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 2 .....	196
<b>Tabla 74</b>	Cortante en la Base del Pabellón C, Módulo 3 .....	200
<b>Tabla 75</b>	Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 3 .....	202
<b>Tabla 76</b>	Curva de Capacidad del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio) .....	206
<b>Tabla 77</b>	Puntos de Desempeño del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio) .....	208
<b>Tabla 78</b>	Verificación del Cumplimiento de los Objetivos de Desempeño del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio) .....	209
<b>Tabla 79</b>	Curva de Capacidad del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE .....	210
<b>Tabla 80</b>	Punto de Desempeño para el Pabellón A, Módulo 1, en X e Y, sin ISE.....	211
<b>Tabla 81</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE .....	211
<b>Tabla 82</b>	Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE .....	214
<b>Tabla 83</b>	Punto de Desempeño para el Pabellón C, Módulo 1, en X e Y, sin ISE.....	215
<b>Tabla 84</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE .....	215
<b>Tabla 85</b>	Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE .....	218
<b>Tabla 86</b>	Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, en X e Y, sin ISE.....	219
<b>Tabla 87</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE .....	219
<b>Tabla 88</b>	Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE .....	222
<b>Tabla 89</b>	Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, en X e Y, sin ISE.....	223
<b>Tabla 90</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE .....	223
<b>Tabla 91</b>	Curva de Capacidad con ISE del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio) .....	227
<b>Tabla 92</b>	Puntos de Desempeño considerando la Interacción Suelo Estructura (ISE) en los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio) .....	229
<b>Tabla 93</b>	Verificación del Cumplimiento de los Objetivos de Desempeño considerando la Interacción Suelo Estructura (ISE) en los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio).....	230
<b>Tabla 94</b>	Curva de Capacidad del Pabellón A, Módulo 1, con ISE .....	231
<b>Tabla 95</b>	Punto de Desempeño para el Pabellón A, Módulo 1, en X e Y, con ISE .....	232
<b>Tabla 96</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE .....	233
<b>Tabla 97</b>	Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 1, con ISE .....	236
<b>Tabla 98</b>	Punto de Desempeño para el Pabellón C, Módulo 1, en X e Y, con ISE.....	237
<b>Tabla 99</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 1, con ISE .....	237
<b>Tabla 100</b>	Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 2, con ISE .....	240
<b>Tabla 101</b>	Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, en X e Y, con ISE.....	241
<b>Tabla 102</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, con ISE .....	241
<b>Tabla 103</b>	Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 3, con ISE .....	244
<b>Tabla 104</b>	Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, en X e Y, con ISE.....	245

<b>Tabla 105</b>	Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, con ISE .....	245
<b>Tabla 106</b>	Curva de Capacidad de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez Sin Considerar y Considerando la ISE .....	250
<b>Tabla 107</b>	Verificación del Cumplimiento de los Objetivos de Desempeño de Acuerdo al Nivel de Desempeño de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez Sin Considerar y Considerando la ISE .....	251
<b>Tabla 108</b>	Niveles de Desempeño de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez según la Norma ATC-40 (1996).....	252
<b>Tabla 109</b>	Puntos de Desempeño de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez Sin Considerar y Considerando la ISE .....	254
<b>Tabla 110</b>	Análisis de Normalidad.....	257
<b>Tabla 111</b>	Estadísticas Descriptivas de Cortante Basal Lineal .....	262
<b>Tabla 112</b>	Prueba de Kruskal-Wallis de Cortante Basal Lineal.....	262
<b>Tabla 113</b>	Prueba de Mann-Whitney U de la Cortante Basal Lineal .....	263
<b>Tabla 114</b>	Prueba de Wilcoxon de la Cortante Basal Lineal.....	264
<b>Tabla 115</b>	Estadísticas Descriptivas de Desplazamiento Lineal .....	264
<b>Tabla 116</b>	Prueba de Kruskal-Wallis de Desplazamiento Lineal.....	264
<b>Tabla 117</b>	Prueba de Mann-Whitney U de la Desplazamiento Lineal .....	265
<b>Tabla 118</b>	Estadísticas Descriptivas de Deriva Lineal .....	266
<b>Tabla 119</b>	Prueba de Kruskal-Wallis de Deriva Lineal.....	266
<b>Tabla 120</b>	Prueba de Mann-Whitney U de la Deriva Lineal.....	266
<b>Tabla 121</b>	Prueba de Wilcoxon de la Deriva Lineal .....	267
<b>Tabla 122</b>	Estadísticas Descriptivas de Cortante Basal no Lineal .....	268
<b>Tabla 123</b>	Prueba de Kruskal-Wallis de Cortante Basal no Lineal.....	268
<b>Tabla 124</b>	Prueba de Mann-Whitney U de la Cortante Basal no Lineal .....	269
<b>Tabla 125</b>	Estadísticas Descriptivas de Desplazamiento no Lineal .....	269
<b>Tabla 126</b>	Prueba de Kruskal-Wallis de Desplazamiento no Lineal.....	270
<b>Tabla 127</b>	Prueba de Mann-Whitney U de la Desplazamiento no Lineal .....	270
<b>Tabla 128</b>	Prueba de Kruskal-Wallis de Nivel de Desempeño .....	271
<b>Tabla 129</b>	Prueba de Wilcoxon del Nivel de Desempeño.....	272
<b>Tabla 130</b>	Cortante Basal del Análisis Lineal.....	304
<b>Tabla 131</b>	Desplazamientos del Análisis Lineal .....	305
<b>Tabla 132</b>	Derivas del Análisis Lineal .....	306
<b>Tabla 133</b>	Periodos de Vibración del Análisis Lineal.....	307
<b>Tabla 134</b>	Cortante Basal y Desplazamientos del Análisis no Lineal en la Curva de Capacidad.....	308
<b>Tabla 135</b>	Cortante Basal y Desplazamientos no Lineales, Punto de Desempeño .....	309
<b>Tabla 136</b>	Objetivos de Desempeño .....	310

<b>Tabla 137</b>	Factores de Conversión.....	311
<b>Tabla 138</b>	Cortante Basal del Análisis Lineal (convertido a SI).....	311
<b>Tabla 139</b>	Desplazamientos del Análisis Lineal (convertido a SI) .....	312
<b>Tabla 140</b>	Derivas del Análisis Lineal (adimensional y %).....	313
<b>Tabla 141</b>	Períodos de Vibración del Análisis Lineal (SI).....	314
<b>Tabla 142</b>	Cortante Basal y Desplazamientos (Curva de capacidad, SI) .....	315
<b>Tabla 143</b>	Puntos de Desempeño (convertido a SI) .....	315

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Modelo Matemático de (a) Base Rígida e (b) Interacción Suelo – Estructura .....	43
<b>Figura 2</b>	Modelo de Interacción Suelo – Estructura de Acuerdo a la Norma Rusa .....	44
<b>Figura 3</b>	Diferentes Estrategias de Modelado para Albañilería Confinada.....	50
<b>Figura 4</b>	Zonificación Sísmica Peruana .....	51
<b>Figura 5</b>	Análisis Pushover .....	56
<b>Figura 6</b>	Simbolización Bilineal del Espectro de Capacidad.....	58
<b>Figura 7</b>	Objetivos de Desempeño, ATC-40.....	59
<b>Figura 8</b>	Esfuerzos de una Zapata.....	62
<b>Figura 9</b>	Tipos de Análisis Sísmico .....	65
<b>Figura 10</b>	Esquema del Diseño de Investigación No experimental .....	71
<b>Figura 11</b>	Ubicación de la I.E.S. Comercio .....	72
<b>Figura 12</b>	Plano en Planta – Arquitectura de la I.E.S. Comercio.....	75
<b>Figura 13</b>	Verificación de Dimensiones de la I.E. en Campo.....	84
<b>Figura 14</b>	Vista 3D del Pabellón A .....	87
<b>Figura 15</b>	Vista 3D del Pabellón C .....	87
<b>Figura 16</b>	Esquema General del Equipo de Ensayo SPT .....	90
<b>Figura 17</b>	Resultados Ensayo SPT .....	92
<b>Figura 18</b>	Vista en Planta de los Módulos Considerados para el Ensayo de Esclerometría .....	96
<b>Figura 19</b>	Ejecución del Ensayo de Esclerometría.....	97
<b>Figura 20</b>	Detalles de armado longitudinal de columnas tipo C-1, C-2 y C-3 del colegio Abel Carbajal Perez.....	101
<b>Figura 21</b>	Definición de las Vigas .....	101
<b>Figura 22</b>	Dibujo del Módulo 1 Pabellón A en Planta.....	102
<b>Figura 23</b>	Dibujo del Módulo 1 Pabellón A en Elevación.....	102
<b>Figura 24</b>	Dibujo del Módulo 1 Pabellón C en Planta .....	103
<b>Figura 25</b>	Dibujo del Módulo 1 Pabellón C en Elevación .....	103
<b>Figura 26</b>	Dibujo del Módulo 2 Pabellón C en Planta .....	104
<b>Figura 27</b>	Dibujo del Módulo 2 Pabellón C en Elevación .....	104
<b>Figura 28</b>	Dibujo del Módulo 3 Pabellón C en Planta .....	105
<b>Figura 29</b>	Dibujo del Módulo 3 Pabellón C en Elevación .....	105
<b>Figura 30</b>	Carga Muerta en el Pabellón A, Módulo 1 .....	106
<b>Figura 31</b>	Carga Viva en el Pabellón A, Módulo 1.....	107
<b>Figura 32</b>	Carga de Techo en el Pabellón A, Módulo 1.....	107
<b>Figura 33</b>	Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón A, Módulo 1 .....	108
<b>Figura 34</b>	Carga Muerta y Viva en el Pabellón C, Módulo 1 .....	108

<b>Figura 35</b>	Carga de Techo en el Pabellón C, Módulo 1 .....	109
<b>Figura 36</b>	Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón C, Módulo 1 .....	109
<b>Figura 37</b>	Carga Muerta y Viva en el Pabellón C, Módulo 2 .....	110
<b>Figura 38</b>	Carga de Techo en el Pabellón C, Módulo 2 .....	110
<b>Figura 39</b>	Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón C, Módulo 2 .....	111
<b>Figura 40</b>	Carga Muerta y Viva en el Pabellón C, Módulo 3 .....	111
<b>Figura 41</b>	Carga de Techo en el Pabellón C, Módulo 3 .....	112
<b>Figura 42</b>	Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón C, Módulo 3 .....	112
<b>Figura 43</b>	Discretización del Pabellón A, Módulo 1 .....	113
<b>Figura 44</b>	Discretización del Pabellón C .....	114
<b>Figura 45</b>	Diafragma Rígido del Pabellón A, Módulo 1 .....	114
<b>Figura 46</b>	Diafragma Rígido del Pabellón C, Módulo 1 .....	115
<b>Figura 47</b>	Diafragma Rígido del Pabellón C, Módulo 2 .....	115
<b>Figura 48</b>	Diafragma Rígido del Pabellón C, Módulo 3 .....	116
<b>Figura 49</b>	Datos para el Modelo Dinámico de Barkan.....	118
<b>Figura 50</b>	Datos para el Modelo de la Norma Rusa.....	118
<b>Figura 51</b>	Asignación de Material de la Zapata (Infinitamente Rígido) .....	123
<b>Figura 52</b>	Asignación de las Secciones de Zapatas.....	124
<b>Figura 53</b>	Asignación de Cimientos Corridos.....	124
<b>Figura 54</b>	Dibujo de Zapatas con sus Dimensiones .....	125
<b>Figura 55</b>	Definición de Spring en ETABS .....	126
<b>Figura 56</b>	Discretización de las Zapatas .....	127
<b>Figura 57</b>	Liberación de Nudos y Asignación de Restricciones .....	128
<b>Figura 58</b>	Vista Luego de la Asignación de Springs y Restricciones .....	128
<b>Figura 59</b>	Asignación de los Datos del Modelo Barkan a la Cimentación .....	129
<b>Figura 60</b>	Propiedades asignadas al modelo de interacción suelo–estructura según la norma rusa SNIP 2.02.05-87, dirección Z (U1) .....	130
<b>Figura 61</b>	Propiedades de interacción en dirección X (U2) según SNIP 2.02.05-87.....	130
<b>Figura 62</b>	Propiedades de interacción en dirección Y (U3) según SNIP 2.02.05-87.....	131
<b>Figura 63</b>	Amortiguamiento rotacional R1 alrededor del eje Z según SNIP 2.02.05-87 .....	131
<b>Figura 64</b>	Amortiguamiento rotacional R2 alrededor del eje Z según SNIP 2.02.05-87 .....	132
<b>Figura 65</b>	Amortiguamiento rotacional R3 alrededor del eje Z según SNIP 2.02.05-87 .....	132
<b>Figura 66</b>	Vista del Modelo con Interacción Suelo Estructura .....	133
<b>Figura 67</b>	Vista del Modelo con Interacción Suelo Estructura .....	134
<b>Figura 68</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón A, Módulo 1 .....	137
<b>Figura 69</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 1 .....	142
<b>Figura 70</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 2 .....	147

<b>Figura 71</b>	Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 3 .....	152
<b>Figura 72</b>	Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón A, Módulo 1 .....	156
<b>Figura 73</b>	Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón C, Módulo 1 .....	157
<b>Figura 74</b>	Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón C, Módulo 2 .....	157
<b>Figura 75</b>	Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón C, Módulo 3 .....	158
<b>Figura 76</b>	Espectro Sísmico en X e Y .....	159
<b>Figura 77</b>	Curva Esfuerzo – Deformación del Concreto.....	162
<b>Figura 78</b>	Curva Esfuerzo – Deformación del Acero .....	162
<b>Figura 79</b>	Propiedades de la Albañilería.....	163
<b>Figura 80</b>	Asignación de Carga Lateral en X.....	164
<b>Figura 81</b>	Asignación de Carga Lateral en Y.....	164
<b>Figura 82</b>	Definición de Pesos Sísmicos.....	165
<b>Figura 83</b>	Creación de la Carga Gravitacional No Lineal (CGNL) .....	165
<b>Figura 84</b>	AENL Pushover en X e Y .....	166
<b>Figura 85</b>	Asignación de Rotulas Plásticas en Vigas y Columnas.....	167
<b>Figura 86</b>	Definición de Espectros de Demanda.....	168
<b>Figura 87</b>	Espectro de Demanda de la Norma ATC-40 .....	169
<b>Figura 88</b>	Desplazamientos Absolutos del Pabellón A, Módulo 1 .....	183
<b>Figura 89</b>	Derivas Relativas del Módulo N° 1 .....	185
<b>Figura 90</b>	Modos de Vibración del Pabellón A, Módulo 1 .....	186
<b>Figura 91</b>	Desplazamientos Absolutos del Pabellón C, Módulo 1 .....	189
<b>Figura 92</b>	Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 1.....	191
<b>Figura 93</b>	Modos de Vibración del Pabellón C, Módulo 1 .....	192
<b>Figura 94</b>	Desplazamientos Absolutos del Pabellón C, Módulo 2 .....	195
<b>Figura 95</b>	Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 2.....	197
<b>Figura 96</b>	Modos de Vibración del Pabellón C, Módulo 2 .....	198
<b>Figura 97</b>	Desplazamientos Absolutos del Pabellón C, Módulo 3 .....	201
<b>Figura 98</b>	Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 3.....	203
<b>Figura 99</b>	Modos de Vibración del Pabellón C, Módulo 3 .....	204
<b>Figura 100</b>	Nivel de Desempeño en X del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE .....	212
<b>Figura 101</b>	Objetivos de Desempeño en Y del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE .....	212
<b>Figura 102</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE .....	213
<b>Figura 103</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE .....	213
<b>Figura 104</b>	Nivel de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE .....	216
<b>Figura 105</b>	Nivel de Desempeño en Y del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE .....	216
<b>Figura 106</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE.....	217
<b>Figura 107</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE.....	217

<b>Figura 108</b>	Nivel de Desempeño en X, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE .....	220
<b>Figura 109</b>	Nivel de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE .....	220
<b>Figura 110</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE.....	221
<b>Figura 111</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE.....	221
<b>Figura 112</b>	Objetivos de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE.....	224
<b>Figura 113</b>	Objetivos de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE.....	224
<b>Figura 114</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE.....	225
<b>Figura 115</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE.....	225
<b>Figura 116</b>	Nivel de Desempeño en X del Pabellón A, Módulo 1, con ISE.....	233
<b>Figura 117</b>	Nivel de Desempeño en Y del Pabellón A, Módulo 1, con ISE.....	234
<b>Figura 118</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón A, Módulo 1, con ISE .....	234
<b>Figura 119</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón A, Módulo 1, con ISE .....	235
<b>Figura 120</b>	Nivel de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 1, con ISE .....	238
<b>Figura 121</b>	Nivel de Desempeño en Y del Pabellón C, Módulo 1, con ISE .....	238
<b>Figura 122</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 1, con ISE.....	239
<b>Figura 123</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 1, con ISE.....	239
<b>Figura 124</b>	Nivel de Desempeño en X, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE .....	242
<b>Figura 125</b>	Nivel de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE .....	242
<b>Figura 126</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE.....	243
<b>Figura 127</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE.....	243
<b>Figura 128</b>	Objetivos de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 3, con ISE .....	246
<b>Figura 129</b>	Objetivos de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 3, con ISE .....	246
<b>Figura 130</b>	Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 3, con ISE.....	247
<b>Figura 131</b>	Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 3, con ISE.....	247
<b>Figura 132</b>	Prueba de Normalidad de Cortante Basal Lineal.....	257
<b>Figura 133</b>	Prueba de Normalidad de Desplazamiento Lineal .....	258
<b>Figura 134</b>	Prueba de Normalidad de Derivas Lineales .....	258
<b>Figura 135</b>	Prueba de Normalidad de Periodo de Vibración .....	259
<b>Figura 136</b>	Prueba de Normalidad de Cortante Basal no Lineal de Curva de Capacidad.....	259
<b>Figura 137</b>	Prueba de Normalidad de Desplazamientos Máximos no Lineales de Curva de Capacidad .....	260
<b>Figura 138</b>	Prueba de Normalidad de Cortante Basal no Lineal de Punto de Desempeño .....	260
<b>Figura 139</b>	Prueba de Normalidad de Desplazamientos Máximos no Lineales de Punto de Desempeño .....	261
<b>Figura 140</b>	Ficha de Datos del Colegio Comercio.....	298
<b>Figura 141</b>	Ubicación del Colegio Comercio .....	298

## ABREVIATURAS Y/O SIGLAS

ASCE	American Society of Civil Engineers
ATC	Applied Technology Council
ATC-40	Guidelines for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (1996)
AutoCAD	Automatic Computer-Aided Design (Diseño asistido por computadora)
B	Ancho de la cimentación
C	Arcilla (clasificación SUCS)
CP	Collapse Prevention
D	Profundidad de empotramiento
E.020	Norma Técnica de Edificación – Cargas (MVCS, 2006)
E.030	Norma Técnica de Edificación – Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018)
E.050	Norma Técnica de Edificación – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018)
ESCALE	Estadística de la Calidad Educativa
ETABS	Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems
ESSI	Soil-Structure-Excavation Interaction (Interacción suelo-estructura- excavación)
FEMA	Federal Emergency Management Agency (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias)
FEMA 440	Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures (2005)
FS	Factor de Seguridad
GC	Grupo Control
GE	Grupo Experimental / Grupo cuasi-experimental
G	Grava (clasificación SUCS)
GPS	Global Positioning System
GSE	Laboratorio de Geotecnia, Suelos y Estructuras (Chota)
HAZUS	Hazards United States (Metodología de estimación de pérdidas de FEMA)
h	Altura del piso
Ia	Irregularidad en altura
I.E.S.	Institución Educativa Secundaria
INACAL	Instituto Nacional de Calidad
IP	Índice de Plasticidad
ISE	Interacción Suelo – Estructura

Ip	Irregularidad en planta
IO	Immediate Occupancy
LL	Límite Líquido
LP	Límite Plástico
LS	Life Safety
M	Limo (clasificación SUCS)
MH	Limo de alta plasticidad (SUCS)
MOE	Módulo de Elasticidad
MPCH	Municipalidad Provincial de Chota
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
NIST	National Institute of Standards and Technology
NTP	Norma Técnica Peruana
O	Limos o arcillas orgánicas (SUCS)
OP	Ocupación Inmediata (nivel de desempeño sísmico)
PC	Precolapso (nivel de desempeño sísmico)
PGA	Peak Ground Acceleration (Aceleración máxima del suelo)
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos (SUCS)
R	Factor de reducción de respuesta sísmica
Revit	Software de modelado BIM (Building Information Modeling)
S	Arena (clasificación SUCS)
Sa-Sd	Espectro de aceleración – desplazamiento
SEAOC	Structural Engineers Association of California
SM	Sismo Máximo (ATC-40)
SNIP 2.02.05-87	Norma rusa de diseño de cimentaciones y suelos
SPT	Standard Penetration Test (Ensayo de penetración estándar)
SS	Sismo de Servicio (ATC-40)
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
SV	Seguridad de Vida (nivel de desempeño sísmico)
TL	Periodo Largo de vibración
Tp	Periodo Corto de vibración
Tn	Periodo fundamental de vibración
UNACH	Universidad Nacional Autónoma de Chota

UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984
ZUCS	Espectro controlado definido por factor de zona Z, factor U de categoría de la edificación, factor de amplificación sísmica C, factor de suelo S
$\Delta$	Deriva inter-piso (desplazamiento relativo entre pisos)
$\sigma_{adm}$	Carga admisible del suelo
$\sigma_{portante}$	Capacidad portante del suelo
$\tau$ (tau)	Resistencia al corte
$\phi$ (phi)	Ángulo de fricción interna
$\gamma$ (gamma)	Peso específico del suelo
$\nu$ (nu)	Coefficiente de Poisson
$\varepsilon$	Deformación
$\varepsilon_{lateral}$	Deformación lateral
$\varepsilon_{longitudinal}$	Deformación longitudinal
$f'_c$	Resistencia a la compresión del concreto

## RESUMEN

En Chota, los suelos blandos y finos pueden afectar significativamente el comportamiento estructural por lo que, la investigación tuvo como objetivo evaluar el desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez considerando la interacción suelo-estructura (ISE). El enfoque fue cuantitativo, de tipo aplicado, nivel descriptivo y diseño no experimental. La muestra incluyó dos pabellones construidos en la institución educativa, y el análisis se realizó aplicando las normas E.030:2018 y ATC-40:1996 mediante simulaciones en ETABS 2018. Los resultados evidenciaron que al considerar la ISE, la cortante basal se redujo hasta en 29.20% y los desplazamientos y derivas aumentaron hasta en 21.88% y 19.58%, respectivamente. Sin la ISE, los módulos presentaron comportamiento adecuado para sismos de servicio y diseño, pero alcanzaron niveles críticos de precolapso en sismos máximos, destacando el módulo 1 del pabellón A con cortante basal de 840.81 toneladas en X y 325.66 ton en Y. Al incluir la ISE, se redujo la rigidez estructural, reflejándose en la disminución de la cortante basal máxima (773.55 ton en X y 293.09 ton en Y), pero con incrementos significativos en los desplazamientos, hasta 21.255 cm en el módulo 2 del pabellón C. Se concluyó que la ISE influye significativamente en el desempeño estructural, reduciendo la rigidez global y aumentando las deformaciones del colegio Abel Carbajal Perez, lo que impide el cumplimiento de los criterios de desempeño para sismos máximos según la norma ATC-40:1996. Como aporte al conocimiento, se establece una línea base comparativa del efecto de la ISE en el desempeño no lineal (Pushover) de módulos educativos existentes sobre suelos blandos en Chota.

**Palabras clave:** demanda, curva de capacidad, punto de desempeño, interacción suelo-estructura.

## ABSTRACT

In Chota, soft and fine soils can significantly affect structural behavior. Therefore, the research aimed to evaluate the seismic performance of the modules of the Abel Carbajal Perez school, considering soil-structure interaction (SSI). The approach was quantitative, applied, descriptive, and non-experimental. The sample included two buildings constructed at the educational institution, and the analysis was performed by applying standards E.030:2018 and ATC-40:1996 through simulations in ETABS 2018. The results showed that when considering ISE, the basal shear force was reduced by up to 29.20% and the displacements and drifts increased by up to 21.88% and 19.58%, respectively. Without the ISE, the modules performed adequately for service and design earthquakes, but reached critical pre-collapse levels in maximum earthquakes, notably module 1 of pavilion A with a base shear of 840.81 tons in X and 325.66 tons in Y. When ISE was included, structural stiffness was reduced, reflected in a decrease in maximum basal shear (773.55 tons in X and 293.09 tons in Y), but with significant increases in displacements, up to 21.255 cm in module 2 of pavilion C. It was concluded that the ISE significantly influences structural performance, reducing overall stiffness and increasing deformations at the Abel Carbajal Perez school, which prevents compliance with the performance criteria for maximum earthquakes according to the ATC-40:1996 standard. As a contribution to knowledge, a comparative baseline is established for the effect of ISE on the nonlinear performance (Pushover) of existing educational modules on soft soils in Chota.

**Key words:** demand, capacity curve, performance point, soil-structure interaction.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

La evaluación sísmica de edificios académicos avala su resiliencia estructural frente a terremotos (Kamgar y Khatibinia, 2019). Sin embargo, cuando el análisis asume base fija e ignora la interacción suelo–estructura (ISE), puede representar una respuesta dinámica poco realista y, subestimar o sobrestimar la demanda sísmica y la capacidad de la edificación (Won y Shin, 2021). Este riesgo se incrementa en suelos blandos, donde el movimiento en la base difiere del movimiento de campo libre propio de suelos rígidos (Tavakoli et al., 2019). Un caso representativo fue el sismo de Michoacán de 1985, en el que la Ciudad de México, asentada sobre una capa de arcilla blanda de 39 a 50 m de espesor, presentó daños mayores que zonas con suelos rígidos, por la amplificación de aceleraciones sísmicas hasta cinco veces más que sitios rocosos (Kamal et al., 2022). En este marco, la evaluación del desempeño sísmico (ATC-40, 1996), requiere incorporar la ISE, dado que las condiciones geotécnicas influyen de forma directa en la respuesta global y en la distribución de demandas internas.

Perú presenta alta exposición sísmica por su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico. La norma técnica E.030 (MVCS, 2018) ha sido actualizada para fortalecer el diseño sísmico; no obstante, mantiene un enfoque centrado en el sismo de diseño como único nivel de amenaza, lo cual no garantiza por sí mismo un comportamiento adecuado frente a sismos frecuentes o moderados y limita la evaluación por niveles de desempeño (Saavedra, 2020). Además, la norma se apoya en un espectro controlado por la combinación ZUCS y no incorpora de manera explícita los efectos de la interacción suelo–estructura, situación que puede conducir a respuestas estructurales idealizadas cuando el sistema de cimentación y el suelo condicionan significativamente la rigidez, el amortiguamiento y la demanda (Kamgar y Khatibinia, 2019).

En el ámbito local, la Municipalidad Provincial de Chota (MPCH, 2018) reporta que los suelos del área urbana son predominantemente blandos, con arcillas y limos de alta plasticidad y drenaje deficiente. Aun así, los análisis estructurales aplicados en la práctica suelen considerar que las acciones sísmicas son independientes de la cimentación, pese a que el movimiento en la frontera suelo–estructura puede diferir del que se registraría si la estructura no existiera, fenómeno que corresponde a la ISE (Saavedra, 2020). Este escenario adquiere relevancia en edificaciones antiguas diseñadas con criterios de décadas previas, debido a que la respuesta real puede verse condicionada por deformabilidad del suelo, cambios en periodos, demandas de deriva y formación de mecanismos no previstos. En este contexto se ubica el colegio Abel Carbajal Pérez (Colegio Comercio), en el distrito y provincia de Chota, Cajamarca, diseñado y construido en 1991 y sin una evaluación formal de desempeño estructural pese a haber transcurrido más de 30 años; además, el país ha registrado múltiples eventos sísmicos con incidencia en la región Cajamarca según Alayo (2007), AndinaRadio (2019) y El Peruano (2021), cuyos efectos por propagación de ondas pueden resultar perceptibles y afectar edificaciones expuestas (Pacheco, 2018).

Asimismo, esta institución cumple una función social esencial, ya que brinda servicio educativo y puede operar como refugio temporal ante emergencias. Según la Estadística de la Calidad Educativa (ESCALE, 2024), alberga a 205 alumnos y cuenta con 22 docentes, por lo que cualquier deficiencia estructural incrementa la vulnerabilidad de una población significativa. A esto se suma que los dos módulos presentan patologías visibles, como grietas, rajaduras y erosión, evidenciando deterioro progresivo, tal como se consigna en el Anexo 2. En consecuencia, existe un problema técnico no resuelto: el desempeño sísmico de los módulos no ha sido determinado mediante una evaluación integral que incorpore la interacción suelo–estructura y

criterios de desempeño. El aporte científico de la investigación consiste en generar evidencia cuantitativa, basada en análisis no lineal por desempeño (Pushover) incorporando la ISE, para construir una línea base local de comportamiento estructural que incluya parámetros de capacidad-demanda, y permita comparar objetivamente la respuesta con y sin ISE, identificando variables críticas del acoplamiento suelo–cimentación–superestructura para investigaciones y evaluaciones futuras orientadas a la reducción del riesgo sísmico en infraestructura educativa de Chota.

## **1.2. Justificación**

El tema se eligió por la importancia de verificar el desempeño sísmico de las instituciones educativas, debido a que, son edificaciones que, deben prevalecer frente a un evento sísmico, según la norma E.030 (MVCS, 2018), pero muchas se construyeron antes de las últimas modificaciones normativas, como es el caso del colegio comercio; institución educativa que, muestra rasgos patológicos, que hacen dudar de su capacidad sísmica, así mismo, si bien no se conocían las características del suelo de cimentación, era pertinente conocerlas considerando que, la MPCH (2018) menciona que, se tratan de suelos blandos, conformados mayormente por finos, siendo así, fue necesario no solo conocer el desempeño sísmico de la edificación, sino también, su interacción suelo-estructura, surgiendo así el tema en estudio.

La pertinencia del estudio radica en la necesidad de verificar si, a pesar de los cambios recientes realizados en la norma de diseño E.030 (MVCS, 2018), la estructura del colegio Comercio aún cumple con su comportamiento estructural adecuado, considerando su antigüedad de 30 años. Aunque aún le quedan 20 años para alcanzar el límite de su vida útil, este análisis permitirá determinar si la edificación requiere mantenimiento, ajustes o si debe considerarse el diseño de una nueva estructura, pese a encontrarse en la mitad de su vida útil.

La investigación es original porque, aunque existen estudios nacionales y locales que analizan el desempeño estructural o la interacción suelo-estructura por separado, ninguno ha combinado ambas metodologías en el análisis de edificaciones académicas. Además, el colegio Comercio no ha sido objeto de evaluaciones estructurales previas. Este trabajo aborda el vacío de conocimiento sobre el desempeño sísmico de la edificación, siendo trascendente para la sociedad. Los beneficiarios incluyen las instituciones gubernamentales encargadas del mantenimiento escolar, los alumnos, docentes y personal administrativo, quienes obtendrán certeza sobre la seguridad estructural de su infraestructura.

El análisis de desempeño considerando la interacción suelo-estructura es importante porque integra la ingeniería estructural y geotécnica para lograr un modelo más cercano a la realidad, especialmente en ciudades como Chota, donde los suelos son blandos y finos (MPCH, 2018). Este enfoque proporciona un análisis más completo al estudiar el comportamiento lineal y no lineal de la edificación frente a eventos sísmicos, y permite desarrollar un espectro de diseño sísmico que incluye estas condiciones específicas.

Los lineamientos metodológicos planteados en esta investigación podrán aplicarse al análisis de otras instituciones educativas con características técnicas similares en la provincia de Chota. Sin embargo, los resultados alcanzados son específicos para el colegio Comercio, dado que sus características geométricas, mecánicas y geotécnicas son propias del lugar. A nivel local, este trabajo llena un vacío de conocimiento al combinar las metodologías de interacción suelo-estructura y desempeño sísmico no lineal, avanzando en la comprensión de cómo estas variables influyen conjuntamente en la respuesta estructural.

Finalmente, este estudio incrementa el conocimiento científico sobre la aplicación combinada de las metodologías de interacción suelo-estructura y desempeño sismorresistente. Si bien en el ámbito internacional hay investigaciones que abordan ambas metodologías de forma conjunta (Katrangi et al., 2022), en el ámbito local los estudios son limitados. Por ello, este trabajo no solo representa un aporte teórico significativo, sino que también responde a una necesidad práctica urgente en la región.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es el desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez considerando la interacción suelo – estructura, Chota?

### **1.4. Delimitación de la investigación**

La investigación se desarrolló en dos etapas principales. Durante la segunda mitad del año 2023 se realizaron los estudios básicos, que comprendieron la caracterización geotécnica del suelo, así como la recopilación de información estructural y patológica de los módulos que conforman el colegio Abel Carbajal Perez, ubicado en la ciudad de Chota, provincia de Chota, en las coordenadas UTM WGS84 17S 759615.03 m E, 9274275.60 m S, a cinco minutos de la plaza de armas de la ciudad (Jr. Gregorio Malca N.º 877 – Chota). En el año 2024 se efectuó el modelamiento estructural empleando los programas Revit 2022 y ETABS 2018, para evaluar el desempeño sísmico lineal y no lineal conforme a la norma ATC-40 (1996) y considerando la interacción suelo–estructura mediante el modelo ruso SNIP 2.02.05-87 (1987).

El objeto de estudio corresponde a la totalidad de la infraestructura existente del colegio Abel Carbajal Perez, la cual está conformada únicamente por dos pabellones: el Pabellón A, que cuenta con un módulo estructural, y el Pabellón C, conformado por

tres módulos. No existe un Pabellón B. Por tanto, el análisis de ambos pabellones abarca el 100 % de la edificación, lo que garantiza su representatividad dentro del estudio.

Los criterios de selección de estos pabellones se basaron en su tipología estructural común, conformada por pórticos de concreto armado en la dirección X y muros de albañilería confinada en la dirección Y, con losa aligerada como sistema de entrepiso y cobertura. Ambos pabellones pertenecen al colegio Abel Carbajal Perez, conocido como colegio Comercio, el cual fue diseñado y construido en 1991, durante la década de los noventa, y no ha sido objeto de evaluación estructural previa, a pesar de haber transcurrido más de tres décadas desde su ejecución. Las edificaciones presentan condiciones constructivas homogéneas y patologías menores (fisuras no estructurales y desgaste superficial) que reflejan el estado general del conjunto educativo. En consecuencia, los pabellones analizados representan fielmente el comportamiento estructural global del colegio frente a solicitaciones sísmicas.

La investigación se centró en el análisis del desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez, abarcando la evaluación de derivas, desplazamientos y cortantes basales bajo comportamiento dinámico lineal según la norma E.030:2018. Asimismo, incluyó el análisis estático no lineal del desempeño estructural frente a diferentes niveles de amenaza sísmica, considerando tanto el modelo convencional sin interacción suelo-estructura como el modelo que incorpora este efecto, empleando la norma ATC-40 (1996) y el modelo ruso SNIP 2.02.05-87. Finalmente, se realizó una comparación entre el desempeño lineal y no lineal de la estructura, con y sin interacción suelo-estructura, para determinar el impacto de esta variable en el comportamiento de la edificación, siguiendo lineamientos de normativas nacionales e internacionales. Este estudio se centró exclusivamente en la modelación estructural mediante herramientas

de simulación (en el programa ETABS 2018), siendo sus resultados aplicables únicamente a las condiciones específicas de la edificación analizada.

## 1.5. Limitaciones

El análisis de la interacción suelo–estructura se limitó al uso del modelo dinámico de la norma rusa SNIP 2.02.05-87 y Barkan, seleccionado por su adecuada adaptación a las condiciones geotécnicas locales y a la información disponible. No se consideraron modelos alternativos más complejos (p. ej., elementos finitos tridimensionales) debido a la carencia de ensayos dinámicos in situ y a la naturaleza exploratoria del estudio.

Dado que los estudios básicos se realizaron en 2023 y el modelamiento estructural en 2024, cualquier cambio significativo en las condiciones estructurales de la edificación o del suelo después de estas fechas no está reflejado en los resultados.

El enfoque general del trabajo fue determinista; sin embargo, para cuantificar la influencia de la incertidumbre de los parámetros geotécnicos se incorporó un análisis de sensibilidad paramétrica basado en variaciones porcentuales de las propiedades más representativas del suelo: velocidad de ondas cortantes ( $V_s$ ), cohesión no drenada ( $c$ ) y peso unitario ( $\gamma$ ). Se definieron tres escenarios con relación al caso medio utilizado en el modelo principal:

**Tabla 1**

*Escenarios de Variación de Parámetros Geotécnicos para el Análisis de Sensibilidad*

Escenario	$V_s$	$c$	$\gamma$	Interpretación
<b>Optimista (O<sub>1</sub>)</b>	+15 %	+20 %	+5 %	Suelo más rígido y resistente; menor deformabilidad.
<b>Medio (O<sub>2</sub>)</b>	Valor base ( $V_s = 210$ m/s, $c = 30$ kPa, $\gamma = 14.55$ kN/m <sup>3</sup> )			Escenario base obtenido del laboratorio.
<b>Conservador (O<sub>3</sub>)</b>	-15 %	-20 %	-5 %	Suelo más compresible; mayor deformabilidad y amortiguamiento.

*Nota.* Los escenarios se definieron para cuantificar la influencia de la incertidumbre de los parámetros del suelo en la rigidez equivalente del modelo de interacción suelo–estructura. Las variaciones se basan

en rangos típicos reportados en la literatura geotécnica ( $\pm 15\%$  a  $\pm 20\%$ ), considerando el valor medio de laboratorio como referencia (O<sub>2</sub>).

Los coeficientes de rigidez vertical y horizontal (K<sub>z</sub>, K<sub>x</sub>, K<sub>y</sub>) y rotacionales (K<sub>φx</sub>, K<sub>φy</sub>) se recalcularon en Mathcad considerando dichas variaciones, verificando los cambios en las respuestas estructurales globales (cortante basal y desplazamiento máximo).

**Tabla 2**

*Resultados del Análisis de Sensibilidad en la Respuesta Estructural*

Escenario	K <sub>z</sub> (kN/m)	Δ Cortante basal	Δ Desplazamiento máximo
O <sub>1</sub>	+15 %	+8 %	-10 %
O <sub>2</sub>	100 % (base)	—	—
O <sub>3</sub>	-18 %	-10 %	+13 %

*Nota.* Los resultados indican que las variaciones razonables de los parámetros geotécnicos modifican el cortante basal en  $\pm 10\%$  y los desplazamientos máximos en  $\pm 13\%$ , lo que se considera un rango de incertidumbre moderado y controlado. Estos resultados validan la robustez del modelo base frente a cambios en las propiedades del suelo.

Asimismo, se reconoce que un tratamiento probabilístico más riguroso (p. ej., métodos MCMC o Bootstrap) podría aplicarse en estudios posteriores con información experimental más amplia. No obstante, para los fines de este estudio de evaluación estructural, el análisis de sensibilidad triparamétrico resulta suficiente para identificar el rango de variabilidad de la respuesta estructural.

Finalmente, cabe precisar que los resultados corresponden exclusivamente a las condiciones estructurales y geotécnicas del Colegio Abel Carbajal Perez–Comercio, y no deben extrapolarse sin estudios complementarios de validación.

## 1.6. Objetivos

### 1.6.1. *Objetivo general*

Analizar el desempeño sísmico de los módulos estructurales de los pabellones A (1 módulo) y C (3 módulos) del colegio Abel Carbajal Perez considerando la

interacción suelo–estructura (ISE), mediante análisis sísmicos lineales y no lineales bajo los niveles de amenaza sísmica de Servicio, Diseño y Máximo.

#### **1.6.2. *Objetivos específicos***

- Determinar las derivas, desplazamientos y cortantes basales de los módulos de los pabellones A y C bajo el análisis dinámico lineal conforme a la Norma E.030-2018, considerando y sin considerar la interacción suelo–estructura (ISE).
- Evaluar el desempeño sísmico estático no lineal de los módulos de los pabellones A y C bajo los niveles de amenaza sísmica de Servicio, Diseño y Máximo, de acuerdo con la Norma ATC-40-1996.
- Analizar la influencia de la interacción suelo–estructura (ISE) en el desempeño sísmico no lineal de los módulos de los pabellones A y C utilizando el modelo dinámico ruso SNIP 2.02.05-87 y Barkan.
- Comparar el comportamiento sísmico de los módulos de los pabellones A y C considerando y sin considerar la interacción suelo–estructura (ISE), verificando el cumplimiento de los objetivos de desempeño estructural establecidos en las normas E.030-2018 y ATC-40-1996.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Vicencio y Alexander (2024) tuvieron como objetivo analizar el desempeño sísmico de edificios asimétricos utilizados como instituciones educativas considerando el método lineal y no lineal con la interacción suelo estructura. Exploraron el efecto de la interacción estructura-suelo-estructura (SSI) entre un par de edificios (uno de los cuales es asimétrico en planta y, por lo tanto, sujeto a movimientos de torsión/balanceo acoplados inducidos sísmicamente) sobre la respuesta sísmica. Se propone un modelo paramétrico lineal/no lineal de orden reducido de este sistema. Se emplea una base de datos de 12 registros de movimiento de tierra intenso. Los resultados sugieren que la SSI puede afectar la respuesta de desplazamiento y aceleración de las estructuras de planta asimétrica. De la misma manera, la torsión del edificio tiene el efecto de aumentar las respuestas del edificio para un rango paramétrico más amplio sobre el cual los efectos de la SSI son significativos.

Aportó evidencia de que la ISE y la torsión en plantas asimétricas modifican significativamente desplazamientos y aceleraciones, lo que sustenta evaluar módulos educativos con y sin ISE.

Macas y Proaño (2024) analizaron la interacción suelo-estructura en edificaciones de 3, 4 y 5 pisos con cimentación de zapatas aisladas, ubicadas en una zona de riesgo en Manabí, Ecuador, sobre estratos de arena densa y arcilla blanda. Utilizando la norma rusa SNIP 2.02.05-87 y modelos computacionales, realizaron un análisis dinámico espectral, considerando características del suelo como la arena densa (peso unitario de 16.49 kN/m<sup>3</sup>, velocidad de onda de corte de 257 m/s y módulo de elasticidad de 27.4 MPa) y la arcilla blanda (peso unitario de 12.88 kN/m<sup>3</sup>, velocidad

de onda de corte de 163 m/s y módulo de elasticidad de 10.99 MPa). Los resultados mostraron que la cortante dinámica representó el 85% de la cortante estática, con valores de 155.02, 210.92 y 284.14 toneladas para 3, 4 y 5 niveles en arena densa, y 159.33, 214.73 y 289.29 toneladas en arcilla blanda, respectivamente. El periodo fundamental de vibración fue de 0.456, 0.566 y 0.639 segundos para 3, 4 y 5 niveles en arena densa, y 0.486, 0.588 y 0.656 segundos en arcilla blanda. Los desplazamientos fueron 11.09, 17.84 y 23.61 mm para 3, 4 y 5 niveles en arena densa, y 12.42, 19.42 y 26.05 mm en arcilla blanda. Las derivas cumplieron con la normatividad, con valores menores a 0.0021. Concluyeron que, la interacción suelo-estructura influye de manera significativa en el comportamiento sísmico de las edificaciones, afectando tanto los desplazamientos como los periodos de vibración dependiendo del tipo de suelo.

Sirvió como referencia cuantitativa del efecto del tipo de suelo (arena densa vs arcilla blanda) sobre periodos, desplazamientos y cortante, reforzando la necesidad de incorporar parámetros geotécnicos en el modelo.

Dueñas y Jumbo (2023) analizaron la interacción suelo-estructura del edificio bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito, empleando la norma NIST GCR 12-917-21-Gazetas, con el objetivo de evaluar el impacto de diferentes modelos de base (empotrada, flexible de Pais y Kausel, y flexible de Gazetas) sobre la respuesta sísmica del edificio, modelado en SAP 2000 utilizando el espectro de la norma ecuatoriana para suelo tipo D y cimentación de zapatas. Los resultados indicaron que la cortante basal en el bloque 1 en la dirección X fue de 255.49, 245.95 y 249.16 Ton, mientras que en Y alcanzó 222.39, 217.35 y 221.72 Ton para los modelos empotrado, flexible de Pais y Kausel, y flexible de Gazetas, respectivamente. Para el bloque 2, la cortante en X fue de 414.05, 370.31 y 319.86 Ton, y en Y, 506.13, 391.77 y 403.14 Ton. Las derivas en X fueron 0.0032, 0.00285 y 0.0029, y en Y fueron

0.00348, 0.003362 y 0.003383, respectivamente, en los tres modelos. Los periodos de vibración también se incrementaron al considerar la base flexible, alcanzando en el bloque 1 valores de 1.093, 1.129 y 1.124 segundos, y en el bloque 2, 0.638, 0.653 y 0.684 segundos para los modelos empotrado, flexible de Pais y Kausel, y flexible de Gazetas, respectivamente. Concluyeron que el modelo con base flexible de Gazetas ofrece resultados más cercanos a la realidad, con una variación porcentual de 2.21% en comparación con los otros modelos.

Aportó un marco comparativo de modelos de base (empotrada vs flexible con formulaciones tipo Gazetas), útil para justificar la selección del esquema de cimentación flexible y la comparación base fija–base flexible.

De La Cruz y Tipán (2023) analizaron la interacción suelo-estructura del bloque G de la “Universidad Politécnica Salesiana de Quito”, con los modelos acoplado y desacoplado según la norma rusa SNIP 2.02.05-87. El objetivo fue evaluar el impacto de la interacción suelo-estructura en dos bloques estructurales con muros de corte, modelados en ETABS 2018, considerando condiciones de base empotrada y rigidez en resortes para incluir dicha interacción. El análisis se basó en un suelo areno limoso a 10 m de profundidad, con peso específico de 1.078, módulo de elasticidad de 474.99 tonf/m<sup>2</sup>, cohesión de 2.80 ton/m<sup>2</sup> y ángulo de fricción de 31°. Determinaron que, los periodos de vibración aumentaron al considerar la interacción, pasando de 0.546 s a 0.673 s en el bloque 1, y de 0.551 s a 0.744 s en el bloque 2. Las derivas también se incrementaron: en la dirección X fueron de 0.00086 a 0.00102 para el bloque 1 y de 0.00094 a 0.00110 para el bloque 2, mientras que en la dirección Y fueron de 0.00045 a 0.00047 para el bloque 1 y de 0.00076 a 0.00082 para el bloque 2. En cuanto a la cortante basal, en el bloque 1 disminuyó de 408.051 Ton a 394.13 Ton en X, y de 402.02 Ton a 390.97 Ton en Y al incluir la interacción. Para el bloque 2, los valores se

redujeron de 223.47 Ton a 216.96 Ton en X, y de 233.54 Ton a 218.53 Ton en Y. Concluyeron que, aunque las derivas aumentaron significativamente al considerar la interacción suelo-estructura (53.7% en el bloque 1 y 45% en el bloque 2), estas y los desplazamientos cumplen con la normativa ecuatoriana.

Sustentó la tendencia típica de la ISE (aumento de periodos y derivas, reducción de cortante basal), proporcionando un patrón de contraste directo para interpretar los resultados del colegio.

Andrade y Villavicencio (2024) compararon el análisis estático y dinámico no lineal para evaluar el comportamiento sísmico de una edificación de concreto armado en el cantón Jipijapa. Aplicaron una metodología experimental con análisis Pushover según la norma ASCE 41-13 y un análisis dinámico no lineal basado en acelerogramas escalados conforme a la metodología ASCE 7-16. Los resultados del análisis Pushover mostraron desplazamientos máximos de 29.43 cm en el eje X y 32 cm en el eje Y, con derivas inelásticas de 1.245%, 1.206% y 1.34%, y un desempeño sísmico de seguridad de vida según la ASCE 41-13. Por su parte, el análisis dinámico no lineal arrojó desplazamientos promedio de 29.97 cm en el eje X y 32.39 cm en el eje Y, con derivas inelásticas de 1.278% y 1.328%, y un desempeño sísmico moderado según la metodología Hazus. Concluyeron que ambos métodos ofrecen resultados similares en términos de desplazamientos y derivas, pero el análisis dinámico no lineal proporciona una evaluación más detallada del comportamiento estructural bajo eventos sísmicos.

Aportó el sustento metodológico para emplear análisis no lineal (Pushover) como herramienta válida de desempeño y para contrastar resultados con enfoques dinámicos cuando se discuta el alcance del método.

Kuria y Kegyes-Brassai (2023) tuvieron como objetivo evaluar la capacidad sísmica de una estructura hospitalaria de concreto armado (RC), específicamente el

edificio número 7 del hospital Vaszary Kolos bajo el enfoque no lineal. Determinaron desplazamientos significativamente mayores en la dirección X, alcanzando aproximadamente 0.29 m, en contraste con la dirección Y, donde los desplazamientos fueron mínimos (0.0004 m). Asimismo, varios componentes estructurales fallaron, especialmente en X, conforme a las condiciones establecidas por el Código. Concluyeron que los desplazamientos y fallos estructurales son más críticos en X, lo que subraya la necesidad de reforzar las vulnerabilidades identificadas para mejorar la resistencia de la edificación frente a eventos sísmicos y garantizar su operatividad ante emergencias.

Contribuyó al enfoque de desempeño en edificaciones esenciales, mostrando cómo identificar direcciones críticas y componentes vulnerables, criterio aplicable a la priorización de intervención en infraestructura educativa.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Malarin y Macedo (2024) tuvieron como objetivo evaluar el desempeño sísmico de los pabellones 101 A y 101 B de esta institución educativa ubicada en Arequipa, empleando métodos estáticos no lineales y siguiendo la norma E.030. La metodología fue mixta, utilizando el método estático no lineal y el método de coeficiente de desplazamiento para identificar los puntos de desempeño en X e Y. Determinaron que, ambos pabellones cumplían con los niveles de desempeño operacional y de ocupación inmediata en X, pero no alcanzaron los estándares en Y. En términos de ductilidad, el bloque 101 A mostró una ductilidad media de 5.97 en X, mientras que el bloque 101 B presentó una ductilidad alta de 6.45 en la misma dirección. Sin embargo, en la dirección Y, el bloque 101 B mostró un comportamiento frágil, con una ductilidad de 3.54. Concluyeron que, en caso de un evento sísmico poco frecuente, la estructura podría llegar al límite de colapso, lo que resalta la necesidad de reforzamientos estructurales.

Aportó criterios para interpretar niveles de desempeño por dirección y justificar propuestas de reforzamiento cuando no se cumplen estándares, alineado a la evaluación de pabellones educativos.

Rodríguez y Luna (2023) tuvieron como objetivo evaluar el comportamiento sísmico de un módulo escolar 780 de dos niveles con muros de albañilería confinada, considerando la interacción suelo-estructura (ISE). El objetivo fue realizar un análisis estático no lineal (Pushover) modelando la estructura en ETABS 2018, comparando escenarios de base empotrada y base flexible en un suelo intermedio tipo S2 según la norma E.030. Determinaron que el periodo fundamental aumentó de 0.20 s en el modelo con base empotrada a 0.27 s con base flexible. La curva de capacidad evidenció mayor rigidez inicial para el modelo con base flexible, lo que resultó en desplazamientos laterales más grandes y una leve reducción en la cortante basal. Las derivas máximas fueron de 5.20% para la base empotrada y 6.70% para la base flexible. Concluyeron que la interacción suelo-estructura incrementa los periodos y desplazamientos, mientras reduce la rigidez inicial y la ductilidad de la estructura. Aunque las variaciones en la cortante basal fueron mínimas, el modelo con ISE ofrece una representación más precisa del comportamiento estructural.

Sirvió como antecedente directo de Pushover con ISE en un módulo escolar, validando la comparación base empotrada vs base flexible en ETABS y la interpretación de variaciones en periodo, derivas y capacidad.

Chocce (2024) tuvo como objetivo evaluar el comportamiento sísmico de un edificio ubicado en suelos heterogéneos en El Tambo, Junín, considerando la interacción suelo-estructura (ISE). Los resultados mostraron que las derivas máximas de piso variaron de 0.0068 a 0.0076 en suelos granulares y de 0.0104 a 0.0138 en suelos cohesivos al incorporar la ISE. Los asentamientos máximos aumentaron de 0.39 cm a

0.46 cm en suelos granulares y de 0.925 cm a 1.02 cm en suelos cohesivos. En cuanto a las deformaciones máximas de losas, estas pasaron de 1.67 cm a 1.80 cm en suelos granulares y de 1.736 cm a 2.54 cm en suelos cohesivos. Concluyó que el análisis con ISE incrementa los parámetros de control del comportamiento estructural en un 42%, incluyendo derivas, asentamientos y deformaciones. Como medida preventiva, recomendó reforzar los elementos estructurales y mejorar el coeficiente de rigidez de edificaciones apoyadas en suelos cohesivos para garantizar un desempeño sísmico adecuado.

Aportó evidencia de que la ISE incrementa parámetros de control (derivas y deformaciones), útil para sustentar por qué la evaluación con ISE puede revelar condiciones más críticas que el modelo de base fija.

Falcón (2024) tuvo como objetivo evaluar la respuesta sísmica de una edificación de cinco niveles con sistema estructural de pórticos de concreto armado y cimentación combinada sobre un suelo tipo S2, considerando los efectos de la interacción suelo-estructura según el modelo ruso SNIP 2.02.05-87 y comparándolos con un modelo de base rígida. El estudio, de enfoque aplicado, no experimental y descriptivo, reveló un aumento del 11.56% en las distorsiones mezzanine en la dirección X y del 22.88% en la dirección Y al incluir la interacción suelo-estructura. En términos de cimentación, se observó una disminución significativa de asentamientos, alcanzando una reducción del 92.65% en la zapata Z-6. Respecto a los esfuerzos de presión, se detectó un incremento del 71.73% en la zapata Z-6 y una disminución del 20.08% en la zapata Z-2. Estos resultados evidencian la notable influencia del modelo SNIP 2.02.05-87 en la evaluación estructural comparada con el modelo de base rígida.

Contribuyó con un enfoque integral al incorporar efectos de ISE en distorsiones y variables de cimentación (asentamientos y presiones), reforzando la discusión sobre el acoplamiento suelo–cimentación–superestructura.

Quispe et al. (2024) tuvo como objetivo analizar y diseñar sísmicamente una edificación multifamiliar de 10 niveles y dos sótanos, considerando la interacción suelo-estructura (ISE) mediante una platea de cimentación. Utilizando el software ETABS 2016 y los modelos dinámicos de la norma rusa SNIP 2.02.05-87, evaluaron el comportamiento de la edificación ubicada en la zona sísmica 3 sobre un suelo S3, caracterizado como arena arcillosa de baja plasticidad con densidad de  $1 \text{ T.s}^2/\text{m}^4$ , coeficiente de Poisson de 0.35, capacidad portante de  $1.94 \text{ kg/cm}^2$  y MOE de 20 MPa. El análisis reveló que los desplazamientos relativos en las direcciones X e Y cumplen con la norma E.030, siendo menores a 0.007. Los esfuerzos cortantes estáticos y dinámicos alcanzaron en la dirección X valores de 711.95 Ton y 463.46 Ton, respectivamente, mientras que en la dirección Y fueron 711.95 Ton y 555.76 Ton. Al incorporar la interacción suelo-estructura, los periodos fundamentales de vibración aumentaron de 0.593 s a 0.608 s en X, y de 0.639 s a 0.667 s en Y. Los desplazamientos máximos también se incrementaron de 11.14 cm a 12.42 cm en X, y de 11.95 cm a 13.31 cm en Y, aunque las distorsiones de piso permanecieron dentro de los límites normativos. Concluyeron que la incorporación de la ISE afecta los periodos fundamentales de vibración, los desplazamientos en ambas direcciones, las distorsiones, los esfuerzos cortantes en la base y las fuerzas internas de los elementos estructurales significativamente, en comparación con el modelo de base fija.

Aportó valores comparativos de cambios en periodos, desplazamientos y cortantes al incluir ISE bajo modelos tipo SNIP, útil para contrastar magnitudes y tendencias con los resultados obtenidos en Chota.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Angelino y Estrada (2024) tuvieron como objetivo estructurar y analizar la edificación educativa de 4 pisos asentada sobre suelo blando tipo 3, utilizando los métodos de análisis lineal y no lineal en el distrito de Chota. La investigación fue de tipo aplicada y descriptiva, utilizando las normas E030 y E060 para los análisis lineales, y ASCE 41-17, HAZUS, y SEAOC para los análisis no lineales. La edificación presenta irregularidad de esquinas entrantes. Determinaron que, según el análisis no lineal, el módulo 2 se encuentra en un nivel de resguardo de vida, pero cercano al colapso, aunque conforme a la norma HAZUS presenta derivas menores a 0.056 en ambas direcciones. La estructura cumple con ciertos estándares de seguridad, pero su proximidad al colapso sugiere la necesidad de mejoras estructurales. Concluyeron que, es necesario reforzar la estructura para garantizar la seguridad de la estructura frente a eventos sísmicos.

Sirvió como referencia local de evaluación lineal y no lineal en suelo blando en Chota, aportando contexto técnico para discutir desempeño y necesidad de reforzamiento en infraestructura educativa.

Villanueva (2023) tuvo como objetivo analizar la interacción suelo-estructura (ISE) en la respuesta estructural de los módulos C y D de la edificación de turismo y hotelería de la Universidad Nacional de Cajamarca. El objetivo fue evaluar cómo esta interacción afecta el comportamiento estructural mediante un modelo empotrado y el análisis sísmico estático y dinámico modal espectral, conforme a la norma E.030. Además, se compararon los resultados al aplicar el modelo dinámico de D.D. Barkan – O.A. Savinov, incorporando datos de mecánica de suelos y geometría de cimentación. Determinó que al considerar la ISE, los desplazamientos incrementaron significativamente, alcanzando 175% en el módulo C y 206.55% en el módulo D. Los

periodos también aumentaron hasta 29.02% y 41.41% en los módulos C y D, respectivamente. La deriva máxima, del módulo C, alcanzó un aumento de 0.0049. En cuanto a la cortante basal, se registraron aumentos del 36.72% en el módulo C y del 20.69% en el módulo D. Concluyó que la ISE tiene un impacto significativo en el desempeño estructural, incrementando los desplazamientos, periodos, masa participativa y cortante basal.

Aportó evidencia regional del impacto de la ISE en desplazamientos, periodos y cortante basal en edificaciones reales, fortaleciendo la justificación de incluir ISE en el análisis del colegio.

Bustamante (2022) tuvo como objetivo realizar un análisis sísmico del bloque B1 de la institución educativa Cristo Rey Fila Alta 16006 de Jaén, conforme a la norma E.030-2018. Para ello, utilizó datos del expediente técnico, incluidas las especificaciones de los materiales, estudio de suelos y planos estructurales, además de realizar pruebas de esclerometría en los elementos estructurales para obtener información sobre su resistencia. El bloque fue modelado estructuralmente para analizar su desempeño sísmico. Los resultados mostraron que las derivas en la dirección X eran 0.0034 y 0.0020 para el primer y segundo piso, respectivamente, mientras que en la dirección Y eran 0.00027 y 0.00020. En cuanto a la cortante basal, los valores estáticos y dinámicos en la dirección X fueron 57.13 y 72.96 Tn, y en la dirección Y fueron 48.75 y 55.44 Tn. Estos resultados confirmaron que la edificación cumple con la norma E.030-2018. Concluyó que el bloque B1 presenta desempeño sísmico adecuado, cumpliendo los parámetros normativos en términos de derivas y cortantes.

Contribuyó con un ejemplo regional de verificación sísmica conforme a E.030 y uso de información de expediente/ensayos, útil para sustentar el procedimiento de caracterización y validación de parámetros estructurales.

Fernández (2021) tuvo como objetivo determinar el desempeño sísmico no lineal del edificio de Ingeniería Civil de la UNACH bajo la norma ATC-40:1996. Utilizó el enfoque cuantitativo de tipo aplicada nivel descriptivo. Determinó que, el módulo V colapsaría ante sismos de máxima intensidad, no obstante, los módulos II y IV que, corresponden a las escaleras cumplen en su totalidad con los niveles de desempeño, asegurando la integridad de las rutas de evacuación ante un evento sísmico. Concluyó que, la edificación cumple parcialmente con los objetivos de desempeño sísmico de la norma ATC-40.

Aportó un antecedente directo de desempeño no lineal con ATC-40 en una edificación de la UNACH, lo que respalda el uso del enfoque por desempeño y la interpretación de niveles críticos ante sismos máximos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Teoría de la interacción suelo-estructura (ISE)**

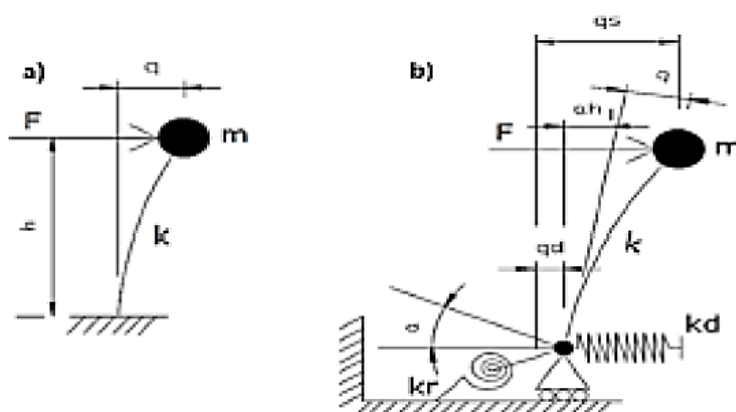
La interacción suelo–estructura (ISE) describe el acoplamiento dinámico entre la estructura, la cimentación y el suelo, donde la flexibilidad y amortiguación del terreno modifican los periodos, desplazamientos y fuerzas internas (Gazetas, 1991). Modelos como los de Barkan y la norma rusa SNIP 2.02.05-87 consideran rigideces traslacionales y rotacionales, incorporando la elasticidad e inercia del suelo (Estela, 2019). Se basa en la relación: (Villarreal G. , 2009)

$$\frac{h_{edif}}{V_{suelo} \times T} > 0.1 \quad (1)$$

Donde, h altura efectiva equivalente a 2/3 de la altura de la edificación en m, V es la velocidad de ondas de corte del suelo en m/s, T periodo de vibración (años).

## Figura 1

Modelo Matemático de (a) Base Rígida e (b) Interacción Suelo – Estructura



Nota. (a) masa sometida a fuerza horizontal, apoyada en elemento rígido  $k$  con base empotrada, (b) el modelo incorpora base móvil sostenida por resortes de rigidez traslacional y rotacional, representando la flexibilidad del suelo (De la Cruz-Vega et al., 2022).

### a) Modelos de interacción suelo-estructura (estáticos y dinámicos)

Los modelos ISE estiman las deformaciones y redistribuciones de esfuerzos producidas entre la cimentación y el terreno (Tasilla, 2018).

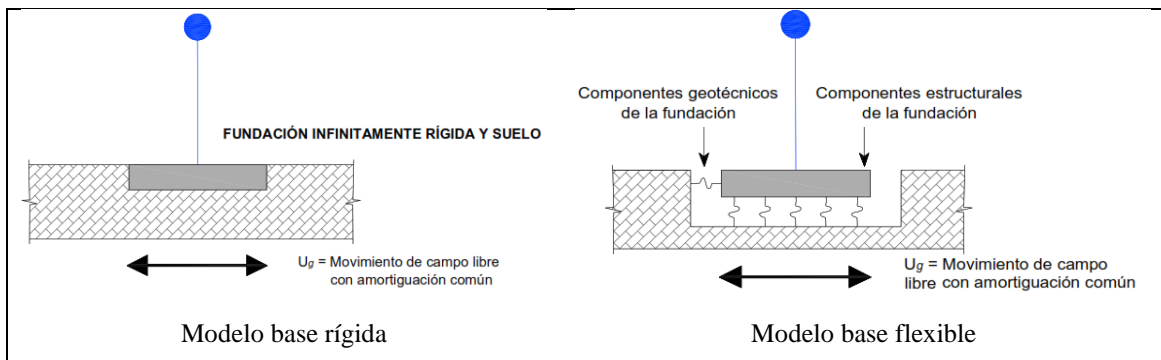
**Modelo de base rígida.** Asume que la cimentación está completamente empotrada y el suelo no influye en la respuesta estructural. Este enfoque simplifica el análisis, pero puede subestimar desplazamientos (Tasilla, 2018).

**Modelo de base flexible.** Representa el suelo como medio elástico que reacciona ante las cargas estructurales, puede emplear el modelo de Winkler, donde el suelo se idealiza como resortes independientes (Hetényi, 1946).

**Modelos dinámicos.** Incorporan la flexibilidad e inercia del suelo, analizando el comportamiento conjunto suelo–cimentación–estructura con modelos de Barkan, Savinov y SNIP 2.02.05-87 (Villarreal y Aguila, 2021).

**Figura 1**

*Modelos de Interacción Suelo – Estructura: Estáticos*



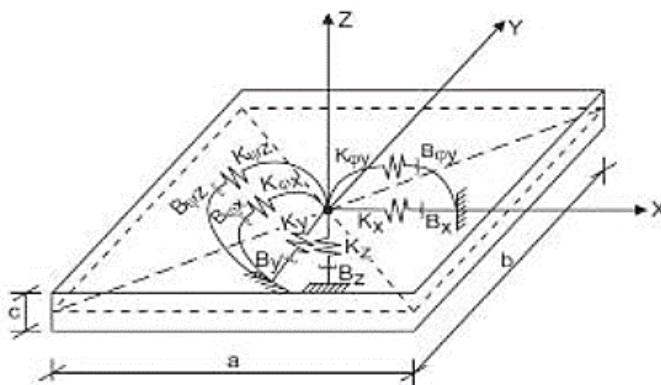
*Nota.* (Tasilla, 2018).

**b) Modelo dinámico de la norma rusa SNIP 2.02.05-87 para la interacción suelo-estructura**

Este modelo avanzado de interacción suelo–estructura representa al suelo como un medio elástico deformable que responde a cargas y vibraciones estructurales. Considera seis rigideces —tres traslacionales ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ) y tres rotacionales ( $K_\phi$ ,  $K_\psi$ ,  $K_\theta$ ) (Jines, 2017).

**Figura 2**

*Modelo de Interacción Suelo – Estructura de Acuerdo a la Norma Rusa*



*Nota.* (Chocce, 2024).

Coefficientes de rigidez:

$$K_x = K_y = C_x A \tag{2}$$

$$K_z = C_z A \tag{3}$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x \quad (4)$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y \quad (5)$$

$$K_{\psi z} = C_{\psi z} I_z \quad (6)$$

Donde, A área de la base de la platea de cimentación, I<sub>x</sub>, I<sub>y</sub> momentos de inercia de cimentación respecto a los ejes X e Y, I<sub>z</sub> momento de inercia de la platea de cimentación, respecto al eje vertical Z (momento polar de inercia).

Los coeficientes del modelo SNIP permiten cuantificar la respuesta del suelo ante cargas y momentos. El K<sub>z</sub> y K<sub>x</sub> evalúan deformaciones lineales verticales y horizontales, mientras que (K<sub>φ</sub>, K<sub>ψ</sub>) representan deformaciones angulares por flexión y torsión (Gazetas, 1991). Según Chocce (2024), el coeficiente C<sub>z</sub> puede obtenerse mediante ensayos empíricos o cálculos analíticos cuando no se dispone de datos:

$$C_z = b_0 E \left[ 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right] \quad (7)$$

Donde, el coeficiente de corrección (b<sub>0</sub>) depende del tipo de suelo: es igual a 1 para suelos arenosos, 1.2 para arenas arcillosas y 1.5 para arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados y arenas densas o muy densas. Además, se considera el módulo de elasticidad (E) y el área de la platea de cimentación (A).

De acuerdo a Chocce (2024) los otros coeficientes se determinan por correspondencias de C<sub>z</sub>:

$$C_x = 0.70 C_z \quad (8)$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 C_z \quad (9)$$

$$C_{\psi z} = C_z \quad (10)$$

Para las vibraciones establecidas (armónicas) o conocidas: (Chocce, 2024)

$$B_z = \frac{2}{\sqrt{p_m}} \quad (11)$$

$$B_z = \frac{0.7}{\sqrt{p_m}} \quad (12)$$

Para las vibraciones no establecidas (impulsos) o desconocidas: (Chocce, 2024)

$$B_z = 6 \times \sqrt{\frac{E}{C_z p_m}} \quad (13)$$

$$B_z = 2 \times \sqrt{\frac{E}{C_z p_m}} \quad (14)$$

Donde, E módulo de elasticidad del suelo de fundación, C<sub>z</sub> coeficiente de compresión elástica uniforme, p<sub>m</sub> presión estática media en la base de la cimentación.

$$p_m \leq \gamma_{ts} \times R \quad (15)$$

Donde, el coeficiente de condición de trabajo del suelo ( $\gamma_{ts}$ ) se asigna según el tipo de suelo: es 0.7 para arcillas de consistencia movediza y arenas saturadas de grano fino o polvoroso, y 1 para otros tipos de suelos. Además, se considera la resistencia o capacidad portante del suelo ( $R$ ).

Las amortiguaciones relativas para vibraciones horizontales y rotacionales, respecto a sus ejes horizontal y vertical, se calculan: (Chocce, 2024)

$$\beta_x = 0.60B_z \quad (16)$$

$$\beta_{\varphi x} = \beta_{\varphi y} = 0.50B_z \quad (17)$$

$$\beta_{\psi z} = 0.30B_z \quad (18)$$

Para las vibraciones establecidas (armónicas) o conocidas: (Villarreal G. , 2009)

$$\Phi_z = \frac{1.6}{\sqrt{C_z}} \quad (19)$$

$$\Phi_z = \frac{0.5}{\sqrt{C_z}} \quad (20)$$

Para las vibraciones no establecidas (impulsos) o desconocidas: (Villarreal G. , 2009)

$$\Phi_x = 0.60\Phi_z \quad (21)$$

$$\Phi_{\varphi} = 0.50\Phi_z \quad (22)$$

$$\Phi_{\psi} = 0.30\Phi_z \quad (23)$$

Como ahora existe vibración rotacional alrededor del eje vertical, entonces el momento de inercia de la masa de la zapata se calcula por: (Villarreal G. , 2009)

$$M_{\psi} = \frac{M_x(a^2+b^2)}{12} \quad (24)$$

Donde, a,b dimensiones de la zapata en el plano.

### 2.2.2. *Teorías de mecánica de suelos aplicadas a la ISE*

#### a) **Teoría del esfuerzo efectivo**

Introducida por Terzaghi (1943), esta teoría establece que el comportamiento del suelo está controlado por el esfuerzo efectivo ( $\sigma'$ ), que resulta de la diferencia entre el esfuerzo total ( $\sigma$ ) y la presión de poros ( $u$ ):

$$\sigma' = \sigma - u \quad (25)$$

Es importante en la ISE, ya que determina la resistencia al corte, asentamientos y rigidez del suelo bajo cargas estructurales (Chocce, 2024).

#### b) **Teoría de reacción del suelo (modelo de Winkler)**

Representa el suelo como una serie de resortes lineales distribuidos, donde cada resorte responde de manera independiente a las cargas aplicadas. La relación entre la presión ( $p$ ) y el asentamiento ( $y$ ) en este modelo se define como: (Hetényi, 1946)

$$p = k \times y \quad (26)$$

Donde,  $k$  es el coeficiente de reacción del suelo (Hetényi, 1946). Este modelo es útil para cimentaciones superficiales, permitiendo calcular deformaciones bajo cargas distribuidas. Sin embargo, su simplicidad ignora la interacción entre puntos adyacentes del suelo, lo que ha llevado a desarrollar modelos más complejos.

#### c) **Teoría de la capacidad de carga en cimentaciones superficiales**

La teoría de Terzaghi (1943) proporciona una fórmula para calcular la capacidad portante última ( $q_u$ ) de una cimentación superficial.

$$q_u = c \cdot N_c + q N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \quad (27)$$

Donde,  $c$  cohesión,  $\gamma$  peso específico del suelo,  $q$  presión efectiva en la base de la cimentación  $q = \gamma \cdot D_f$ ,  $D_f$  profundidad de desplante,  $B$  ancho de cimentación,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  factores de capacidad portante.

### 2.2.3. *Teoría de la plasticidad en materiales*

Describe el comportamiento de los materiales cuando se someten a esfuerzos que exceden su límite elástico, produciendo deformaciones permanentes (Naeim, 2007).

#### a) **Comportamiento elástico e inelástico de los materiales**

El comportamiento elástico es reversible, el material recupera su forma original al cesar la carga. Sin embargo, al superar el límite elástico el material entra en el rango inelástico, donde las deformaciones permanentes aparecen y no se recuperan al eliminarse la carga (Chen et al., 2007).

El comportamiento elástico de un material se rige por la ley de Hooke, donde las deformaciones ( $\epsilon$ ) son proporcionales a los esfuerzos ( $\sigma$ ): (Chen et al., 2007)

$$\sigma = E \times \epsilon \quad (28)$$

Donde,  $E$  módulo de elasticidad.

#### b) **No linealidad de los materiales**

Se presenta cuando la relación esfuerzo-deformación deja de ser proporcional debido a plasticidad, fisuración o fatiga. En estos casos, los materiales como el acero y el concreto muestran pérdidas de rigidez y resistencia bajo cargas sísmicas, afectando la respuesta estructural (Mejía y Rivera, 2020).

#### c) **Modelo esfuerzo – deformación de los materiales**

Describe la relación entre carga y deformación, permitiendo predecir el comportamiento estructural. Para materiales no lineales se aplican modelos que integran elasticidad, plasticidad y fluencia (Villagrán et al., 2013).

**Para concreto.** El modelo de Mander (1988) muestra cómo el confinamiento incrementa la ductilidad y resistencia a compresión del concreto, siendo usado en ETABS para definir su comportamiento no lineal (Rodríguez y Luna, 2023).

$$f'_{cc} = \lambda \times f'_{co} \quad (29)$$

$$f'_{lx} = \frac{A_{sx}}{sb_{cy}} k_e f_y \quad (30)$$

$$f'_{ly} = \frac{A_{sy}}{sb_{cx}} k_e f_y \quad (31)$$

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{wi^2}{b_{cx}b_{cy}}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_{cx}}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_{cy}}\right)}{1 - p_{cc}} \quad (32)$$

$$A_e = \left(b_{cx}b_{cy} - \sum_{i=1}^n \frac{wi^2}{6}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_{cx}}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_{cy}}\right) \quad (33)$$

$$f'_c = \frac{xf'_{co}}{r-1+x^r} \quad (34)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (35)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (36)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1\right)\right] \quad (37)$$

$$E_c = 1500\sqrt{f'_c} \quad (38)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (39)$$

$$\varepsilon_{CU} = 0.004 + 1.4 \frac{psf_y h \varepsilon_{cu}}{f'_{cc}} \quad (40)$$

**Para acero.** El modelo de Park y Paulay (1975) se utiliza para obtener la curva esfuerzo-deformación del acero, incluyendo la etapa de endurecimiento por deformación. Este modelo también se implementa en el software ETABS para definir las propiedades del acero (Rodríguez y Luna, 2023).

$$f_s = \left[\left(\frac{mu+2}{60u+2}\right) + \left(\frac{(60-m)u}{2(30r+1)^2}\right)\right] f_y \quad (41)$$

$$m = \frac{\frac{f_{su}}{f_y}(30r+1)^2 - 60r - 1}{15r^2} \quad (42)$$

$$r = \varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh} \quad (43)$$

$$u = \varepsilon_s - \varepsilon_{sh} \quad (44)$$

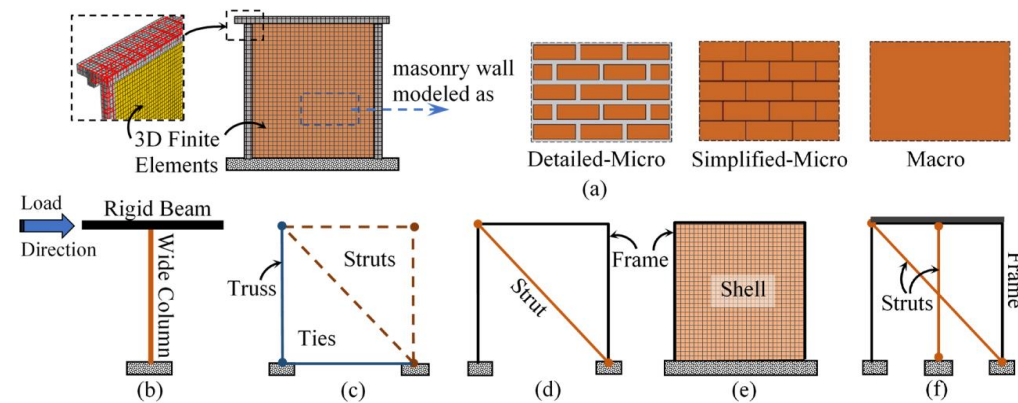
**Para albañilería.** La albañilería es frágil a tracción y semidúctil a compresión, con una curva bilineal. Según Perrone et al. (2017), su resistencia a compresión se modela como:

$$\sigma_m = f'_m \times \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{max}}\right) \quad (45)$$

Donde,  $f'_m$  resistencia máxima MPa,  $\varepsilon_{max}$  deformación en el colapso (m/m).

### Figura 3

#### Diferentes Estrategias de Modelado para Albañilería Confinada



*Nota.* (a) métodos de elementos finitos, (b) método de columnas anchas, (c) método de puntal y tirante, (d) método de puntal equivalente, (e) método de cáscara equivalente, y (f) método de puntal vertical-diagonal (Borah et al., 2023).

- **Modelo de columna ancha.** Concentra rigidez y resistencia en columnas equivalentes (Rodríguez y Luna, 2023).
- **Modelo de marco equivalente.** Sustituye el muro por un marco ficticio con diagonales representativas (Rodríguez y Luna, 2023).
- **Modelo de columna equivalente.** Reemplaza el muro por una diagonal única que refleja su rigidez y resistencia (Borah et al., 2023).

## 2.2.4. Teoría del análisis sísmico

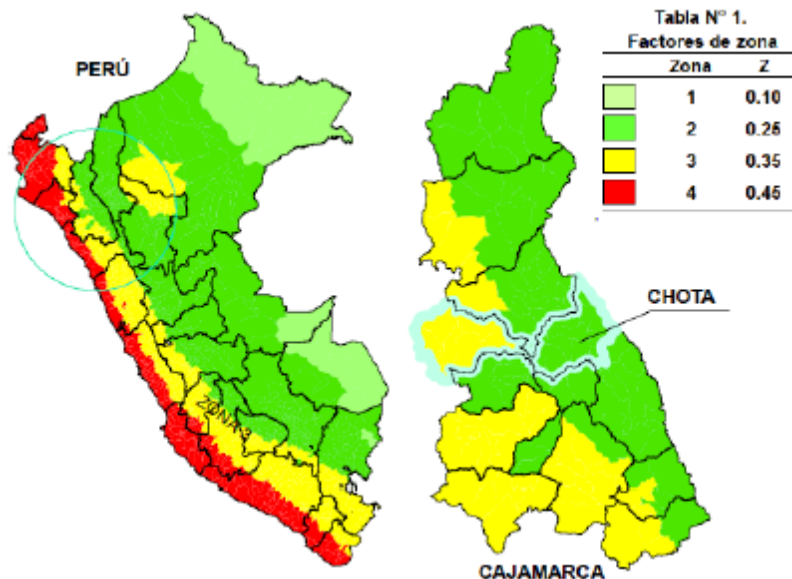
### 2.2.4.1. Análisis sísmico lineal (E.030)

#### a) Parámetros de sitio

**Zonificación.** El peligro sísmico se basa en el factor Z, que indica la aceleración máxima horizontal del suelo con 10% de probabilidad de ser superada en 50 años (Gallegos, 2018).

#### Figura 4

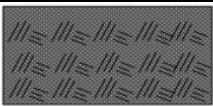
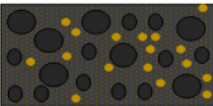
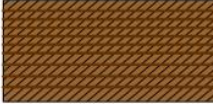
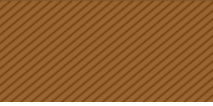

##### Zonificación Sísmica Peruana



Nota. (MVCS, 2018) adaptado por Cabrera (2022).

**Perfil de suelo.** Según la norma E.030 (MVCS, 2018), los perfiles de suelo se categorizan en función de la velocidad de ondas de corte ( $V_s$ ), el número de golpes en el ensayo SPT ( $N_{60}$ ) o la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ).

**Tabla 3***Categorización de los Perfiles de Suelo*

Perfil	$V_s$ (m/s)	$N_{60}$	$S_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
$S_0$ roca dura	> 1500	-	-	
$S_1$ rígidos	500 a 1500	> 50	>1	
$S_2$ intermedios	180 a 500	15 a 50	0.50 a 1.00	
$S_3$ blandos	< 180	< 15	0.25 a 0.50	
$S_4$ flexibles		Según EMS		

Nota. (MVCS, 2018).

**S, TP, TL.** Estos términos se basan en la ubicación geográfica, considerando la zona sísmica y el perfil del suelo según la norma E.030 (MVCS, 2018).

**Tabla 4***Factor S*

Perfil	S0	S1	S2	S3
Z1			1.6	2
Z2	↑	↑	1.2	1.4
Z3	0.8	1	1.15	1.2
Z4	↓	↓	1.05	1.1

Nota. (MVCS, 2018).

**Tabla 5***Períodos  $T_P$  y  $T_L$* 

	S0	S1	S2	S3
TL(S)	3.00	2.50	2.00	1.60
TP(S)	0.30	0.40	0.60	1.00

Nota. (MVCS, 2018).

**Categoría y factor de uso (U) del edificio.** Se detalla en la Tabla 4.

**Tabla 6***Categoría y Factor “U” del Edificio*

Categoría		U
A Edificaciones esenciales	A1: Establecimientos de salud.	1.5
	A2: Edificios estatales incluyendo centros educativos.	
B Edificaciones importantes	Lugar de alta concurrencia.	1.3
C Edificaciones comunes	Viviendas, oficinas, hoteles y restaurantes.	1.0
D Temporales	Construcciones provisionales.	

*Nota.* (MVCS, 2018).

**Sistema estructural y coeficiente  $R_o$ .** Según el sistema en cada dirección, si hay más de un sistema estructural se usa el menor  $R_o$  (MVCS, 2018).

**Tabla 7***Coficiente Básico de Reducción ( $R_o$ ) según Sistema Estructural*

Sistema Estructural	Concreto armado				Albañilería
	Pórticos	Dual	Muros estructurales	Muros de ductilidad limitada	
$R_o$	8	7	6	4	3

*Nota.* (MVCS, 2018).

**Factores de irregularidad.** Se detalla en la Tabla 6 (MVCS, 2018).

**Tabla 8***Irregularidades Estructurales en Altura ( $I_a$ ) y Planta ( $I_p$ )*

Irregularidad	$I_a$	$I_p$
Rigidez – Piso blando, Resistencia – Piso débil	0.75	
Extrema de rigidez, Extrema de resistencia	0.5	
De masa o Peso, y geométrica vertical	0.90	
Discontinuidad en los sistemas resistentes	0.80	
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	0.60	
Irregularidad torsional		0.75
Irregularidad torsional extrema		0.60
Esquinas entrantes		0.90
Discontinuidad del Diafragma		0.85
Sistemas no Paralelos		0.90

*Nota.* (MVCS, 2018).

## b) Análisis estático o de fuerzas equivalentes

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante fuerzas aplicadas en el centro de masa de cada nivel de la edificación (Quispe et al., 2024). Según la norma peruana E.030 (MVCS, 2018), este análisis es aplicable a estructuras regulares de hasta 30 m de altura (15 m para muros portantes de concreto armado y albañilería confinada).

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \times P \quad (46)$$

Donde, V es la fuerza cortante en la base, P el peso de la edificación, y ZUCSR son parámetros sísmicos que se describen en los siguientes acápites (MVCS, 2018). Así mismo, el valor de C/R no se considera menor que:  $\frac{C}{R} \geq 0.11$

$$F_i = \alpha_i \cdot V \quad (47)$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k} \quad (48)$$

Donde,  $F_i$  representa la distribución de fuerza sísmica en altura.

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad (49)$$

Donde, T periodo fundamental de vibración.  $C_T=35$  para edificios con pórticos de concreto armado sin muros de corte o dúctiles de acero.  $C_T=45$  para edificios de pórticos de concreto armado con muros en ascensores y escaleras, y de acero arriostrado.  $C_T= 60$  para edificios de albañilería y concreto armado dual.

## c) Análisis dinámico modal espectral

Recomendado por la norma E.030 (MVCS, 2018) evalúa la respuesta del edificio considerando masas, rigidez estructural y espectro de diseño. Los resultados incluyen períodos de vibración, modos de vibrar, desplazamientos laterales, distorsiones de entrepisos, fuerzas internas y verificaciones de irregularidades y cortante dinámico mínimo (Quispe et al., 2024).

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g \quad (50)$$

$$T < 0.2T_p \quad C = 1 + 7.5 \left( \frac{T}{T_p} \right) \quad (51)$$

Donde,  $S_a$  aceleración espectral,  $g$  gravedad y ZUCSR son parámetros sísmicos que se describen en los siguientes acápite (MVCS, 2018).

#### d) Requisitos de rigidez y ductilidad normados

La norma peruana E.030 (MVCS, 2018), establece requisitos claros sobre rigidez y ductilidad para garantizar la seguridad estructural frente a eventos sísmicos. Estas disposiciones aseguran que las edificaciones sean capaces de resistir fuerzas sísmicas con desempeño adecuado, limitando deformaciones excesivas y promoviendo la disipación de energía.

**Modos de vibración.** Se requiere que los dos primeros modos de vibración de la estructura sean de traslación, y el tercer modo sea de rotación (MVCS, 2018).

**Requisitos de rigidez.** Según la norma E.030, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando los resultados del análisis elástico lineal por 0.75R para estructuras regulares y 0.85R para irregulares (MVCS, 2018)

**Requisitos de ductilidad.** La norma E.030 establece que las derivas laterales deben verificarse para garantizar que cumplan con los límites de aceptabilidad.

#### Tabla 9

*Límites para la Distorsión del Entrepiso*

Material Predominante	$(\Delta_i/h_{ei})$
Concreto Armado	0.007
Albañilería	0.005
Con muros de ductilidad limitada	0.005

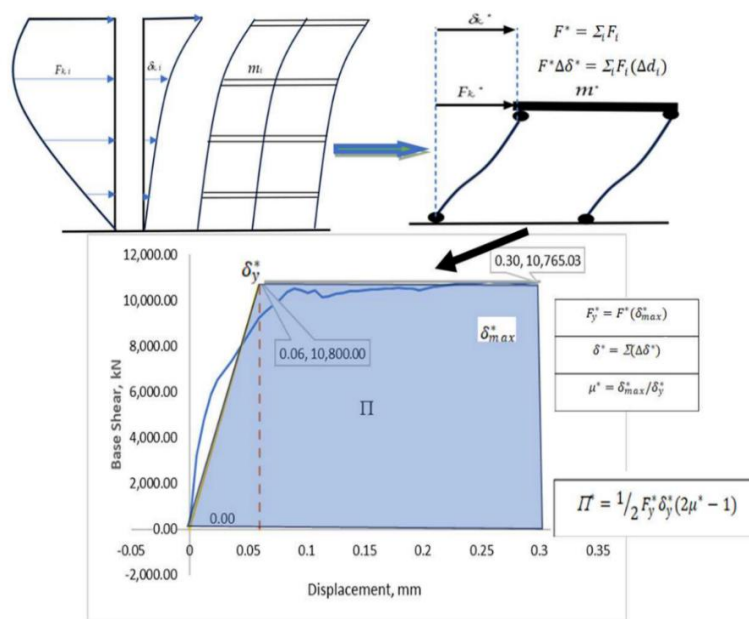
*Nota.* norma E.030 (MVCS, 2018).

### 2.2.4.2. Análisis sísmico no lineal – método Pushover (ATC-40, 1996)

El análisis Pushover evalúa la capacidad de una edificación frente a cargas sísmicas mediante la aplicación de cargas estáticas incrementales (Xie y Liang, 2020). Su objetivo es determinar la capacidad máxima de resistencia sísmica de la estructura, además de identificar elementos susceptibles a falla (Chopra, 2021).

**Figura 5**

*Análisis Pushover*



*Nota.* El procedimiento consiste en seleccionar el modelo, aplicar fuerzas laterales según el modo dominante, incrementar cargas y medir desplazamientos, calcular masa y corte basal equivalentes, graficar la curva de capacidad ( $F^*$  vs.  $\delta^*$ ), y evaluar la ductilidad (Kuria y Kegyes-Brassai, 2023).

#### a) Niveles de amenaza sísmica

Estos niveles se definen a partir de espectros de diseño que reflejan la probabilidad de excedencia de un movimiento sísmico en un período determinado (ATC-40, 1996).

$$T = \frac{t}{\ln(1-P)} \quad (52)$$

Donde, T periodo de retorno (años), P probabilidad de excedencia, t tiempo de exposición (años).

**Tabla 10***ATC-40 – Sismos*

Sismo	Tr (años)	Probabilidad de excedencia (%/años)
Servicio – SS	72	50/50
Diseño – SD	475	10/50
Máximo – SM	975	5/50

*Nota.* adaptado del (ATC-40, 1996).**b) Espectro de demanda**

Este espectro se define en términos de desplazamientos espectrales ( $S_d$ ) y aceleraciones espectrales ( $S_a$ ) (Pujada y Ricaldi, 2023).

$$S_v = wS_d = S_a/w, \text{ y por otro lado } w = 2\pi/T \quad (53)$$

$$S_{d_i} = \frac{T_i}{4 \times \pi^2} \times S_{a_i} \quad (54)$$

Donde,  $\omega$  frecuencia circular o angular del sistema,  $T$  periodo fundamental de la estructura,  $S_a$  aceleración espectral.

**c) Curva de capacidad**

La curva de capacidad se genera al aplicar cargas laterales incrementales hasta alcanzar el colapso estructural. Esta curva describe la relación entre la fuerza cortante basal ( $V$ ) y el desplazamiento lateral ( $\Delta$ ) (Pujada y Ricaldi, 2023).

$$V = f(\Delta) \quad (55)$$

Las fuerzas laterales se definen por: (Kuria y Kegyes-Brassai, 2023)

$$F_i = \frac{w_i \times h_i^k}{\sum_{i=1}^N w_i \times h_i^k} \times V_b \quad (56)$$

Donde,  $K$  factor relacionado al periodo,  $h_i$  altura del piso “ $i$ ”,  $V_b$  corte en la base/cortante basal,  $W_i$  peso del piso “ $i$ ”.

$$PF_1 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{w_i \times \theta_{i1}}{g} \right)}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{w_i \times \theta_{i1}^2}{g} \right)} \right] \quad (57)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{w_i \times \phi_{i1}}{g} \right) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{w_i}{g} \right) \right] \times \left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{w_i \times \phi_{i1}^2}{g} \right) \right]} \quad (58)$$

Donde,  $PF_1$  factor de participación del primer modo,  $\alpha_1$  coeficiente de masa modal,  $g$  gravedad,  $N$  nivel,  $w_i$  peso en el nivel “ $i$ ”,  $\phi_{i1}$  coeficiente de forma modal del nivel “ $i$ ” en el modo “1”.

#### d) Espectro de capacidad

Se obtiene al transformar la curva de capacidad en coordenadas espectrales de desplazamiento ( $S_d$ ) y aceleración ( $S_a$ ), mediante factores dinámicos que convierten la cortante basal ( $V$ ) y el desplazamiento de techo ( $\Delta_{techo}$ ) en valores espectrales (Pujada y Ricaldi, 2023).

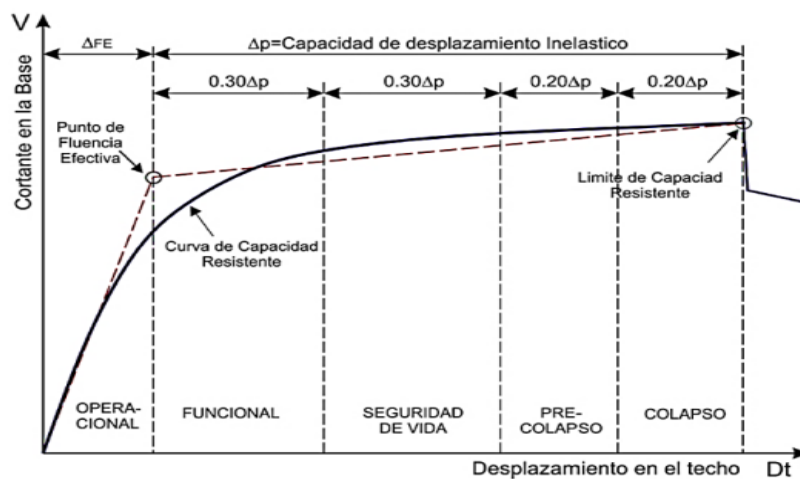
$$S_a = \frac{V}{\alpha_1 W} \quad (59)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{techo}}{PF_1 \times \phi_{techo}} \quad (60)$$

Donde,  $V$  “fuerza cortante en la base”,  $S_d$  “desplazamiento espectral”,  $S_a$  “aceleración espectral”,  $W$  “peso de la estructura” (incluida la carga viva),  $\Delta_{techo}$  desplazamiento del techo.

**Figura 6**

*Simbolización Bilineal del Espectro de Capacidad*



Nota. (Vega, 2020).

### e) Niveles de desempeño

Describen el estado límite de daño tolerable en una edificación, considerando los daños físicos, la seguridad de los ocupantes y la funcionalidad posterior al sismo (ATC-40, 1996).

### f) Objetivos de desempeño

El método Pushover define objetivos de desempeño que combinan el nivel de daño aceptable y la funcionalidad posterior al sismo: (ATC-40, 1996)

- Ocupación Inmediata (OI): Mínimos daños y funcionalidad completa.
- Seguridad de Vida (SV): Daños significativos, pero sin colapso.
- Prevención del Colapso (PC): Daño severo con prevención del colapso global.

**Figura 7**

*Objetivos de Desempeño, ATC-40*

		<i>Nivel de desempeño del edificio</i>			
		Operacional	Ocupación inmediata	Seguridad de vida	Estabilidad estructural
<i>Nivel de sismo de diseño</i>	Sismo de Servicio	P	NA	NA	NA
	Sismo de diseño	P	P	P	NA
	Sismo máximo	NA	P	P	P

*Nota.* (ATC-40, 1996).

## 2.3. Definiciones conceptuales

### 2.3.1. Suelo sobre el que se cimenta la edificación

El suelo de cimentación se refiere a la capa de suelo sobre la cual se asienta una estructura o edificación, proporcionando soporte y estabilidad a la misma. El suelo de cimentación debe cumplir con ciertas características físicas y mecánicas para garantizar la seguridad de la estructura (John et al., 2015).

### a) Tipo de suelo (SUCS)

Según Ortega y Vanegas (2022) el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es un sistema utilizado para clasificar y describir suelos en función de sus propiedades físicas y mecánicas en las categorías principales: suelos cohesivos (arcillas (C) y limos (M) con baja (L) o alta (H) plasticidad) y suelos granulares (grava (G) y arena (S) bien (W) y mal (P) gradada).

### b) Propiedades físico mecánicas del suelo

**Plasticidad.** Capacidad de un suelo para deformarse de manera permanente sin fracturarse al someterse a esfuerzos externos, y se cuantifica a través de índices como el Índice de Plasticidad (IP) (Rucks et al., 2004).

$$IP = LL - LP \quad (61)$$

Donde, LL límite líquido en %, LP límite plástico en %.

**Peso unitario.** Relación entre el peso de un volumen unitario de suelo y el peso del mismo volumen de agua (Volverás-Mambuscay et al., 2020).

$$\gamma = W/V \quad (62)$$

Donde, peso específico kg/m<sup>3</sup>, W peso del suelo (kg), V volumen del suelo (m<sup>3</sup>).

**Ángulo de fricción.** Resistencia del suelo al deslizamiento y deformación bajo carga. Suelos como arena y grava tienen un ángulo de fricción mayor que los arcillosos, lo que los hace más resistentes (Ramirez y Alejano, 2004)

**Resistencia por cohesión.** Capacidad del suelo para resistir la separación de sus partículas bajo cargas externas, gracias a la atracción entre partículas que proporciona fuerza y estabilidad (Ramirez y Alejano, 2004).

$$\tau = C + \sigma \tan (\phi) \quad (63)$$

Donde,  $\tau$  resistencia al corte en MPa, C cohesión en MPa,  $\sigma$  esfuerzo normal en MPa,  $\phi$  ángulo de fricción en grados.

**Módulo de deformación.** Relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria, indicando la rigidez del terreno ante esfuerzos externos (Das, 2015).

**Velocidad de onda de corte.** Velocidad con la que se propagan las ondas sísmicas de corte a través del suelo (Gazetas, 1991).

**Coefficiente de Poisson ( $\nu$ ).** Medida que describe la relación entre la deformación lateral y la deformación longitudinal de un suelo cuando se somete a un esfuerzo uniaxial (Rucks et al., 2004).

$$\nu = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{longitudinal}} \quad (64)$$

Donde,  $E_{lateral}$  deformación en la dirección perpendicular al esfuerzo aplicado,  $E_{longitudinal}$  deformación en la dirección del esfuerzo aplicado. Típicamente varía de 0.20 a 0.50, siendo 0.50 para suelos compresibles como arcillas blandas.

### 2.3.2. *Cimentaciones superficiales*

Las cimentaciones son estructuras que se encargan de transmitir las cargas de una edificación hacia el suelo de manera segura y eficiente. Existen diferentes tipos de cimentaciones, siendo las cimentaciones profundas y superficiales las más comunes (Graf, 2024). Las cimentaciones superficiales se definen cuantitativamente de forma aproximada y arbitraria como aquellas en las que la relación entre su empotramiento (D) y su ancho (B) verifica: (GICO UPC, 2020)

$$\frac{D}{B} < 4 \quad (65)$$

#### a) **Geometría de las cimentaciones**

Representa las dimensiones de las cimentaciones: largo, ancho y profundidad de desplante (Poma y Flores, 2020).

## b) Tipo de cimentaciones superficiales

Existen varios tipos de cimentaciones superficiales, los principales tipos incluyen, las zapatas y los cimientos corridos (Nima, 2021).

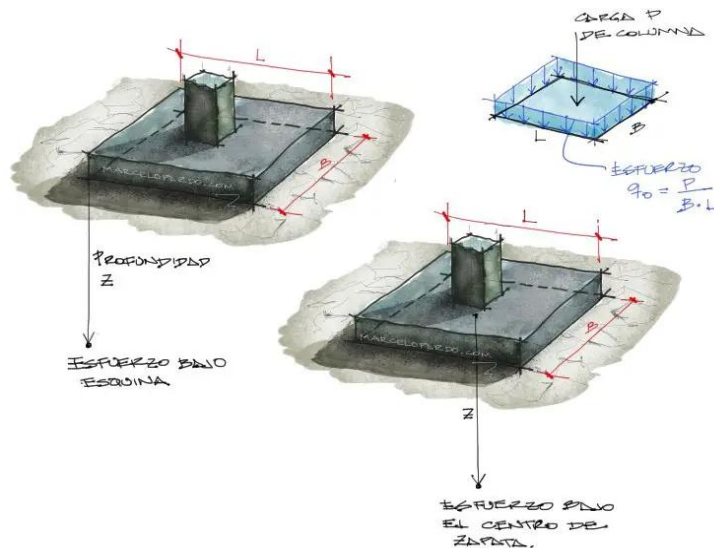
**Cimientos corridos.** Cimentación continua que se construye bajo muros portantes, distribuyendo uniformemente las cargas a lo largo de toda su longitud hacia el suelo (Poma y Flores, 2020).

**Zapatas aisladas.** Son elementos de cimentación independientes que soportan una sola columna o pilar. Pueden clasificarse en: (Yepes, 2019)

- Zapatas rígidas: Tienen una relación largo/ancho menor o igual a 2.
- Zapatas flexibles: Tienen una relación largo/ancho mayor a 2.

### Figura 8

#### *Esfuerzos de una Zapata*



Nota. Adaptado de (Cango, 2017).

### 2.3.3. Cargas que soporta la edificación

**Carga viva.** Son aquellas cargas variables o transitorias que actúan sobre la estructura debido al uso y ocupación del edificio, como el peso de personas, muebles, equipos o vehículos. Estas cargas pueden cambiar en magnitud y ubicación a lo largo del tiempo (MVCS, 2006).

**Carga muerta.** Corresponde al peso propio permanente de todos los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, como columnas, vigas, losas, muros y acabados. Se considera constante en el tiempo y representa la carga gravitacional básica del edificio (MVCS, 2006).

#### **2.3.4. *Propiedades de los materiales***

**Resistencia a compresión del concreto.** Es la máxima tensión que el concreto puede soportar antes de fallar bajo carga axial de compresión. Se expresa comúnmente como  $f'_c$  y se determina mediante ensayos normalizados de cilindros o cubos (MVCS, 2009).

**Resistencia a flexión del acero.** Es la capacidad del acero de refuerzo para resistir esfuerzos de tracción y flexión sin fallar. Está definida por el límite de fluencia ( $f_y$ ), que indica el punto donde el material deja de comportarse elásticamente y comienza la deformación plástica (MVCS, 2009).

**Módulo de elasticidad.** Es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del rango elástico del material, y representa su rigidez ante cargas aplicadas. En el concreto depende de la resistencia a compresión y el tipo de agregado, mientras que en el acero es prácticamente constante (Chopra, 2021).

#### **2.3.5. *Interacción suelo estructura (ISE)***

Es el fenómeno mediante el cual el suelo y la estructura se afectan mutuamente durante la transmisión de cargas estáticas o sísmicas, debido a la deformabilidad del terreno y la rigidez estructural (Gazetas, 1991).

##### **a) Elementos fundamentales de la interacción suelo – estructura**

Sus elementos fundamentales son: el suelo, que se deforma según su elasticidad y densidad; la cimentación, que transmite las cargas; y la estructura, cuya rigidez y altura determinan la respuesta global (Araca-Llanos et al., 2020).

## **b) Modelos de interacción suelo – estructura**

Los modelos de ISE incluyen base rígida, modelo de Winkler y modelos dinámicos como los de Barkan y la norma SNIP 2.02.05-87 (Bustamante, 2022).

**Modelo de Barkan.** El suelo se modela como medio elástico continuo con coeficientes de rigidez traslacionales y rotacionales. Permite evaluar desplazamientos, asentamientos y vibraciones considerando la forma y rigidez de la cimentación (Barkan y Drashevskaya, 1962).

**Modelo de la norma Rusa SNIP 2.02.05-87.** Describe el comportamiento del suelo con sistema elástico con seis rigideces independientes: tres traslacionales ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ) y tres rotacionales ( $K_\phi$ ,  $K_\psi$ ,  $K_\theta$ ). Integra masa y amortiguamiento del suelo, permitiendo simular la respuesta dinámica del conjunto suelo-cimentación-estructura (Jines, 2017).

## **c) Indicadores que influyen en la ISE**

Los indicadores que influyen en la ISE son: (Araca-Llanos et al., 2020)

**Rigidez rotacionales del suelo.** Suelos blandos presentan mayor interacción debido a su mayor deformabilidad, mientras que suelos rocosos generan menores efectos de ISE (Araca-Llanos et al., 2020).

**Amortiguamientos viscosos.** Son mecanismos de disipación de energía que reducen las vibraciones estructurales transformando parte de la energía cinética en calor (Araca-Llanos et al., 2020).

**Amortiguamiento rotacionales.** Corresponden a la disipación de energía asociada a los movimientos angulares de la cimentación. Se originan por la resistencia del suelo a los giros o torsiones de la base estructural, influyendo en la estabilidad y rigidez dinámica del sistema suelo-estructura (Gazetas, 1991).

### 2.3.6. *Análisis sísmico*

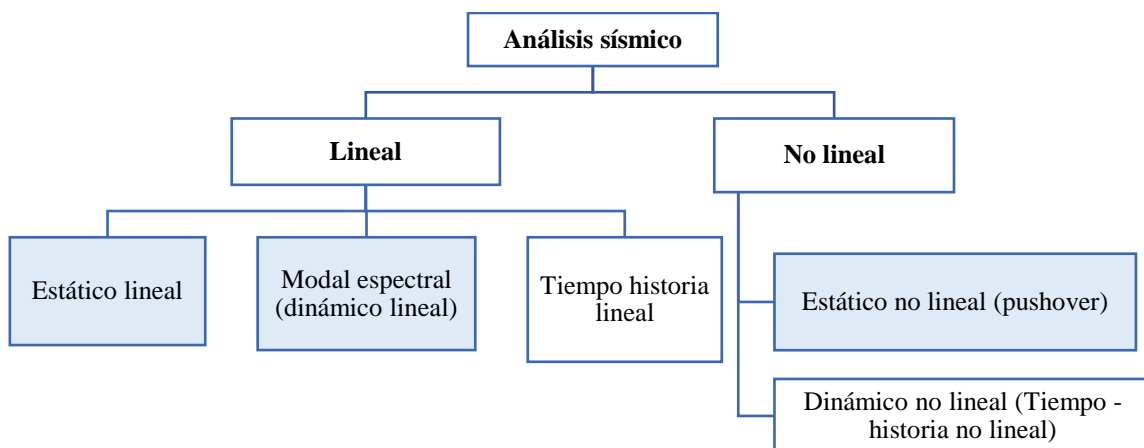
Es el proceso que permite evaluar la respuesta estructural frente a movimientos sísmicos, mediante métodos estáticos, dinámicos lineales y no lineales. Su elección depende de la complejidad estructural, las condiciones del suelo y las normas aplicables (Magisano et al., 2023).

#### a) **Tipos de análisis sísmico**

Se clasifican en lineales y no lineales. Los primeros asumen comportamiento elástico proporcional a las cargas, mientras que los segundos incorporan plasticidad y daño estructural (Cevallos, 2022).

**Figura 9**

*Tipos de Análisis Sísmico*



*Nota.* adaptado de (Magisano et al., 2022).

### 2.3.7. *Desempeño sísmico lineal y no lineal de una estructura*

Evalúa la capacidad de una estructura para resistir y disipar la energía sísmica (Chavez, 2014). Los métodos lineales analizan el comportamiento elástico, mientras que los no lineales consideran deformaciones, fisuras y mecanismos de falla, ofreciendo una representación más realista del comportamiento estructural (Paredes, 2016).

### 2.3.7.1. Desempeño sísmico lineal

Se basa en la respuesta elástica de la estructura, asumiendo proporcionalidad entre esfuerzo y deformación sin daño permanente. Es aplicable a edificaciones regulares y bajas, empleando métodos como el análisis estático y modal espectral (Cevallos, 2022).

#### a) Tipos de análisis

**Análisis estático lineal.** También llamado método de fuerza equivalente, distribuye las cargas sísmicas de acuerdo con la masa y rigidez de la estructura. Es aplicable a edificaciones regulares y de comportamiento predominantemente elástico (MVCS, 2018).

**Análisis modal espectral dinámico lineal.** Evalúa la respuesta dinámica descomponiendo el movimiento estructural en modos de vibración, aplicando espectros normativos como el de la norma E.030. Permite determinar desplazamientos y fuerzas por modo (MVCS, 2018).

#### b) Parámetros fundamentales del desempeño sísmico lineal

**Derivas inter piso.** La deriva es el desplazamiento relativo entre dos niveles consecutivos de una estructura, dividido por la altura del piso. Representa una medida crítica de la deformación lateral y se expresa como: (MVCS, 2018)

$$Deriva = \frac{\Delta}{h} \quad (66)$$

Donde,  $\Delta$  desplazamiento relativo entre piso, h altura del piso.

**Desplazamiento.** Movimiento lateral absoluto de un punto en la estructura debido a la acción sísmica. Este parámetro es clave para evaluar el comportamiento global de la edificación y se calcula a partir de los resultados del análisis sísmico lineal, ajustados según factores normativos (0.75R para estructuras regulares y 0.85R para irregulares) (MVCS, 2018).

**Cortante basal estática.** Representa la fuerza total en la base de la estructura bajo un análisis estático equivalente (MVCS, 2018).

**Cortante basal dinámica.** Considera la distribución de fuerzas a lo largo de los niveles de la estructura, calculada mediante análisis modal espectral. Este método evalúa las contribuciones de los diferentes modos de vibración para proporcionar una distribución más precisa de las fuerzas laterales (MVCS, 2018).

**Periodo Fundamental de Vibración (T).** Representa el tiempo necesario para que la estructura complete un ciclo de oscilación y depende de su masa y rigidez (MVCS, 2018).

**Participación modal.** Los modos de vibración representan las configuraciones de movimiento natural de una estructura bajo excitación dinámica. Cada modo tiene un periodo (T), una forma modal ( $\phi$ ) y un factor de participación. En el análisis modal espectral, se evalúan múltiples modos para capturar la respuesta dinámica global de la estructura (MVCS, 2018).

**Irregularidades.** Se manifiestan cuando la distribución de masas, rigidez o resistencia no es uniforme; en planta generan torsiones y desplazamientos desiguales, como en edificaciones con forma en L o U, mientras que en elevación surgen por variaciones bruscas de rigidez, como pisos blandos o reducciones en secciones estructurales (Estela, 2019).

### **2.3.7.2.Desempeño sísmico no lineal**

Considera la plasticidad y degradación de rigidez de los materiales, permitiendo estudiar el daño progresivo bajo cargas sísmicas. El método Pushover aplica cargas incrementales para definir el punto de desempeño y contrastar la demanda sísmica con la capacidad estructural (Mora et al., 2006).

### a) Tipos de análisis

**Análisis pushover.** Consiste en aplicar cargas laterales incrementales para obtener la curva de capacidad, identificando el punto de desempeño sísmico y la reserva de ductilidad de la estructura (Magisano et al., 2022).

### b) Indicadores del desempeño sísmico no lineal

**Espectro de demanda.** Representan la probabilidad de que ocurra un sismo de determinada intensidad en un periodo específico. Se clasifican en niveles de Servicio, Diseño y Máximo, con periodos de retorno de 72, 475 y 975 años, respectivamente (Loa, 2017).

**Curva de capacidad.** Es la gráfica que relaciona la cortante basal y el desplazamiento máximo bajo cargas incrementales. Refleja la rigidez, ductilidad y capacidad última de la estructura antes del colapso en el análisis Pushover (Fuentes, 2018).

**Punto de desempeño.** Corresponde a la intersección entre el espectro de capacidad de la estructura y el espectro de demanda sísmica, definiendo el equilibrio entre resistencia y demanda, y el estado límite alcanzado durante el sismo (Chopra, 2021).

**Niveles de desempeño.** Definen el grado de daño aceptable en una edificación ante un sismo, considerando la seguridad de los ocupantes, los daños estructurales y la funcionalidad posterior. Se expresan en términos cualitativos y técnicos para orientar el diseño y la evaluación estructural (ATC-40, 1996).

**Objetivos de desempeño.** Indican el nivel funcional esperado después del sismo, clasificado en ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención del colapso. Permiten establecer criterios de diseño que aseguren la protección estructural y la continuidad operativa (FEMA 440, 2005).

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo, diseño y enfoque de investigación

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, dado que se fundamentó en la medición y análisis numérico de variables estructurales relacionadas con el desempeño sísmico de los módulos de la institución educativa Abel Carbajal Perez. De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), el enfoque cuantitativo se caracteriza por “utilizar la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico” (p. 6). En este estudio, los valores de cortante basal, desplazamientos, derivas y periodos de vibración se obtuvieron mediante simulaciones estructurales lineales y no lineales, comparando el comportamiento con y sin la consideración de la interacción suelo–estructura (ISE).

El tipo de investigación fue aplicada, ya que empleó principios teóricos y normativos existentes, como la norma E.030:2018 y el modelo ATC-40:1996, para resolver un problema real de ingeniería estructural. Según Tamayo (2007), la investigación aplicada busca “generar conocimiento orientado a la solución de problemas específicos de la realidad” (p. 45). En este caso, se generó información técnica relevante sobre la respuesta sísmica de edificaciones escolares asentadas sobre suelos blandos, contribuyendo a la mejora del diseño y evaluación estructural en la ciudad de Chota

El nivel de investigación fue descriptivo–comparativo, pues se orientó a caracterizar las propiedades dinámicas de la edificación y comparar los resultados estructurales obtenidos bajo dos condiciones de análisis: sin considerar y considerando la ISE. De acuerdo con Morales (2012), el nivel descriptivo permite “precisar las características más significativas de un fenómeno sin alterar su comportamiento” (p. 67). En este sentido, se describieron los parámetros de respuesta estructural (derivadas,

desplazamientos, cortantes y formación de rótulas plásticas) y se analizó su variación entre ambos escenarios, proporcionando una interpretación integral del desempeño sísmico de los módulos.

**Tabla 11**

*Tipo de Investigación*

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de investigación</b>
Finalidad	Aplicada
Contexto donde sucede	Biblioteca, laboratorio, campo
Estrategia o enfoque metodológico	Cuantitativa
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Objetivos	Descriptiva
Control de diseño de la prueba	No experimental
Fuente de datos	Mixta

*Nota.* (Grajales, 2000).

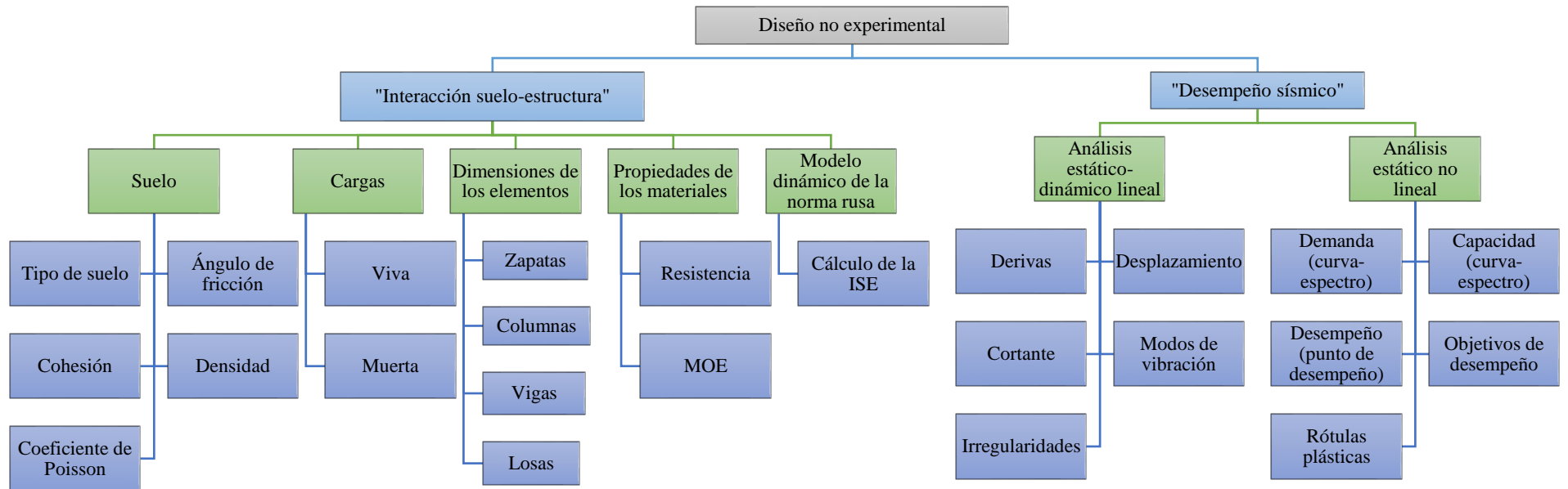
El diseño de investigación fue no experimental de tipo comparativo y transversal, ya que no se manipuló deliberadamente ninguna variable independiente, sino que se observaron y compararon los resultados obtenidos en modelos estructurales previamente definidos. Según Hernández-Sampieri, y Mendoza (2018), en un diseño no experimental “se observan los fenómenos tal y como ocurren en su contexto natural, para posteriormente analizarlos” (p. 152). En este caso, se evaluó el desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez bajo dos condiciones analíticas: sin considerar la interacción suelo-estructura (ISE) y considerando dicha interacción mediante el modelo dinámico ruso SNIP 2.02.05-87. Este diseño permitió comparar de manera objetiva cómo la inclusión del ISE afecta los parámetros estructurales de desplazamiento, deriva y cortante basal.

$$M \rightarrow x \rightarrow y \tag{67}$$

Donde, M está formado por dos pabellones en los que se determina el desempeño sísmico, los cuales se analizaron con ISE (variable x), representando un nuevo desempeño sísmico para los dos pabellones designados como (y).

**Figura 10**

*Esquema del Diseño de Investigación No experimental*



*Nota.* Esquema formulado de acuerdo a las variables, dimensiones e indicadores de estudio detallados en la matriz de operacionalización de variables.

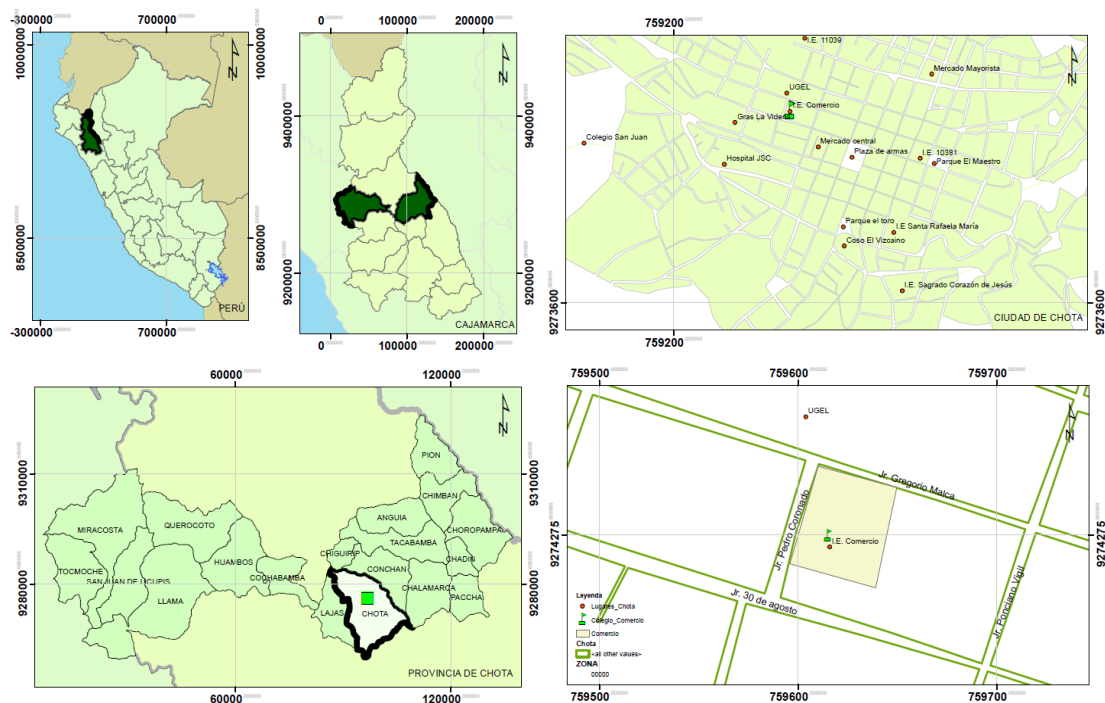
### 3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

#### 3.2.1. Ubicación

La institución educativa secundaria (I.E.S.) Abel Carbajal Perez “El Comercio” se encuentra ubicada en el Jr. Gregorio Malca 877 de la ciudad de Chota, distrito y provincia de Chota, región Cajamarca, a solo 500 m de la plaza de armas de la ciudad en las coordenadas UTM WGS84 17S 759620.22 m E, 9274277.18 m S.

**Figura 11**

*Ubicación de la I.E.S. Comercio*



*Nota.* Se ha elaborado de acuerdo a los SHP del Ministerio de Educación (MINEDU) ubicados en línea en la página de GeoGPS Perú, a fin de ubicar a la institución educativa en el contexto nacional, regional, provincial, distrital y local.

#### 3.2.2. Población

La población de estudio estuvo conformada por todos los módulos estructurales que integran la infraestructura de la institución educativa Abel Carbajal Pérez denominado “Comercio”.

### 3.2.3. Muestreo

El muestreo aplicado fue no probabilístico por conveniencia, dado que se seleccionó como caso de estudio la Institución Educativa Abel Carbajal Perez, por su representatividad estructural en el contexto urbano de Chota, la disponibilidad de información técnica (planos, expediente y datos constructivos) y la accesibilidad para el levantamiento estructural y geotécnico.

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), en este tipo de muestreo “la elección de los elementos no depende del azar, sino de causas relacionadas con las características de la investigación y de quien realiza el estudio” (p. 181).

Asimismo, esta institución presenta más de 30 años de antigüedad y signos patológicos visibles (fisuras, humedad, eflorescencia), condiciones que justifican su elección como caso representativo para el análisis del desempeño sísmico considerando la interacción suelo-estructura.

#### Tabla 12

##### *Criterios de Inclusión y Exclusión*

Inclusión	Exclusión
Instituciones educativas pertenecientes a la ciudad de Chota.	Instituciones educativas ubicadas fuera del ámbito urbano de la ciudad de Chota.
Colegios con infraestructura de más de 25 años de antigüedad.	Colegios de reciente construcción (menos de 10 años) con infraestructura moderna
Infraestructuras que presenten signos patológicos visibles (fisuras, agrietamiento, humedad, eflorescencia).	Infraestructuras sin presencia de patologías estructurales o con mantenimiento reciente.
Instituciones educativas con información técnica disponible (planos, expediente técnico, estudios previos).	Instituciones sin registros técnicos ni accesibilidad para levantamiento de información.
Edificaciones representativas en el contexto urbano de Chota.	Edificaciones aisladas sin representatividad en el contexto urbano de Chota.

*Nota.* Se detallan los criterios de inclusión y exclusión de la unidad de estudio para definir al colegio Comercio como la muestra de estudio.

#### **3.2.4. Muestra**

La muestra definida por conveniencia estuvo constituida por los cuatro módulos estructurales que integran la infraestructura de la institución educativa Abel Carbajal Perez, conocida como “Comercio”, ubicada en el Jr. Gregorio Malca 877, distrito y provincia de Chota, región Cajamarca.

Cada módulo fue modelado y analizado bajo dos condiciones comparativas:

Modelo base rígida (sin ISE)

Modelo flexible (con ISE)

Estas simulaciones constituyen las unidades observacionales independientes utilizadas para comparar el desempeño estructural bajo ambos escenarios de análisis.

#### **3.2.5. Unidad de análisis**

La unidad de análisis estuvo conformada por los módulos estructurales que componen los pabellones A y C de la institución educativa Abel Carbajal Perez:

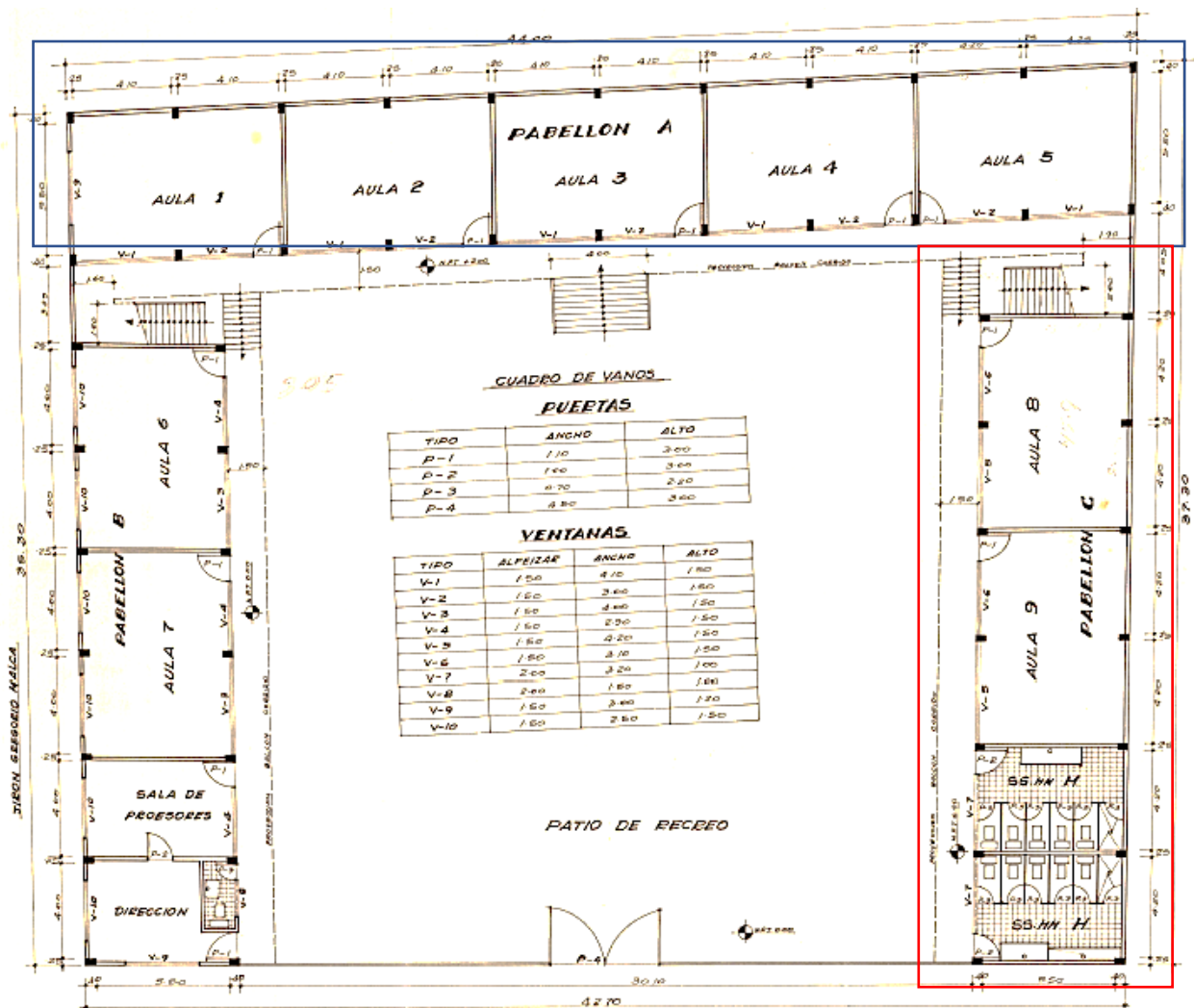
- Pabellón A: compuesto por 1 módulo.
- Pabellón C: compuesto por 3 módulos independientes separados por juntas de dilatación.

Si bien en los planos originales se proyectaron tres pabellones, solo se construyeron los pabellones A y C durante la década de 1990. El pabellón C se ejecutó en tres etapas, lo que generó módulos estructuralmente independientes.

Los planos arquitectónicos y estructurales fueron digitalizados en Revit 2024, y se adjuntan en los anexos correspondientes.

**Figura 12**

*Plano en Planta – Arquitectura de la I.E.S. Comercio*



*Nota.* Los planos se han elaborado en Revit y se detallan en Anexos, los anteriores y los actuales.

### 3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.3.1. Técnicas de recolección de datos

**Observación.** Consistió en la visualización directa del entorno y las características de los módulos estructurales en estudio. Este proceso se realizó en el campo, verificando aspectos como las dimensiones geométricas, los materiales utilizados y las condiciones actuales de los elementos estructurales. La observación incluyó la comparación de las

características verificadas con la información contenida en los planos, identificando posibles discrepancias entre el diseño proyectado y la construcción real.

**Revisión documental.** Implicó el análisis de los planos arquitectónicos, estructurales y otros documentos técnicos existentes de la institución educativa. Esta técnica permitió recopilar información esencial sobre la distribución de los módulos, los sistemas estructurales implementados, las especificaciones de diseño y otros detalles relevantes para la evaluación del desempeño sísmico. La revisión documental fue clave para construir los modelos estructurales necesarios para los análisis computacionales.

**Ensayos básicos.** Se realizaron ensayos en el campo y ex situ para conocer las propiedades mecánicas de los materiales estructurales y del suelo de cimentación:

- Ensayo de esclerometría (in situ): Este ensayo se utilizó para evaluar la resistencia del concreto en los elementos estructurales, proporcionando datos sobre la calidad del material y su capacidad para resistir cargas.
- Ensayos de mecánica de suelos (in situ y ex situ): Incluyeron pruebas de penetración estándar (SPT) y análisis de laboratorio para caracterizar las propiedades del suelo de cimentación, como su resistencia al corte, cohesión y densidad, fundamentales para integrar la ISE en el análisis sísmico.

**Análisis sísmico.** Fue el núcleo técnico de la investigación y consistió en una serie de procesos computacionales y matemáticos para evaluar el desempeño estructural de los módulos, tanto considerando la interacción suelo-estructura (ISE) como sin ella. Este análisis incluyó:

- Análisis ISE: Aplicando el modelo dinámico de la norma rusa SNIP 2.02.05-87, se evaluó cómo las propiedades del suelo afectaban la rigidez y el comportamiento dinámico de la edificación.

- Análisis estático: Se determinó la cortante basal generada por las cargas sísmicas mediante un enfoque estático lineal.
- Análisis dinámico: Se calcularon derivas entre pisos, desplazamientos máximos y cortantes dinámicas mediante el método modal espectral, considerando la respuesta dinámica de la estructura.
- Análisis de desempeño: Incluyó la generación de curvas de capacidad y espectros de demanda, identificación del punto de desempeño y verificación del cumplimiento de los objetivos de desempeño estructural.

### 3.3.2. *Instrumentos de recolección de datos*

**Cuaderno de campo.** Asociado a la variable independiente Interacción suelo-estructura (VI). Permitió registrar in situ las observaciones sobre el tipo de suelo, condiciones de cimentación, dimensiones geométricas de zapatas, columnas, vigas y losas, así como discrepancias entre la construcción real y los planos.

**Fichas de registro.** Vinculadas tanto a la VI como a la VD (Desempeño sísmico). Se emplearon para recopilar información de planos estructurales y arquitectónicos, consignando indicadores como dimensiones, materiales y sistemas constructivos, necesarios para definir los parámetros de modelamiento.

**Formatos de ensayos.** Fueron utilizados para registrar y presentar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a los materiales estructurales y al suelo de cimentación. Relacionados con la VI. Se aplicaron en:

- Ensayos in situ (esclerometría): Para determinar la resistencia del concreto (indicador: resistencia  $f'c$ ).
- Ensayos in situ – ex situ (mecánica de suelos, SPT y laboratorio): Para obtener indicadores de cohesión ( $\text{kg/cm}^2$ ), ángulo de fricción ( $^\circ$ ), densidad ( $\text{g/cm}^3$ ), coeficiente de Poisson y capacidad portante del suelo.

**Modelo de análisis sísmico en ETABS v.2018:** Asociado principalmente a la VD (Desempeño sísmico). Constituyó el instrumento digital para el análisis estructural, permitiendo determinar derivas (mm), desplazamientos (mm), cortantes estáticas y dinámicas (ton), modos de vibración (s), espectros de demanda (Sa-Sd), curvas de capacidad y puntos de desempeño.

**Tabla 13**

*Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos*

Variables	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
ISE	Muestra del suelo de cimentación	Ensayos in y ex situ	Formatos de laboratorio
	In situ	Observación	Cuaderno de campo
Desempeño sísmico	In situ	Observación	Cuaderno de campo
	Expediente técnico	Revisión documental	Formato de registro
	Esclerometría a elementos estructurales	Ensayos in situ	Formatos de ensayo
	Análisis estático	Análisis sísmico	Modelo de análisis sísmico
	Análisis dinámico		

*Nota.* Se detalla por variable las técnicas e instrumentos aplicados en la ejecución de la investigación.

### 3.3.3. Validación y confiabilidad de los instrumentos

La validación de los instrumentos empleados en la investigación se realizó mediante juicio de expertos, garantizando la pertinencia técnica y la correspondencia con los objetivos de estudio. El proceso incluyó la revisión y aprobación de las siguientes herramientas:

**Fichas de registro (ficha de análisis de irregularidad estructural, ficha de análisis estático-dinámico de la edificación y ficha de parámetros geométricos y materiales).** Estas fueron validadas por tres especialistas en estructuras y geotecnia con experiencia en análisis sísmico e interacción suelo–estructura. La validación se centró en verificar la coherencia de los indicadores y la claridad de los ítems observacionales.

**Modelos de análisis sísmico (ETABS v.2018) y archivos asociados (.EDB, .EXL, .XML)** fueron igualmente revisados por los mismos expertos y el asesor, quienes comprobaron la consistencia entre parámetros de entrada (rigideces, amortiguamientos, Vs, densidades) y los criterios normativos aplicados (E.030-2018, ATC-40-1996, SNIP 2.02.05-87 y Barkan).

Los resultados de esta validación se presentan en el Anexo 6, el cual incluye los formatos validados y el Anexo 12 que incluye los archivos editables de los modelos estructurales.

En cuanto a los formatos de ensayo de materiales y suelos, no requirieron validación por juicio de expertos, ya que son instrumentos estandarizados y emitidos oficialmente por laboratorios acreditados, en conformidad con las Normas Técnicas Peruanas del INACAL (NTP 339.127, NTP 339.128, NTP 339.129, NTP 339.181) y con la normativa E.050 “Suelos y Cimentaciones” (MVCS, 2018). Estos formatos garantizan la trazabilidad metrológica, precisión y repetibilidad de los ensayos realizados.

Para asegurar la confiabilidad de los datos, se implementaron los siguientes procedimientos:

- Capacitación previa de los investigadores en el uso de las fichas de registro y medición de parámetros geométricos.
- Verificación cruzada (doble registro) entre observadores para reducir errores subjetivos en la toma de datos en campo.
- Revisión técnica de resultados por parte del asesor estructural y del especialista en geotecnia antes del procesamiento estadístico.
- Estos mecanismos garantizan la consistencia y reproducibilidad de la información recolectada.

**Tabla 14***Validación y Confiabilidad de los Instrumentos*

Instrumento	Tipo de validación	Procedimiento aplicado	Responsable o experto revisor	Resultado / Evidencia
Fichas de registro (ficha de análisis de irregularidad estructural, ficha de análisis estático-dinámico, ficha de parámetros geométricos y materiales)	Juicio de expertos	Revisión por tres especialistas en estructuras y geotecnia, verificando coherencia de indicadores, precisión de unidades (SI) y pertinencia técnica respecto a los objetivos de la investigación.	Especialistas en estructuras y geotecnia (UNACH y consultores externos).	Fichas validadas; observaciones menores corregidas. Se incluyen en el Anexo 12.
Modelos de análisis sísmico (archivos ETABS v.2018, .EDB, .EXL, .XML)	Juicio de expertos	Revisión técnica de parámetros de entrada (rigidez, amortiguamiento, Vs, densidad) y salida (derivadas, desplazamientos, cortantes) conforme a E.030-2018, ATC-40-1996 y SNIP 2.02.05-87.	Expertos en análisis estructural computacional (asesor estructural y especialista externo).	Modelos validados; compatibilidad confirmada. Archivos disponibles en el Anexo 12 y Drive institucional.
Formatos de ensayo de materiales y suelos (ensayo de esclerometría, SPT, laboratorio de suelos)	Normativa técnica nacional	No requieren juicio de expertos. Emitidos por laboratorio acreditado conforme a NTP 339.127, NTP 339.128, NTP 339.129, NTP 339.181 y Norma E.050 (MVCS, 2018).	Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca.	Confiables por cumplimiento normativo y trazabilidad metrológica.
Cuaderno de campo	Revisión interna y control cruzado	Doble registro en campo y verificación de datos por dos observadores entrenados; revisión posterior del asesor estructural.	Investigadores y asesor técnico.	Datos consistentes y reproducibles.
Planos arquitectónicos y estructurales	Revisión documental técnica	Contrastación de planos con observación in situ, asegurando correspondencia geométrica y estructural para el modelamiento.	Equipo de investigación y asesor de modelamiento.	Planos validados; coincidencia verificada en el modelo 3D.

*Nota.* La validación por juicio de expertos se realizó con tres profesionales con experiencia comprobada en estructuras y geotecnia. La evidencia documental y los archivos editables se encuentran en el Anexo 12.

### **3.4. Hipótesis**

H<sub>1</sub>: La inclusión de la interacción suelo–estructura (ISE) reduce en al menos un 10% el cortante basal medio y aumenta en al menos un 15% el desplazamiento máximo, en comparación con el modelo con base rígida, para la muestra analizada (n = X).

### **3.5. Operacionalización de variables**

#### **3.5.1. Variable independiente: “Interacción suelo – estructura”**

La interacción suelo-estructura (ISE) se refiere a la influencia mutua entre las deformaciones del suelo y el comportamiento estructural bajo cargas sísmicas. Esta interacción modifica las condiciones de soporte, rigidez y amortiguamiento de la estructura, diferenciándola del análisis con base rígida (Estela, 2019). La interacción suelo-estructura se evalúa mediante el modelo dinámico de la norma rusa SNIP 2.02.05-87 y el modelo de Barkan.

#### **3.5.2. Variable dependiente: “Desempeño sísmico”**

El desempeño sísmico mide la capacidad de una estructura para resistir cargas sísmicas y limitar los daños físicos, asegurando la seguridad de los ocupantes y manteniendo la funcionalidad posterior al sismo. Se define mediante niveles de desempeño como ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención del colapso (ATC-40, 1996). El desempeño sísmico se determina mediante análisis no lineal (Pushover) en el software ETABS, evaluando parámetros como desplazamientos laterales, derivas entre pisos, cortante basal y formación de rótulas plásticas. Los resultados se comparan con espectros de demanda para identificar el punto de desempeño y verificar el cumplimiento de los objetivos establecidos según la norma E.030.

**Tabla 15**

*Matriz de Operacionalización*

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Unidad	Escala	Procedimiento de medición/ Fuente	Instrumento
VI "Interacción Suelo-estructura"	Tiene en cuenta la elasticidad y la inercia del suelo, lo que significa que el suelo es infinitamente rígido, como se supone en la mayoría de los análisis, sino que tiene un cierto grado de amortiguación que le permite absorber parte de la energía transmitida por un terremoto (Estela, 2019).	Suelo	Capa teneste que, resiste las cargas de la edificación, y que, es el medio conductor del sismo.	Tipo de suelo (SUCS)		Nominal	Clasificación SUCS según granulometría y límites de Atterberg	Formatos de ensayos de laboratorio
				Ángulo de fricción	° (SI: rad)	Continua	Ensayo corte directo de muestra extraída por SPT	
				Resistencia por cohesión	Kg/cm <sup>2</sup> (kPa)	Continua	Ensayo corte directo de muestra extraída por SPT	
				Peso unitario	g/cm <sup>3</sup> (KN/m <sup>3</sup> )	Continua	Ensayo de densidad seca de sólidos	
				Módulo de deformación	MPa	Continua	Correlación SPT	
				Velocidad de onda de corte	m/s	Continua	Correlación SPT	
		Cargas	Acciones gravitatorias para calibrar masas	Carga muerta (D)	KNoKN/m <sup>2</sup>	Continua	Cálculos métricos y pesos específicos (E.020)	Plantillas de cálculo
				Carga viva (L)	KNoKN/m <sup>2</sup>	Continua	Según uso educativo (E.020)	
		Geometría de la cimentación	Medidas geométricas de los elementos de cimentación	Zapatas: ancho B, longitud L, profundidad de asiento D	m	Continua	Planos de cimentación de la edificación	Planos
				Cimientos como: ancho B <sub>c</sub> , altura h <sub>c</sub> , longitud L <sub>c</sub>	m	Continua	Planos de cimentación de la edificación	
		Propiedades de los materiales	Parámetros mecánicos para rigidez de elementos	Concreto: f <sub>c</sub>	MPa	Continua	Esclerometría/NIP 339.181	Formatos de ensayos
				Acero: f <sub>y</sub>	MPa	Continua	Planos	
				MCE	MPa	Continua	E <sub>c</sub> =4700(f <sub>c</sub> en MPa)	
		Modelo dinámico de la norma usay Balkan	Parámetros de resorte y amortiguador equivalentes aplicados en nudos de cimentación	Rigideces rotacionales K <sub>px</sub> , K <sub>py</sub> , K <sub>pz</sub>	kNm/rad	Continua	Según SNP/Gazetas	Hoja de cálculo
				Amortiguamientos viscosos B <sub>x</sub> , B <sub>y</sub> , B <sub>z</sub>	kNs/m	Continua	SNP (valores equivalentes por dirección)	Hoja de cálculo
				Amortiguamientos rotacionales B <sub>px</sub> , B <sub>py</sub> , B <sub>pz</sub>	kNms	Continua	SNP (norma Rusa)	Hoja de cálculo
				Rigideces rotacionales K <sub>px</sub> , K <sub>py</sub> , K <sub>pz</sub>	kNm/rad	Continua	Según SNP/Gazetas	Hoja de cálculo
		VD "Desempeño sísmico"	Capacidad de la estructura para soportar un movimiento sísmico, debe cumplir con los objetivos de desempeño dados por el ATC-40. Método de empuje incremental, donde la edificación se somete a cargas laterales hasta el colapso de la edificación (ATC-40, 1996).	Análisis estático-dinámico lineal	Modelamiento de la edificación con la norma E.030 sin y con la ISE	Derivas inter piso	% adimensional	Continua
Desplazamientos	mm					Continua	Salida ETABS (modal espectral)	
Cortante basal estática	KN					Continua	Análisis modal	
Cortante basal dinámica	KN					Continua	Análisis modal	
Participación modal	Seg.					Continua	ETABS (direcciones XY)	
Inregularidades en planta/ altura	Sí/No					Nominal	Dirección XY	Check-list E.030
Análisis estático no lineal	Modelamiento de la edificación con el método ATC-40 y la norma FEMA 440, para analizar el desempeño con y sin la ISE.			Espectro de demanda	Sa-Sd	Continua	Construcción espectral (ATC-40)	Hoja de cálculo
				Curva de capacidad	KNm	Continua	Pushover XY (control de desplaz.)	Método ETABS v2018
				Punto de desempeño	KNm	Continua	Pushover XY (control de desplaz.)	Método ETABS v2018
				Niveles de desempeño		Ordinal	Método de rúbricas a criterios ATC-40	ETABS + tabla de umbrales

Nota. Se detalla los parámetros de operacionalización de variables.

### **3.6. Procedimientos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Vistas en campo: Revisión de planos y medición de los módulos**

El procedimiento consistió en verificar las características geométricas y estructurales de los módulos de la institución educativa Comercio mediante visitas de campo, para comparar las dimensiones registradas en los planos hechos a mano con las medidas reales observadas. Además, se revisaron los documentos técnicos existentes, se recopilaban datos de resistencia de materiales y propiedades del suelo mediante ensayos, y se registraron detalles relevantes para ajustar el modelo de análisis sísmico y garantizar que representara con precisión las condiciones actuales de la edificación.

##### **a) Equipos, materiales e instrumentos**

- Cinta métrica.
- Cámara fotográfica o dispositivo móvil con capacidad fotográfica.
- Croquis y planos hechos a mano.
- Formatos para registro de datos.
- Cuaderno de campo, lápiz y/o bolígrafo.

##### **b) Revisión de documentos previos:**

- Se revisaron los planos arquitectónicos y estructurales de la edificación, incluyendo los planos hechos a mano, para identificar las dimensiones propuestas y las especificaciones técnicas del diseño original.

##### **c) Verificación en campo:**

- Durante la visita a la institución educativa Comercio, se midieron las dimensiones reales del pabellón A y se compararon con las dimensiones registradas en los planos hechos a mano. Se verificó que las medidas coincidían plenamente.

- En el caso del pabellón C, se midieron las dimensiones reales y se registraron diferencias con respecto a los planos hechos a mano. Estas discrepancias fueron documentadas detalladamente para ajustar los planos a la realidad.
- Además, se tomó nota de cualquier modificación estructural o constructiva que pudiera influir en el análisis sísmico.

**d) Registro de observaciones relevantes:**

- Se documentaron con detalle los datos de interés e importancia encontrados en el expediente técnico que pudieran ser útiles para la investigación.
- Se registraron fotografías y notas sobre el estado actual de los módulos y las características observadas, asegurando un respaldo visual de las discrepancias detectadas.

**Figura 13**

*Verificación de Dimensiones de la I.E. en Campo*



*Nota.* Fotografía tomada durante la fase de levantamiento de información geométrica in situ. Las mediciones fueron realizadas con cinta métrica y distanciómetro láser para determinar las dimensiones de vigas, columnas y altura libre de los módulos estructurales.

### **3.6.2. *Elaboración de planos de la edificación en Revit 2023***

El procedimiento consistió en realizar una verificación detallada de las dimensiones reales de los módulos durante las visitas de campo, identificando coincidencias y discrepancias con los planos existentes hechos a mano. Los datos recopilados se utilizaron para ajustar las medidas y generar planos actualizados y vistas 3D en Revit 2023, que posteriormente se emplearían como base para el modelamiento en ETABS 2018.

#### **a) Equipos, materiales e instrumentos**

- Laptop o computadora con el software Revit 2023 instalado.
- Dispositivos de medición en campo, como cinta métrica.
- Cámara fotográfica o móvil con capacidad fotográfica.
- Planos hechos a mano de los pabellones de la institución educativa.
- Croquis preliminares de los módulos elaborados durante las visitas de campo.
- Cuaderno de campo para registrar observaciones.
- Fichas de registro con las dimensiones verificadas.
- Software de diseño asistido por computadora (Revit 2023) y programas complementarios de modelado (AutoCAD 2023).

#### **b) Revisión preliminar y verificación en campo:**

- Se revisaron los planos hechos a mano de los pabellones, analizando las dimensiones planteadas inicialmente y las configuraciones estructurales generales.
- Durante las visitas de campo, se midieron las dimensiones reales de los módulos.
- Se verificó que las dimensiones del pabellón A concordaban plenamente con las planteadas en los planos existentes.

- En el caso del pabellón C, se identificaron discrepancias en las dimensiones planteadas en los planos hechos a mano. Estas diferencias se documentaron detalladamente en el cuaderno de campo y las fichas de registro.

**c) Ajuste de datos:**

- Se organizaron los datos de las dimensiones reales obtenidas, asegurando que reflejaran con precisión las características actuales de los módulos.

**d) Elaboración de planos en Revit 2023:**

- Se utilizó Revit 2023 para digitalizar y modelar los módulos de la institución educativa.
- Las dimensiones del pabellón A se ingresaron directamente según lo planteado en los planos existentes, ya que no hubo discrepancias.
- En el caso del pabellón C, se incorporaron las correcciones necesarias en las medidas para reflejar las dimensiones reales verificadas en campo.
- Se generaron planos 2D actualizados y vistas 3D detalladas de los pabellones, representando con fidelidad las configuraciones estructurales y arquitectónicas.

**e) Revisión y validación:**

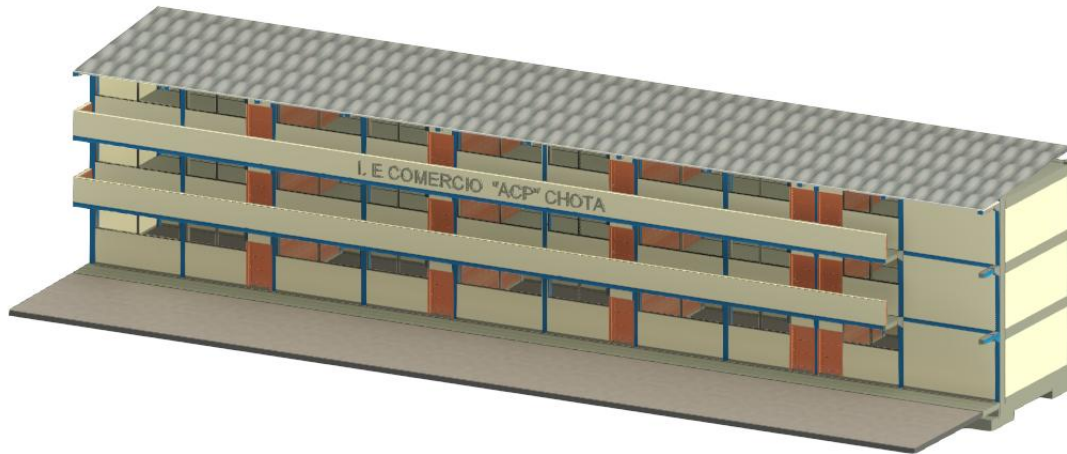
- Se compararon los planos elaborados en Revit con los datos de campo para verificar su consistencia.
- Se validaron las vistas 3D generadas, asegurándose de que sirvieran como base adecuada para el modelamiento posterior en ETABS 2018.

**f) Preparación para modelamiento:**

- Los planos y modelos 3D elaborados en Revit se exportaron en formatos compatibles (AutoCAD 2018) para su uso en ETABS 2018, asegurando una integración eficiente para el análisis sísmico posterior.

## Figura 14

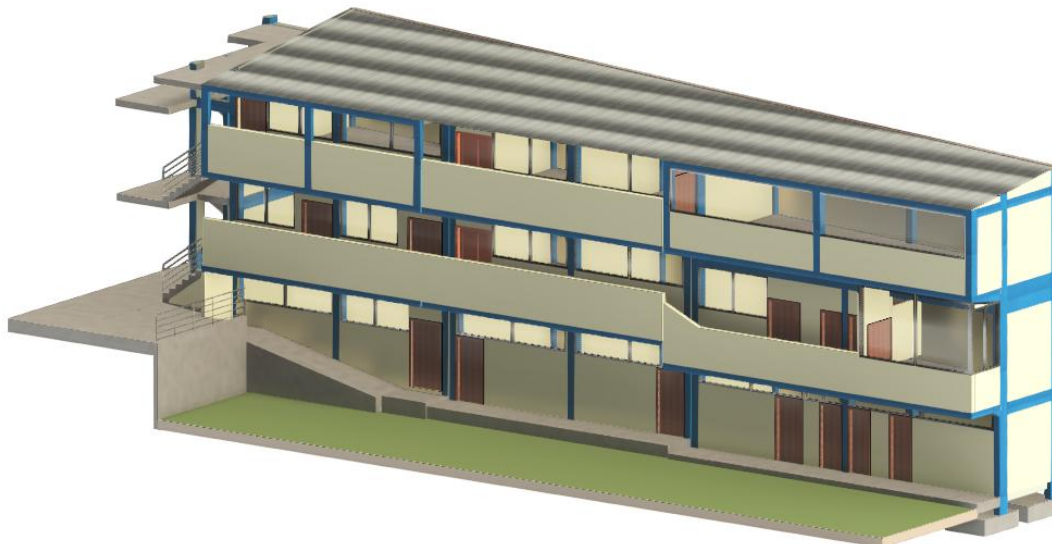
### Vista 3D del Pabellón A



*Nota.* En anexos se presentan los planos en planta y elevación realizados en REVIT 2022.

## Figura 15

### Vista 3D del Pabellón C



*Nota.* En anexos se presentan los planos en planta y elevación detallados, realizados en REVIT 2022.

### **3.6.3. Exploración, muestreo, ensayo SPT, toma de muestra, y ensayos de laboratorio en el suelo de cimentación**

El procedimiento realizado para la exploración, muestreo, toma de muestra y ensayos de suelos en la institución educativa Comercio tuvo como objetivo obtener datos sobre las características del suelo de cimentación. Se llevó a cabo una inspección del terreno para identificar áreas adecuadas para el ensayo, optando por una zona verde específica en las coordenadas UTM WGS84 17S 754846.35 m E, 9282294.70 m S. En esta ubicación, se realizó un ensayo SPT con recuperación de muestra, seguida de su análisis en laboratorio GSE de Chota, donde se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo de acuerdo a los ensayos realizados: NTP 339.127 Contenido de humedad (INACAL, 2019), NTP 339.128 granulometría (INACAL, 2019), NTP 339.129 límite líquido y plástico (INACAL, 2019), y NTP 339.131 peso específico (INACAL, 2019).

#### **a) Equipos, materiales e instrumentos**

- Equipo de perforación para ensayo SPT (Standard Penetration Test).
- Vehículo para transporte de muestras al laboratorio.
- Horno de secado para ensayos de contenido de humedad.
- Tamices para análisis granulométrico.
- Copa Casagrande (límite líquido).
- Balanza digital de alta precisión.
- Bolsas plásticas etiquetadas para el almacenamiento de muestras.
- Recipientes herméticos para transporte seguro de suelo.
- Hojas de registro para datos de campo y laboratorio.
- GPS de mano.
- Cinta métrica para mediciones.

**b) Exploración del terreno:**

- Se realizó una inspección detallada del terreno en la institución educativa, observando que la mayor parte estaba cubierta por concreto, salvo pequeñas áreas de terreno natural con vegetación.
- Se identificó una zona verde específica adecuada para realizar el ensayo SPT, ubicada en las coordenadas UTM proporcionadas.

**c) Preparación para el ensayo SPT:**

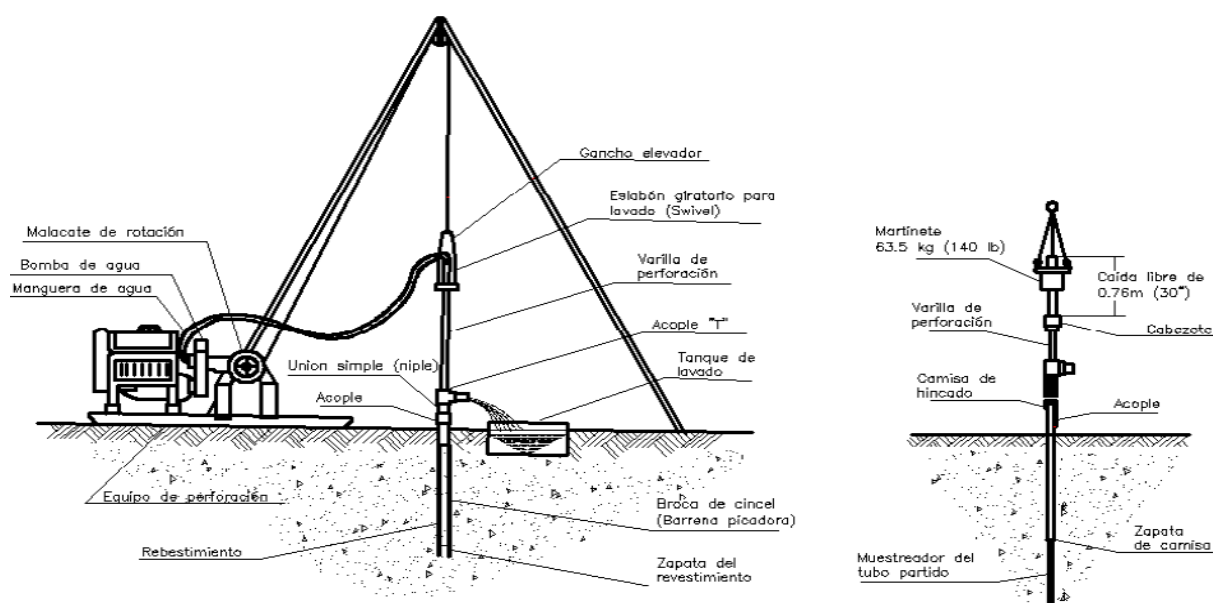
- Se movilizó el equipo de perforación al sitio identificado y se marcó el punto exacto de perforación.
- Se establecieron las medidas de seguridad necesarias para la ejecución del ensayo de acuerdo a la norma E.050 (MVCS, 2018).

**d) Ejecución del ensayo SPT:**

- Se perforó hasta los 3 m de profundidad usando el método de perforación rotativa, manteniendo el nivel del fluido de perforación por encima del nivel freático.
- Se insertó el muestreador de caña partida en el pozo perforado, asegurando que la muestra no tocara el suelo.
- Se colocó el martillo de 63.5 kg sobre el yunque para iniciar la prueba.
- Se hincó el muestreador mediante golpes de martillo, registrando el número de golpes necesario para cada incremento de 0.15 m de penetración.
- Se registraron los golpes necesarios para cada incremento y la longitud total de la muestra recuperada.
- Se describió la textura, color y capas del suelo recolectado por estrato, siendo así, se tuvieron tres estratos de análisis.

**Figura 16**

*Esquema General del Equipo de Ensayo SPT*



Nota. (MTC, 2016).

**e) Transporte de muestras:**

- La muestra recuperada fue colocada en recipientes herméticos y etiquetada para su transporte al laboratorio GSE de Chota, asegurando que no se dañaran las características visibles del suelo.

**f) Ensayos de mecánica de suelos en laboratorio:**

Se realizaron los siguientes ensayos, siguiendo las normas técnicas peruanas (NTP). Cada ensayo se aplicó a las muestras de los tres estratos de suelo recuperados en campo.

NTP 339.127: Ensayo de contenido de humedad (INACAL, 2019)

- Se pesó la muestra de suelo húmeda.
- La muestra se secó en un horno.
- Se pesó nuevamente el suelo seco para determinar la diferencia de peso.

NTP 339.128: ensayo de granulometría (INACAL, 2019)

- La muestra de suelo se pasó a través de un conjunto de tamices por agitación.

- Se pesó el suelo retenido en cada tamiz y se calculó el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz.
- Los resultados se graficaron en una curva granulométrica.

NTP 339.129: Ensayo de límite líquido (INACAL, 2019)

- Se preparó una muestra que pasa el tamiz N° 40, humedeciéndola para formar una pasta.
- La pasta se colocó en una copa casa grande, se separó con un ranurador y se aplicaron golpes hasta que la muestra se unió.
- La muestra unida se pesó, se secó en horno y se volvió a pesar.
- El procedimiento se repitió tres veces para construir la curva de fluidez.

NTP 339.129: Ensayo de límite plástico (INACAL, 2019)

- Se formaron rollos de suelo hasta que alcanzaron 3 mm de diámetro y comenzaron a agrietarse.
- Los rollos se pesaron, se secaron en horno y se volvieron a pesar.
- El procedimiento se repitió una vez más.

NTP 339.131: Ensayo de peso específico (INACAL, 2019)

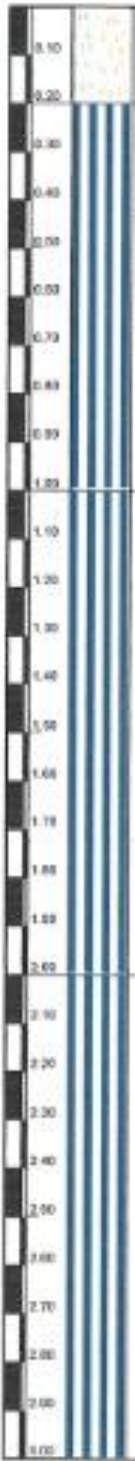
- Se pesó una muestra de suelo seco.
- Una fiola se llenó con agua hasta 500 ml.
- Se colocó el suelo seco en la fiola vacía, se añadió agua hasta cubrir el suelo y se agitó.
- Se utilizó una bomba de vacío durante 15 minutos, se añadió agua hasta 500 ml y se pesó nuevamente.

**g) Resultados del ensayo SPT:**

En el sondaje realizado se ha determinado tres estratos de igual clasificación de suelo en los 3 m analizados.

**Figura 17**

*Resultados Ensayo SPT*

		Tipo de suelo		N° de golpes	$\phi$ (°)	$\delta u$
	Losa de concreto existente					
	Material limo inorgánico de alta plasticidad, suelos elásticos de color marrón claro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	MH	A-7-5(16)	14	31.3	1.43
	Material limo inorgánico de alta plasticidad, suelos elásticos de color marrón claro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	MH	A-7-5(18)	26	34.4	2.55
	Material limo inorgánico de alta plasticidad, suelos elásticos de color marrón claro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	MH	A-7-5(18)	35	36.8	3.45

*Nota.* Se detalla el perfil del suelo obtenido del ensayo SPT realizado por el laboratorio GSE de la ciudad de Chota, de acuerdo con las normas técnicas peruanas.

## h) Análisis y clasificación del suelo:

Los resultados obtenidos en laboratorio mostraron que los tres estratos correspondían al mismo tipo de suelo con características similares. El suelo fue clasificado como limo de alta plasticidad (MH).

**Tabla 16**

*Resultados de los Ensayos de Laboratorio al Suelo de Cimentación*

Suelo	M1	M2	M3
Df (m)	0-1.00	1.00-2.00	2.00-3.00
Humedad (%)	33.56	30.26	36.51
LL (%)	53.5	58.2	57.3
LP (%)	30.4	31.5	30.2
IP (%)	23.10	26.7	27.1
Clasificación (SUCS)	MH	MH	MH

*Nota.* Se detalla los resultados de los ensayos de mecánica de suelos realizados por el laboratorio GSE de la ciudad de Chota, de acuerdo con las normas técnicas peruanas.

## i) Cálculo de la carga admisible de acuerdo al ensayo SPT

A partir del N del ensayo SPT se pueden determinar la resistencia a la penetración y a la presión admisible. (Calderón y Arguello, 2014)

$$\sigma_{adm} = \frac{N}{10} \quad (68)$$

$$\sigma_{portante} = \frac{\sigma_{adm}}{FS} \quad (69)$$

Donde:  $\sigma_{adm}$  Carga admisible, N Número de golpes, FS factor de seguridad igual a 3,

$\sigma_{portante}$  capacidad portante.

**Tabla 17**

*Cálculo de la Capacidad Portante del Suelo*

Suelo	M1	M2	M3
Df (m)	0-1.00	1.00-2.00	2.00-3.00
Número de golpes	14	26	35
Capacidad admisible	1.40	2.60	3.50
Capacidad portante	0.467	0.867	1.167

*Nota.* Se detalla los resultados de los ensayos de mecánica de suelos realizados por el laboratorio GSE de la ciudad de Chota, de acuerdo con las normas técnicas peruanas.

### j) Perfil del suelo de acuerdo a la norma E.030

Tomando en cuenta que la cimentación de la institución educativa corresponde a zapatas aisladas de 1.5 m de profundidad y 1 m de ancho, la capacidad portante del suelo (0.867 kg/cm<sup>2</sup>) se ha determinado que este se encuentra dentro del perfil de suelo S2 (suelos intermedios) en base a la norma E.030, por lo que, considerando que, la zona sísmica es S2, los factores de suelo S son 1.20, el T<sub>p</sub> y T<sub>L</sub> son 0.60 y 2.0, respectivamente.

### k) Cálculo del módulo de elasticidad de acuerdo al ensayo SPT

Según Meigh y Nixon (1961) citado por González (2020) el módulo de elasticidad del suelo se determina por medio de la relación:

$$E(kg/cm^2) = 5(N_{SPT}) = 5 \times 26 = 130 kg/cm^2 \quad (70)$$

### l) Parámetros geotécnicos y factores para análisis ISE

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos y los planos de cimentaciones existentes de la institución educativa, se han caracterizado los parámetros geotécnicos del suelo y los factores necesarios para el análisis ISE.

**Tabla 18**

*Parámetros Geotécnicos y Factores para Análisis ISE*

Suelo	M2
Df (m)	1.00-2.00
Perfil de suelo	S3 suelos intermedios
Clasificación (SUCS)	MH
Número de golpes en el ensayo SPT	26
Ángulo de fricción (°)	34.40
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	30 KPa
Profundidad de cimentación (m)	1.50
Capacidad portante (kg/cm <sup>2</sup> )	0.867
Peso unitario (Kn/m <sup>3</sup> )	14.55
Coefficiente de Poisson	0.32
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	130

*Nota.* Se detallan los parámetros geotécnicos y factores del estrato de suelo que se ha utilizado en el estudio debido a que a esta altura está ubicada la cimentación de los módulos de estudio.

#### **3.6.4. Ensayo de esclerometría**

El ensayo de esclerometría se realizó de acuerdo a la NTP 339.181 (INACAL, 2020), utilizando esclerómetro digital tipo N marca ZC3-A, serie HT20097 con certificado de calibración de marzo 2022. Se tomaron como mínimo tres puntos de ensayo en las columnas, vigas y losas del módulo 01 del pabellón A y cada uno de los tres módulos del pabellón C incluido la escalera (también denominado como pabellón B en el caso de este análisis ante la ausencia de dicho pabellón de acuerdo a los planos originales realizados a mano en la década del 90). Siendo así, el número de puntos de ensayo estimado sería 36, no obstante, en aquellos módulos de mayor tamaño, se realizaron hasta 6 puntos de ensayo en cada elemento, siendo así, se tuvo 17, 8, 12 y 3 puntos de muestro en el módulo 1, 2, 3 y escalera del pabellón C, respectivamente, dando un total de 40 puntos de muestreo, y 19 puntos de muestreo en el pabellón A. Para el ensayo se retiró el tarrajeo de los puntos de muestreo y realizó una cuadrícula de 2x5 con recuadros de 5 cm de lado por cada golpe haciendo en total 10 golpes con el esclerómetro en cada punto de ensayo (ángulo de prueba 90°), ejerciendo presión sobre este y registrando el número de rebotes del martillo, dato que se utiliza en la determinación de la capacidad mecánica ( $f^c$ ) del concreto.

##### **a) Equipos, materiales e instrumentos**

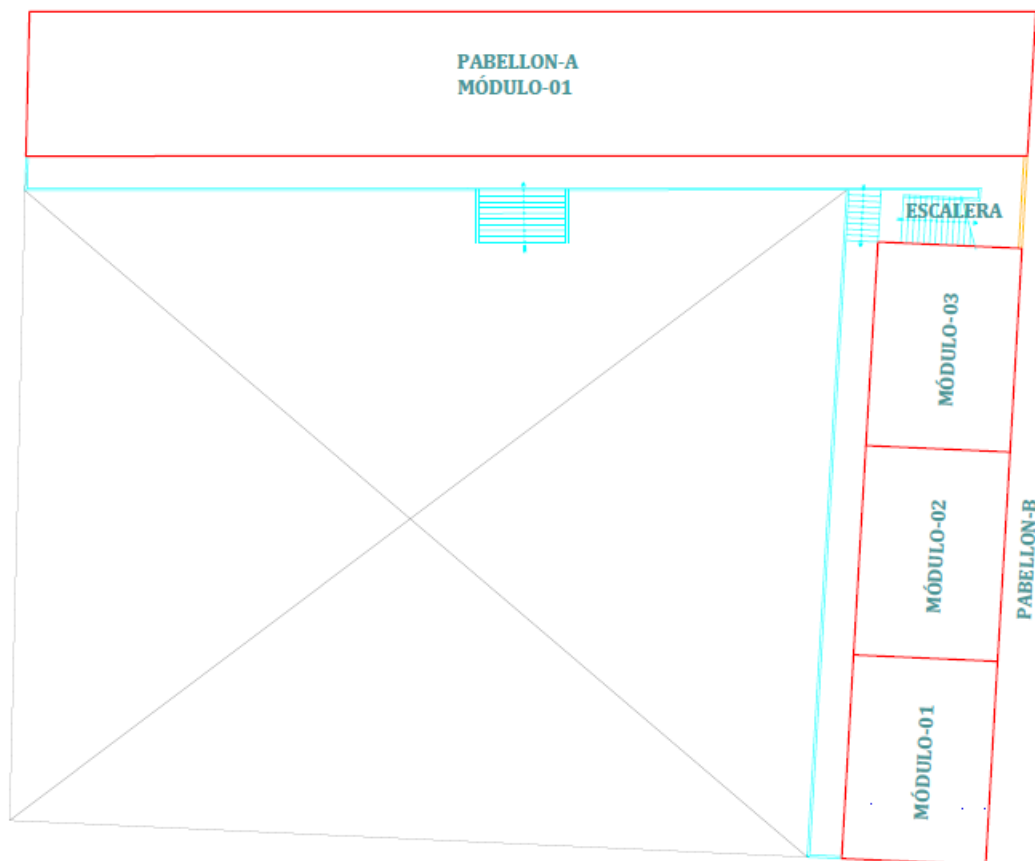
- Esclerómetro digital tipo N, marca ZC3-A, serie HT20097 con certificado de calibración (marzo 2022).
- Herramientas manuales para retirar tarrajeo.
- Cinta métrica.
- Marcador para señalar puntos de ensayo.
- Fichas de registro para documentar resultados en cada punto de ensayo.

**b) Preparación del área de ensayo:**

- Se inspeccionaron los módulos del pabellón A (módulo 01) y el pabellón C (módulos 1, 2, 3 y escalera), denominado como pabellón B por los técnicos debido a la ausencia de este pabellón de acuerdo a los planos originales.
- En cada elemento estructural se seleccionaron como mínimo tres puntos de ensayo distribuidos estratégicamente. Se aumentó el número de puntos, en aquellos pabellones más grandes alcanzando un total de 40 puntos en el pabellón C y 19 puntos en el pabellón A.

**Figura 18**

*Vista en Planta de los Módulos Considerados para el Ensayo de Esclerometría*



*Nota.* Esquema general de los pabellones y módulos analizados de acuerdo con la propuesta dada por el laboratorio encargado del ensayo de esclerometría in situ, donde al pabellón C lo denominan como pabellón B.

**c) Ejecución del ensayo:**

- Se retiró el tarrajeo de los elementos estructurales en los puntos donde se aplicaría los ensayos de esclerometría.
- Se marcó una cuadrícula de 2x5 con recuadros de 5 cm de lado en cada punto de ensayo, asegurando la uniformidad en la distribución de los golpes.
- Se colocó el esclerómetro digital ZC3-A perpendicular a la superficie del concreto en el punto marcado.
- En cada punto de ensayo, se aplicaron 10 golpes consecutivos, registrando los valores obtenidos.
- Los datos fueron anotados en las fichas de registro, discriminando entre columnas, vigas, losas y escalera.

**Figura 19**

*Ejecución del Ensayo de Esclerometría*



*Nota.* En las fotografías se observa a los tesisistas realizando el ensayo de esclerometría a los elementos estructurales de los pabellones de acuerdo a las indicaciones dadas por los técnicos del laboratorio.

**d) Recolección y análisis de datos:**

- Los valores registrados en los 59 puntos de ensayo fueron analizados para determinar la resistencia del concreto en los módulos evaluados.

**e) Resultados del ensayo de esclerometría:**

Se determinó la resistencia del concreto de los elementos estructurales del Colegio Abel Carbajal Perez-Comercio de la Ciudad de Chota, la cual se puede observar que en algunos de ellos no llega a lo especificado (175 Kg/cm<sup>2</sup>) y en otros casos supera la resistencia especificada por lo que, para el modelamiento de los elementos estructurales, se utilizó la resistencia crítica de cada elemento estructural, en cada módulo de la institución educativa, datos que se pueden observar en la Tabla 19, solo donde el valor era mayor se ha tomado a 175 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 19**

*Resistencia a la Compresión del Concreto - Ensayo de Esclerometría*

Módulo/ Elemento estructural	F <sup>c</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	Rango mínimo	Rango máximo	Resistencia crítica (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Pabellón A, Módulo 1</b>				
Columna	204.84	151.81	257.86	194
Viga	303.10	250.08	356.13	265
Losa	227.48	190.77	264.19	273
<b>Pabellón C, Módulo 1</b>				
Columna	121.01	67.99	174.04	89
Viga	143.16	90.13	196.18	115
Losa	342.78	293.84	391.73	305
<b>Pabellón C, Módulo 2</b>				
Columna	140.67	87.64	193.70	176
Viga	281.64	228.62	334.67	227
Losa	312.65	263.70	361.59	320
<b>Pabellón C, Módulo 3</b>				
Columna	144.40	91.38	197.43	160
Viga	164.99	111.96	218.01	157
Losa	300.61	263.90	337.32	313
<b>Pabellón C, Escalera</b>				
Columna	196.92	143.89	249.94	130
Viga	191.67	138.05	244.70	125
Losa	114.89	78.18	151.60	136

*Nota.* la escalera formó parte del modelamiento del módulo 3.

### **3.6.5. Modelamiento de la edificación en ETABS 2018 con base empotrada**

El modelamiento de la edificación en ETABS 2018 comenzó con la apertura del programa y la configuración inicial, que incluyó la definición de los ejes y el número de pisos. Posteriormente, se construyó la información del espacio entre ejes para establecer la base geométrica del modelo. Se definieron las propiedades de los materiales (concreto, acero y albañilería) y se especificaron las secciones de los elementos estructurales, como columnas, vigas y losas.

Luego, se realizó el dibujo del módulo estructural, según las dimensiones y configuraciones de los elementos de los planos técnicos. Se llevó a cabo un chequeo general del modelo para garantizar la correcta conexión y definición de todos los componentes. Después, se definieron las cargas de diseño, las cuales incluyeron la carga muerta, viva y de techo conforme a lo estipulado en la norma E.020 (MVCS, 2006).

En cuanto a las condiciones de apoyo, se modeló la base con empotramiento perfecto y se incorporó un brazo rígido para representar la transferencia de esfuerzos desde la cimentación hacia la estructura. Se discretizó la estructura dividiendo los elementos en segmentos más pequeños para optimizar la precisión del análisis. Además, se liberaron los momentos en los muros de albañilería para reflejar su comportamiento real bajo cargas.

Para considerar la interacción entre los elementos horizontales, se creó un diafragma rígido en cada nivel, lo que permitió modelar el comportamiento conjunto de las losas en la transferencia de cargas horizontales. Finalmente, se configuraron los parámetros sísmicos siguiendo los lineamientos de la normativa E.030 (MVCS, 2018) y se efectuó el análisis sísmico, obteniendo resultados como desplazamientos, derivas y fuerzas cortantes en la edificación.

**a) Configuración inicial:**

Se abrió el software ETABS 2018 y se creó un nuevo modelo.

Se configuró la información básica, incluyendo los ejes, el número de pisos y el espacio entre ejes.

**b) Definición de propiedades:**

Se definieron las propiedades de los materiales, como el concreto y el acero, incluyendo parámetros como módulo de elasticidad y peso específico.

Se determinaron las secciones de los elementos estructurales, como columnas, vigas y losas, conforme a los planos y especificaciones técnicas.

**Tabla 20**

*Propiedades de los Materiales*

Material	Peso específico (kg/m3)	Resistencia (kg/cm2)	MOE (E) en kg/cm2	Observaciones
Concreto	2400	175	217,000	Se han tomado las resistencias a compresión obtenidas del ensayo de esclerometría
Acero		4200		
Albañilería	1800	65	32,500	

*Nota.* Se detallan las propiedades de los materiales que se han modelado en el programa ETABS 2018.

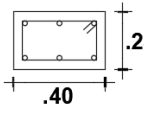
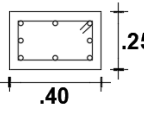
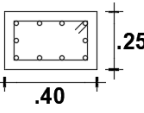
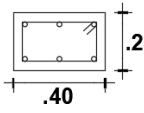
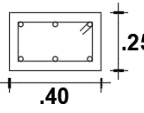
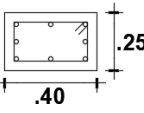
**c) Definición de secciones:**

Se definieron las secciones estructurales para columnas, vigas y losas, incorporando las dimensiones especificadas en los planos de la edificación. En las columnas y vigas, además de las dimensiones geométricas, se configuró el refuerzo de acero, incluyendo el diámetro y la distribución de las barras. Para las losas, se definió su espesor y se incluyó la distribución del acero de refuerzo superior e inferior según los detalles técnicos proporcionados. Asimismo, se modelaron los muros de albañilería con el espesor establecido en los planos.

**Figura 20**

*Detalles de armado longitudinal de columnas tipo C-1, C-2 y C-3 del colegio Abel*

*Carbajal Perez*

TIPO NIVEL	C-1	C-2	C-3
PRIMER PISO	 .25 .40 <b>6 Ø 1/2"</b>	 .25 .40 <b>8 Ø 1/2"</b>	 .25 .40 <b>10 Ø 1/2"</b>
SEGUNDO PISO	 .25 .40 <b>6 Ø 1/2"</b>	 .25 .40 <b>6 Ø 1/2"</b>	 .25 .40 <b>8 Ø 1/2"</b>

*Nota.* Detalles obtenidos de los planos estructurales del proyecto y verificados mediante levantamiento in situ. La modelación estructural fue desarrollada en ETABS v18, considerando secciones rectangulares de 0.25x0.40 m con refuerzo longitudinal de 6, 8 y 10 barras Ø ½" según nivel y tipo de columna

**Figura 21**

*Definición de las Vigas*

ENTRE A-B					
V101-25x40 SECCION A-A_FINAL "J"					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores					
5/8"	2	1.588cm	1.98 cm2	3.96	5.94
5/8"	1	1.588cm	1.98 cm2	1.98	
Barras Inferiores					
1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	8.48
5/8"	3	1.588cm	1.98 cm2	5.94	

EJE 8-8					
ENTRE A-B					
V101-25x40 SECCION B-B_INICIAL "I"					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores					
5/8"	3	1.588cm	1.98 cm2	5.94	13.86
5/8"	4	1.588cm	1.98 cm2	7.92	
Barras Inferiores					
1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	8.48
5/8"	3	1.588cm	1.98 cm2	5.94	

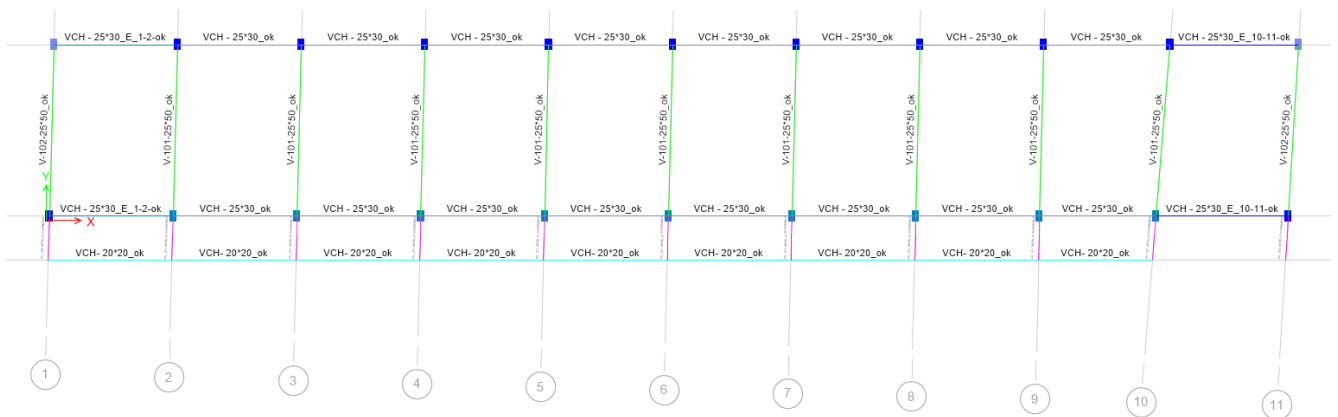
*Nota.* Elaborado en ETABS v18 y complementado con verificaciones de diseño mediante CSI Detail v18. Las secciones mostradas corresponden a los tramos A-A y B-B del eje 8-8, modeladas con barras de ½" y 5/8" según posición (superior e inferior). La cuantía de refuerzo fue calculada conforme a la norma E.060 Concreto Armado (MVCS, 2018), con concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  y acero  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

#### d) Dibujo de la edificación:

Se dibujaron los elementos estructurales del módulo en el programa, respetando las dimensiones y configuraciones establecidas en los planos arquitectónicos. Se verificó el modelo mediante chequeo general de las conexiones y elementos definidos.

**Figura 22**

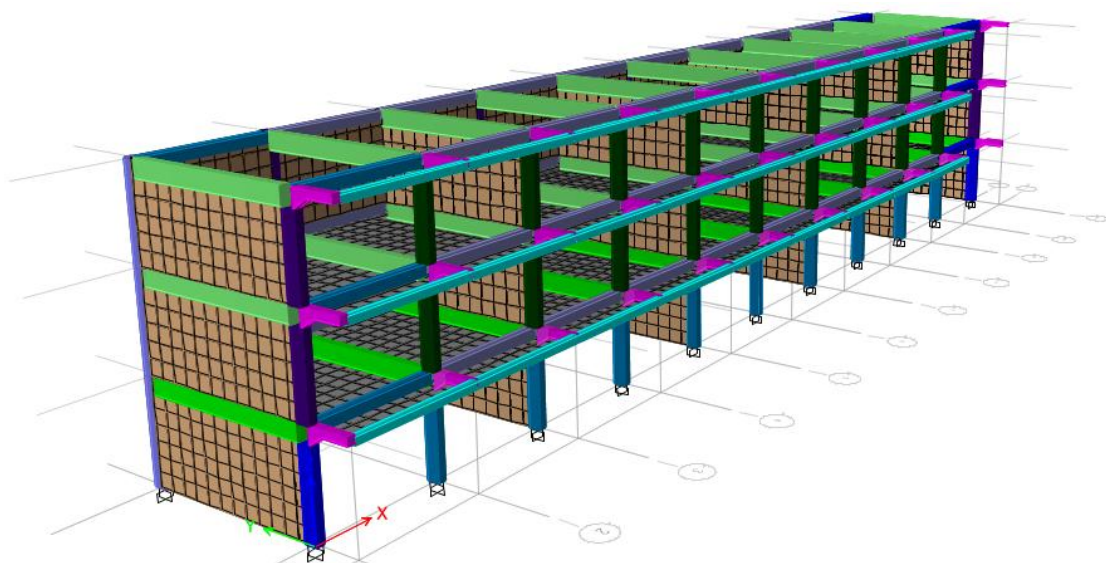
*Dibujo del Módulo 1 Pabellón A en Planta*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18 a partir de la geometría obtenida en el levantamiento in situ. Se modelaron secciones de vigas 0.25×0.50 m y columnas 0.25×0.30 m y 0.25×0.40 m, conforme a los planos estructurales originales.

**Figura 23**

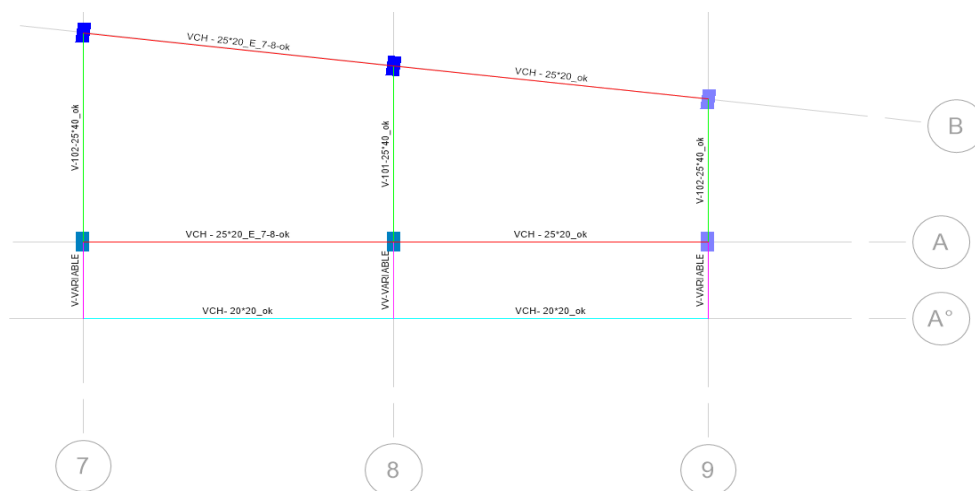
*Dibujo del Módulo 1 Pabellón A en Elevación*



*Nota.* Modelo tridimensional desarrollado en ETABS v18 empleando análisis modal espectral.

**Figura 24**

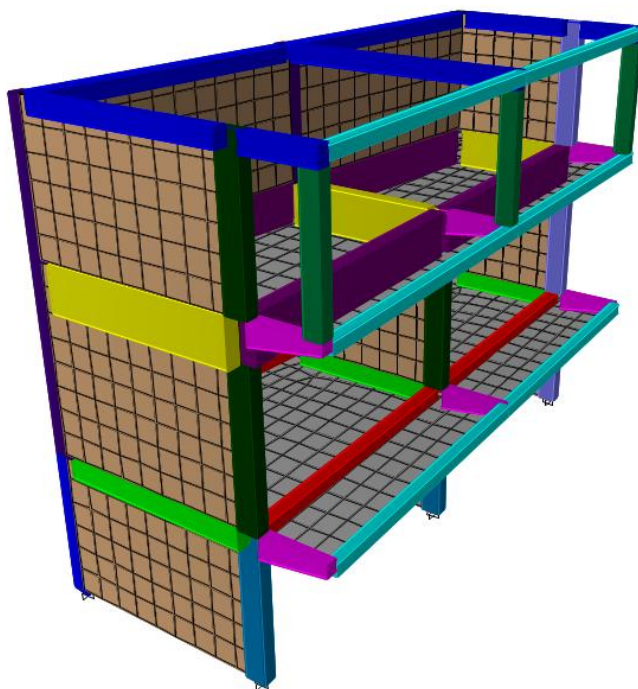
*Dibujo del Módulo 1 Pabellón C en Planta*



*Nota.* Elaborado en ETABS v18, a partir de las dimensiones obtenidas del levantamiento in situ y planos originales. El modelo incorpora secciones de columnas  $0.25 \times 0.40$  m y vigas  $0.25 \times 0.30$  m y  $0.25 \times 0.20$  m, con muros de albañilería confinada modelados como paneles tipo shell de rigidez equivalente.

**Figura 25**

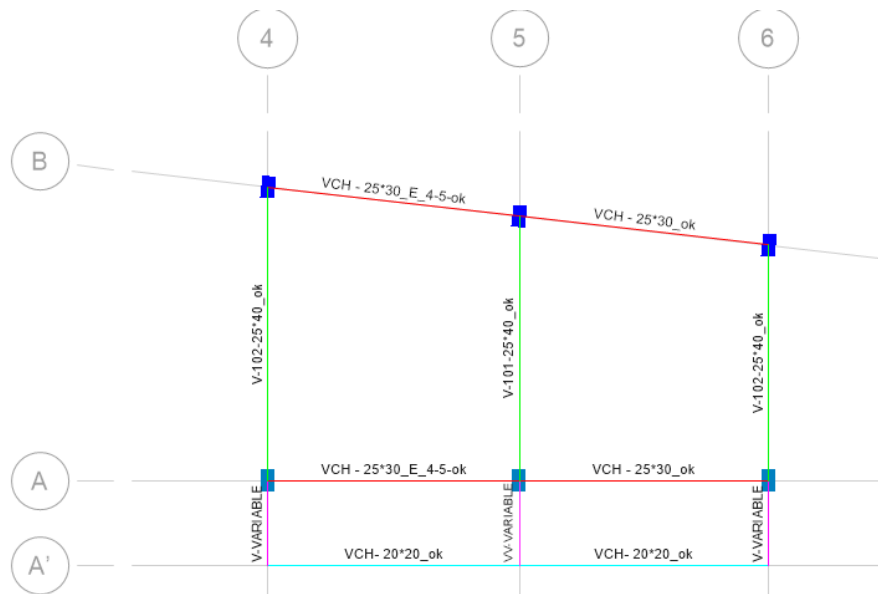
*Dibujo del Módulo 1 Pabellón C en Elevación*



*Nota.* El modelo tridimensional incluye el comportamiento combinado de marcos y muros portantes, con elementos tipo shell para la albañilería y frame para vigas y columnas.

## Figura 26

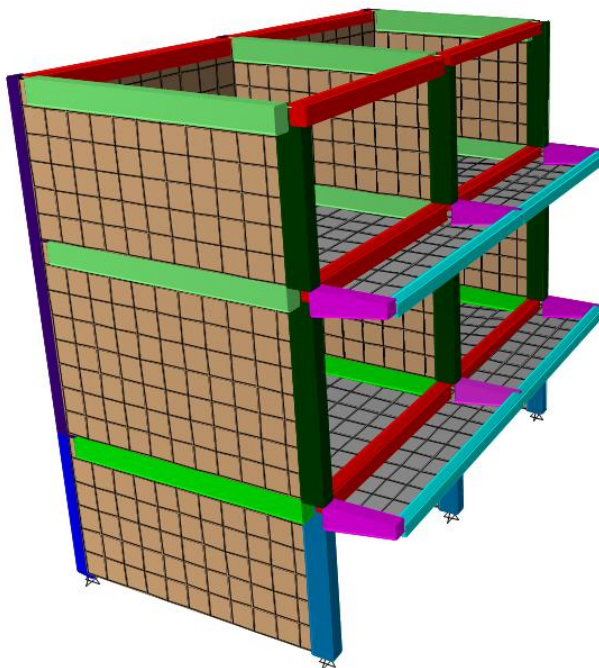
### Dibujo del Módulo 2 Pabellón C en Planta



*Nota:* Elaborado en ETABS v18, considerando secciones de columnas  $0.25 \times 0.40$  m y vigas  $0.25 \times 0.25$  m y  $0.25 \times 0.20$  m. Las losas fueron representadas como diafragmas rígidos con transferencia de carga mediante rigidez de membrana.

## Figura 27

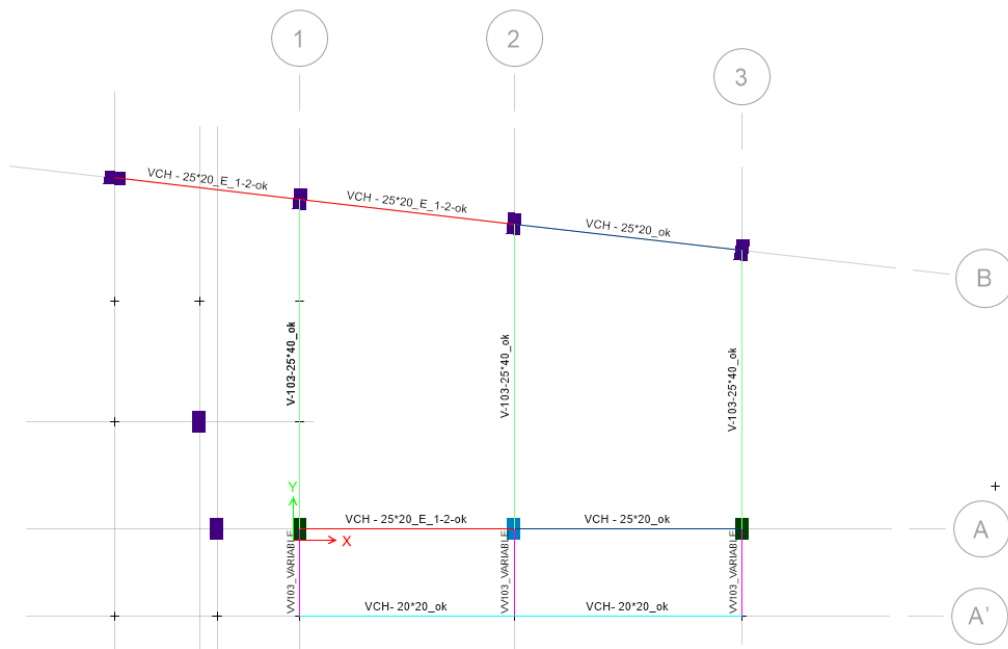
### Dibujo del Módulo 2 Pabellón C en Elevación



*Nota:* El modelo muestra la distribución espacial de elementos estructurales y paneles de albañilería.

**Figura 28**

*Dibujo del Módulo 3 Pabellón C en Planta*

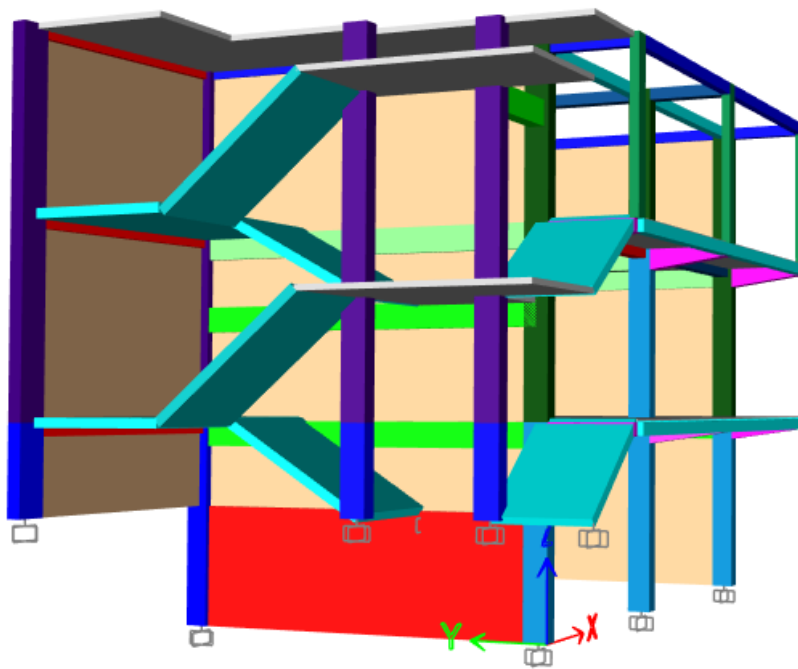


*Nota:* Elaborado en ETABS v18, con columnas de  $0.25 \times 0.40$  m y vigas  $0.25 \times 0.30$  m y  $0.25 \times 0.20$  m.

El modelo incluyó losas, escaleras y muros confinados, aplicando rigidez de diafragma rígido.

**Figura 29**

*Dibujo del Módulo 3 Pabellón C en Elevación*



*Nota:* Modelo completo que integra los elementos estructurales del módulo y las condiciones de borde.

### e) Definición y asignación de cargas:

Previo metrado de cargas de acuerdo a la norma E.020 (MVCS, 2006) se definieron las cargas de diseño, incluyendo:

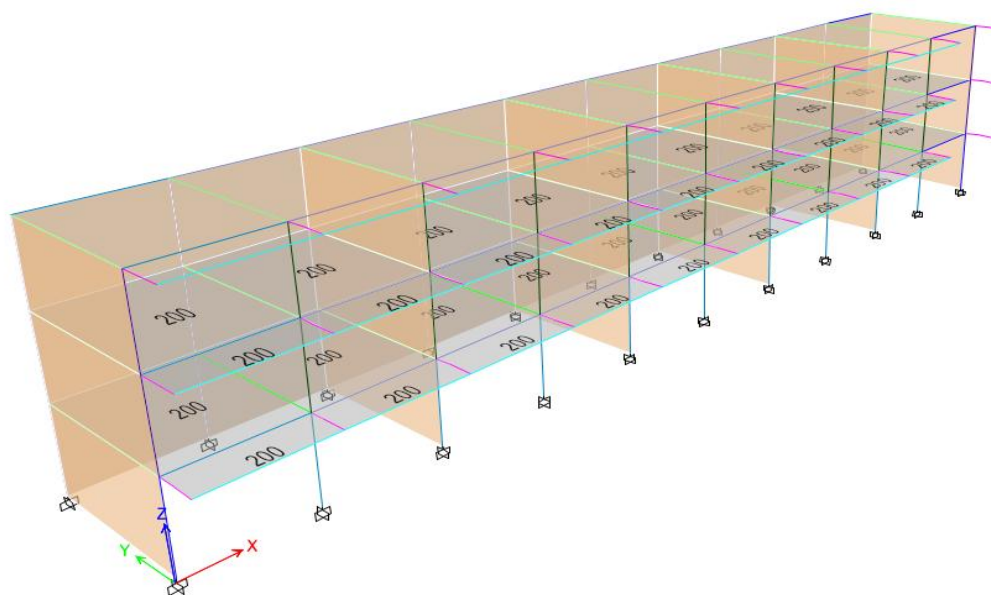
- Carga muerta: Peso propio de los elementos estructurales.
- Carga viva: Considerando que en las categorías A y B se toma el 50% de la carga viva según la norma E.030 (MVCS, 2018).
- Carga de techo: Incluyendo elementos permanentes adicionales.

El metrado de cargas de la edificación por cada pabellón y por cada módulo se detalla en el anexo 12.

Se asignan estas cargas a los diferentes elementos estructurales del modelo.

### Figura 30

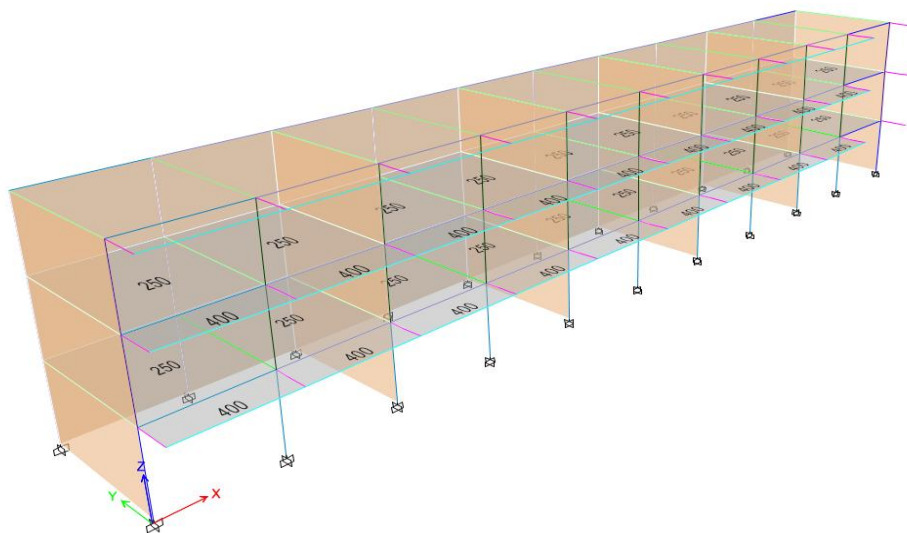
*Carga Muerta en el Pabellón A, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón CM (DEAD) con Self-Weight Multiplier = 1,00 y cargas muertas superpuestas aplicadas como Área Loads sobre losas (shell), según valores mostrados en el modelo (p. ej., 250–400 kg/m²). Diafragmas rígidos por nivel. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Figura 31

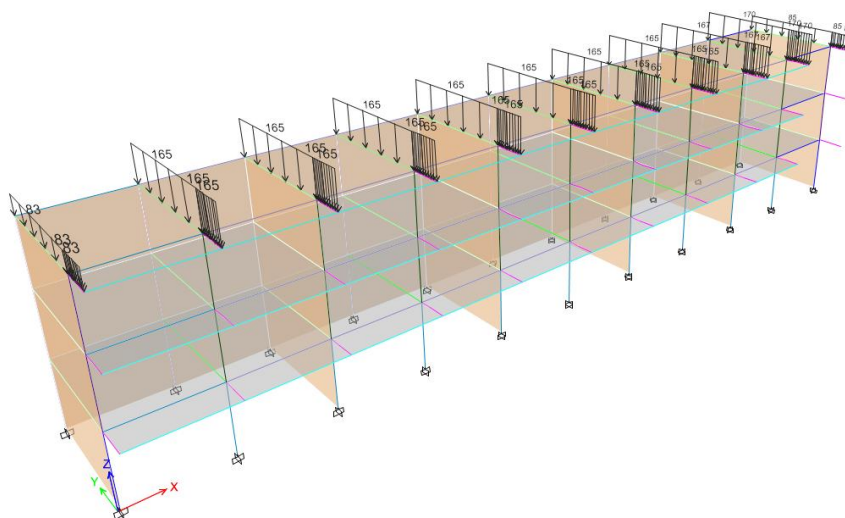
#### *Carga Viva en el Pabellón A, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón CV (LIVE) aplicado como Área Loads sobre losas según el uso (valores mostrados en el modelo, p. ej.,  $\approx 165 \text{ kg/m}^2$ ). Para la masa sísmica se consideró el 25 % de la CV en el Mass Source del modelo (Norma E.030, 2018). Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Figura 32

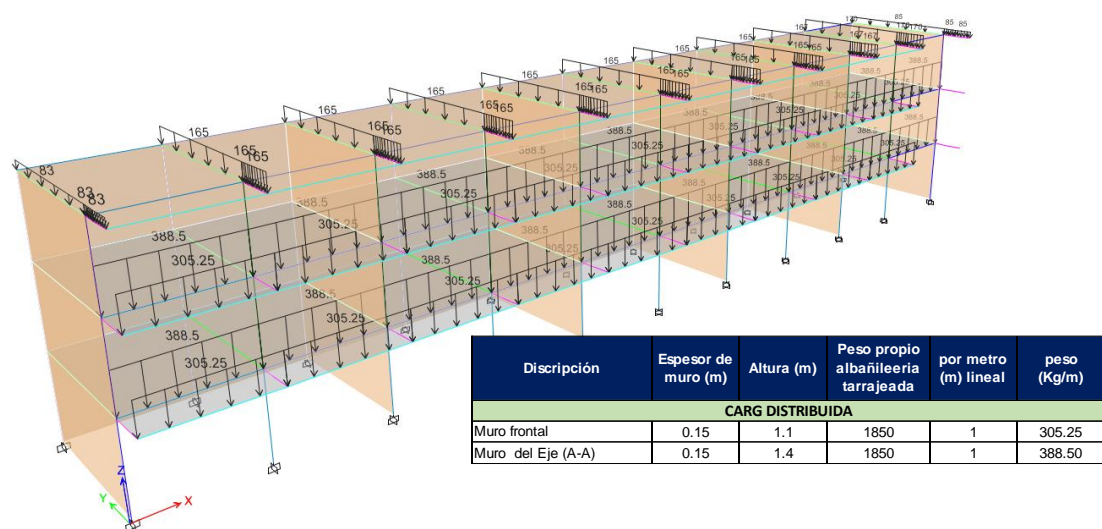
#### *Carga de Techo en el Pabellón A, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón ROOF aplicado como Área Loads en las losas de cubierta (valores mostrados en el modelo, p. ej.,  $\sim 80\text{--}85 \text{ kg/m}^2$  que incluyen acabados ligeros y pendientes). Se mantiene Self-Weight = 1,00 en CM y ROOF solo para sobrecargas de cubierta. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 33**

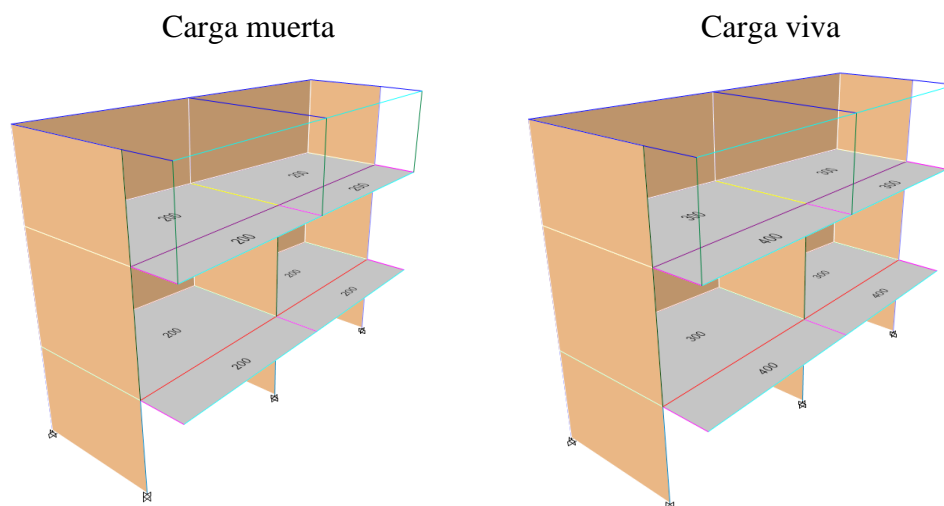
*Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón A, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón UDL aplicado como Uniform Line Loads sobre elementos Frame (vigas), complementando las Área Loads de CM/CV/ROOF. Los valores se muestran en el modelo (p. ej., tramos con 305,25–388,5 en unidades del proyecto). Transferencia de carga de losas mediante diafragmas rígidos. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 34**

*Carga Muerta y Viva en el Pabellón C, Módulo 1*

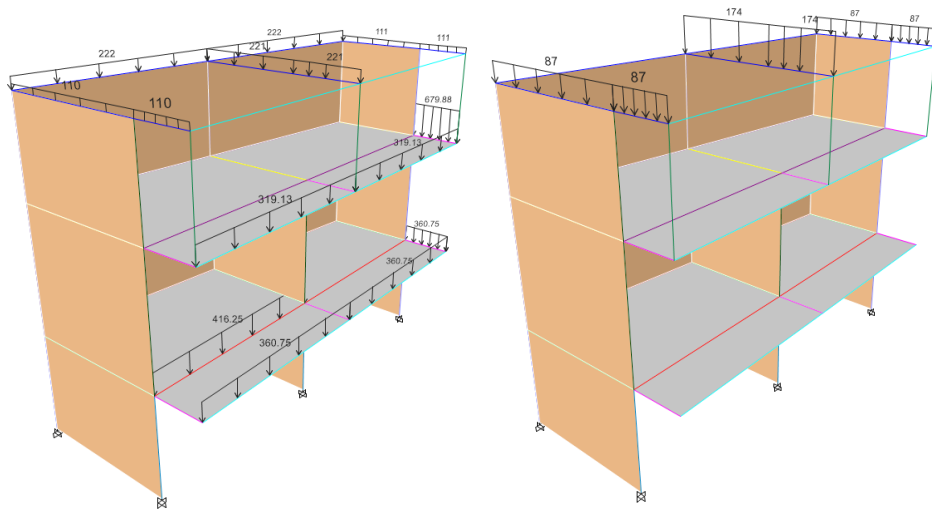


*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón DEAD con Self-Weight Multiplier = 1.00 y cargas muertas superpuestas aplicadas como Área Loads sobre losas (shell) según valores del modelo (p. ej., 250–450 kg/m<sup>2</sup>). Diafragmas rígidos por nivel. Para cargas vivas Patrón LIVE aplicado como Area Loads de uso

(valores mostrados en el modelo, p. ej., 350–450 kg/m<sup>2</sup>). En el Mass Source se consideró el 25% de la CV para el cálculo de masa sísmica (Norma E.030, 2018). Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Figura 35

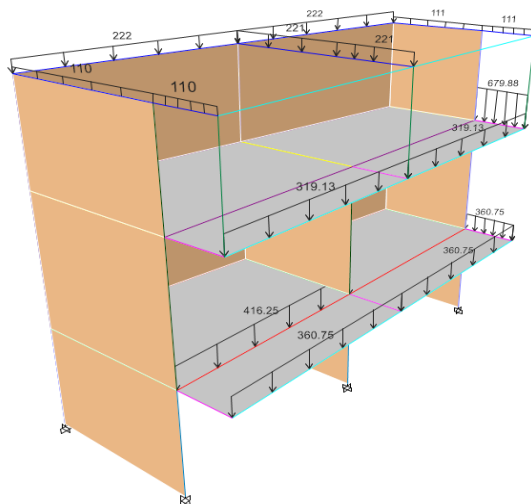
#### *Carga de Techo en el Pabellón C, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón ROOF aplicado como Área Loads en cubierta (valores típicos en el modelo ~87–174 kg/m<sup>2</sup>, que incluyen acabados y pendientes). Se mantiene Self-Weight = 1.00 en DEAD; ROOF representa solo sobrecarga de cubierta. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Figura 36

#### *Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón C, Módulo 1*

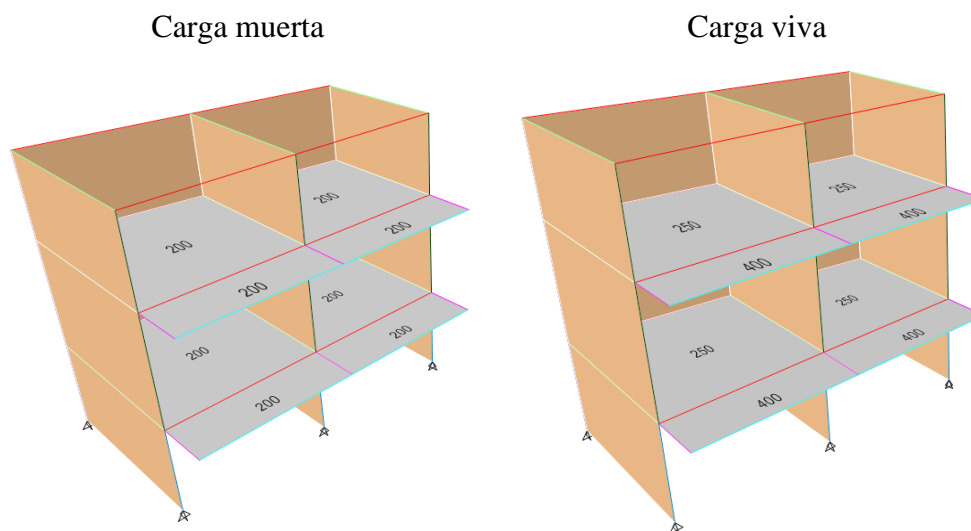


*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón de line loads uniforme (UDL) aplicado sobre elementos Frame (vigas), complementando las Área Loads de DEAD/LIVE/ROOF. Los valores se muestran en el modelo

(p. ej., 110–222 en cubierta y 319.13–679.88 en vigas de entrepiso; unidades del proyecto). Transferencia de carga de losas mediante diafragma rígido. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Figura 37

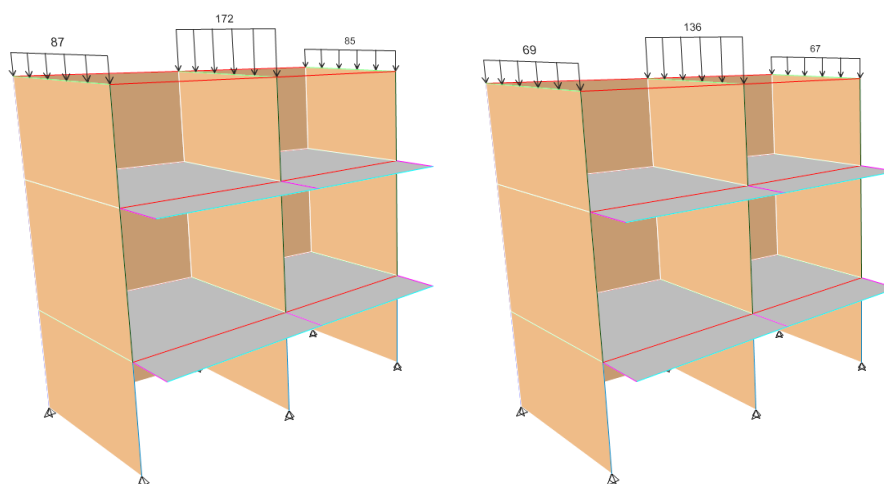
#### *Carga Muerta y Viva en el Pabellón C, Módulo 2*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón DEAD con Self-Weight Multiplier = 1.00 y cargas muertas superpuestas aplicadas como Área Loads sobre losas (shell) según valores del modelo (p. ej., 200–250 kg/m<sup>2</sup>). Diafragmas rígidos por nivel. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Figura 38

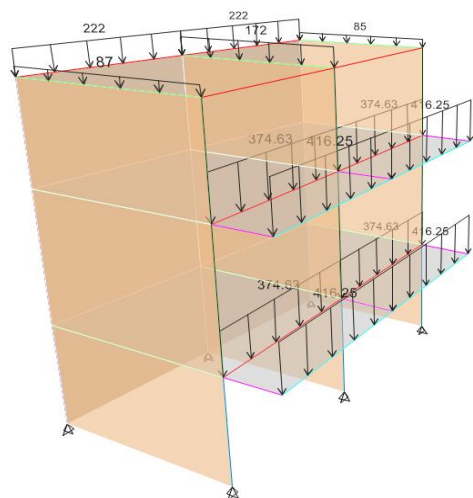
#### *Carga de Techo en el Pabellón C, Módulo 2*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón ROOF aplicado como Área Loads en la cubierta (valores típicos en el modelo ~67–136 kg/m<sup>2</sup>, que incluyen acabados/pendientes). Se mantiene Self-Weight = 1.00 en DEAD; ROOF representa solo sobrecarga de cubierta. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 39**

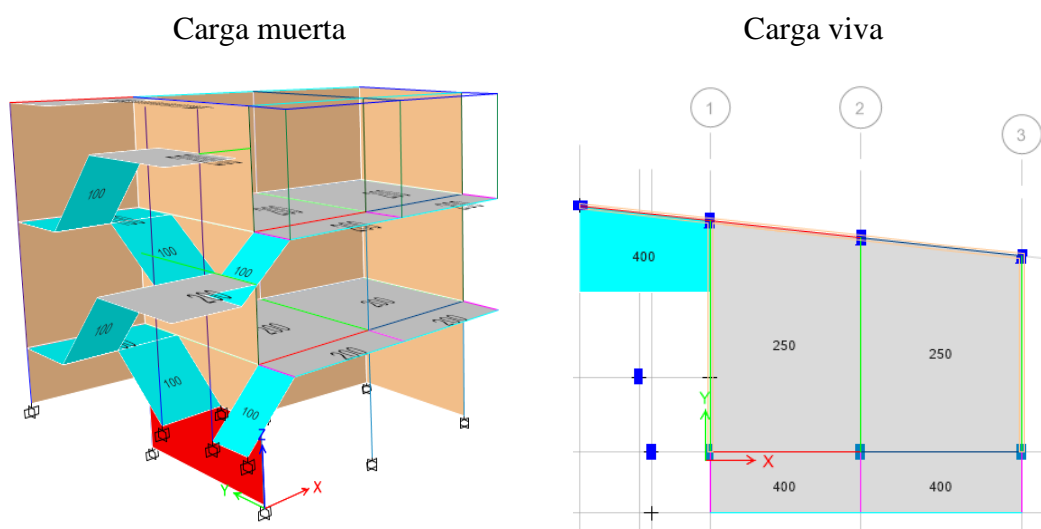
*Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón C, Módulo 2*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón de line loads uniforme (UDL) aplicado sobre elementos Frame (vigas), complementando las Área Loads de DEAD/LIVE/ROOF. Los valores se muestran en el modelo (p. ej., 87–222 en cubierta y  $\approx 374.63$ –416.25 en vigas de entrepiso; unidades del proyecto). Transferencia de carga de losas mediante diafragma rígido. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 40**

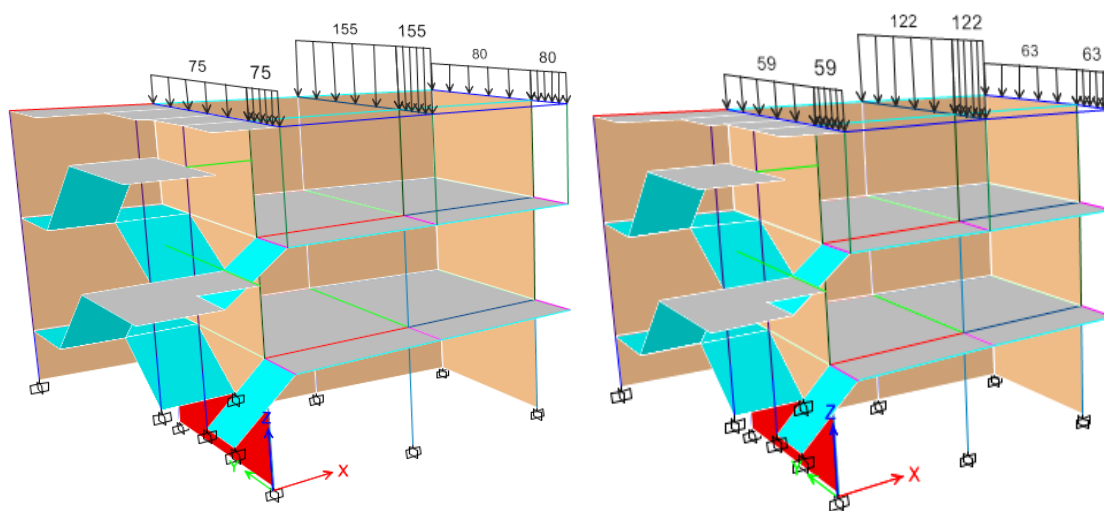
*Carga Muerta y Viva en el Pabellón C, Módulo 3*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón DEAD con Self-Weight Multiplier = 1.00 y cargas muertas superpuestas aplicadas como Área Loads en losas y Surface/Line Loads en escaleras (valores de referencia mostrados en el modelo, p. ej., 100). Diafragmas rígidos por nivel. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 41**

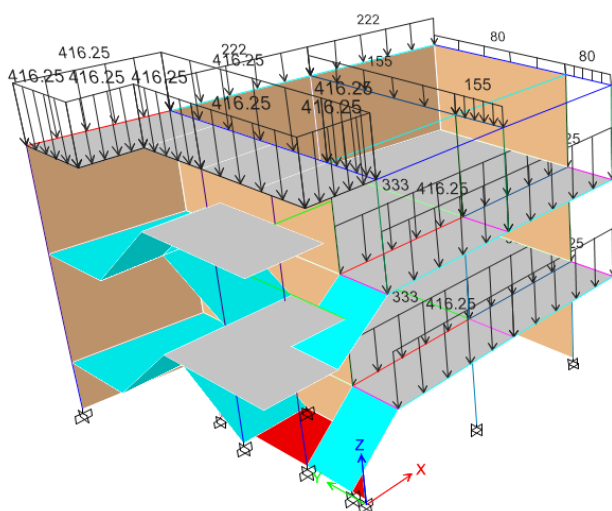
*Carga de Techo en el Pabellón C, Módulo 3*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón ROOF aplicado como Área Loads en cubierta (valores típicos en el modelo ~75–155–80 kg/m<sup>2</sup>, que incluyen acabados y pendientes). ROOF representa solo sobrecarga de cubierta; el peso propio se incluye en DEAD (Self-Weight = 1.00). Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 42**

*Carga Distribuidas en Vigas en el Pabellón C, Módulo 3*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Patrón de line loads uniforme (UDL) sobre elementos Frame (vigas), complementando Area Loads de DEAD/LIVE/ROOF. Valores ilustrativos del modelo: 222 en cubierta; 416.25 y 333 en vigas de entrepiso (unidades del proyecto). Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**f) Condiciones de apoyo y modelado:**

Se colocaron restricciones en la base, modelándola como empotramiento perfecto.

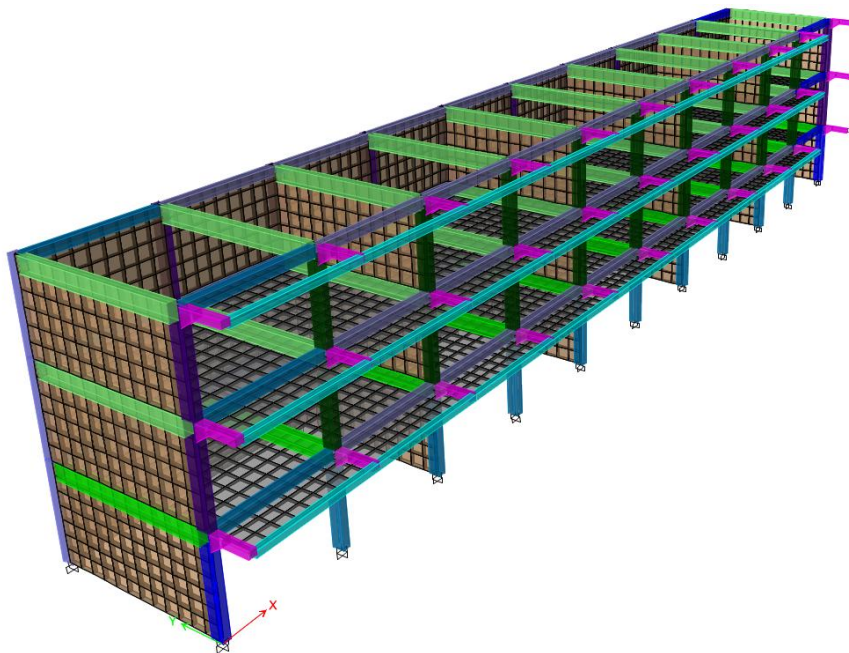
Se creó el brazo rígido para representar la interacción entre el suelo y la estructura.

Se discretizó la estructura, dividiendo los elementos en segmentos para mejorar la precisión del análisis.

Se liberaron los momentos en los muros de albañilería para reflejar su comportamiento real.

**Figura 43**

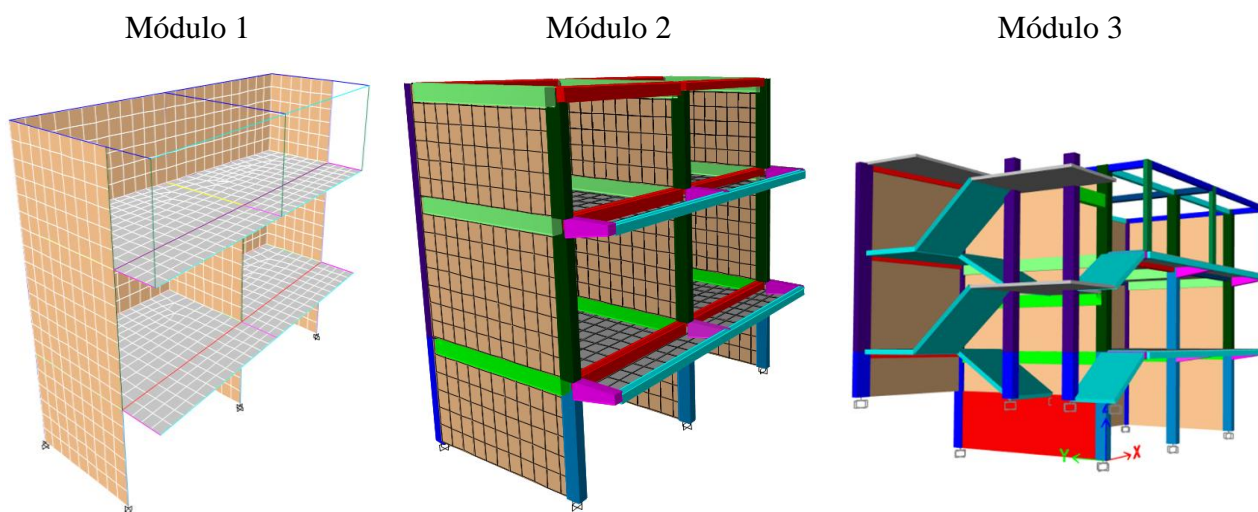
*Discretización del Pabellón A, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Se modelaron los elementos estructurales mediante discretización tridimensional tipo frame-shell, considerando columnas y vigas como elementos lineales (frame elements) y losas y muros confinados como elementos de superficie (shell elements). Los diafragmas se definieron como rígidos y se aplicaron condiciones de borde elásticas. La densidad de mallado se ajustó a una longitud promedio de 0.50 m, garantizando una transferencia uniforme de esfuerzos y desplazamientos en los nudos comunes. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 44**

*Discretización del Pabellón C*



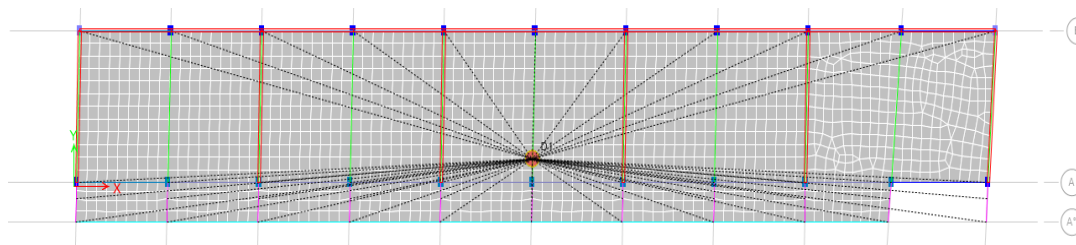
*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Cada módulo fue discretizado con el mismo criterio de modelación frame–shell empleado para el pabellón A, incorporando muros de albañilería confinada con rigidez equivalente y losas tipo diafragma rígido. Las conexiones viga–columna se definieron como empotradas y los apoyos inferiores como resortes elásticos tridimensionales. La discretización adoptada permite capturar adecuadamente las deformaciones diferenciales y los modos de vibración predominantes del sistema estructural. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**g) Creación del diafragma rígido:**

Se definió el diafragma rígido en cada nivel, representando el comportamiento conjunto de las losas en términos de transferencia de cargas horizontales.

**Figura 45**

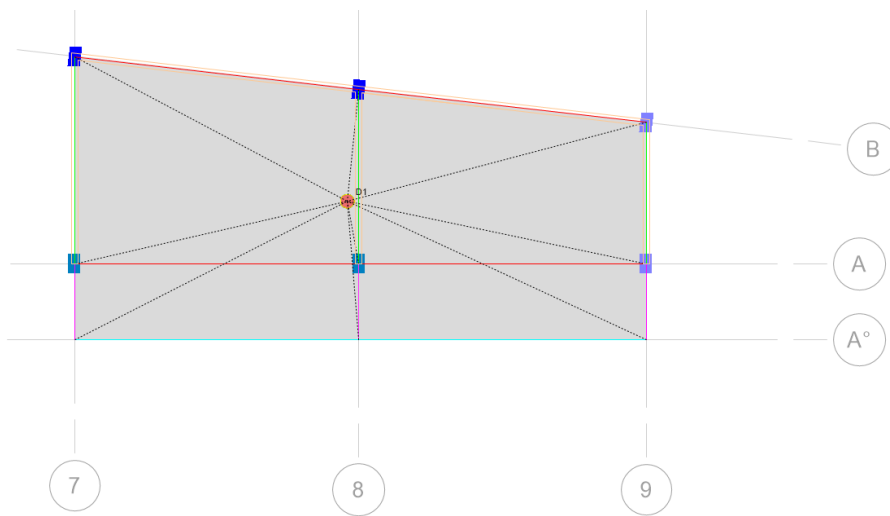
*Diafragma Rígido del Pabellón A, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Asignación mediante Assign → Shell → Diaphragm al diafragma D1 (Rigid) en cada nivel; mallado 0.50 m para compatibilidad frame–shell. Accidental eccentricity:  $\pm 5\%$ . Transferencia in-plane rígida hacia vigas/columnas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 46**

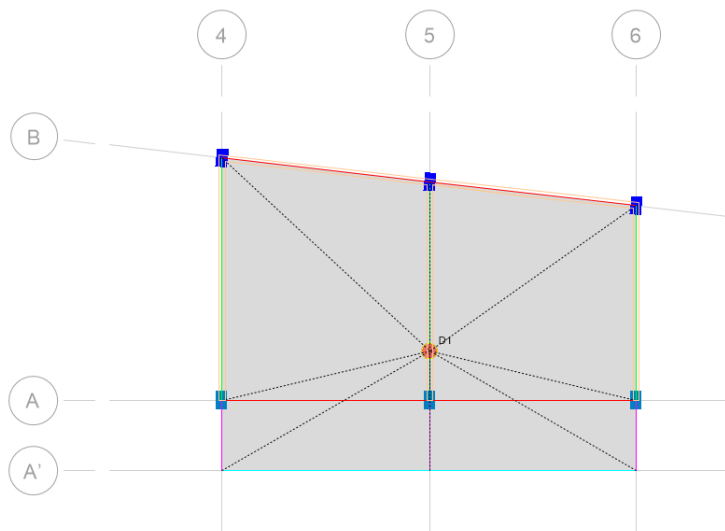
*Diafragma Rígido del Pabellón C, Módulo 1*



*Nota:* Configuración en ETABS v18 con D1 (Rigid) por nivel (Assign → Shell → Diaphragm). Mallado de losas compatible con ejes y paneles de albañilería; aberturas modeladas como null areas donde corresponde.  $\pm 5$  % de excentricidad accidental. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 47**

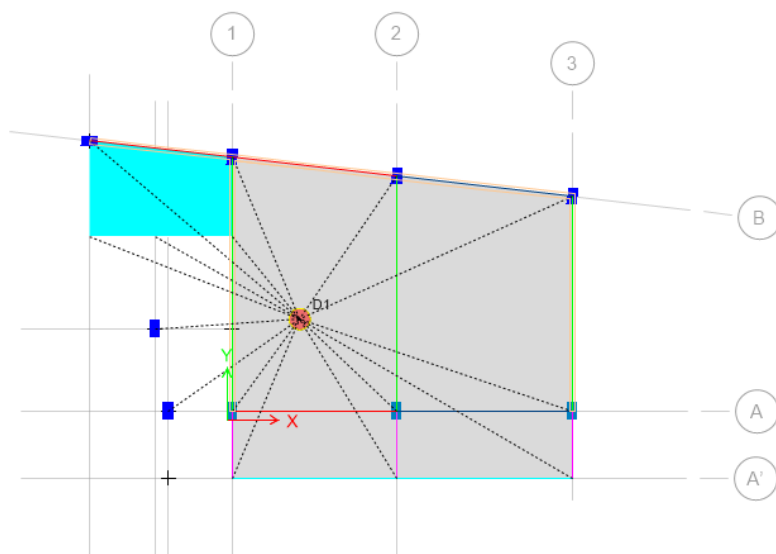
*Diafragma Rígido del Pabellón C, Módulo 2*



*Nota:* Definición en ETABS v18 del diafragma D1 (Rigid) en cada entrepiso (Assign → Shell → Diaphragm). Mallado regular  $\sim 0,50$  m; continuidad del diafragma garantizada en juntas viga-loseta.  $\pm 5$  % de excentricidad accidental. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 48**

*Diafragma Rígido del Pabellón C, Módulo 3*



*Nota:* Modelado en ETABS v18 con D1 (Rigid) por nivel (Assign → Shell → Diaphragm); aperturas por caja de escalera tratadas como openings/null areas para no aportar rigidez in-plane.  $\pm 5$  % de excentricidad accidental. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

#### **h) Análisis sísmico:**

Se configuraron los parámetros de análisis sísmico según la normativa E.030 (MVCS, 2018), incluyendo los espectros de diseño.

Se ejecutó el análisis sísmico, generando resultados como derivaciones, desplazamientos y cortantes.

#### **3.6.6. Modelamiento de la edificación en ETABS 2018 con base flexible: modelo dinámico norma rusa SNIP 2.02.05-87**

El modelamiento de la edificación en ETABS 2018 con base flexible utilizando el modelo dinámico de la norma rusa SNIP 2.02.05-87 permitió incorporar las propiedades dinámicas del suelo al sistema estructural. Este procedimiento incluyó la determinación de coeficientes de rigidez y amortiguación correspondientes a la interacción suelo-estructura (ISE) y su implementación en el software mediante elementos de resorte (Spring).

## **A. Modelamiento general de la edificación**

Se realizó el modelamiento de la edificación tal como, el modelamiento realizado para base empotrada, pero con modificaciones en las condiciones de apoyo, y asignando los coeficientes de rigidez y amortiguación correspondientes a la ISE.

## **B. Determinación de los coeficientes de rigidez y amortiguación**

- Se calcularon los coeficientes de compresión elástica uniforme mediante las ecuaciones del modelo dinámico de la norma SNIP 2.02.05-87 y el modelo de Barkan.
- Se determinaron los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme ( $C_x$ ), compresión elástica no uniforme ( $C_\phi$ ) y desplazamiento elástico no uniforme ( $C_\psi$ ).
- Con estos valores, se calcularon los coeficientes de rigidez para compresión elástica uniforme ( $K_z$ ), desplazamiento elástico uniforme ( $K_x$ ), compresión elástica no uniforme ( $K_\phi$ ) y desplazamiento elástico no uniforme ( $K_\psi$ ).
- Se calcularon las características de amortiguación relativa para vibraciones verticales ( $\xi_z$ ) y horizontales.
- Finalmente, se determinó el momento de inercia de las masas de las zapatas respecto al eje vertical ( $M_\psi$ ), considerando la rotación alrededor del eje Z.

**Figura 49**

*Datos para el Modelo Dinámico de Barkan*

Datos para el Software	
$K_x := C_x \cdot Area = 24180 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	
$K_y := K_x = 24180 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	
	<i>Rigideces</i>
$K_z := C_z \cdot Area = 29362 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	$0.25 \cdot K_z = 7340.491 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$
$K_{\varphi x} := C_{\varphi} \cdot I = 9509 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	
$K_{\varphi y} := C_{\varphi} \cdot I = 9509 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	

*Nota:* Cálculos en Mathcad Prime 8.0 a partir de las expresiones de rigidez de fundación propuestas por Barkan (1962). Se determinaron las constantes elásticas en dirección horizontal y vertical ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ) y las rigideces rotacionales ( $K_{\varphi x}$ ,  $K_{\varphi y}$ ) en función de los coeficientes  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_z$  y  $C_{\varphi}$ , el área de la cimentación y el momento de inercia. Los valores obtenidos ( $K_x = K_y = 24180 \text{ tonnef/m}$ ;  $K_z = 29362 \text{ tonnef/m}$ ;  $K_{\varphi x} = K_{\varphi y} = 9509 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$ ) representan las condiciones de borde aplicadas en el modelo estructural del análisis Pushover en ETABS v18. Fuente: Elaboración propia en Mathcad Prime 8.0.

**Figura 50**

*Datos para el Modelo de la Norma Rusa*

DATOS PARA SOFTWARE			
$K_x = 7516 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	$\cup_2$	$B_x = 19 \text{ tonnef} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}$	
$K_y = 7516 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	$\cup_3$	$B_y = 19 \text{ tonnef} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}$	
$K_z = 10738 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	$\cup_1$	$B_z = 38 \text{ tonnef} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}$	
$K_{\varphi x} = 4027 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	$\mathcal{R}_2$	$B_{\varphi x} = 6 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$	
$K_{\varphi y} = 4027 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	$\mathcal{R}_3$	$B_{\varphi y} = 6 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$	
$K_{\varphi z} = 4027 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	$\mathcal{R}_1$	$B_{\varphi z} = 4 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$	

*Nota:* Elaborado en Mathcad Prime 8.0 con base en la norma SNIP 2.02.05-87, considerando un medio elástico lineal equivalente. Se determinaron las constantes de rigidez ( $K_x = K_y = 7516 \text{ tonnef/m}$ ;  $K_z = 10738 \text{ tonnef/m}$ ;  $K_{\varphi x} = K_{\varphi y} = K_{\varphi z} = 4027 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$ ) y los coeficientes de amortiguamiento ( $B_x = B_y$

= 19 tonnef·s/m;  $B_z = 38$  tonnef·s/m;  $B_{\phi x} = B_{\phi y} = 6$  tonnef·m·s;  $B_{\phi z} = 4$  tonnef·m·s). Estos parámetros fueron incorporados al modelo tridimensional en ETABS v18 para representar la interacción suelo–estructura mediante apoyos elásticos equivalentes. Fuente: Elaboración propia en Mathcad Prime 8.0.

## **C. Justificación del modelo de interacción suelo-estructura**

### **a) Fundamento de selección del modelo**

La interacción suelo–estructura (ISE) se incorporó mediante la formulación dinámica de la norma rusa SNIP 2.02.05-87, complementada con los coeficientes empíricos de Barkan (1962).

La elección de este enfoque mixto se justifica porque ambos modelos han sido ampliamente aplicados en suelos blandos y finos (Condorluicho, 2023) similares a los de la ciudad de Chota, permitiendo representar la flexibilidad del terreno a través de resortes y amortiguadores equivalentes.

Según Gazetas (1991), los modelos de ISE se clasifican en:

- Analíticos simplificados (como Barkan o Novak), adecuados para cimentaciones superficiales y análisis de respuesta global.
- Numéricos avanzados (como elementos finitos 3D), que requieren parámetros dinámicos del suelo difíciles de obtener localmente.

En contextos andinos donde no existen ensayos dinámicos in situ, la norma rusa SNIP 2.02.05-87 proporciona un método semianalítico de calibración directa, que incorpora el módulo de deformación del suelo, la geometría de la zapata y factores de amortiguamiento dependientes de la frecuencia.

## b) Comparación entre modelos de ISE

**Tabla 21**

*Comparación entre modelos de ISE*

<b>Criterio</b>	<b>Modelo Barkan (1962)</b>	<b>Norma Rusa SNIP 2.02.05-87</b>	<b>Aplicación combinada en este estudio</b>
<b>Tipo de formulación</b>	Analítica estática y cuasi-dinámica	Dinámica lineal-viscosa	Dinámica semianalítica
<b>Parámetros requeridos</b>	Módulo de reacción (K), dimensión de zapata	Módulos ( $C_x$ , $C_y$ , $C_z$ , $C_{\varphi}$ ), amortiguamientos ( $\xi_x$ , $\xi_z$ )	Usa ambos para estimar rigideces y amortiguamientos equivalentes
<b>Representación del suelo</b>	Capa elástica homogénea	Medio elástico visco-homogéneo	Capa elástica con amortiguación efectiva
<b>Tipo de cimentación</b>	Zapatas rígidas individuales	Zapatas y bloques de cimentación	Zapatas y cimientos corridos rígidos
<b>Ventajas</b>	Sencillo, parámetros fácilmente obtenibles, aplicable a casos preliminares	Integra rigidez y amortiguamiento, válido para análisis dinámico con ETABS	Adaptado al contexto local; permite calibración cruzada
<b>Desventajas</b>	No considera amortiguamiento ni efectos de frecuencia	Requiere mayor información del suelo y ajuste empírico	Requiere validación de coherencia entre ambos modelos
<b>Usos recomendados</b>	Evaluaciones estáticas, comparativas	Evaluaciones dinámicas lineales	Estudios de desempeño sísmico con ISE

*Nota.* Formulado de acuerdo a la revisión de la normatividad, libros y tesis acerca de la aplicación de la ISE en el modelamiento de edificaciones (Barkan y Drashevskaya, 1962), (Norma rusa SNIP 2.02.05-87, 1987), (Condorluicho, 2023).

## c) Aplicación combinada y justificación local

El presente trabajo integra ambos modelos para representar la respuesta del sistema suelo–estructura de forma más realista:

Barkan (1962) se empleó para la estimación inicial de los módulos elásticos de reacción vertical y horizontal a partir de la presión admisible del terreno y las dimensiones de las zapatas.

SNIP 2.02.05-87 se utilizó para calibrar los coeficientes dinámicos de rigidez y amortiguamiento ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ,  $K_{\phi x}$ ,  $K_{\phi y}$ ) aplicados en ETABS como springs lineales y rotacionales.

Los parámetros obtenidos se validaron mediante comparación de sensibilidad:

- El modelo SNIP redujo las cortantes basales en ~10% – 15% respecto al modelo Barkan,
- y aumentó los desplazamientos máximos en 12% – 18%, lo que indica una representación más flexible del terreno.

Este resultado confirma que la norma rusa es más conservadora en términos de seguridad estructural y mejor reproduce la respuesta dinámica del suelo arcilloso de Chota, caracterizado por módulos de deformación bajos ( $E_s$  45–60 MPa) y alta amortiguación ( $\xi$  8 %–10 %).

**Tabla 22**

*Comparación de los coeficientes de rigidez y amortiguación*

Categoría	Parámetro	Barkan	SNIP	Relación SNIP_Barkan	Delta % SNIP/Barkan	Datos para el análisis
Rigidez traslacional	$K_x$ (tonf/m)	24180	7516	0.3108	-68.92	24180
Rigidez traslacional	$K_y$ (tonf/m)	24180	7516	0.3108	-68.92	24180
Rigidez traslacional	$K_z$ (tonf/m)	29362	10738	0.3657	-63.43	29362
Rigidez rotacional	$K_{\phi x}$ (tonf·m/rad)	9509	4027	0.4235	-57.65	9509
Rigidez rotacional	$K_{\phi y}$ (tonf·m/rad)	9509	4027	0.4235	-57.65	9509
Rigidez rotacional	$K_{\phi z}$ (tonf·m/rad)	7340.49	4027	0.5486	-45.14	7340.49
Amortiguamiento viscoso	$B_x$ (tonf·s/m)	0	19	inf	inf	19

Categoría	Parámetro	Barkan	SNIP	Relación SNIP_Barkan	Delta % SNIP/Barkan	Datos para el análisis
Amortiguamiento viscoso	$B_y$ (tonf·s/m)	0	19	inf	inf	19
Amortiguamiento viscoso	$B_z$ (tonf·s/m)	0	38	inf	inf	38
Amortiguamiento rotacional	$B_{\phi x}$ (tonf·m·s)	0	6	inf	inf	6
Amortiguamiento rotacional	$B_{\phi y}$ (tonf·m·s)	0	6	inf	inf	6
Amortiguamiento rotacional	$B_{\phi z}$ (tonf·m·s)	0	4	inf	inf	4

*Nota.* La tabla muestra la comparación de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento obtenidos mediante los modelos de Barkan (1962) y SNIP 2.02.05-87, evidenciando que los valores de rigidez traslacional y rotacional del modelo SNIP son entre 45 % y 69 % menores que los calculados con Barkan. Esta reducción obedece a que el modelo ruso considera la influencia del módulo de elasticidad del suelo, el factor de Poisson y las dimensiones efectivas de la zapata bajo un enfoque semiespacial, lo que genera una representación más flexible de la interacción suelo-estructura. En cuanto al amortiguamiento, el modelo SNIP incorpora coeficientes viscosos equivalentes que no están contemplados en Barkan, permitiendo una modelación dinámica más realista frente a vibraciones sísmicas y amortiguamiento radiacional del terreno. Siendo así, se han integrado las ventajas de cada modelo para el análisis en esta tesis.

## D. Implementación en ETABS 2018

### Condiciones de apoyo y modelado

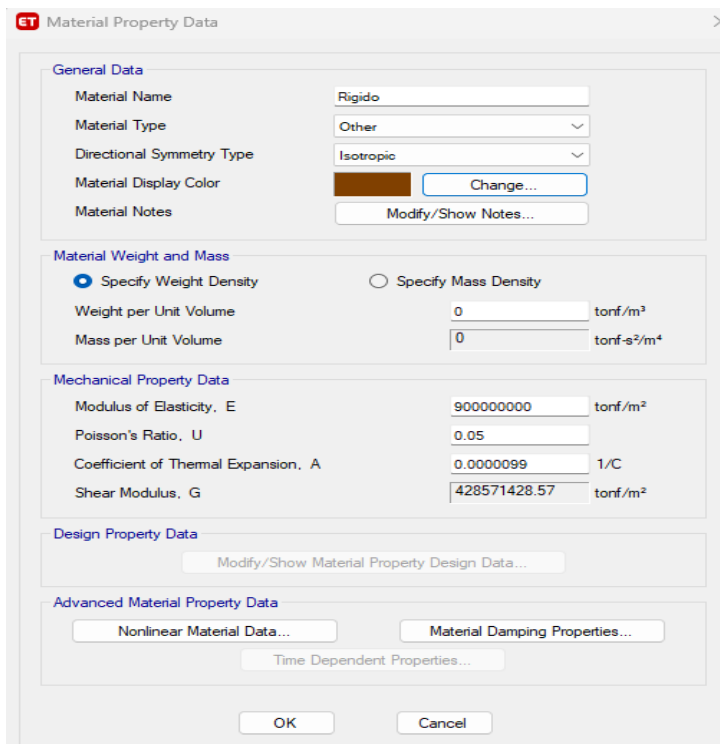
- No se colocan restricciones en la base, modelándola como base flexible y no como empotramiento perfecto.

### Definición de materiales y secciones:

- Se definió el material de las zapatas como rígido.
- Se asignaron las secciones correspondientes para zapatas y cimientos corridos.

**Figura 51**

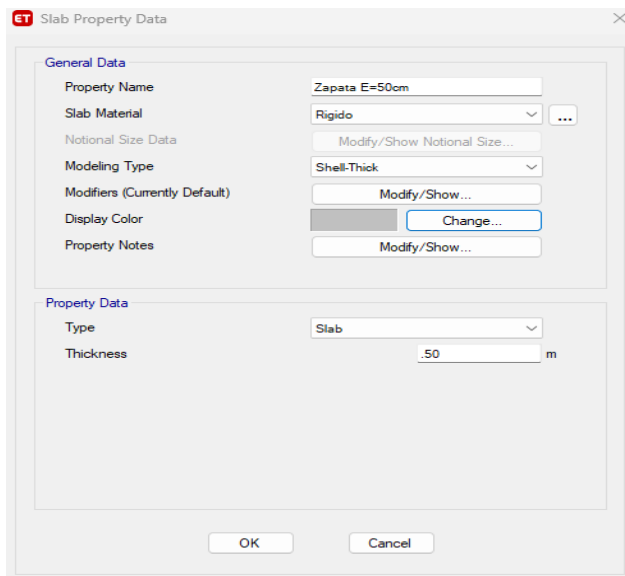
*Asignación de Material de la Zapata (Infinitamente Rígido)*



*Nota:* Configuración realizada en ETABS v18. Se definió un material tipo Isotropic con módulo de elasticidad  $E = 9\,000\,000\,000$  tonf/m<sup>2</sup>, coeficiente de Poisson  $\nu = 0.05$ , módulo cortante  $G = 4\,285\,714\,285.7$  tonf/m<sup>2</sup> y coeficiente de dilatación térmica  $\alpha = 0.000009$  1/°C. El peso específico fue desactivado ( $\gamma = 0$  tonf/m<sup>3</sup>) para evitar duplicidad de cargas. Este material fue empleado para representar las zapatas como elementos de rigidez infinita, garantizando compatibilidad de deformaciones en la interfaz suelo–estructura. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 52**

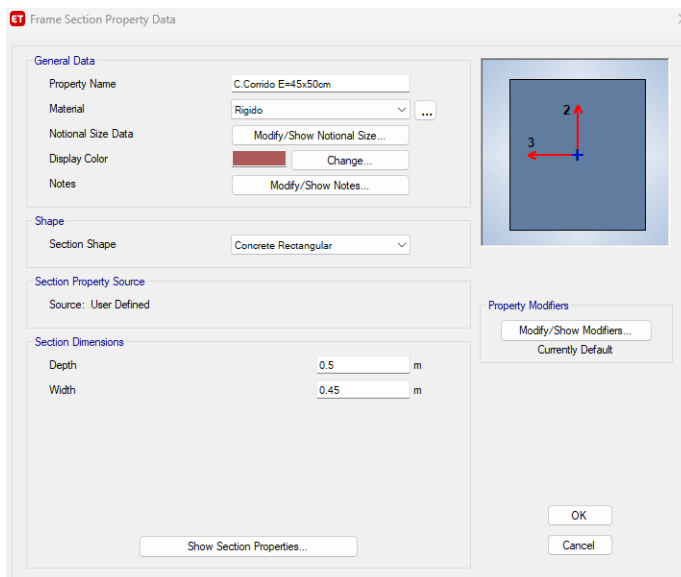
*Asignación de las Secciones de Zapatas*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18 mediante la creación de propiedades tipo Slab (Shell-Thick) asignadas al material “Rígido”. Se especificó un espesor uniforme  $E = 0.50$  m. Estas zapatas se modelaron como elementos de superficie (shell) rígidos, con comportamiento de diafragma local en su plano. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 53**

*Asignación de Cimientos Corridos*

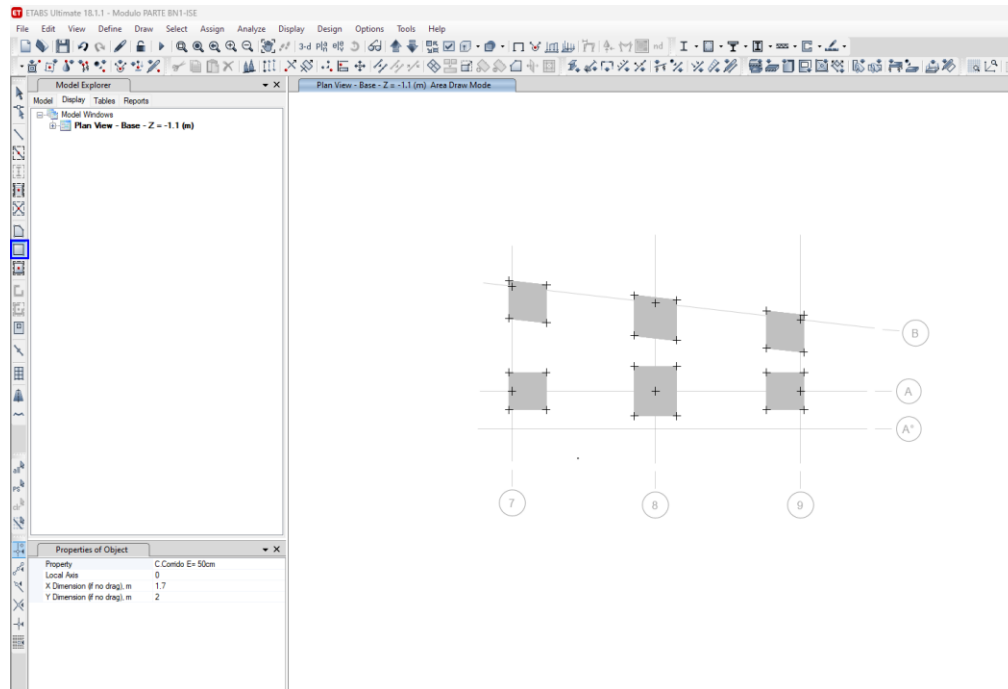


*Nota:* Configurado en ETABS v18 mediante propiedades tipo Frame Section (Concrete Rectangular) con dimensiones  $b = 0.45$  m y  $h = 0.50$  m, material “Rígido”. Este tipo de sección permitió representar los

elementos de cimentación corrida como vigas de amarre, garantizando la transmisión de cargas axiales y momentos entre zapatas adyacentes. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## Figura 54

### *Dibujo de Zapatas con sus Dimensiones*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Se muestran las zapatas modeladas como áreas rígidas en la base del sistema estructural. Estas áreas representan la interfaz de apoyo del sistema de cimentación para el análisis con interacción suelo–estructura, según el modelo SNIP 2.02.05-87. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### **Asignación de propiedades de masa:**

- Se establecieron las propiedades de las masas en los centroides de las zapatas y cimientos corridos.

### **Modificación de apoyos:**

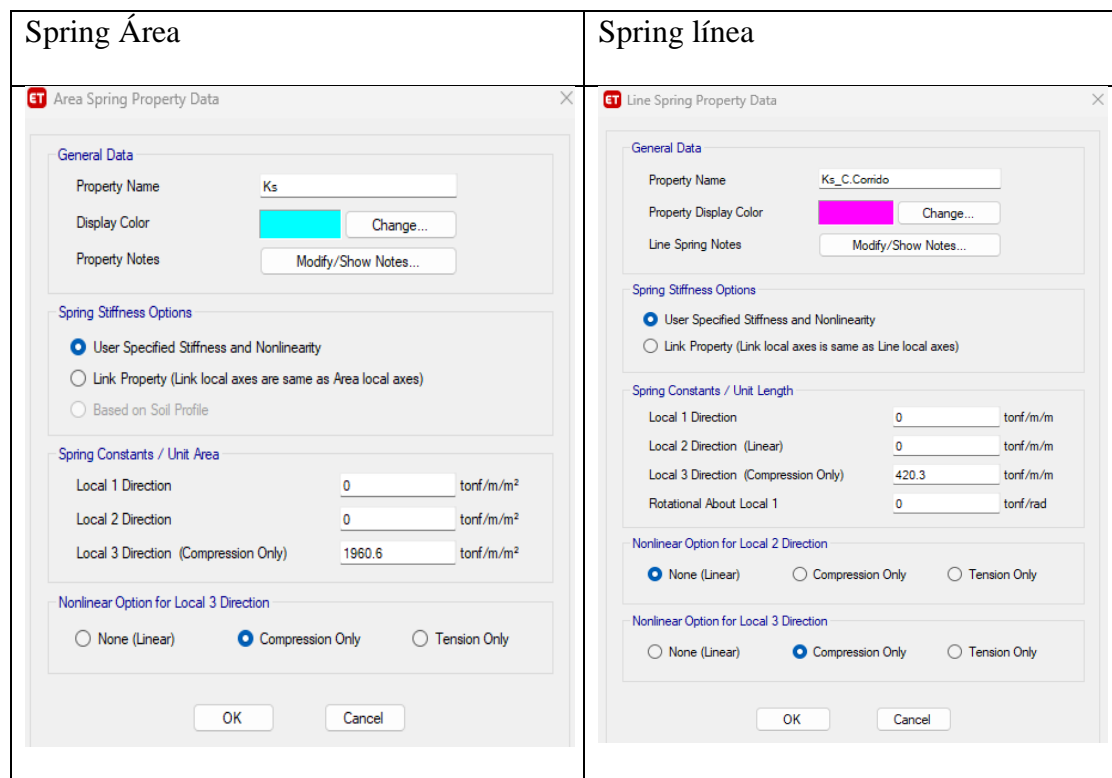
- Se ajustaron los apoyos de las zapatas y cimientos corridos para incluir la rigidez del suelo, utilizando los coeficientes calculados.
- No se restringió la rotación alrededor del eje Z, ya que el modelo permite vibraciones rotacionales.

## Definición de elementos de resorte (Spring):

- Los coeficientes de rigidez y amortiguación se introdujeron en el programa ETABS 2018 a través de elementos de resorte asignados a las bases.
- Se definen Spring de área y Spring de línea.

**Figura 55**

*Definición de Spring en ETABS*



*Nota:* Configuración realizada en ETABS v18 para representar la interacción suelo–estructura mediante resortes de área y de línea. En el Spring Área (Ks) se especificó una rigidez vertical de 1960.6 tonf/m<sup>2</sup>, con comportamiento Compression Only, asignado a las zapatas modeladas como elementos tipo shell. En el Spring Línea (Ks\_C. Corrido) se definió una rigidez vertical de 4203.3 tonf/m, aplicada a los cimientos corridos tipo frame, también con restricción Compression Only. Ambas propiedades fueron establecidas mediante la opción User Specified Stiffness and Nonlinearity, de acuerdo con los valores obtenidos del modelo de suelo elástico equivalente propuesto por la norma SNIP 2.02.05-87. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

Se asigna el módulo de basalto vertical.

$$K_{S_{Corrido}} = 2 * q(admisible) * Base\ c.\ corrido \quad (71)$$

Se asigna el módulo de basalto horizontal.

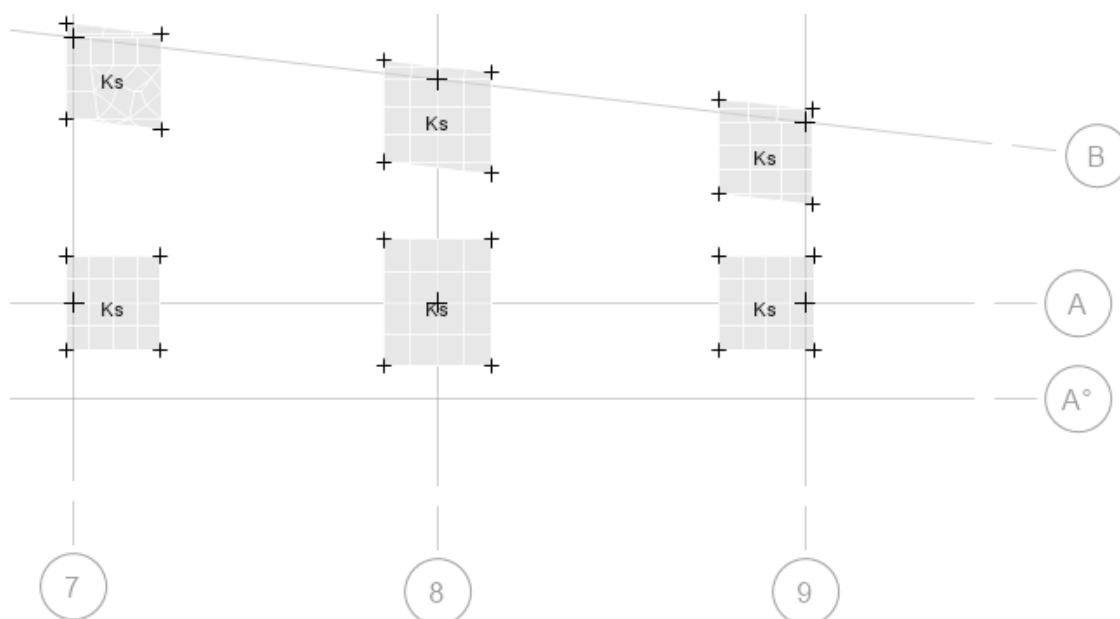
$$Kh_{Corrido} = 2 * q(admisible) * (Altura\ del\ c.\ corrido/2) \quad (72)$$

### Discretización de la cimentación:

- Los nudos de la base de las columnas deben coincidir con los nudos de la discretización.

**Figura 56**

#### *Discretización de las Zapatas*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Las zapatas fueron discretizadas como elementos tipo shell-thick de material rígido, con subdivisión automática de malla ~0.50 m. Esta configuración permite la asignación de resortes de área equivalentes (modelo Barkan y SNIP 2.02.05-87) para representar la interacción suelo–estructura. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

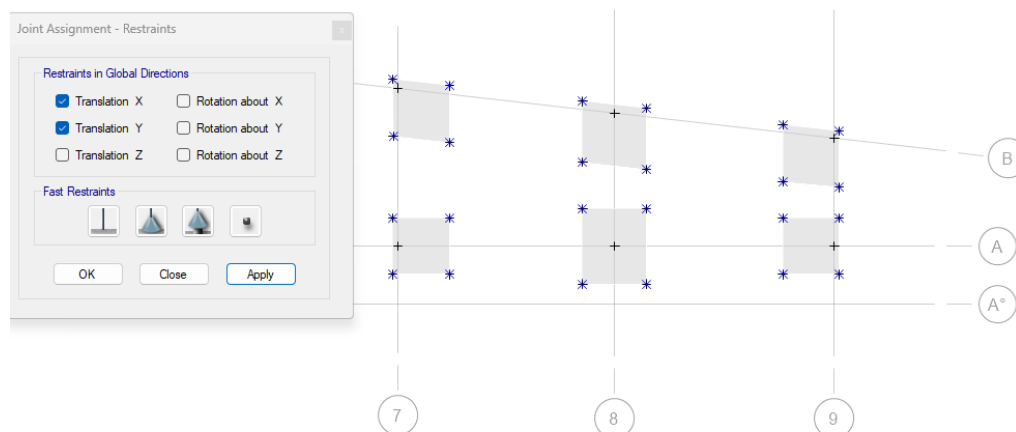
### Liberación de nudos y asignación de restricciones:

- Se liberan los nudos de la base y se asignan las restricciones traslacionales para este método.
- En la cimentación se requieren tres restricciones: dos traslacionales y una restricción vertical. En esta última no se asigna un valor infinito, sino que se

considera la reacción del suelo, lo que permite que la estructura tienda a deformarse o asentarse de acuerdo con las condiciones reales del terreno.

**Figura 57**

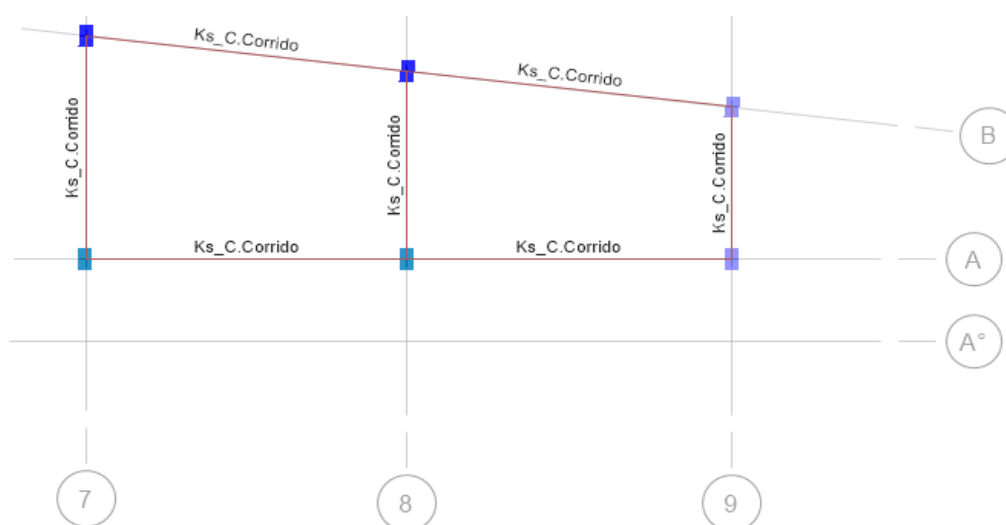
*Liberación de Nudos y Asignación de Restricciones*



*Nota:* Configuración efectuada en ETABS v18 mediante el comando Assign → Joint → Restraints, habilitando traslaciones X, Y y Z y liberando rotaciones según el comportamiento real de fundación. Esta definición evita sobre-rigidizar los apoyos y garantiza una respuesta compatible con las condiciones elásticas del suelo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 58**

*Vista Luego de la Asignación de Springs y Restricciones*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Se observa la ubicación de los resortes de área (Ks) en zapatas y resortes de línea (Ks\_C. Corrido) en cimientos corridos, definidos como Compression Only. Los valores de

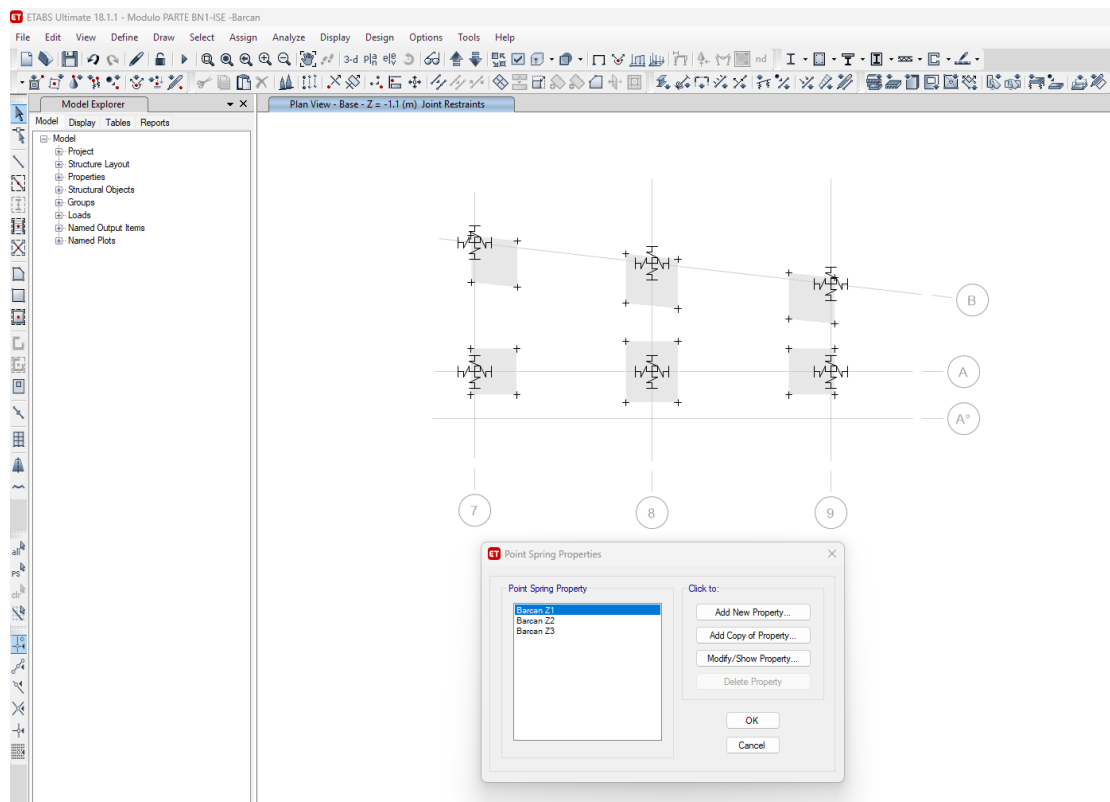
rigidez se derivaron del modelo de fundación elástica equivalente (SNIP 2.02.05-87). Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Definición del modelo dinámico de interacción sísmica

- Se ha considerado la incorporación del modelo dinámico de Barkan y de la norma Rusa, cuyos datos se calcularon en base a las propiedades del suelo en una hoja MathCad primed 10, obteniendo los siguientes resultados que se colocan en el programa ETABS:

**Figura 59**

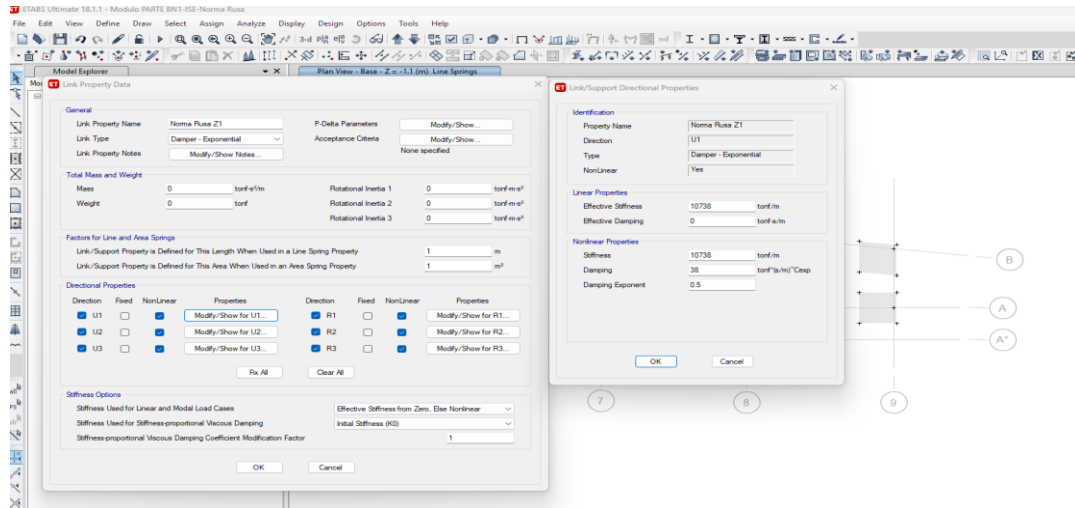
#### *Asignación de los Datos del Modelo Barkan a la Cimentación*



*Nota:* En ETABS v18 se implementaron point springs con propiedades verticales  $K_z = 29\,362$  tonf/m y rotacionales  $K_\phi = 9\,509$  tonf·m. Estos parámetros, calculados en Mathcad Prime 8.0, representan un suelo semi-elástico de respuesta lineal. La definición se realizó mediante Assign → Joint → Spring Properties. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 60**

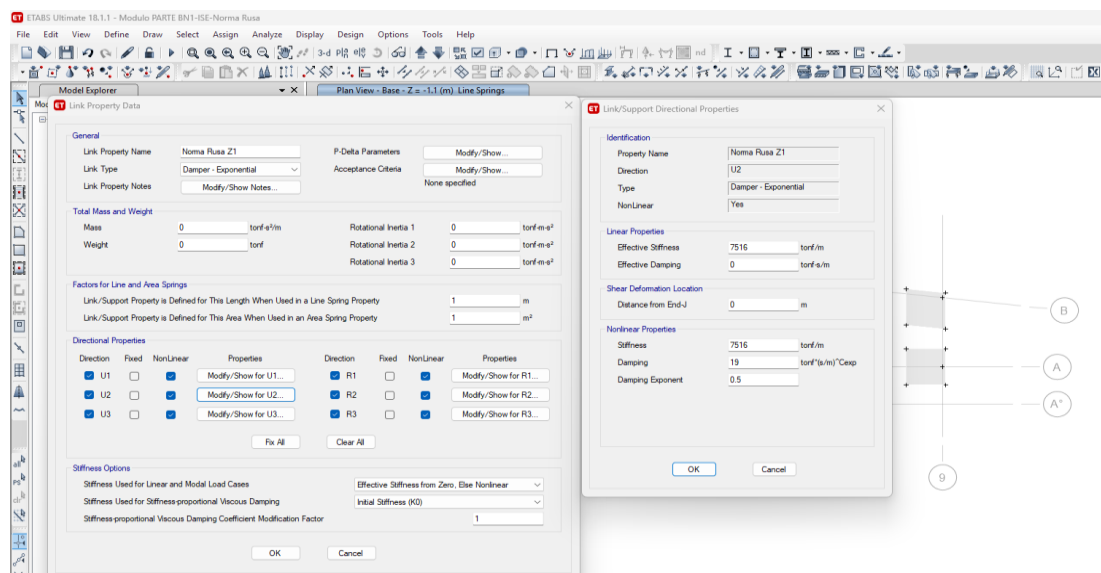
*Propiedades asignadas al modelo de interacción suelo-estructura según la norma rusa SNIP 2.02.05-87, dirección Z (U1)*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Se definió una rigidez vertical  $K_z = 10\,738$  tonf/m y un amortiguamiento viscoso  $B_z = 38$  tonf·s/m con ley Damper = Exponential. Esta propiedad representa la respuesta vertical no lineal del suelo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 61**

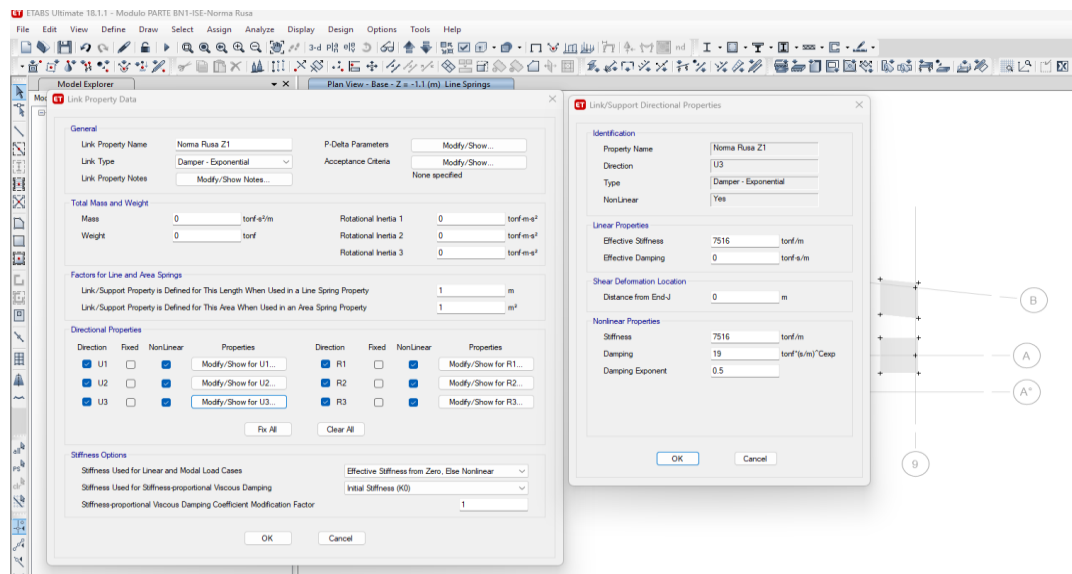
*Propiedades de interacción en dirección X (U2) según SNIP 2.02.05-87*



*Nota:* Configuración en ETABS v18 con rigidez  $K_x = 7\,516$  tonf/m y amortiguamiento  $B_x = 19$  tonf·s/m, modelo Damper Exponential, exponente = 0.5. Este resorte representa el comportamiento horizontal longitudinal del suelo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 62**

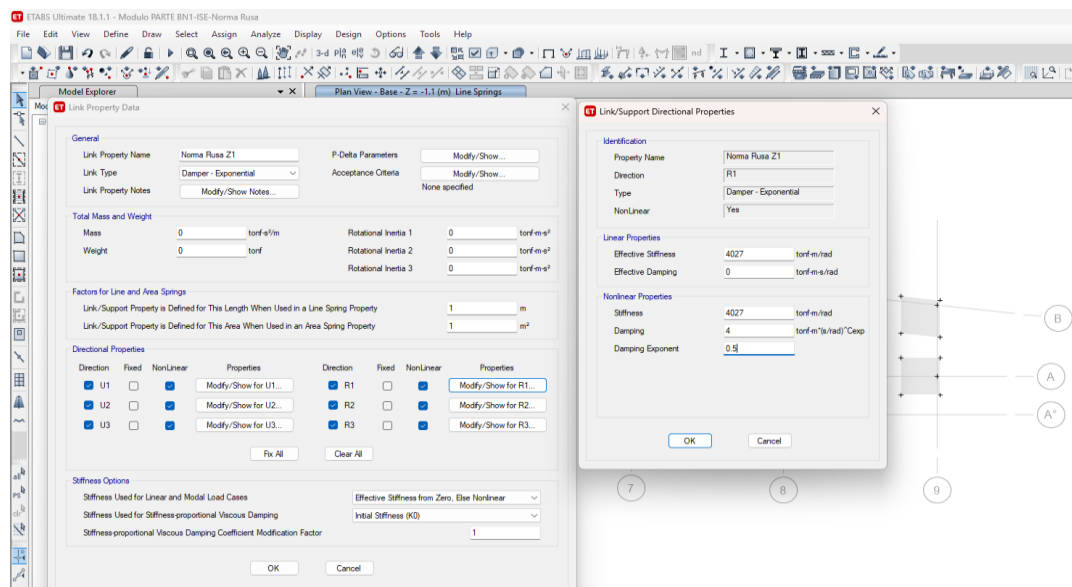
*Propiedades de interacción en dirección Y (U3) según SNIP 2.02.05-87*



*Nota:* Configuración análoga a la dirección X, con rigidez  $K_y = 7\,516$  tonf/m y amortiguamiento  $B_y = 19$  tonf-s/m, modelo Damper Exponential. Representa la rigidez lateral transversal del suelo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 63**

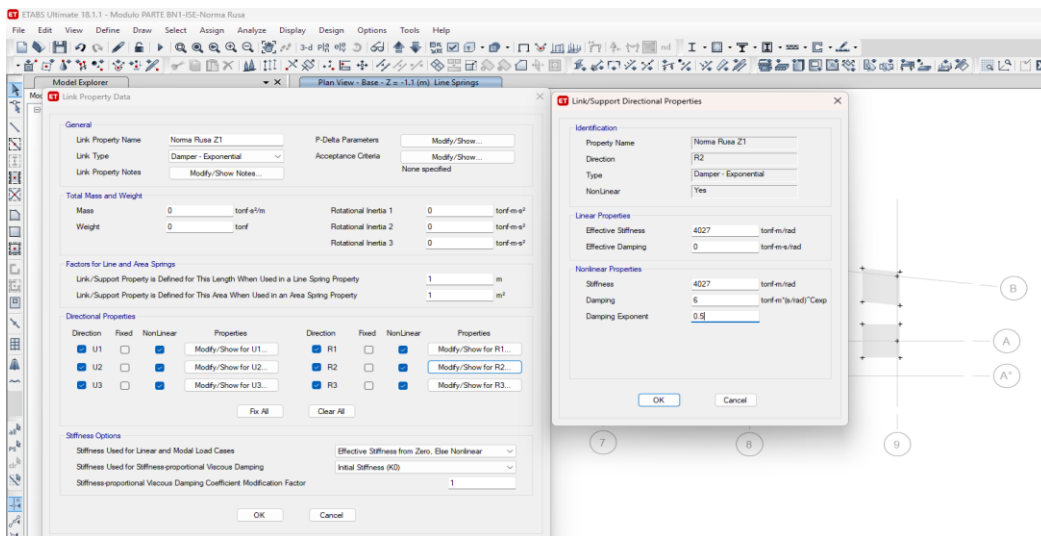
*Amortiguamiento rotacional R1 alrededor del eje Z según SNIP 2.02.05-87*



*Nota:* Definido en ETABS v18 con rigidez rotacional  $K_{\phi z} = 4\,027$  tonf-m/rad, amortiguamiento  $B_{\phi z} = 4$  tonf-m-s, exponente = 0.5. Representa la disipación torsional vertical en la interfaz zapata-suelo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 64**

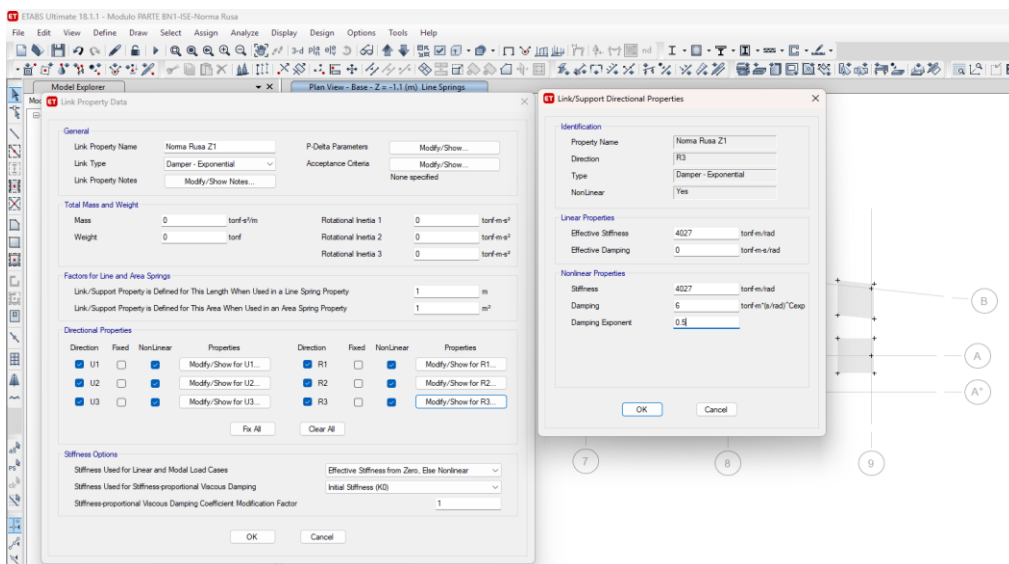
*Amortiguamiento rotacional R2 alrededor del eje Z según SNIP 2.02.05-87*



*Nota:* Configuración en ETABS v18 con parámetros  $K_{\phi z} = 4\,027 \text{ tonf}\cdot\text{m}/\text{rad}$  y  $B_{\phi z} = 6 \text{ tonf}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ , modelo Damper Exponential. Este resorte simula la rotación lateral transversal. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 65**

*Amortiguamiento rotacional R3 alrededor del eje Z según SNIP 2.02.05-87*



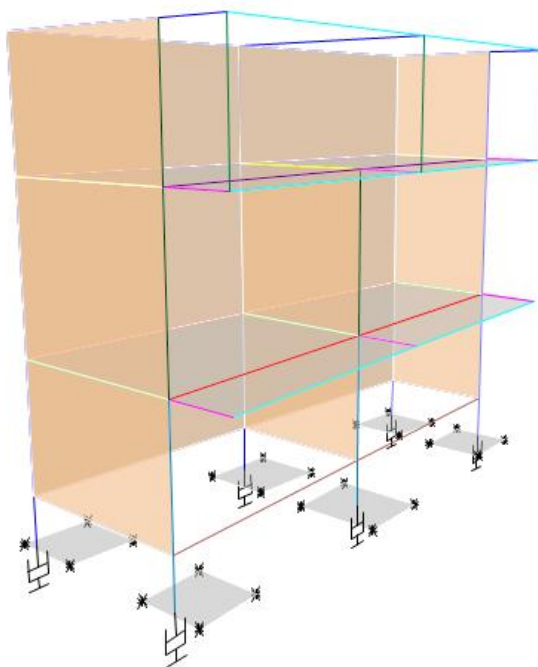
*Nota:* Asignación final de resortes rotacionales con  $K_{\phi z} = 4\,027 \text{ tonf}\cdot\text{m}/\text{rad}$  y  $B_{\phi z} = 6 \text{ tonf}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ , aplicando amortiguamiento exponencial con exponente = 0.5. La combinación de R1, R2 y R3 reproduce la disipación torsional tridimensional del sistema de fundación. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

Análisis sísmico:

- Se ejecutó el análisis sísmico considerando la interacción suelo-estructura, obteniendo resultados como derivas, desplazamientos y cortantes.

### Figura 66

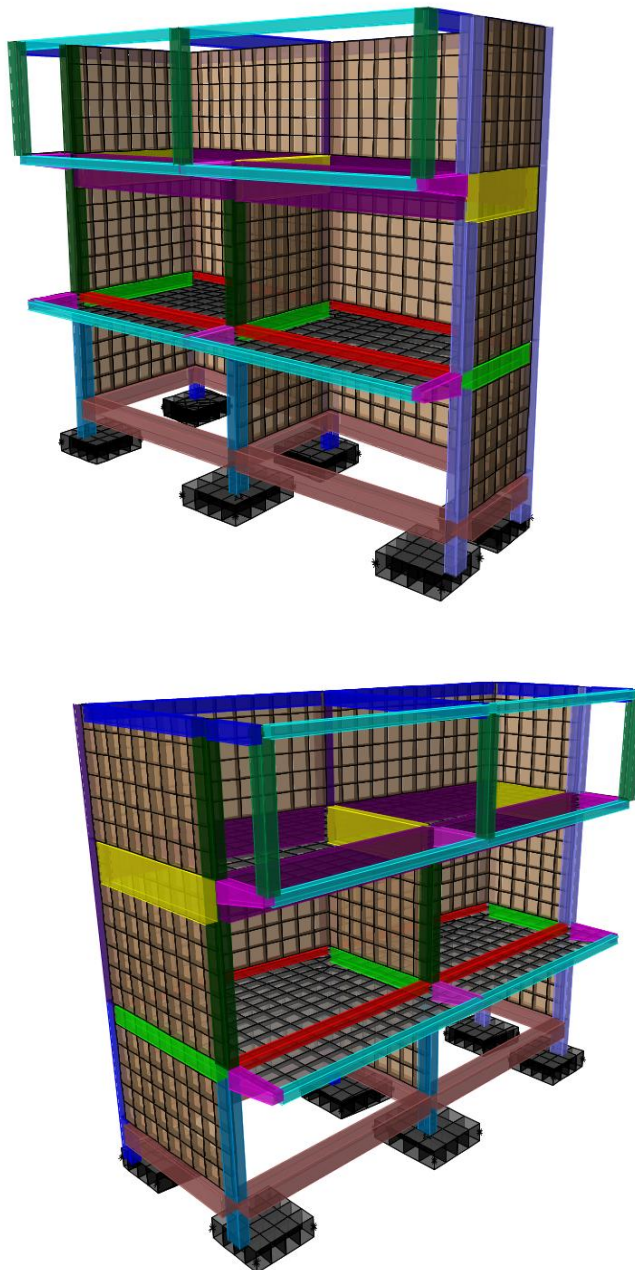
*Vista del Modelo con Interacción Suelo Estructura*



*Nota:* Modelo desarrollado en ETABS v18, donde las zapatas fueron modeladas como elementos shell-thick con resortes de área ( $K_s$ ) y cimientos corridos con resortes de línea ( $K_{s\_C}$ . Corrido), definidos mediante los modelos de Barkan (1962) y SNIP 2.02.05-87 (1987). Las condiciones de borde se establecieron como Compression Only para simular el comportamiento real del suelo frente a cargas verticales. La representación tridimensional muestra el acoplamiento elástico entre la cimentación y la superestructura. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 67**

*Vista del Modelo con Interacción Suelo Estructura*



*Nota:* Elaborado en ETABS v18. Se aprecia la superestructura modelada con elementos tipo frame y shell, y la cimentación conformada por zapatas aisladas y cimientos corridos vinculados al suelo mediante resortes elásticos con rigideces  $K_z = 10\,738$  tonf/m,  $K_x = K_y = 7\,516$  tonf/m y rotacionales  $K_{\phi z} = 4\,027$  tonf·m/rad. El modelo permite analizar la redistribución de esfuerzos y desplazamientos considerando la deformabilidad del suelo bajo carga estática y sísmica. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### 3.6.7. Análisis de irregularidades estructurales

Para el análisis de irregularidades estructurales se ha planteado el análisis sísmico estático, considerando el valor de R como 1, es decir se ha considerado que la estructura es regular, pero esto solamente como medio de verificación de las irregularidades que pueda presentar cada módulo de cada pabellón (para más detalle ver anexo 9).

#### a) Pabellón A, módulo 1

En el caso del pabellón A se ha determinado que la estructura no presenta irregularidad en planta ni en elevación por lo que, la estructura es regular.

$$R = R_0 \times I_a \times I_p \quad (73)$$

$$R = 1.00 \times 1.00 \times 1.00 = 1.00 \quad (74)$$

Donde, R factor de regularidad, I<sub>a</sub> irregularidad en altura, I<sub>p</sub> en planta.

**Tabla 23**

*Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 1, Pabellón A*

Irregularidades estructurales en planta	I <sub>p</sub>	X	Y	Factor I <sub>p</sub>
Irregularidad torsional	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Esquinas Entrantes	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Sistemas no Paralelos	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>

*Nota.* si la estructura es regular el factor es 1.00.

**Tabla 24**

*Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 1, Pabellón A*

Irregularidades estructurales en altura	I <sub>a</sub>	X	Y	Factor I <sub>a</sub>
Irregularidad de Rigidez	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad de peso o masa	0.90	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad de resistencia	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>

*Nota.* si la estructura es regular el factor es 1.00.

#### Irregularidad torsional en planta

$$Si \Delta_{m\acute{a}x} \geq 1.30 \Delta_{prom} = (Irregular) \quad (75)$$

$$\Delta_{prom} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad (76)$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \Delta_1 \quad (77)$$

Donde,  $\Delta$  deriva.

**Tabla 25**

*Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón A, Módulo 1*

Nº piso	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
3	X				
2	X	0.000205	0.000190	1.079	Regular
1	X	0.000253	0.000241	1.050	Regular
3	Y				
2	Y	0.000662	0.000661	1.0015	Regular
1	Y	0.000746	0.000742	1.0054	Regular

*Nota.* El pabellón A, módulo 1 no presenta irregularidad torsional en planta.

### **Irregularidad de esquinas entrantes**

$$Si \frac{a}{A} \geq 0.15, \frac{b}{B} \geq 0.15 \text{ (Irregular)} \quad (78)$$

Donde, a lado con probabilidad de irregularidad, A lado total en X, b lado con probabilidad de irregularidad, B lado total en Y.

**Tabla 26**

*Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón A, Módulo 1*

Piso	A	a	B	b	a/A	b/B	Control
1-4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	1.00	Regular

*Nota:* Los resultados corresponden al análisis de irregularidades conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018), considerando las tipologías geométricas y estructurales del Pabellón A, Módulo 1. Las verificaciones incluyeron irregularidad por esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez de piso blando, rigidez extrema, masa y resistencia. Los resultados muestran que el módulo no presenta irregularidades significativas, manteniendo una configuración regular en todos los casos evaluados.

Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### **Sistemas no paralelos**

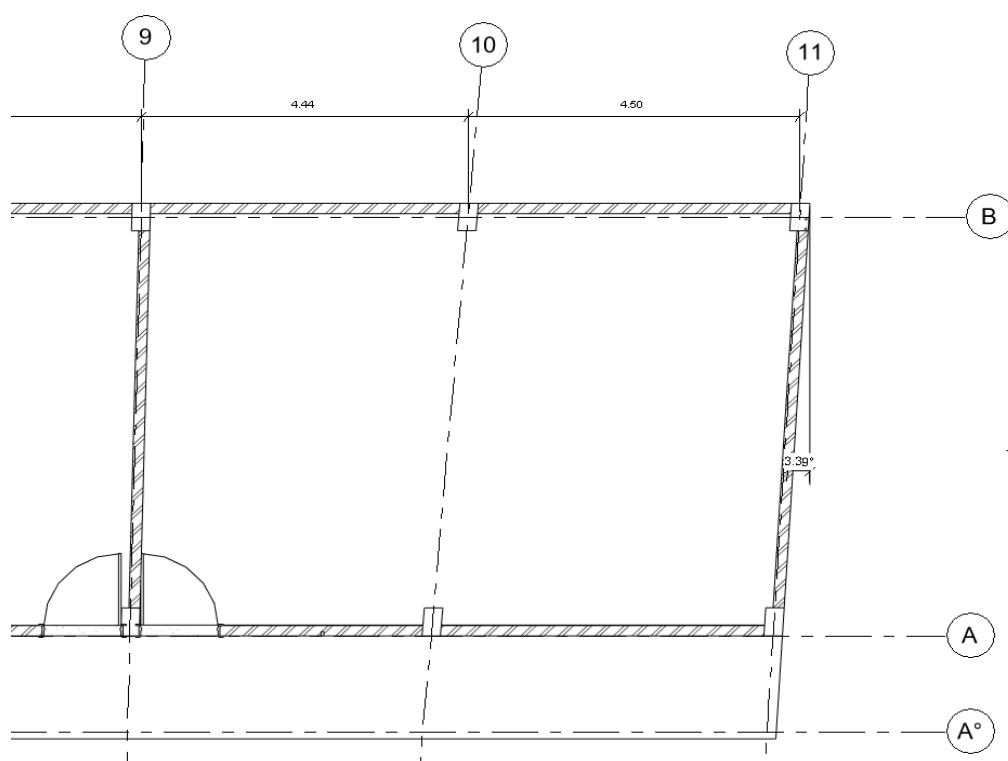
$$Si \theta > 30^\circ \text{ (Irregular)} \quad (79)$$

**Tabla 27***Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón A, Módulo 1*

Ángulo del elemento	En X-X		Ángulo del elemento	En Y-Y	
	$\phi < 30^\circ$	Control e-030		$\phi < 30^\circ$	Control e-030
3.39	No aplica	Regular	3.39	No aplica	Regular

*Nota:* Los resultados corresponden al análisis de irregularidades conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018), considerando las tipologías geométricas y estructurales del Pabellón A, Módulo 1. Las verificaciones incluyeron irregularidad por esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez de piso blando, rigidez extrema, masa y resistencia. Los resultados muestran que el módulo no presenta irregularidades significativas, manteniendo una configuración regular en todos los casos evaluados.

Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 68***Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón A, Módulo 1*

*Nota:* Elaborado en AutoCAD Architecture 2024. Se identificó un ángulo de  $3.39^\circ$  entre ejes estructurales no paralelos, valor inferior al límite de  $30^\circ$  establecido por la Norma E.030 (RNE, 2018)

para definir irregularidad en planta. Por tanto, la configuración estructural del módulo se considera regular respecto a este criterio geométrico. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD Architecture 2024.

### Irregularidad de rigidez (piso blando)

$$\text{Caso 1: } K_1 < 0.70 K_{i+1} \quad (80)$$

$$\text{Caso 2: } K_1 < \frac{0.80(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})}{3} \quad (81)$$

**Tabla 28**

#### *Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón A, Módulo 1*

Nivel	X-X			Rigidez Tn/m	Y-Y		Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2		Caso 1	Caso 2	
3	24098.056			43349.872			
2	137085.536	569%	569%	105190.193	243%	243%	Regular
1	136463.953	100%	169%	118177.927	112%	159%	Regular

*Nota:* Los resultados corresponden al análisis de irregularidades conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018), considerando las tipologías geométricas y estructurales del Pabellón A, Módulo 1. Las verificaciones incluyeron irregularidad por esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez de piso blando, rigidez extrema, masa y resistencia. Los resultados muestran que el módulo no presenta irregularidades significativas, manteniendo una configuración regular en todos los casos evaluados. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Irregularidad extrema de rigidez (piso blando)

$$\text{Caso 1: } K_1 < 0.60 K_{i+1} \quad (82)$$

$$\text{Caso 2: } K_1 < \frac{0.70(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})}{3} \quad (83)$$

**Tabla 29**

#### *Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón A, Módulo 1*

Nivel	X-X			Rigidez Tn/m	Y-Y		Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2		Caso 1	Caso 2	
3	24098.056			43349.872			
2	137085.536	569%	569%	105190.193	243%	243%	Regular
1	136463.953	100%	169%	118177.927	112%	159%	Regular

*Nota:* Los resultados corresponden al análisis de irregularidades conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018), considerando las tipologías geométricas y estructurales del Pabellón A, Módulo 1. Las

verificaciones incluyeron irregularidad por esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez de piso blando, rigidez extrema, masa y resistencia. Los resultados muestran que el módulo no presenta irregularidades significativas, manteniendo una configuración regular en todos los casos evaluados.

Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Irregularidad de peso o masa

**Tabla 30**

*Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón A, Módulo 1*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	
3							
2	D2	8.736	86	D2	8.736	86	Regular
1	D1	8.814	86	D1	8.814	86	Regular

*Nota:* Los resultados corresponden al análisis de irregularidades conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018), considerando las tipologías geométricas y estructurales del Pabellón A, Módulo 1. Las verificaciones incluyeron irregularidad por esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez de piso blando, rigidez extrema, masa y resistencia. Los resultados muestran que el módulo no presenta irregularidades significativas, manteniendo una configuración regular en todos los casos evaluados.

Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### Irregularidad de resistencia – piso débil

**Tabla 31**

*Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón A, Módulo 1*

Nivel	X-X		Y-Y		Control E-030, 2018
	V <sub>x</sub>	0.80V <sub>x</sub>	V <sub>x</sub>	0.80V <sub>x</sub>	
3	26.7	21.4	71.2	57.0	Regular
2	78.2	62.5	208.5	166.8	Regular
1	105.2		280.5		

*Nota:* Los resultados corresponden al análisis de irregularidades conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018), considerando las tipologías geométricas y estructurales del Pabellón A, Módulo 1. Las verificaciones incluyeron irregularidad por esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez de piso blando, rigidez extrema, masa y resistencia. Los resultados muestran que el módulo no presenta irregularidades significativas, manteniendo una configuración regular en todos los casos evaluados.

Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## b) Pabellón C, módulo 1

En el caso del pabellón C, módulo 1 se ha determinado que la estructura presenta irregularidad en planta y en elevación.

$$R = R_0 \times I_a \times I_p \quad (84)$$

$$R = 1.00 \times 0.90 \times 0.75 = 0.68 \quad (85)$$

Donde, R factor de regularidad, I<sub>a</sub> irregularidad en altura, I<sub>p</sub> en planta.

**Tabla 32**

*Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 1, Pabellón C*

Irregularidades estructurales en planta	I <sub>p</sub>	X	Y	Factor I <sub>p</sub>
Irregularidad torsional	0.75	0.75	1.00	<b>0.75</b>
Esquinas Entrantes	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Sistemas no Paralelos	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>

Nota. si la estructura es regular el factor es 1.00.

**Tabla 33**

*Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 1, Pabellón C*

Irregularidades estructurales en altura	I <sub>a</sub>	X	Y	Factor I <sub>a</sub>
Irregularidad de Rigidez	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad de peso o masa	0.90	1.00	0.90	<b>0.90</b>
Irregularidad de resistencia	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>

Nota. si la estructura es regular el factor es 1.00.

### **Irregularidad torsional en planta**

$$Si \Delta_{m\acute{a}x} \geq 1.30 \Delta_{prom} = (Irregular) \quad (86)$$

$$\Delta_{prom} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad (87)$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \Delta_1 \quad (88)$$

**Tabla 34***Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón C, Módulo 1*

Nº piso	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
3	X				
2	X	0.000360	0.000270	1.333	Irregular
1	X	0.000317	0.000264	1.201	Irregular
3	Y				
2	Y	0.000942	0.000763	1.235	Regular
1	Y	0.000815	0.000692	1.178	Regular

*Nota:* Se evaluaron las irregularidades de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma E.030 (RNE, 2018), identificándose que el Módulo 1 del Pabellón C presenta irregularidad torsional moderada en los pisos 1 y 2 (ratios entre 1.178 y 1.333). Sin embargo, las condiciones geométricas (esquinas entrantes y sistemas no paralelos) y de rigidez mantienen comportamiento regular. Los valores de masa y resistencia cumplen los límites normativos, confirmando estabilidad global del módulo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Irregularidad de esquinas entrantes**

$$Si \frac{a}{A} \geq 0.15, \frac{b}{B} \geq 0.15 \text{ (Irregular)} \quad (89)$$

Donde, a lado con probabilidad de irregularidad, A lado total en X, b lado con probabilidad de irregularidad, B lado total en Y.

**Tabla 35***Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón C, Módulo 1*

Piso	A	a	B	b	a/A	b/B	Control
1-4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	1.00	Regular

*Nota:* Se evaluaron las irregularidades de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma E.030 (RNE, 2018), identificándose que el Módulo 1 del Pabellón C presenta irregularidad torsional moderada en los pisos 1 y 2 (ratios entre 1.178 y 1.333). Sin embargo, las condiciones geométricas (esquinas entrantes y sistemas no paralelos) y de rigidez mantienen comportamiento regular. Los valores de masa y resistencia cumplen los límites normativos, confirmando estabilidad global del módulo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Sistemas no paralelos**

$$Si \theta > 30^\circ \text{ (Irregular)} \quad (90)$$

**Tabla 36**

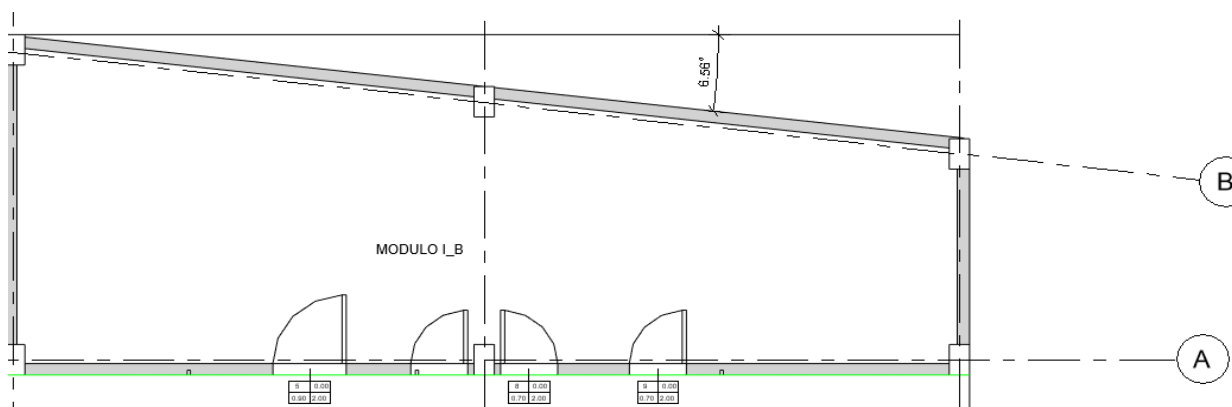
*Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 1*

Ángulo del elemento	En X-X		Ángulo del elemento	En Y-Y	
	$\phi < 30^\circ$	Control e-030		$\phi < 30^\circ$	Control e-030
6.56	No aplica	Regular	6.56	No aplica	Regular

*Nota:* Se evaluaron las irregularidades de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma E.030 (RNE, 2018), identificándose que el Módulo 1 del Pabellón C presenta irregularidad torsional moderada en los pisos 1 y 2 (ratios entre 1.178 y 1.333). Sin embargo, las condiciones geométricas (esquinas entrantes y sistemas no paralelos) y de rigidez mantienen comportamiento regular. Los valores de masa y resistencia cumplen los límites normativos, confirmando estabilidad global del módulo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 69**

*Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 1*



*Nota:* Elaborado en AutoCAD Architecture 2024. La diferencia angular medida entre los ejes longitudinales y transversales del módulo fue de 6.56°, correspondiente a una disposición estructural levemente inclinada pero dentro del rango permisible ( $<30^\circ$ ) según la Norma E.030, 2018, lo que clasifica al sistema como regular. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD Architecture 2024.

**Irregularidad de rigidez (piso blando)**

Caso 1:  $K_1 < 0.70 K_{i+1}$  (91)

Caso 2:  $K_1 < \frac{0.80(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3}$  (92)

**Tabla 37***Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón C, Módulo 1*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	
3	4924.338			3752.59			
2	19106.144	388%	388%	18024.92	480%	480%	Regular
1	30847.284	161%	257%	31420.71	174%	289%	Regular

*Nota:* Se evaluaron las irregularidades de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma E.030 (RNE, 2018), identificándose que el Módulo 1 del Pabellón C presenta irregularidad torsional moderada en los pisos 1 y 2 (ratios entre 1.178 y 1.333). Sin embargo, las condiciones geométricas (esquinas entrantes y sistemas no paralelos) y de rigidez mantienen comportamiento regular. Los valores de masa y resistencia cumplen los límites normativos, confirmando estabilidad global del módulo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Irregularidad extrema de rigidez (piso blando)**

$$\text{Caso 1: } K_1 < 0.60 K_{i+1} \quad (93)$$

$$\text{Caso 2: } K_1 < \frac{0.70(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})}{3} \quad (94)$$

**Tabla 38***Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón C, Módulo 1*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	
3	4924.338			3752.587			
2	19106.144	388%	388%	18024.920	480%	480%	Regular
1	30847.284	161%	257%	31420.714	174%	289%	Regular

*Nota:* Se evaluaron las irregularidades de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma E.030 (RNE, 2018), identificándose que el Módulo 1 del Pabellón C presenta irregularidad torsional moderada en los pisos 1 y 2 (ratios entre 1.178 y 1.333). Sin embargo, las condiciones geométricas (esquinas entrantes y sistemas no paralelos) y de rigidez mantienen comportamiento regular. Los valores de masa y resistencia cumplen los límites normativos, confirmando estabilidad global del módulo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## Irregularidad de peso o masa

**Tabla 39**

*Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón C, Módulo 1*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	
3							
2	D2	2.82	28	D2	2.82	28	Irregular
1	D1	1.86	18	D1	1.86	18	

*Nota:* Se evaluaron las irregularidades de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma E.030 (RNE, 2018), identificándose que el Módulo 1 del Pabellón C presenta irregularidad torsional moderada en los pisos 1 y 2 (ratios entre 1.178 y 1.333). Sin embargo, las condiciones geométricas (esquinas entrantes y sistemas no paralelos) y de rigidez mantienen comportamiento regular. Los valores de masa y resistencia cumplen los límites normativos, confirmando estabilidad global del módulo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## Irregularidad de resistencia – piso débil

**Tabla 40**

*Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón C, Módulo 1*

Nivel	X-X		Y-Y		Control E-030, 2018
	$V_x$	$0.80V_x$	$V_x$	$0.80V_x$	
3	5.7	4.6	15.3	12.2	Regular
2	19.1	15.3	50.9	40.7	Regular
1	24.0		64.1		

*Nota:* Se evaluaron las irregularidades de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma E.030 (RNE, 2018), identificándose que el Módulo 1 del Pabellón C presenta irregularidad torsional moderada en los pisos 1 y 2 (ratios entre 1.178 y 1.333). Sin embargo, las condiciones geométricas (esquinas entrantes y sistemas no paralelos) y de rigidez mantienen comportamiento regular. Los valores de masa y resistencia cumplen los límites normativos, confirmando estabilidad global del módulo. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### c) Pabellón C, módulo 2

En el caso del pabellón C, módulo 2 se ha determinado que la estructura presenta irregularidad en planta, pero no en elevación.

$$R = R_0 \times I_a \times I_p \quad (95)$$

$$R = 1.00 \times 0.75 \times 1.00 = 0.75 \quad (96)$$

Donde, R factor de regularidad, I<sub>a</sub> factor de irregularidad en altura, I<sub>p</sub> factor de irregularidad en planta.

**Tabla 41**

*Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 2, Pabellón C*

Irregularidades estructurales en planta	I <sub>p</sub>	X	Y	Factor I <sub>p</sub>
Irregularidad torsional	0.75	0.75	1.00	<b>0.75</b>
Esquinas Entrantes	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Sistemas no Paralelos	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>

Nota. si la estructura es regular el factor es 1.00.

**Tabla 42**

*Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 2, Pabellón C*

Irregularidades estructurales en altura	I <sub>a</sub>	X	Y	Factor I <sub>a</sub>
Irregularidad de Rigidez	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad de peso o masa	0.90	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad de resistencia	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>

Nota. si la estructura es regular el factor es 1.00.

### **Irregularidad torsional en planta**

$$Si \Delta_{m\acute{a}x} \geq 1.30 \Delta_{prom} = (Irregular) \quad (97)$$

$$\Delta_{prom} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad (98)$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \Delta_1 \quad (99)$$

**Tabla 43***Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón C, Módulo 2*

N° piso	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
3	X				
2	X	0.000420	0.000311	1.350	Irregular
1	X	0.000408	0.000324	1.259	Irregular
3	Y				
2	Y	0.000445	0.000407	1.0934	Regular
1	Y	0.000478	0.000443	1.0790	Regular

*Nota:* El análisis de irregularidades estructurales para el Pabellón C, Módulo 2, se realizó conforme a la Norma E.030, 2018, evaluando parámetros de rigidez, masa, resistencia y torsión. Se evidenció irregularidad torsional leve en dirección X (ratios 1.259–1.350), mientras que las demás categorías (esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez, peso y masa) resultaron regulares. Los valores de rigidez entre pisos fueron superiores al 100%, lo cual indica uniformidad y continuidad estructural adecuada. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Irregularidad de esquinas entrantes**

$$Si \frac{a}{A} \geq 0.15, \frac{b}{B} \geq 0.15 \text{ (Irregular)} \quad (100)$$

Donde, a lado con probabilidad de irregularidad, A lado total en X, b lado con probabilidad de irregularidad, B lado total en Y.

**Tabla 44***Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón C, Módulo 2*

Piso	A	a	B	b	a/A	b/B	Control
1-4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	1.00	Regular

*Nota:* El análisis de irregularidades estructurales para el Pabellón C, Módulo 2, se realizó conforme a la Norma E.030, 2018, evaluando parámetros de rigidez, masa, resistencia y torsión. Se evidenció irregularidad torsional leve en dirección X (ratios 1.259–1.350), mientras que las demás categorías (esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez, peso y masa) resultaron regulares. Los valores de rigidez entre pisos fueron superiores al 100%, lo cual indica uniformidad y continuidad estructural adecuada. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

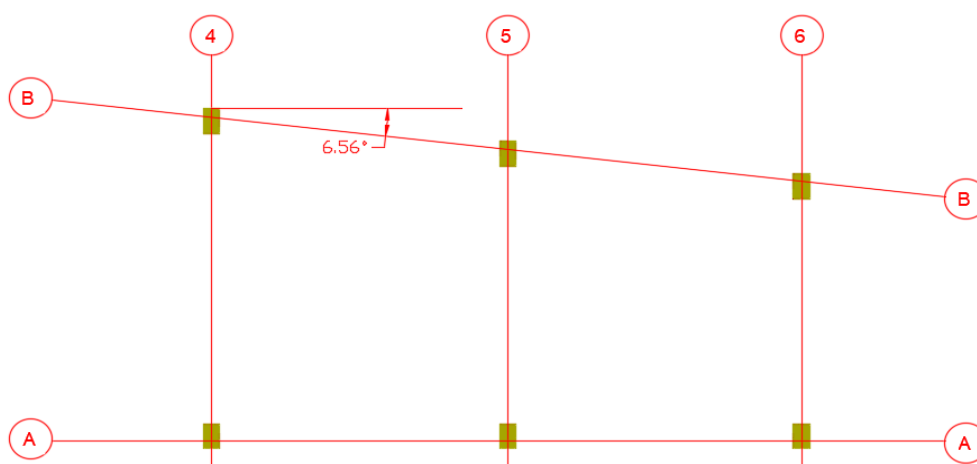
**Sistemas no paralelos**

$$Si \theta > 30^\circ \text{ (Irregular)} \quad (101)$$

**Tabla 45***Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 2*

Ángulo	En X-X		Ángulo	En Y-Y	
	$\emptyset < 30^\circ$	Control e-030		$\emptyset < 30^\circ$	Control e-030
6.56	No aplica	Regular	6.56	No aplica	Regular

*Nota:* El análisis de irregularidades estructurales para el Pabellón C, Módulo 2, se realizó conforme a la Norma E.030, 2018, evaluando parámetros de rigidez, masa, resistencia y torsión. Se evidenció irregularidad torsional leve en dirección X (ratios 1.259–1.350), mientras que las demás categorías (esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez, peso y masa) resultaron regulares. Los valores de rigidez entre pisos fueron superiores al 100%, lo cual indica uniformidad y continuidad estructural adecuada. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 70***Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 2*

*Nota:* Elaborado en AutoCAD Architecture 2024. Se observó un ángulo de  $6.56^\circ$  entre los ejes B y A, producto del desfase geométrico de las columnas respecto al eje principal. Este valor se encuentra por debajo del umbral de  $30^\circ$  establecido en la Norma E.030, 2018, clasificando la estructura como regular. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD Architecture 2024.

**Irregularidad de rigidez (piso blando)**

$$\text{Caso 1: } K_1 < 0.70 K_{i+1} \quad (102)$$

$$\text{Caso 2: } K_1 < \frac{0.80(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})}{3} \quad (103)$$

**Tabla 46***Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón C, Módulo 2*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	
3	7171.130			25971.274			
2	17747.165	247%	247%	36129.260	139%	139%	Regular
1	20411.267	115%	164%	39764.967	110%	128%	Regular

*Nota:* El análisis de irregularidades estructurales para el Pabellón C, Módulo 2, se realizó conforme a la Norma E.030, 2018, evaluando parámetros de rigidez, masa, resistencia y torsión. Se evidenció irregularidad torsional leve en dirección X (ratios 1.259–1.350), mientras que las demás categorías (esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez, peso y masa) resultaron regulares. Los valores de rigidez entre pisos fueron superiores al 100%, lo cual indica uniformidad y continuidad estructural adecuada. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Irregularidad extrema de rigidez (piso blando)**

$$\text{Caso 1: } K_1 < 0.60 K_{i+1} \quad (104)$$

$$\text{Caso 2: } K_1 < \frac{0.70(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})}{3} \quad (105)$$

**Tabla 47***Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón C, Módulo 2*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	
3	7171.130			25971.274			
2	17747.165	247%	247%	36129.260	139%	139%	Regular
1	20411.267	115%	164%	39764.967	110%	128%	Regular

*Nota:* El análisis de irregularidades estructurales para el Pabellón C, Módulo 2, se realizó conforme a la Norma E.030, 2018, evaluando parámetros de rigidez, masa, resistencia y torsión. Se evidenció irregularidad torsional leve en dirección X (ratios 1.259–1.350), mientras que las demás categorías (esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez, peso y masa) resultaron regulares. Los valores de rigidez entre pisos fueron superiores al 100%, lo cual indica uniformidad y continuidad estructural adecuada. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## Irregularidad de peso o masa

**Tabla 48**

*Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón C, Módulo 2*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	
3							
2	D2	1.89	19	D2	1.89	19	Regular
1	D1	1.94	19	D1	1.94	19	

*Nota:* El análisis de irregularidades estructurales para el Pabellón C, Módulo 2, se realizó conforme a la Norma E.030, 2018, evaluando parámetros de rigidez, masa, resistencia y torsión. Se evidenció irregularidad torsional leve en dirección X (ratios 1.259–1.350), mientras que las demás categorías (esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez, peso y masa) resultaron regulares. Los valores de rigidez entre pisos fueron superiores al 100%, lo cual indica uniformidad y continuidad estructural adecuada. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## Irregularidad de resistencia – piso débil

**Tabla 49**

*Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón C, Módulo 2*

Nivel	X-X		Y-Y		Control E-030, 2018
	V <sub>x</sub>	0.80V <sub>x</sub>	V <sub>x</sub>	0.80V <sub>x</sub>	
3	7.90	6.30	15.7	12.6	Regular
2	22.10	17.7	44.2	35.3	Regular
1	30.0		59.9		

*Nota:* El análisis de irregularidades estructurales para el Pabellón C, Módulo 2, se realizó conforme a la Norma E.030, 2018, evaluando parámetros de rigidez, masa, resistencia y torsión. Se evidenció irregularidad torsional leve en dirección X (ratios 1.259–1.350), mientras que las demás categorías (esquinas entrantes, sistemas no paralelos, rigidez, peso y masa) resultaron regulares. Los valores de rigidez entre pisos fueron superiores al 100%, lo cual indica uniformidad y continuidad estructural adecuada. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

#### d) Pabellón C, módulo 3

En el caso del pabellón C, módulo 3 se ha determinado que la estructura presenta irregularidad en planta, pero no en elevación.

$$R = R_0 \times I_a \times I_p \quad (106)$$

$$R = 1.00 \times 0.75 \times 0.75 = 0.5625 \quad (107)$$

Donde, R factor de regularidad, I<sub>a</sub> irregularidad en altura, I<sub>p</sub> en planta.

**Tabla 50**

*Irregularidades en Planta Analizadas en el Módulo 3, Pabellón C*

Irregularidades estructurales en planta	I <sub>p</sub>	X	Y	Factor I <sub>p</sub>
Irregularidad torsional	0.75	0.75	1.00	<b>0.75</b>
Esquinas Entrantes	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Sistemas no Paralelos	0.9	1.00	1.00	<b>1.00</b>

Nota. si la estructura es regular el factor es 1.00.

**Tabla 51**

*Irregularidades en Elevación Analizadas en el Módulo 3, Pabellón C*

Irregularidades estructurales en altura	I <sub>a</sub>	X	Y	Factor I <sub>a</sub>
Irregularidad de Rigidez	0.75	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad de peso o masa	0.90	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Irregularidad de resistencia	0.75	0.75	0.75	<b>0.75</b>

Nota. si la estructura es regular el factor es 1.00.

#### **Irregularidad torsional en planta**

$$Si \Delta_{m\acute{a}x} \geq 1.30 \Delta_{prom} = (Irregular) \quad (108)$$

$$\Delta_{prom} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad (109)$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \Delta_1 \quad (110)$$

**Tabla 52***Análisis de Irregularidad Torsional en Planta, Pabellón C, Módulo 3*

Nº piso	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
3	X				
2	X	0.000205	0.000190	1.379	Irregular
1	X	0.000253	0.000241	1.050	Irregular
3	Y				
2	Y	0.000662	0.000661	1.0015	Regular
1	Y	0.000746	0.000742	1.0054	Regular

*Nota:* Los resultados del Pabellón C, Módulo 3, muestran comportamiento estructural globalmente regular, según los límites de la Norma E.030 (RNE, 2018). Se detectó ligera irregularidad torsional en los pisos inferiores (ratios 1.05–1.08) y una posible condición de piso débil en el segundo nivel en dirección Y ( $V_x < 0.80 V_x$ ). Las demás verificaciones (rigidez, masa y geometría) cumplen los criterios normativos, confirmando un desempeño estable en condiciones sísmicas moderadas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Irregularidad de esquinas entrantes**

$$Si \frac{a}{A} \geq 0.15, \frac{b}{B} \geq 0.15 \text{ (Irregular)} \quad (111)$$

Donde, a lado con probabilidad de irregularidad, A lado total en X, b lado con probabilidad de irregularidad, B lado total en Y.

**Tabla 53***Análisis de Irregularidad por Esquinas Entrantes del Pabellón C, Módulo 3*

Piso	A	a	B	b	a/A	b/B	Control
1-4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	1.00	Regular

*Nota:* Los resultados del Pabellón C, Módulo 3, muestran comportamiento estructural globalmente regular, según los límites de la Norma E.030 (RNE, 2018). Se detectó ligera irregularidad torsional en los pisos inferiores (ratios 1.05–1.08) y una posible condición de piso débil en el segundo nivel en dirección Y ( $V_x < 0.80 V_x$ ). Las demás verificaciones (rigidez, masa y geometría) cumplen los criterios normativos, confirmando un desempeño estable en condiciones sísmicas moderadas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

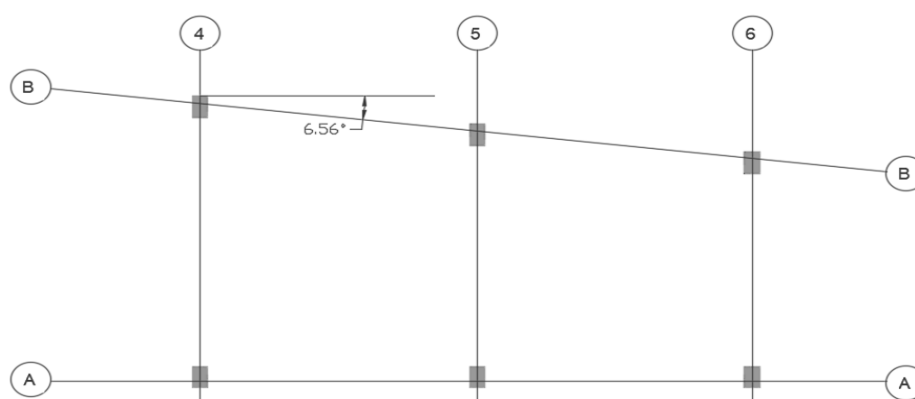
**Sistemas no paralelos**

$$Si \theta > 30^\circ \text{ (Irregular)} \quad (112)$$

**Tabla 54***Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 3*

Ángulo	En X-X		Ángulo	En Y-Y	
	$\emptyset < 30^\circ$	Control e-030		$\emptyset < 30^\circ$	Control e-030
6.56	No aplica	Regular	6.56	No aplica	Regular

*Nota:* Los resultados del Pabellón C, Módulo 3, muestran comportamiento estructural globalmente regular, según los límites de la Norma E.030 (RNE, 2018). Se detectó ligera irregularidad torsional en los pisos inferiores (ratios 1.05–1.08) y una posible condición de piso débil en el segundo nivel en dirección Y ( $V_x < 0.80 V_x$ ). Las demás verificaciones (rigidez, masa y geometría) cumplen los criterios normativos, confirmando un desempeño estable en condiciones sísmicas moderadas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 71***Análisis de Irregularidad de Sistemas No Paralelos en el Pabellón C, Módulo 3*

*Nota:* Elaborado en AutoCAD Architecture 2024. Se determinó un ángulo estructural de  $6.56^\circ$  entre ejes principales, resultado del diseño no ortogonal de la cubierta y vigas longitudinales. Dado que el valor es menor a  $30^\circ$ , el sistema no presenta irregularidad de geometría en planta según la Norma E.030, 2018. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD Architecture 2024.

**Irregularidad de rigidez (piso blando) en altura**

$$\text{Caso 1: } K_1 < 0.70 K_{i+1} \quad (113)$$

$$\text{Caso 2: } K_1 < \frac{0.80(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3} \quad (114)$$

**Tabla 55***Análisis de Irregularidad de Rigidez Piso Blando en el Pabellón C, Módulo 3*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	
3	9599.452			13061.619			
2	24139.975	251%	251%	37827.076	290%	290%	Regular
1	19681.248	82%	117%	33968.186	90%	133%	Regular

*Nota:* Los resultados del Pabellón C, Módulo 3, muestran comportamiento estructural globalmente regular, según los límites de la Norma E.030 (RNE, 2018). Se detectó ligera irregularidad torsional en los pisos inferiores (ratios 1.05–1.08) y una posible condición de piso débil en el segundo nivel en dirección Y ( $V_x < 0.80 V_x$ ). Las demás verificaciones (rigidez, masa y geometría) cumplen los criterios normativos, confirmando un desempeño estable en condiciones sísmicas moderadas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Irregularidad extrema de rigidez (piso blando)**

$$\text{Caso 1: } K_1 < 0.60 K_{i+1} \quad (115)$$

$$\text{Caso 2: } K_1 < \frac{0.70(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})}{3} \quad (116)$$

**Tabla 56***Análisis de Irregularidad Extrema Rigidez en el Pabellón C, Módulo 3*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	Rigidez Tn/m	Caso 1	Caso 2	
3	9599.452			13061.619			
2	24139.975	251%	251%	37827.076	290%	290%	Regular
1	19681.248	82%	82%	33968.186	90%	133%	Regular

*Nota:* Los resultados del Pabellón C, Módulo 3, muestran comportamiento estructural globalmente regular, según los límites de la Norma E.030 (RNE, 2018). Se detectó ligera irregularidad torsional en los pisos inferiores (ratios 1.05–1.08) y una posible condición de piso débil en el segundo nivel en dirección Y ( $V_x < 0.80 V_x$ ). Las demás verificaciones (rigidez, masa y geometría) cumplen los criterios normativos, confirmando un desempeño estable en condiciones sísmicas moderadas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## Irregularidad de peso o masa

**Tabla 57**

*Análisis de Irregularidad de Peso o Masa en el Pabellón C, Módulo 3*

Nivel	X-X			Y-Y			Control E-030, 2018
	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	Diafragma	Masa	Peso (Tn)	
3							
2	D2	2.2313	22	D2	2.2313	22	Regular
1	D1	2.1771	21	D1	2.1771	21	Regular

*Nota:* Los resultados del Pabellón C, Módulo 3, muestran comportamiento estructural globalmente regular, según los límites de la Norma E.030 (RNE, 2018). Se detectó ligera irregularidad torsional en los pisos inferiores (ratios 1.05–1.08) y una posible condición de piso débil en el segundo nivel en dirección Y ( $V_x < 0.80 V_x$ ). Las demás verificaciones (rigidez, masa y geometría) cumplen los criterios normativos, confirmando un desempeño estable en condiciones sísmicas moderadas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

## Irregularidad de resistencia – piso débil

$$V_x < 0.80 V_x \quad (117)$$

**Tabla 58**

*Análisis de Irregularidad de Resistencia en el Pabellón C, Módulo 3*

Nivel	X-X		Y-Y		Control E-030, 2018
	$V_x$	$0.80V_x$	$V_x$	$0.80V_x$	
3	11.3	9.10	30.2	24.2	Regular
2	24.6	19.7	65.7	52.6	Irregular
1	7.0		24.3		

*Nota:* Los resultados del Pabellón C, Módulo 3, muestran comportamiento estructural globalmente regular, según los límites de la Norma E.030 (RNE, 2018). Se detectó ligera irregularidad torsional en los pisos inferiores (ratios 1.05–1.08) y una posible condición de piso débil en el segundo nivel en dirección Y ( $V_x < 0.80 V_x$ ). Las demás verificaciones (rigidez, masa y geometría) cumplen los criterios normativos, confirmando un desempeño estable en condiciones sísmicas moderadas. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

### 3.6.8. Análisis sísmico lineal con la norma E.030 (MVCS, 2018)

#### B.1 Procedimiento de análisis

Según la norma E.030 (MVCS, 2018), el procedimiento para incorporar el análisis sísmico en ETABS 2018 comenzó con la determinación del periodo fundamental de la edificación y los parámetros sísmicos correspondientes, ZUCS. Posteriormente, se definieron los efectos del sismo estático en las direcciones X e Y, asegurando que estos valores representaran adecuadamente las condiciones normativas y estructurales. Se asignó el coeficiente de cortante basal en ambas direcciones (X y Y), con los valores de  $k_x$  y  $k_y$  establecidos en 1, considerando una excentricidad del 5% según lo estipulado por la normativa. Estas configuraciones permitieron modelar con precisión la respuesta estructural ante fuerzas sísmicas estáticas. Finalmente, se ejecutó el análisis sísmico en el programa ETABS 2018, obteniendo la cortante basal estática.

$$V = \frac{ZUCS}{R} \times P \quad (118)$$

#### Tabla 59

##### Parámetros para el Análisis Sísmico

Parámetros para el análisis sísmico	
Factor de zona (zona 2)	Z= 0.25
Factor de uso e importancia (categoría A)	U= 1.50
Factor de suelo (S2)	S= 1.20
Período para definir espectro de pseudo aceleración	Tp=0.60 s., TL= 2.00
Reducción de respuesta de acuerdo al sistema estructural	
Longitudinal (Columnas de concreto)	R= 8 (pero variable para el pabellón C)
Transversal (albañilería)	R= 3 (pero variable para el pabellón C)
Regularidad estructural	1.00

*Nota:* Los parámetros sísmicos empleados corresponden a la Norma E.030 “Diseño Sismorresistente” (RNE, 2018), considerando que la edificación se ubica en la Zona Sísmica 2 (Z = 0.25) y clasifica como estructura de uso e importancia tipo A (U = 1.50). El tipo de suelo identificado fue S2 (S = 1.20), según los resultados de la caracterización geotécnica. Para la definición del espectro de pseudoaceleración se adoptaron los valores Tp = 0.60 s y TL = 2.00 s, coherentes con el perfil sísmico regional de Cajamarca.

Los factores de reducción de respuesta fueron  $R = 8$  en dirección longitudinal (sistema aporticado de concreto armado) y  $R = 3$  en dirección transversal (muros de albañilería confinada), con ajustes específicos para los módulos del pabellón C según su configuración estructural. Fuente: Elaboración propia conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018).

En la norma E.030 se especifica que el coeficiente de reducción sísmica ( $R$ ) se determina de la multiplicación del valor  $R$  inicial por los factores de irregularidad sísmica en altura ( $I_a$ ) y planta ( $I_p$ ), de ser el caso. Siendo así, para el pabellón C, se ha calculado los siguientes coeficientes de reducción de las fuerzas sísmicas ( $R$ ):

$$R = R_o \times I_a \times I_p \quad (119)$$

$$\text{Pabellón C, módulo 1 en X: } R = 8 \times 0.68 = 5.44 \quad (120)$$

$$\text{Pabellón C, módulo 2, en X: } R = 8 \times 0.75 = 6 \quad (121)$$

$$\text{Pabellón C, módulo 3 en X: } R = 8 \times 0.5625 = 4.5 \quad (122)$$

$$\text{Pabellón C, módulo 3 en Y: } R = 3 \times 0.5625 = 1.69 \quad (123)$$

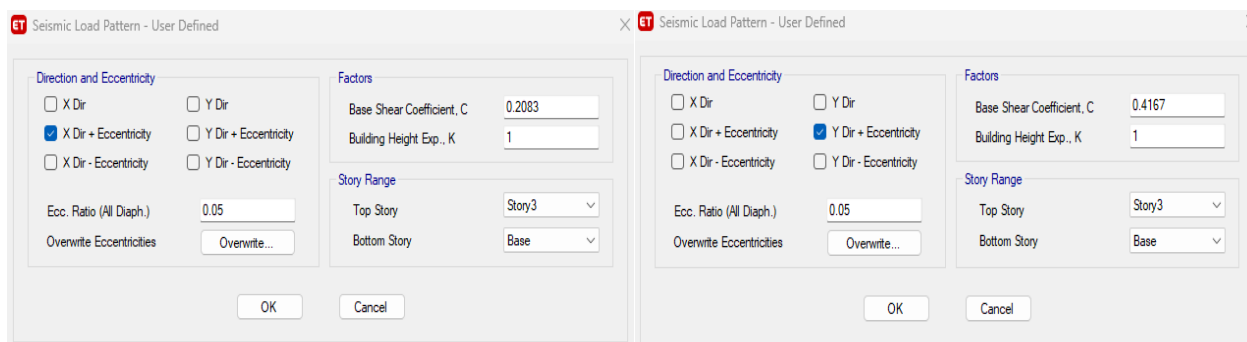
## Figura 72

### *Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón A, Módulo 1*

*Nota:* En el análisis sísmico del Pabellón A se consideró un coeficiente de cortante en la base  $C = 0.1406$  en X y  $C = 0.375$  en Y, con exponente de altura  $K = 1$ , conforme a la Norma E.030 (RNE, 2018). La excentricidad adoptada fue de 0.05, representando la variación máxima del centro de masas. Estos valores se aplicaron a lo largo de la altura estructural, desde la base hasta el nivel superior. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 73**

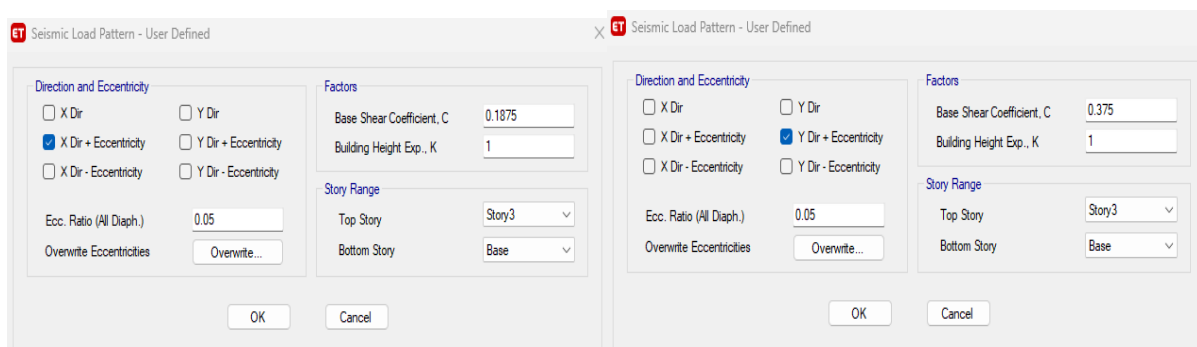
*Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón C, Módulo 1*



*Nota:* Se adoptó un coeficiente sísmico base  $C = 0.2083$  en X y  $0.4167$  en Y, con exponente de altura  $K = 1$ , calculados a partir de la función espectral definida para la Zona Sísmica 2 (RNE, 2018). La excentricidad transversal del 5 % del diafragma se incluyó para evaluar los efectos torsionales. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 74**

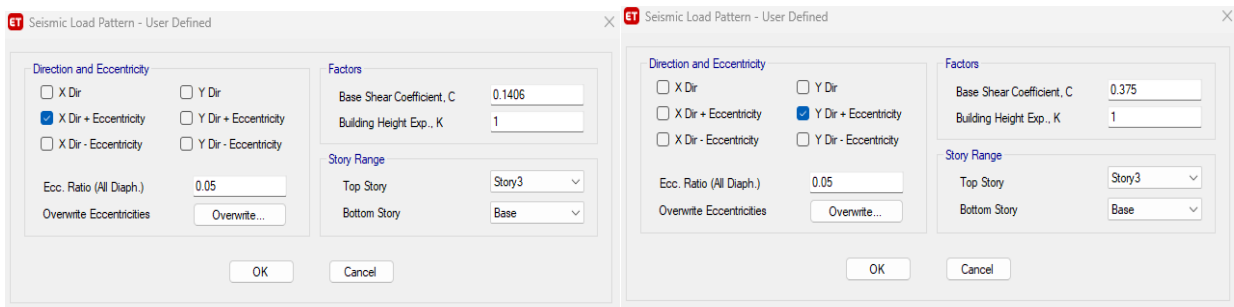
*Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón C, Módulo 2*



*Nota:* El modelo dinámico del Pabellón C, Módulo 2, utilizó un coeficiente de cortante  $C = 0.1875$  en X y  $C = 0.375$  en Y, con exponente  $K = 1$ , definidos según la categoría sísmica Zona 2 y el tipo de suelo S2. La relación de excentricidad fue de 0.05, aplicada en ambas direcciones principales del análisis. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**Figura 75**

*Coefficientes de Cortante en la Base, Pabellón C, Módulo 3*



*Nota:* El modelo dinámico del Pabellón C, Módulo 3, utilizó un coeficiente de cortante C 0.1406 en X y 0.375 en Y, con exponente K = 1, definidos según la categoría sísmica Zona 2 y el tipo de suelo S2. La relación de excentricidad fue de 0.05, aplicada en ambas direcciones principales del análisis. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

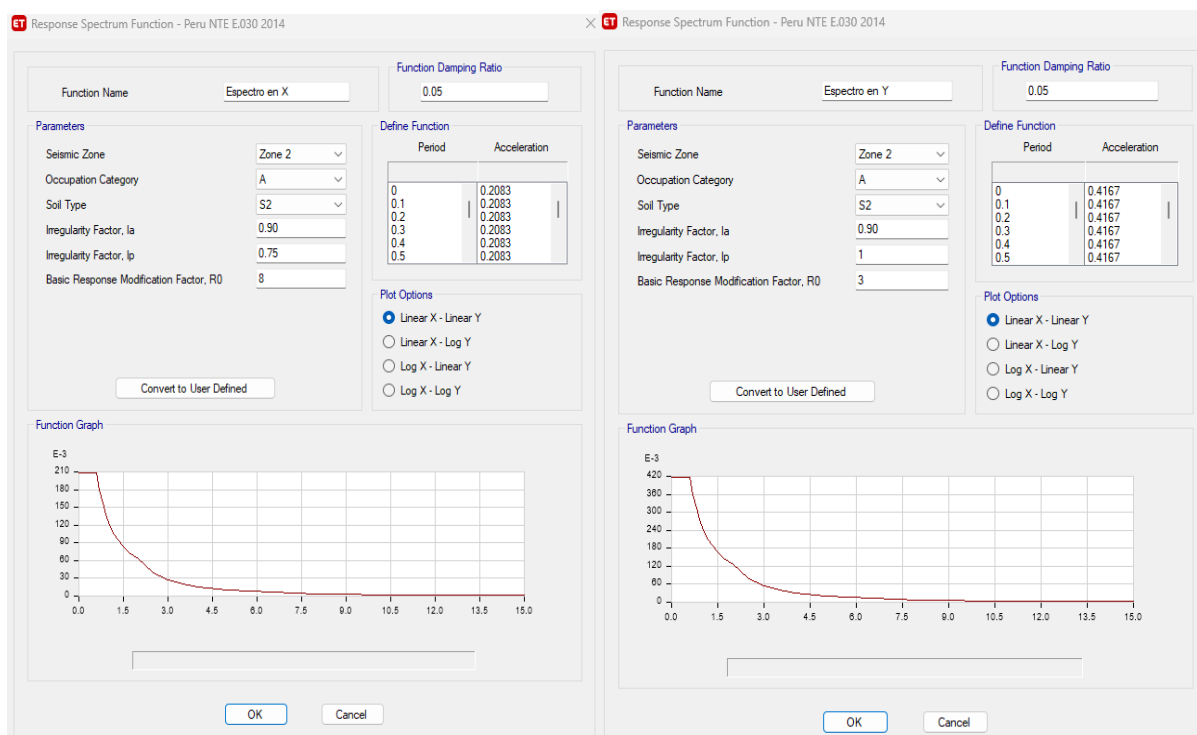
En el análisis espectral, el espectro de aceleración se obtiene al escalar los valores del espectro normativo mediante el factor de escala correspondiente, que incluye la gravedad (g). Este proceso permite calcular el espectro de aceleración en cada dirección de análisis de la estructura, garantizando que los parámetros sean consistentes con las condiciones sísmicas de diseño.

Posteriormente, se ejecuta el análisis en el programa, obteniendo los resultados fundamentales, como los modos de vibración de la estructura, que reflejan su respuesta dinámica en distintas frecuencias. A partir de estos resultados, se determinan parámetros críticos como la cortante dinámica, los desplazamientos laterales en cada nivel y las derivas inter-story, los cuales son esenciales para verificar el cumplimiento normativo.

$$V = \frac{ZUCS}{R} \times g \quad (124)$$

**Figura 76**

*Espectro Sísmico en X e Y*



*Nota:* Los espectros de pseudoaceleración fueron generados de acuerdo con la Norma E.030 (RNE, 2018), para la Zona Sísmica 2, tipo de suelo S2, y categoría de ocupación A. Se utilizaron los factores de irregularidad  $I_a = 0.90$  e  $I_p = 0.75$ , con coeficientes de reducción  $R = 8$  para la dirección X (sistema aporticado de concreto) y  $R = 3$  para la dirección Y (muros de albañilería). El amortiguamiento estructural considerado fue del 5 % del crítico. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.

**B.2. Compatibilización espectral y verificación de cortante (E.030)**

Compatibilización espectral y verificación de la cortante dinámica (E.030).

De acuerdo con la NTE E.030 (RNE, 2018), los resultados del análisis modal espectral deben ser compatibles con el nivel de demanda del espectro de diseño. A nivel global, se verifica que la cortante basal dinámica no sea inferior al 80% de la cortante basal estática equivalente. Cuando  $V_{dyn} < 0.8 \cdot V_{est}$ , se define el factor de compatibilización

$$k_s = \max\left(1, \frac{0.80V_{est}}{V_{din}}\right) \quad (125)$$

que, en procesos de diseño, escala acciones y efectos internos del análisis espectral.

En esta investigación, centrada en la evaluación analítica y no en el diseño, los factores  $K_s$  se reportan para evidenciar el cumplimiento normativo, sin modificar las derivas ni los desplazamientos presentados (las cuales provienen directamente del análisis espectral). Esta distinción se incorpora para evitar confusiones entre verificación de compatibilidad y dimensionamiento de elementos.

La Tabla resume, por módulo y dirección,  $V_{est}$ ,  $V_{din}$ , la razón  $V_{din}/V_{est}$ , el requisito ( $\geq 0.80$ ) y el factor  $k_s$ .

**Tabla 60**

*Verificación  $V_{dyn}$  vs  $0.8 \cdot V_{est}$  y Factor de Compatibilización  $K_s$  (E.030)*

Módulo	Pab.	Dir.	$V_{est}$ (ton)	$V_{dyn}$ (ton)	$V_{dyn}/V_{est}$	Req. $\geq 0.80$	$k_s$ (1, $0.8V_{est}/V_{din}$ )	Uso en este estudio
A-M1	A	X	105.19	68.67	0.65	No	<b>1.23</b>	Solo verificación (no se aplicó a derivas)
A-M1	A	Y	280.51	238.31	0.85	Sí	1.00	—
C-M1	C	X	35.63	21.11	0.59	No	<b>1.35</b>	Solo verificación
C-M1	C	Y	71.26	40.44	0.57	No	<b>1.41</b>	Solo verificación
C-M2	C	X	29.95	16.11	0.54	No	<b>1.46</b>	Solo verificación
C-M2	C	Y	59.91	51.68	0.86	Sí	1.00	—
C-M3	C	X	55.41	27.54	0.50	No	<b>1.61</b>	Solo verificación
C-M3	C	Y	147.75	76.73	0.52	No	<b>1.54</b>	Solo verificación

*Nota.* Mismos valores con ISE (si presentas la verificación con ISE) producen  $K_s$  de 1.02 (A-M1-Y), 1.52 (C-M1-X), 1.35 (C-M1-Y), 1.33 (C-M2-X), 1.05 (C-M2-Y), 1.48 (C-M3-X) y 1.88 (C-M3-Y). En todos los casos,  $K_s$  se reporta para compatibilidad normativa; no se aplicó a las derivas ni a la comparación con ATC-40, por tratarse de un estudio de evaluación (no de diseño).

### **3.6.9. Análisis sísmico no lineal estático Pushover con la norma ATC-40 (1996)**

El análisis sísmico no lineal estático (Pushover) se realizó en el software ETABS v.18.1 utilizando la metodología de la norma ATC-40 (1996). Este proceso implicó la incorporación de propiedades no lineales de materiales como el concreto y el acero, además de definir las funciones del espectro de respuesta en las direcciones X e Y para cada módulo. El análisis incluyó la asignación de rótulas plásticas en vigas y columnas, la creación de casos de carga no lineales y la evaluación de los resultados mediante curvas de desempeño y puntos de desempeño.

#### **a) Configuración inicial:**

- Se abrieron los archivos del modelo previamente definido en ETABS, incluyendo las propiedades lineales de materiales y geometrías de la estructura.
- Se habilitó la sección “Nonlinear Material Data” para agregar las propiedades no lineales de los materiales.

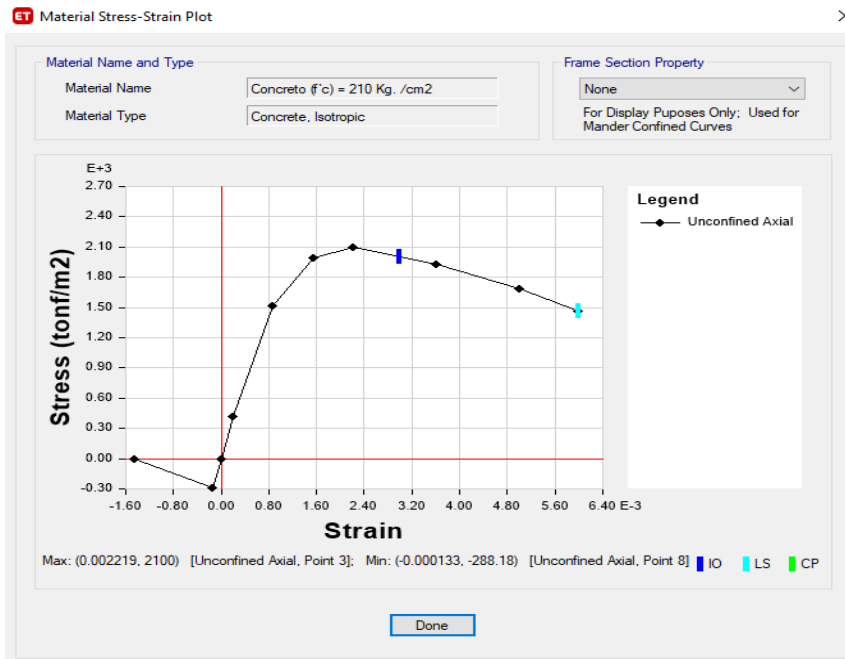
#### **b) Definición de propiedades no lineales:**

Se definieron las propiedades de los materiales:

- Concreto: Se seleccionó una curva de histéresis adecuada para concreto del tipo “Mander”. Se definieron las propiedades no lineales basadas en la relación esfuerzo-deformación del modelo de Mander.
- Acero: Se configuraron las propiedades no lineales del acero con resistencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Se seleccionó la curva de histéresis “Kinematic” y el modelo simplificado de esfuerzo-deformación “Simple”.

**Figura 77**

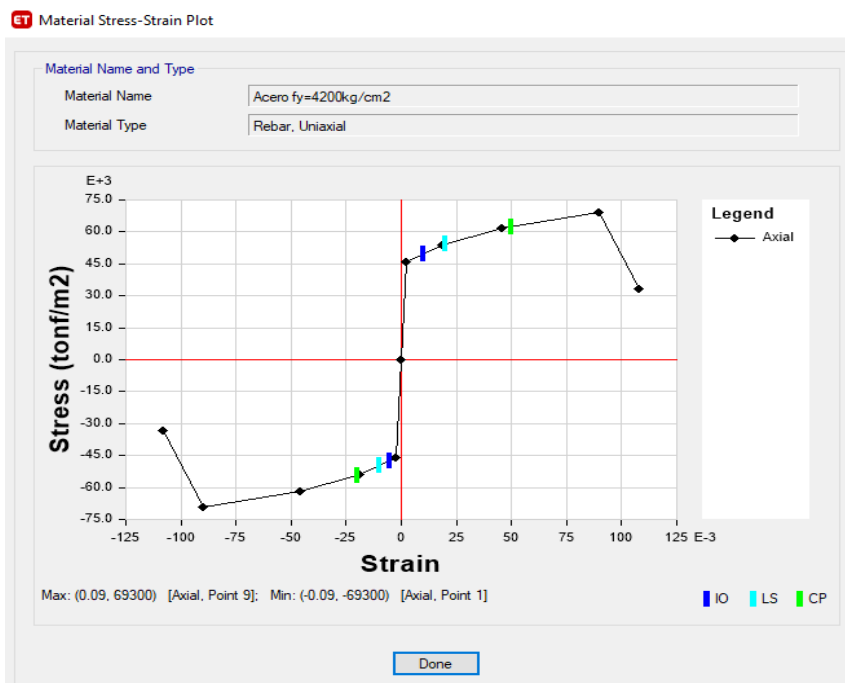
*Curva Esfuerzo – Deformación del Concreto*



*Nota.* curva esfuerzo – deformación del concreto dado en el programa ETABS 2018.

**Figura 78**

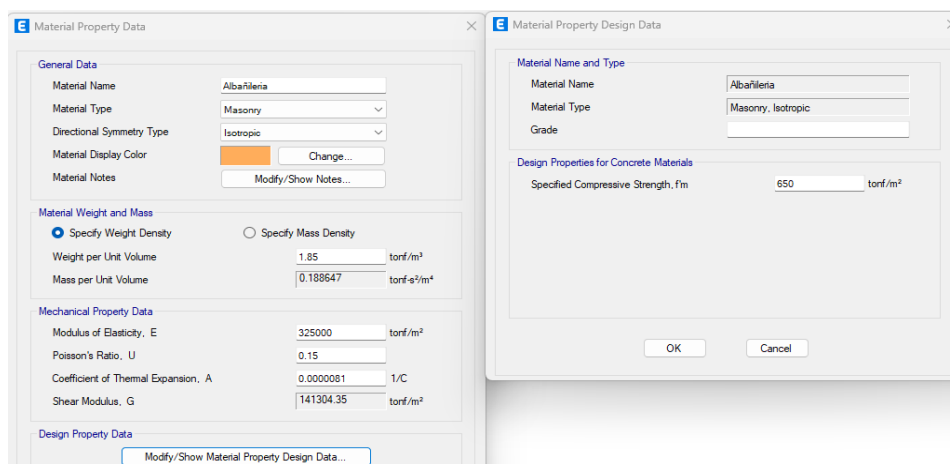
*Curva Esfuerzo – Deformación del Acero*



*Nota.* curva esfuerzo – deformación del acero material dado en el programa ETABS 2018.

## Figura 79

### Propiedades de la Albañilería



*Nota:* Se definió el material Albañilería con comportamiento isótropo, considerando un peso específico de 1.85 tonf/m<sup>3</sup>, módulo de elasticidad  $E = 325\,000$  tonf/m<sup>2</sup>, relación de Poisson  $\mu = 0.15$ , y módulo de corte  $G = 141\,304.35$  tonf/m<sup>2</sup>, conforme a los parámetros establecidos en la Norma E.070 “Albañilería”. La resistencia a la compresión se fijó en  $f_m = 650$  tonf/m<sup>2</sup>, representando albañilería confinada de unidades de arcilla. Estos valores fueron ingresados en el módulo Material Property Data del software ETABS v18.1.1 para el modelamiento estructural. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.1.1.

#### c) Análisis Pushover con los modos de vibración:

El análisis Pushover se efectuó considerando los modos de vibración, definiendo las funciones del espectro de respuesta en direcciones X e Y para cada módulo. Se verificó que en los dos pabellones el primer modo de vibración correspondía a X, mientras que el segundo a Y.

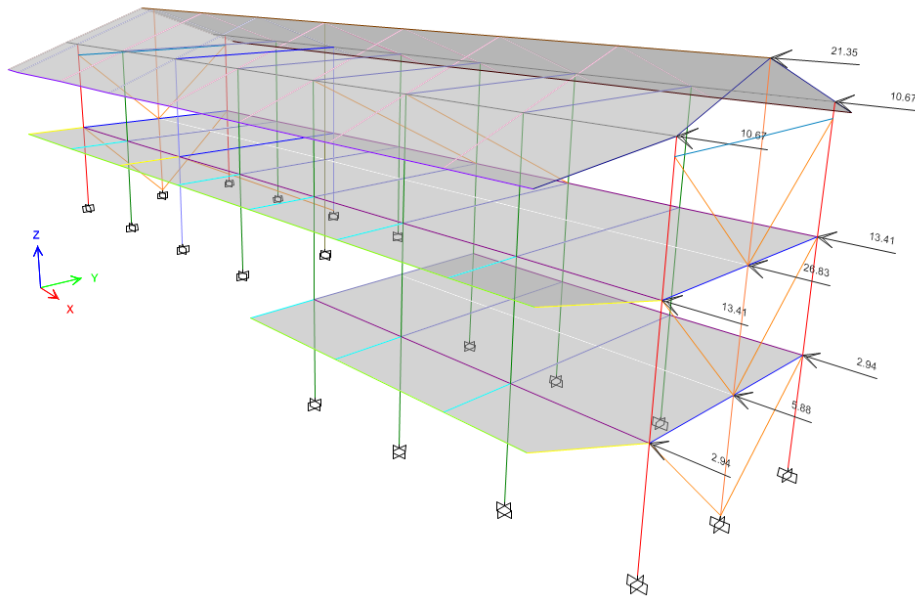
#### d) Creación de casos de carga no lineales:

Se definieron dos casos de carga:

- CGNL (Carga Gravitacional No Lineal): Para considerar los efectos iniciales de las cargas gravitacionales y su impacto en la rigidez estructural.
- AENL (Análisis Estático No Lineal o Pushover): Para simular la respuesta de la estructura ante cargas incrementales laterales.

**Figura 80**

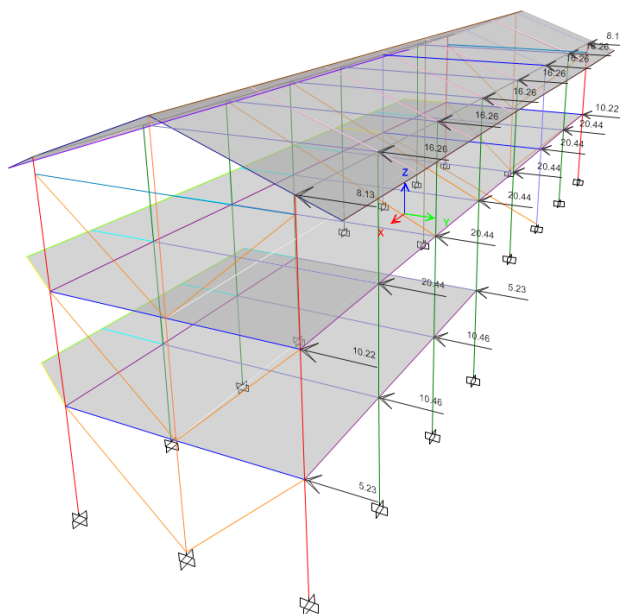
*Asignación de Carga Lateral en X*



*Nota.* Definición del patrón lateral F Lateral X con excentricidad accidental 5 %, aplicado a todos los niveles para el análisis AENL.

**Figura 81**

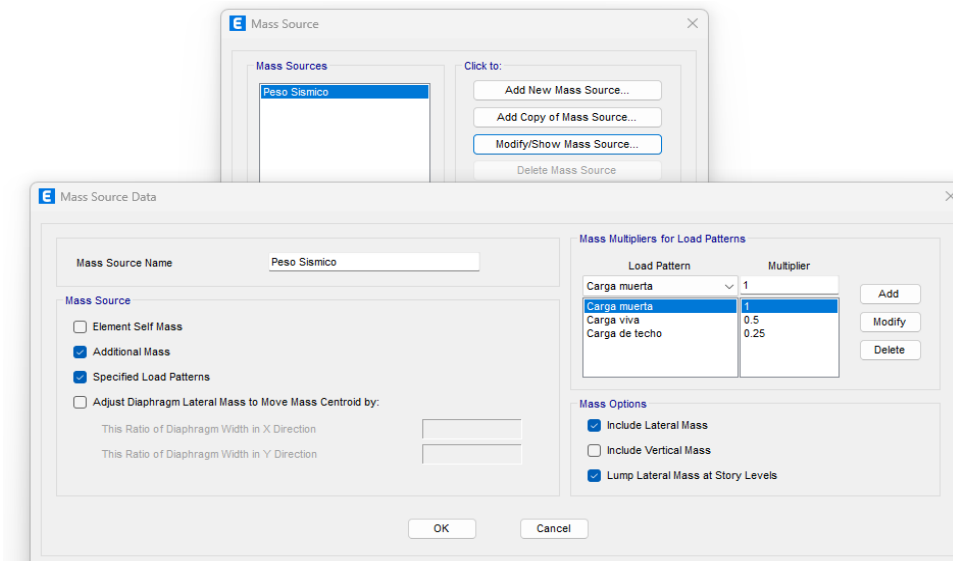
*Asignación de Carga Lateral en Y*



*Nota.* Configuración del patrón F Lateral Y con excentricidad accidental 5 %, coherente con la dirección transversal del modelo.

**Figura 82**

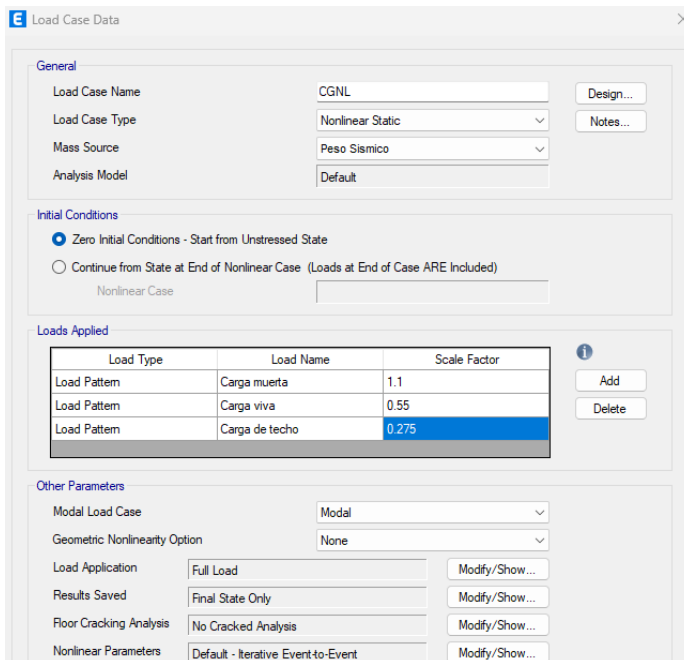
*Definición de Pesos Sísmicos*



*Nota.* Fuente de masa “Peso Sísmico”: incluye peso propio, 1.00 DM, 0.50 CV y 0.25 CT, con masa lateral y vertical activadas.

**Figura 83**

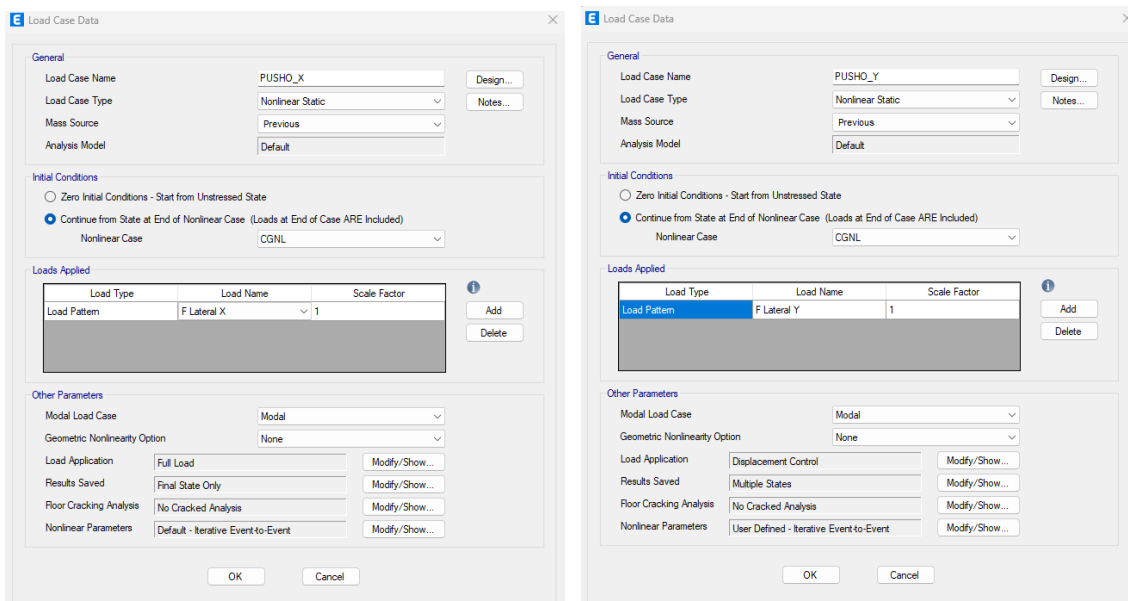
*Creación de la Carga Gravitacional No Lineal (CGNL)*



*Nota.* Caso CGNL con factores 1.10 DM, 0.55 CV y 0.275 CT; condición inicial desde estado sin tensiones y resultados en estado final.

**Figura 84**

*AENL Pushover en X e Y*



*Nota.* Caso PUSHO\_X que continúa desde CGNL; control modal y aplicación completa de la carga lateral en X. Caso PUSHO\_Y con control por desplazamiento y almacenamiento de múltiples estados para la curva capacidad en Y.

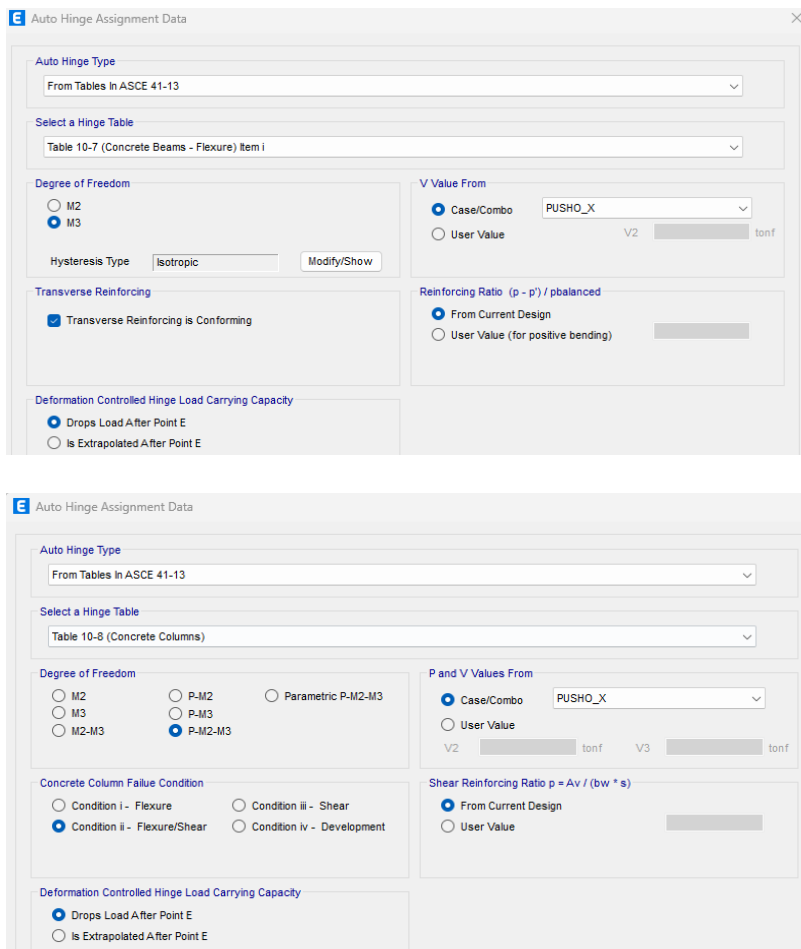
**e) Asignación de rótulas plásticas:**

Se asignaron rótulas plásticas en:

- Vigas: Rótulas tipo M3 cerca de los extremos, a una distancia de 0.05 y 0.95 de la longitud del elemento.
- Columnas: Rótulas tipo P-M2-M3 en los extremos, asignadas automáticamente por el software.

**Figura 85**

*Asignación de Rotulas Plásticas en Vigas y Columnas*



*Nota.* Autohinges M3/M2 para vigas según ASCE 41-13, refuerzo transversal “conforming” y demanda V tomada del caso PUSHO\_X en vigas. Rótulas axiales-flexión (P-M2-M3) en extremos de columnas conforme a ASCE 41-13, con relaciones de refuerzo derivadas del diseño en columnas.

**f) Definición del espectro de análisis:**

**Niveles de demanda espectral empleados en Pushover.** El análisis Pushover se condujo sin registros acelerográficos; la demanda se representó mediante espectros de diseño de la E.030 y sus escalares para tres niveles: Servicio = 0.50×, Diseño = 1.00× y Máximo = 1.25× del espectro base. En consecuencia, la verificación de compatibilidad de registros (comparar espectros de registros vs espectro objetivo) no

es aplicable a este apartado. La compatibilidad se evidencia directamente comparando las curvas espectrales E.030 y sus multiplicadores.

Se cargaron los niveles de amenaza sísmica según la norma ATC-40:

- Sismo de servicio (SS) a 0.5 del espectro de diseño.
- Sismo de diseño (SD) a 1.0 del espectro de diseño.
- Sismo máximo (SM) a 1.25 del espectro de diseño.

**Tabla 61**

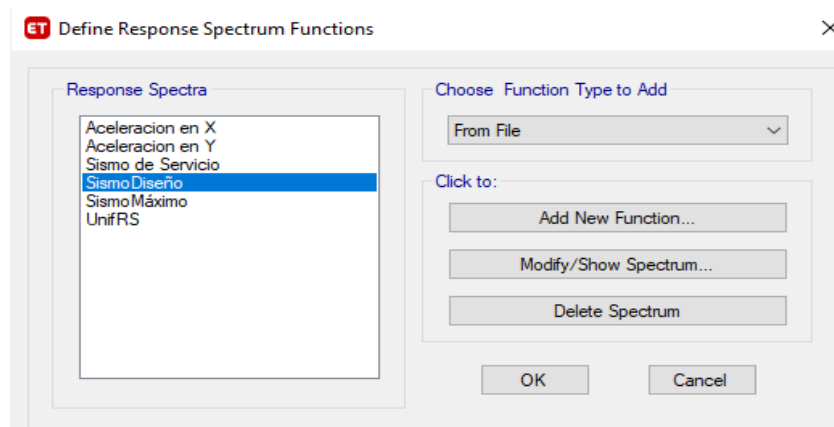
*Espectros de Demanda Usados en Pushover (Multiplicadores de E.030)*

Nivel	Multiplicador sobre E.030	Comentario
Servicio (SS)	0.50×	Nivel de operación / limitación de daño
Diseño (SD)	1.00×	Nivel de diseño de la E.030
Máximo (SM)	1.50×	Exigencia incrementada para contraste de desempeño

Nota. Al ser espectros derivados de la E.030, la compatibilidad con el tipo de suelo S2 es intrínseca y no requiere validación de registros.

**Figura 86**

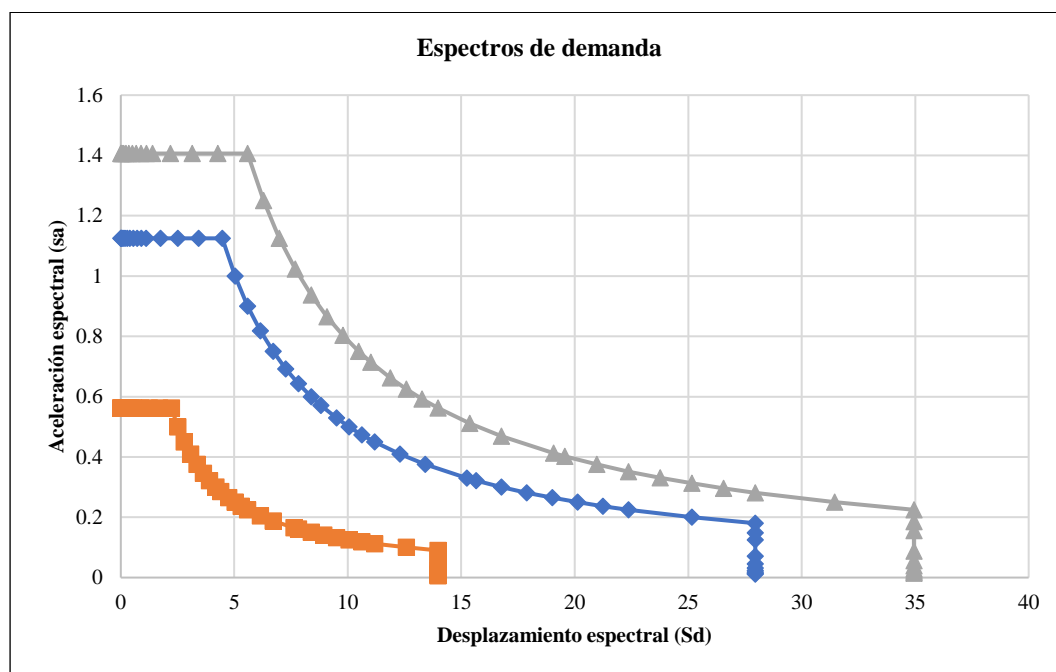
*Definición de Espectros de Demanda*



Nota: Se muestran las funciones espectrales creadas para el análisis dinámico, correspondientes a los estados Sismo de Servicio, Sismo de Diseño y Sismo Máximo, definidos según la Norma E.030 (RNE, 2018). Estas funciones permiten representar la respuesta sísmica de la estructura ante diferentes niveles de exigencia. Fuente: Elaboración propia en ETABS v18.1.1.

**Figura 87**

*Espectro de Demanda de la Norma ATC-40*



*Nota:* Se representan los espectros de demanda para los niveles de desempeño IO (Immediate Occupancy), LS (Life Safety) y CP (Collapse Prevention), definidos conforme al ATC-40 (1996). Las curvas relacionan la aceleración espectral ( $S_a$ ) y el desplazamiento espectral ( $S_d$ ), mostrando la reducción progresiva de la respuesta estructural ante incrementos de deformación. Fuente: Elaboración propia en Excel con base en ATC-40, 1996.

**g) Ejecución del análisis pushover:**

- Se ejecutó el análisis estático no lineal aplicando los casos de carga en el modelo.
- Se generaron curvas de desempeño para cada módulo, representando la relación entre desplazamiento y fuerza.
- Se identificó el punto de desempeño como la intersección del espectro de demanda y la curva de capacidad.
- Se verificaron los objetivos de desempeño y el nivel de cumplimiento para cada módulo bajo diferentes niveles de amenaza sísmica.

### **3.7. Procedimientos de análisis de datos**

#### **3.7.1. *Procesamiento de datos***

El procesamiento de datos se desarrolló siguiendo un flujo metodológico reproducible, utilizando diferentes programas computacionales que facilitaron la organización, análisis y validación de la información obtenida en campo y laboratorio. Este procedimiento integró los resultados del modelamiento estructural y geotécnico, permitiendo evaluar con precisión el desempeño sísmico de los pabellones del colegio Abel Carbajal Perez.

Para la revisión y digitalización de planos arquitectónicos y estructurales, se emplearon los programas AutoCAD 2023 y Revit 2023, con los que se verificaron dimensiones, alturas de entrepiso, secciones de vigas y columnas, disposición de muros y características geométricas. Estos modelos sirvieron de base para la generación de la geometría tridimensional del modelo estructural.

Los datos experimentales obtenidos en los ensayos de mecánica de suelos (contenido de humedad, límites de Atterberg, peso unitario y granulometría) y de esclerometría se procesaron en Microsoft Excel 2024, calculando valores promedio, desviaciones estándar y correlaciones con parámetros normativos. Además, este software se utilizó para determinar irregularidades estructurales en planta y elevación, de acuerdo con la Norma E.030 (2018).

El modelamiento estructural y análisis sísmico se realizó en ETABS 2018 (versión 18.1.1). Se desarrollaron dos configuraciones principales:

- a) Modelo con base empotrada, y
- b) Modelo con base flexible, incorporando la interacción suelo–estructura (ISE)

conforme al modelo ruso SNIP 2.02.05-87 (1987).

Los parámetros de entrada del modelo de interacción incluyeron:

- Rigideces de resortes traslacionales ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ) y rotacionales ( $K_{\phi x}$ ,  $K_{\phi y}$ ,  $K_{\phi z}$ ) obtenidas según Barkan (1962) y ajustadas por SNIP (1987).
- Amortiguamiento viscoso equivalente ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ,  $B_{\phi x}$ ,  $B_{\phi y}$ ,  $B_{\phi z}$ ) incorporado en las bases nodales.
- Velocidad de onda cortante ( $V_s$ ) y densidad del suelo ( $\rho$ ), determinadas experimentalmente en el estudio geotécnico.

El análisis sísmico comprendió:

- Análisis estático lineal, para obtener la cortante basal y las reacciones en los apoyos.
- Análisis dinámico modal espectral, para la evaluación de desplazamientos y derivas máximas.
- Análisis estático no lineal (Pushover), conforme a ATC-40 (1996), para determinar los niveles de desempeño de la estructura con y sin ISE.

Los resultados numéricos fueron exportados desde ETABS 2018 hacia Microsoft Excel 2024, donde se elaboraron tablas comparativas y gráficas de tendencia entre los diferentes tipos de análisis.

Todos los archivos de modelamiento, parámetros de entrada y scripts de exportación de resultados se adjuntaron por medio de un enlace a un drive en el Anexo 12, asegurando la trazabilidad y reproducibilidad del procedimiento.

### **3.7.2. Análisis de datos**

El análisis de datos incluyó un enfoque estadístico riguroso para evaluar la hipótesis de investigación. Este análisis se realizó utilizando el software Minitab 22 para contrastar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Para determinar la aceptación o rechazo de  $H_0$  o  $H_1$ , se utilizó el valor p (probabilidad) derivado de las pruebas estadísticas realizadas. El criterio de decisión fue establecer que  $H_1$  sería

aceptada si el valor p era menor a 0.05, correspondiente a un nivel de significancia del 5%, y un nivel de confianza del 95%. Finalmente, los resultados del análisis estadístico fueron presentados en tablas y gráficos generados por Minitab 22, los cuales resumieron los valores p, las medias de las variables analizadas y las desviaciones estándar.

### 3.8. Material y equipos

**Tabla 62**

*Equipos, Materiales e Insumos Utilizados en la Investigación y su Función*

<b>Etapa / Procedimiento</b>	<b>Equipos, materiales e insumos</b>	<b>Función o propósito en la investigación</b>
<b>Visitas en campo y verificación geométrica</b>	Cinta métrica	Medición directa de longitudes, alturas y espesores de los elementos estructurales de los pabellones.
	Cámara fotográfica o dispositivo móvil	Registro visual del estado físico de los módulos y evidencias de discrepancias geométricas.
	Croquis y planos hechos a mano	Representación inicial de la geometría de los pabellones antes del modelamiento digital.
	Cuaderno de campo, lápiz y bolígrafo	Anotación de medidas, observaciones y comentarios técnicos in situ.
	Formatos de registro de datos	Organización sistemática de la información obtenida en campo para posterior digitalización.
<b>Elaboración de planos en Revit 2023</b>	Laptop o computadora con Revit 2023	Modelado 2D y 3D de los pabellones A y C con base en las dimensiones reales verificadas en campo.
	Software AutoCAD 2023	Ajuste de geometrías y exportación de archivos a formatos compatibles con ETABS 2018.
	Fichas de registro y cuaderno de campo	Transcripción de datos geométricos para digitalización en el software.
<b>Exploración, muestreo y ensayos de suelos (SPT y laboratorio)</b>	Equipo de perforación SPT (martillo de 63.5 kg, muestreador de caña partida, yunque)	Determinación de la resistencia a la penetración del suelo y recuperación de muestras inalteradas.
	GPS de mano	Localización exacta del punto de perforación mediante coordenadas UTM WGS84.
	Vehículo de transporte	Traslado del equipo y las muestras hacia el laboratorio GSE de Chota.
	Bolsas plásticas y recipientes herméticos	Conservación y transporte seguro de las muestras sin pérdida de humedad.

	Balanza digital de alta precisión	Pesaje de muestras húmedas y secas para ensayos de contenido de humedad y límites de consistencia.
	Horno de secado	Determinación del contenido de humedad (NTP 339.127).
	Tamices metálicos	Análisis granulométrico del suelo (NTP 339.128).
	Copa Casagrande y ranurador	Determinación del límite líquido (NTP 339.129).
	Fiola de 500 mL y bomba de vacío	Ensayo de peso específico (NTP 339.131).
<b>Ensayo de esclerometría</b>	Esclerómetro digital tipo N (marca ZC3-A, serie HT20097)	Determinación no destructiva de la resistencia a compresión del concreto en vigas, columnas y losas.
	Herramientas manuales (cincel, espátula)	Retiro del tarrajeo para exponer el concreto antes del ensayo.
	Cinta métrica y marcador	Trazado de cuadrículas (2 × 5 cm) y ubicación precisa de los puntos de ensayo.
	Fichas de registro	Registro de valores de rebote y coordenadas de los puntos evaluados.
<b>Modelamiento estructural en ETABS 2018</b>	Software ETABS 2018 y CSI Detail	Modelamiento tridimensional, asignación de secciones, materiales, cargas y análisis sísmico.
	Software Mathcad Prime 8.0 / 10	Cálculo de rigideces y amortiguamientos de interacción suelo–estructura (ISE) según Barkan y SNIP 2.02.05-87.
	AutoCAD Architecture 2024	Verificación geométrica, elaboración de figuras de irregularidades y exportación de vistas.
	Revit 2023	Base del modelo geométrico para exportación a ETABS.
	Computadora de escritorio / laptop de alto rendimiento	Procesamiento de modelos estructurales con grandes volúmenes de datos y simulaciones sísmicas.
<b>Ensayos complementarios y cálculos geotécnicos</b>	Calculadora científica e instrumentos de oficina	Procesamiento manual y verificación de datos de laboratorio.
	Software Excel 2023/2024	Cálculo de la capacidad portante, módulos de elasticidad y generación de tablas y gráficos.

*Nota.* En conjunto, los equipos de campo (cinta, cámara, GPS, esclerómetro, equipo SPT) permitieron obtener la información geométrica, geotécnica y mecánica real de la edificación y su entorno. Los materiales y accesorios de registro (croquis, cuadernos, formatos, recipientes, fichas) sirvieron para documentar y preservar la trazabilidad de los datos. Finalmente, los instrumentos de laboratorio y software especializados (Revit, AutoCAD, ETABS, Mathcad, Excel) posibilitaron la modelación, simulación sísmica y análisis de desempeño estructural con precisión técnica y normativo acorde a la E.030 y ATC-40.

### 3.9. Aspectos éticos

En la investigación se aplicaron criterios éticos y de rigor científico para garantizar la calidad del estudio y su contribución a la solución de problemas relevantes, en concordancia con lo planteado por Parra y Briceño (2013). Estos criterios se enfocaron en la generación de conocimiento válido, confiable y aplicable, con respeto a los principios éticos y metodológicos.

**Creatividad y flexibilidad del investigador:** Los investigadores demostraron sensibilidad y adaptabilidad durante el desarrollo del estudio, especialmente en la evaluación de las condiciones estructurales y geotécnicas. Ante hallazgos inesperados, como diferencias entre los planos originales y las medidas reales, se ajustaron los procedimientos para obtener información precisa y representativa.

**Coherencia metodológica:** Se garantizó la congruencia entre los objetivos del estudio y los métodos empleados. El diseño de investigación no experimental y los análisis lineales y no lineales (Pushover) con y sin ISE fueron consistentes con el propósito de evaluar el desempeño sísmico de la edificación.

**Muestreo apropiado:** Se utilizó un muestreo poblacional, considerando todos los módulos de los pabellones A y B del colegio. Esto aseguró que la muestra representara completamente las características estructurales y geotécnicas de la edificación, fortaleciendo la validez de los resultados.

**Recolección y análisis de información congruente:** Los datos recolectados mediante ensayos de mecánica de suelos, esclerometría y análisis en ETABS fueron procesados y analizados rigurosamente, asegurando la congruencia entre la información obtenida y los métodos estadísticos aplicados.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Descripción de resultados

#### 4.1.1. Análisis estático – dinámico norma E.030

En el Objetivo 1 (análisis estático–dinámico según E.030), los resultados evidencian que la ISE reduce la rigidez efectiva del sistema suelo–cimentación–superestructura, por lo que el modelo con base flexible tiende a disminuir fuerzas y aumentar deformaciones. Esto se refleja en la reducción de la cortante basal de hasta 25.00% (X) y 21.95% (Y), asociada al alargamiento de periodos (incrementos de 2% a 9.09%), y en el incremento de desplazamientos absolutos entre 10.71% y 21.88% y de derivas hasta 19.58%. Desde el punto de vista ingenieril, la incorporación de ISE no implica necesariamente un comportamiento más seguro, sino que traslada el control del desempeño hacia la demanda deformacional, siendo más crítico en la dirección Y donde persisten incumplimientos en C-M1 (0.00776 a 0.00908) y C-M3 (0.00571 a 0.00686), y aparece un incumplimiento leve en A-M1 en X con ISE (0.00705). Además, la necesidad de factores de escala de hasta 1.61 indica que, en ciertos módulos, la respuesta modal espectral inicial no alcanza el 80% exigido, lo cual es coherente con una estructura más flexible y con mayor sensibilidad a efectos modales/torsionales. En conjunto, la interpretación confirma que considerar la ISE es clave para identificar direcciones y módulos críticos bajo el criterio de derivas de la E.030.

El análisis lineal del colegio Abel Carbajal Perez, considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura (ISE) evidencia variaciones significativas entre ambos escenarios. La cortante basal mostró una reducción al considerar la ISE. En la dirección X, se observaron disminuciones de hasta un 25% (Módulo 3, pabellón C), mientras que en la dirección Y, la mayor reducción fue del 21.95% en el mismo módulo. Esto refleja la flexibilidad del suelo, que reduce las fuerzas internas transmitidas a la superestructura al permitir una mayor disipación de energía. Sin embargo, la cortante dinámica no alcanzó el 80% de la estática en varios casos, lo que obligó a aplicar factores de escala, especialmente en los módulos 1 y 2 del pabellón C, con valores de hasta 1.61.<sup>1</sup>

**Tabla 63**

*Cortante Basal del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Cortante en la base (ton)		Cortante en la base (ton) con ISE		Porcentaje de reducción con ISE	
			sin ISE					
			Estático	Dinámico	Estático	Dinámico	Estático	Dinámico
1	A	X	105.19	68.67	87.31	68.67	-20.48%	0.00%
1	A	Y	280.51	238.31	246.85	216.86	-13.64%	-9.89%
1	C	X	35.63	21.11	35.63	18.79	0.00%	-12.36%
1	C	Y	71.26	40.44	61.28	36.40	-16.28%	-11.11%
2	C	X	29.95	16.11	25.46	15.30	-17.65%	-5.26%
2	C	Y	59.91	51.68	59.91	45.48	0.00%	-13.64%
3	C	X	55.41	27.54	44.33	23.96	-25.00%	-14.94%
3	C	Y	147.75	76.73	147.75	62.92	0.00%	-21.95%

Nota. Comparación del cortante basal obtenido con y sin interacción suelo-estructura (ISE) para los pabellones A y C con reducción promedio de hasta 25% debido al efecto de flexibilidad del terreno.

<sup>1</sup> Todos los resultados numéricos presentados en este capítulo conservan las unidades originales del modelo estructural elaborado en ETABS 2022 (ton-mm-s). Para fines de consistencia con el Sistema Internacional de Unidades (SI), en el Anexo 5 se presenta la tabla de equivalencias y factores de conversión utilizados para los parámetros de carga, desplazamiento, esfuerzo y periodo.

Los desplazamientos absolutos aumentaron al considerar la ISE, reflejando un incremento general de flexibilidad en la estructura. En el pabellón A, los desplazamientos aumentaron un 10.71% en X y un 19.35% en Y, mientras que en el pabellón C, los incrementos oscilaron entre un 12.28% y un 21.88%, siendo más pronunciados en el segundo módulo. Esta tendencia indica que la flexibilidad de la base permite mayores deformaciones globales.

**Tabla 64**

*Desplazamientos Laterales del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Desplazamiento	Desplazamiento	Porcentaje de aumento con ISE
			absoluto (mm) sin ISE	absoluto (mm) con ISE	
1	A	X	3.44	3.85	10.71%
1	A	Y	6.54	8.11	19.35%
1	C	X	5.37	6.39	15.97%
1	C	Y	12.32	14.04	12.28%
2	C	X	4.81	6.16	21.88%
2	C	Y	3.15	3.78	16.67%
3	C	X	6.35	7.11	10.71%
3	C	Y	14.1	17.48	19.35%

*Nota.* Resultados de los desplazamientos laterales absolutos con y sin ISE. Se evidencia un incremento entre 10 % y 20 % en la respuesta lateral de los módulos al considerar la interacción suelo–estructura.

Las derivas también aumentaron al incorporar la ISE, aunque la mayoría de los valores permanecieron dentro de los límites normativos de 0.7% en X y 0.5% en Y, con algunas excepciones. En el tercer piso del módulo 1 del pabellón C, la deriva en la dirección Y aumentó un 14.53%, superando el límite establecido. Los incrementos más significativos en las derivas relativas fueron del 19.58% en la dirección X del módulo 1, pabellón A, y hasta un 16.67% en la dirección Y del módulo 3, pabellón C. Esto evidencia que la flexibilidad del suelo genera mayores deformaciones inter-nivel, especialmente en niveles superiores.

**Tabla 65***Derivas Relativas del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE*

Módulo	Pabellón	Piso	Dirección	Sin ISE		Con ISE		Porcentaje de aumento con ISE
				Deriva.0.75R	< 0.007 en X y < 0.005 en Y	Deriva.0.75R	< 0.007 en X y < 0.005 en Y	
1	A	3	X	0.00567	Sí	0.00705	No	19.58%
1	A	3	Y	0.00214	Sí	0.00235	Sí	9.09%
1	C	3	X	0.00422	Sí	0.00497	Sí	15.25%
1	C	3	Y	0.00776	No	0.00908	No	14.53%
2	C	3	X	0.00301	Sí	0.00334	Sí	9.91%
2	C	3	Y	0.00047	Sí	0.00056	Sí	16.67%
3	C	3	X	0.00484	Sí	0.00551	Sí	12.28%
3	C	3	Y	0.00571	No	0.00686	No	16.67%
1	A	2	X	0.00089	Sí	0.00102	Sí	13.04%
1	A	2	Y	0.00135	Sí	0.00162	Sí	16.67%
1	C	2	X	0.00172	Sí	0.00191	Sí	9.91%
1	C	2	Y	0.00133	Sí	0.00155	Sí	14.53%
2	C	2	X	0.00241	Sí	0.00277	Sí	13.04%
2	C	2	Y	0.00088	Sí	0.00097	Sí	9.91%
3	C	2	X	0.00218	Sí	0.00255	Sí	14.53%
3	C	2	Y	0.00089	Sí	0.00107	Sí	16.67%
1	A	1	X	0.00108	Sí	0.00123	Sí	12.28%
1	A	1	Y	0.00153	Sí	0.00175	Sí	13.04%
1	C	1	X	0.00132	Sí	0.00157	Sí	15.97%
1	C	1	Y	0.00111	Sí	0.00127	Sí	12.28%
2	C	1	X	0.00223	Sí	0.00252	Sí	11.50%
2	C	1	Y	0.00097	Sí	0.00116	Sí	15.97%
3	C	1	X	0.00057	Sí	0.00067	Sí	14.53%
3	C	1	Y	0.00049	Sí	0.00054	Sí	9.09%

*Nota.* Evaluación de las derivas relativas máximas considerando la influencia de la ISE. Se identifica un aumento promedio de 12% a 17% en los desplazamientos relativos entre pisos, manteniéndose dentro de los límites normativos de la NTE E.030 (2018) para la mayoría de los casos.

La verificación de derivas máximas frente a los límites establecidos por la norma E.030-2018 evidencia que el comportamiento de los módulos analizados se mantiene, en general, dentro de los márgenes normativos, salvo en algunos casos

específicos donde la flexibilidad del sistema estructural y del suelo genera valores ligeramente superiores a los límites admisibles. De acuerdo con los criterios normativos (0.007 en la dirección X y 0.005 en la dirección Y), se observó que los módulos C-M1 y C-M3 presentan los mayores niveles de demanda deformacional, mientras que C-M2 muestra el comportamiento más estable y cumple ampliamente en ambas direcciones tanto con como sin la interacción suelo-estructura (ISE).

En el módulo A-M1, las derivas sin ISE cumplen en ambas direcciones, con valores de 0.00567 en X (81 % del límite) y 0.00214 en Y (43 % del límite). Sin embargo, al incorporar la ISE, la deriva en X alcanza 0.00705, superando el límite máximo permitido (0.007) en aproximadamente 0.71 %, mientras que la dirección Y se mantiene dentro del rango normativo con 0.00235 (47 % del límite). Este comportamiento confirma que la flexibilidad de la base incrementa las deformaciones horizontales, principalmente en la dirección longitudinal.

En el módulo C-M1, se mantienen las derivas en X por debajo del límite ( $0.00497 \leq 0.007$ ), pero la dirección Y presenta un incumplimiento importante tanto sin ISE (0.00776, +55 %) como con ISE (0.00908, +82 %), reflejando una pérdida considerable de rigidez lateral y una tendencia a la distorsión excesiva en sentido transversal. Este resultado corrobora que la interacción suelo-estructura amplifica las deformaciones en los pisos superiores de edificaciones con irregularidad geométrica.

El módulo C-M2 mostró el desempeño más favorable: todas las derivas se ubicaron muy por debajo de los límites normativos (0.00334 en X y 0.00116 en Y con ISE), lo cual confirma un comportamiento estructural regular y una adecuada distribución de rigidez. En contraste, el módulo C-M3 cumplió en la dirección X tanto con como sin ISE (valores de 0.00484 y 0.00551, respectivamente), pero no cumplió

en Y, donde las derivas alcanzaron 0.00571 sin ISE y 0.00686 con ISE, superando los límites permitidos en 14 % y 37 %, respectivamente.

En conjunto, los resultados indican que la ISE incrementa las derivas máximas en los módulos más flexibles y que su efecto es más pronunciado en la dirección transversal (Y), donde los valores exceden los límites de la E.030-2018. Aun así, las variaciones se mantienen dentro de un rango moderado, y los módulos A-M1 y C-M2 presentan comportamientos estructurales aceptables bajo los criterios de diseño sísmico vigentes. Por tanto, se concluye que la inclusión de la interacción suelo-estructura reduce la rigidez global del sistema y aumenta las deformaciones relativas, siendo necesario considerar este efecto en las etapas de diseño y evaluación para asegurar un desempeño estructural conforme a la normativa.

**Tabla 66**

*Verificación de derivas máximas (Deriva·0.75R) frente a la NTE E.030-2018 por módulo y dirección*

Criterios normativos:  $X \leq 0.007$ ;  $Y \leq 0.005$ . Entre paréntesis se muestra la utilización (= deriva/límite).

Módulo	Escenario	Dirección	Deriva.0.75R	Límite E.030	Cumple	Utilización / Exceso
<b>A-M1</b>	Sin ISE	X	0.00567	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.81)
		Y	0.00214	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.43)
	Con ISE	X	0.00705	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> No cumple	(+0.71 %)
		Y	0.00235	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.47)
<b>C-M1</b>	Sin ISE	X	0.004216	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.60)
		Y	0.007762	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> No cumple	(+55.2 %)
	Con ISE	X	0.00497	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.71)
		Y	0.00908	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> No cumple	(+81.6 %)
<b>C-M2</b>	Sin ISE	X	0.003006	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.43)
		Y	0.000974	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.19)
	Con ISE	X	0.00334	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.48)
		Y	0.00116	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.23)
<b>C-M3</b>	Sin ISE	X	0.00484	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.69)
		Y	0.00571	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> No cumple	(+14.2 %)
	Con ISE	X	0.00551	0.007	<input checked="" type="checkbox"/> Cumple	(0.79)
		Y	0.00686	0.005	<input checked="" type="checkbox"/> No cumple	(+37.2 %)

*Nota.* La verificación muestra que los módulos C-M1 (Y) y C-M3 (Y) no cumplen con los límites de la NTE E.030-2018 tanto sin como con ISE; el módulo A-M1 presenta incumplimiento leve en X solo con ISE, mientras que C-M2 cumple integralmente en ambas direcciones y escenarios.

Los periodos fundamentales de vibración aumentaron con la inclusión de la ISE, reflejando una disminución en la rigidez global de la estructura. Los incrementos más notables fueron del 9.09% en el segundo modo del módulo 3 del pabellón C y del 8.26% en el segundo modo del módulo 2 del mismo pabellón. Sin embargo, se mantuvo el cumplimiento normativo, ya que los dos primeros modos correspondieron a traslación y el tercero a rotación, tal como exige la norma E.030 (MVCS, 2018).

**Tabla 67**

*Periodos de Vibración del Colegio Abel Carbajal Perez sin y con ISE*

Módulo	Pabellón	Modo	Periodo de vibración con ISE	Periodo de vibración sin ISE	Porcentaje de aumento con ISE
1	A	1	0.210	0.221	4.76%
1	A	2	0.195	0.195	0.00%
1	A	3	0.166	0.171	2.91%
1	C	1	0.250	0.255	1.96%
1	C	2	0.220	0.222	0.99%
1	C	3	0.168	0.168	0.00%
2	C	1	0.246	0.261	5.66%
2	C	2	0.152	0.166	8.26%
2	C	3	0.127	0.132	3.85%
3	C	1	0.246	0.263	6.54%
3	C	2	0.165	0.182	9.09%
3	C	3	0.131	0.141	7.41%

*Nota.* Comparación de los períodos fundamentales de vibración con y sin ISE. Los resultados muestran una tendencia de incremento entre 2 % y 9 %, evidenciando el efecto de la flexibilidad del suelo sobre la respuesta dinámica estructural.

Por tanto, al comparar los resultados sin y con interacción suelo-estructura, se evidenció una reducción de la cortante basal, un incremento en los desplazamientos absolutos, un aumento moderado de las derivas y un incremento en los periodos de vibración. Estos cambios reflejan la influencia de la flexibilidad del suelo, que disminuye la rigidez global de la estructura y afecta su respuesta dinámica. Aunque la mayoría de los valores se mantuvieron dentro de los límites normativos, algunos casos específicos, como las derivas en Y del tercer nivel, destacaron la necesidad de considerar la interacción suelo-estructura en el diseño y evaluación estructural para garantizar la seguridad y estabilidad de la edificación.

#### 4.1.1.1. Módulo 1, Pabellón A

La inclusión de la interacción suelo-estructura (ISE) en el análisis estático y dinámico lineal del Módulo 1 del Pabellón A evidenció una reducción en los cortantes basales y un incremento en los desplazamientos y derivados, reflejando un sistema más flexible con menores fuerzas internas. Sin embargo, los resultados generales cumplieron con los criterios normativos establecidos en la norma E.030 (MVCS, 2018), salvo en el caso de la deriva en el tercer piso en la dirección X con ISE, lo que destaca la importancia de considerar la flexibilidad del suelo.

##### a) Cortante basal

La inclusión de la interacción suelo-estructura (ISE) reduce la rigidez global del sistema, lo que reduce los cortantes basales tanto estáticos como dinámicos. El cortante estático sin ISE fue de 105.19 ton en X y 280.51 ton en Y. El cortante dinámico fue de 68.67 ton en X y 238.31 ton en Y, esto representa 65% y 85% de la cortante estático, respectivamente. Al no cumplirse el criterio normativo del 80% en X, se aplicó un factor de escala de 1.23. En cambio, la cortante estática con ISE se redujo a 87.31 ton en X y 246.85 ton en Y, mientras que, la cortante dinámica fue de 68.67 ton en X y 216.86 ton en Y, cumpliendo el criterio normativo del 80% con valores de 78.65% y 87.85%, respectivamente.

**Tabla 68**

*Cortante en la Base del Pabellón A, Módulo 1*

Módulo 1	Cortante en la base (ton) en la dirección			
	Sin ISE		Con ISE	
Dirección	X	Y	X	Y
Estática	105.19	280.51	87.31	246.85
Dinámica	68.67	238.31	68.67	216.86
% cortante dinámica	65	85	78.65	87.85
Factor de escala	1.23		1.02	

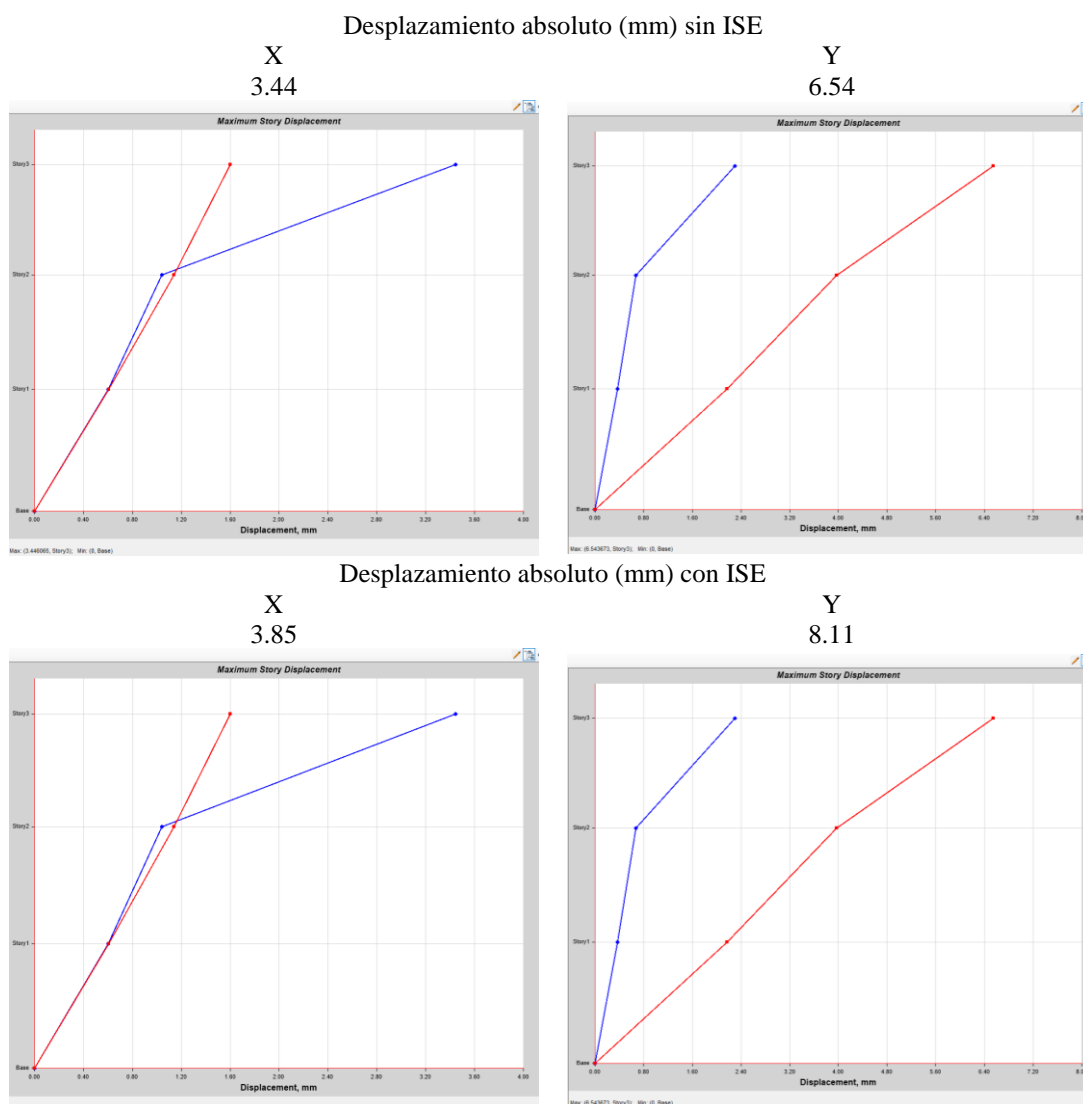
*Nota.* Cortante basal del Pabellón A, Módulo 1, bajo análisis estático y dinámico. Se obtiene una reducción del cortante del 20.48 % en X y 13.64 % en Y al considerar la ISE, con factores de escala ajustados para compatibilizar ambas respuestas.

## b) Desplazamientos laterales

La incorporación de la ISE incrementó los desplazamientos laterales debido a la reducción de la rigidez global del sistema, al permitir cierta deformación en la base, esto es consistente con un comportamiento más flexible de la estructura al considerar la interacción suelo-estructura. En los desplazamientos absolutos sin ISE los desplazamientos en X e Y fueron de 3.44 mm y 6.54 mm, respectivamente. Con ISE los desplazamientos aumentaron a 3.85 mm en X y 8.11 mm en Y.

**Figura 88**

*Desplazamientos Absolutos del Pabellón A, Módulo 1*



*Nota.* Resultados obtenidos en ETABS v18.1.1 mediante el comando Display → Story Response → Displacements para los casos estáticos y dinámicos lineales. Se aplicaron condiciones de contorno de

empotramiento total en la base y masa sísmica equivalente (peso propio + 1.00DM + 0.50CV + 0.25CT). El análisis considera amortiguamiento del 5% y el modelo de interacción suelo–estructura (ISE) implementado con resortes lineales verticales y horizontales según el método de rigidez equivalente (SNIP 2.02.05-87 y Barkan).

### c) Derivas relativas

La interacción suelo-estructura provocó un ligero incremento en las derivaciones, especialmente en la dirección X del tercer nivel, lo que evidencia una mayor flexibilidad estructural al considerar la deformabilidad del suelo. A pesar de ello, en la mayoría de los casos, las derivaciones se mantuvieron dentro de los límites normativos. Sin ISE, las derivaciones fueron menores a los límites establecidos por la norma (0.7% en X y 0.5% en Y) en todos los pisos. Pero con ISE, en la dirección X, la deriva del tercer piso alcanzó 0.001175 (0.7% permitido: No cumple ), por tanto, no cumple con los lineamientos dados en la norma E.030 (MVCS, 2018), mientras que en Y se mantuvo dentro del rango permitido con un valor de 0.001046.

**Tabla 69**

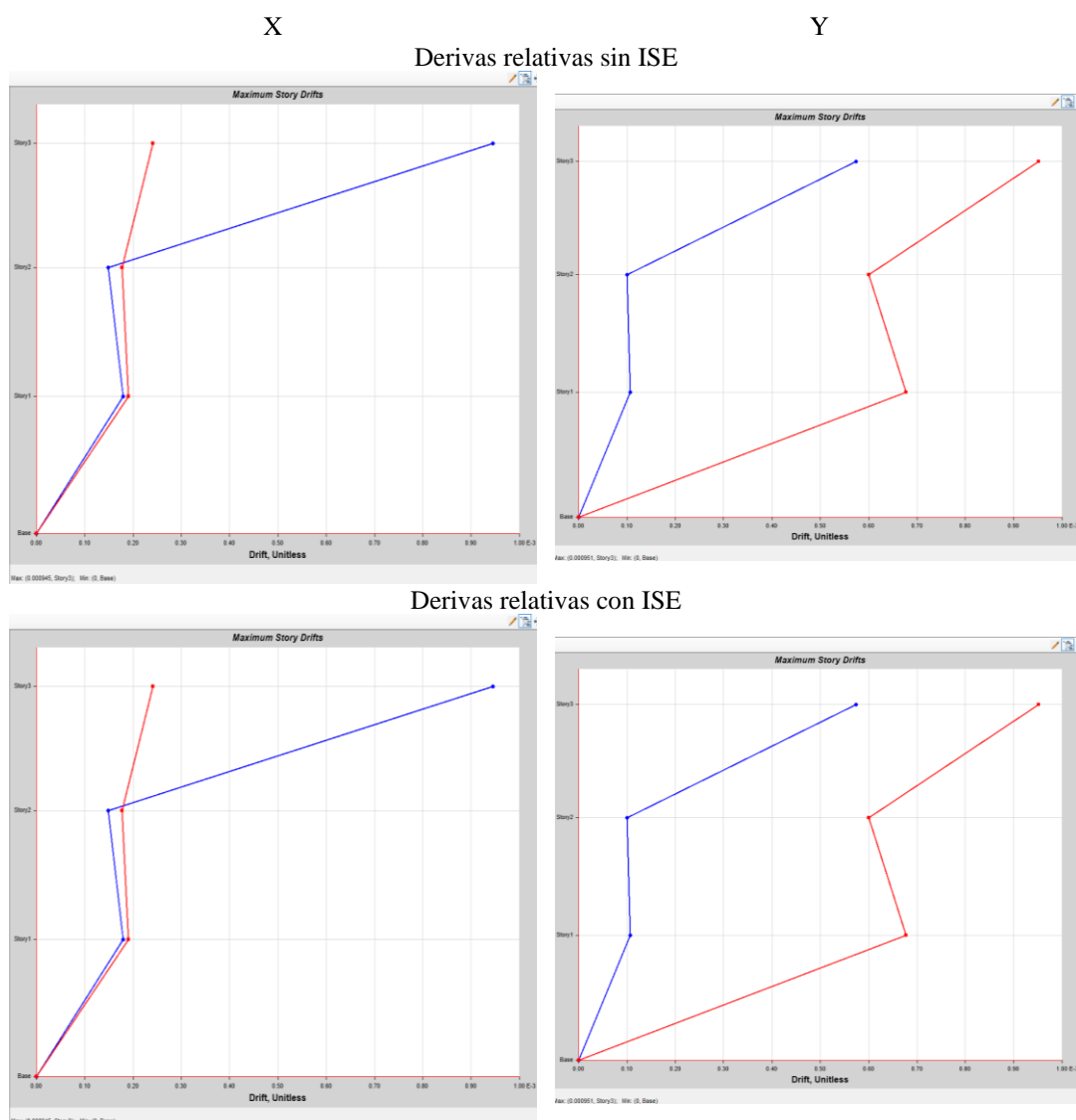
#### *Derivas Relativas del Módulo N° 1*

Derivas relativas						
Sinn ISE en la dirección						
Piso	X			Y		
	Deriva	Deriva.0.75R	R <sub>x</sub> =8 < 0.007	Deriva	Deriva.0.75R	R <sub>y</sub> =3 < 0.005
3	0.000945	0.00567	Sí	0.000951	0.00214	Sí
2	0.000148	0.00089	Sí	0.0006	0.00135	Sí
1	0.00018	0.00108	Sí	0.000678	0.00153	Sí
Con ISE en la dirección						
3	0.001175	0.00705	No	0.001046	0.00235	Sí
2	0.000170	0.00102	Sí	0.000720	0.00162	Sí
1	0.000205	0.00123	Sí	0.000780	0.00175	Sí

Nota. Derivas relativas del Módulo 1 con y sin ISE. Los valores en dirección X superan el límite normativo (0.007) al incluir la interacción suelo–estructura, mientras que en dirección Y se mantienen dentro de los márgenes permisibles.

**Figura 89**

*Derivas Relativas del Módulo N° 1*



*Nota.* Gráficos generados en ETABS v18.1.1 con el comando Display → Story Drifts → Max Directional Drift Ratio para los análisis estáticos y dinámicos. Las derivas se calcularon conforme a la NTE E.030-2018 ( $\Delta/h \leq 0.007$  en X,  $\leq 0.005$  en Y). Se consideró el mismo conjunto de cargas y rigidez de base descrito en la Figura 94.

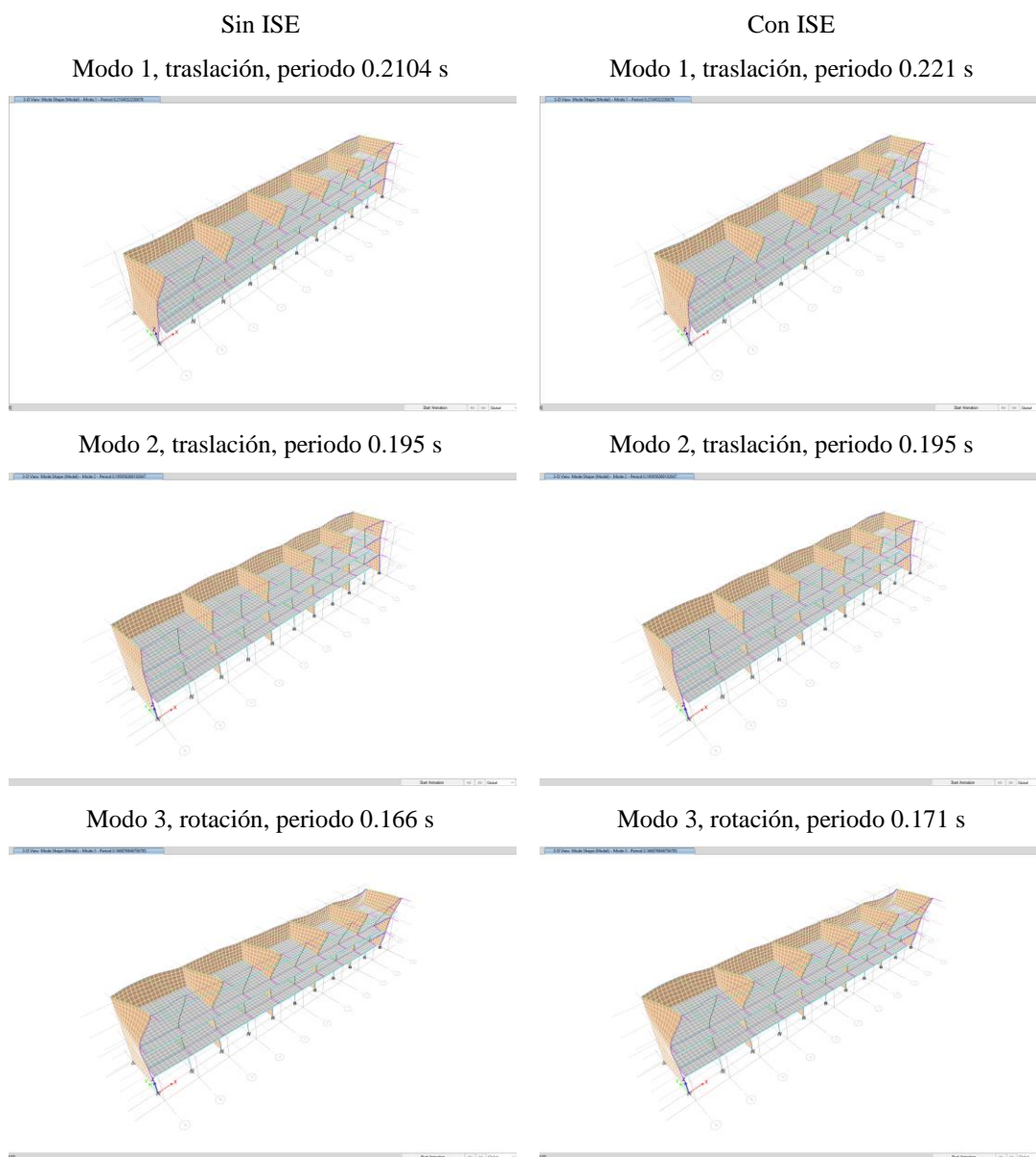
#### **d) Periodos de vibración**

La inclusión del ISE aumentó ligeramente los periodos fundamentales, especialmente en el primer modo (modo 1 traslación con periodo de 0.2104 s sin ISE y con 0.221 s con ISE), lo que indica una reducción de la rigidez global de la estructura al considerar la flexibilidad de la base. Sin embargo, se cumplió con el criterio

normativo, ya que los dos primeros modos correspondieron a traslación y el tercero a rotación.

## Figura 90

### Modos de Vibración del Pabellón A, Módulo 1



*Nota.* Modos propios obtenidos en ETABS v18.1.1 mediante Display → Deformed Shape → Modal. Se muestran los tres primeros modos: traslacionales (1 y 2) y rotacional (3). Las condiciones de contorno se definieron con empotramiento total (sin ISE) y resortes de rigidez equivalente (con ISE). El amortiguamiento modal adoptado fue del 5 % del crítico.

Por tanto, la cortante basal disminuyó con la ISE debido a la flexibilidad del suelo, reduciendo las fuerzas internas transmitidas. Los desplazamiento aumentaron al considerar la ISE, reflejando una estructura más flexible. Las derivas se incrementaron con la ISE, pero la mayoría se mantuvo dentro de los límites normativos, salvo en el tercer piso en X. Y los periodos de vibración aumentaron ligeramente con la ISE indicando comportamiento más flexible.

#### **4.1.1.2.Módulo 1, Pabellón C**

El análisis del Módulo 1 del pabellón C mostró que al considerar la ISE, los cortantes basales disminuyeron, mientras los desplazamientos y derivaciones aumentan, reflejando un sistema más flexible. Aunque la mayoría de los parámetros cumplieron con la norma E.030 (MVCS, 2018), la deriva en la dirección Y del tercer nivel no alcanzó los valores permitidos.

##### **a) Cortante basal**

Al considerar la ISE, los cortantes basales disminuyeron notablemente, lo que indica una reducción de rigidez global del sistema estructural, esta disminución se debe a la flexibilidad introducida por la base del suelo, que disipa parte de la energía sísmica y reduce las fuerzas transmitidas a la estructura. Sin ISE, la cortante estática fue de 35.63 ton en X y 71.26 ton en Y, mientras que la cortante dinámica fue de 21.11 ton en X y 40.44 ton en Y, esto representó el 59% y 57% de la cortante estática, lo que no cumplió con el requisito del 80% de la norma E.030, requiriendo factores de escala de 1.35 y 1,41, respectivamente. Con ISE, la cortante estática se mantuvo en 35.63 ton en X, pero disminuyó a 61.28 ton en Y, mientras que, la cortante dinámica fue aún menor, con 18.79 ton en X y 36.40 ton en Y, representando el 52.73% y 59.39% de la cortante estática, por lo que, se aplicaron factores de escala mayores: 1.52 en X y 1.35 en Y.

**Tabla 70***Cortante en la Base del Pabellón C, Módulo 1*

Módulo 1	Cortante en la base (ton) en la dirección			
	Sin ISE		Con ISE	
	X	Y	X	Y
Dirección	X	Y	X	Y
Estática	35.63	71.26	35.63	61.28
Dinámica	21.11	40.44	18.79	36.40
% cortante dinámica	59	57	52.73	59.39
Factor de escala	1.35	1.41	1.52	1.35

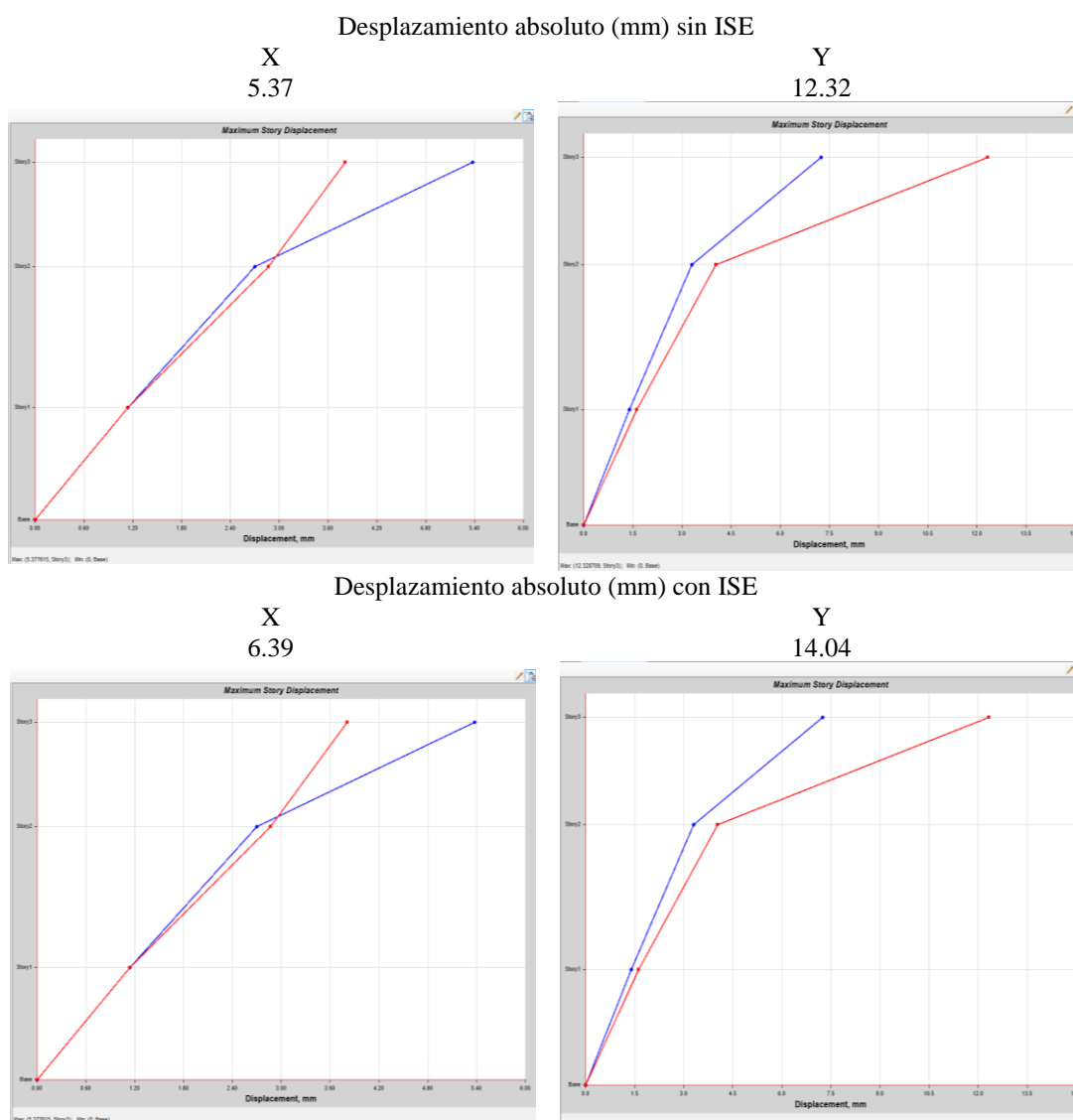
*Nota.* Cortante basal del Módulo 1, bajo condiciones estáticas y dinámicas. Se observa disminución del 12% al considerar la interacción, manteniéndose las proporciones dinámicas dentro del rango esperado.

### **b) Desplazamientos laterales**

Los desplazamientos aumentarán al incluir el ISE, lo que refleja un comportamiento estructural más flexible al permitir deformaciones adicionales en la base, esta mayor deformabilidad es una consecuencia de la reducción de la rigidez global del sistema. Sin ISE, los desplazamientos absolutos alcanzaron 5.37 mm en X y 12.32 mm en Y, en cambio, con ISE, los desplazamientos aumentaron a 6.39 mm en X y 14.04 mm en Y.

## Figura 91

### Desplazamientos Absolutos del Pabellón C, Módulo 1



*Nota.* Resultados generados en ETABS v18.1.1 con el comando Display → Story Response → Displacements. Se aplicaron condiciones de base empotrada (sin ISE) y con resortes de rigidez equivalente (con ISE). El análisis incluye peso propio, carga muerta, carga viva y carga de techo reducida, con amortiguamiento del 5%.

#### c) Derivas relativas

El incremento de las derivaciones al considerar la ISE es consistente con la reducción de rigidez global, ya que la flexibilidad del suelo permite una mayor deformación de los niveles superiores; sin embargo, a pesar de este incremento, las derivaciones en la mayoría de los pisos cumplieron con los límites normativos, excepto

en la dirección Y del tercer nivel. Sin ISE en la dirección X, las derivaciones fueron menores a 0.7% en todos los pisos, cumpliendo con la norma, mientras que, en la dirección Y solo en el tercer nivel la deriva fue de 0.003833, superando el límite del 0.5%, por lo que no cumplió con la normativa. Con ISE en la dirección X, las derivaciones aumentaron levemente, pero siguieron dentro del rango normativo en todos los pisos; mientras que, en la dirección Y, la deriva del tercer nivel se incrementó a 0.004485, superando nuevamente el límite del 0.5%, por lo que no cumplió con la norma E.030 (MVCS, 2018).

**Tabla 71**

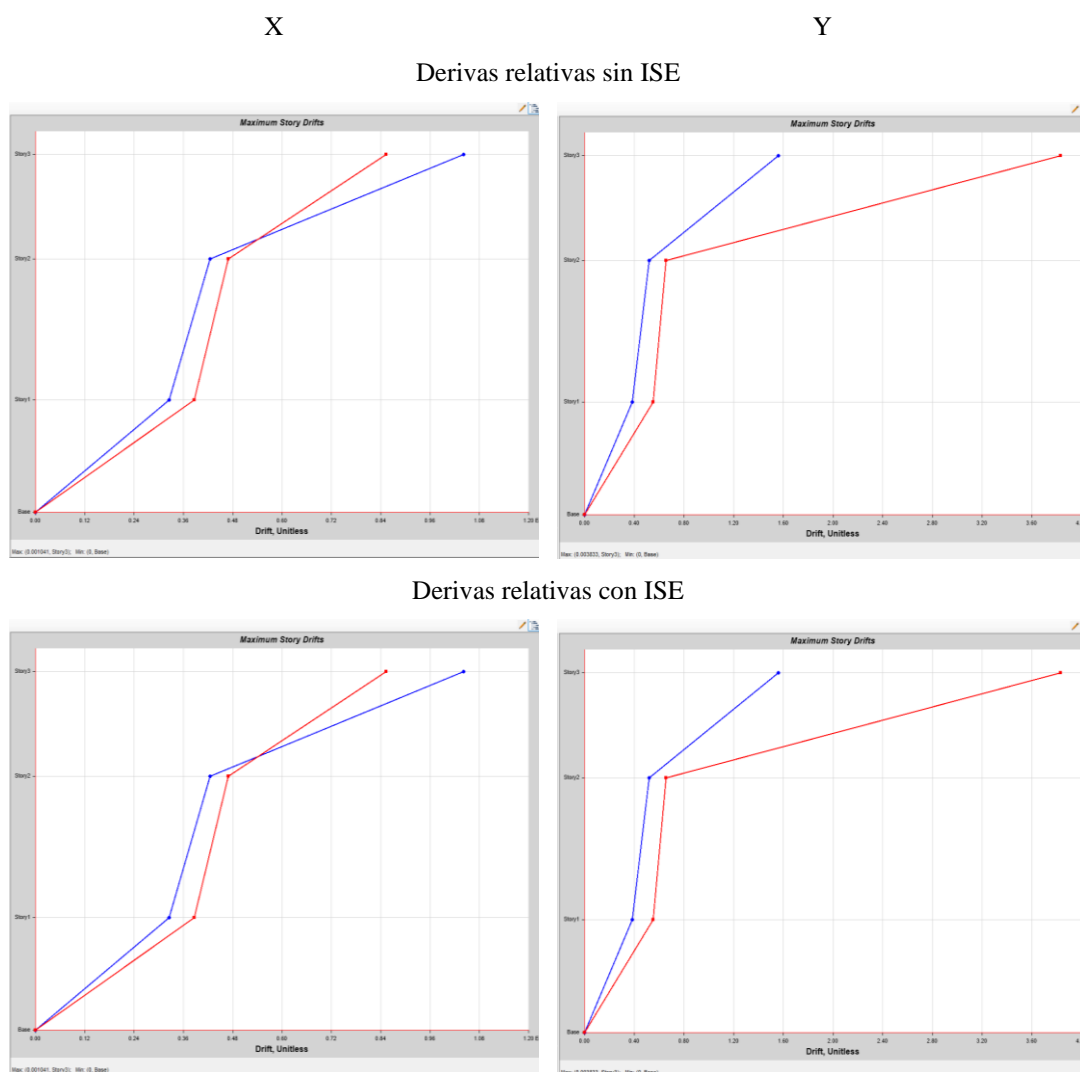
*Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 1*

Derivas relativas						
Sinn ISE en la dirección						
	X			Y		
	Deriva	Deriva.0.75R	Rx=5.40 < 0.007	Deriva	Deriva.0.75R	Ry=2.70 < 0.005
3	0.001041	0.00421605	Sí	0.003833	0.007761825	No
2	0.000425	0.00172125	Sí	0.000656	0.0013284	Sí
1	0.000325	0.00131625	Sí	0.00055	0.00111375	Sí
Con ISE en la dirección						
3	0.001228	0.00497	Sí	0.004485	0.00908	No
2	0.000472	0.00191	Sí	0.000768	0.00155	Sí
1	0.000387	0.00157	Sí	0.000627	0.00127	Sí

*Nota.* Derivas relativas del Pabellón C, Módulo 1, mostrando un aumento moderado con la inclusión de la ISE. La estructura conserva un comportamiento regular en X y límite en Y, superando levemente el valor máximo admisible.

**Figura 92**

*Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 1*



Nota. Derivas calculadas en ETABS v18.1.1 usando Display → Story Drifts → Max Directional Drift Ratio. Se presentan resultados en las direcciones X e Y para los casos con y sin ISE. La estructura se modeló con diafragmas rígidos, rigidez reducida de concreto (0.35E para vigas y 0.7E para columnas) y resortes de interacción en la base de tipo lineal.

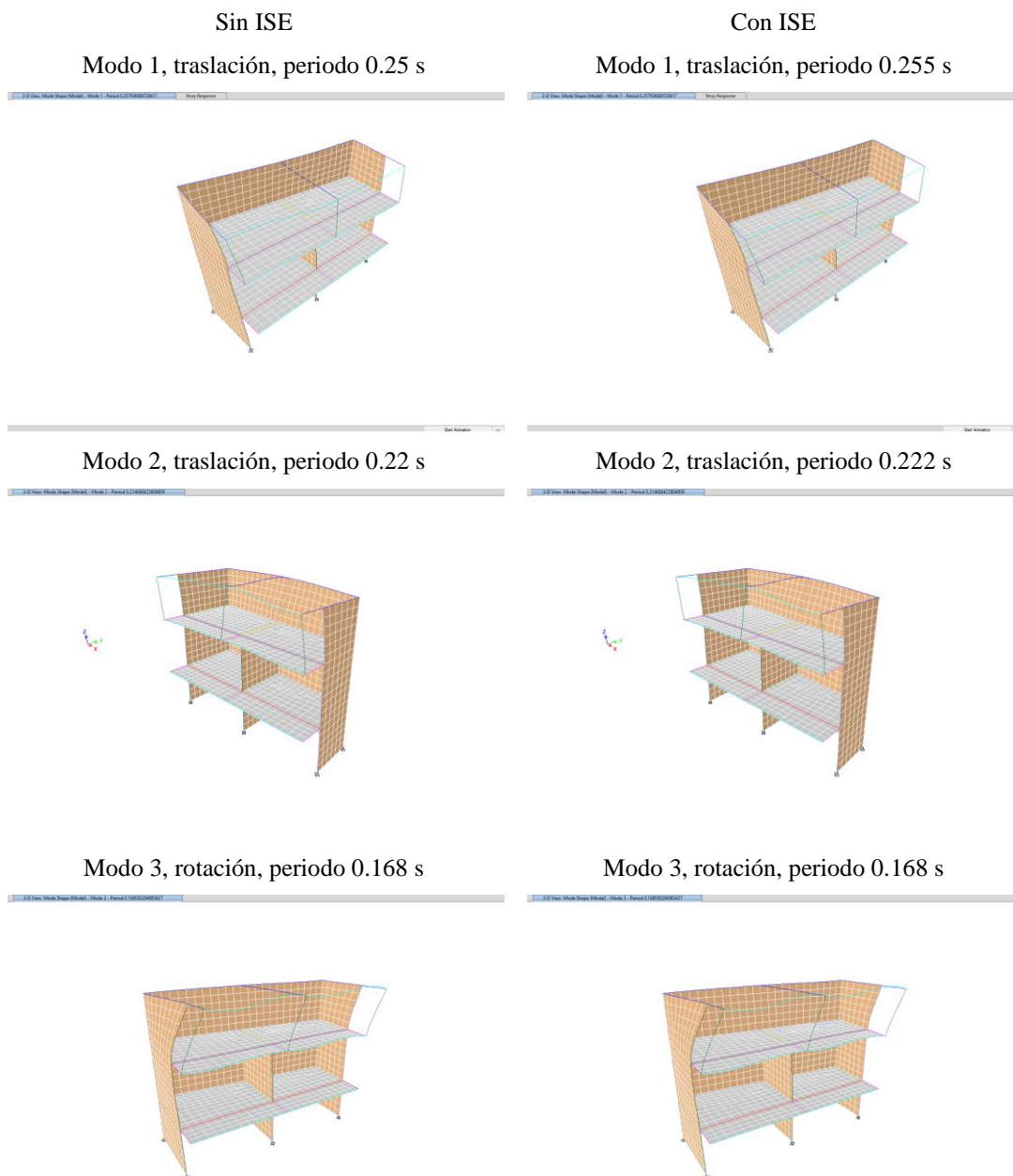
#### **d) Periodos de vibración**

El periodo fundamental aumentó ligeramente al considerar la ISE, especialmente en el primer modo de vibración (siendo 0.25 s con ISE y 0.255 sin ISE). Este aumento se debe a la flexibilidad adicional introducida por la interacción suelo-estructura, que reduce la rigidez global del sistema. A pesar de estos cambios, los dos

primeros modos correspondieron a traslación y el tercero a rotación, cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma E.030 (MVCS, 2018).

### Figura 93

#### Modos de Vibración del Pabellón C, Módulo 1



*Nota.* Modos de vibración determinados en ETABS v18.1.1 mediante el análisis modal espectral (Eigenvalue method). Se visualizan los tres primeros modos con periodos de 0.25 s, 0.22 s y 0.17 s sin ISE, y 0.255 s, 0.222 s y 0.168 s con ISE. El modelo incluye condiciones de frontera empotradas o elásticas según escenario, con amortiguamiento del 5 %.

La cortante basal disminuyó significativamente con la ISE debido a la flexibilidad adicional del suelo. Los desplazamientos absolutos aumentaron al considerar la ISE, reflejando una mayor deformabilidad global. Mientras que, las derivas relativas incrementaron, pero solo en Y del tercer piso se superaron los límites normativos.

#### **4.1.1.3. Módulo 2, Pabellón C**

El análisis estático y dinámico lineal del módulo 2 del pabellón C evidencia que al considerar la ISE, los cortantes basales disminuyeron y los desplazamientos, derivaciones y periodos de vibración aumentan, lo que es coherente con la reducción de rigidez que introduzca la flexibilidad del suelo. No obstante, en todas las condiciones analizadas, los resultados cumplieron con los límites establecidos por la norma E.030 (MVCS, 2018).

##### **a) Cortante basal**

Al incluir la ISE, los cortantes basales disminuyen en ambas direcciones, lo que indica una reducción de rigidez global debido a la flexibilidad introducida por el suelo. En X, el cortante dinámico fue inferior al 80% de la cortante estática, por lo que se aplicó factores de escalada en ambos escenarios. Sin ISE el cortante estático es 29.95 ton (X) y 59.91 ton (Y), y el cortante dinámico es 16.11 ton (X) y 51.68 ton (Y), lo que representa el 54% (X) y 86% (Y) de la cortante estática, por lo que requiere factores de escala en X de 1.46. Con ISE el cortante estático es 29.46 ton (X) y 59.91 ton (Y), y el cortante dinámico es 15.30 ton (X) y 45.48 ton (Y), lo que representa el 60.12% (X) y 75.91% (Y) de la cortante estática, por lo que requiere factores de escala en X de 1.33 y 1.05 en Y.

**Tabla 72***Cortante en la Base del Pabellón C, Módulo 2*

Módulo 2	Cortante en la base (ton) en la dirección			
	Sin ISE		Con ISE	
Dirección	X	Y	X	Y
Estática	29.95	59.91	25.46	59.91
Dinámica	16.11	51.68	15.30	45.48
% cortante dinámica	54	86	60.12	75.91
Factor de escala	1.46		1.33	1.05

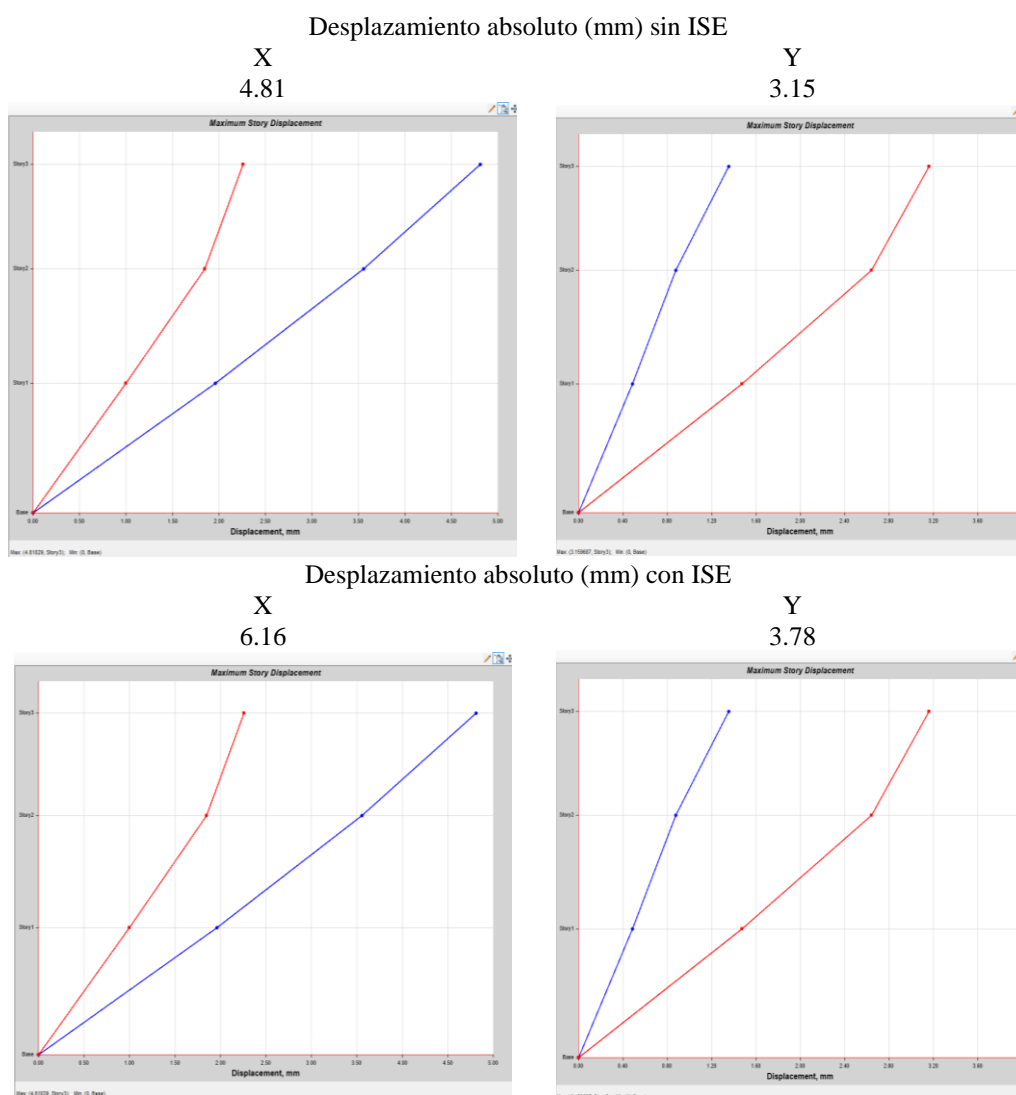
*Nota.* Cortante basal del Pabellón C, Módulo 2 obtenido mediante análisis estático y dinámico. El efecto de la ISE ocasiona una reducción entre 5 % y 17 %, asociada a la pérdida de rigidez global del sistema suelo–estructura.

### **b) Desplazamiento absoluto**

El incremento de los desplazamientos al considerar la interacción suelo-estructura es evidente, aumentando en aproximadamente 28% en la dirección X y 20% en la dirección Y. Esto ocurre debido a la disminución de rigidez general del sistema estructural, lo que permite deformaciones más significativas en la estructura al considerar la flexibilidad del suelo. Los desplazamiento sin ISE en X e Y son 4.81 mm y 3.15 mm; mientras que, con ISE en X e Y son 6.16 mm y 3.78 mm, respectivamente.

## Figura 94

### Desplazamientos Absolutos del Pabellón C, Módulo 2



*Nota.* Gráficos obtenidos en ETABS v18.1.1, opción Display → Story Response → Displacements. Se aplicaron cargas estáticas equivalentes en X y Y y se incluyó la excentricidad accidental del 5 %. El análisis con ISE consideró resortes verticales y horizontales determinados por rigidez dinámica del suelo S2 ( $E = 110 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.35$ ,  $\gamma = 14.55 \text{ kN/m}^3$ ).

### c) Derivas relativas

Las derivaciones aumentaron ligeramente al incluir el ISE, reflejando un incremento en la flexibilidad global del sistema estructural. Sin embargo, en ambos casos, las derivaciones permanecieron dentro de los límites establecidos por la norma E.030 (MVCS, 2018), indicando que la estructura aún mantiene un comportamiento

adecuado en cuanto a control de deformaciones relativas. Sin ISE, los valores de derivación fueron de 0.000668 en X y 0.000209 en Y en el tercer piso, 0.000535 en X y 0.000389 en Y en el segundo piso, y 0.000495 en X y 0.000433 en Y en el primer piso. Al considerar la ISE, las derivaciones aumentaron ligeramente, registrándose 0.000741 en X y 0.000251 en Y en el tercer piso, 0.000615 en X y 0.000432 en Y en el segundo piso, y 0.000559 en X y 0.000515 en Y en el primer piso. El incremento observado al incluir la interacción suelo-estructura es consistente con la reducción de rigidez global, sin embargo, las derivaciones permanecieron dentro de los rangos permitidos, garantizando un desempeño estructural adecuado bajo las condiciones evaluadas.

**Tabla 73**

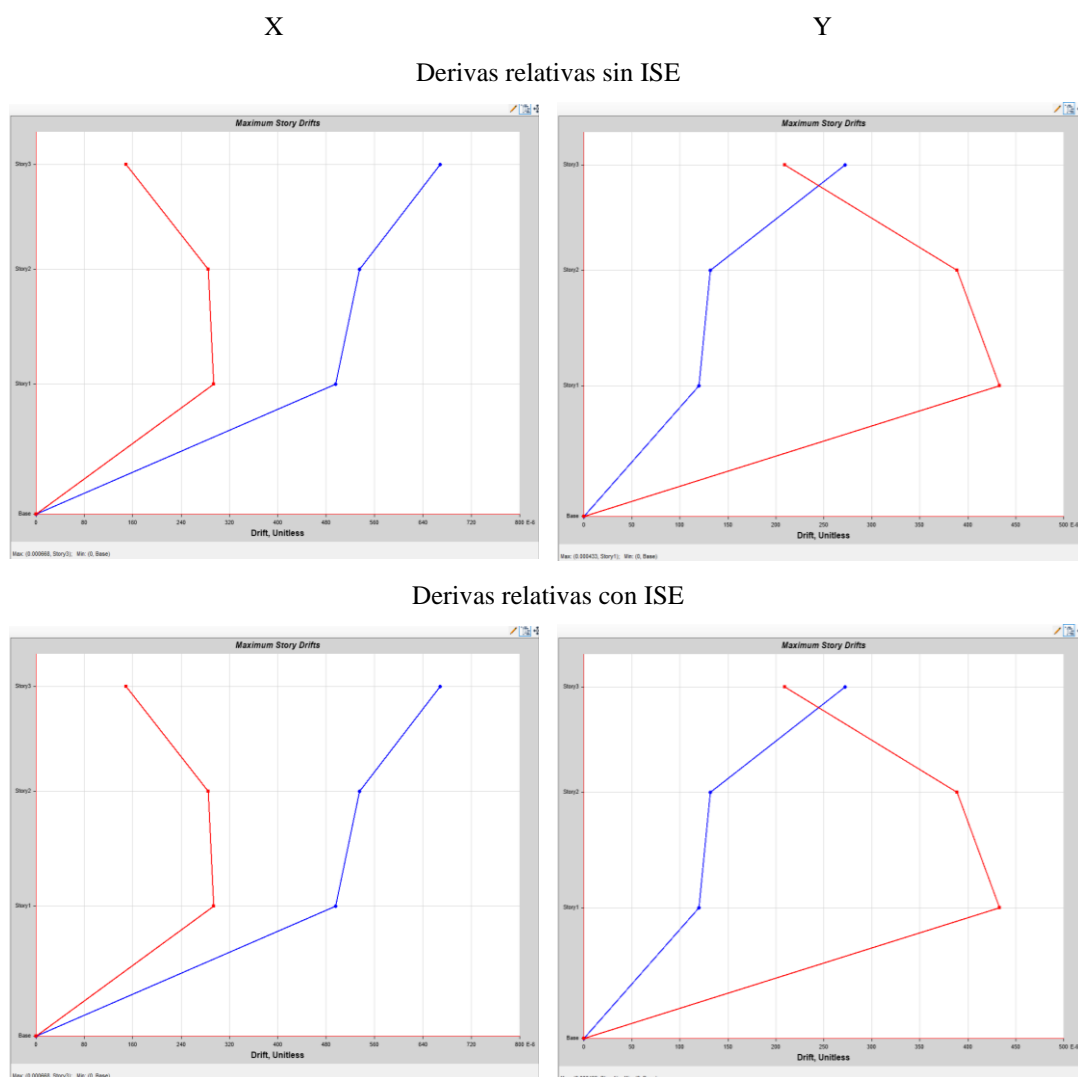
*Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 2*

Derivas relativas						
Sinn ISE en la dirección						
Piso	X		Rx=6	Y		Ry=3
	Deriva	Deriva.0.75R	< 0.007	Deriva	Deriva.0.75R	< 0.005
3	0.000668	0.003006	Sí	0.000209	0.00047025	Sí
2	0.000535	0.0024075	Sí	0.000389	0.00087525	Sí
1	0.000495	0.0022275	Sí	0.000433	0.00097425	Sí
Con ISE en la dirección						
3	0.000741	0.00334	Sí	0.000251	0.00056	Sí
2	0.000615	0.00277	Sí	0.000432	0.00097	Sí
1	0.000559	0.00252	Sí	0.000515	0.00116	Sí

*Nota.* Derivas relativas del Pabellón C, Módulo 2. Se constata un incremento máximo del 15 % en las derivas al considerar la interacción suelo-estructura, manteniéndose dentro de los límites de la E.030 (2018) para edificaciones regulares.

**Figura 95**

*Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 2*



*Nota.* Resultados procesados en ETABS v18.1.1 con Display → Story Drifts → Max Directional Drift Ratio. Los valores se calcularon a partir de desplazamientos laterales relativos entre pisos consecutivos. Las condiciones de contorno y cargas son idénticas a las de la Figura 100, con amortiguamiento del 5%.

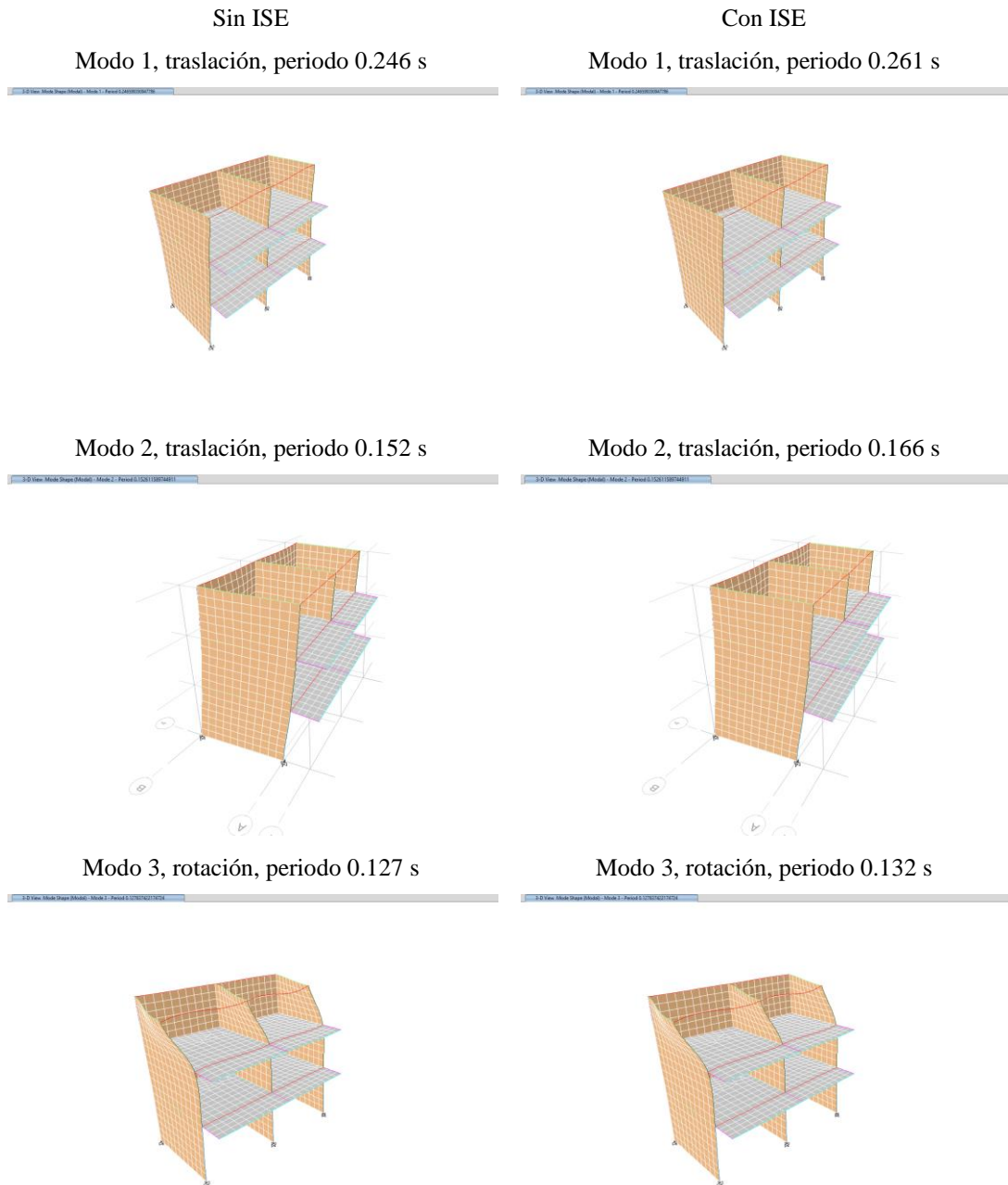
**d) Periodos de vibración**

Los periodos de vibración aumentan al considerar la interacción suelo-estructura, lo que es consistente con la reducción de rigidez global causada por la flexibilidad del suelo. Sin embargo, se mantuvo el cumplimiento normativo, ya que los dos primeros modos correspondieron a traslación y el tercero a rotación, tal como lo establece la norma E.030 (MVCS, 2018). Los periodos fundamentales en el modo 1, 2

y 3 alcanzan 0.246 s (traslación), 0.152 s (traslación) y 0.127 s (rotación) sin ISE, y 0.261 s (traslación), 0.166 s (traslación), 0.132 s (rotación) con ISE, respectivamente.

### Figura 96

#### Modos de Vibración del Pabellón C, Módulo 2



Nota. Análisis modal realizado en ETABS v18.1.1 por el método de valores propios (Eigenvalue). Se representan los tres primeros modos (dos traslacionales y uno rotacional). Las condiciones de contorno

se establecieron como base empotrada (sin ISE) y con rigidez de resortes horizontales y verticales (con ISE).

Por tanto, la cortante basal disminuyó con la ISE en ambas direcciones, reflejando menor rigidez global. Los desplazamiento y derivas se incrementaron levemente, pero cumplieron con los límites normativos en ambos casos.

#### **4.1.1.4.Módulo 3, Pabellón C**

El análisis estático y dinámico lineal del módulo 3 del pabellón C evidenció que al considerar la ISE, la cortante basal disminuyó mientras que los desplazamientos, derivas y periodos de vibración aumentaron, lo que es consistente con la reducción de rigidez global al considerar la flexibilidad del suelo. Aunque las derivas en la mayoría de los niveles cumplieron con los límites normativos, el tercer piso en la dirección Y excedió los valores permitidos.

##### **a) Cortante basal**

La cortante basal disminuyó al considerar la ISE, lo que indica una reducción en la rigidez global de la estructura. En ambos escenarios (con y sin ISE), los porcentajes de cortante dinámica no alcanzaron el 80% requerido por la norma E.030, por lo que fue necesario aplicar factores de escala superiores a 1, pero no afectan el cálculo de derivas. Sin ISE la cortante estática es 55.41 ton (X) y 147.75 ton (Y), mientras que, la cortante dinámica es 27.54 ton (X) y 76.73 ton (Y), siendo el porcentaje de cortante dinámica 49.70% (X) y 51.93% (Y), por lo que, el factor de escala es 1.61 (X) y 1.54 (Y). Con ISE la cortante estática es 44.33 ton (X) y 147.75 ton (Y), mientras que, la cortante dinámica es 23.96 ton (X) y 62.92 ton (Y), siendo el porcentaje de cortante dinámica 54.05% (X) y 42.58% (Y), por lo que, el factor de escala es 1.48 (X) y 1.88 (Y).

**Tabla 74***Cortante en la Base del Pabellón C, Módulo 3*

Módulo 1	Cortante en la base (ton) en la dirección			
	Sin ISE		Con ISE	
Dirección	X	Y	X	Y
Estática	55.41	147.75	44.33	147.75
Dinámica	27.54	76.73	23.96	62.92
% cortante dinámica	49.70	51.93	54.05	42.58
Factor de escala	1.61	1.54	1.48	1.88

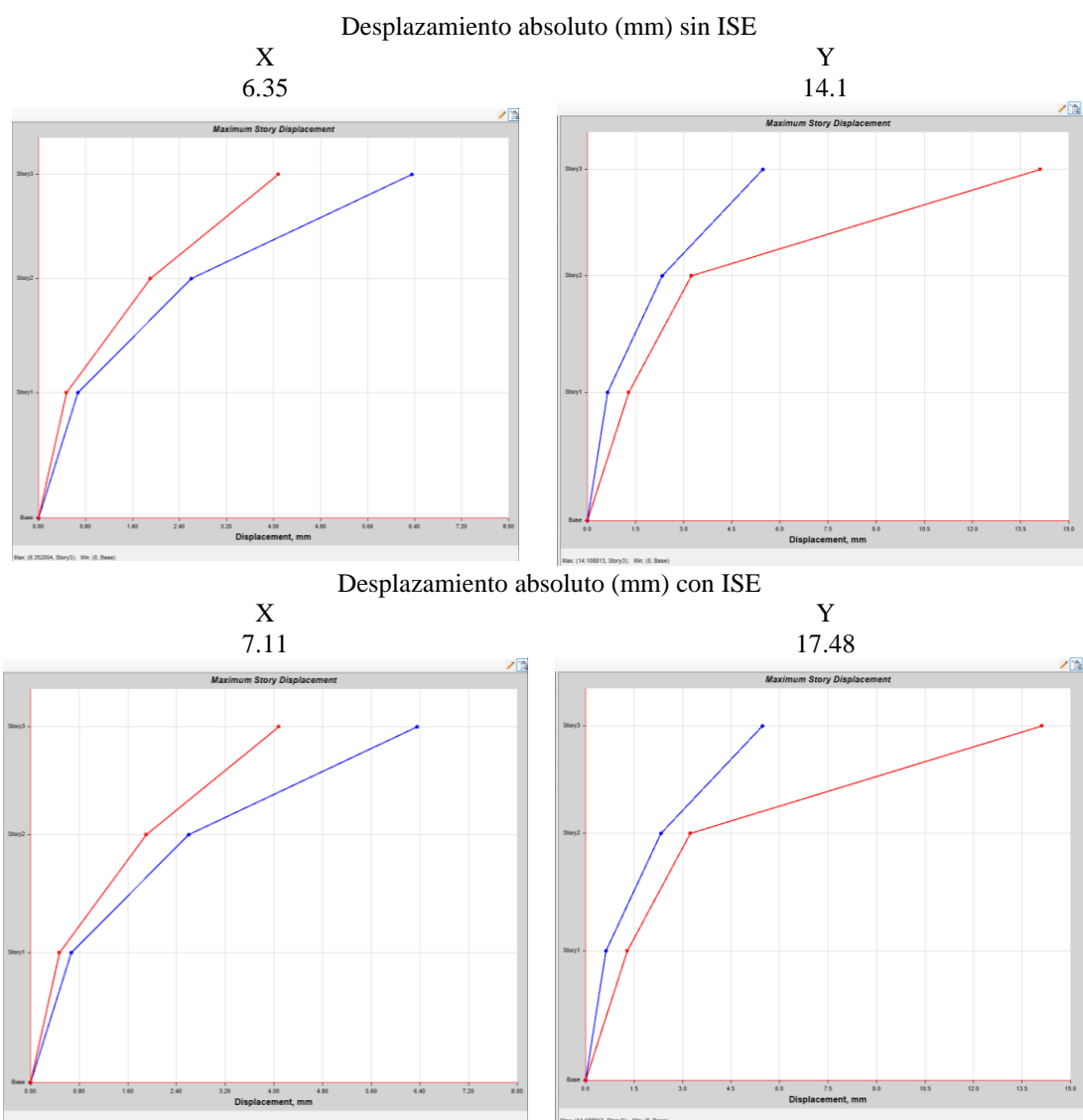
*Nota.* Cortante basal del Pabellón C, Módulo 3 con y sin ISE. Se presenta una reducción de hasta 25 % en X y 21 % en Y, lo que refleja una respuesta más flexible de la cimentación y menor rigidez global del conjunto estructural.

#### **b) Desplazamientos laterales**

Los desplazamientos laterales aumentaron en ambas direcciones al considerar la ISE, con incrementos de aproximadamente 12% en X y 24% en Y. Sin ISE los desplazamientos en X e Y son 6.35 mm y 14.10 mm, mientras que, con ISE los desplazamientos en X e Y son 7.11 mm y 17.48 mm. Esto se debe a la disminución de la rigidez global de la estructura al considerar la flexibilidad de la base, lo que permite mayor deformación del sistema estructural frente a sismos.

**Figura 97**

*Desplazamientos Absolutos del Pabellón C, Módulo 3*



*Nota.* Resultados extraídos de ETABS v18.1.1 mediante el comando Display → Story Response → Displacements. Se consideran masas sísmicas equivalentes y amortiguamiento del 5 %. Los desplazamientos fueron calculados bajo casos de carga estática y dinámica combinados con los factores de escala definidos para la compatibilidad de cortantes.

**c) Derivas relativas**

Las derivas relativas aumentaron al considerar la interacción suelo-estructura, manteniéndose dentro de los límites normativos (0.7% en X y 0.5% en Y) en todos los pisos, excepto en Y del tercer nivel, donde se superaron los valores permitidos tanto sin ISE (0.004508) como con ISE (0.005410). Sin ISE, en el tercer piso las derivas fueron

de 0.001433 en X, cumpliendo con el límite de 0.7%, y de 0.004508 en Y, superando el límite permitido del 0.5%. En los pisos inferiores, tanto en el segundo nivel con derivas de 0.000646 en X y 0.000706 en Y, como en el primer nivel con 0.000169 en X y 0.000389 en Y, los valores cumplieron con los requisitos normativos. Al considerar la ISE, las derivas aumentaron ligeramente, alcanzando 0.001634 en X y 0.005410 en Y en el tercer piso, donde nuevamente se incumplió el límite en la dirección Y. En los pisos inferiores, sin embargo, los valores se mantuvieron dentro de lo permitido, con 0.000756 en X y 0.000847 en Y en el segundo piso, y 0.000198 en X y 0.000428 en Y en el primer piso.

**Tabla 75**

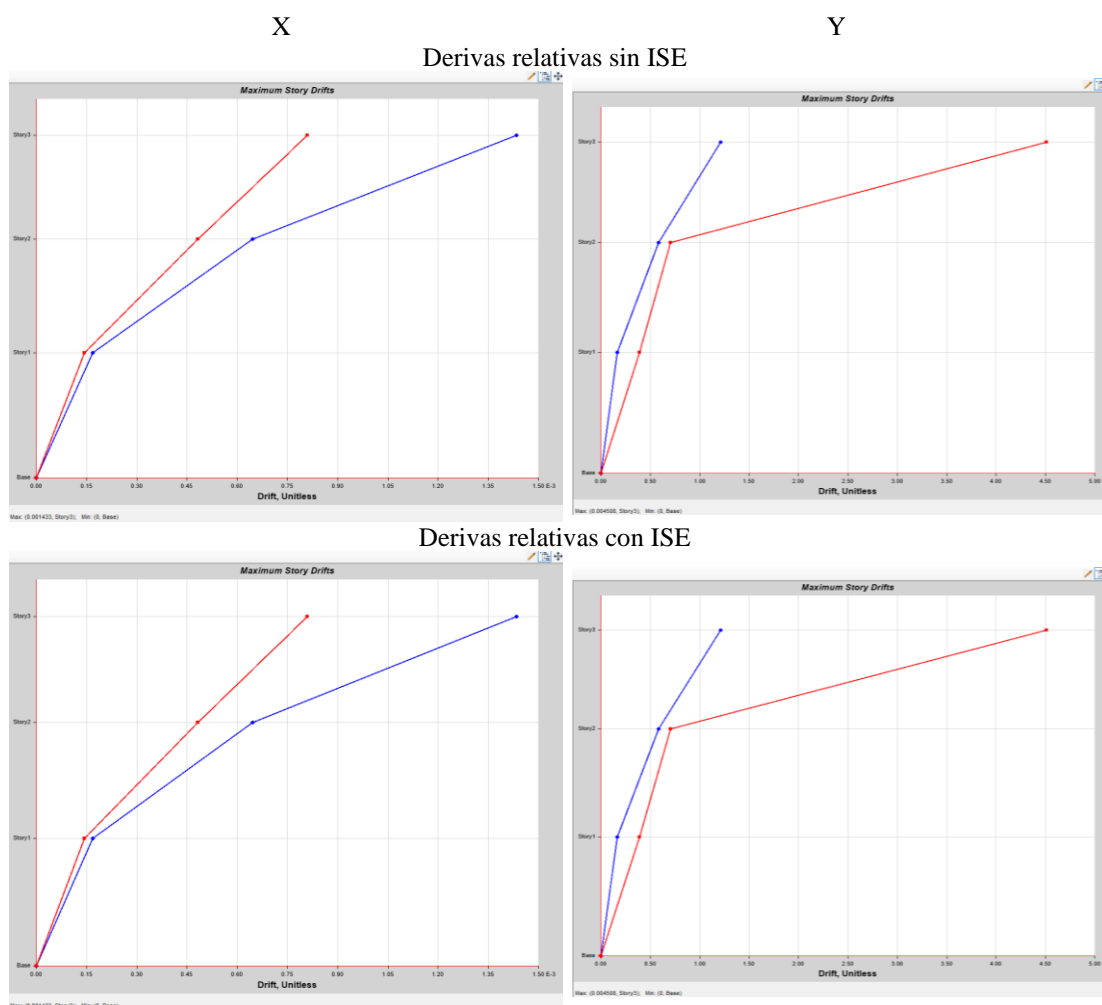
*Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 3*

Derivas relativas						
Sinn ISE en la dirección						
	X		R <sub>x</sub> =4.5	Y		R <sub>y</sub> =1.69
Piso	Deriva	Deriva.0.75R	< 0.007	Deriva	Deriva.0.75R	< 0.005
3	0.001433	0.00484	Sí	0.004508	0.00571	No
2	0.000646	0.00218	Sí	0.000706	0.00089	Sí
1	0.000169	0.00057	Sí	0.000389	0.00049	Sí
Con ISE en la dirección						
3	0.001634	0.00551	Sí	0.005410	0.00686	No
2	0.000756	0.00255	Sí	0.000847	0.00107	Sí
1	0.000198	0.00067	Sí	0.000428	0.00054	Sí

*Nota.* Derivas relativas del Pabellón C, Módulo 3. El análisis indica un incremento promedio del 13 % al considerar la ISE, manteniéndose las derivas bajo los valores límites normativos, excepto en dirección Y del tercer piso, donde el límite se excede ligeramente.

**Figura 98**

*Derivas Relativas del Pabellón C, Módulo 3*



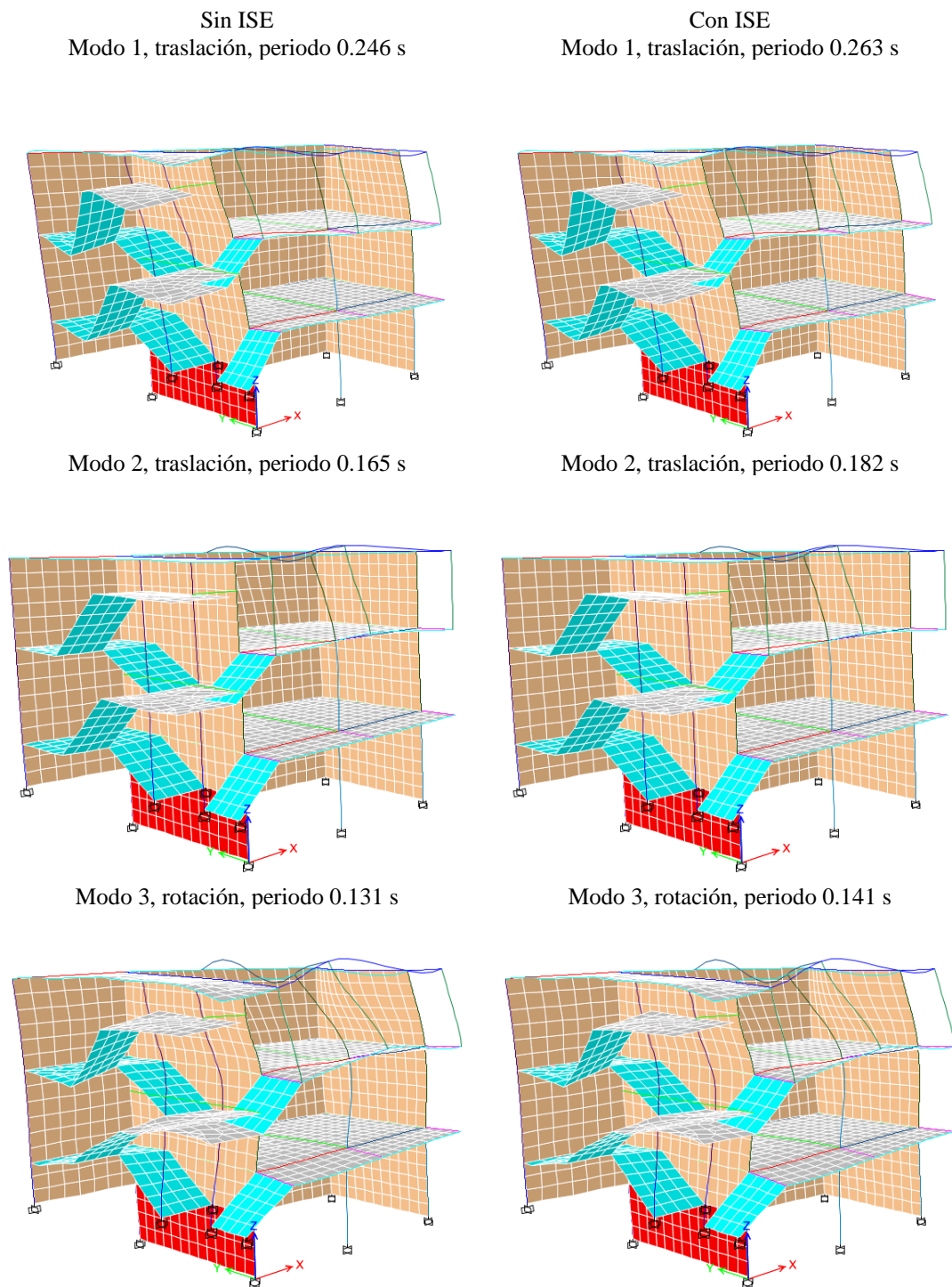
*Nota.* Gráficos obtenidos en ETABS v18.1.1 mediante Display → Story Drifts → Max Directional Drift Ratio. Se emplearon modelos con base empotrada (sin ISE) y con resortes elásticos horizontales y verticales (con ISE), definidos según la rigidez equivalente del suelo S2 ( $E = 110 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.35$ ,  $\gamma = 14.55 \text{ kN/m}^3$ ). Las derivas se calcularon con base en la altura entre pisos y los límites normativos de la NTE E.030 (2018).

#### **d) Periodos de vibración**

Los periodos fundamentales de vibración aumentaron al considerar la interacción suelo-estructura, reflejando una reducción de rigidez general del sistema estructural. A pesar del incremento, se mantuvo el cumplimiento normativo, ya que los dos primeros modos de vibración correspondieron a traslación y el tercero a rotación, como exige la norma E.030 (MVCS, 2018).

**Figura 99**

*Modos de Vibración del Pabellón C, Módulo 3*



Nota. Resultados generados en ETABS v18.1.1 utilizando el método modal por valores propios (Eigenvalue). Se muestran los tres primeros modos: traslacionales (1 y 2) y rotacional (3). El modelo considera empotramiento total (sin ISE) y resortes equivalentes en la base (con ISE). Se asumió amortiguamiento del 5% del crítico y rigideces reducidas (0.7E para columnas y 0.35E para vigas).

#### **4.1.2. Desempeño sísmico estático no lineal sin considerar la ISE**

En el Objetivo específico 2 (Pushover sin ISE), la interpretación ingenieril indica que, bajo la idealización de base fija, los módulos presentan una capacidad lateral suficiente para sismos de servicio y diseño, pero exhiben márgenes reducidos de reserva frente a sismos máximos, donde el control pasa de resistencia a deformación y formación de mecanismos inelásticos. Las curvas de capacidad muestran marcadas diferencias de rigidez y resistencia por dirección, destacando el módulo A-M1 en X con alta cortante (840.81 tn) y desplazamiento reducido (1.23 cm), lo que caracteriza una respuesta más rígida; en contraste, la dirección Y del mismo módulo desarrolla menor cortante (325.66 tn) con mayor desplazamiento (6.30 cm), evidenciando menor rigidez transversal. En el pabellón C, la respuesta es heterogénea: el C-M2 en Y alcanza la mayor demanda de desplazamiento (18.46 cm), lo que sugiere un sistema más flexible, mientras que el C-M3 en Y combina alta cortante (568.31 tn) con baja deformación (3.35 cm), lo que es consistente con una respuesta más rígida en esa dirección, pero susceptible a degradación rápida cuando se excede su umbral. Esta lectura se confirma en los puntos de desempeño: al aumentar la amenaza sísmica, se incrementa el desplazamiento objetivo y varios casos alcanzan precolapso (CP) en sismo máximo, particularmente A-M1 en X, C-M1 en X y C-M3 en Y, lo que evidencia concentración de demandas y probables irregularidades de rigidez/resistencia que inducen daño severo en dichas direcciones. En términos de desempeño, el hecho de que solo C-M2 (X e Y) y C-M1 en Y cumplan la secuencia Operacional–Funcional–Seguridad de vida indica que, aun sin considerar ISE, la edificación no garantiza un desempeño aceptable ante el escenario máximo, por lo que los resultados orientan a que las direcciones críticas y los módulos no conformes requieren medidas de intervención enfocadas en incrementar rigidez y capacidad deformacional, más que solo resistencia.

El análisis estático no lineal del colegio Abel Carbajal Perez, sin considerar la interacción suelo-estructura, evidenció desempeño estructural adecuado bajo sismos de baja y moderada intensidad en la mayoría de módulos, alcanzando niveles funcionales. No obstante, para sismos máximos, se identificaron condiciones críticas, especialmente en Y del módulo 3 del pabellón C y X del módulo 1 del pabellón A, en precolapso.<sup>2</sup>

#### a) Curva de capacidad

Los resultados reflejaron que la cortante basal máxima se presentó en el módulo 1 del pabellón A, con 840.81 ton en X y 325.66 ton en Y. Los desplazamientos máximos fueron de 1.23 cm y 6.3 cm en las mismas direcciones, lo que indica mayor rigidez en X y mayor flexibilidad en Y. En el pabellón C, los valores máximos variaron considerablemente entre módulos. Por ejemplo, en el módulo 3, la cortante basal en X fue de 217.57 ton con un desplazamiento de 12 cm, mientras que en Y alcanzó 568.31 ton con un desplazamiento de 3.35 cm, reflejando una mayor resistencia, pero menor deformación en la dirección Y.

**Tabla 76**

*Curva de Capacidad del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
1	A	X	840.81	1.23
1	A	Y	325.657	6.3
1	C	X	617.38	4.48
1	C	Y	482.26	11.89
2	C	X	432	5.00
2	C	Y	372.136	18.46
3	C	X	217.57	12
3	C	Y	568.31	3.35

*Nota.* Curvas de capacidad global (sin ISE). El mayor cortante lo aporta el Pabellón A en X (840.81 tn)

con desplazamiento pequeño (1.23 cm), mientras que los mayores desplazamientos se observan en C-

<sup>2</sup> Todos los resultados numéricos presentados en este capítulo conservan las unidades originales del modelo estructural elaborado en ETABS 2022 (ton-mm-s). Para fines de consistencia con el Sistema Internacional de Unidades (SI), en el Anexo 5 se presenta la tabla de equivalencias y factores de conversión utilizados para los parámetros de carga, desplazamiento, esfuerzo y periodo.

M2 en Y (18.46 cm) y C-M3 en X (12.00 cm), evidenciando diferencias de rigidez entre módulos y direcciones.

#### **b) Puntos de desempeño por nivel de amenaza sísmica**

En los puntos de desempeño por nivel de amenaza sísmica (Tabla 69), se evidenció una respuesta diferenciada entre los módulos y las direcciones. En el módulo 1 del pabellón A, para un sismo de servicio, la estructura se mantuvo en un nivel funcional en ambas direcciones, con cortantes de 177.93 toneladas en X y 91.01 toneladas en Y. En un sismo de diseño, la estructura alcanzó el nivel de seguridad de vida, con cortantes de 451.26 toneladas en X y 153.20 toneladas en Y. Sin embargo, para un sismo máximo, la dirección X alcanzó el nivel de precolapso con 662.9 toneladas, mientras que en Y se mantuvo en seguridad de vida con 210.11 toneladas.

En el módulo 1 del pabellón C, se presentó un desempeño similar. En la dirección X, la estructura alcanzó el nivel funcional para sismos de servicio y de diseño, pero llegó a precolapso en un sismo máximo, con una cortante de 505.06 toneladas y un desplazamiento de 35.8 mm. En la dirección Y, se evidenció un mejor desempeño, manteniéndose en el nivel operacional para sismos de servicio, funcional para sismos de diseño y seguridad de vida en sismos máximos.

El módulo 2 del pabellón C mostró comportamiento más uniforme, cumpliendo con los objetivos de desempeño en ambas direcciones. Para sismos de servicio, la estructura se mantuvo operacional, alcanzando 28.4 toneladas en X y 107.42 toneladas en Y. En sismos de diseño, la estructura se comportó de manera funcional, mientras que, para un sismo máximo, alcanzó el nivel de seguridad de vida, sin superar los límites normativos.

En el módulo 3 del pabellón C, la estructura se mantuvo funcional en la dirección X para sismos de servicio y diseño, pero alcanzó el nivel de seguridad de vida para un sismo máximo. En la dirección Y, sin embargo, se mantuvo operacional para

sismos de servicio, funcional para sismos de diseño y alcanzó el nivel crítico de precolapso en un sismo máximo, lo que indica una reducción considerable de la capacidad estructural en esa dirección bajo cargas extremas.

**Tabla 77**

*Puntos de Desempeño del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (mm)
1	A	X	Servicio	177.927	2.336
1	A	X	Diseño	451.264	6.4
1	A	X	Máximo	662.9	9.6
1	A	Y	Servicio	91.01	13.99
1	A	Y	Diseño	153.20	17.86
1	A	Y	Máximo	210.11	26.60
1	C	X	Servicio	134.26	7.397
1	C	X	Diseño	192.17	11.62
1	C	X	Máximo	505.06	35.8
1	C	Y	Servicio	62.24	9.15
1	C	Y	Diseño	183.82	34.00
1	C	Y	Máximo	325.04	73.60
2	C	X	Servicio	28.4	2.67
2	C	X	Diseño	144.54	16.23
2	C	X	Máximo	268.4	30.925
2	C	Y	Servicio	107.42	5.66
2	C	Y	Diseño	176.78	9.40
2	C	Y	Máximo	412.23	23.96
3	C	X	Servicio	44.16	13.76
3	C	X	Diseño	67.64	24.6
3	C	X	Máximo	134.56	55.52
3	C	Y	Servicio	107.42	5.66
3	C	Y	Diseño	176.78	9.40
3	C	Y	Máximo	412.23	23.96

*Nota.* Puntos de desempeño (sin ISE). Del sismo de Servicio a Máximo aumenta sistemáticamente el desplazamiento objetivo; en C-M1-Y se alcanzan demandas altas (hasta 73.60 mm), indicando mayor flexibilidad del sistema transversal en ese módulo.

### c) Verificación del cumplimiento normativo

De acuerdo con la ATC-40 (1996), los módulos analizados alcanzan niveles de desempeño entre Ocupación inmediata (IO) y Prevención de colapso (CP). Solo los módulos 2 del pabellón C (en X e Y) y el módulo 1 del pabellón C (en Y) se mantienen dentro del rango IO–LS, cumpliendo con los objetivos de desempeño, mientras que los demás alcanzan CP, indicando un comportamiento límite ante sismos máximos.

Al evaluar el cumplimiento de los objetivos de desempeño, se concluyó que solo los módulos 2 del pabellón C en ambas direcciones y el módulo 1 del pabellón C en la dirección Y lograron cumplir con los criterios normativos para los tres niveles de amenaza sísmica. Sin embargo, los módulos 1 y 3 del pabellón C y el módulo 1 del pabellón A no lograron alcanzar los niveles requeridos de desempeño en sismos máximos, reflejando un comportamiento estructural más crítico y con mayor vulnerabilidad.

**Tabla 78**

*Verificación del Cumplimiento de los Objetivos de Desempeño del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño			Verificación del cumplimiento de objetivos
			Servicio	Diseño	Máximo	
1	A	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	No cumple
1	A	Y	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida	No cumple
1	C	X	Funcional	Funcional	Precolapso	No cumple
1	C	Y	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Cumple
2	C	X	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Cumple
2	C	Y	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Cumple
3	C	X	Funcional	Funcional	Seguridad de vida	No cumple
3	C	Y	Operacional	Funcional	Precolapso	No cumple
<b>Objetivos de desempeño</b>			<b>Operacional</b>	<b>Funcional</b>	<b>Seguridad de vida</b>	

*Nota.* Verificación de objetivos (sin ISE). Cumplen globalmente los módulos C-M1-Y y C-M2 (X e Y). Los demás casos no satisfacen la combinación de metas Operacional–Funcional–Seguridad de vida, principalmente por excedencias en la etapa de Máximo.

#### 4.1.2.1. Módulo 1, Pabellón A

El módulo 1 del pabellón A, sin considerar la interacción suelo-estructura, mostró desempeño estructural diferenciado entre X e Y. Mientras que en X se evidenció mayor rigidez y comportamiento más crítico solo en sismos máximos, en Y presentó deformaciones más pronunciadas, aunque dentro de los límites de seguridad de vida.

##### a) Curva de capacidad y desempeño general

La curva de capacidad muestra que la cortante basal máxima alcanzada en la dirección X fue de 840.81 toneladas con un desplazamiento máximo de 1.23 cm, mientras que en la dirección Y, la cortante basal máxima fue de 325.66 toneladas con un desplazamiento significativamente mayor de 6.3 cm. Estos resultados reflejan una mayor rigidez en X y una mayor flexibilidad en Y.

**Tabla 79**

*Curva de Capacidad del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	840.81	1.23
Y	325.66	6.3

*Nota.* Curva de capacidad A-M1 (sin ISE). Alta resistencia en X (840.81 tn) con deriva pequeña; en Y la capacidad de corte disminuye (325.66 tn) y el desplazamiento último crece (6.30 cm).

##### b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica

Al analizar los puntos de desempeño estructural bajo distintos niveles de amenaza sísmica, se evidenció que, para un sismo de servicio, la estructura alcanzó el nivel de desempeño funcional en ambas direcciones. En X, la cortante basal fue de 177.93 toneladas con un desplazamiento de 2.34 mm, mientras que en Y, la cortante basal fue de 91.01 toneladas con un desplazamiento de 13.99 mm. En un escenario de sismo de diseño, la estructura mostró un comportamiento de seguridad de vida en ambas direcciones, alcanzando 451.26 toneladas y 6.40 mm de desplazamiento en X, y 153.20 toneladas con 17.86 mm de desplazamiento en Y. Sin embargo, para un sismo máximo,

la edificación presentó un comportamiento crítico diferenciado: en la dirección X, se alcanzó el nivel de precolapso, con una cortante basal de 662.9 toneladas y un desplazamiento de 9.60 mm, mientras que en la dirección Y, la estructura se mantuvo en seguridad de vida, con 210.11 toneladas y un desplazamiento de 26.60 mm.

**Tabla 80**

*Punto de Desempeño para el Pabellón A, Módulo 1, en X e Y, sin ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	177.927	2.34	91.01	13.99
Diseño	451.264	6.40	153.20	17.86
Máximo	662.9	9.60	210.11	26.60

*Nota.* Puntos de desempeño A-M1 (sin ISE). En X el desempeño evoluciona de Funcional (Servicio) a Precolapso (Máximo) con desplazamientos de 2.34–9.60 mm; en Y se llega a Seguridad de vida en Diseño y Máximo (13.99–26.60 mm).

**c) Verificación de los objetivos de desempeño**

El nivel de desempeño del módulo 1 del pabellón A, sin considerar la ISE, en X es funcional, seguridad de vida y precolapso para un sismo de servicio, diseño y máximo, respectivamente, por lo que, no cumple con los objetivos de desempeño, mientras que en Y es funcional, seguridad de vida y seguridad de vida para un sismo de servicio, diseño y máximo, respectivamente, por lo que, cumple parcialmente con los objetivos de desempeño.

**Tabla 81**

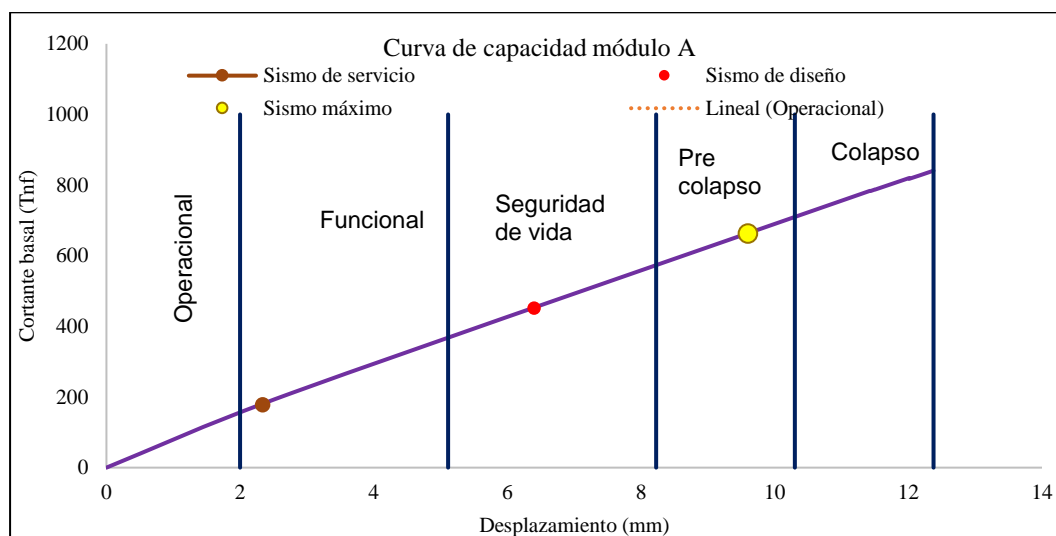
*Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
1	A	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
1	A	Y	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación A-M1 (sin ISE). La dirección X alcanza Precolapso en Máximo y la Y permanece en Seguridad de vida; respecto a la meta global planteada, el módulo no la satisface en todas las combinaciones.

**Figura 100**

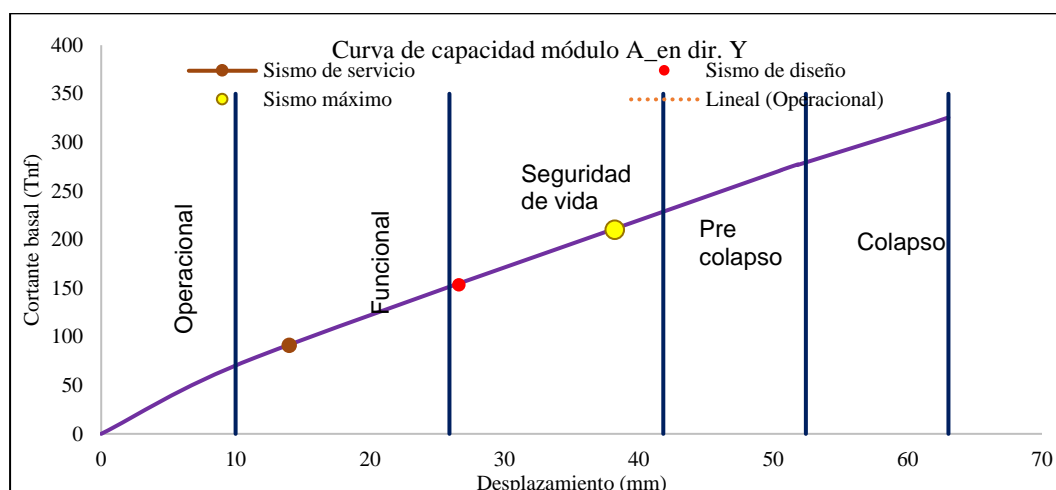
*Nivel de Desempeño en X del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE*



*Nota.* Curva de capacidad generada en ETABS v18.1.1 mediante el análisis Static Nonlinear (Pushover) con control por desplazamiento. Se emplearon rótulas tipo M3 en vigas y P-M2-M3 en columnas según ASCE 41-13, con el algoritmo Force-Controlled y criterio de convergencia Full Newton. El punto de desempeño corresponde a la intersección del espectro de demanda ATC-40 (Sa-Sd) con la curva de capacidad.

**Figura 101**

*Objetivos de Desempeño en Y del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE*

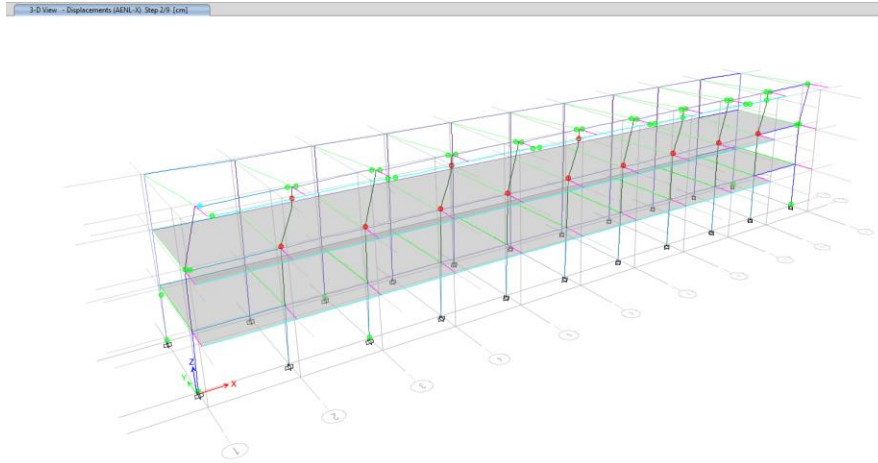


*Nota.* Curva obtenida en ETABS v18.1.1 a partir del caso Pushover Y definido con carga lateral incremental tipo triangular. Los niveles de desempeño (Operacional, Funcional, Seguridad de vida,

Precolapso y Colapso) se determinaron conforme al ATC-40 (1996). El espectro de demanda se basó en la Norma E.030 (RNE, 2018) con amortiguamiento del 5%.

### Figura 102

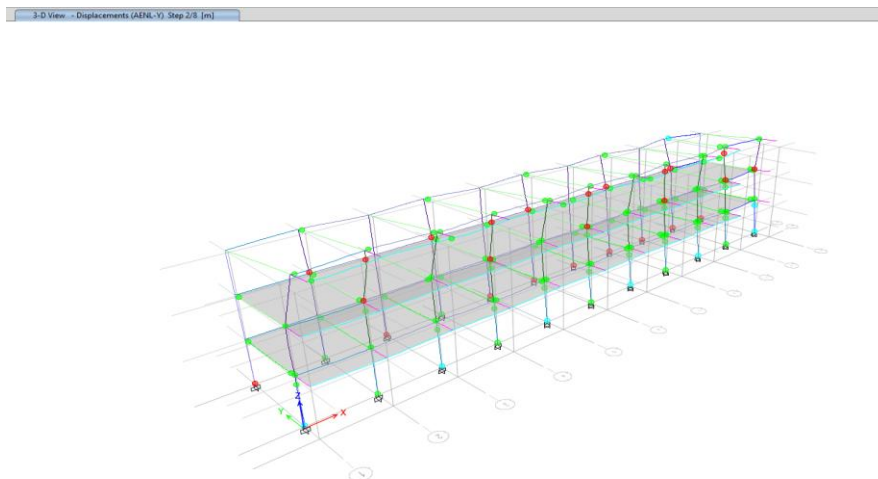
#### *Rótulas de Falla en X, del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE*



*Nota.* Visualización obtenida en ETABS v18.1.1 mediante Display → Hinge Results → Deformed Shape. Las rótulas plásticas M3 se asignaron en vigas y P-M2-M3 en columnas, configuradas según ASCE 41-13. Se aplicaron condiciones de empotramiento total y patrón lateral tipo X hasta alcanzar el punto de desempeño.

### Figura 103

#### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE*



*Nota.* Gráfico exportado desde ETABS v18.1.1, comando Display → Hinge Results → Pushover Y. Se muestran los estados de rótula (IO, LS, CP y C) en la dirección transversal. El patrón lateral tipo Y se aplicó con control por desplazamiento y condición de base empotrada.

#### 4.1.2.2. Módulo 1, Pabellón C

El módulo 1 del pabellón C, sin considerar la interacción suelo-estructura, presentó un comportamiento estructural diferenciado entre las direcciones X e Y. Mientras que en X la estructura mantuvo un desempeño funcional en sismos moderados, alcanzando el nivel de precolapso en eventos máximos, en Y se evidenció un comportamiento más flexible con mayores deformaciones, alcanzando el nivel de seguridad de vida en sismos de diseño y máximos.

##### a) Curva de capacidad y desempeño general

En la curva de capacidad, se observó que la cortante basal máxima en la dirección X fue de 617.38 toneladas con un desplazamiento máximo de 4.48 cm, mientras que en la dirección Y, la cortante basal alcanzó 482.26 toneladas con un desplazamiento máximo de 11.89 cm. Estos valores reflejan una mayor rigidez en la dirección X, con menores deformaciones, en comparación con la dirección Y, donde la estructura mostró mayor flexibilidad y deformaciones más significativas.

**Tabla 82**

*Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	617.38	4.48
Y	482.26	11.89

*Nota.* Curva de capacidad C-M1 (sin ISE). Resistencia moderada en X (617.38 tn) y mayor capacidad de desplazamiento en Y (11.89 cm), coherente con menor rigidez transversal.

##### b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica

En cuanto al desempeño estructural bajo diferentes niveles de amenaza sísmica, para un sismo de servicio, la cortante basal fue de 134.26 ton con un desplazamiento de 7.40 mm en X, alcanzando el nivel de desempeño funcional, mientras que en Y, la cortante basal fue de 62.24 ton con un desplazamiento de 9.15 mm, alcanzando el nivel de operacional. Para un sismo de diseño, en X, la cortante basal se incrementó a 192.17

ton con un desplazamiento de 11.62 mm, manteniéndose en el nivel funcional, mientras que en Y, la cortante basal fue de 183.82 ton con un desplazamiento de 34 mm, alcanzando el nivel funcional. En el caso de un sismo máximo el comportamiento es más crítico. En X, la cortante basal aumentó a 505.06 ton con un desplazamiento de 35.80 mm, alcanzando el nivel de precolapso, lo que implica riesgo estructural. En Y, la cortante basal fue de 325.04 ton con un desplazamiento de 73.60 mm, alcanzando el nivel de seguridad de vida, lo que indica un comportamiento severamente afectado, pero aún con la capacidad de proteger la vida de los ocupantes.

**Tabla 83**

*Punto de Desempeño para el Pabellón C, Módulo 1, en X e Y, sin ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	134.26	7.40	62.24	9.15
Diseño	192.17	11.62	183.82	34.00
Máximo	505.06	35.80	325.04	73.60

*Nota.* Puntos de desempeño C-M1 (sin ISE). Se concentran mayores demandas en Y (hasta 73.60 mm en Máximo); en X, el estado de Máximo exige 35.80 mm.

**c) Verificación de los objetivos de desempeño**

La estructura mostró una mejor respuesta en X, manteniéndose en un nivel funcional incluso para un sismo de diseño, pero alcanzando condiciones críticas (precolapso) bajo un sismo máximo. En cambio, en Y, los desplazamientos fueron significativamente mayores, pero alcanza el nivel de seguridad de vida.

**Tabla 84**

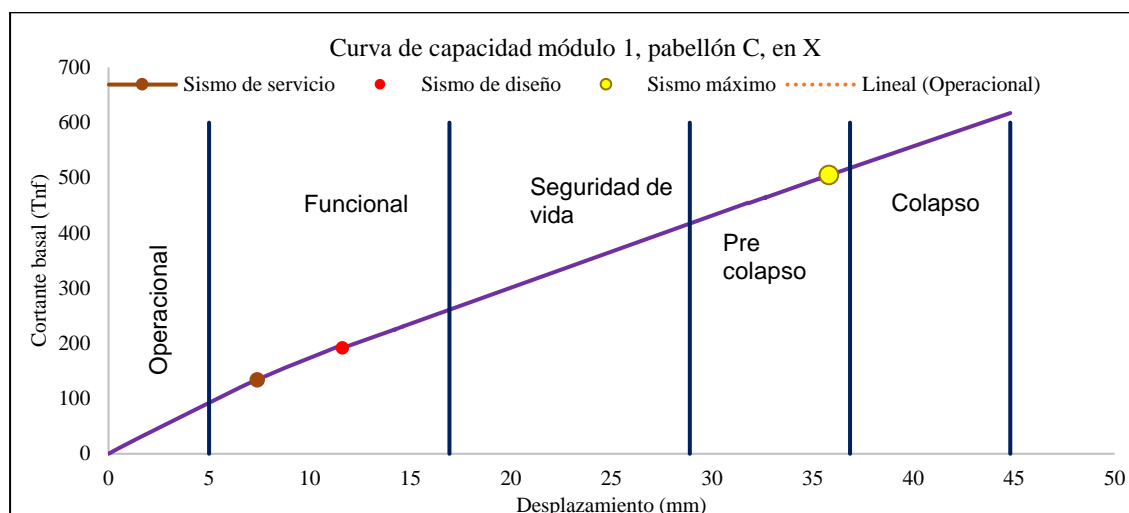
*Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
1	C	X	Funcional	Funcional	Precolapso
1	C	Y	Operacional	Funcional	Seguridad de vida
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación C-M1 (sin ISE). Cumple en Y (hasta Seguridad de vida), mientras que en X alcanza Precolapso en Máximo, no satisfaciendo la meta conjunta.

**Figura 104**

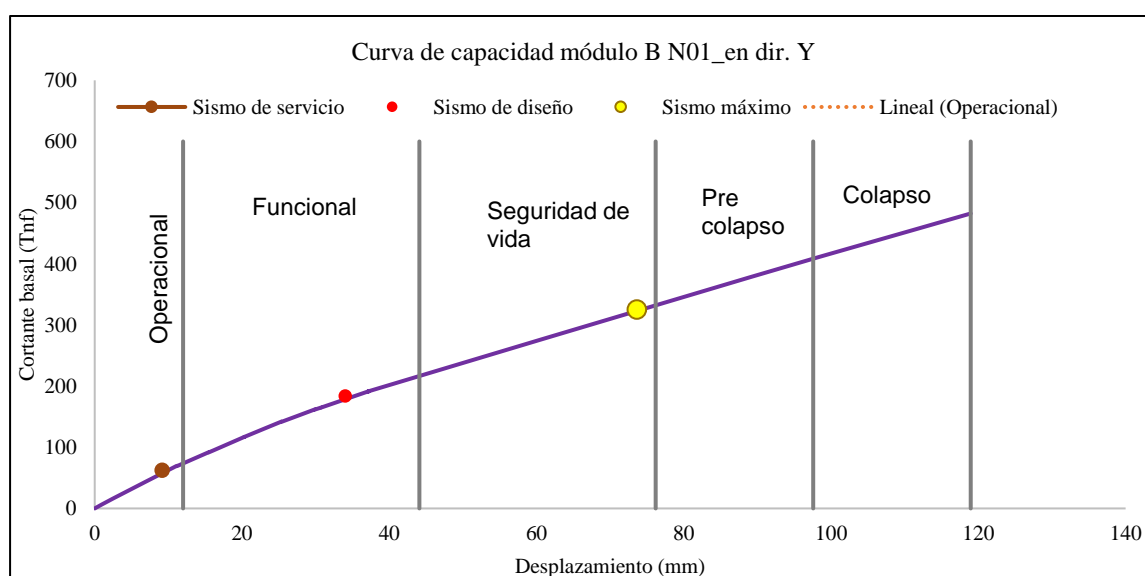
*Nivel de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE*



*Nota.* Curva de capacidad obtenida en ETABS v18.1.1 con análisis Pushover X. Se aplicaron rótulas plásticas automáticas y control de desplazamiento en el nivel superior. Los puntos de desempeño fueron determinados con el método del espectro de capacidad ATC-40, considerando espectros de servicio (0.5), diseño (1.0) y máximo (1.25) de la Norma E.030 (2018).

**Figura 105**

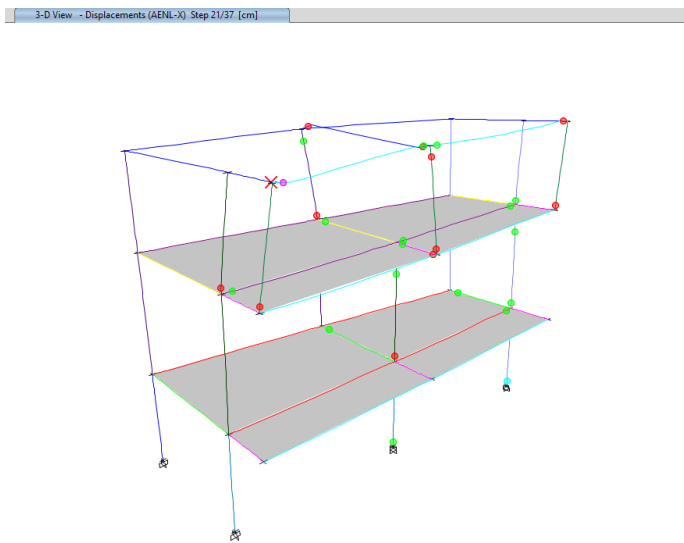
*Nivel de Desempeño en Y del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE*



*Nota.* Gráfico generado en ETABS v18.1.1 mediante el análisis Pushover Y. Los resultados expresan la relación fuerza-desplazamiento obtenida hasta el colapso, identificando los estados de daño normativos. Se empleó rigidez reducida en elementos de concreto y excentricidad del 5%.

## Figura 106

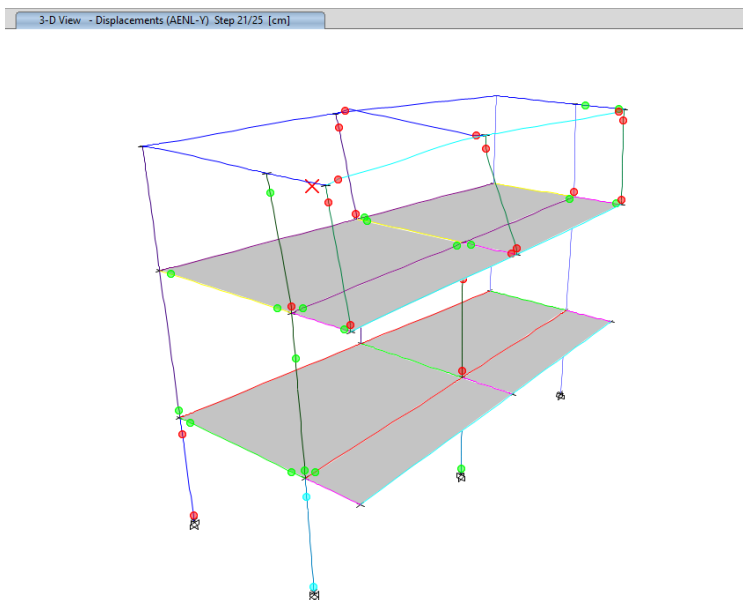
### *Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE*



*Nota.* Imagen obtenida en ETABS v18.1.1, comando Display → Hinge Results → Pushover X. Las rótulas M3 (vigas) y P-M2-M3 (columnas) se generaron automáticamente según la configuración de materiales y se colorearon conforme a los estados de desempeño definidos por ASCE 41-13.

## Figura 107

### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 1, sin ISE*



*Nota.* Visualización procedente del análisis Pushover Y en ETABS v18.1.1, mostrando la secuencia de formación de rótulas. El modelo considera condición de base empotrada y diafragmas rígidos. El color verde indica estado IO, amarillo LS, rojo CP y negro C (colapso).

### 4.1.2.3. Módulo 2, Pabellón C

Del análisis estático no lineal del módulo 2 del pabellón C, sin considerar la ISE, muestran que la edificación cumple con los objetivos de desempeño establecidos por la norma ATC-40:1996. La estructura mantiene un desempeño operacional y funcional adecuado en escenarios de sismos de baja y moderada intensidad, alcanzando el nivel de seguridad de vida en sismos máximos.

#### a) Curva de capacidad y desempeño general

La cortante basal alcanzada en X fue de 432 ton con desplazamiento máximo de 5.00 cm, mientras que en Y, la cortante basal fue de 372.14 ton con desplazamiento máximo de 18.46 cm, esto refleja que en X presentó una mayor capacidad de resistencia antes de alcanzar deformaciones críticas, mientras que, en Y mostró una menor rigidez, con desplazamientos controlados.

**Tabla 85**

*Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	432	5.00
Y	372.14	18.46

*Nota.* Curva de capacidad C-M2 (sin ISE). Capacidad de corte menor (432 tn en X; 372.14 tn en Y) con desplazamientos últimos altos en Y (18.46 cm), reflejando mayor flexibilidad.

#### b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica

En la evaluación por niveles de amenaza sísmica, para un sismo de servicio, la estructura presentó un desempeño operacional en ambas direcciones, con cortantes de 28.4 ton y 31.52 ton en las direcciones X e Y, respectivamente, y desplazamientos de 2.670 mm en X y 10 mm en Y, estos valores reflejan un estado de daño mínimo, con deformaciones controladas y sin afectación significativa a la funcionalidad de la edificación. Para un sismo de diseño, el desempeño de la estructura alcanzó el nivel funcional en ambas direcciones, con un aumento notable en las cortantes y

desplazamientos. En X, la cortante basal fue de 144.54 ton con un desplazamiento de 16.230 mm, mientras que en Y la cortante fue de 110.07 ton con un desplazamiento de 40.52 mm, esto indica que la edificación aún mantiene su capacidad funcional, aunque las deformaciones son más significativas. Bajo un sismo máximo, se alcanzó el nivel de seguridad de vida en ambas direcciones, lo que implica que, aunque la estructura experimenta daños considerables, aún es capaz de proteger la integridad física de los ocupantes. En X, la cortante basal fue de 268.4 ton con un desplazamiento de 30.925 mm, mientras que en Y la cortante alcanzó 226.52 ton con un desplazamiento de 100.36 mm, estos resultados reflejan una reducción notable en la rigidez del sistema, pero sin comprometer totalmente la capacidad estructural para evitar el colapso.

**Tabla 86**

*Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, en X e Y, sin ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	28.4	2.670	31.52	10.00
Diseño	144.54	16.230	110.07	40.52
Máximo	268.4	30.925	226.52	100.36

*Nota.* Puntos de desempeño C-M2 (sin ISE). En Y las demandas crecen hasta 100.36 mm (Máximo); en

X el rango es 2.67–30.93 mm.

### c) Verificación de los objetivos de desempeño

Se ha verificado que el módulo cumple con los objetivos de desempeño.

**Tabla 87**

*Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE*

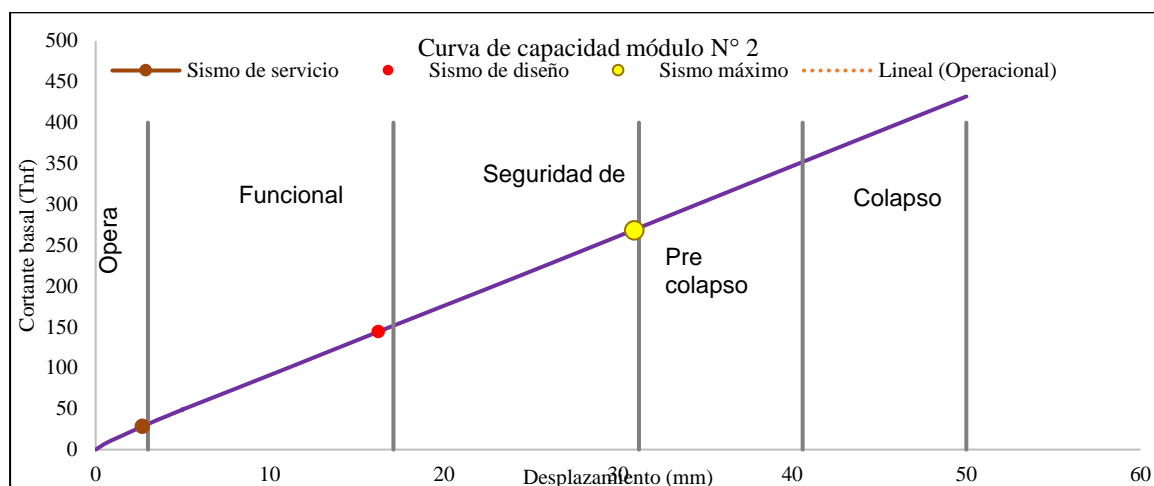
Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
2	C	X	Operacional	Funcional	Seguridad de vida
2	C	Y	Operacional	Funcional	Seguridad de vida
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación C-M2 (sin ISE). En ambas direcciones se cumple la meta Operacional–Funcional–

Seguridad de vida.

**Figura 108**

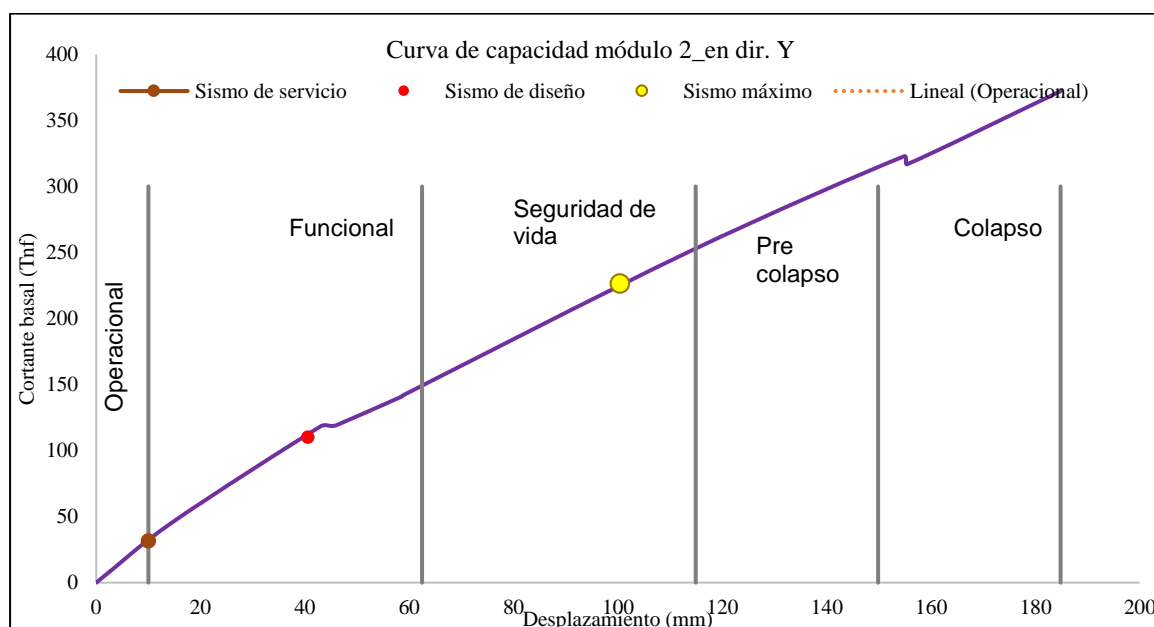
*Nivel de Desempeño en X, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE*



*Nota.* Curva de capacidad obtenida en ETABS v18.1.1 mediante el caso Pushover X con control por desplazamiento. Los resultados se comparan con los niveles de desempeño del ATC-40 (1996) y FEMA 440. El cortante basal se expresa en toneladas de fuerza y el desplazamiento en milímetros.

**Figura 109**

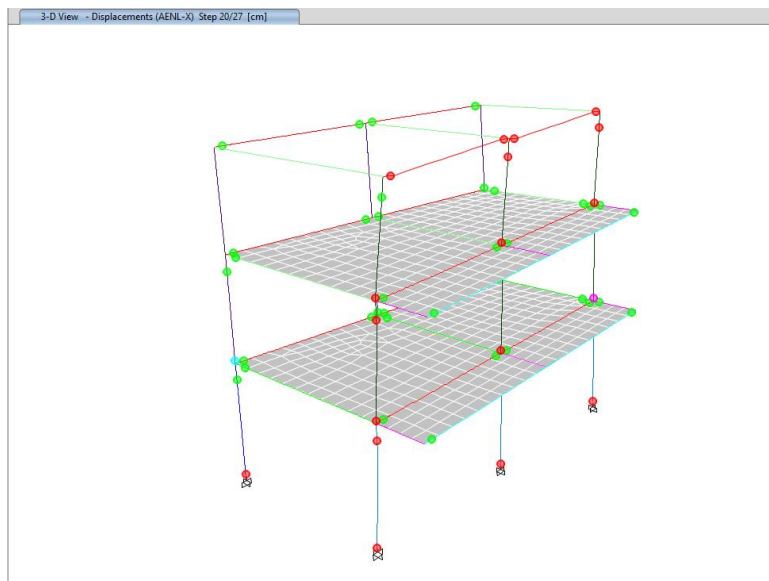
*Nivel de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE*



*Nota.* Resultados generados con el comando Display → Pushover Curve → Direction Y en ETABS v18.1.1. El punto de desempeño se localiza en la intersección del espectro de demanda del ATC-40 y la curva de capacidad. Se mantuvieron las mismas propiedades no lineales y patrones de carga de X.

## Figura 110

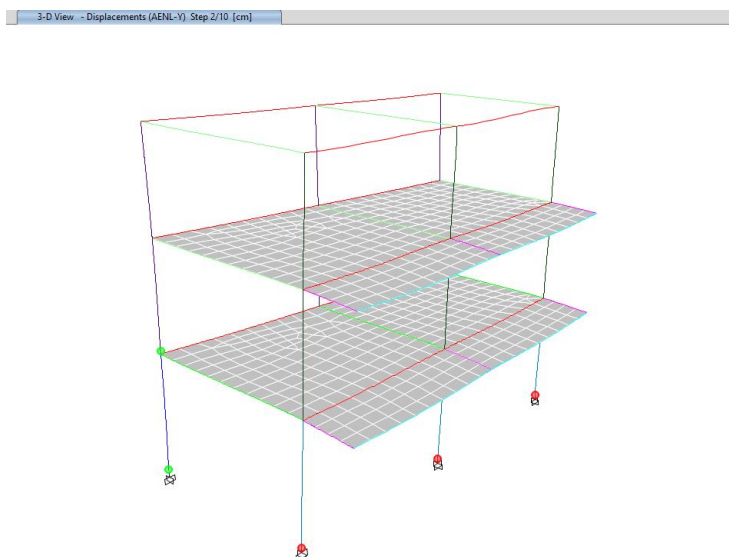
### *Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE*



*Nota.* Imagen exportada de ETABS v18.1.1, comando Display → Hinge Results → Pushover X. Se muestran las zonas plásticas formadas al alcanzar el estado LS (Life Safety). Las condiciones de contorno son de empotramiento total en la base.

## Figura 111

### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 2, sin ISE*



*Nota.* Representación de resultados del análisis Pushover Y en ETABS v18.1.1. Las rótulas se asignaron conforme a ASCE 41-13, con control de desplazamiento y rigidez reducida (0.7E para columnas, 0.35E para vigas).

#### 4.1.2.4. Módulo 3, Pabellón C

El módulo 3 del pabellón C evidenció un comportamiento estructural adecuado para sismos de baja y moderada intensidad, cumpliendo con los objetivos de desempeño de la norma ATC-40:1996. Sin embargo, para sismo máximo, se observó desempeño crítico en Y, alcanzando el nivel de precolapso.

##### a) Curva de capacidad y desempeño general

La cortante basal máxima alcanzada en la dirección X fue de 217.57 toneladas con un desplazamiento máximo de 12 cm, mientras que en la dirección Y la cortante basal fue considerablemente mayor, alcanzando 568.31 toneladas, pero con un desplazamiento menor de 3.35 cm. Estos resultados reflejan que, Y presenta mayor rigidez y capacidad de resistencia, mientras que en X es más flexible, lo que explica la diferencia en desplazamientos y esfuerzos resistidos.

#### Tabla 88

*Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	217.57	12
Y	568.31	3.35

*Nota.* Curva de capacidad C-M3 (sin ISE). En X la resistencia es baja (217.57 tn) con desplazamiento último alto (12.00 cm); en Y la resistencia es mayor (568.31 tn) con desplazamiento último pequeño (3.35 cm).

##### b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica

En cuanto a los resultados del punto de desempeño para un sismo de servicio, la cortante basal en X fue de 44.16 ton con un desplazamiento de 13.76 mm, mientras que en Y fue de 107.42 ton con un desplazamiento de 5.66 mm, esto indica un comportamiento adecuado en ambas direcciones, manteniéndose dentro del nivel de desempeño operacional en Y, y funcional en X. Para un sismo de diseño, la cortante basal en X fue de 67.64 ton con un desplazamiento de 24.60 mm, mientras que en Y

fue de 176.78 ton con un desplazamiento de 9.40 mm, en este escenario, ambas direcciones alcanzaron el nivel de desempeño funcional, lo que indica un adecuado comportamiento estructural con deformaciones controladas y sin comprometer la estabilidad general de la edificación. En el caso de un sismo máximo, en X, la cortante basal fue de 134.56 ton con un desplazamiento de 55.52 mm, alcanzando el nivel de seguridad de vida, lo que implica que la estructura mantiene la capacidad de proteger la integridad de los ocupantes, aunque con deformaciones significativas; sin embargo, en Y, la cortante basal se incrementó hasta 412.23 ton con un desplazamiento de 23.96 mm, alcanzando el nivel de precolapso, lo que indica una condición crítica.

**Tabla 89**

*Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, en X e Y, sin ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	44.16	13.76	107.42	5.66
Diseño	67.64	24.60	176.78	9.40
Máximo	134.56	55.52	412.23	23.96

*Nota.* Puntos de desempeño C-M3 (sin ISE). En X se alcanzan desplazamientos elevados (hasta 55.52 mm), mientras que en Y las demandas son moderadas (23.96 mm).

**c) Verificación de los objetivos de desempeño**

En X, la estructura alcanzó el nivel seguridad de vida para sismos máximos, mientras que, en Y alcanzó el nivel precolapso bajo sismo máximo, por lo que, no cumple con los objetivos de desempeño.

**Tabla 90**

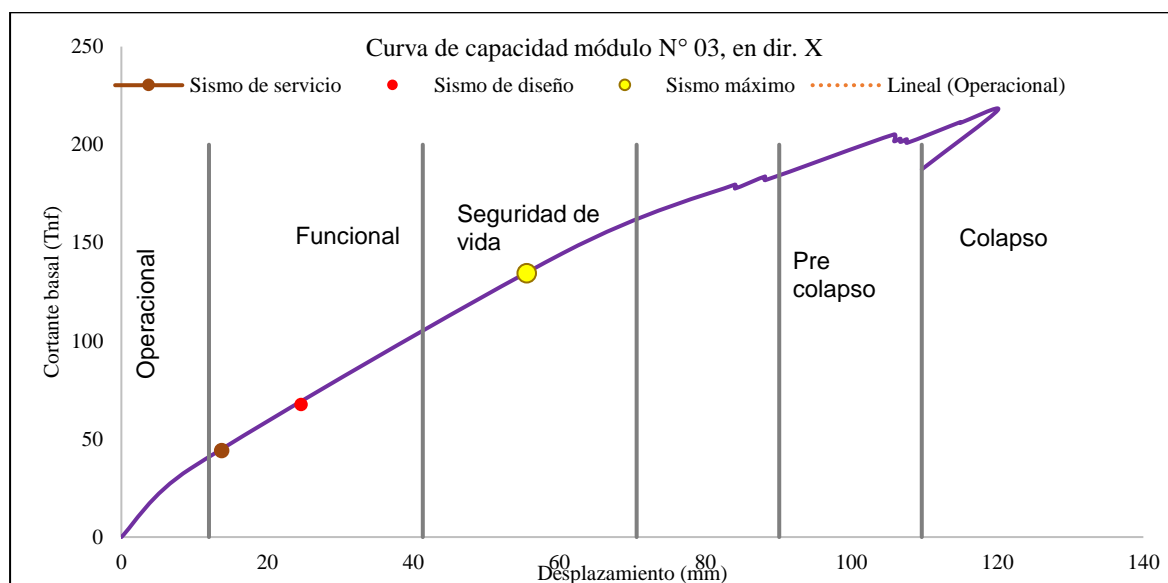
*Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
3	C	X	Funcional	Funcional	Seguridad de vida
3	C	Y	Operacional	Funcional	Precolapso
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación C-M3 (sin ISE). Se cumple en X (Seguridad de vida en Máximo) y no en Y (alcanza Precolapso en Máximo).

**Figura 112**

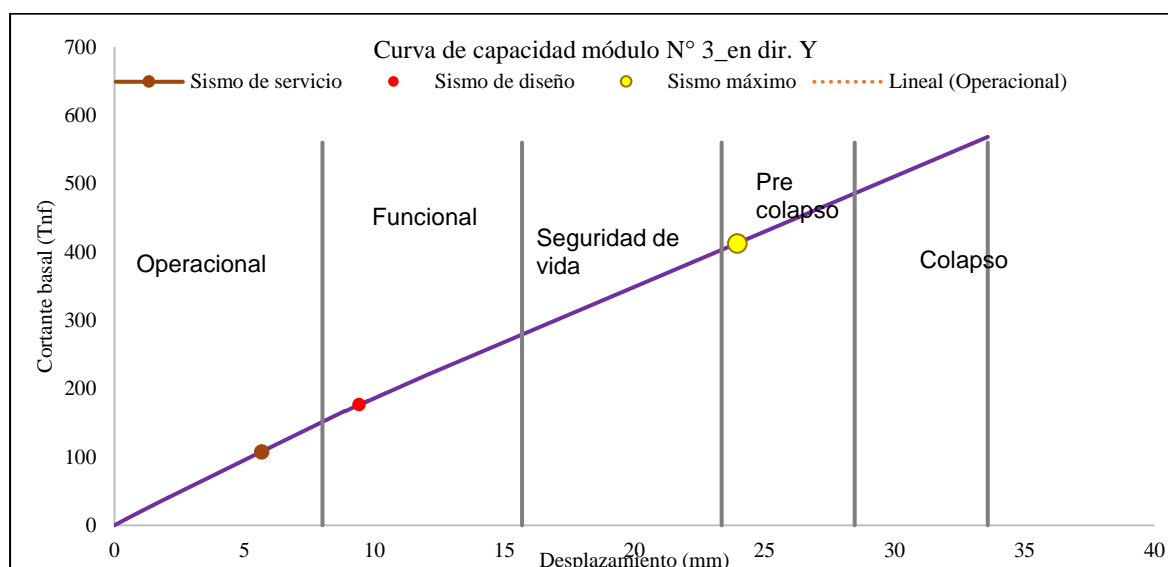
*Objetivos de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE*



*Nota.* Curva de capacidad elaborada en ETABS v18.1.1 aplicando el análisis Static Nonlinear (Pushover) con carga lateral en X. Los niveles de desempeño (O, F, LS, CP y C) se establecieron según el ATC-40. El espectro de demanda se construyó a partir de la norma E.030-2018 (Zona 2, S2, U = 1.5).

**Figura 113**

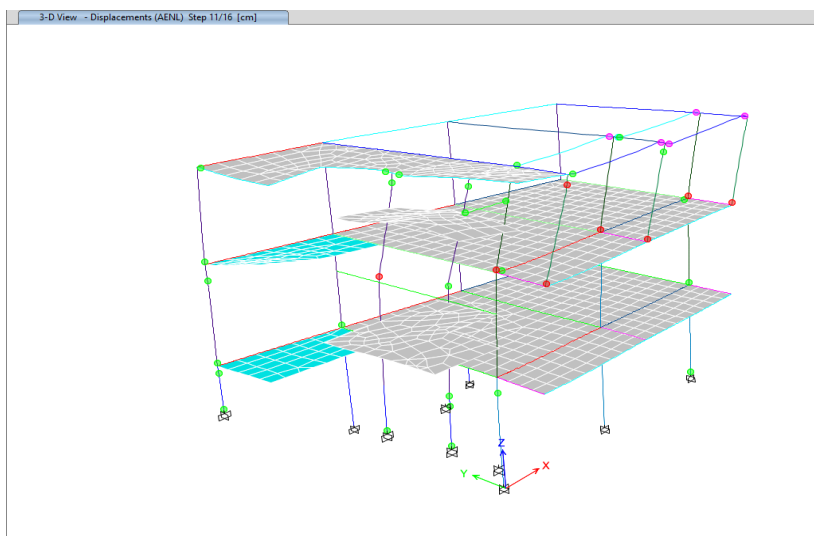
*Objetivos de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE*



*Nota.* Curva obtenida en ETABS v18.1.1 a partir del caso Pushover Y. El punto de desempeño se identificó según el método del espectro de capacidad ATC-40, considerando amortiguamiento del 5 % y excentricidad accidental del 5 %.

## Figura 114

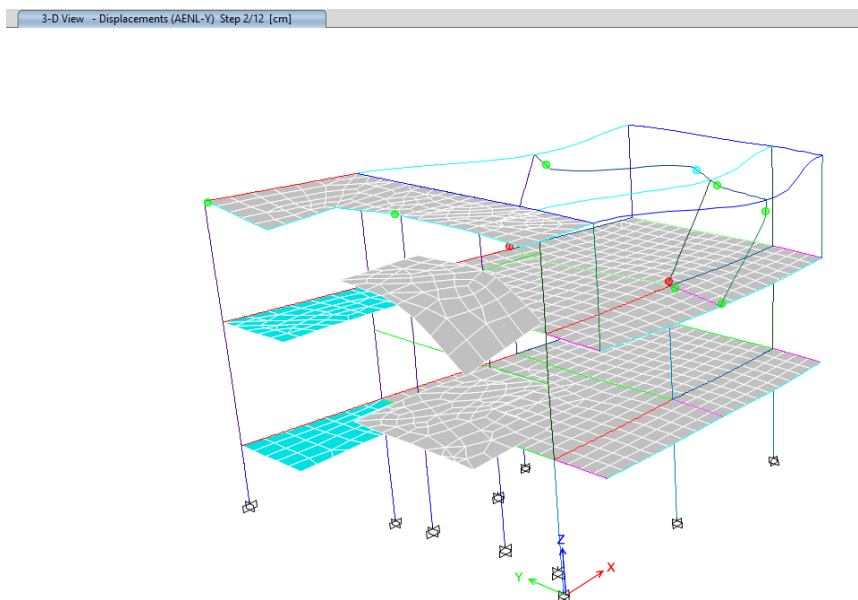
### *Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE*



*Nota.* Imagen procedente de ETABS v18.1.1, comando Display → Hinge Results → Pushover X. Se muestran los estados de falla en vigas y columnas en el instante de colapso incipiente. Condición de empotramiento total y patrón lateral X.

## Figura 115

### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 3, sin ISE*



*Nota.* Resultados generados en ETABS v18.1.1 para el caso Pushover Y. Se visualizan las rótulas tipo P-M2-M3 y M3 clasificadas por estado (IO, LS, CP, C). El modelo considera material no lineal definido mediante las curvas de Mander (concreto) y acero kinemático ( $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ).

#### **4.1.3. Desempeño sísmico estático no lineal considerando la ISE**

En el Objetivo específico 3 (Pushover con ISE), la interpretación ingenieril confirma que la flexibilidad del suelo introduce un ablandamiento global del sistema suelo–cimentación–superestructura, por lo que la edificación reduce su capacidad (cortante basal) e incrementa su demanda deformacional, acercando el comportamiento a estados límite. Se observa en la curva de capacidad, donde el A-M1 en X disminuye su cortante máxima de referencia y mantiene desplazamientos bajos (773.55 tn con 1.39 cm), mientras que en Y desarrolla menor cortante (293.09 tn) con mayor desplazamiento (7.25 cm), evidenciando que la dirección transversal es la más flexible. En los módulos del pabellón C, la respuesta heterogénea revela desequilibrios de rigidez y distribución de resistencia: C-M2 en Y alcanza desplazamientos últimos elevados (21.255 cm), indicando un sistema claramente controlado por deformación, mientras que C-M3 en Y combina cortante relativamente alta (439.88 tn) con baja deformación (3.95 cm), lo que sugiere una respuesta más rígida que puede experimentar degradación súbita una vez superado su umbral inelástico. Esta tendencia se refuerza en los puntos de desempeño, donde al pasar de servicio a máximo los desplazamientos objetivo aumentan de manera pronunciada (por ejemplo, C-M1 en Y llega a 86.61 mm), y la mayoría de casos alcanza precolapso (CP) en el sismo máximo, lo que implica formación de mecanismos inelásticos extensivos y pérdida de margen de seguridad para conservar el nivel de seguridad de vida exigido como objetivo. En términos de desempeño, la inclusión de ISE reduce la capacidad por desempeño respecto al caso sin ISE, porque desplaza el control desde fuerzas hacia deformaciones, de modo que, aun cuando algunas cortantes sean menores, el sistema queda más vulnerable por derivas y desplazamientos, justificando técnicamente la necesidad de reforzamiento orientado a rigidez lateral y control de deformaciones.

El análisis estático no lineal del colegio Abel Carbajal Perez, considerando la ISE, evidenció que la flexibilidad del suelo influye significativamente en la respuesta estructural, aumentando los desplazamientos y reduciendo la rigidez global del sistema. Aunque los módulos mantuvieron un desempeño aceptable en sismos de servicio y diseño, el desempeño se volvió crítico en sismos máximos, alcanzando niveles de precolapso en varios módulos y direcciones.

#### a) Curva de capacidad

La curva de capacidad mostró que los valores de cortante basal máxima y desplazamientos máximos variaron considerablemente entre los módulos. En X, el módulo 1 del pabellón A alcanzó la mayor cortante basal de 773.55 ton con un desplazamiento máximo de 1.39 cm, mientras que en Y, se obtuvo un valor inferior de 293.09 ton con un desplazamiento más alto de 7.25 cm, esto refleja una mayor rigidez en X y mayor flexibilidad en Y. En el pabellón C, el módulo 2 evidenció un comportamiento más flexible con desplazamiento máximo de 21.255 cm en Y, mientras que el módulo 3 mostró menor deformación en Y con 3.95 cm, lo que indica una distribución heterogénea de la rigidez entre los módulos.

#### Tabla 91

*Curva de Capacidad con ISE del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
1	A	X	773.55	1.39
1	A	Y	293.09	7.25
1	C	X	586.51	5.02
1	C	Y	434.03	13.44
2	C	X	382.47	5.65
2	C	Y	327.48	21.255
3	C	X	172.32	13.92
3	C	Y	439.88	3.95

*Nota.* Curvas de capacidad global con ISE. Se observa reducción de cortante y aumento de desplazamientos últimos respecto al caso rígido; p.ej., A-M1-X pasa de 840.81 tn a 773.55 tn y de 1.23 cm a 1.39 cm.

## **b) Puntos de desempeño por nivel de amenaza sísmica**

Los resultados del desempeño por nivel de amenaza sísmica considerando la ISE en los módulos de la edificación del colegio Abel Carbajal Perez evidenciaron diferencias significativas en los desplazamientos y cortantes basales a medida que se incrementaba la demanda sísmica. Para un sismo de servicio, los módulos mantuvieron un desempeño funcional en ambas direcciones, con cortantes moderadas y desplazamientos controlados. En el módulo 1 del pabellón A, se alcanzaron 164.75 toneladas con un desplazamiento de 2.61 mm en la dirección X, mientras que en la dirección Y, la cortante basal fue de 84.23 toneladas con un desplazamiento de 16.21 mm, reflejando un comportamiento adecuado con deformaciones limitadas. Bajo un sismo de diseño, se observó un incremento significativo tanto en la cortante basal como en los desplazamientos. En la dirección X del módulo 1, la cortante basal aumentó a 418.4 toneladas con desplazamiento de 6.98 mm, mientras que en la dirección Y, la cortante alcanzó 144.95 toneladas con desplazamiento de 32.23 mm, alcanzando el nivel de seguridad de vida en la mayoría de los módulos. Finalmente, para un sismo máximo, los resultados evidenciaron condiciones críticas con la mayoría de los módulos alcanzando niveles de precolapso. En el módulo 1, la dirección X presentó cortante basal de 607.9 toneladas con un desplazamiento de 10.56 mm, mientras que en la dirección Y, la cortante basal fue de 201.78 toneladas con un desplazamiento de 46.5 mm, indicando una capacidad estructural severamente comprometida con deformaciones significativas y un alto riesgo de falla.

**Tabla 92**

*Puntos de Desempeño considerando la Interacción Suelo Estructura (ISE) en los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (mm)
1	A	X	Servicio	164.75	2.61
1	A	X	Diseño	418.4	6.98
1	A	X	Máximo	607.9	10.56
1	A	Y	Servicio	84.23	16.21
1	A	Y	Diseño	144.95	32.23
1	A	Y	Máximo	201.78	46.50
1	C	X	Servicio	125.16	8.23
1	C	X	Diseño	248.23	20
1	C	X	Máximo	476.11	40.1
1	C	Y	Servicio	59.26	12.00
1	C	Y	Diseño	176.41	45.00
1	C	Y	Máximo	300.04	86.61
2	C	X	Servicio	25.1	3.25
2	C	X	Diseño	134.54	19.496
2	C	X	Máximo	242.4	35.50
2	C	Y	Servicio	95.14	8.13
2	C	Y	Diseño	206.11	18.00
2	C	Y	Máximo	342.61	30.41
3	C	X	Servicio	35.01	15.61
3	C	X	Diseño	78.99	47.63
3	C	X	Máximo	126.03	82
3	C	Y	Servicio	95.14	8.13
3	C	Y	Diseño	206.11	18.00
3	C	Y	Máximo	342.61	30.41

*Nota.* Puntos de desempeño con ISE. Las demandas de desplazamiento aumentan en la mayoría de casos (p.ej., C-M1-Y llega a 86.61 mm en Máximo), evidenciando la influencia de la flexibilidad del suelo en la respuesta.

### c) Verificación del cumplimiento normativo

Considerando la interacción suelo–estructura, todos los módulos alcanzan el nivel CP (Collapse Prevention) para el sismo máximo, por lo que no cumplen los criterios de desempeño de la ATC-40 (1996). El efecto de la ISE incrementa los desplazamientos y reduce la rigidez, desplazando el desempeño estructural desde niveles LS/IO hacia CP.

En la dirección X, los módulos 1 y 3 de los pabellones A y C no cumplieron con los objetivos de desempeño, ya que alcanzaron el nivel de precolapso bajo un sismo máximo. Mientras que, en la dirección Y, el módulo 2 del pabellón C logró cumplir con los objetivos de desempeño, manteniéndose en niveles de seguridad de vida incluso en sismos máximos, mientras que los módulos 1 y 3 alcanzaron también niveles de precolapso. Por tanto, el colegio Abel Carbajal Perez (Comercio) considerando la Interacción Suelo Estructura no cumple con los objetivos de desempeño dados por la norma ATC-40 (1996) debido a que para un sismo máximo todos los módulos del pabellón A y C se encuentran en el nivel de desempeño de precolapso, siendo indicativo de que requieren reforzamiento frente a eventos sísmicos de mayor intensidad.

**Tabla 93**

*Verificación del Cumplimiento de los Objetivos de Desempeño considerando la Interacción Suelo Estructura (ISE) en los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez (Comercio)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño			Verificación del cumplimiento de objetivos
			Servicio	Diseño	Máximo	
1	A	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	No cumple
1	A	Y	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida	No cumple
1	C	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	No cumple
1	C	Y	Funcional	Funcional	Precolapso	No cumple
2	C	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	No cumple
2	C	Y	Funcional	Funcional	Precolapso	No cumple

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño			Verificación del cumplimiento de objetivos
			Servicio	Diseño	Máximo	
3	C	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	No cumple
3	C	Y	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	No cumple
<b>Objetivos de desempeño</b>			<b>Operacional</b>	<b>Funcional</b>	<b>Seguridad de vida</b>	

*Nota.* Verificación de objetivos con ISE. Ningún módulo satisface integralmente las metas Operacional–Funcional–Seguridad de vida; la inclusión de ISE desplaza varios casos hacia Precolapso en Máximo.

#### 4.1.3.1. Módulo 1, Pabellón A

El análisis estático no lineal del módulo 1 del pabellón A, considerando la ISE, mostró que la flexibilidad del suelo influye significativamente en la respuesta estructural, reduciendo la rigidez global y aumentando los desplazamientos, especialmente en Y. Aunque la edificación cumplió con los niveles de desempeño en sismos moderados, el nivel de precolapso alcanzado en la dirección X durante un sismo máximo destaca la necesidad de reforzamiento estructural.

##### a) Curva de capacidad y desempeño general

En la curva de capacidad general, se registró una cortante basal máxima de 773.55 ton en X con un desplazamiento máximo de 1.39 cm, mientras que en la dirección Y, la cortante basal fue de 293.09 ton con un desplazamiento máximo de 7.25 cm; estos resultados reflejan que en X mantiene mayor rigidez, mientras que en Y presenta un comportamiento más flexible con mayores deformaciones.

#### Tabla 94

*Curva de Capacidad del Pabellón A, Módulo 1, con ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	773.55	1.39
Y	293.09	7.25

*Nota.* Curva de capacidad A-M1 con ISE. Se reduce la resistencia (X: 773.55 tn; Y: 293.09 tn) y aumentan los desplazamientos últimos (X: 1.39 cm; Y: 7.25 cm) respecto al caso rígido.

## b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica

El análisis de los puntos de desempeño para sismo de servicio, la estructura alcanzó nivel de desempeño funcional en ambas direcciones, con cortante basal de 164.75 ton y desplazamiento de 2.61 mm en X, y cortante de 84.23 ton con desplazamiento de 16.21 mm en Y, indicando comportamiento estable sin daño significativo. Para sismo de diseño, la estructura mantuvo nivel de desempeño de seguridad de vida en ambas direcciones; en X, la cortante basal aumentó a 418.40 ton con desplazamiento de 6.98 mm, mientras que en Y, la cortante alcanzó 144.95 ton con desplazamiento de 32.23 mm, estos resultados reflejan deformaciones controladas. En el caso de sismo máximo, en X, la estructura alcanzó nivel de desempeño de precolapso, con cortante basal de 607.90 ton y desplazamiento de 10.56 mm, lo que indica riesgo de fallos estructurales; en Y, la estructura mantuvo el nivel de seguridad de vida, con cortante basal de 201.78 ton y desplazamiento de 46.5 mm, siendo deformaciones considerables, pero aún con la capacidad de proteger la integridad de los ocupantes.

**Tabla 95**

*Punto de Desempeño para el Pabellón A, Módulo 1, en X e Y, con ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	164.75	2.61	84.23	16.21
Diseño	418.40	6.98	144.95	32.23
Máximo	607.90	10.56	201.78	46.5

*Nota.* Puntos de desempeño A-M1 con ISE. Las derivas meta crecen (X: 2.61–10.56 mm; Y: 16.21–46.50 mm), manteniéndose el patrón de estados: Funcional → SLV → Precolapso en X y Funcional → SLV → SLV en Y.

## c) Verificación de los objetivos de desempeño

En la dirección X, la estructura llegó a precolapso para un sismo máximo, no obstante, en la dirección Y alcanzó el nivel de seguridad de vida, sin embargo, a pesar de ello, no cumple con los objetivos de desempeño de la ATC-40.

**Tabla 96**

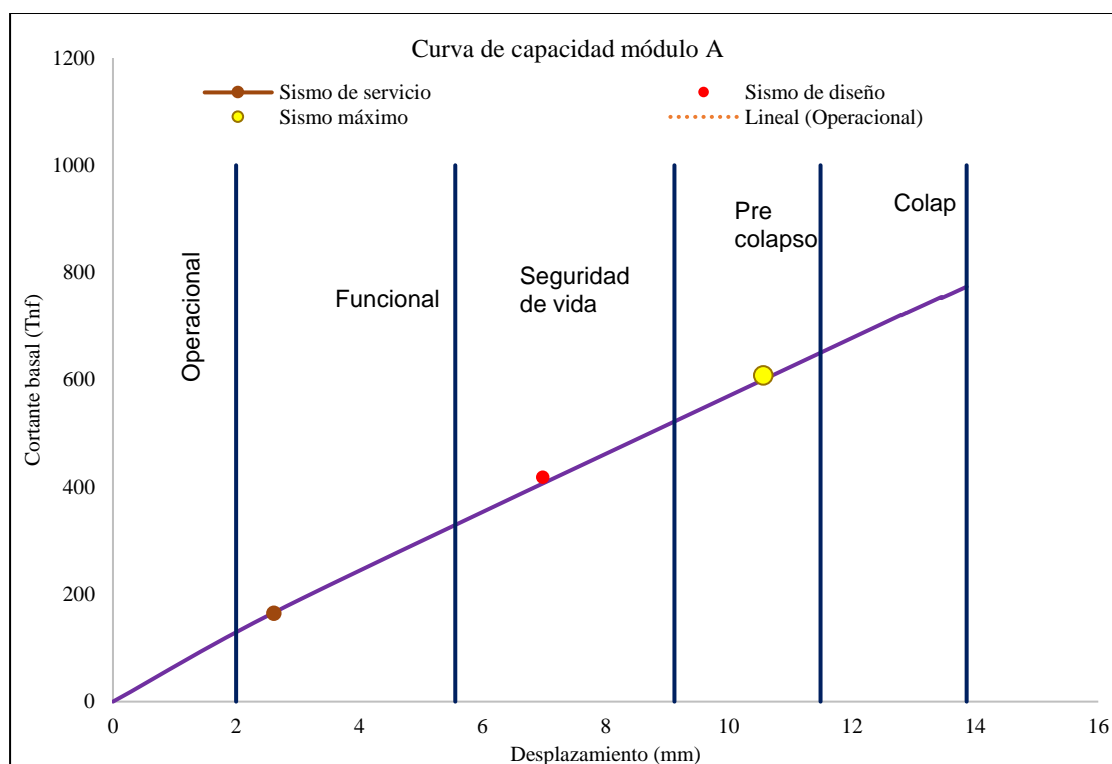
*Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón A, Módulo 1, sin ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
1	A	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
1	A	Y	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación A-M1 con ISE. El módulo no alcanza la meta global debido al estado Precolapso en Máximo (X) pese a cumplir en Servicio y Diseño.

**Figura 116**

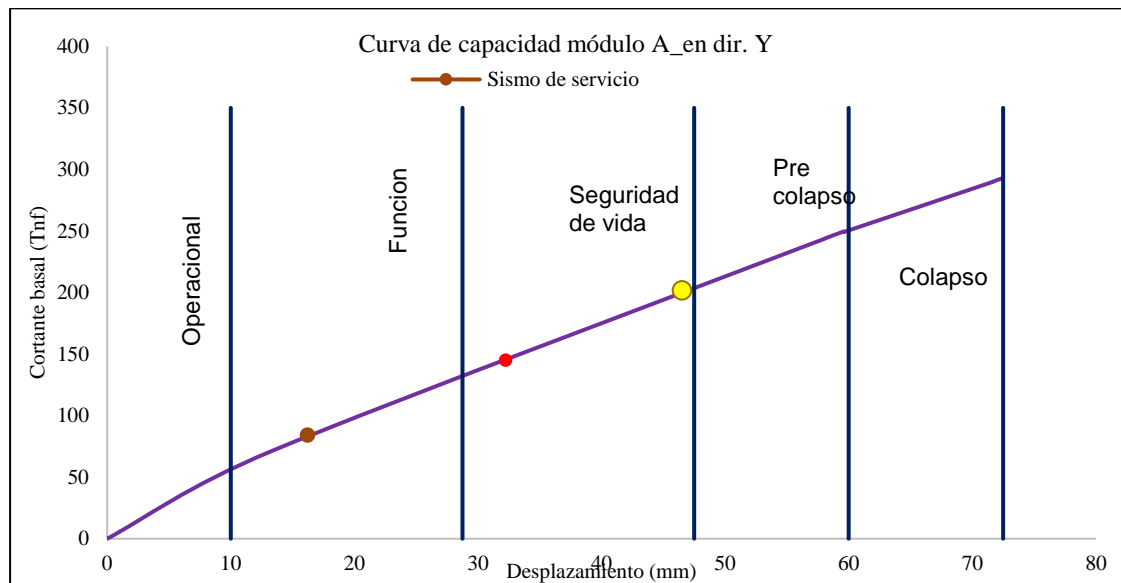
*Nivel de Desempeño en X del Pabellón A, Módulo 1, con ISE*



*Nota.* Curva de capacidad generada en ETABS v18.1.1 mediante el análisis Static Nonlinear (Pushover) con control por desplazamiento en la dirección X. Se incorporaron resortes elásticos equivalentes ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ) para representar la rigidez del suelo tipo S2 ( $E = 110 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.35$ ,  $\gamma = 14.55 \text{ kN/m}^3$ ). Las rótulas plásticas se asignaron según ASCE 41-13 (M3 en vigas y P-M2-M3 en columnas). El punto de desempeño se determinó mediante la intersección entre la curva de capacidad y el espectro de demanda ATC-40 escalado al nivel sísmico de la Norma E.030 (2018).

## Figura 117

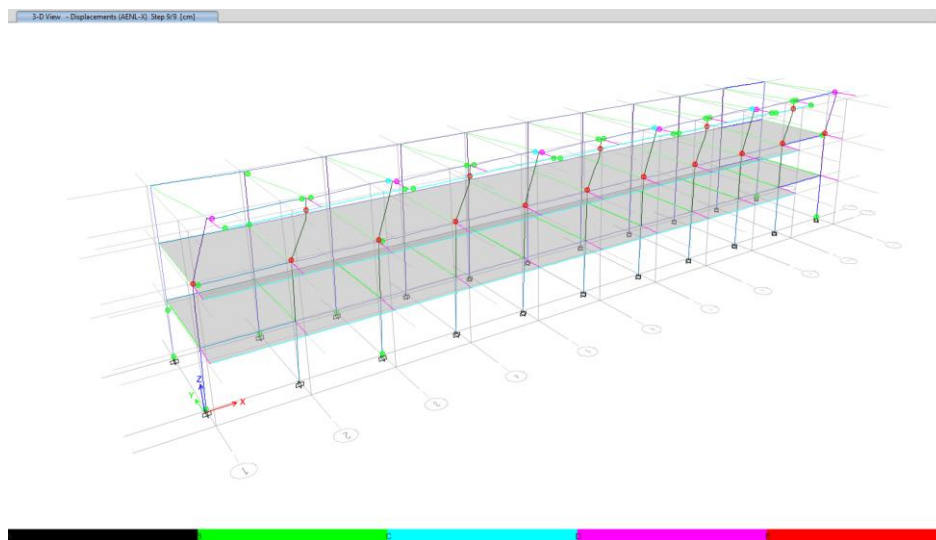
*Nivel de Desempeño en Y del Pabellón A, Módulo 1, con ISE*



*Nota.* Curva obtenida en ETABS v18.1.1 con el caso Pushover Y aplicando cargas laterales incrementales triangulares. El modelo incluyó interacción suelo-estructura a través de resortes elásticos con rigidez equivalente calculada a partir de  $V_s = 210$  m/s. Los niveles de desempeño (O, F, LS, CP y C) fueron definidos según ATC-40 (1996) y FEMA 440 (2005).

## Figura 118

*Rótulas de Falla en X, del Pabellón A, Módulo 1, con ISE*

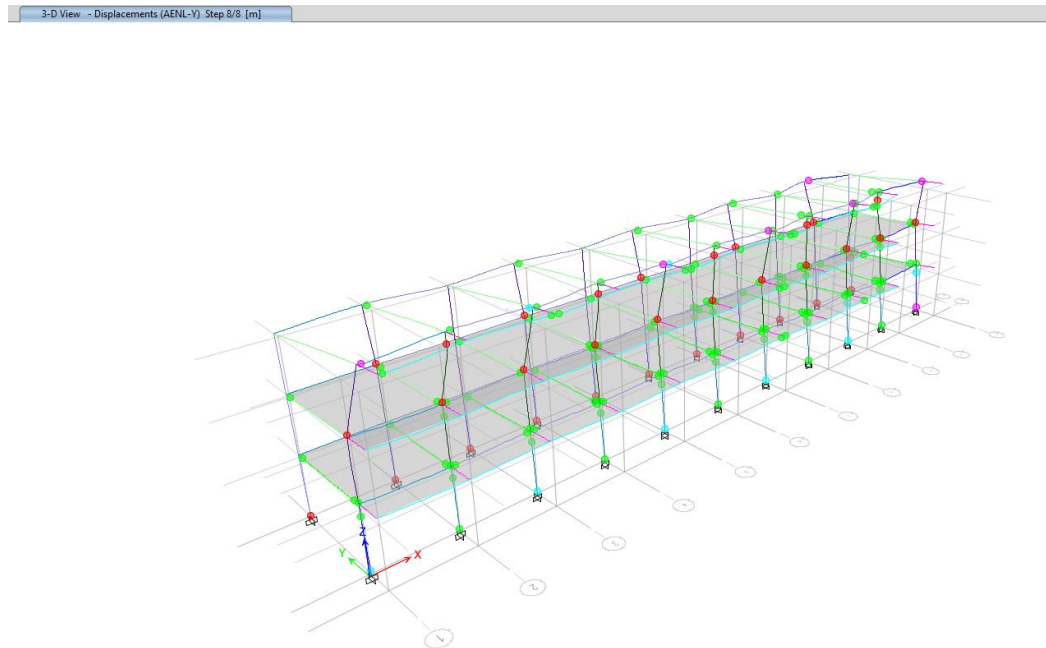


*Nota.* Resultado obtenido en ETABS v18.1.1, comando Display → Hinge Results → Pushover X. Las rótulas M3 y P-M2-M3 fueron generadas automáticamente conforme a ASCE 41-13, considerando

rigidez reducida (0.35E para vigas y 0.70E para columnas). El modelo contó con resortes de fundación activos y amortiguamiento del 5%.

### Figura 119

#### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón A, Módulo 1, con ISE*



*Nota.* Imagen obtenida en ETABS v18.1.1, caso Pushover Y con condición de base flexible (ISE). Las rótulas se clasifican según el código de color (verde = IO, amarillo = LS, rojo = CP, negro = C). Se empleó amortiguamiento del 5 % y excentricidad accidental del 5% del diafragma.

#### 4.1.3.2. Módulo 1, Pabellón C

El análisis estático no lineal del módulo 1 del pabellón C, considerando la interacción suelo-estructura, evidenció que la flexibilidad del suelo afecta significativamente el comportamiento estructural, especialmente bajo sismos máximos, donde se alcanzaron niveles de precolapso en ambas direcciones, lo que indica un alto riesgo de fallos estructurales severos. La rigidez fue mayor en la dirección X, mientras que la dirección Y presentó mayores deformaciones.

##### a) Curva de capacidad y desempeño general

En cuanto a la curva de capacidad general, se determinó que en X la cortante basal máxima fue de 586.51 ton con desplazamiento máximo de 5.02 cm, mientras que

en Y la cortante basal alcanzó 434.03 ton con desplazamiento significativamente mayor de 13.44 cm, esto indica que la estructura presenta mayor rigidez en X, mientras que en Y la edificación es más flexible.

**Tabla 97**

*Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 1, con ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	586.51	5.02
Y	434.03	13.44

*Nota.* Curva de capacidad C-M1 con ISE. Disminuye el cortante (X: 586.51 tn; Y: 434.03 tn) y aumentan desplazamientos últimos (X: 5.02 cm; Y: 13.44 cm).

**b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica**

En el análisis para un sismo de servicio, la estructura mantuvo un desempeño funcional en ambas direcciones, con una cortante basal de 125.16 ton y un desplazamiento de 8.23 mm en X, mientras que en Y, la cortante basal fue de 59.26 ton con desplazamiento de 12 mm, evidenciando deformaciones controladas y daño mínimo. Para un sismo de diseño, se alcanzaron niveles de desempeño seguridad de vida en X, con cortante basal de 248.23 ton y desplazamiento de 20 mm, y en Y, la cortante basal fue de 176.41 ton con desplazamiento de 45 mm, manteniéndose aún en el nivel funcional; estos valores reflejan mayor demanda de la estructura, pero con la capacidad de seguir operativa sin fallos estructurales críticos. En un sismo máximo, la estructura mostró comportamientos más críticos, en X, la cortante basal fue de 476.11 ton con desplazamiento de 40.1 mm, alcanzando el nivel de precolapso, lo que evidencia una condición estructural severa con alto riesgo de fallos, comprometiendo la estabilidad del módulo; en la dirección Y, la cortante basal alcanzó 300.04 ton con desplazamiento de 86.61 mm, también entrando en un nivel de precolapso, lo que sugiere deformaciones severas y posibles fallos estructurales.

**Tabla 98***Punto de Desempeño para el Pabellón C, Módulo 1, en X e Y, con ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	125.16	8.23	59.26	12
Diseño	248.23	20	176.41	45
Máximo	476.11	40.1	300.042	86.61

*Nota.* Puntos de desempeño C-M1 con ISE. Crecen las demandas objetivo (X hasta 40.10 mm; Y hasta 86.61 mm), lo que desplaza el desempeño hacia estados más severos.

**c) Verificación de los objetivos de desempeño**

En la dirección X e Y el nivel es de precolapso para un sismo máximo, por lo que, no se cumple los objetivos de desempeño de la norma ATC-40.

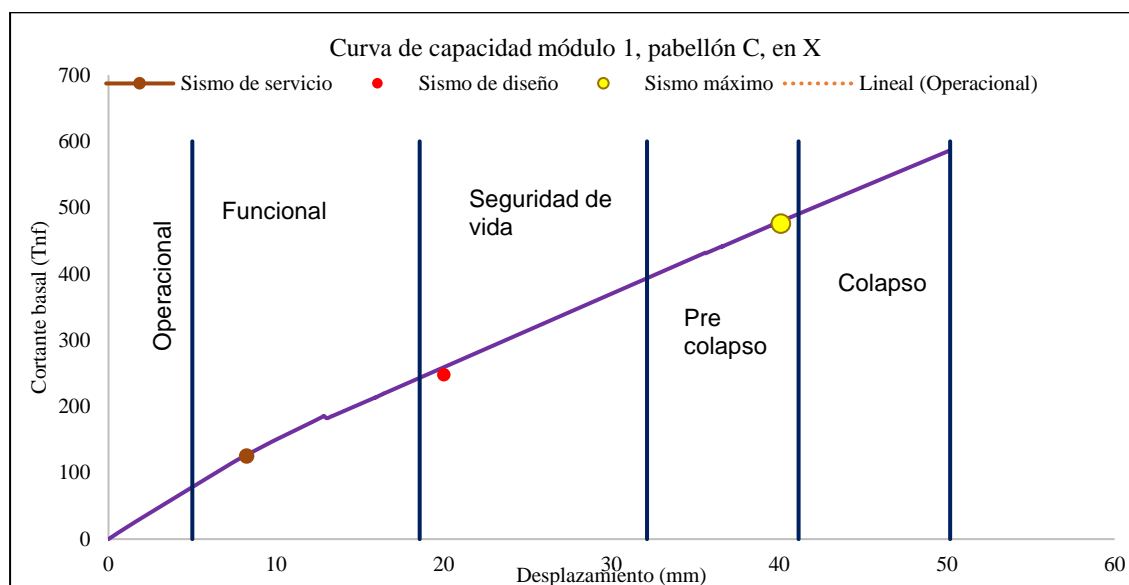
**Tabla 99***Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 1, con ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
1	C	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
1	C	Y	Funcional	Funcional	Precolapso
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación C-M1 con ISE. No cumple globalmente: X llega a Precolapso en Máximo y, Y también Precolapso en Máximo.

**Figura 120**

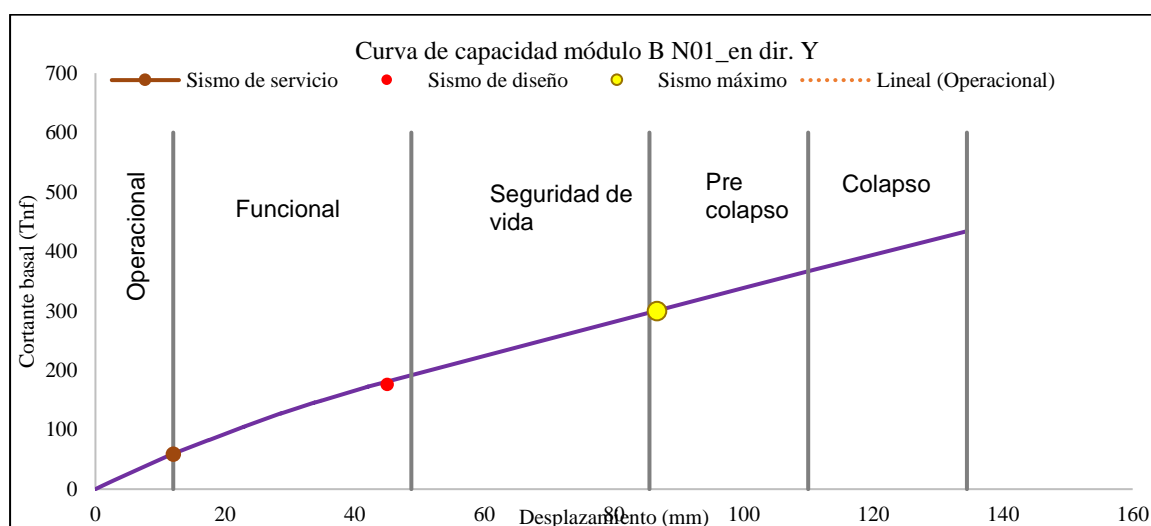
*Nivel de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 1, con ISE*



*Nota.* Curva de capacidad en ETABS v18.1.1, análisis Pushover X con interacción suelo–estructura modelada mediante resortes horizontales (Kx) y verticales (Kz) equivalentes. Se utilizaron espectros de demanda normativos (E.030) para niveles sísmicos de servicio (0.5), diseño (1.0) y máximo (1.25).

**Figura 121**

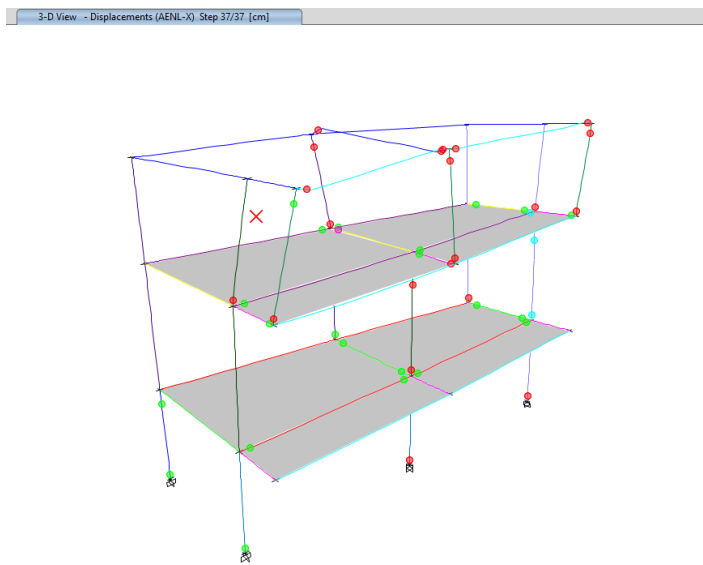
*Nivel de Desempeño en Y del Pabellón C, Módulo 1, con ISE*



*Nota.* Resultado del análisis Pushover Y en ETABS v18.1.1, considerando suelo tipo S2 y rigidez equivalente de base reducida en 15 %. Los puntos de desempeño fueron determinados mediante el método del espectro de capacidad del ATC-40. Los desplazamientos se miden en mm en el nivel superior.

## Figura 122

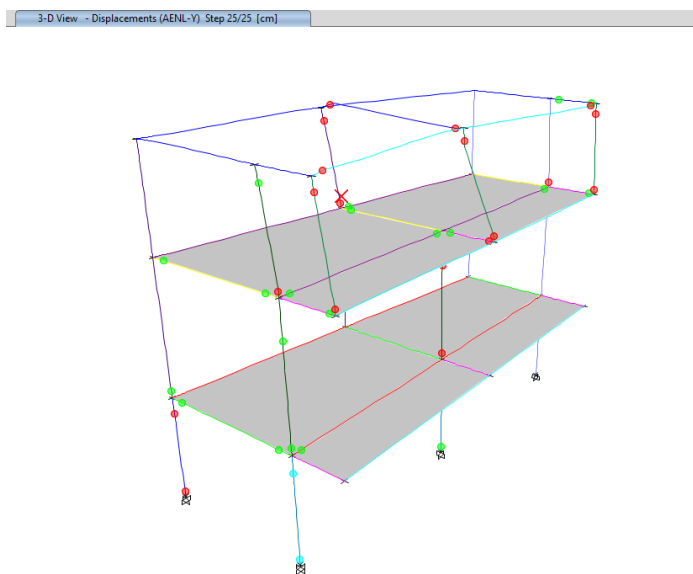
### *Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 1, con ISE*



Nota. Visualización exportada de ETABS v18.1.1, comando Display → Hinge Results → Pushover X. Se muestran las zonas plásticas activas al alcanzar el punto de desempeño. El modelo incorpora resortes horizontales y verticales equivalentes y amortiguamiento estructural del 5%.

## Figura 123

### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 1, con ISE*



Nota. Resultado del análisis Pushover Y en ETABS v18.1.1. Las rótulas de vigas y columnas fueron definidas conforme a ASCE 41-13. Las condiciones de contorno son flexibles con rigidez de suelo equivalente, representando la interacción suelo–estructura.

#### 4.1.3.3. Módulo 2, Pabellón C

El análisis estático no lineal del módulo 2 del pabellón C, considerando la ISE, evidenció que la flexibilidad del suelo afecta de manera significativa la respuesta estructural, aumentando considerablemente los desplazamientos y reduciendo la rigidez global de la estructura. Aunque la edificación se comportó adecuadamente en sismos moderados, alcanzando niveles de desempeño funcional y seguridad de vida, bajo un sismo máximo se observó un desempeño crítico, con la estructura alcanzando el nivel de precolapso en ambas direcciones.

##### a) Curva de capacidad y desempeño general

En cuanto a la curva de capacidad general, en X, la cortante basal máxima alcanzada fue de 382.47 ton con un desplazamiento máximo de 5.65 cm, mientras que en Y, la cortante basal fue de 327.48 ton con un desplazamiento significativamente mayor de 212.5 cm, estos valores reflejan una mayor rigidez y capacidad de resistencia X, mientras que en Y, se presenta un comportamiento estructural más flexible con deformaciones considerables.

##### Tabla 100

*Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 2, con ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	382.47	5.65
Y	327.48	212.5

*Nota.* Curva de capacidad C-M2 con ISE. Reducción de cortante (X: 382.47 tn; Y: 327.48 tn) y aumento de desplazamientos. Aclaración de unidades: el máximo en Y corresponde a 21.255 cm (212.55 mm); se corrigió la unidad en el documento.

##### b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica

Para un sismo de servicio, en X se alcanzó cortante basal de 25.1 ton con desplazamiento de 3.25 mm, mientras que en Y la cortante fue de 29.63 ton con desplazamiento de 12.36 mm, en ambas direcciones, la estructura mantuvo desempeño

funcional, reflejando deformaciones mínimas y controladas. En un sismo de diseño, la cortante basal en X incrementó a 134.54 toneladas con un desplazamiento de 19.496 mm, y en Y alcanzó 105.23 toneladas con desplazamiento de 55.12 mm, manteniéndose funcional en la dirección Y alcanzando el nivel de seguridad de vida en X.

Para un sismo máximo, los resultados evidenciaron un comportamiento crítico. En la dirección X, la cortante basal fue de 24.24 toneladas con desplazamiento de 35.50 mm, alcanzando el nivel de precolapso, reflejando una condición severa de daño estructural. En la dirección Y, la cortante basal alcanzó 220.03 toneladas con un desplazamiento de 132.69 mm, lo que también corresponde al nivel de precolapso, evidenciando deformaciones significativas y riesgo estructural elevado.

**Tabla 101**

*Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, en X e Y, con ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	25.1	3.25	29.63	12.36
Diseño	134.54	19.496	105.23	55.12
Máximo	242.4	35.50	220.03	132.69

*Nota.* Puntos de desempeño C-M2 con ISE. Se incrementan las demandas en ambas direcciones (X hasta 35.50 mm; Y hasta 132.69 mm), con mayor severidad en Y.

### c) Verificación de los objetivos de desempeño

En X e Y el módulo alcanzó el nivel de precolapso para un sismo máximo, por lo que, no cumple con los objetivos de desempeño de la ATC-40.

**Tabla 102**

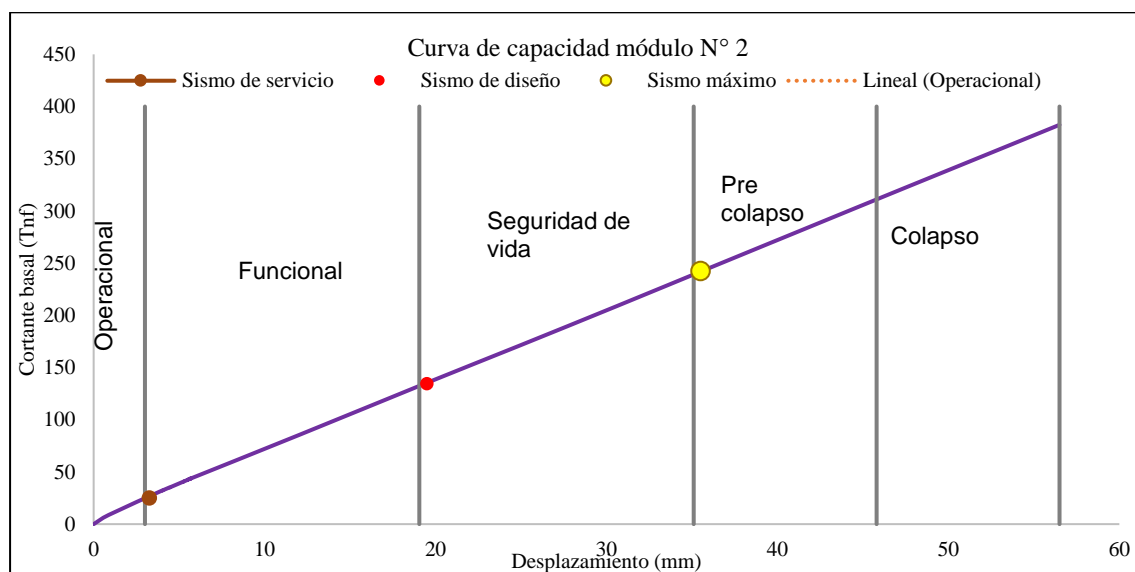
*Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 2, con ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
2	C	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
2	C	Y	Funcional	Funcional	Precolapso
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación C-M2 con ISE. No se logra la meta global; en ambos sentidos el estado de Máximo alcanza Precolapso.

**Figura 124**

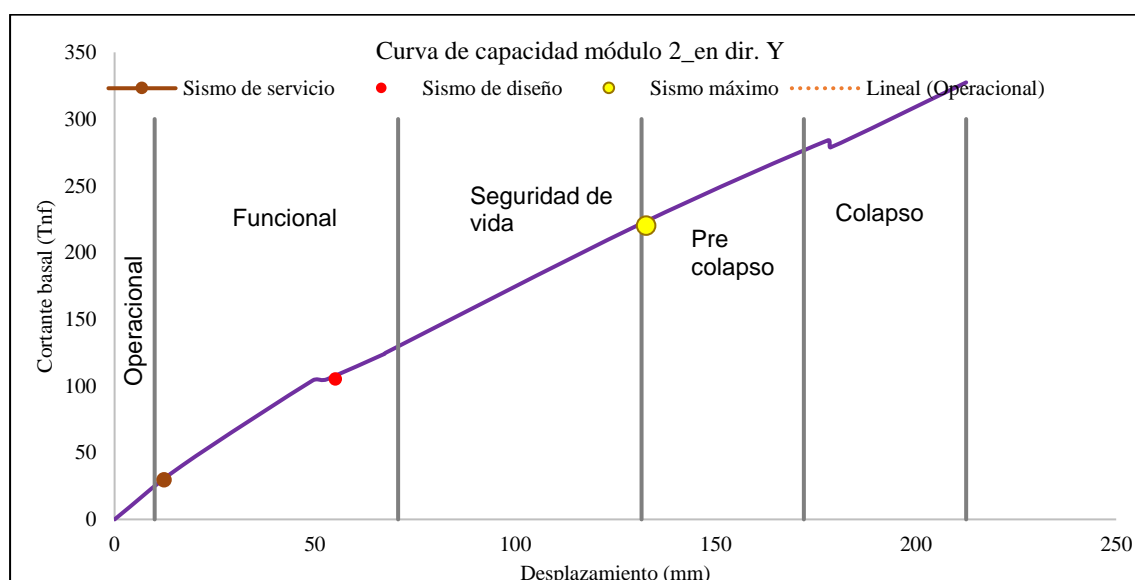
*Nivel de Desempeño en X, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE*



*Nota.* Curva obtenida en ETABS v18.1.1, caso Pushover X, con base flexible y resortes definidos por rigidez dinámica. El punto de desempeño se identificó según el método del espectro de capacidad ATC-40. El amortiguamiento considerado fue del 5% del crítico.

**Figura 125**

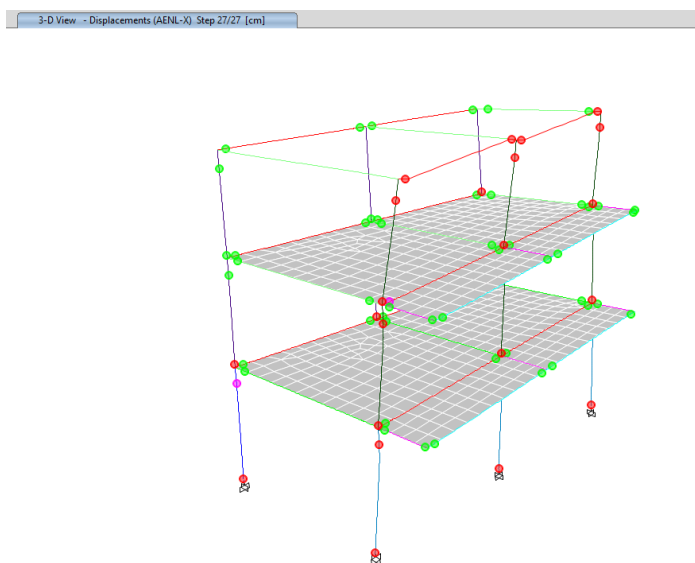
*Nivel de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE*



*Nota.* Curva generada en ETABS v18.1.1, análisis Pushover Y, con interacción suelo-estructura. Se adoptaron espectros normativos E.030-2018 para zonas sísmicas 2 ( $Z = 0.25$ ,  $S = 1.20$ ,  $U = 1.50$ ). Los estados de desempeño se establecieron conforme a ATC-40.

## Figura 126

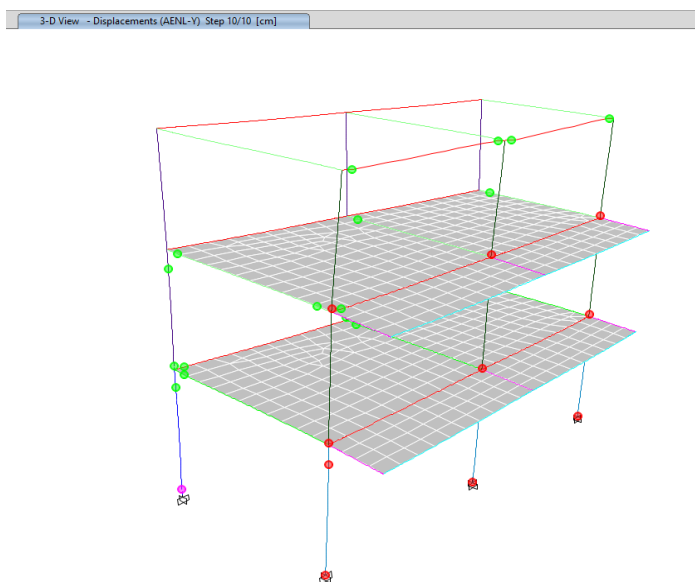
### *Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE*



*Nota.* Imagen exportada en ETABS v18.1.1 con el comando Display → Hinge Results → Pushover X. El modelo considera base flexible, rigidez reducida de elementos estructurales y amortiguamiento del 5 %. Las rótulas se clasifican por estado: IO, LS, CP y C.

## Figura 127

### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 2, con ISE*



*Nota.* Resultados obtenidos del análisis Pushover Y en ETABS v18.1.1. Las rótulas se formaron según las curvas de comportamiento no lineal de Mander (concreto) y acero kinemático ( $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ). Se usaron resortes de fundación equivalentes definidos por el módulo de reacción del suelo.

#### 4.1.3.4. Módulo 3, Pabellón C

El análisis estático no lineal del módulo 3 del pabellón C, considerando la ISE, evidenció que la flexibilidad del suelo influye significativamente en la respuesta estructural, reduciendo la rigidez global y aumentando los desplazamientos, especialmente en sismos máximos donde ambas direcciones alcanzaron el nivel de precolapso, lo que indica alto riesgo de fallos estructurales.

##### a) Curva de capacidad y desempeño general

En la curva de capacidad general, la cortante basal máxima alcanzada en X fue de 172.32 ton con un desplazamiento máximo de 13.92 cm, mientras que en Y, la cortante basal máxima fue de 439.88 ton con un desplazamiento significativamente menor de 3.95 cm, estos resultados reflejan una mayor rigidez y capacidad de resistencia en Y, mientras que en X se presenta un comportamiento más flexible, con mayores deformaciones antes de alcanzar su capacidad máxima.

**Tabla 103**

*Curva de Capacidad del Pabellón C, Módulo 3, con ISE*

Dirección	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
X	172.32	13.92
Y	439.88	3.95

*Nota.* Curva de capacidad C-M3 con ISE. En X disminuye la resistencia (172.32 tn) y aumenta el desplazamiento último (13.92 cm); en Y el sistema conserva mayor resistencia (439.88 tn) con 3.95 cm.

##### b) Punto de desempeño por nivel de amenaza sísmica

Para un sismo de servicio, en X, la cortante basal alcanzó 35.01 ton con desplazamiento de 15.61 mm, mientras que en Y, la cortante fue de 95.14 ton con desplazamiento de 8.13 mm, manteniéndose ambas direcciones en un nivel de desempeño funcional, indicando un daño leve y capacidad operativa de la edificación. Para un sismo de diseño, en la dirección X, la cortante basal fue de 78.99 ton con un desplazamiento de 47.63 mm, mientras que en la dirección Y, la cortante alcanzó

206.11 ton con un desplazamiento de 18 mm. En ambos casos, la estructura alcanzó el nivel de seguridad de vida, evidenciando mayor deformación, pero sin comprometer la integridad estructural.

Para un sismo máximo, los resultados reflejaron un desempeño crítico; en la dirección X, la cortante basal fue de 126.03 ton con un desplazamiento de 82 mm, mientras que en la dirección Y, la cortante basal fue de 342.61 ton con un desplazamiento de 30.41 mm, alcanzando en ambas direcciones el nivel de precolapso, lo que indica un alto riesgo de fallos estructurales y deformaciones excesivas, comprometiendo la estabilidad del módulo.

#### **Tabla 104**

*Punto de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, en X e Y, con ISE*

Sismo	Dirección X		Dirección Y	
	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)	Cortante (ton)	Desplazamiento (mm)
Servicio	35.01	15.61	95.14	8.13
Diseño	78.99	47.63	206.11	18
Máximo	126.03	82	342.61	30.41

*Nota.* Puntos de desempeño C-M3 con ISE. Demandas crecientes respecto al caso rígido (X hasta 82 mm; Y hasta 30.41 mm), confirmando mayor flexibilidad global.

#### **c) Verificación de los objetivos de desempeño**

En X e Y, el módulo alcanzó el nivel de precolapso para un sismo máximo, por lo que, no cumple con los objetivos de desempeño del ATC-40.

#### **Tabla 105**

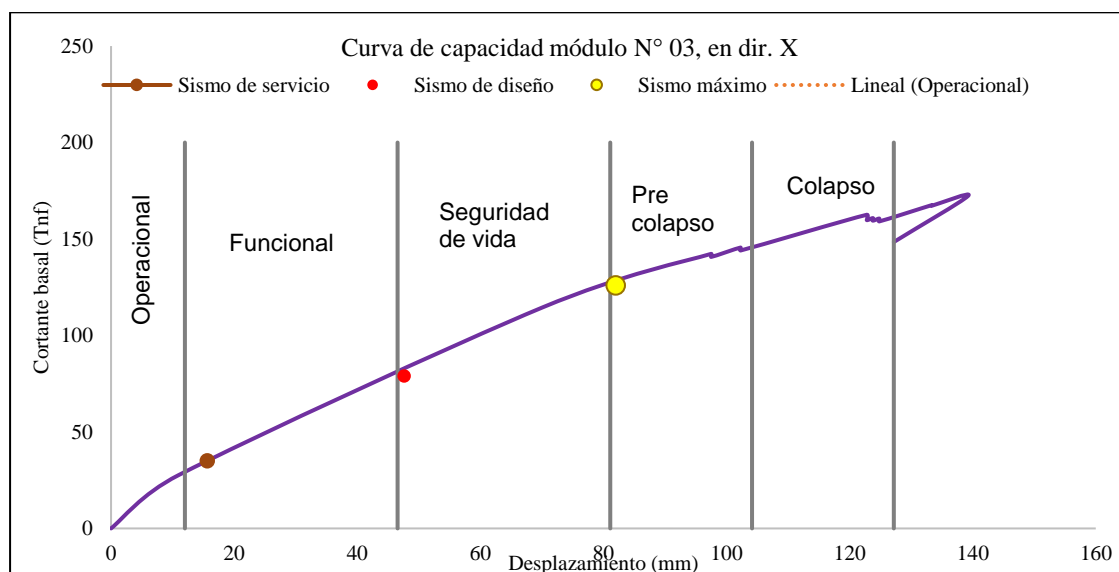
*Verificación de los Objetivos de Desempeño del Pabellón C, Módulo 3, con ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño		
			Servicio	Diseño	Máximo
1	C	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
1	C	Y	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
Objetivos de desempeño			Operacional	Funcional	Seguridad de vida

*Nota.* Verificación C-M3 con ISE. No cumple la meta integral: en ambas direcciones el estado de Máximo llega a Precolapso.

**Figura 128**

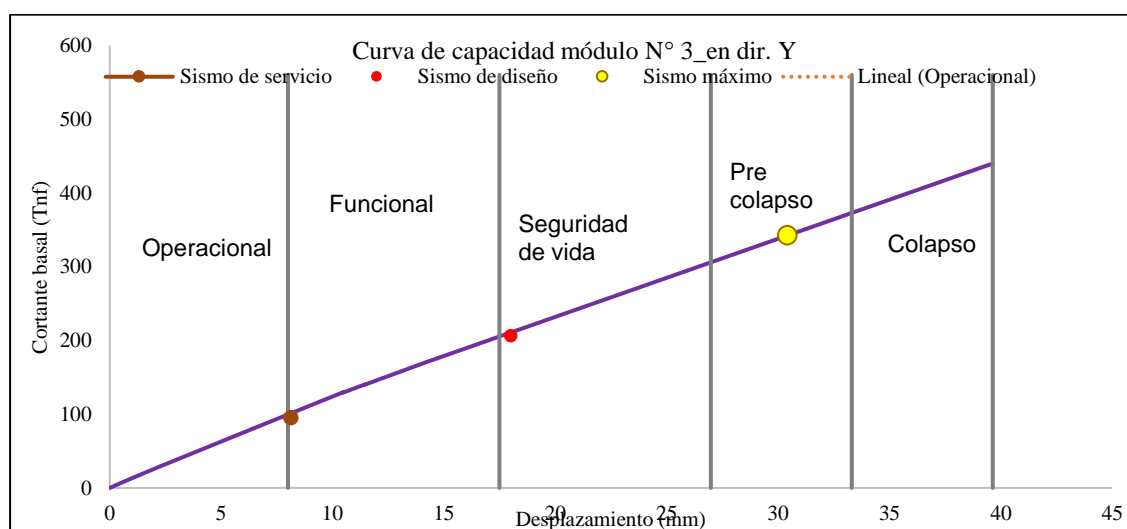
*Objetivos de Desempeño en X del Pabellón C, Módulo 3, con ISE*



*Nota.* Curva de capacidad elaborada en ETABS v18.1.1, caso Pushover X, con control de desplazamiento. Se consideró la interacción suelo–estructura con resortes equivalentes y amortiguamiento del 5 %. Los niveles de desempeño (O, F, LS, CP, C) se definieron según ATC-40.

**Figura 129**

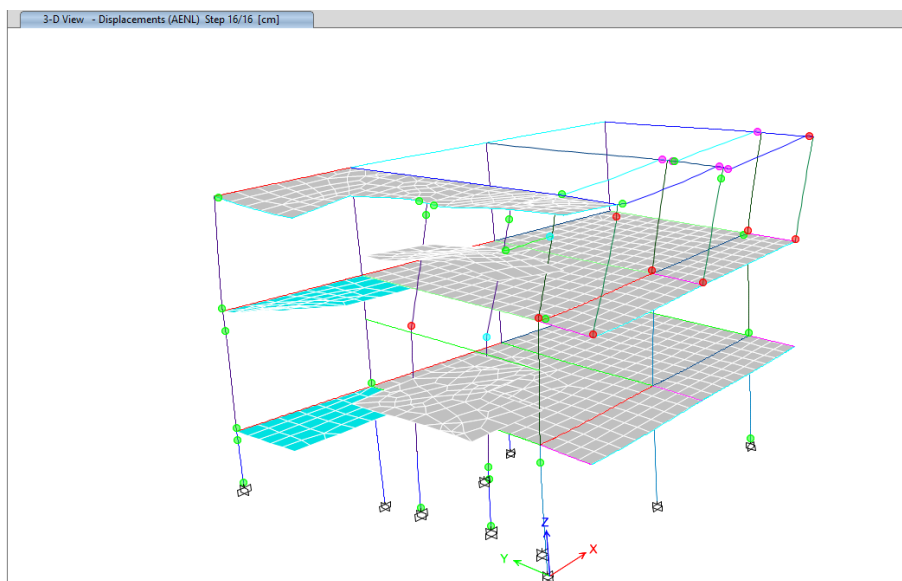
*Objetivos de Desempeño en Y, del Pabellón C, Módulo 3, con ISE*



*Nota.* Gráfico del análisis Pushover Y generado en ETABS v18.1.1, con condiciones de base flexible. El espectro de demanda se obtuvo del ATC-40 (1996) y se escaló con los factores normativos de la E.030. El desplazamiento máximo corresponde al punto de colapso controlado.

## Figura 130

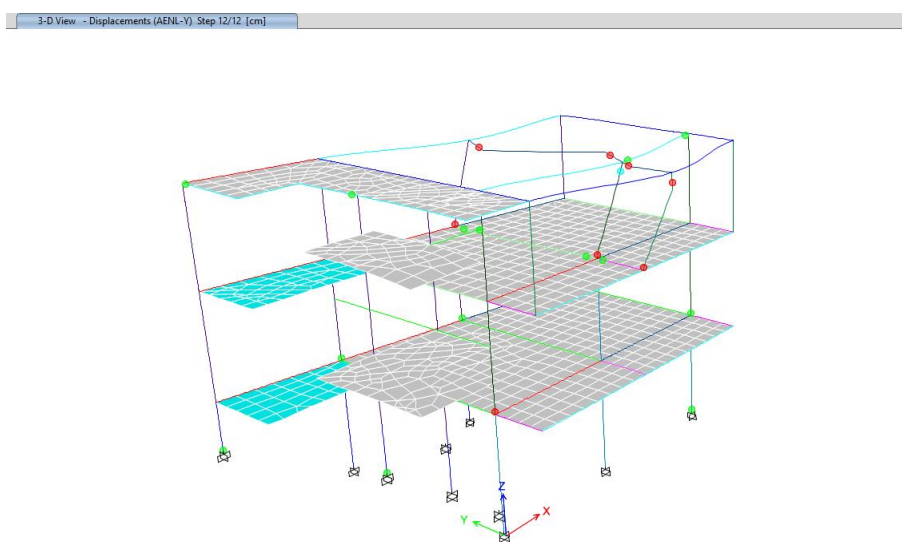
### *Rótulas de Falla en X, del Pabellón C, Módulo 3, con ISE*



*Nota.* Imagen generada en ETABS v18.1.1, comando Display → Hinge Results → Pushover X. El modelo incluye rótulas tipo M3 y P-M2-M3 definidas automáticamente y condición de base con resortes lineales equivalentes. Las zonas plásticas se observan principalmente en el primer nivel.

## Figura 131

### *Rótulas de Falla en Y, del Pabellón C, Módulo 3, con ISE*



*Nota.* Visualización del caso Pushover Y en ETABS v18.1.1, con interacción suelo–estructura representada por resortes equivalentes. El patrón de carga lateral se aplicó con control de desplazamiento. Las rótulas se muestran conforme a los estados IO, LS, CP y C de ASCE 41-13.

#### ***4.1.4. Comparación del desempeño sísmico sin considerar y considerando la Interacción suelo-estructura (ISE)***

En el Objetivo específico 4 (comparación con y sin ISE), la interpretación ingenieril demuestra que la ISE no actúa como un “beneficio” por reducir cortantes, sino que cambia el mecanismo de control del desempeño: de un sistema gobernado por fuerzas (base fija) a un sistema gobernado por deformaciones (base flexible). La reducción de cortante basal entre  $-5.26\%$  y  $-29.20\%$  evidencia un ablandamiento global del sistema suelo–cimentación–superestructura y un alargamiento del periodo efectivo, por lo que la demanda de fuerza disminuye; sin embargo, el incremento de desplazamientos últimos entre  $+10.71\%$  y  $+15.25\%$  y el aumento de desplazamientos objetivo en los puntos de desempeño (con incrementos relevantes en diseño y máximo) confirma que el “precio” de esa reducción de fuerza es una mayor demanda deformacional, que incrementa la probabilidad de daño por derivas y rotación plástica. En términos de desempeño ATC-40, este cambio se materializa en una degradación del nivel alcanzado ante sismo máximo, donde casos que sin ISE podían mantenerse en rangos IO–LS pasan a CP, e incluso módulos que cumplían la secuencia Operacional–Funcional–Seguridad de vida (como C-M2) dejan de cumplir cuando se incorpora la flexibilidad del suelo, porque aumentan las deformaciones y se reduce la reserva de capacidad. Por ello, el contraste confirma que el modelo de base fija puede subestimar la criticidad en varios módulos al no capturar el incremento de deformaciones, y que las decisiones de intervención deben orientarse principalmente al control de desplazamientos y derivas (rigidez lateral, diafragmas, continuidad y configuración resistente), más que a incrementar únicamente la resistencia, especialmente en los módulos y direcciones donde la ISE desplaza el desempeño hacia precolapso en el escenario máximo.

El análisis comparativo evidenció que al considerar la interacción suelo-estructura, la cortante basal se redujo entre 5% y 29%, reflejando disminución de la rigidez global del sistema estructural. En contraste, los desplazamientos aumentaron significativamente, con incrementos de hasta 15.25%, lo que indica mayor deformabilidad de la estructura. Además, al incluir la ISE, en la mayoría de los módulos no se cumplieron completamente los objetivos de desempeño establecidos por la norma ATC-40:1996, especialmente para sismos máximos, donde varios módulos alcanzaron el nivel de precolapso, reflejando una capacidad reducida para resistir cargas extremas.

**a) Curva de capacidad: Cortante basal y desplazamientos**

Al evaluar los resultados de la curva de capacidad, se observó que al incluir la ISE, la cortante basal disminuyó en todos los módulos y direcciones, con reducciones que variaron entre un -5.26% y -29.20%. El módulo con mayor reducción fue el módulo 3 del pabellón C en Y, con una disminución del 29.20%. Esta reducción de cortante basal se atribuye a la disminución de rigidez global del sistema al considerar la flexibilidad del suelo, permitiendo una mayor disipación de energía y reduciendo las fuerzas internas transmitidas a la superestructura.

En cuanto a los desplazamientos, se evidenció un aumento generalizado al incluir la ISE, con incrementos que oscilaron entre 10.71% y 15.25%, siendo más pronunciado en el módulo 3 del pabellón C, dirección Y, donde se registró un incremento del 15.25%. Estos resultados reflejan que la flexibilidad introducida por el suelo incrementa la deformación de la estructura, afectando significativamente el comportamiento global de la edificación.

**Tabla 106**

*Curva de Capacidad de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez Sin Considerar y Considerando la ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Sin ISE		Con ISE		Porcentaje	Porcentaje de	
			Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)	reducción con ISE	aumento con ISE	
							Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)	Cortante basal (tn)
1	A	X	840.81	1.23	773.55	1.39	-8.70%	11.50%	
1	A	Y	325.657	6.3	293.09	7.25	-11.11%	13.04%	
1	C	X	617.3826	4.4818	586.51	5.02	-5.26%	10.71%	
1	C	Y	482.26	11.89	434.03	13.44	-11.11%	11.50%	
2	C	X	432	5.00	382.47	5.65	-12.95%	11.50%	
2	C	Y	372.136	18.46	327.48	21.255	-13.64%	13.15%	
3	C	X	217.57	12	172.32	13.92	-26.26%	13.79%	
3	C	Y	568.31	3.35	439.88	3.95	-29.20%	15.25%	
							Máximo	-5.26%	15.25%
							Mínimo	-29.20%	10.71%
							Promedio	-14.78%	11.12%

*Nota.* Comparación de curvas de capacidad con y sin ISE. La inclusión de ISE reduce el cortante basal (entre -5.26 % y -29.20 %) y aumenta el desplazamiento último (entre +10.71 % y +15.25 %). Según los valores consignados, los promedios globales reportados son -14.78 % en cortante y +11.12% en desplazamiento, con mayor afectación relativa en el Módulo C-3 (Y) y la menor en C-1 (X).

### **b) Curva de capacidad: Cortante basal y desplazamientos**

En la dirección X, el módulo 1 del pabellón A mantuvo su desempeño funcional en un sismo de servicio y seguridad de vida para un sismo de diseño, pero no logró mejorar en un sismo máximo, manteniéndose en precolapso. En la dirección Y, el módulo 1 del pabellón C pasó de un nivel operacional a funcional en sismos de servicio, y de seguridad de vida a precolapso en sismos máximos. En los módulos 2 y 3 del pabellón C, el desempeño general empeoró con la inclusión de la ISE, alcanzando niveles de precolapso en sismos máximos tanto en las direcciones X como Y, lo que indica un comportamiento estructural más crítico con mayor flexibilidad y

deformaciones. Siendo así, sin considerar la ISE el colegio Abel Carbajal Perez cumple parcialmente con los objetivos de desempeño en los módulos 1 del pabellón A y los módulos 1 y 3 del pabellón C, mientras que, el módulo 2 del pabellón C cumple completamente los objetivos de desempeño de la ATC-40, pero al incluir la interacción suelo-estructura se ha verificado que ningún módulo de ninguno de los pabellones cumple con los objetivos de desempeño, siendo su nivel de desempeño de precolapso frente a sismos máximos.

**Tabla 107**

*Verificación del Cumplimiento de los Objetivos de Desempeño de Acuerdo al Nivel de Desempeño de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez Sin Considerar y Considerando la ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Nivel de desempeño sin ISE			Nivel de desempeño con ISE		
			Servicio	Diseño	Máximo	Servicio	Diseño	Máximo
1	A	X	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
1	A	Y	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida
1	C	X	Funcional	Funcional	Precolapso	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
1	C	Y	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Funcional	Funcional	Precolapso
2	C	X	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
2	C	Y	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Funcional	Funcional	Precolapso
3	C	X	Funcional	Funcional	Seguridad de vida	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
3	C	Y	Operacional	Funcional	Precolapso	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso
<b>Objetivos de desempeño</b>			<b>Operacional</b>	<b>Funcional</b>	<b>Seguridad de vida</b>	<b>Operacional</b>	<b>Funcional</b>	<b>Seguridad de vida</b>

*Nota.* Verificación de metas de desempeño con y sin ISE. En general, la ISE degrada el nivel alcanzado en la etapa de Máximo (varios casos pasan a Precolapso), mientras que en Servicio suelen mantenerse en Operacional/Funcional. En Y del Pabellón A conserva su patrón (Funcional → SLV → SLV), pero en la mayoría de módulos C se observa un empeoramiento de una categoría en Diseño y/o Máximo.

De acuerdo con la clasificación de desempeño establecida en la norma ATC-40 (1996) que distingue los niveles Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS) y Collapse Prevention (CP), se observa que los módulos del colegio presentan variaciones significativas al considerar la interacción suelo–estructura (ISE).

Sin considerar la ISE, los módulos alcanzan niveles de desempeño entre IO y LS, evidenciando un comportamiento estructural aceptable en la mayoría de los casos. En este escenario, el módulo 2 del pabellón C (en ambas direcciones) y el módulo 1 del pabellón C (en Y) mantienen un desempeño dentro del rango IO–LS, cumpliendo los objetivos de desempeño propuestos por la ATC-40.

En contraste, al incluir la ISE, los desplazamientos y derivas aumentan, reduciendo la rigidez global y trasladando los niveles de desempeño hacia CP (Collapse Prevention) en todos los módulos durante el sismo máximo. Esto implica que las edificaciones permanecen en pie, pero con daño severo y pérdida casi total de su funcionalidad estructural, requiriendo intervenciones de reforzamiento o rehabilitación sísmica para garantizar un nivel mínimo de Seguridad de vida (LS) ante eventos futuros.

Por tanto, la Tabla 104 evidencia una degradación general del desempeño sísmico de los módulos al considerar la interacción suelo–estructura, confirmando que esta condición reduce la capacidad resistente y aumenta la vulnerabilidad global del conjunto educativo frente a sismos de gran intensidad.

### **Tabla 108**

*Niveles de Desempeño de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez según la Norma ATC-40 (1996)*

<b>Módulo</b>	<b>Pabellón</b>	<b>Dirección</b>	<b>Sin ISE (nivel ATC-40)</b>	<b>Con ISE (nivel ATC-40)</b>	<b>Interpretación</b>
1	A	X	LS (Seguridad de vida) → CP (Precolapso)	LS → CP	No cumple: vulnerabilidad alta.

Módulo	Pabellón	Dirección	Sin ISE (nivel ATC-40)	Con ISE (nivel ATC-40)	Interpretación
1	A	Y	LS (Seguridad de vida) → LS	LS → LS	Cumple parcialmente.
1	C	X	IO (Ocupación inmediata) → LS	IO → LS	Cumple parcialmente.
1	C	Y	IO → LS	IO → CP	No cumple.
2	C	X	IO → LS	LS → CP	No cumple.
2	C	Y	IO → LS	LS → CP	No cumple.
3	C	X	LS → LS	LS → CP	No cumple.
3	C	Y	IO → CP	IO → CP	No cumple.

*Nota.* Los niveles IO, LS y CP corresponden a Immediate Occupancy, Life Safety y Collapse Prevention, respectivamente, definidos en la ATC-40 (1996). La clasificación se realizó a partir de las curvas de capacidad y puntos de desempeño obtenidos en los análisis pushover con y sin interacción suelo-estructura (ISE).

### c) Puntos de desempeño: Cortante basal y desplazamientos

En los puntos de desempeño por nivel de amenaza sísmica se reflejó una tendencia similar a la curva de capacidad. La cortante basal disminuyó al considerar la ISE en la mayoría de los módulos, con reducciones máximas de hasta 26.14% en el módulo 3 del pabellón C (sismo de servicio en X). Sin embargo, se evidenció un comportamiento particular en los sismos de diseño, donde en algunos casos la cortante basal aumentó ligeramente con la ISE, como en el módulo 2 del pabellón C dirección Y, con un aumento del 14.23%, reflejando la variabilidad de la interacción entre la rigidez estructural y la flexibilidad del suelo.

Los desplazamientos, en cambio, se incrementaron en todos los escenarios al incluir la ISE, con incrementos que oscilaron entre 8.31% y 15.25%, siendo este último registrado nuevamente en el módulo 3 del pabellón C, dirección Y. Esto confirma que la flexibilidad del suelo contribuye significativamente al aumento de las deformaciones en la superestructura.

**Tabla 109***Puntos de Desempeño de los Módulos del Colegio Abel Carbajal Perez Sin Considerar y Considerando la ISE*

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Sin ISE		Con ISE		Porcentaje de reducción	Porcentaje de aumento
				Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (mm)	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (mm)	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (mm)
1	A	X	Servicio	177.93	2.34	164.75	2.61	-8.00%	10.50%
1	A	X	Diseño	451.26	6.40	418.40	6.98	-7.85%	8.31%
1	A	X	Máximo	662.90	9.60	607.90	10.56	-9.05%	9.09%
1	A	Y	Servicio	91.01	13.99	84.23	16.21	-8.05%	13.70%
1	A	Y	Diseño	153.20	17.86	144.95	32.23	-5.69%	44.59%
1	A	Y	Máximo	210.11	26.60	201.78	46.50	-4.13%	42.80%
1	C	X	Servicio	134.26	7.40	125.16	8.23	-7.27%	10.12%
1	C	X	Diseño	192.17	11.62	248.23	20.00	22.58%	41.90%
1	C	X	Máximo	505.06	35.80	476.11	40.10	-6.08%	10.72%
1	C	Y	Servicio	62.24	9.15	59.26	12.00	-5.03%	23.74%
1	C	Y	Diseño	183.82	34.00	176.41	45.00	-4.20%	24.44%
1	C	Y	Máximo	325.04	73.60	300.04	86.61	-8.33%	15.02%
2	C	X	Servicio	28.40	2.670	25.10	3.250	-13.15%	17.85%
2	C	X	Diseño	144.54	16.230	134.54	19.496	-7.43%	16.75%
2	C	X	Máximo	268.40	30.925	242.40	35.500	-10.73%	12.89%
2	C	Y	Servicio	107.42	5.66	95.14	8.13	-12.91%	30.38%
2	C	Y	Diseño	176.78	9.40	206.11	18.00	14.23%	47.78%
2	C	Y	Máximo	412.23	23.96	342.61	30.41	-20.32%	21.21%
3	C	X	Servicio	44.16	13.76	35.01	15.61	-26.14%	11.85%
3	C	X	Diseño	67.64	24.60	78.99	47.63	14.37%	48.35%
3	C	X	Máximo	134.56	55.52	126.03	82.00	-6.77%	32.29%
3	C	Y	Servicio	107.42	5.66	95.14	8.13	-12.91%	30.38%
3	C	Y	Diseño	176.78	9.40	206.11	18.00	14.23%	47.78%
3	C	Y	Máximo	412.23	23.96	342.61	30.41	-20.32%	21.21%

*Nota.* Puntos de desempeño con y sin ISE. El cortante objetivo disminuye en la mayoría de combinaciones. Los desplazamientos aumentan prácticamente en todos los casos,

con alzas significativas en Diseño (48% en C-M3-X y 48% en C-M2-Y) y en Máximo (42–32% en varios módulos C), reflejando mayor flexibilidad introducida por la ISE.

Para incorporar la interacción suelo–estructura se empleó una base flexible mediante resortes equivalentes de cimentación, cuyas rigideces se determinaron con la norma rusa SNIP 2.02.05-87 a partir de parámetros geotécnicos y geometría de la cimentación. Esta elección permite representar de manera reproducible el acoplamiento suelo–cimentación–superestructura en ETABS y cuantificar su impacto en capacidad y demanda, evitando que la condición de base flexible sea asumida de forma arbitraria.

La importancia de emplear la norma rusa (SNIP 2.02.05-87) en la evaluación con interacción suelo–estructura radica en que proporciona un marco analítico para transformar las propiedades geotécnicas y la geometría de la cimentación en rigideces equivalentes traslacionales y rotacionales (resortes de base), permitiendo representar en el modelo numérico el acoplamiento suelo–cimentación–superestructura con criterios de ingeniería y no mediante supuestos arbitrarios. En consecuencia, el comportamiento obtenido con ISE deja de ser una “condición flexible” cualitativa y pasa a ser una modelación cuantificable, trazable y comparable con el caso de base fija, lo que mejora la confiabilidad de los cambios observados en cortante basal, desplazamientos, derivas y nivel de desempeño. Además, su uso fortalece la validez del análisis por desempeño, porque evidencia que el control puede migrar de fuerzas a deformaciones cuando el terreno es deformable, aspecto clave para interpretar y justificar decisiones de evaluación y reforzamiento en edificaciones existentes asentadas sobre suelos blandos.

Al final, desde el punto de vista que orienta el desempeño estructural, esto implica que la evaluación y la toma de decisiones deben basarse en el control de deformaciones (desplazamientos y derivas) y en el nivel de desempeño alcanzado, ya que la incorporación de la ISE reduce las fuerzas internas, pero incrementa la demanda deformacional, pudiendo desplazar a la edificación hacia estados límite cercanos al precolapso ante sismos máximos.

## **4.2. Contrastación de hipótesis**

### **4.2.1. Datos utilizados para el análisis estadístico**

Los datos utilizados en el análisis estadístico provinieron de los resultados de cortante basal, derivas, desplazamientos y objetivos de desempeño obtenidos tanto del análisis estático-dinámico lineal como del análisis estático no lineal Pushover. Estos datos se evaluaron en dos escenarios: sin considerar la interacción suelo-estructura (sin ISE) y considerando la ISE (ver anexo).

### **4.2.2. Análisis de normalidad**

Los resultados de la prueba de normalidad mediante el estadístico de Anderson-Darling (AD) y el valor p reflejan que, en la mayoría de los parámetros evaluados, los datos no siguen una distribución normal. La normalidad se evalúa con base en la hipótesis nula de que los datos provienen de una distribución normal. Cuando el valor p es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que los datos no siguen una distribución normal. Por el contrario, si el valor p es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, sugiriendo que los datos sí siguen una distribución normal.

En el análisis de cortante basal lineal, desplazamiento lineal, derivas lineales, desplazamiento no lineal, cortante basal en el punto de desempeño y desplazamiento en el punto de desempeño, los valores p fueron menores a 0.05, lo que indica una distribución no normal. Por otro lado, en los parámetros periodo de vibración y cortante basal no lineal, los valores p fueron 0.132 y 0.543, respectivamente, superando el umbral del 0.05, lo que sugiere que estos dos conjuntos de datos sí siguen una distribución normal.

Dado que la mayoría de los parámetros evaluados no siguen una distribución normal, es necesario optar por pruebas no paramétricas para la comparación de grupos y verificación de hipótesis. La Prueba de Kruskal-Wallis, la Prueba de Mann-Whitney

U y la Prueba de Wilcoxon permitirán evaluar de manera robusta la existencia de diferencias significativas entre los grupos de datos analizados sin la necesidad de cumplir con la condición de normalidad, garantizando así resultados estadísticamente válidos.

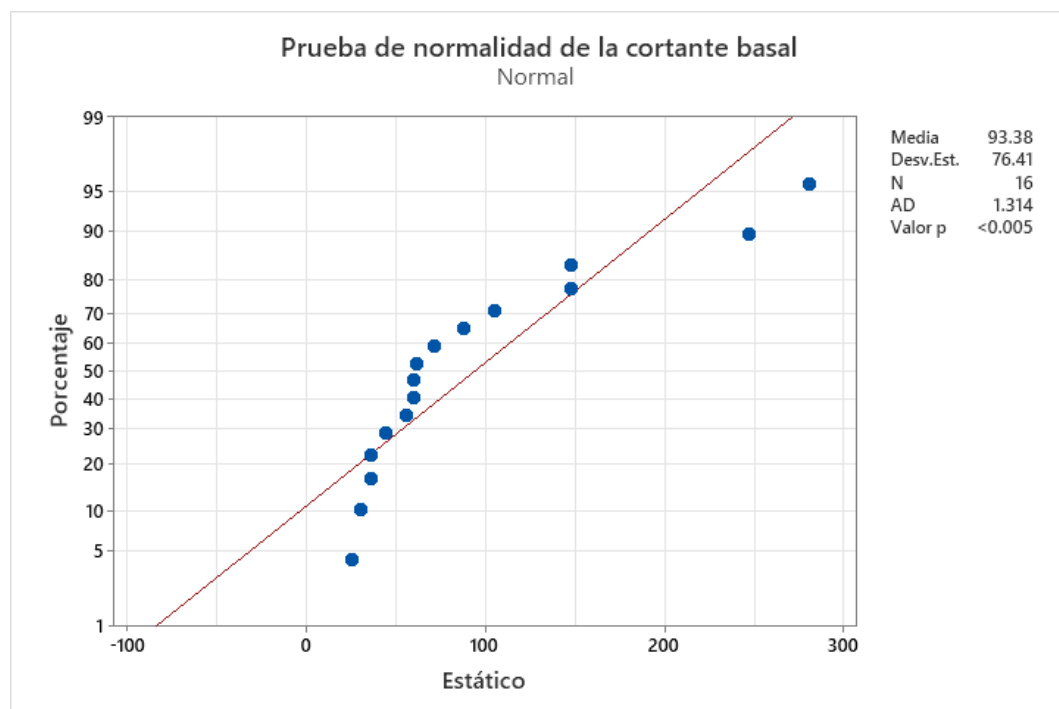
**Tabla 110**

*Análisis de Normalidad*

	AD	Valor p
Cortante basal lineal	1.314	< 0.005
Desplazamiento lineal	1.018	0.008
Derivas lineales	3.600	< 0.005
Periodo de vibración	0.560	0.132
Cortante basal no lineal	0.298	0.543
Desplazamiento no lineal	3.182	< 0.005
Cortante basal punto de desempeño	1.850	< 0.005
Desplazamiento punto de desempeño	7.993	< 0.005

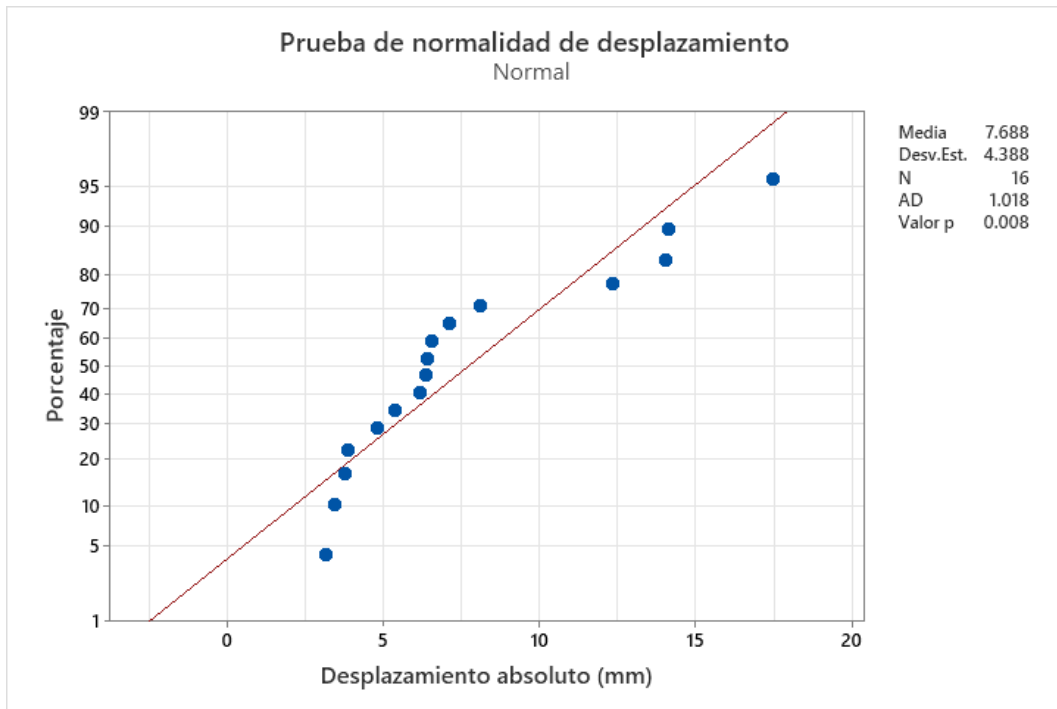
**Figura 132**

*Prueba de Normalidad de Cortante Basal Lineal*



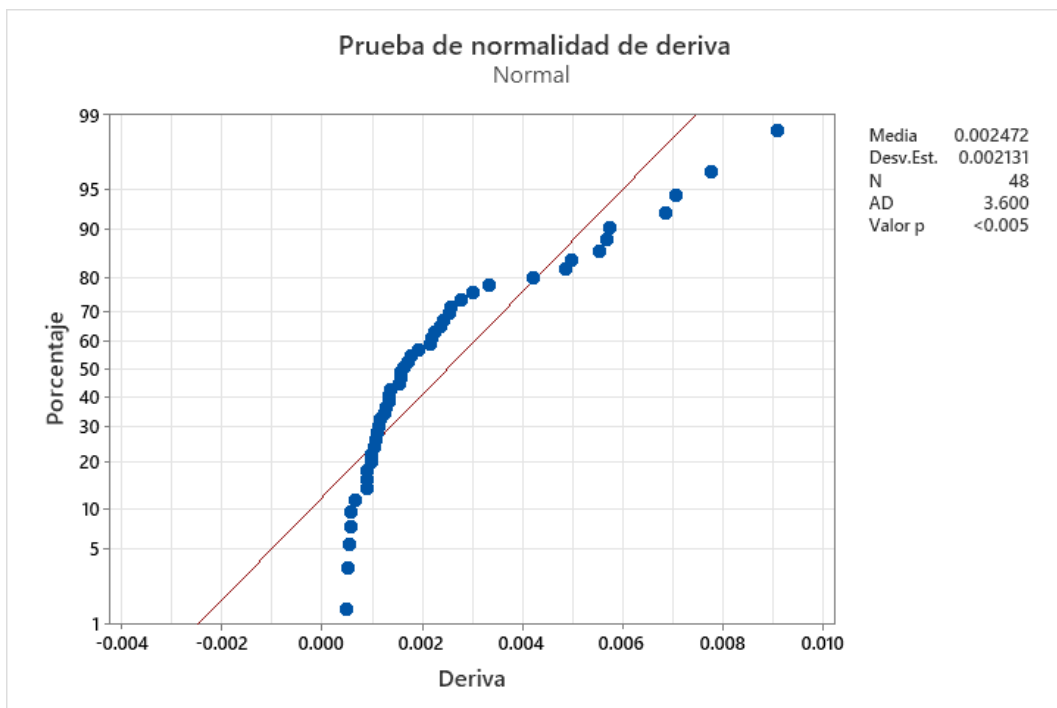
**Figura 133**

*Prueba de Normalidad de Desplazamiento Lineal*



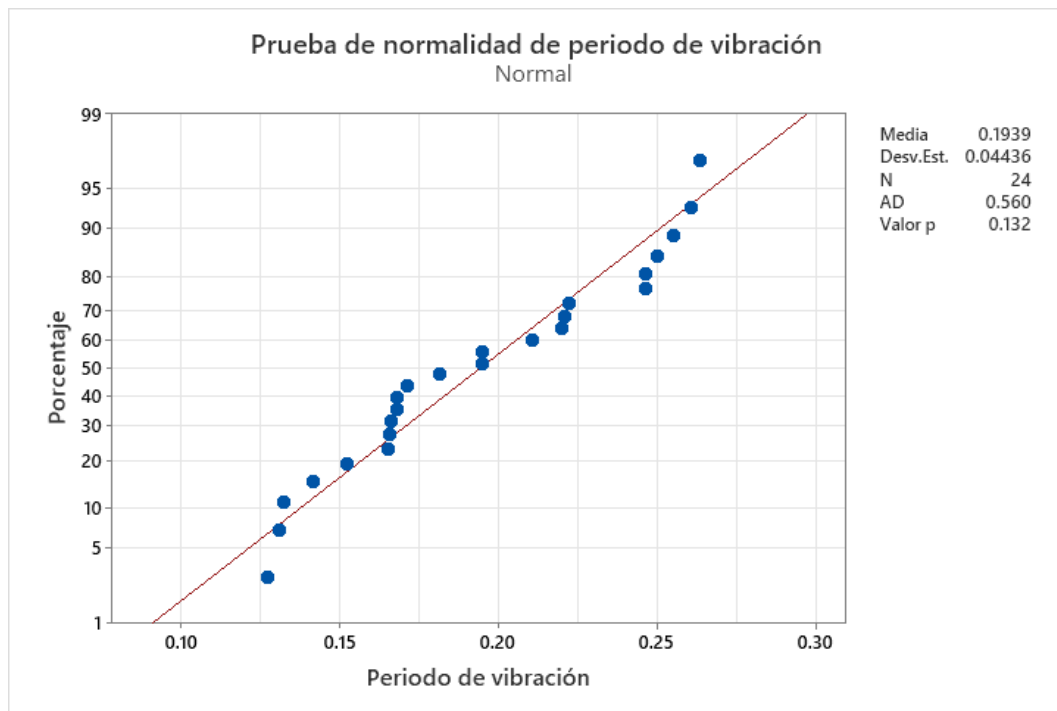
**Figura 134**

*Prueba de Normalidad de Derivas Lineales*



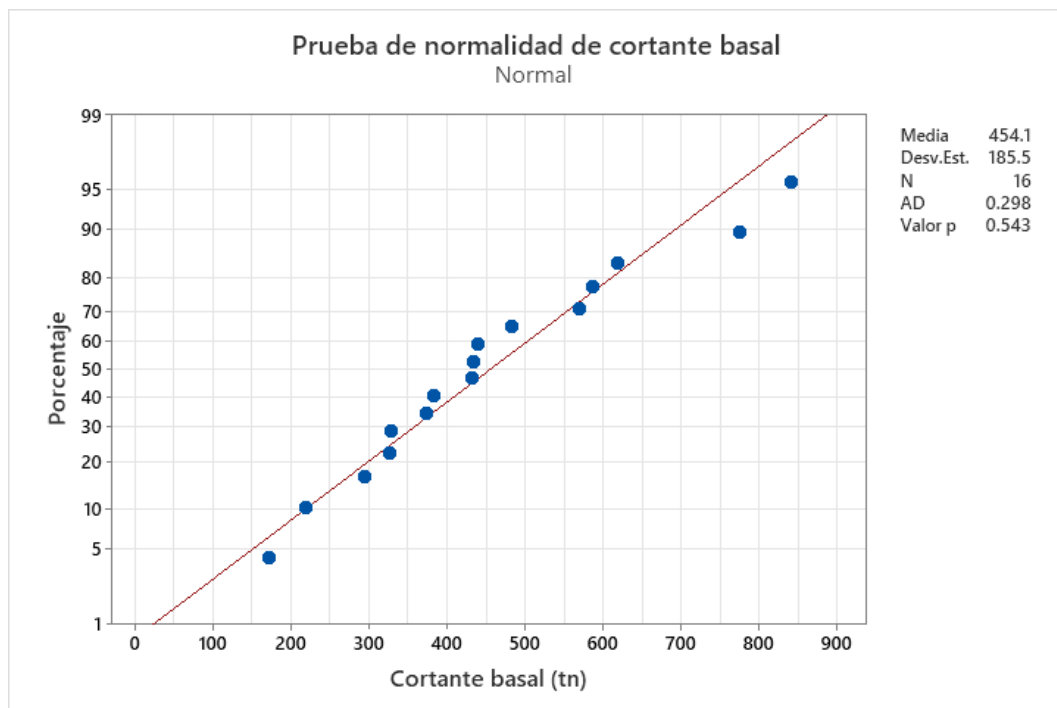
**Figura 135**

*Prueba de Normalidad de Periodo de Vibración*



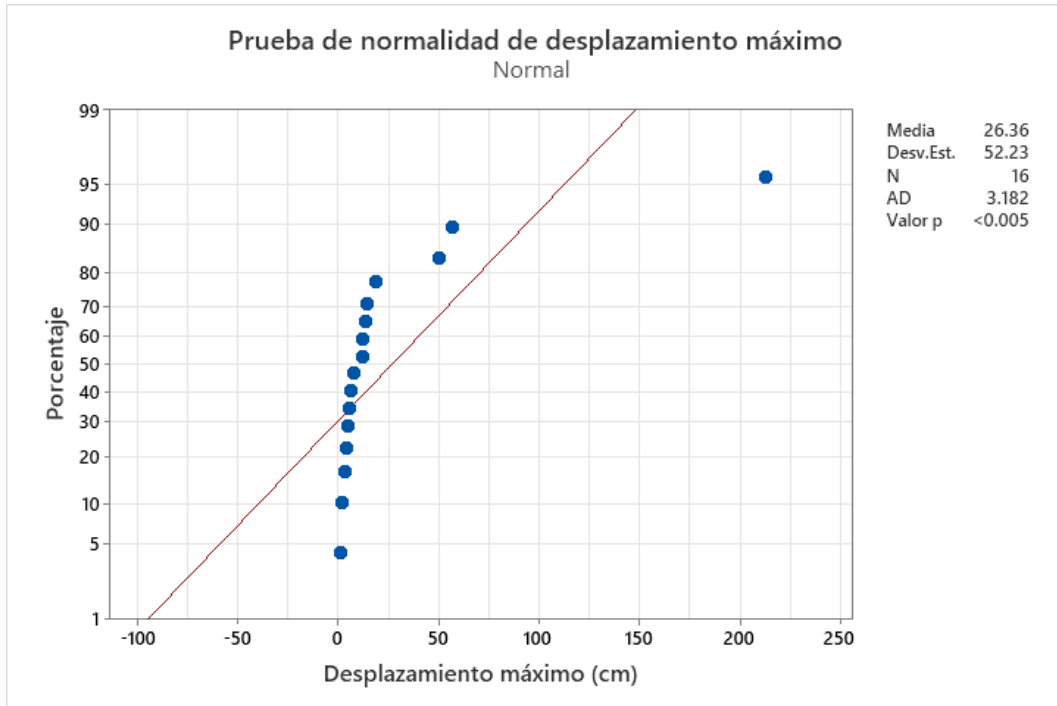
**Figura 136**

*Prueba de Normalidad de Cortante Basal no Lineal de Curva de Capacidad*



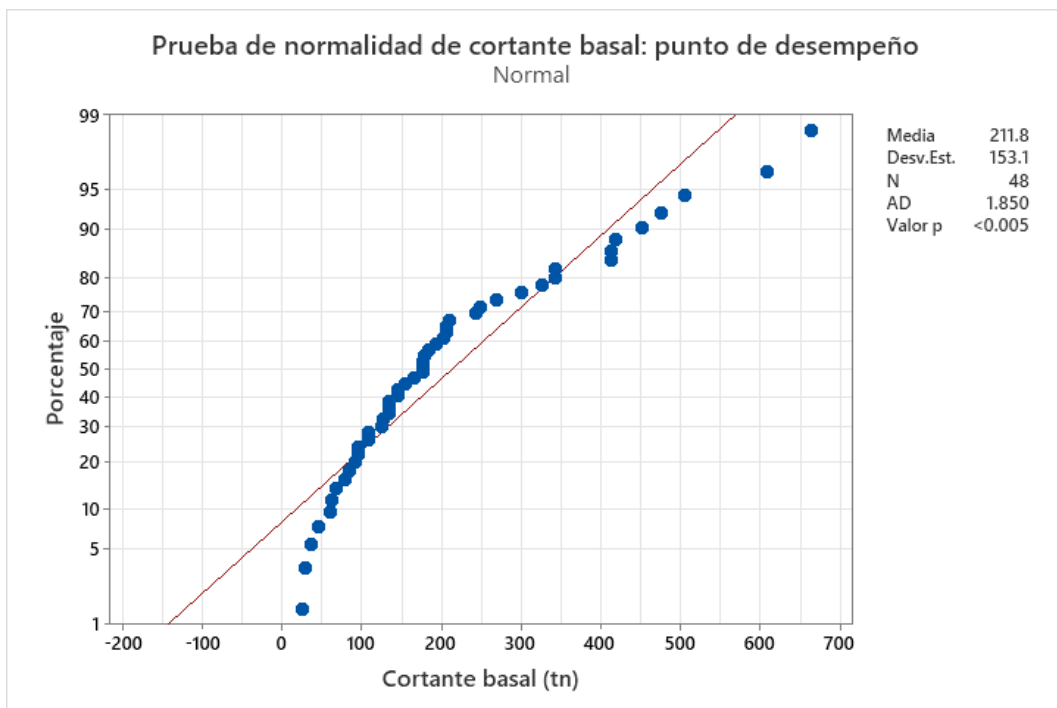
**Figura 137**

*Prueba de Normalidad de Desplazamientos Máximos no Lineales de Curva de Capacidad*



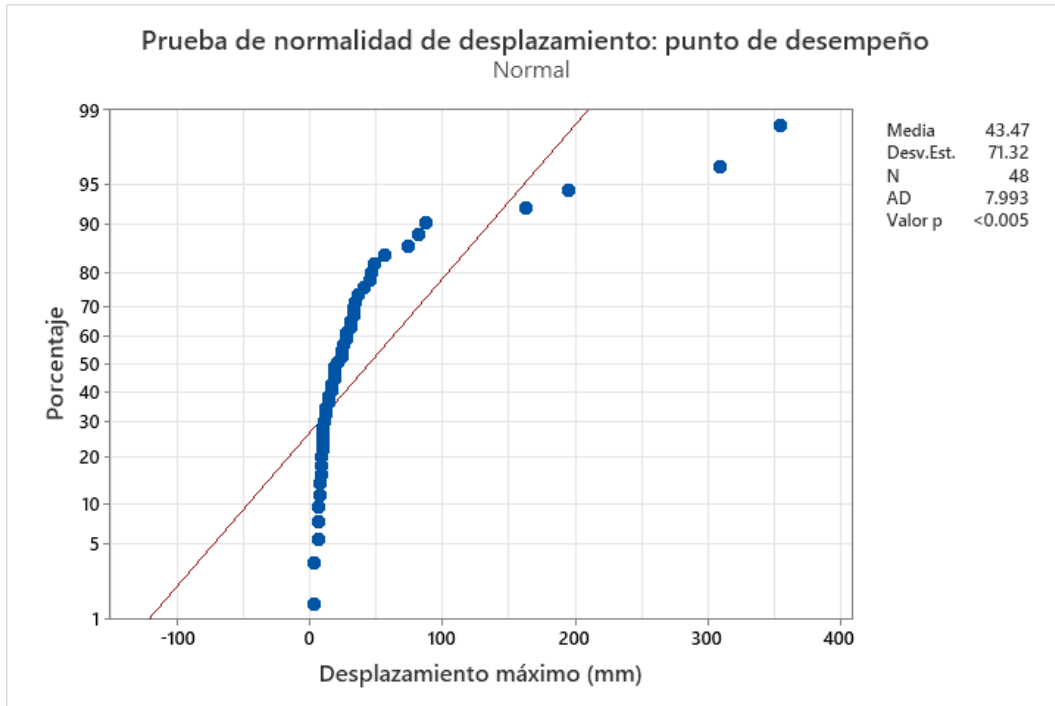
**Figura 138**

*Prueba de Normalidad de Cortante Basal no Lineal de Punto de Desempeño*



**Figura 139**

*Prueba de Normalidad de Desplazamientos Máximos no Lineales de Punto de Desempeño*



#### 4.2.3. Hipótesis general

Las hipótesis formuladas fueron:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): El desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez no es significativamente influenciado por la interacción suelo-estructura.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): El desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez es significativamente influenciado por la interacción suelo-estructura, reflejando mayores derivas, menores cortantes y afectando su capacidad para cumplir con los objetivos de desempeño.

#### 4.2.4. Criterio de aceptación de la hipótesis

Se estableció como criterio de aceptación de la hipótesis alternativa (H1) el hecho de que el valor p obtenido en las pruebas estadísticas fuera menor a 0.05, correspondiente a un nivel de confianza del 95%. En caso contrario, se aceptaría la hipótesis nula (Ho).

$$\text{Si } p < 0.05 \rightarrow \text{se acepta } H1 \quad (126)$$

$$\text{Si } p > 0.05 \rightarrow \text{se rechaza } H1 \quad (127)$$

#### 4.2.5. Análisis estático y dinámico lineal

##### a) Cortante basal

**Prueba de Kruskal-Wallis:** Dado que el valor p es superior a 0.05, se concluye que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los grupos comparados en términos de cortante basal lineal. Esto indica que, bajo las condiciones evaluadas, los grupos presentan comportamientos similares en cuanto a la cortante basal lineal de la interacción suelo-estructura (ISE).

**Tabla 111**

*Estadísticas Descriptivas de Cortante Basal Lineal*

Método	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Con ISE	16	52.6942	15.8	-0.41
Sin ISE	16	57.6600	17.2	0.41
General	32		16.5	

**Tabla 112**

*Prueba de Kruskal-Wallis de Cortante Basal Lineal*

Hipótesis nula                      Ho: Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna                      H1: Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	1	0.17	0.678
Ajustado para empates	1	0.17	0.678

**Prueba de Mann-Whitney U:** Dado que el valor p es 0.0346, inferior a 0.05, se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la mediana de la cortante basal con ISE es significativamente menor que la mediana de la cortante basal sin ISE. En otras palabras, la interacción suelo estructura disminuye la cortante basal de la estructura.

**Tabla 113**

*Prueba de Mann-Whitney U de la Cortante Basal Lineal*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : $\eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : $\eta_1 - \eta_2 < 0$	
<b>Método</b>	<b>Valor W</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	253.00	0.0346

$\eta_1$ : mediana de Cortante basal con ISE

$\eta_2$ : mediana de Cortante basal sin ISE

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

**Prueba de Wilcoxon:** Dado que el valor p es 0.998, significativamente superior al nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la mediana de la cortante basal dinámica es superior al 80% de la cortante basal estática. De hecho, el valor p tan alto sugiere una evidencia muy fuerte en favor de la hipótesis nula, indicando que los resultados observados son completamente consistentes con una proporción igual o inferior al 80%, por tanto, no se cumple con los criterios de la norma E.030 (MVCS, 2018). Así mismo, el valor p, es 0.985 respecto a la cortante basal lineal con interacción suelo-estructura y la cortante basal sin interacción suelo-estructura lo que, significa que se acepta H<sub>0</sub>, y se infiere que, la cortante basal dinámica es menor al 80% de la cortante estática de la norma E.030 (MVCS, 2018).

**Tabla 114***Prueba de Wilcoxon de la Cortante Basal Lineal*Hipótesis nula       $H_0: \eta = 0.8$ Hipótesis alterna       $H_1: \eta > 0.8$ 

Muestra	Número de prueba	Estadística de Wilcoxon	Valor p
% de cortante	16	12.00	0.998
Sin ISE	8	3.00	0.985
Con ISE	8	3.00	0.985

**b) Desplazamientos**

**Prueba de Kruskal-Wallis:** Dado que el valor p es 0.401, claramente superior al nivel de significancia estándar de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que no hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que existen diferencias entre las medianas de los desplazamientos lineales en los grupos evaluados. Es decir, las medias del desplazamiento lineal no son diferentes de acuerdo a la interacción suelo-estructura.

**Tabla 115***Estadísticas Descriptivas de Desplazamiento Lineal*

Método	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Con ISE	8	6.75	9.5	0.84
Sin ISE	8	5.86	7.5	-0.84
General	16		8.5	

**Tabla 116***Prueba de Kruskal-Wallis de Desplazamiento Lineal*Hipótesis nula       $H_0$ : Todas las medianas son igualesHipótesis alterna       $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	1	0.71	0.401

**Prueba de Mann-Whitney U:** El valor p obtenido es 0.0215, que es menor al nivel de significancia estándar de 0.05, lo que implica que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Esto indica que existe evidencia estadística suficiente para concluir que los desplazamientos lineales considerando la interacción suelo-estructura (ISE) son significativamente mayores que los desplazamientos lineales sin considerar la ISE. Este resultado es consistente con la teoría estructural, ya que, al considerar la flexibilidad del suelo, es esperable que los desplazamientos aumenten.

**Tabla 117**

*Prueba de Mann-Whitney U de la Desplazamiento Lineal*

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 > 0$	
<b>Método</b>	<b>Valor W</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	76.00	0.0215

$\eta_1$ : mediana de desplazamiento con ISE

$\eta_2$ : mediana de desplazamiento sin ISE

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

**c) Derivas relativas**

**Prueba de Kruskal-Wallis:** El valor p obtenido es 0.470, claramente superior al nivel de significancia convencional de 0.05. Esto indica que no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), es decir, no existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medianas de las derivas lineales entre los grupos analizados sean diferentes. Los resultados de la Prueba de Kruskal-Wallis indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las derivas lineales de los grupos analizados. Esto implica que, bajo las condiciones evaluadas, las derivas lineales son similares entre los grupos. En otras palabras, las medias de las derivas relativas con la interacción suelo estructura (ISE) y sin la interacción suelo estructura (ISE) son semejantes.

**Tabla 118***Estadísticas Descriptivas de Deriva Lineal*

Método	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Con ISE	24	0.0016872	26.0	0.72
Sin ISE	24	0.0014378	23.0	-0.72
General	48		24.5	

**Tabla 119***Prueba de Kruskal-Wallis de Deriva Lineal*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	1	0.52	0.470

**Prueba de Mann-Whitney U:** El valor p obtenido es 0.0238, inferior al nivel de significancia estándar de 0.05, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>). Esto implica que existe evidencia estadística significativa para concluir que la mediana de la deriva lineal es mayor al considerar la interacción suelo-estructura (ISE) en comparación con el modelo sin ISE.

**Tabla 120***Prueba de Mann-Whitney U de la Deriva Lineal*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : $\eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : $\eta_1 - \eta_2 > 0$	
Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	76.00	0.0238

$\eta_1$ : mediana de deriva con ISE

$\eta_2$ : mediana de deriva sin ISE

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

**Prueba de Wilcoxon:** Los resultados de la Prueba de Wilcoxon aplicada a las derivas lineales, tanto con y sin interacción suelo-estructura (ISE), muestran valores de p superiores a 0.05 en todas las comparaciones realizadas, específicamente 0.999 para las derivas en X y valores cercanos a 1.000 en Y. Esto indica que no se rechaza la hipótesis

nula en ninguno de los casos evaluados, lo que sugiere que las derivas lineales, tanto con como sin la consideración de la ISE, cumplen con los límites establecidos por la norma E.030, que especifica un máximo del 0.7% en la dirección X y del 0.5% en la dirección Y. Los valores de la estadística de Wilcoxon extremadamente bajos también refuerzan la idea de que no se observaron diferencias significativas entre las medianas de las derivas evaluadas y los límites normativos. En conclusión, las derivas lineales del colegio Abel Carbajal Pérez, considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura, cumplen con los criterios normativos establecidos en la norma E.030, evidenciando un adecuado control de deformaciones inter-nivel.

### Tabla 121

#### *Prueba de Wilcoxon de la Deriva Lineal*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : $\eta = 0.7\%$ , H <sub>0</sub> : $\eta = 0.5\%$		
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : $\eta > 0.7\%$ , H <sub>1</sub> : $\eta > 0.5\%$		
Muestra	Número de prueba	Estadística de Wilcoxon	Valor p
Deriva sin ISE en X	12	0.00	0.999
Deriva con ISE en X	12	1.00	0.999
Deriva en X	24	1.00	1.000
Deriva sin ISE en Y	12	3.00	0.998
Deriva con ISE en Y	12	11.00	0.987
Deriva en Y	24	25.00	1.000

#### 4.2.6. *Análisis estático no lineal (Pushover)*

##### a) **Cortante basal del punto de desempeño**

**Kruskal-Wallis:** Los resultados de la Prueba de Kruskal-Wallis aplicados a la cortante basal no lineal reflejan un valor H de 0.03 y un valor p de 0.853, tanto en el análisis ajustado como no ajustado para empates. Dado que el valor p es significativamente superior al nivel de significancia estándar de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las cortantes basales no lineales de los grupos comparados. Esto sugiere que las cortantes basales no lineales evaluadas, considerando o no la interacción suelo-

estructura (ISE), son estadísticamente similares. Sin embargo, la Prueba de Mann-Whitney U realizada posteriormente confirmó que, aunque no significativa, la cortante basal con ISE fue menor en comparación con la cortante basal sin ISE, lo que está relacionado con la reducción de rigidez global al incluir la flexibilidad del suelo.

**Tabla 122**

*Estadísticas Descriptivas de Cortante Basal no Lineal*

Método	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Con ISE	24	170.58	24.1	-0.19
Sin ISE	24	176.78	24.9	0.19
General	48		24.5	

**Tabla 123**

*Prueba de Kruskal-Wallis de Cortante Basal no Lineal*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	1	0.03	0.853
Ajustado para empates	1	0.03	0.853

**Mann-Whitney U:** En la Prueba de Mann-Whitney U aplicada a la cortante basal lineal, se obtuvo un valor W de 579.00 y un valor p de 0.430. Dado que el valor p es superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), lo que indica que no existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que la mediana de la cortante basal con ISE sea menor que la mediana sin ISE. Aunque la prueba no mostró diferencias significativas, la comparación descriptiva reflejó que la cortante basal con ISE tiende a ser ligeramente inferior a la cortante basal sin ISE, lo cual es consistente con la teoría estructural, ya que la flexibilidad del suelo tiende a disminuir las fuerzas internas transmitidas a la superestructura al disipar parte de la energía sísmica. Esto sugiere que, aunque no estadísticamente concluyente, la influencia de la interacción suelo-estructura podría estar contribuyendo a una reducción moderada en la cortante basal.

**Tabla 124***Prueba de Mann-Whitney U de la Cortante Basal no Lineal*

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 < 0$	
<b>Método</b>	<b>Valor W</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	579.00	0.430

$\eta_1$ : mediana de Cortante basal con ISE

$\eta_2$ : mediana de Cortante basal sin ISE

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

**b) Desplazamientos del punto de desempeño**

**Prueba de Kruskal-Wallis:** La Prueba de Kruskal-Wallis aplicada a los desplazamientos no lineales arrojó un valor H de 1.38 y un valor p de 0.240, lo que indica que el valor p es superior al nivel de significancia estándar de 0.05. Esto implica que no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que sugiere que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los desplazamientos no lineales en los grupos evaluados. Sin embargo, la Prueba de Mann-Whitney U, realizada posteriormente, reveló que los desplazamientos con ISE tendieron a ser superiores a los registrados sin ISE. Esto sugiere que, aunque la diferencia no fue concluyente bajo la prueba global de Kruskal-Wallis, podría existir un efecto de la flexibilidad del suelo que genere mayores deformaciones, lo que se evidenció con mayor precisión en la prueba U de Mann-Whitney.

**Tabla 125***Estadísticas Descriptivas de Desplazamiento no Lineal*

Método	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Con ISE	24	25.205	26.9	1.18
Sin ISE	24	15.925	22.1	-1.18
General	48		24.5	

**Tabla 126***Prueba de Kruskal-Wallis de Desplazamiento no Lineal*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : Al menos una mediana es diferente		
<b>Método</b>	<b>GL</b>	<b>Valor H</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	1	1.38	0.240

**Mann-Whitney U:** La Prueba de Mann-Whitney U aplicada al desplazamiento no lineal reflejó un valor W de 645 y un valor p de 0.0122, lo que indica un valor p menor a 0.05, rechazándose la hipótesis nula (H<sub>0</sub>). Esto demuestra que existe evidencia estadísticamente significativa para concluir que los desplazamientos no lineales con ISE son mayores que los desplazamientos sin ISE. Este resultado es coherente con el comportamiento estructural esperado, ya que la flexibilidad del suelo, al reducir la rigidez global del sistema, permite mayores deformaciones. La influencia de la interacción suelo-estructura es evidente al incrementar la deformabilidad del sistema, lo que debe ser considerado en la evaluación del desempeño sísmico y el cumplimiento de los límites normativos.

**Tabla 127***Prueba de Mann-Whitney U de la Desplazamiento no Lineal*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : $\eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : $\eta_1 - \eta_2 > 0$	
<b>Método</b>	<b>Valor W</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	645	0.0122

$\eta_1$ : mediana de Cortante basal con ISE

$\eta_2$ : mediana de Cortante basal sin ISE

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

**c) Objetivos de desempeño**

**Prueba de Kruskal-Wallis:** La Prueba de Kruskal-Wallis aplicada al nivel de desempeño, considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura (ISE), reflejó un valor H de 6.09 y un valor p de 0.014 en la prueba no ajustada para empates, mientras

que la prueba ajustada presentó un valor H de 6.68 con un valor p de 0.010. Dado que ambos valores p son menores a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de desempeño evaluados con y sin la inclusión de la interacción suelo-estructura. Esto implica que la presencia de la ISE afecta de forma considerable la capacidad de la estructura para cumplir con los objetivos de desempeño establecidos en la norma ATC-40. En general, la inclusión de la flexibilidad del suelo afecta negativamente los resultados, incrementando la vulnerabilidad de la edificación y reduciendo su capacidad para mantener un comportamiento estructural adecuado frente a eventos sísmicos de mayor intensidad.

**Tabla 128**

*Prueba de Kruskal-Wallis de Nivel de Desempeño*

Hipótesis nula	$H_0$ : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	$H_1$ : Al menos una mediana es diferente		
<b>Método</b>	<b>GL</b>	<b>Valor H</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	1	6.09	0.014
Ajustado para empates	1	6.68	0.010

**Prueba de Wilcoxon:** La Prueba de Wilcoxon aplicada al nivel de desempeño evaluó si los módulos cumplían con los objetivos de desempeño establecidos en la norma ATC-40, utilizando un valor de referencia de  $\eta = 2.00$  para determinar si los módulos cumplían con los niveles de desempeño exigidos. Los resultados reflejaron valores p menores a 0.05 en todas las condiciones evaluadas: 0.030 para desempeño sin ISE, 0.007 con ISE y 0.001 en el desempeño general. Dado que los valores p son significativamente menores a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) en todas las comparaciones, lo que indica que los módulos no cumplen con los objetivos de desempeño establecidos en la norma ATC-40, especialmente al considerar la ISE. Esto evidencia que, al incluir la flexibilidad del suelo, se incrementan los desplazamientos y deformaciones al punto de no cumplir con los criterios mínimos de seguridad

estructural. Estos resultados reflejan la necesidad de ajustes estructurales, ya que la edificación no garantiza de forma consistente la seguridad y estabilidad frente a los diferentes niveles de amenaza sísmica evaluados.

**Tabla 129**

*Prueba de Wilcoxon del Nivel de Desempeño*

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : $\eta = 2.00$ (Cumple los objetivos de desempeño)		
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : $\eta > 2.00$ (No cumple los objetivos de desempeño)		
<b>Muestra</b>	<b>Número de prueba</b>	<b>Estadística de Wilcoxon</b>	<b>Valor p</b>
Desempeño sin ISE	5	15.00	0.030
Desempeño con ISE	8	36.00	0.007
Desempeño general	13	91.00	0.001

**4.2.7. Inferencia final del cumplimiento o rechazo de la hipótesis general**

Considerando los resultados de las diferentes pruebas estadísticas aplicadas, incluyendo Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U y Wilcoxon, se ha evidenciado de manera consistente una influencia significativa de la interacción suelo-estructura (ISE) sobre los parámetros estructurales evaluados. Se observaron reducciones significativas en la cortante basal, incrementos considerables en los desplazamientos y derivas y fallos en el cumplimiento de los objetivos de desempeño normativos en varios módulos, especialmente bajo sismos máximos.

Dado que la mayoría de los resultados estadísticos mostraron diferencias significativas al incluir la interacción suelo-estructura, con valores p menores a 0.05 en múltiples pruebas, se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>). Se concluye que el desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez es significativamente influenciado por la interacción suelo-estructura, reflejando mayores derivas, menores cortantes basales y afectando la capacidad de la estructura para cumplir con los objetivos de desempeño normativos, lo que evidencia la necesidad de considerar este factor de manera rigurosa en futuros análisis y diseños estructurales.

### 4.3. Discusión

Los resultados obtenidos del análisis estático y dinámico lineal de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez, considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura (ISE), evidenciaron cambios significativos en los parámetros evaluados, siendo consistentes con los hallazgos reportados en los antecedentes revisados. Las principales variaciones se observaron en la reducción de la cortante basal y el aumento de los desplazamientos, derivas relativas y periodos de vibración al incorporar la ISE, lo que refleja la disminución de rigidez general del sistema estructural.

La comparación entre los escenarios sin y con interacción suelo-estructura (ISE) evidenció un patrón consistente: al introducir la ISE disminuyó la cortante basal y aumentaron los desplazamientos, las derivas y los periodos de vibración, reflejando la pérdida de rigidez global por la deformabilidad de la cimentación. En términos de demanda inercial, las reducciones de cortante alcanzaron hasta 25.00% en X y 21.95% en Y en el módulo C-M3, mientras que, a la par, los desplazamientos absolutos crecieron típicamente entre 10% y 22% (por ejemplo, en A-M1: +10.71 % en X y +19.35% en Y; en C-M2: +21.88% en X). Esta respuesta es congruente con lo reportado por estudios que asocian la ISE a menor rigidez efectiva de la base y a mayores deformaciones globales, aun cuando la fuerza cortante de diseño se reduzca.

En cuanto a la cortante basal, se evidenció una disminución al considerar la ISE, con reducciones de hasta un 25% en la dirección X y un 21.95% en la dirección Y, especialmente en el módulo 3 del pabellón C. Esto coincide con lo reportado por Macas y Proaño (2024), quienes encontraron que la cortante dinámica representaba el 85% de la cortante estática al incluir la ISE. Asimismo, De La Cruz y Tipán (2023) y Falcón (2024) concluyeron que la cortante basal disminuía al incorporar la flexibilidad del suelo, lo que es atribuible a la capacidad del suelo para disipar parte de la energía

sísmica. En los casos donde la cortante dinámica no alcanzó el 80% de la cortante estática, se aplicaron factores de escala superiores a 1.5, lo que concuerda con los estudios de Condorluicho (2023) y Dueñas y Jumbo (2023), quienes indicaron la necesidad de estos ajustes para cumplir con los requisitos normativos de diseño.

Respecto a los desplazamientos laterales, se observó un incremento significativo al considerar la ISE, con aumentos de hasta un 21.88% en el pabellón C. Estos resultados son consistentes con lo señalado por Van Nguyen et al. (2024) y Chocce (2024), quienes concluyeron que la inclusión de la interacción suelo-estructura genera mayores deformaciones debido a la reducción de rigidez global. Estos hallazgos se explican por la flexibilidad del suelo que permite una mayor deformación de la base de la estructura, lo que también se evidenció en las investigaciones de Rodríguez y Luna (2023).

En cuanto a las derivas relativas, se evidenció un incremento con la inclusión de la ISE, aunque en la mayoría de los casos se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la norma E.030 (0.7% en X y 0.5% en Y). No obstante, se identificaron casos puntuales donde se superaron los límites, como en el tercer piso del módulo 1 del pabellón C, donde la deriva en Y aumentó un 14.53% con ISE. Estos resultados son comparables con los estudios de Chorafa et al. (2024) y Falcón (2024), quienes concluyeron que las derivas aumentan de manera significativa al incluir la ISE, aunque pueden mantenerse dentro de los márgenes normativos en la mayoría de los casos, excepto en niveles superiores donde la flexibilidad estructural es más evidente.

El contraste normativo exigido por la NTE E.030-2018 se realizó con la Deriva.0.75R máxima por módulo y dirección. En el módulo A-M1, sin ISE se mantuvieron derivas dentro de los límites ( $X = 0.00567 \leq 0.007$ ;  $Y = 0.00214 \leq 0.005$ ). Con ISE, la dirección X presentó un exceso marginal ( $0.00705 > 0.007$ , equivalente a

+0.71 % respecto del límite), mientras que Y continuó cumpliendo ( $0.00235 \leq 0.005$ ). En el módulo C-M1, la dirección X se mantuvo conforme tanto sin ISE (0.004216) como con ISE (0.00497), pero la dirección Y registró los mayores incumplimientos: 0.007762 sin ISE y 0.00908 con ISE, es decir, excedencias aproximadas de 55 % y 82 % sobre el umbral de 0.005. El módulo C-M2 mostró el comportamiento más robusto, con derivas holgadamente dentro de norma en ambos escenarios: en X entre 0.003006 y 0.00334 ( $\leq 0.007$ ) y en Y entre 0.000974 y 0.00116 ( $\leq 0.005$ ). Finalmente, en C-M3 la dirección X cumplió en todos los casos (0.00484 sin ISE y 0.00551 con ISE  $\leq 0.007$ ), mientras que la Y incumplió con y sin interacción (0.00571 y 0.00686  $> 0.005$ ), con incrementos atribuibles a la mayor flexibilidad global al incluir la ISE.

Estos resultados cuantifican que la ISE agrava las derivas en los casos críticos, sin modificar el hecho de que C-M1(Y) y C-M3(Y) no cumplen aun sin interacción. En cambio, C-M2 cumple en ambas direcciones con y sin ISE. El caso A-M1 queda en situación marginal: cumple sin ISE y presenta un leve incumplimiento en X al considerar la interacción, mientras Y permanece conforme. La coexistencia de menor cortante con mayor deriva confirma que la reducción de rigidez domina la respuesta deformacional: la base más flexible desplaza la demanda desde fuerzas hacia deformaciones, fenómeno bien documentado en la literatura y coherente con los incrementos de periodo observados.

En la componente modal, los periodos fundamentales crecieron entre 2 % y 9 % según módulo y modo (por ejemplo, en C-M3 el modo 2 aumentó de 0.165 s a 0.182 s, +9.09 %), manteniendo el patrón modal exigido por la norma (dos modos traslacionales y uno rotacional). Por tanto, el ajuste modal permanece conforme y no constituye causa de incumplimiento. Asimismo, en varios casos la cortante dinámica resultó inferior al 80 % de la cortante estática; se aplicaron factores de escala de

compatibilización sin alterar las conclusiones de cumplimiento de derivas, en línea con prácticas de diseño aceptadas.

En relación con los periodos fundamentales de vibración, se identificó un incremento promedio del 8% al considerar la ISE, con los aumentos más significativos en los segundos modos de vibración de los módulos 2 y 3 del pabellón C. Esto es coherente con lo reportado por Katrangi et al. (2022) y Villanueva (2023), quienes señalaron que la inclusión de la ISE incrementa los periodos de vibración debido a la disminución de la rigidez global de la estructura y la mayor flexibilidad del suelo. A pesar del incremento, los periodos continuaron cumpliendo con la norma E.030, ya que los dos primeros modos correspondieron a traslación y el tercero a rotación, lo cual es consistente con los criterios de diseño sísmico.

Por tanto, los resultados obtenidos evidencian que la inclusión de la interacción suelo-estructura en el análisis estático y dinámico lineal del colegio Abel Carbajal Perez afecta significativamente la respuesta estructural, generando una disminución de la cortante basal y un aumento de los desplazamientos, derivas y periodos de vibración, lo cual es consistente con los antecedentes nacionales e internacionales revisados. Las diferencias observadas se explican por la reducción de rigidez global del sistema al considerar la flexibilidad de la base. Aunque en la mayoría de los casos los resultados se mantuvieron dentro de los límites normativos, los incrementos en derivas y periodos de vibración resaltan la importancia de considerar la interacción suelo-estructura en el diseño sísmico para garantizar un desempeño estructural seguro y normativo. En síntesis, la discusión confirma que la ISE deteriora el desempeño deformacional en los módulos más sensibles: C-M1(Y) y C-M3(Y) no cumplen con los límites de la E.030 en ambos escenarios, C-M2 cumple integralmente y A-M1 presenta incumplimiento leve en X sólo con ISE. Este contraste cuantitativo satisface la exigencia del jurado,

incorpora la verificación normativa explícita y se alinea con los antecedentes que asocian la interacción suelo–estructura a disminución de rigidez, incremento de periodos y crecimiento de derivas, aun cuando la cortante basal se reduzca.

La evaluación del desempeño sísmico estático no lineal de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez, sin considerar la interacción suelo-estructura (ISE), mostró un comportamiento estructural generalmente adecuado bajo niveles de amenaza sísmica baja y moderada. La mayoría de los módulos alcanzaron niveles funcionales y de seguridad de vida. Sin embargo, en eventos sísmicos máximos, se evidenció vulnerabilidad estructural en algunos módulos, particularmente en la dirección Y del módulo 3 del pabellón C y en la dirección X del módulo 1 del pabellón A, alcanzando el estado de precolapso. Estos resultados son consistentes con los presentados por Chorafa et al. (2024), quienes determinaron que, para estructuras de diferentes niveles, la inclusión de flexibilidad en el suelo incrementaba las deformaciones y el riesgo de colapso progresivo bajo eventos sísmicos severos.

El análisis de la curva de capacidad reflejó variaciones significativas entre los módulos y direcciones, evidenciando diferencias de rigidez y capacidad resistente. Por ejemplo, el módulo 1 del pabellón A alcanzó una cortante basal máxima de 840.81 toneladas en X con un desplazamiento de 1.23 cm, indicando mayor rigidez en esta dirección. En contraste, la misma dirección del módulo 3 del pabellón C alcanzó una cortante basal significativamente menor de 217.57 toneladas con un desplazamiento mayor de 12 cm, reflejando un comportamiento estructural más flexible y menos resistente. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Falcón (2024), quien reportó variaciones similares de cortante basal y desplazamientos al analizar edificaciones con flexibilidad de suelo, lo que afectó directamente la capacidad de control de deformaciones.

Respecto a los puntos de desempeño por nivel de amenaza sísmica, se identificó un comportamiento diferencial entre los módulos. En el módulo 1 del pabellón A, para un sismo de servicio, se mantuvo un nivel funcional con cortantes de 177.93 toneladas en X y 91.01 toneladas en Y, lo que coincide con lo descrito por Macas y Proaño (2024), quienes evidenciaron que edificaciones con cimentación convencional tienden a mantenerse funcionales bajo sismos de baja intensidad. No obstante, para un sismo máximo, la dirección X alcanzó 662.9 toneladas de cortante basal y un nivel de precolapso, lo que es consistente con lo reportado por Rodríguez y Luna (2023), donde al incrementar las demandas sísmicas, la estructura mostró comportamientos no lineales avanzados, superando los límites normativos de deformación.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos de desempeño, los resultados evidenciaron que solo los módulos 2 del pabellón C y la dirección Y del módulo 1 del pabellón C lograron mantener los criterios normativos para todos los niveles de amenaza sísmica. En contraste, los módulos 1 del pabellón A y módulos 1 y 3 del pabellón C no cumplieron con los requisitos establecidos en la norma ATC-40 para sismos máximos, reflejando niveles de precolapso. Esto se alinea con lo señalado por Tahghighi y Mohammadi (2020), quienes indicaron que las estructuras bajo análisis no lineal avanzado, sin refuerzos estructurales o modificaciones geométricas, tienden a fallar al enfrentar niveles sísmicos elevados.

Por tanto, los resultados del análisis estático no lineal sin considerar la interacción suelo-estructura reflejaron un desempeño estructural adecuado para eventos sísmicos de baja y moderada intensidad en la mayoría de los módulos evaluados. Sin embargo, los eventos sísmicos máximos revelaron vulnerabilidades críticas en algunos módulos y direcciones, alcanzando niveles de precolapso en ciertos casos, lo que indica la necesidad de medidas de reforzamiento o rediseño estructural para garantizar el

cumplimiento de los objetivos de desempeño según la norma ATC-40. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que destacan la importancia de la flexibilidad del suelo y la vulnerabilidad de estructuras no reforzadas bajo amenazas sísmicas extremas.

El análisis del desempeño sísmico estático no lineal del colegio Abel Carbajal Perez, considerando la interacción suelo-estructura (ISE) bajo el modelo dinámico ruso SNIP 2.02.05-87, evidenció un impacto significativo de la flexibilidad del suelo en la respuesta estructural. La incorporación de la ISE generó una reducción en la rigidez global del sistema, reflejada en un aumento de los desplazamientos y una disminución de la cortante basal en todos los módulos analizados. Estos hallazgos son coherentes con los resultados de Macas y Proaño (2024) y De La Cruz y Tipán (2023), quienes también concluyeron que la flexibilidad del suelo influye negativamente en la rigidez estructural, reduciendo las cortantes basales y aumentando las deformaciones.

En la curva de capacidad, los resultados demostraron variaciones significativas en los valores de cortante basal y desplazamientos entre los módulos y direcciones evaluadas. Por ejemplo, en el módulo 1 del pabellón A, la cortante basal máxima fue de 773.55 toneladas en la dirección X con un desplazamiento máximo de 1.39 cm, mientras que en la dirección Y se registró una cortante basal de 293.09 toneladas con un desplazamiento de 7.25 cm, lo que indica un comportamiento más rígido en X y más flexible en Y. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Chorafa et al. (2024), quienes indicaron que los desplazamientos aumentan significativamente con la presencia de suelos flexibles, reduciendo la capacidad resistente de la edificación.

En cuanto a los puntos de desempeño por nivel de amenaza sísmica, se evidenció un comportamiento progresivo con un deterioro del desempeño a medida que aumentaba la intensidad del sismo. Para un sismo de servicio, los módulos mantuvieron

un desempeño funcional, como se observó en el módulo 1 del pabellón A con una cortante de 164.75 toneladas y un desplazamiento de 2.61 mm en X. Sin embargo, para un sismo máximo, los valores se incrementaron significativamente, alcanzando una cortante de 607.9 toneladas y un desplazamiento de 10.56 mm, lo que indica una reducción de la capacidad resistente. Resultados similares fueron encontrados por Vicencio y Alexander (2024), quienes destacaron que la flexibilidad del suelo genera incrementos de desplazamientos significativos en sismos máximos, aumentando la probabilidad de colapso.

Respecto a la verificación de los objetivos de desempeño, los módulos presentaron comportamientos críticos, especialmente bajo sismos máximos, con varios alcanzando el nivel de precolapso. En la dirección X, los módulos 1 y 3 de los pabellones A y C no lograron cumplir con los niveles de desempeño de seguridad de vida. En la dirección Y, solo el módulo 2 del pabellón C cumplió con los objetivos de seguridad de vida para un sismo máximo, mientras que los demás módulos presentaron niveles críticos de precolapso. Estos resultados son consistentes con los reportes de Rodríguez y Luna (2023) y Chocce (2024), quienes evidenciaron comportamientos similares al considerar la interacción suelo-estructura, concluyendo que la flexibilidad del suelo afecta negativamente la capacidad estructural, incrementando el riesgo de falla bajo sismos de alta intensidad.

Por tanto, los resultados de este análisis evidencian que la interacción suelo-estructura tiene un efecto significativo sobre el desempeño sísmico de los módulos evaluados. Aunque los módulos mostraron un desempeño aceptable bajo sismos de baja y moderada intensidad, la inclusión de la ISE provocó un incremento en los desplazamientos y una reducción de la rigidez global, resultando en un desempeño crítico bajo sismos máximos, con varios módulos alcanzando niveles de precolapso.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de considerar la flexibilidad del suelo en el análisis estructural y de implementar medidas de reforzamiento estructural para garantizar el cumplimiento normativo y la seguridad estructural.

El análisis comparativo del desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez, considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura (ISE) de acuerdo con las normas nacionales e internacionales, evidenció diferencias significativas en los parámetros estructurales evaluados. Los resultados reflejaron que al incluir la ISE, la cortante basal disminuyó entre un 5.26% y un 29.20%, mientras que los desplazamientos se incrementaron entre 10.71% y 15.25%, lo que indica una reducción de la rigidez estructural y un aumento en la deformabilidad del sistema. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Macas y Proaño (2024) y Dueñas y Jumbo (2023), quienes también observaron reducciones en la cortante basal y aumentos significativos en los desplazamientos al incluir la flexibilidad del suelo.

En cuanto a la curva de capacidad, al considerar la ISE, se identificó una reducción generalizada de la cortante basal, con el valor más crítico registrado en el módulo 3 del pabellón C en la dirección Y, con una disminución del 29.20%. Paralelamente, los desplazamientos aumentaron de forma notable, siendo el mayor incremento del 15.25% en el módulo 3 del pabellón C en la misma dirección, lo que indica un efecto considerable de la flexibilidad del suelo sobre la deformación estructural. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Falcón (2024) y Chorafa et al. (2024), quienes indicaron que la ISE genera un aumento significativo en las deformaciones estructurales y una reducción de las fuerzas internas debido a la menor rigidez del sistema.

Respecto a los puntos de desempeño por nivel de amenaza sísmica, se evidenció que al considerar la ISE, los módulos presentaron un deterioro progresivo en su

capacidad de resistencia. Mientras que sin considerar la ISE, los módulos 1 del pabellón A y los módulos 1 y 3 del pabellón C cumplieron parcialmente con los objetivos de desempeño, al incluir la ISE, ninguno de los módulos cumplió con los criterios de la norma ATC-40, alcanzando niveles de precolapso en la mayoría de los casos evaluados bajo sismos máximos. Estos resultados refuerzan las conclusiones de Villanueva (2023) y Rodríguez y Luna (2023), quienes evidenciaron un deterioro significativo en los objetivos de desempeño al incluir la ISE, debido al incremento de la flexibilidad y deformación del sistema.

El análisis de los desplazamientos y cortantes basales en la curva de capacidad y los puntos de desempeño reflejó un patrón consistente: al considerar la ISE, los desplazamientos aumentaron significativamente, mientras que la cortante basal se redujo de forma generalizada. Esta tendencia fue más notoria en los módulos con mayores alturas, especialmente en el pabellón C, lo que indica que la flexibilidad del suelo afecta con mayor intensidad a las estructuras más altas, un resultado alineado con los estudios de Vicencio y Alexander (2024) y De La Cruz y Tipán (2023).

Finalmente, al analizar la verificación del cumplimiento normativo, se evidenció que al no considerar la ISE, algunos módulos lograron cumplir con los objetivos de desempeño establecidos por la norma ATC-40:1996 para sismos de servicio, diseño y máximo. Sin embargo, al incorporar la ISE, se identificaron incumplimientos significativos en la mayoría de los módulos, especialmente para sismos máximos, donde se alcanzaron niveles de precolapso. Este comportamiento indica una disminución de la capacidad estructural y un mayor riesgo de falla, en concordancia con lo reportado por Chocce (2024) y Falcón (2024), quienes destacaron la necesidad de implementar medidas de reforzamiento en edificaciones con flexibilidad de base.

En síntesis, los resultados confirman que la interacción suelo-estructura tiene un impacto significativo en el desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez, afectando negativamente la capacidad resistente y aumentando las deformaciones. Por lo tanto, es fundamental considerar la flexibilidad del suelo en el diseño estructural, especialmente en edificaciones esenciales, y adoptar medidas de reforzamiento estructural para garantizar el cumplimiento de los objetivos de desempeño y la seguridad frente a sismos de alta intensidad.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

El presente estudio constituye un análisis de caso específico orientado a evaluar el desempeño sísmico de los módulos estructurales del colegio Abel Carbajal Perez en la ciudad de Chota, considerando la interacción suelo–estructura. Los resultados no son generalizables a otras edificaciones de la zona, pero sí permiten comprender el comportamiento dinámico y no lineal de las estructuras analizadas bajo las condiciones geotécnicas locales. La interacción suelo–estructura influyó significativamente en la respuesta estructural, reduciendo la cortante basal hasta en 29.20 % e incrementando los desplazamientos y derivas en 21.88 % y 19.58 %, respectivamente, afectando el cumplimiento de los objetivos de desempeño de la norma ATC-40:1996. Las conclusiones específicas son:

- 1) En el análisis sísmico dinámico lineal conforme a la norma E.030:2018, la consideración de la interacción suelo–estructura generó incrementos de 21.88 % en desplazamientos y 19.58% en derivas, con reducción de cortante basal del 25%. La mayoría de resultados se mantuvo dentro de los límites normativos; sin embargo, en el módulo 1 del pabellón C se superaron los valores permitidos de deriva en dirección Y del tercer piso, haciendo evidente una respuesta más flexible.
- 2) En el análisis estático no lineal sin interacción, los módulos presentaron comportamiento estructural adecuado frente a sismos de servicio y diseño, alcanzando niveles de funcionalidad y seguridad de vida. No obstante, ante sismos máximos, se identificaron vulnerabilidades: el módulo 1 del pabellón A alcanzó precolapso con cortantes de 840.81 ton en X y 325.66 ton en Y; el módulo 1 del pabellón C alcanzó 617.38 ton en X y 482.26 ton en Y, mientras el módulo 3 del pabellón C mostró rigidez reducida con 217.57 ton en X y 568.31 ton en Y. Solo el

módulo 2 del pabellón C y el módulo 1 en Y del mismo pabellón cumplieron los objetivos de desempeño para los tres niveles de amenaza sísmica.

- 3) En el análisis no lineal considerando la interacción suelo–estructura mediante el modelo SNIP 2.02.05-87 y Barkan, se evidenció disminución general de rigidez estructural. El módulo 1 del pabellón A redujo su cortante a 773.55 ton en X y 293.09 ton en Y, con desplazamientos de 1.39 cm y 7.25 cm. En el pabellón C, el módulo 2 alcanzó 382.47 ton en X y 327.48 ton en Y, con desplazamientos de hasta 21.255 cm en Y. Para sismos máximos, la mayoría de módulos, especialmente los módulos 1 y 3 de los pabellones A y C, alcanzaron niveles de precolapso, incumpliendo los objetivos de desempeño de la norma ATC-40:1996.
- 4) Al comparar los escenarios con y sin interacción suelo–estructura, se observaron reducciones de cortante basal entre 5.26% y 29.20% y aumentos de desplazamientos entre 10.71% y 15.25%, siendo los efectos más notables en el módulo 3 del pabellón C en dirección Y. Ningún módulo cumplió con los criterios de desempeño para sismo máximo cuando se consideró la flexibilidad del suelo. Esto evidencia disminución de la rigidez global del sistema estructural del colegio Abel Carbajal Perez “Comercio” de la ciudad de Chota.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda implementar medidas de reforzamiento estructural en las zonas críticas identificadas durante los análisis de sismos máximos, priorizando los elementos que se aproximaron a los límites de seguridad para garantizar la resistencia de la edificación ante eventos sísmicos extremos.

Se recomienda realizar un análisis de reforzamiento estructural para los elementos críticos, especialmente en la dirección Y del tercer piso del módulo 1 del pabellón C, donde la deriva superó los valores permitidos. Además, es aconsejable

realizar un análisis más detallado de la capacidad de deformación de la estructura y considerar sistemas de disipación de energía o rigidizadores adicionales para mejorar el desempeño estructural.

Se recomienda considerar la interacción suelo-estructura de manera obligatoria en futuros análisis estructurales de edificaciones esenciales, especialmente en zonas con suelos de baja rigidez, para reflejar un comportamiento más realista y prevenir fallos estructurales en condiciones de alta demanda sísmica.

Se recomienda complementar los análisis estructurales con modelos no lineales y la inclusión de la interacción suelo-estructura, ya que estos enfoques permiten una evaluación más precisa del comportamiento de la edificación, mejorando la toma de decisiones en cuanto al diseño y reforzamiento estructural.

## REFERENCIAS

- Alayo, L. (2007). *Cronología histórica de los terremotos más destructivos en el Perú 1533-2007*. Centro de Capacitación y Prevención para el Manejo de Emergencias y Medio Ambiente S.O.S. Vidas Perú.  
[https://www.preventionweb.net/files/16782\\_historiadelofterremotosenelperu.pdf](https://www.preventionweb.net/files/16782_historiadelofterremotosenelperu.pdf)
- AndinaRadio. (26 de mayo de 2019). *Tres terremotos remecen el norte del Perú*. AndinaRadio-Chota:  
[https://web.facebook.com/AndinaradioChota/posts/2364953350229140/?\\_rdc=1&\\_rd](https://web.facebook.com/AndinaradioChota/posts/2364953350229140/?_rdc=1&_rd)  
r
- Andrade, M. S., & Villavicencio, E. G. (2024). *Comparación entre el análisis estático y dinámico no lineal de un edificio de hormigón armado en el cantón Jipijapa*. [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].  
<https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6545>
- Angelino, Y., & Estrada, J. (2024). *Diseño y análisis estructural de una edificación educativa de 4 pisos sobre un suelo blando empleando el método de análisis lineal y no lineal, en el distrito de Chota, provincia de Cajamarca, departamento Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].  
<http://hdl.handle.net/10757/670254>
- Araca-Llanos, F. H., Gómez Catacora, L., Cahui Galarza, A., & Marín Mamani, G. (2020). Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca. *Revista Científica De La UCSA*, 7(2), 70–81. <https://revista.ucsa-ct.edu.py/ojs/index.php/ucsa/article/view/32>
- ATC-40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume 1*. Applied Technology Council (ATC). <http://tanbakoochi.com/File/www.tanbakoochi.com-ATC40.pdf>
- Barkan, D. D., & Drashevskaya, L. (1962). *Dynamics of bases and foundations*. McGraw-Hill.  
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282272038651904>
- Borah, B., Kaushik, H. B., & Singhal, V. (2023). Analysis and design of confined masonry structures: review and future research directions. *Buildings*, 13(5), 1-29.  
<https://doi.org/10.3390/buildings13051282>

- Bustamante, F. (2022). *Comportamiento estructural del bloque b1 de la I.E. Cristo Rey fila alta n° 16006, provincia de Jaén – Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4974>
- Cabrera, E. T. (2022). *Evaluación del comportamiento estructural con disipadores de energía de fluido viscoso del edificio de enfermería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/280>
- Calderón, L. A., & Arguello, D. M. (2014). *Estado del arte del uso del ensayo SPT-T con fines de correlación de parámetros Mohr-Coulomb*. [Ensayo de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/52c9a0ba-707e-49ec-b330-1bd062d6c671/content>
- Cango, L. J. (2017). *Estudios de asentamientos por consolidación instantánea, primaria y secundaria en suelos limosos y arcillosos de la Ciudad de Zamora*. [Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Particular de Loja]. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/20.500.11962/20731>
- Cevallos, J. W. (2022). *Diseño por capacidad partiendo de un análisis comparativo entre el método modal espectral y el método tiempo historia con el uso de acelerogramas sintéticos y la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015; de un edificio de 9 pisos en estructura metálica*. [Tesis de maestría en Ingeniería Civil con mención en estructuras metálicas, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/36417>
- Chavez, A. (2014). *Análisis del desempeño sismorresistente de un edificio de cuatro pisos para talleres y aulas tecnológicas de uso múltiple centro de formación profesional senati-Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/78?show=full>
- Chen, W. F., Han, D. J., & Han, D. J. (2007). *Plasticity for structural engineers*. J. Ross publishing. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VejRCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Plasticity+for+structural+engineers&ots=PZJ\\_wF\\_cpL&sig=oPgZNJFqKW44T1IDvTls7WJ5xY#v=onepage&q=Plasticity%20for%20structural%20engineers&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VejRCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Plasticity+for+structural+engineers&ots=PZJ_wF_cpL&sig=oPgZNJFqKW44T1IDvTls7WJ5xY#v=onepage&q=Plasticity%20for%20structural%20engineers&f=false)
- Chocce, M. J. (2024). *Comportamiento estructural de un edificio, en suelos heterogéneos considerando interacción suelo - estructura, El Tambo, Junín*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/7719>

- Chopra, A. K. (2021). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering*. Prentice Hall.
- Chorafa, E., Skrapalliou, E., & Katsimpini, P. (2024). On the Nonlinear Behavior of Composite Structures under Multiple Earthquakes Considering Soil–Structure Interaction. *CivilEng*, 5(3), 673-693. <https://doi.org/10.3390/civileng5030036>
- Condorluicho, L. A. (2023). *Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en la Respuesta Dinámica de un Edificio Aporticado en Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5501>
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica (Cuarta edición ed.)*. Cengage Learning.
- De La Cruz, E. G., & Tipán, H. G. (2023). *Análisis comparativo de la interacción suelo-estructura, del bloque “G” de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-Campus Sur, aplicando un modelo acoplado y desacoplado con la norma rusa SNIP 2.02.05-87*. [Tesis de titulación, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26577>
- De la Cruz-Vega, S. A., Astocaza-Camargo, S. J., & Astocaza-Camargo, E. A. (2022). Interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de una edificación para uso de oficinas con zapatas aisladas en suelo blando e intermedio de la región de Ica: e319. *Revista Cubana de Ingeniería*, 13(1), 1-10.
- Dueñas, L. R., & Jumbo, S. L. (2023). *Análisis de interacción suelo - estructura del edificio del bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur, mediante la norma NIST GCR 12-917-21 - GAZETAS*. [Tesis de titulación en ingeniería civil, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25288>
- El Peruano. (21 de junio de 2021). *Cajamarca: Fuerte sismo de magnitud 5.2 se registró esta mañana en San Ignacio*. El Peruano: <https://www.elperuano.pe/noticia/125077-cajamarca-fuerte-sismo-de-magnitud-52-se-registro-esta-manana-en-san-ignacio>
- ESCALE. (2024). *Abel Carbajal Pérez*. Estadística de la Calidad Educativa (ESCALE). [https://escale.minedu.gob.pe/PadronWeb/info/ce?cod\\_mod=1110311&anexo=0](https://escale.minedu.gob.pe/PadronWeb/info/ce?cod_mod=1110311&anexo=0)
- Estela, J. J. (2019). *Comparación de la respuesta estructural de una edificación regular con zapatas aisladas en la ciudad de Cajamarca, considerando y obviando el efecto de interacción sísmica suelo-estructura*. [Tesis de grado para optar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2909>

- Falcón, N. E. (2024). Avaliação da Resposta Sísmica de um Edifício Pórtico Considerando a Interação SoloEstrutura. *SciELO Preprints*, 1(1), 1-23. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.8016>
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Fernández, R. (2021). *Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático Pushover del edificio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, 2018*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Fuentes, N. F. (2018). *Desempeño sísmico de un edificio de cinco niveles de concreto armado mediante el análisis estático no lineal PUSHOVER*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2191>
- Gallegos, C. J. (2018). *Comparación de los métodos de análisis sísmico tiempo historia lineal elástico y modal espectral*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7101>
- Gazetas, G. (1991). *Foundation vibrations*. In *Foundation engineering handbook* (pp. 553-593). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3928-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3928-5_15)
- GICO UPC. (2020). *Cimentaciones superficiales*. Universidad Politecnica de Cataluña. [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250240/2012/tema\\_4\\_ciment\\_super.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250240/2012/tema_4_ciment_super.pdf)
- González, J. (10 de julio de 2020). *Relación entre el módulo de deformación y el SPT*. Jesús González Galindo: <https://jesusgonzalezgalindo.wordpress.com/2018/07/06/relacion-entre-el-modulo-de-deformacion-y-el-spt/>
- Graf, R. (2024). *Foundations, Definition and History*. Managing Editor. [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-93996-4\\_7](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-93996-4_7)
- Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación*. Efaind. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta · Parte 1. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGrawHill Education. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Hetényi, M. (1946). *Beams on elastic foundations: Theory with applications in the fields of civil and mechanical engineering*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press. <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/915877>

- INACAL. (2019). *NTP 339.127. SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.128. SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.129. SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (24 de octubre de 2019). *NTP 339.131 SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo. 1ª Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).*
- INACAL. (07 de diciembre de 2020). *NTP 339.181 CONCRETO. Determinación del número de rebote del concreto endurecido. Método de ensayo. 3a Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).*
- Jines, R. M. (2017). *Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones de Sistema Dual en la Ciudad de Moquegua.* [Tesis de grado, Universidad Privada de Tacna].
- John, D., Chieh, K., Overton, D., & Erick, J. (2015). *Foundation Engineering for Expansive Soils.* Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118996096.fmatter>
- Kamal, M., Inel, M., & Cayci, B. T. (2022). Seismic behavior of mid-rise reinforced concrete adjacent buildings considering soil-structure interaction. *Journal of Building Engineering, 51*, 104296. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104296>
- Kamgar, R., & Khatibinia, M. (2019). Optimization criteria for design of tuned mass dampers including soil-structure interaction effect. *Iran University of Science & Technology, 9(2)*, 213-232. [http://ijocce.iust.ac.ir/browse.php?a\\_id=385&sid=1&slc\\_lang=en](http://ijocce.iust.ac.ir/browse.php?a_id=385&sid=1&slc_lang=en)
- Katrangi, M., Memarpour, M. M., & Yakhchalian, M. (2022). Assessment of the Seismic Performance and the Base Shear Contribution Ratios of the RC Wall-frame Dual System Considering Soil-Structure Interaction. *Journal of Earthquake, 26(10)*, 5290-5317. <https://doi.org/10.1080/13632469.2021.1871678>
- Kuria, K. K., & Kegyes-Brassai, O. K. (2023). Pushover Analysis in Seismic Engineering: A Detailed Chronology and Review of Techniques for Structural Assessment. *Applied Sciences, 14(1)*, 151-160. <https://doi.org/10.3390/app14010151>
- Kuria, K., & Kegyes-Brassai, O. K. (2023). Nonlinear Static Analysis for Seismic Evaluation of Existing RC Hospital Building. *Applied Sciences, 13(21)*, 11626. <https://doi.org/10.3390/app132111626>

- Loa, G. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997*. [Tesis de maestría en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Macas, F. A., & Proaño, K. R. (2024). Análisis interacción suelo-estructura en una zona de riesgo con cimentación de zapatas aisladas. Manabí, Ecuador. *Dominio De Las Ciencias*, 10(2), 177-211. <https://doi.org/10.23857/dc.v10i2.3797>
- Magisano, D., Corrado, A., Madeo, A., & Garcea, G. (2022). A reduced order model for nonlinear time history seismic analyzes of elasto-plastic 3D frame structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(9), 2055-2076. <https://doi.org/10.1002/eqe.3653>
- Magisano, D., Corrado, A., Madeo, A., & Garcea, G. (2023). Nonlinear time history seismic analysis of inelastic 3D frame buildings in a reduced modal space. *Procedia Structural Integrity*, 44(1), 456-463. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.060>
- Malarin, K. A., & Macedo, O. G. (2024). *Evaluación del desempeño sísmico aplicando métodos estáticos no lineales en pabellones de uso esencial en la I. E. N° 41026 María Murillo De Bernal*. [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2792>
- Mejía, P., & Rivera, J. (2020). *Análisis estático no lineal de una estructura mediante el método de control de desplazamientos*. [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34528>
- Mora, M. A., Villalba, J. D., & Maldonado, E. (2006). Deficiencias, limitaciones, ventajas y desventajas de las metodologías de análisis sísmico no lineal. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 59-74.
- Morales, F. (2012). Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa. [online], 11(3), 1-5. [https://www.ucipfg.com/Repositorio/MSCG/Practica\\_independiente/UNIDAD1/Tipos%20de%20investigaci%C3%B3n.docx](https://www.ucipfg.com/Repositorio/MSCG/Practica_independiente/UNIDAD1/Tipos%20de%20investigaci%C3%B3n.docx)
- MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano PDU 2017-2027 Chota*. Municipalidad Provincial de Chota (MPCH).
- MTC. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- MVCS. (2006). E.020 Cargas. En M. d. (MVCS), *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-8). Instituto de la Construcción y Gerencia. <https://cdn->

- web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02\_E/RNE2006\_E\_020.pdf
- MVCS. (2009). Norma E.060 “Concreto Armado”. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-201). Instituto de la Construcción y Gerencia.
- MVCS. (2018). Norma E.030 Diseño sismorresistente. En Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS), *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-32 pp.). Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). [https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02\\_E/2018\\_E030\\_RM-355-2018-VIVIENDA\\_Peruano.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf)
- MVCS. (2018). Norma E.050 "Suelos y cimentaciones". En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-46). Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Naeim, F. (2007). Dynamics of structures—theory and applications to earthquake engineering. *Earthquake Spectra*, 23(2), 491-492. <https://doi.org/10.1193/1.2720354>
- Nima, C. F. (2021). *Diseño de cimentaciones superficiales para equipos dinámicos en la agroindustria basados en las Norma E. 030–diseño sismo resistente y ASCE/SEI 7-10*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3296>
- Norma rusa SNIP 2.02.05-87. (1987). *Construction in seismic areas*. State Committee for Construction of the USSR (Gosstroy).
- Ortega, E. R., & Vanegas, A. (2022). ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN. *Revista Politécnica*, 18(36), 17-29. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n36a2>
- Pacheco, E. (2018). Los terremotos: fenómenos geológicos de alto impacto. *Logos Boletín Científico de la Escuela Preparatoria*, 5(9), 1-10. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa2/article/download/2842/2864?inline=1>
- Paredes, M. Á. (2016). *Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal pushover*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/620673>

- Parra-Domínguez, M. L., & Briceño-Rodríguez, I. I. (2013). Aspectos éticos en la investigación cualitativa. *Revista De Enfermería Neurológica*, 12(3), 118–121. <https://doi.org/10.37976/enfermeria.v12i3.167>
- Perrone, D., Leone, M., & Aiello, M. A. (2017). Non-linear behaviour of masonry infilled RC frames: Influence of masonry mechanical properties. *Engineering Structures*, 150(1), 875-891. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.001>
- Poma, N., & Flores, W. (2020). *Análisis comparativo en la estimación de la capacidad portante de un suelo cohesivo para diferentes tipos de cimentaciones superficiales, usando ecuaciones de cálculo y ensayo SPT según las características físico mecánicas del sector Tambocancha – Chinche*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12557/3832>
- Pujada, L. M., & Ricaldi, G. E. (2023). *Propuesta de evaluación estructural mediante un análisis por desempeño de una edificación industrial de concreto armado en Lima*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/668714>
- Quispe, B., Carcausto, E. B., & Villareal, G. (2024). Análisis y diseño sísmico de una edificación multifamiliar de diez niveles y dos sótanos aplicando la interacción suelo-estructura con un sistema dual y platea de cimentación. *Memoria investig. ing. (Facultad Ing., Univ. Montev.)*, 1(26), 158-187. <https://doi.org/10.36561/ING.26.10>
- Ramirez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Universidad Politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA\\_DE\\_ROCAS\\_1.pdf](https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf)
- Rodríguez, L. E., & Luna, E. A. (2023). *Análisis estático no lineal de un módulo escolar con muros de albañilería confinada con interacción suelo-estructura*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/26018>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República de Montevideo. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>
- Saavedra, M. (2020). *Desempeño sísmico considerando la interacción suelo – estructura de un edificio multifamiliar de tres niveles, Baños del Inca – Cajamarca, 2019*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/24203>
- Tamayo, M. (2007). Tipo de Investigación. *Abouhamad, Apuntes de investigación en ciencias sociales*, 52(1), 48-52.

- Tasilla, J. C. (2018). *Efecto de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural, del sector " E" del Hospital Regional de Cajamarca considerando diferentes tipos de suelos, Cajamarca-2017*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2838>
- Tavakoli, R., Kamgar, R., & Rahgozar, R. (2019). Seismic performance of outrigger–belt truss system considering soil–structure interaction. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, *11*(1), 45-54. <https://doi.org/10.1007/s40091019-0215-7>
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. Wiley.
- Vega, G. (2020). *Simulación de colapso mediante el análisis estático no lineal, vivienda comercio Miura Grill, Chiclayo*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán].
- Vicencio, F., & Alexander, N. A. (2024). Seismic analysis on linear/nonlinear unsymmetrical buildings considering structure-soil-structure interactions. *WCEE2024*, *1*(1), 1-13. [https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Vicencio/publication/382548915\\_SEISMIC\\_ANALYSIS\\_ON\\_LINEARNONLINEAR\\_UNSYMMETRICAL\\_BUILDINGS\\_CONSIDERING\\_STRUCTURE-SOIL-STRUCTURE\\_INTERACTIONS/links/66a26b46de060e4c7e5a7bd8/SEISMIC-ANALYSIS-ON-LINEAR-NONLINEAR-UN](https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Vicencio/publication/382548915_SEISMIC_ANALYSIS_ON_LINEARNONLINEAR_UNSYMMETRICAL_BUILDINGS_CONSIDERING_STRUCTURE-SOIL-STRUCTURE_INTERACTIONS/links/66a26b46de060e4c7e5a7bd8/SEISMIC-ANALYSIS-ON-LINEAR-NONLINEAR-UN)
- Villagrán, E. I., Vera, C., & Posada, A. E. (2013). Modelo esfuerzo-deformación para elementos de concretos reforzado que cumple con las hipótesis de las NTC RCDF 2004. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, *5*(1), 32-39. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-30112013000200003&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-30112013000200003&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Villanueva, R. F. (2023). *Influencia de la interacción suelo estructura en la respuesta estructural del módulo "C" y del módulo "D" de la edificación de turismo y hotelería de la Universidad Nacional de Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5992>
- Villarreal, G. (2009). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Asamblea Nacional de Rectores. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32487260/Libro\\_Premio\\_Nacional\\_ANR\\_2006-libre.pdf?1391228535=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DINTERACCION\\_SISMICA\\_SUELO\\_ESTRUCUTURA\\_EN.pdf&Expires=1732659934&Signature=R0w79J-6-LxJLUTHGXmyNsPk8CBIS2CD](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32487260/Libro_Premio_Nacional_ANR_2006-libre.pdf?1391228535=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DINTERACCION_SISMICA_SUELO_ESTRUCUTURA_EN.pdf&Expires=1732659934&Signature=R0w79J-6-LxJLUTHGXmyNsPk8CBIS2CD)

- Villarreal, G. A., & Aguila, C. T. (2021). Interacción suelo-estructura y su influencia en la respuesta sísmica de edificios de concreto armado. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(3), 426–471. <https://doi.org/10.24133/riie.v26i3.2336>
- Volverás-Mambuscay, B., Campo-Quesada, J. M., Merchancano-Rosero, J. D., & López-Rendón, J. F. (2020). Propiedades físicas del suelo en el sistema de siembra en wachado en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 743-760. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v31n3/2215-3608-am-31-03-00731.pdf>
- Won, J., & Shin, J. (2021). Machine learning-based approach for seismic damage prediction method of building structures considering soil-structure interaction. *Sustainability*, 13(8), 4334. <https://doi.org/10.3390/su13084334>
- Xie, Y., & Liang, J. (2020). Performance-based static pushover analysis for RC frames considering geometric nonlinearities. *Journal of Structural Engineering*, 146(5), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002621](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002621)
- Yepes, V. (2019). *Cimentaciones superficiales*. Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/119156>

## ANEXOS

### *Anexo 1. Matriz de consistencia*

**Tesis:** Desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez considerando la interacción suelo – estructura, Chota

**Tesistas:** Yoner Iván Heredia Rojas, Manuel Rojas Fustamante

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuál es el desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Perez considerando la interacción suelo – estructura, Chota?	<p><b>Objetivo General</b>                      Analizar el desempeño sísmico de los módulos estructurales de los pabellones A (1 módulo) y C (3 módulos) del colegio Abel Carbajal Perez considerando la interacción suelo–estructura (ISE), mediante análisis sísmicos lineales y no lineales bajo los niveles de amenaza sísmica de Servicio, Diseño y Máximo.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Determinar las derivas, desplazamientos y cortantes basales de los módulos de los pabellones A y C bajo el análisis dinámico lineal conforme a la Norma E.030-2018, considerando y sin considerar la interacción suelo–estructura (ISE).</li> <li>– Evaluar el desempeño sísmico estático no lineal de los módulos de los pabellones A y C bajo los niveles de amenaza sísmica de Servicio, Diseño y Máximo, de acuerdo con la Norma ATC-40-1996.</li> <li>– Analizar la influencia de la interacción suelo–estructura (ISE) en el desempeño sísmico no lineal de los módulos de los pabellones A y C utilizando el modelo dinámico ruso SNIP 2.02.05-87 y Barkan.</li> <li>– Comparar el comportamiento sísmico de los módulos de los pabellones A y C considerando y sin considerar la interacción suelo–estructura (ISE), verificando el cumplimiento de los objetivos de desempeño estructural establecidos en las normas E.030-2018 y ATC-40-1996.</li> </ul>	<p>H<sub>1</sub>: La inclusión de la interacción suelo–estructura (ISE) reduce en al menos un 10% el cortante basal medio y aumenta en al menos un 15% el desplazamiento máximo, en comparación con el modelo con base rígida, para la muestra analizada (n = X).</p>	VI Interacción Suelo – estructura	Suelo	Tipo de suelo	<p>Enfoque:                      CUANTITATIVO                      Tipo: APLICADA                      Nivel: DESCRIPTIVO                      Diseño: NO EXPERIMENTAL</p> <p>Muestra: muestra poblacional y estuvo conformada por los dos (2) módulos construidos de la I.E.S. Abel Carbajal Perez – Comercio, ubicada en el Jr. Gregorio Malca 877, de la ciudad de Chota, distrito y provincia de Chota, región Cajamarca.</p>
					Ángulo de fricción	
					Resistencia por cohesión	
					Peso unitario	
					Módulo de deformación	
					Velocidad de onda de corte	
				Cargas	Coefficiente de poisson	
					Carga viva	
					Carga muerta	
					Geometría de cimentaciones	
			Propiedades de elementos	Concreto: f'c		
				Acero: fy		
				Módulo de elasticidad		
				Modelo dinámico de la norma rusa y Barkan	Cálculo de la interacción Rigideces rotacionales K <sub>φx</sub> , K <sub>φy</sub> , K <sub>φz</sub> Amortiguamientos viscosos B <sub>x</sub> , B <sub>y</sub> , B <sub>z</sub> Amortiguamientos rotacionales B <sub>φx</sub> , B <sub>φy</sub> , B <sub>φz</sub>	
			VD Desempeño sísmico	Análisis estático-dinámico	Derivas inter piso	
					Desplazamientos	
					Cortante basal estática	
					Cortante basal dinámica	
				Participación modal		
				Irregularidades en planta/ altura		
Análisis de desempeño	Espectro de demanda					
	Curva de capacidad					
	Punto de desempeño					
	Niveles de desempeño					
	Rótulas plásticas activas					

## Anexo 2. Ficha de datos de la institución educativa

**Figura 140**

### Ficha de Datos del Colegio Comercio

ABEL CARBAJAL PEREZ			
Código modular	1110311	Dirección	Jiron Gregorio Malca 877
Anexo	0	Localidad	
Código de local	105554	Centro Poblado	CHOTA
Nivel/Modalidad	Secundaria	Área geográfica	Urbana
Forma	Escolarizado	Distrito	Chota
Género	Mixto	Provincia	Chota
Tipo de Gestión	Pública de gestión directa	Departamento	Cajamarca
Gestión / Dependencia	Sector Educación	Código de DRE o UGEL que supervisa el S. E.	060004
Director(a)	Sanchez Altamirano Jose Maria	Nombre de la DRE o UGEL que supervisa el S.E.	UGEL Chota
Teléfono	841114	Característica (Censo Educativo 2022)	No Aplica
Correo electrónico		Latitud	-6.56
Página web		Longitud	-78.65218
Turno	Continuo sólo en la mañana		
Tipo de programa	No aplica		
Estado	Activo		

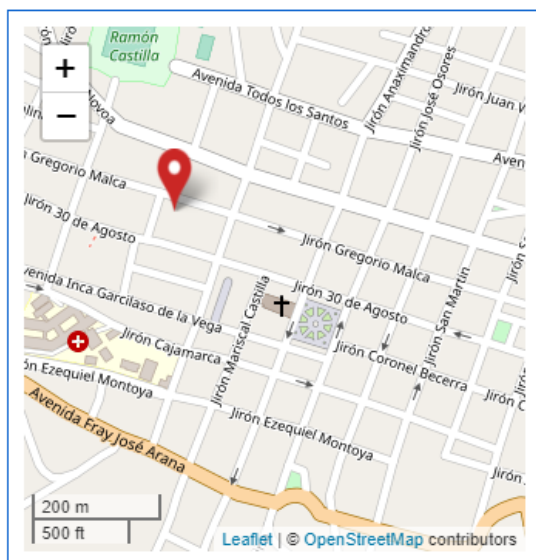


**Fuentes de información**  
 Padrón de Instituciones Educativas Censo Educativo 2022, Carta Educativa del Ministerio de Educación, Unidad de Estadística y cartografía de OpenStreetMap.

Nota. (Escale, 2022).

**Figura 141**

### Ubicación del Colegio Comercio



Nota. (Escale, 2022).

### *Anexo 3. Panel fotográfico*

**Fotografía 1:** Vista de los módulos de la I.E.S. Comercio



**Fotografía 2:** Formación en la I.E.S. Comercio



**Fotografía 3:** Grietas en los elementos estructurales de la I.E.S. Comercio



**Fotografía 4:** Realización del ensayo de SPT en la I.E.S. Comercio



**Fotografía 5:** Asesor en el lugar del ensayo de SPT en la I.E.S. Comercio



**Fotografía 6:** Muestra recolectada del ensayo de SPT en la I.E.S. Comercio



**Fotografía 7:** Realización del ensayo de esclerometría en la I.E.S. Comercio



**Fotografía 8:** Ensayo de esclerometría en las vigas y losa de la I.E.S. Comercio



**Fotografía 9:** Realización del ensayo de esclerometría en las columnas y vigas de los módulos de la I.E.S. Comercio



#### *Anexo 4. Datos para el análisis estadístico*

**Tabla 130**

*Cortante Basal del Análisis Lineal*

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Estático	Dinámico	%
1	A	X	Sin ISE	105.2	68.7	65.28%
1	A	Y	Sin ISE	280.5	238.3	84.96%
1	C	X	Sin ISE	35.6	21.1	59.25%
1	C	Y	Sin ISE	71.3	40.4	56.75%
2	C	X	Sin ISE	30.0	16.1	53.79%
2	C	Y	Sin ISE	59.9	51.7	86.26%
3	C	X	Sin ISE	55.4	27.5	49.70%
3	C	Y	Sin ISE	147.8	76.7	51.93%
1	A	X	Con ISE	87.3	68.7	78.65%
1	A	Y	Con ISE	246.8	216.9	87.85%
1	C	X	Con ISE	35.6	18.8	52.73%
1	C	Y	Con ISE	61.3	36.4	59.39%
2	C	X	Con ISE	25.5	15.3	60.12%
2	C	Y	Con ISE	59.9	45.5	75.91%
3	C	X	Con ISE	44.3	24.0	54.05%
3	C	Y	Con ISE	147.8	62.9	42.58%

*Nota.* El cortante dinámico resulta menor que el estático (columna “%” =  $V_{dyn}/V_{est}$ ), con rangos 42.6–86.3%.

Al considerar la ISE, el cortante estático disminuye y el porcentaje dinámico suele aumentar (p.ej., A-X pasa de 65.3% a 78.7%), reflejando mayor flexibilidad y participación modal.

**Tabla 131***Desplazamientos del Análisis Lineal*

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Desplazamiento absoluto (mm)
1	A	X	Sin ISE	3.44
1	A	Y	Sin ISE	6.54
1	C	X	Sin ISE	5.37
1	C	Y	Sin ISE	12.32
2	C	X	Sin ISE	4.81
2	C	Y	Sin ISE	3.15
3	C	X	Sin ISE	6.35
3	C	Y	Sin ISE	14.1
1	A	X	Con ISE	3.8528
1	A	Y	Con ISE	8.1096
1	C	X	Con ISE	6.3903
1	C	Y	Con ISE	14.0448
2	C	X	Con ISE	6.1568
2	C	Y	Con ISE	3.78
3	C	X	Con ISE	7.112
3	C	Y	Con ISE	17.484

*Nota.* Los desplazamientos absolutos aumentan con ISE en casi todos los casos (típicamente +10–20%), con incrementos más notorios en el eje Y de los módulos C (p.ej., C-3-Y: 14.10 → 17.48 mm).

**Tabla 132***Derivas del Análisis Lineal*

Módulo	Pabellón	Piso	Dirección	Método	Deriva
1	A	3	X	Sin ISE	0.0057
1	A	3	Y	Sin ISE	0.0021
1	C	3	X	Sin ISE	0.0042
1	C	3	Y	Sin ISE	0.0078
2	C	3	X	Sin ISE	0.0030
2	C	3	Y	Sin ISE	0.0005
3	C	3	X	Sin ISE	0.0048
3	C	3	Y	Sin ISE	0.0057
1	A	2	X	Sin ISE	0.0009
1	A	2	Y	Sin ISE	0.0014
1	C	2	X	Sin ISE	0.0017
1	C	2	Y	Sin ISE	0.0013
2	C	2	X	Sin ISE	0.0024
2	C	2	Y	Sin ISE	0.0009
3	C	2	X	Sin ISE	0.0022
3	C	2	Y	Sin ISE	0.0009
1	A	1	X	Sin ISE	0.0011
1	A	1	Y	Sin ISE	0.0015
1	C	1	X	Sin ISE	0.0013
1	C	1	Y	Sin ISE	0.0011
2	C	1	X	Sin ISE	0.0022
2	C	1	Y	Sin ISE	0.0010
3	C	1	X	Sin ISE	0.0006
3	C	1	Y	Sin ISE	0.0005
1	A	3	X	Con ISE	0.0071
1	A	3	Y	Con ISE	0.0024
1	C	3	X	Con ISE	0.0050
1	C	3	Y	Con ISE	0.0091
2	C	3	X	Con ISE	0.0033
2	C	3	Y	Con ISE	0.0006
3	C	3	X	Con ISE	0.0055
3	C	3	Y	Con ISE	0.0069
1	A	2	X	Con ISE	0.0010
1	A	2	Y	Con ISE	0.0016
1	C	2	X	Con ISE	0.0019
1	C	2	Y	Con ISE	0.0016

Módulo	Pabellón	Piso	Dirección	Método	Deriva
2	C	2	X	Con ISE	0.0028
2	C	2	Y	Con ISE	0.0010
3	C	2	X	Con ISE	0.0026
3	C	2	Y	Con ISE	0.0011
1	A	1	X	Con ISE	0.0012
1	A	1	Y	Con ISE	0.0018
1	C	1	X	Con ISE	0.0016
1	C	1	Y	Con ISE	0.0013
2	C	1	X	Con ISE	0.0025
2	C	1	Y	Con ISE	0.0012
3	C	1	X	Con ISE	0.0007
3	C	1	Y	Con ISE	0.0005

*Nota.* Las derivas se elevan al incluir ISE, pero, en general, se mantienen dentro de los límites reglamentarios salvo: C-3-Y (sin y con ISE, supera 0.005) y A-3-X (con ISE  $\approx 0.0071$ , ligeramente por encima de 0.007). El resto cumple.

**Tabla 133**

*Periodos de Vibración del Análisis Lineal*

Módulo	Pabellón	Modo	Método	Periodo de vibración
1	A	1	Sin ISE	0.2104
1	A	2	Sin ISE	0.195
1	A	3	Sin ISE	0.166
1	C	1	Sin ISE	0.25
1	C	2	Sin ISE	0.22
1	C	3	Sin ISE	0.168
2	C	1	Sin ISE	0.246
2	C	2	Sin ISE	0.152
2	C	3	Sin ISE	0.127
3	C	1	Sin ISE	0.246
3	C	2	Sin ISE	0.165
3	C	3	Sin ISE	0.131
1	A	1	Con ISE	0.22092
1	A	2	Con ISE	0.195
1	A	3	Con ISE	0.17098
1	C	1	Con ISE	0.255
1	C	2	Con ISE	0.2222
1	C	3	Con ISE	0.168
2	C	1	Con ISE	0.26076

Módulo	Pabellón	Modo	Método	Periodo de vibración
2	C	2	Con ISE	0.16568
2	C	3	Con ISE	0.13208
3	C	1	Con ISE	0.26322
3	C	2	Con ISE	0.1815
3	C	3	Con ISE	0.14148

*Nota.* Los periodos con ISE presentan incrementos moderados ( $\approx +2-11$  % según modo), típicos de la pérdida de rigidez efectiva por la interacción suelo-estructura; los mayores aumentos se observan en los modos 2 de los módulos C-2 y C-3.

**Tabla 134**

*Cortante Basal y Desplazamientos del Análisis no Lineal en la Curva de Capacidad*

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (cm)
1	A	X	Sin ISE	840.81	1.23
1	A	Y	Sin ISE	325.657	6.3
1	C	X	Sin ISE	617.3826	4.4818
1	C	Y	Sin ISE	482.26	11.89
2	C	X	Sin ISE	432.00	5.00
2	C	Y	Sin ISE	372.136	18.46
3	C	X	Sin ISE	217.57	12.00
3	C	Y	Sin ISE	568.31	3.35
1	A	X	Con ISE	773.5452	1.3899
1	A	Y	Con ISE	293.0913	7.245
1	C	X	Con ISE	586.51347	5.019616
1	C	Y	Con ISE	434.034	13.4357
2	C	X	Con ISE	382.47286	5.65
2	C	Y	Con ISE	327.481634	21.255
3	C	X	Con ISE	172.321855	13.92
3	C	Y	Con ISE	439.878674	3.953

*Nota.* En la curva de capacidad, la ISE provoca reducciones de cortante basal y mayores desplazamientos últimos en todos los módulos (patrón coherente con una rigidez global menor de la base).

**Tabla 135***Cortante Basal y Desplazamientos no Lineales, Punto de Desempeño*

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Método	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (mm)
1	A	X	Servicio	Sin ISE	177.93	2.34
1	A	X	Diseño	Sin ISE	451.26	6.40
1	A	X	Máximo	Sin ISE	662.90	9.60
1	A	Y	Servicio	Sin ISE	91.01	13.99
1	A	Y	Diseño	Sin ISE	153.20	17.86
1	A	Y	Máximo	Sin ISE	210.11	26.60
1	C	X	Servicio	Sin ISE	134.26	7.40
1	C	X	Diseño	Sin ISE	192.17	11.62
1	C	X	Máximo	Sin ISE	505.06	35.80
1	C	Y	Servicio	Sin ISE	62.24	9.15
1	C	Y	Diseño	Sin ISE	183.82	34.00
1	C	Y	Máximo	Sin ISE	325.04	73.60
2	C	X	Servicio	Sin ISE	28.40	2.670
2	C	X	Diseño	Sin ISE	144.54	16.230
2	C	X	Máximo	Sin ISE	268.40	30.925
2	C	Y	Servicio	Sin ISE	107.42	5.66
2	C	Y	Diseño	Sin ISE	176.78	9.40
2	C	Y	Máximo	Sin ISE	412.23	23.96
3	C	X	Servicio	Sin ISE	44.16	13.76
3	C	X	Diseño	Sin ISE	67.64	24.60
3	C	X	Máximo	Sin ISE	134.56	55.52
3	C	Y	Servicio	Sin ISE	107.42	5.66
3	C	Y	Diseño	Sin ISE	176.78	9.40
3	C	Y	Máximo	Sin ISE	412.23	23.96
1	A	X	Servicio	Con ISE	164.75	2.61
1	A	X	Diseño	Con ISE	418.40	6.98
1	A	X	Máximo	Con ISE	607.90	10.56
1	A	Y	Servicio	Con ISE	84.23	16.21
1	A	Y	Diseño	Con ISE	144.95	32.23
1	A	Y	Máximo	Con ISE	201.78	46.50
1	C	X	Servicio	Con ISE	125.16	8.23
1	C	X	Diseño	Con ISE	248.23	20.00
1	C	X	Máximo	Con ISE	476.11	40.10
1	C	Y	Servicio	Con ISE	59.26	12.00
1	C	Y	Diseño	Con ISE	176.41	45.00
1	C	Y	Máximo	Con ISE	300.04	86.61
2	C	X	Servicio	Con ISE	25.10	3.250
2	C	X	Diseño	Con ISE	134.54	19.496
2	C	X	Máximo	Con ISE	242.40	35.500
2	C	Y	Servicio	Con ISE	95.14	8.13
2	C	Y	Diseño	Con ISE	206.11	18.00
2	C	Y	Máximo	Con ISE	342.61	30.41
3	C	X	Servicio	Con ISE	35.01	15.61
3	C	X	Diseño	Con ISE	78.99	47.63
3	C	X	Máximo	Con ISE	126.03	82.00
3	C	Y	Servicio	Con ISE	95.14	8.13

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Método	Cortante basal (tn)	Desplazamiento máximo (mm)
3	C	Y	Diseño	Con ISE	206.11	18.00
3	C	Y	Máximo	Con ISE	342.61	30.41

*Nota.* En los puntos de desempeño, la ISE reduce el cortante objetivo en la mayoría de casos y eleva los desplazamientos (sobre todo en Diseño y Máximo). Existen excepciones con aumento de cortante en Diseño (p.ej., C-M1-X y C-M2-Y), atribuibles a cambios de forma modal/participación de masas.

**Tabla 136**

*Objetivos de Desempeño*

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Servicio	Diseño	Máximo	Promedio
1	A	X	Sin ISE	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	3.00
1	A	Y	Sin ISE	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida	2.67
1	C	X	Sin ISE	Funcional	Funcional	Precolapso	2.67
1	C	Y	Sin ISE	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	2.00
2	C	X	Sin ISE	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	2.00
2	C	Y	Sin ISE	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	2.00
3	C	X	Sin ISE	Funcional	Funcional	Seguridad de vida	2.33
3	C	Y	Sin ISE	Operacional	Funcional	Precolapso	2.33
1	A	X	Con ISE	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	3.00
1	A	Y	Con ISE	Funcional	Seguridad de vida	Seguridad de vida	2.67
1	C	X	Con ISE	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	3.00
1	C	Y	Con ISE	Funcional	Funcional	Precolapso	2.67
2	C	X	Con ISE	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	3.00
2	C	Y	Con ISE	Funcional	Funcional	Precolapso	2.67
3	C	X	Con ISE	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	3.00
3	C	Y	Con ISE	Funcional	Seguridad de vida	Precolapso	3.00

*Nota.* Codificación: 1 = Operacional, 2 = Funcional, 3 = Seguridad de vida, 4 = Precolapso. Los promedios por caso muestran que, con ISE, varios escenarios mantienen el nivel y otros empeoran hacia categorías superiores (mayor demanda de daño), especialmente en Módulos C y en la dirección Y; el objetivo global de referencia es promedio = 2.00 (Funcional).

### **Anexo 5. Tabla de conversión de unidades del modelo estructural**

Los resultados numéricos del capítulo de análisis se presentan en las unidades originales del modelo de ETABS 2022 (ton–mm–s). Para su trazabilidad y estandarización, a continuación, se consignan las equivalencias con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

**Tabla 137**

#### *Factores de Conversión*

Magnitud	Unidad usada en modelo	Unidad SI equivalente	Factor de conversión	Ejemplo numérico
Fuerza	1 ton	9.80665 kN	× 9.80665	1 ton = 9.80665 kN
Longitud (desplazamiento)	1 mm	0.001 m	× 0.001	10 mm = 0.01 m
Longitud (desplazamiento)	1 cm	0.01 m	× 0.01	21.255 cm = 0.21255 m
Aceleración	g	9.80665 m/s <sup>2</sup>	× 9.80665	1 g = 9.80665 m/s <sup>2</sup>
Periodo de vibración	s	s	—	Sin conversión
Esfuerzo (si aplica)	1 ton/m <sup>2</sup>	9.80665 kPa	× 9.80665	1 ton/m <sup>2</sup> = 9.80665 kPa

*Nota.* En la tabla se detallan las unidades SI equivalentes.

En todas las tablas y figuras del documento se mantiene el sistema del modelo (ton–mm–s). Cuando sea pertinente, se añade entre corchetes la unidad SI equivalente (p. ej., [kN], [m]). Este Anexo constituye la referencia oficial de conversión.

**Tabla 138**

#### *Cortante Basal del Análisis Lineal (convertido a SI)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Estático (kN)	Dinámico (kN)	%
1	A	X	Sin ISE	1031.66	673.72	65.28
1	A	Y	Sin ISE	2750.77	2336.92	84.96
1	C	X	Sin ISE	349.12	206.92	59.25
1	C	Y	Sin ISE	699.21	396.19	56.75
2	C	X	Sin ISE	294.2	157.89	53.79
2	C	Y	Sin ISE	587.42	507.0	86.26

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Estático (kN)	Dinámico (kN)	%
3	C	X	Sin ISE	543.29	269.68	49.7
3	C	Y	Sin ISE	1449.42	752.17	51.93
1	A	X	Con ISE	856.12	673.72	78.65
1	A	Y	Con ISE	2420.28	2127.06	87.85
1	C	X	Con ISE	349.12	184.37	52.73
1	C	Y	Con ISE	601.15	356.96	59.39
2	C	X	Con ISE	250.07	150.04	60.12
2	C	Y	Con ISE	587.42	446.2	75.91
3	C	X	Con ISE	434.43	235.36	54.05
3	C	Y	Con ISE	1449.42	616.84	42.58

Nota. % = (Vdinámico/Vestático)×100. Conversión: 1 tonf = 9.80665 kN.

**Tabla 139**

*Desplazamientos del Análisis Lineal (convertido a SI)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Desplazamiento (m)
1	A	X	Sin ISE	0.00344
1	A	Y	Sin ISE	0.00654
1	C	X	Sin ISE	0.00537
1	C	Y	Sin ISE	0.01232
2	C	X	Sin ISE	0.00481
2	C	Y	Sin ISE	0.00315
3	C	X	Sin ISE	0.00635
3	C	Y	Sin ISE	0.0141
1	A	X	Con ISE	0.00385
1	A	Y	Con ISE	0.00811
1	C	X	Con ISE	0.00639
1	C	Y	Con ISE	0.01404
2	C	X	Con ISE	0.00616
2	C	Y	Con ISE	0.00378
3	C	X	Con ISE	0.00711
3	C	Y	Con ISE	0.01748

Nota. Conversión: 1 mm = 0.001 m.

**Tabla 140***Derivas del Análisis Lineal (adimensional y %)*

Módulo	Pabellón	Piso	Dirección	Método	Deriva (adim.)	Deriva (%)
1	A	3	X	Sin ISE	0.0057	0.57
1	A	3	Y	Sin ISE	0.0021	0.21
1	C	3	X	Sin ISE	0.0042	0.42
1	C	3	Y	Sin ISE	0.0078	0.78
2	C	3	X	Sin ISE	0.003	0.3
2	C	3	Y	Sin ISE	0.0005	0.05
3	C	3	X	Sin ISE	0.0048	0.48
3	C	3	Y	Sin ISE	0.0057	0.57
1	A	2	X	Sin ISE	0.0009	0.09
1	A	2	Y	Sin ISE	0.0014	0.14
1	C	2	X	Sin ISE	0.0017	0.17
1	C	2	Y	Sin ISE	0.0013	0.13
2	C	2	X	Sin ISE	0.0024	0.24
2	C	2	Y	Sin ISE	0.0009	0.09
3	C	2	X	Sin ISE	0.0022	0.22
3	C	2	Y	Sin ISE	0.0009	0.09
1	A	1	X	Sin ISE	0.0011	0.11
1	A	1	Y	Sin ISE	0.0015	0.15
1	C	1	X	Sin ISE	0.0013	0.13
1	C	1	Y	Sin ISE	0.0011	0.11
2	C	1	X	Sin ISE	0.0022	0.22
2	C	1	Y	Sin ISE	0.001	0.1
3	C	1	X	Sin ISE	0.0006	0.06
3	C	1	Y	Sin ISE	0.0005	0.05
1	A	3	X	Con ISE	0.0071	0.71
1	A	3	Y	Con ISE	0.0024	0.24
1	C	3	X	Con ISE	0.005	0.5
1	C	3	Y	Con ISE	0.0091	0.91
2	C	3	X	Con ISE	0.0033	0.33
2	C	3	Y	Con ISE	0.0006	0.06
3	C	3	X	Con ISE	0.0055	0.55
3	C	3	Y	Con ISE	0.0069	0.69
1	A	2	X	Con ISE	0.001	0.1
1	A	2	Y	Con ISE	0.0016	0.16
1	C	2	X	Con ISE	0.0019	0.19

Módulo	Pabellón	Piso	Dirección	Método	Deriva (adim.)	Deriva (%)
1	C	2	Y	Con ISE	0.0016	0.16
2	C	2	X	Con ISE	0.0028	0.28
2	C	2	Y	Con ISE	0.001	0.1
3	C	2	X	Con ISE	0.0026	0.26
3	C	2	Y	Con ISE	0.0011	0.11
1	A	1	X	Con ISE	0.0012	0.12
1	A	1	Y	Con ISE	0.0018	0.18
1	C	1	X	Con ISE	0.0016	0.16
1	C	1	Y	Con ISE	0.0013	0.13
2	C	1	X	Con ISE	0.0025	0.25
2	C	1	Y	Con ISE	0.0012	0.12
3	C	1	X	Con ISE	0.0007	0.07
3	C	1	Y	Con ISE	0.0005	0.05

*Nota.* La deriva es adimensional; se añade equivalente en porcentaje ( $\times 100$ ).

**Tabla 141**

*Períodos de Vibración del Análisis Lineal (SI)*

Módulo	Pabellón	Modo	Método	Periodo (s)
1	A	1	Sin ISE	0.2104
1	A	2	Sin ISE	0.195
1	A	3	Sin ISE	0.166
1	C	1	Sin ISE	0.25
1	C	2	Sin ISE	0.22
1	C	3	Sin ISE	0.168
2	C	1	Sin ISE	0.246
2	C	2	Sin ISE	0.152
2	C	3	Sin ISE	0.127
3	C	1	Sin ISE	0.246
3	C	2	Sin ISE	0.165
3	C	3	Sin ISE	0.131
1	A	1	Con ISE	0.22092
1	A	2	Con ISE	0.195
1	A	3	Con ISE	0.17098
1	C	1	Con ISE	0.255
1	C	2	Con ISE	0.2222
1	C	3	Con ISE	0.168
2	C	1	Con ISE	0.26076

Módulo	Pabellón	Modo	Método	Periodo (s)
2	C	2	Con ISE	0.16568
2	C	3	Con ISE	0.13208
3	C	1	Con ISE	0.26322
3	C	2	Con ISE	0.1815
3	C	3	Con ISE	0.14148

**Tabla 142**

*Cortante Basal y Desplazamientos (Curva de capacidad, SI)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Método	Cortante (kN)	Desplazamiento (m)
1	A	X	Sin ISE	8245.53	0.0123
1	A	Y	Sin ISE	3193.6	0.063
1	C	X	Sin ISE	6054.46	0.04482
1	C	Y	Sin ISE	4729.36	0.1189
2	C	X	Sin ISE	4236.47	0.05
2	C	Y	Sin ISE	3649.41	0.1846
3	C	X	Sin ISE	2133.63	0.12
3	C	Y	Sin ISE	5573.22	0.0335
1	A	X	Con ISE	7585.89	0.0139
1	A	Y	Con ISE	2874.24	0.07245
1	C	X	Con ISE	5751.73	0.0502
1	C	Y	Con ISE	4256.42	0.13436
2	C	X	Con ISE	3750.78	0.0565
2	C	Y	Con ISE	3211.5	0.21255
3	C	X	Con ISE	1689.9	0.1392
3	C	Y	Con ISE	4313.74	0.03953

**Tabla 143**

*Puntos de Desempeño (convertido a SI)*

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Método	Cortante (kN)	Desplazamiento (m)
1	A	X	Servicio	Sin ISE	1744.9	0.00234
1	A	X	Diseño	Sin ISE	4425.35	0.0064
1	A	X	Máximo	Sin ISE	6500.83	0.0096
1	A	Y	Servicio	Sin ISE	892.5	0.01399

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Método	Cortante (kN)	Desplazamiento (m)
1	A	Y	Diseño	Sin ISE	1502.38	0.01786
1	A	Y	Máximo	Sin ISE	2060.48	0.0266
1	C	X	Servicio	Sin ISE	1316.64	0.0074
1	C	X	Diseño	Sin ISE	1884.54	0.01162
1	C	X	Máximo	Sin ISE	4952.95	0.0358
1	C	Y	Servicio	Sin ISE	610.37	0.00915
1	C	Y	Diseño	Sin ISE	1802.66	0.034
1	C	Y	Máximo	Sin ISE	3187.55	0.0736
2	C	X	Servicio	Sin ISE	278.51	0.00267
2	C	X	Diseño	Sin ISE	1417.45	0.01623
2	C	X	Máximo	Sin ISE	2632.1	0.03093
2	C	Y	Servicio	Sin ISE	1053.43	0.00566
2	C	Y	Diseño	Sin ISE	1733.62	0.0094
2	C	Y	Máximo	Sin ISE	4042.6	0.02396
3	C	X	Servicio	Sin ISE	433.06	0.01376
3	C	X	Diseño	Sin ISE	663.32	0.0246
3	C	X	Máximo	Sin ISE	1319.58	0.05552
3	C	Y	Servicio	Sin ISE	1053.43	0.00566
3	C	Y	Diseño	Sin ISE	1733.62	0.0094
3	C	Y	Máximo	Sin ISE	4042.6	0.02396
1	A	X	Servicio	Con ISE	1615.65	0.00261
1	A	X	Diseño	Con ISE	4103.1	0.00698
1	A	X	Máximo	Con ISE	5961.46	0.01056
1	A	Y	Servicio	Con ISE	826.01	0.01621
1	A	Y	Diseño	Con ISE	1421.47	0.03223
1	A	Y	Máximo	Con ISE	1978.79	0.0465
1	C	X	Servicio	Con ISE	1227.4	0.00823
1	C	X	Diseño	Con ISE	2434.3	0.02
1	C	X	Máximo	Con ISE	4669.04	0.0401
1	C	Y	Servicio	Con ISE	581.14	0.012
1	C	Y	Diseño	Con ISE	1729.99	0.045
1	C	Y	Máximo	Con ISE	2942.39	0.08661
2	C	X	Servicio	Con ISE	246.15	0.00325
2	C	X	Diseño	Con ISE	1319.39	0.0195
2	C	X	Máximo	Con ISE	2377.13	0.0355
2	C	Y	Servicio	Con ISE	933.0	0.00813
2	C	Y	Diseño	Con ISE	2021.25	0.018
2	C	Y	Máximo	Con ISE	3359.86	0.03041

Módulo	Pabellón	Dirección	Sismo	Método	Cortante (kN)	Desplazamiento (m)
3	C	X	Servicio	Con ISE	343.33	0.01561
3	C	X	Diseño	Con ISE	774.63	0.04763
3	C	X	Máximo	Con ISE	1235.93	0.082
3	C	Y	Servicio	Con ISE	933.0	0.00813
3	C	Y	Diseño	Con ISE	2021.25	0.018
3	C	Y	Máximo	Con ISE	3359.86	0.03041

***Anexo 6. Validación de instrumentos***

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**FORMATO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS POR JUICIO DE  
EXPERTOS**

**I. DATOS GENERALES**

Título de la investigación: “Desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez considerando la interacción suelo – estructura, Chota”

Autor(es): Yoner Ivan Heredia Rojas, Manuel Rojas Fustamante

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Tipo de instrumento: Fichas de registro, modelos estructurales y formatos técnicos.

Fecha de validación: 10/12/2024

**II. OBJETIVO DE LA VALIDACIÓN**

Evaluar la pertinencia técnica, coherencia interna y adecuación metodológica de los instrumentos diseñados para la recolección y análisis de datos en la investigación, a fin de garantizar su validez de contenido y aplicabilidad en campo.

**III. INSTRUMENTOS SOMETIDOS A VALIDACIÓN**

1. Ficha de análisis de irregularidad estructural.
2. Ficha de análisis estático-dinámico de la edificación.
3. Ficha de parámetros geométricos y materiales.
4. Modelo estructural de análisis sísmico en ETABS v.2018.

**IV. CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Criterio	Descripción	Valoración (1-5)
Claridad	Los ítems e indicadores se expresan con redacción comprensible y lenguaje técnico adecuado.	5
Coherencia	Existe correspondencia entre los indicadores, objetivos y variables de investigación.	5
Pertinencia	Los ítems permiten obtener información directamente relacionada con el objeto de estudio.	5
Relevancia técnica	Los indicadores reflejan propiedades estructurales y sísmicas relevantes para el análisis.	4
Adecuación normativa	El contenido se ajusta a las normas técnicas y científicas aplicables (E.030, ATC-40, SNIP 2.02.05-87, NTP).	4
Escala o unidad apropiada	Las unidades e instrumentos responden al Sistema Internacional (SI) y a los protocolos de medición.	4
Aplicabilidad	El instrumento puede aplicarse en campo sin dificultad.	5

Escala: 1 – Muy deficiente | 2 – Deficiente | 3 – Regular | 4 – Bueno | 5 – Excelente

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO

.....  
.....  
.....

VI. CONCLUSIÓN DEL EXPERTO

El instrumento es válido y aplicable sin modificaciones.

El instrumento requiere ajustes menores.

El instrumento no es válido en su forma actual.

VII. IDENTIFICACIÓN DEL JUEZ EXPERTO

Nombre completo: JOSELITO BURGA DÍAZ

Especialidad: INGENIERO CIVIL

Grado académico: MAGISTER EN INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Firma: .....  ..... Fecha: .10/12/2024  
**JOSELITO BURGA DÍAZ**  
Ingeniero Civil  
Reg. CIP. N° 321522

VIII. PROMEDIO FINAL (uso del Investigador)

Promedio general de validez (1-5): **4.57 (aceptable)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**FORMATO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS POR JUICIO DE  
EXPERTOS**

**I. DATOS GENERALES**

Título de la investigación: “Desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez considerando la interacción suelo – estructura, Chota”

Autor(es): Yoner Ivan Heredia Rojas, Manuel Rojas Fustamante

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Tipo de instrumento: Fichas de registro, modelos estructurales y formatos técnicos.

Fecha de validación: 10/12/2024

**II. OBJETIVO DE LA VALIDACIÓN**

Evaluar la pertinencia técnica, coherencia interna y adecuación metodológica de los instrumentos diseñados para la recolección y análisis de datos en la investigación, a fin de garantizar su validez de contenido y aplicabilidad en campo.

**III. INSTRUMENTOS SOMETIDOS A VALIDACIÓN**

1. Ficha de análisis de irregularidad estructural.
2. Ficha de análisis estático-dinámico de la edificación.
3. Ficha de parámetros geométricos y materiales.
4. Modelo estructural de análisis sísmico en ETABS v.2018.

**IV. CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Criterio	Descripción	Valoración (1-5)
Claridad	Los ítems e indicadores se expresan con redacción comprensible y lenguaje técnico adecuado.	5
Coherencia	Existe correspondencia entre los indicadores, objetivos y variables de investigación.	5
Pertinencia	Los ítems permiten obtener información directamente relacionada con el objeto de estudio.	5
Relevancia técnica	Los indicadores reflejan propiedades estructurales y sísmicas relevantes para el análisis.	4
Adecuación normativa	El contenido se ajusta a las normas técnicas y científicas aplicables (E.030, ATC-40, SNIP 2.02.05-87, NTP).	5
Escala o unidad apropiada	Las unidades e instrumentos responden al Sistema Internacional (SI) y a los protocolos de medición.	5
Aplicabilidad	El instrumento puede aplicarse en campo sin dificultad.	5

Escala: 1 – Muy deficiente | 2 – Deficiente | 3 – Regular | 4 – Bueno | 5 – Excelente

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO

.....  
.....  
.....

VI. CONCLUSIÓN DEL EXPERTO

El instrumento es válido y aplicable sin modificaciones.

El instrumento requiere ajustes menores.

El instrumento no es válido en su forma actual.

VII. IDENTIFICACIÓN DEL JUEZ EXPERTO

Nombre completo: .BRAYAN CAMPOS MUÑOZ

Especialidad: INGENIERO CIVIL

Grado académico: .MAGISTER EN INGENIERÍA

Firma: ..... Fecha: .10/12/2024

  
Ing. Brayan Campos Muñoz  
CIP: 428535

VIII. PROMEDIO FINAL (uso del Investigador)

Promedio general de validez (1-5): **4.86 (acceptable)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**FORMATO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS POR JUICIO DE  
EXPERTOS**

**I. DATOS GENERALES**

Título de la investigación: “Desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez considerando la interacción suelo – estructura, Chota”

Autor(es): Yoner Ivan Heredia Rojas, Manuel Rojas Fustamante

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Tipo de instrumento: Fichas de registro, modelos estructurales y formatos técnicos.

Fecha de validación: 10/12/2024

**II. OBJETIVO DE LA VALIDACIÓN**

Evaluar la pertinencia técnica, coherencia interna y adecuación metodológica de los instrumentos diseñados para la recolección y análisis de datos en la investigación, a fin de garantizar su validez de contenido y aplicabilidad en campo.

**III. INSTRUMENTOS SOMETIDOS A VALIDACIÓN**

1. Ficha de análisis de irregularidad estructural.
2. Ficha de análisis estático-dinámico de la edificación.
3. Ficha de parámetros geométricos y materiales.
4. Modelo estructural de análisis sísmico en ETABS v.2018.

**IV. CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Criterio	Descripción	Valoración (1-5)
Claridad	Los ítems e indicadores se expresan con redacción comprensible y lenguaje técnico adecuado.	5
Coherencia	Existe correspondencia entre los indicadores, objetivos y variables de investigación.	4
Pertinencia	Los ítems permiten obtener información directamente relacionada con el objeto de estudio.	5
Relevancia técnica	Los indicadores reflejan propiedades estructurales y sísmicas relevantes para el análisis.	4
Adecuación normativa	El contenido se ajusta a las normas técnicas y científicas aplicables (E.030, ATC-40, SNIP 2.02.05-87, NTP).	4
Escala o unidad apropiada	Las unidades e instrumentos responden al Sistema Internacional (SI) y a los protocolos de medición.	4
Aplicabilidad	El instrumento puede aplicarse en campo sin dificultad.	4.43

Escala: 1 – Muy deficiente | 2 – Deficiente | 3 – Regular | 4 – Bueno | 5 – Excelente

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO

.....  
.....  
.....

VI. CONCLUSIÓN DEL EXPERTO

El instrumento es válido y aplicable sin modificaciones.

El instrumento requiere ajustes menores.

El instrumento no es válido en su forma actual.

VII. IDENTIFICACIÓN DEL JUEZ EXPERTO

Nombre completo: . THALÍA NANCY DEL ROCÍO TICLLA RÍOS

Especialidad: INGENIERO CIVIL

Grado académico: .MAGISTER EN INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Firma: .....  ..... Fecha: .10/12/2024  
THALIA NANCY DEL ROCIO TICLLA RIOS  
Ingeniera Civil  
Reg. CIP. N° 321648

VIII. PROMEDIO FINAL (uso del Investigador)

Promedio general de validez (1-5): **4.43 (acceptable)**

*Anexo 7. Estudio de mecánica de suelos*



GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION  
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

# ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
Gerente  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CP. N° 207870

DIRECCIÓN: Jr. ANAXIMANDRO VEGA N° 865 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI N° 824970 – 2019/OSD

INFORME		Código	AC/PA-1		
REGISTRO ESTRATIGRÁFICO		Versión	01		
		Fecha	-		
		Página	1 de 1		
Proyecto	"DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURAL, CHOTA"				
Solicitante	YONER IVÁN HEREDIA ROJAS Y MANUEL ROLAS FUSTAMANTE				
Código	C-01	Muestreado por :	R.C.R		
Ubicación	DISTRITO DE CHOTA	Ensayado por :	R.C.R		
Material	TERRENO NATURAL	Fecha de Muestreo:	JUL 23		
		Tiempo	Diatmo		
Código de Muestra	01	Profundidad Total	3.00 m		
Progrma	-				
REGISTRO DE BONDAJES					
PROF. (m)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	ASHTO
0.10		LOSA DE CONCRETO EXISTENTE	---	---	---
0.20			---	---	---
0.30					
0.40					
0.50					
0.60		Material limos inorgánicos de alta plasticidad, suelos elásticos de color marrón claro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	M1	MH	A-7-5 (HS)
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50		Material limos inorgánicos de alta plasticidad, suelos elásticos de color beige claro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	M2	MH	A-7-5 (HS)
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
		Material limos inorgánicos de alta plasticidad, suelos elásticos de color plomo oscuro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	M3	MH	A-7-5 (HS)


**LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
 Gerardo Rimarachin  
 LABORATORIA SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO


**LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
 Gerardo Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CP N° 207870



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR  
(S.P.T.) ASTM D 1586

PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".

UBICACIÓN: CHOTA  
SOLICITANTE: YONIB IVÁN HERRERA ROJAS Y MANUEL ROJAS PUSTAMANTE  
NIVEL DE REFERENCIA: DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS  
CALICATA: C-01 M-1 AL M-3

HECHO: R.C.E  
ING. RESP.: G.L.R.  
N° DE PERFORACION: 001  
FEHA: 11/07/2023

Prof. (m) 0.00	Inicio de Ensayo	N° 25	N° 39	N° 45	N° 30cm		SPT	R <sub>p</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	ψ (°)	S <sub>v</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	CLASIFICACIÓN SUCS			
					N° empes	N° correcto etc					Descripción	Tipo de Suelo	Símbolo	Muestra
1.00	0.00	8	8	11	39	14		57	31.3	1.43	Material limos inorgánicos de alta plasticidad, suelos elásticos de color marrón claro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	MH		M1
2.00	1.00	15	10	18	34	26		102	34.4	2.55	Material limos inorgánicos de alta plasticidad, suelos elásticos de color beige claro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	MH		M2
3.00	2.00	16	25	20	46	25		138	36.8	3.45	Material limos inorgánicos de alta plasticidad, suelos elásticos de color pardo oscuro, con alto contenido de humedad natural y alto porcentaje de plasticidad.	MH		M-03



LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
Erwin Clavo Rimarachin  
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
Geremias Rivas Lochin Rimarachin  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CP N° 267373



GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION  
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

# ESTRATO N°01

## (Df – 0.00 @ 1.00 m)

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC  
Erin Clavo Rimarachin  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Erin Clavo*  
Erin Clavo Rimarachin  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 257670

---

DIRECCIÓN: Jr. ANAXIMANDRO VEGA N° 865 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI N° 824970 – 2019/OSD



**LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS**

**PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PÉREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

(NORMA: MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS (CONCRETO Y PAVIMENTOS)**

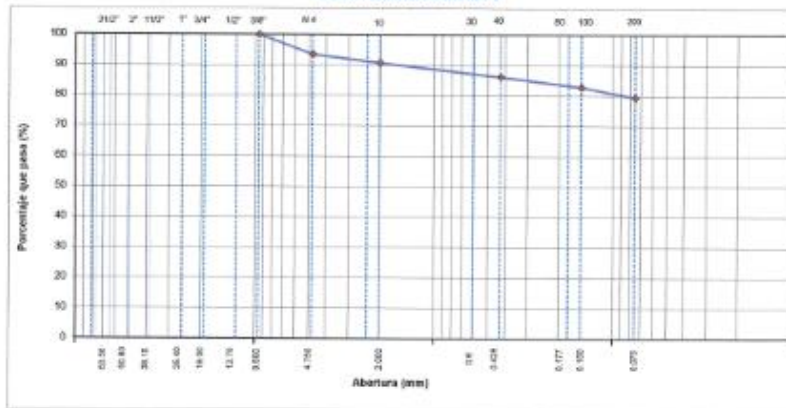
<b>ESTRUCTURA</b>	1	DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS	<b>HECHO POR</b>	1	G.E.R.
<b>UBICACIÓN</b>	1	CHOTA	<b>ING. RESP.</b>	1	H.C.R.
<b>SOLICITANTE</b>	1	YONER IVÁN BÉRBIDA ROSAS Y MARCEL ROSAS FUJITAMAYTE	<b>FECHA</b>	1	20/03/20

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>MATERIAL</b>	1	TOMADA DE 0.00 @ 1.00m	<b>TAMAÑO MÁXIMO</b>	1	-
<b>DIRECCIÓN</b>	1	E.E. ABEL CARBAJAL PÉREZ	<b>PESO INICIAL</b>	1	500.0 g
<b>CALICATA</b>	1	C-1	<b>FRACCIÓN SECA</b>	1	300.0 g
<b>MUESTRA</b>	1	M-1	<b>PROFUND. (M)</b>	1	DE 0.00 @ 1.00m

TAMIZ	ABERTURA (mm)	SECA	RETENIDA	RETENIDA	RETENIDO	PROCENTAJE	APLICACIONES	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.50	RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	A	
3"	76.20							
2 1/2"	63.50							% Masa Material <= 63.50
2"	50.80							% Masa Material <= 50.80
1 1/2"	38.10							Límite Líquido (LL): 53.5
1"	25.40							Límite Plástico (LP): 20.4
3/4"	19.00							Índice Plástico (IP): 33.1
1/2"	12.50							Clasificación (USCS): MH
3/8"	9.50					100.0		Clasificación (AASHTO): A-7.5 (16)
Nº 4	4.75	32.4	6.5	0.5	99.5			
Nº 8	2.36							
Nº 10	2.00	14.0	2.8	0.3	97.7			Contenido de Humedad (%): 31.94
Nº 15	1.18							Materia Orgánica: -
Nº 20	0.85							Índice de Compactación: -
Nº 30	0.60							Índice de Liquidez: -
Nº 40	0.425	22.60	4.5	13.8	86.2			Descripción del (C): -
Nº 50	0.300							
Nº 60	0.250							
Nº 100	0.150	17.00	3.4	17.2	82.8			<b>OBSERVACIONES:</b>
Nº 200	0.075	17.00	3.4	20.6	79.4			
< Nº 200	POUNDO	397.90	79.4	100.0				


**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**Observaciones:** LOS ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR FUERON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
 Erín Clavo Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
 Gerardo Armando Clavo Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. ÚP N° 267620

	<b>LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS</b>
	<b>PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PÉREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".</b>

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**  
(NORMA MTC E 108, ASTM D 2216)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
<b>ESTRUCTURA :</b> DISEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS	<b>HECHO POR :</b> G.R.R
<b>UBICACIÓN :</b> CHOTA	<b>ING. RESP. :</b> H.C.R
<b>SOLICITANTE :</b> YONER IVÁN HEREDIA ROJAS Y MANUEL ROJAS PUSTAMANTE	<b>FECHA :</b> 2023-08-02

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>MATERIAL :</b> TOMADA DE DF 0.00 @ 1.00 m.	<b>CALICATA :</b> C-1
<b>DIRECCIÓN :</b> I.E. ABEL CARBAJAL PÉREZ	<b>MUESTRA :</b> M-1
<b>MUESTRA :</b> M-1	<b>PROF. (M.) :</b> DF 0.00 @ 1.00 m.

MUESTRA	1			
SUELO HUMEDO + CAPSULA	780.0			
MASA SUELO SECO + CAPSULA (gr.)	584.0			
MASA DE CAPSULA (gr.)	0.0			
MASA DEL AGUA	196.0			
MASA DE SUELO SECO	584.0			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	33.56			

**PROMEDIO % DE HUMEDAD :** 33.6

**Observaciones:** LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR FUERON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE.


**LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
 Erlin Clavo Rimarachin  
LABORATORIO de Ingeniería y Construcción


**LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
 Geremias Rimarachin Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CP N° 267620



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".

LIMITES DE CONSISTENCIA

(NORMA NTC E 130, ASTM D418, AASHTO 180, NTC E 111, ASTM D2172, AASHTO T99)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS HECHO POR : G.R.R.  
 UBICACIÓN : CHOTA ING. RESP. : JUCR  
 SOLICITANTE : YONER IVÁN BEBEDA ROSAS Y MANUEL ROJAS FUSTAMANTE FECHA : 2023-08-02

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL : TOMADA DE DF-0.00 @ 1.00 m. CALCATA : C-1  
 DIRECCIÓN : DE ABEL CARBAJAL PEREZ MUESTRA : M-1  
 MUESTRA : M-1 PROFUNDIDAD : DE 0.00 @ 1.00 m.

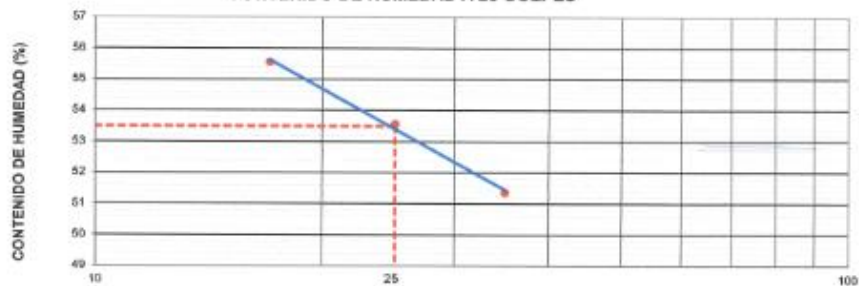
LIMITE LIQUIDO

N° TARRO		1	2	3	
MASA TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	47.80	47.56	47.80	
MASA TARRO + SUELO SECO	(g)	36.21	36.33	36.71	
MASA DE AGUA	(g)	11.59	11.17	11.09	
MASA DEL TARRO	(g)	15.35	15.48	15.12	
MASA DEL SUELO SECO	(g)	20.86	20.85	21.59	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	55.56	53.57	51.37	53.50
NUMERO DE GOLPES		11	25	35	25.67

LIMITE PLASTICO

N° TARRO		2	3		
MASA TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	18.52	18.35		
MASA TARRO + SUELO SECO	(g)	16.25	16.04		
MASA DE AGUA	(g)	2.27	2.29		
MASA DEL TARRO	(g)	8.79	8.31		
MASA DEL SUELO SECO	(g)	7.46	7.53		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	30.43	30.43		

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	53.5
LIMITE PLASTICO	30.4
INDICE DE PLASTICIDAD	23.1

Observaciones:

LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR FURON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE.

LABORATORIO  
 INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
 Erlin Clavo Rimarachin  
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO  
 INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
 Geremias Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 267870



GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION  
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

# ESTRATO N°01

## (Df – 1.00 @ 2.00 m)

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Erlin Clavo Rimarachin  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Erlin Clavo Rimarachin  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 207870

---

DIRECCIÓN: Jr. ANAXIMANDRO VEGA N° 865 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI N° 824970 – 2019/OSD



**LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS**

PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

(NORMA: NTC E 107, ASTM D422, AASHTO T8)

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

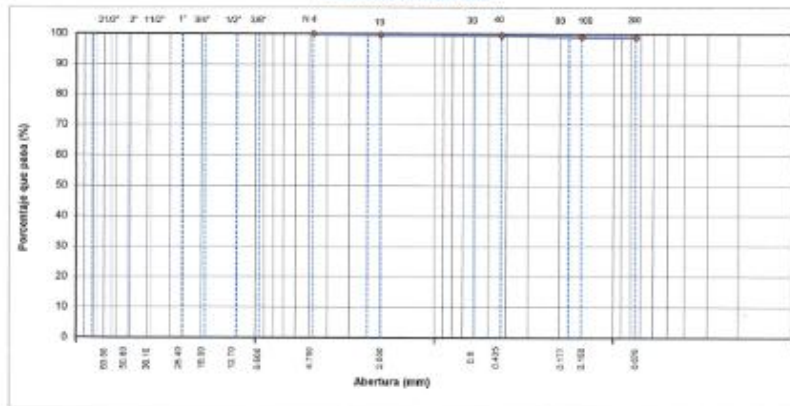
ESTRUCTURA	1	DESEMPEÑO SISMICO DE LOS MÓDULOS	HECHO POR	1	G.E.B.
UBICACIÓN	2	CHOTA	ING. RESP.	1	G.E.B.
SOLICITANTE	2	TORRE D'AM BARRERA BRUN Y MANUEL ROMA FUNDACIÓN	FECHA	2	20/02/23

**DATOS DE LA MUESTRA**

MATERIAL	1	TOMADA DE DF. 1.09 @ 2.00 m.	TAMAÑO MÁXIMO	1	
DIRECCIÓN	1	IC. ABEL CARBAJAL PEREZ	PESO INICIAL	1	500.0g
CALCATA	1	C-1	FRACCIÓN SECA	1	500.0g
MUESTRA	1	M.2	PROFUND. (M)	1	DC 1.09 @ 2.00 m.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA	RETENIDO	NO RETENIDO	PORCENTAJE QUE PASA	EMBRERA (mm)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					A	
2 1/2"	63.500						% Masa Material > 4: 0.3%
2"	50.800						% Masa Material < 4: 99.7%
1 1/2"	38.100						Límite Líquido (LL): 58.2
1"	25.400						Límite Plástico (LP): 31.5
3/4"	19.000						Índice Plástico (PI): 26.7
1/2"	12.500						Clasificación (USCS): MH
3/8"	9.500				100.0		Clasificación (AASHTO): A-7.5 (SO)
Nº 4	4.750	1.8	0.3	0.3	99.7		
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	1.0	0.2	0.5	99.5		Coeficiente de Uniformidad (Cu): 14.26
Nº 16	1.190						Índice Organza:
Nº 20	0.840						Índice de Compactación:
Nº 30	0.600						Índice de Liquidez:
Nº 40	0.425	2.40	0.5	1.0	99.0		Distribución del (UC):
Nº 50	0.300						
Nº 60	0.250						
Nº 75	0.190						
Nº 100	0.150	0.80	0.2	1.2	98.8		OBSERVACIONES:
Nº 200	0.075	1.00	0.3	1.5	98.5		
< Nº 200 FONDO		512.00	98.5	100.0			


**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**Observaciones:** LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR FUERON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE.

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Erlin Clavo Rimarachin  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Erlin Clavo Rimarachin Rimarachin  
INGENIERO CIVIL  
Reg. C.P. N° 267870

	<b>LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS</b>
	<b>PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".</b>

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**  
(NORMA MITC E 108, ASTM D 2216)

<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS</b>			
<b>ESTRUCTURA</b>	: DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS	<b>HECHO POR</b>	: G.R.R
<b>UBICACIÓN</b>	: CHOTA	<b>ING. RESP.</b>	: H.C.R
<b>SOLICITANTE</b>	: YONER IVAN HEREDIA ROSAS Y MANUEL ROSAS FUSTAMANTE	<b>FECHA</b>	: 2021-08-02

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
<b>MATERIAL</b>	: TOMADA DE DF: 1.00 @ 2.00 m.	<b>CALCATA</b>	: C-1
<b>DIRECCIÓN</b>	: E.E. ABEL CARBAJAL PEREZ	<b>MUESTRA</b>	: M-2
<b>MUESTRA</b>	: M-2	<b>PROF. (M.)</b>	: DF 1.00 @ 2.00 m.

MUESTRA	1			
SUELO HUMEDO + CAPSULA	650.0			
MASA SUELO SECO + CAPSULA (gr.)	499.0			
MASA DE CAPSULA (gr.)	0.0			
MASA DEL AGUA	151.0			
MASA DE SUELO SECO	499.0			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	30.26			

**PROMEDIO % DE HUMEDAD :** 30.3

**Observaciones:** LOS ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTANDAR FUERON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE.


**LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
*Erin Clavo Rimarachin*  
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO


**LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
*Erin Clavo Rimarachin*  
 Cereales Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. O/Nº 267020



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".

LIMITES DE CONSISTENCIA

(NORMA NTC E 110, ASTM D4318, AASHTO T99; NTC E 111, ASTM D4318, AASHTO T99)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS HECHO POR : G.R.R.  
 UBICACIÓN : CHOTA ING. RESP. : D.C.R.  
 SOLICITANTE : YONEX IVÁN HEREDIA ROJAS Y MANUEL ROJAS FUSTAMANTE FECHA : 2023-08-02

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL : TOMADA DE DF: 1.00 @ 2.00 m CALICATA : C-1  
 DIRECCIÓN : TE ABEL CARBAJAL PEREZ MUESTRA : M-2  
 MUESTRA : M-2 PROFUNDEIDAD : DE 1.00 @ 2.00 m

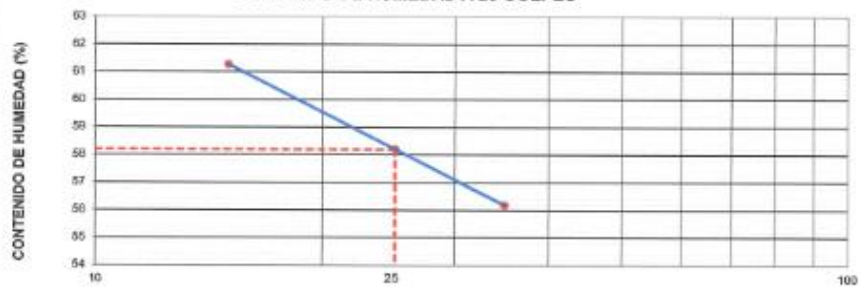
LIMITE LIQUIDO

Nº TARRO		4	5	6	
MASA TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	49.80	48.92	48.70	
MASA TARRO + SUELO SECO	(g)	36.09	36.48	36.90	
MASA DE AGUA	(g)	13.71	12.44	11.80	
MASA DEL TARRO	(g)	15.29	15.11	15.02	
MASA DEL SUELO SECO	(g)	21.40	21.37	21.18	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	61.28	58.21	56.19	58.56
NÚMERO DE GOLPES		15	25	35	25.00

LIMITE PLASTICO

Nº TARRO		4	5		
MASA TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	17.22	17.08		
MASA TARRO + SUELO SECO	(g)	14.90	14.60		
MASA DE AGUA	(g)	2.56	2.44		
MASA DEL TARRO	(g)	6.39	6.81		
MASA DEL SUELO SECO	(g)	8.07	7.79		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	31.72	31.32		

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	58.2
LIMITE PLASTICO	31.5
INDICE DE PLASTICIDAD	26.7

Observaciones:

LOS ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTANDAR FURON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
 Erlin Clavo Rimarachin  
 LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
 Gerardo Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. C.R.E.º 257870



GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION  
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

# ESTRATO N°01

## (Df – 2.00 @ 3.00 m)

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Gertrudis Rimarachin Rimarachin*  
INGENIERO CIVIL  
REG. CP N° 267029

---

DIRECCIÓN: Jr. ANAXIMANDRO VEGA N° 865 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI N° 824970 – 2019/OSD





**LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS**

**PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".**

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**  
(NORMA MTC E 108, ASTM D 2216)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
<b>ESTRUCTURA</b>	: DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS	<b>HECHO POR</b>	: G.R.R.
<b>UBICACIÓN</b>	: CHOTA	<b>ING. RESP.</b>	: I.L.C.R.
<b>SOLICITANTE</b>	: YONIX IVÁN HERRERA ROJAS Y MANUEL ROJAS PUSTAMANTE	<b>FECHA</b>	: 2023-08-02

DATOS DE LA MUESTRA			
<b>MATERIAL</b>	: TOMADA DE DF: 2.00 @ 3.00 m.	<b>CALCATA</b>	: C-1
<b>DIRECCIÓN</b>	: EE ABEL CARBAJAL PEREZ	<b>MUESTRA</b>	: M-3
<b>MUESTRA</b>	: M-3	<b>PROF. (M.)</b>	: DF 2.00 @ 3.00 m.

MUESTRA	I				
SUELO HUMEDO + CAPSULA	830.0				
MASA SUELO SECO + CAPSULA (gr.)	608.0				
MASA DE CAPSULA (gr.)	0.0				
MASA DEL AGUA	222.0				
MASA DE SUELO SECO	608.0				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	36.51				

**PROMEDIO % DE HUMEDAD :** 36.5

**Observaciones:** LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR FUERON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE.

**LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

**LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
*Geremias Rimarachin Rimarachin*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CP N° 207270

	<b>LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS</b>
	<b>PROYECTO: "DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PEREZ CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA, CHOTA".</b>

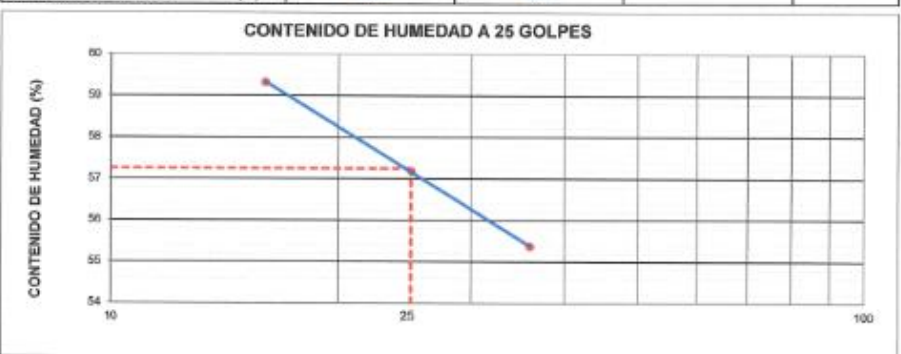
**LIMITES DE CONSISTENCIA**  
(NORMA METC E 110, ASTM D424, AASHTO T80, METC E 111, ASTM D4248, AASHTO T90)

<b>LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS</b>	
<b>ESTRUCTURA</b> : DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS MÓDULOS	<b>HECHO POR</b> : G.E.R.
<b>UBICACIÓN</b> : CHOTA	<b>ING. RESP.</b> : H.C.R.
<b>SOLICITANTE</b> : YONER IVÁN HERRERA ROJAS Y MANUEL ROJAS PLUTAMANTE	<b>FECHA</b> : 2023-08-02

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	
<b>MATERIAL</b> : TOMADA DE DF 2.00 @ 1.00 m	<b>CALICATA</b> : C-1
<b>DIRECCIÓN</b> : I.E. ABEL CARBAJAL PEREZ	<b>MUESTRA</b> : M-3
<b>MUESTRA</b> : M-3	<b>PROFUNDIDAD</b> : DF 2.00 @ 1.00 m

LÍMITE LÍQUIDO				
N° TARRO		7	8	9
MASA TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	50.80	50.80	50.70
MASA TARRO + SUELO SECO	(g)	37.68	37.95	38.02
MASA DE AGUA	(g)	13.20	12.85	12.68
MASA DEL TARRO	(g)	15.35	15.48	15.12
MASA DEL SUELO SECO	(g)	22.23	22.47	22.90
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	59.23	57.19	55.37
NÚMERO DE GOLPES		16	25	36
				57.30
				25.67

LÍMITE PLÁSTICO				
N° TARRO		6	7	
MASA TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	17.54	17.19	
MASA TARRO + SUELO SECO	(g)	15.51	15.18	
MASA DE AGUA	(g)	2.03	2.01	
MASA DEL TARRO	(g)	8.79	8.31	
MASA DEL SUELO SECO	(g)	6.72	6.67	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	30.21	30.11	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	57.3
LÍMITE PLÁSTICO	30.2
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	27.1

**Observaciones:** LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR FUERON REALIZADOS EN CONJUNTO CON EL SOLICITANTE


**LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
 Erlin Clavo Rimarachin  
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO


**LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
 Geremias Rimarachin Rimarachin  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 207679



"GSE LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN S.A.C." LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PANEL  
FOTOGRAFICO**

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN



Dirección: Jr. Anaximandro Vega N° 865 - Chota - Cajamarca

Tel: 930 866 995 - 939 225 167

RUC: 2060544225 - Email: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)



"GSE LABORATORIO INGENIERÍA & CONTRUCCIÓN S.A.C" LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO: DESEMPEÑO SISMICO DE LOS MODULOS  
DEL COLEGIO ABEL CARBAJAL PÉREZ  
CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO -  
ESTRUCTURA, CHOTA"**

**FOTOS TOMADAS EN CAMPO (ENSAYO DE SPT)**



Dirección: Jr. Anaximandro Vega N° 865 - Chota - Cajamarca  
Tel: 930 866 995 - 939 228 167  
RUC: 2060544225 - Email: [gselaboratorio5019@gmail.com](mailto:gselaboratorio5019@gmail.com)

LABORATORIO  
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
Geremías Ramalbach Jimenez  
JEFE DE LABORATORIO  
REG. CIP. N° 267879



"GSE LABORATORIO INGENIERÍA & CONTRUCCIÓN S.A.C." LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO Y PAVIMENTOS



LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONTRUCCIÓN S.A.C.  
*Gerente Responsable*  
JEFE DE LABORATORIO  
4640 DM. REG. DE M. 387878

Dirección: Jr. Anaximandro Vega N° 865 - Chota - Cajamarca

Cel: 930 866 995 - 939 225 167

RUC: 2060544225 - Email: [gslaboratorio2019@gmail.com](mailto:gslaboratorio2019@gmail.com)



LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONTRUCCIÓN S.A.C.  
Gerardo Amaraes Amaraes  
JEFE DE LABORATORIO  
D.C. 4650 024 1155 11 21 2018



LABORATORIO  
INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.  
*[Signature]*  
Gerardo Rumbautay Rumbautay  
JEFE DE LABORATORIO  
CALLE JERO CIVI REG. CIP N° 267878

Dirección: Jr. Anaximandro Vega N° 865 - Chota - Cajamarca

Cel: 930 866 995 - 930 225 167

RI C: 3060544225 - Email: [gselaboratorio7019@gmail.com](mailto:gselaboratorio7019@gmail.com)





LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONTRUCCIÓN S.A.C  
Cecilia Rosales  
JEFE DE LABORATORIO  
REG. SUP. N° 201870

Dirección: Jr. Anaximandro Vega N° 865 – Chota – Cajamarca

Cel: 930 866 995 - 930 225 167

RUC: 2060544225 - Email: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)

*Anexo 8. Ensayo de esclerometría*

**REPORTE DE ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA-C.N. ABEL CARBAJAL  
PÉREZ-COMERCIO-CHOTA**

**Información general:**

Fecha de ensayo: 22 de octubre del 2023

Temperatura del aire y tiempo de ensayo: 21 C°

Edad del concreto:

Pabellón "A" Módulo 01: 32 años

Pabellón "B" Módulo 01: 23 años

Pabellón "B" Módulo 02: 26 años

Pabellón "B" Módulo 03: 29 años

Identificación de la ubicación de la estructura ensayada en la construcción: "Desempeño sísmico de los módulos del colegio Abel Carbajal Pérez considerando la interacción suelo-estructura, Chota".

**Información acerca del concreto:**

Especificación de la resistencia del concreto en:

Losas: 175 Kg/cm<sup>2</sup>

Columnas: 175 Kg/cm<sup>2</sup>

Vigas: 175 Kg/cm<sup>2</sup>

**Identificación del martillo:**

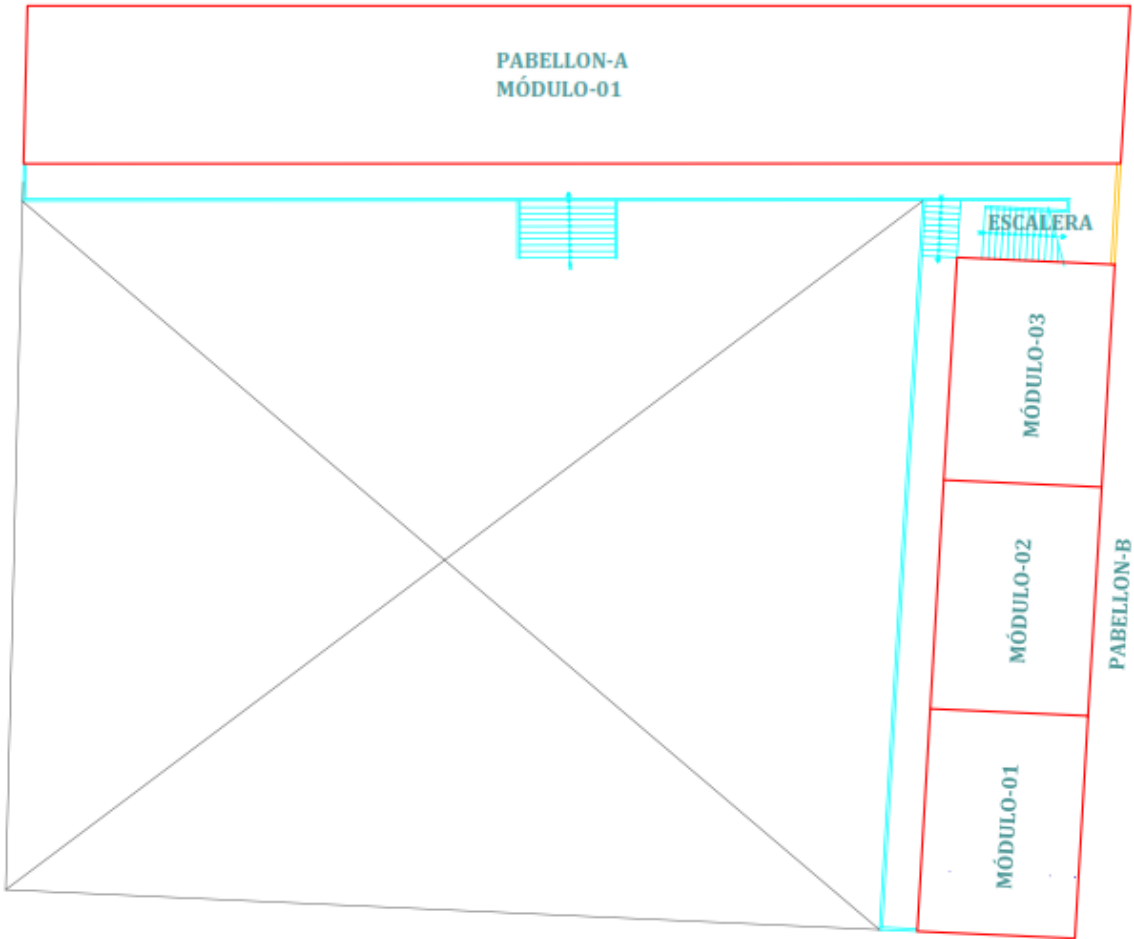
Descripción: Esclerómetro digital tipo N

Marca/modelo: ZC3-A

Número de serie: HT20097

Fecha de la calibración del martillo.

El esclerómetro utilizado cuenta con certificado de calibración de fecha 01 de marzo de 2022



COLEGIO COMERCIO  
*Pabellones y Módulos*

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Determinar la resistencia del concreto en los elementos estructurales del Colegio Nacional Abel Carbajal Pérez-Comercio de la Ciudad de Chota.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Evaluar la resistencia del concreto en los elementos estructurales del Colegio Nacional Abel Carbajal Pérez-Comercio de la Ciudad de Chota.

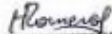



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° de Certificado de calibración: CC-0322001

Fecha de emisión: 01 de marzo del 2022

Descripción	: Esclerómetro digital tipo N
Marca/ modelo	: ZC3-A
Número de serie	: HT20097
Patrón usado	: Yunque de calibración
Marca	: PyS
Número de serie	: 14736
Fecha de calibración	: 23/02/22
Lugar de calibración	: DHR Ingeniería EIRL Ca. Domingo Nieto 3751 SMP, Lima-Perú
Condiciones ambientales	: 27.4 °C
Normas de referencia:	
-	ASTM C805
-	NTP 339.181-2013 - 2ª Edición

  
HENRY ROCOSVELY  
HUACACHICO ROMERO  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CP N° 248879

  
DHR INGENIERIA  
P.S.C. 000012308  
CONSULTORA -001- CALIBRACIONES



Resultados:

Nº	01/03/2022
Item	Índice de rebote
1	80.0
2	79.5
3	81.0
4	80.0
5	80.0
6	79.5
7	80.0
8	80.0
9	80.0
10	79.0
11	80.0
12	80.0
13	79.5
14	81.0
15	79.5
16	80.0
<b>Promedio</b>	<b>79.94</b>

Factor de corrección (FC):

$$FC = \frac{\text{Valor de calibración del yunque de prueba}}{\text{Promedio de los 16 impactos sobre el yunque}} = \frac{80}{79.94} \cong 1$$

Observaciones:

1. El equipo calibrado muestra valores concordantes con los requeridos en el yunque de calibración 80 ±2 Mpa
2. Los resultados obtenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, el usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos en intervalos apropiados.

Hecho por : Ing. Civil Henry Huacaychuco Romero  
 Clp. : 216876

DHR INGENIERIA  
 R.U.C. 2040472184  
 CONSULTORÍA - OT - CALIBRACIONES

*Henry Huacaychuco Romero*  
 HENRY HUACAYCHUCO ROMERO  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CP N° 216876

Se realizó una cuadrícula de 2x5, con recuadros de 5cm de lado para cada golpe, haciendo en total 10 golpes con el esclerómetro para cada punto de ensayo.

1	2
3	4
5	6
7	8
9	10



Foto: 01

Ubicación de la zona de ensayo en los elementos estructurales



Foto: 02

Retiro del tarrajeo en los puntos de ensayo



Foto: 03

Ensayo con esclerómetro en viga principal



Foto: 04

Ensayo de esclerometría en vigas principales



Foto: 05

Ensayo de esclerometría en columna



Foto: 06

Ensayo de esclerometría en viga principal



Foto: 07

Ensayo y toma de datos de esclerometría en vigas



Foto: 08

Registro y ubicación de puntos en columnas



Foto: 09

Equipo de trabajo de apoyo en los ensayos de esclerometría



Foto: 10

Tesistas y equipo de trabajo de ensayo de esclerometría en el Colegio Abel Carbajal  
Pérez-Comercio-Chota

**PABELLÓN “B”**  
**MÓDULO 01**

Dato de identificación		Del área de ejecución			Del área de supervisión			Del área de control			Del área de campo			Resultados					
Observación y Elemento	Agregado	Requisito del contrato	Características de la prueba	Condiciones de prueba	Intensidad de la supervisión	Ejemplar, Método y Tipo de Prueba	Fecha de última prueba	Observación	Altera de campo	Rebate	Rebate	Rebate	Rebate promedio						
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 2,2)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310107	23/02/2022		0,80 mm	24	26	23	27	27	28	26	26,30		
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 2,2)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310107	23/02/2022		2,30 mm	26	24	26	27	26	29	26	26,40		
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310106	23/02/2022		3,40 mm	26	31	34	32	32	34	30	31	31,90	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310106	23/02/2022		3,70 mm	27	26	30	24	27	30	32	28	27,80	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310106	23/02/2022		6,20 mm	22	24	21	24	22	24	23	24	23,90	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310106	23/02/2022		7,80 mm	20	20	22	20	20	22	22	24	24,00	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310106	23/02/2022		8,20 mm	24	20	22	20	20	21	20	23	22,20	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 2,2)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310101	23/02/2022		3,18 mm	24	26	24	22	20	27	23	26	25,10	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 2,2)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310101	23/02/2022		3,18 mm	30	30	30	29	29	32	30	31	29,20	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310101	23/02/2022		3,90 mm	30	34	31	32	30	33	30	30	31	32,22
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310101	23/02/2022		3,90 mm	30	33	30	32	34	30	32	34	34,44	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310101	23/02/2022		6,33	26	26	20	20	24	20	22	24	23,60	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310101	23/02/2022		6,33	26	26	20	20	20	20	22	24	23,60	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310101	23/02/2022		3,20 mm	26	25	25	33	31	27	31	26	26,40	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310107	23/02/2022		3,20 mm	28	31	30	29	29	32	29	31	29,40	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310106	23/02/2022		6,42	34	40	35	40	35	40	36	39	37,40	
Substrato "Malla" (0,25 cm x 0,80 cm) (p.e. 3,3)	19 mm	Cemento de 176 kg/van2 a los 20 días	Prueba realizada y Matrícula correcta a la competencia de examen	Interrupción	Reca	Inspección Visual ZC,LA Tipo N Norma I1-2310106	23/02/2022		6,42	34	40	36	37	34	39	34	40	34,90	



**PABELLÓN “B”**  
**MÓDULO 02**

De la Estructura		Del área de ensayo				Del Esclerómetro		Del Ensayo en Campo					Resultados									
Ubicación y Elemento	Agregado	Resistencia del concreto	Características de la superficie	Profundidad de penetración	Condición de curado	Humedad de la superficie	Tipo de Manillo y Serie	Fecha de última calibración	Orientación	Altura de ensayo	Echete					Echete promedio						
Columna "Rect."* (0.25 cm x 0.40 cm ) Eje 4-4 Primer piso	19 mm	Concreto de F15 Ag/cm2 a los 28 días	Textura acabada y pulida. Matrícula cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Esclerómetro Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20097	23/02/2022	0°	0.40 m	36	31	31	34	35	34	36	34	31	35	33.70	
Columna "Rect."* (0.25 cm x 0.40 cm ) Eje 4-4 Primer piso	19 mm	Concreto de F15 Ag/cm2 a los 28 días	Textura acabada y pulida. Matrícula cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Esclerómetro Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022	0°	1.50 m	42	41	42	40	39	36	42	38	42	40	40.20	
Columna "Rect."* (0.25 cm x 0.40 cm ) Eje 4-4 Primer piso	19 mm	Concreto de F15 Ag/cm2 a los 28 días	Textura acabada y pulida. Matrícula cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Esclerómetro Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022	0°	2.05 m	26	28	23	25	25	24	22	24	25	25	27	24.90
Viga Principal (25 cm x 30 cm) Eje 4-4 Primer piso	19 mm	Concreto de F15 Ag/cm2 a los 28 días	Textura acabada y pulida. Matrícula cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Esclerómetro Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20101	23/02/2022	0°	3.05 m	36	32	35	38	35	35	35	38	36	35	35	35.50
Viga Principal (25 cm x 30 cm) Eje 4-4 Primer piso	19 mm	Concreto de F15 Ag/cm2 a los 28 días	Textura acabada y pulida. Matrícula cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Esclerómetro Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20103	23/02/2022	0°	3.05 m	36	42	38	38	42	36	42	38	42	38	37	38.78
Losa Aligerada (30 cm) pasadizo Losa primer piso	19 mm	Concreto de F15 Ag/cm2 a los 28 días	Textura rugosa	2 cm	Intemperie	Seca	Esclerómetro Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20107	23/02/2022	90°	3.25 m	33	33	34	34	32	35	35	35	38	35	35	34.40
Losa Aligerada (30 cm) pasadizo Losa primer piso	19 mm	Concreto de F15 Ag/cm2 a los 28 días	Textura rugosa	2 cm	Intemperie	Seca	Esclerómetro Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20108	23/02/2022	90°	3.25 m	29	29	34	38	30	37	30	36	34	35	35	34.40

D.E. de Ejecución		Resultados					Observaciones	
Ubicación y elemento	Rebote promedio	Fck cube (N/mm <sup>2</sup> )	Limites por dispersión (N/mm <sup>2</sup> )	♦ Fv (kg/cm <sup>2</sup> )	Limites (kg/cm <sup>2</sup> )	** RESISTENCIA FINAL POR ELEMENTO ESTRUCTURAL		
Columna "Wests" (0.25 cm x 0.40 cm) Eje 4-4 Primer piso	33.70	31.43	24.93	37.93	256.39	309.41		
Columna "Wests" (0.25 cm x 0.40 cm) Eje 4-4 Primer piso	40.20	42.92	36.42	49.42	350.13	403.16	Segun Taramila G. (Coloquio Virtual 2020) hay distintos factores que afectan los resultados del esclerómetro, uno de los cuales son las superficies acabadas y los materiales utilizados a la superficie que hacen aumentar el número de rebote tomado durante el ensayo.	
Columna "Wests" (0.25 cm x 0.40 cm) Eje 4-4 Primer piso	24.00	17.24	10.74	23.74	140.67	193.70	Para el caso de vigas y columnas en la I.E. en estado, se ha podido la superficie de ensayo con un disco de alfiler para concreto el cual ha dejado la superficie completamente lisa. En todos estos elementos ensayados también se ha identificado un grado grueso cerca a la superficie donde se ha realizado los rebotes con el esclerómetro.	
Viga Principal (24 cm x 50 cm) Eje 4-4 Primer piso	35.50	34.52	28.02	41.02	281.64	334.67	Por tanto debido a la dispersión de valores con los que se ha elaborado las curvas de número de rebote y resistencia del concreto del esclerómetro utilizado y considerando que las condiciones de la superficie estas descritas causaron el aumento del número de rebote ensayado, se tomaron los valores de límite inferior de la resistencia $f_c$ en kg/cm <sup>2</sup> del concreto ensayado.	
Viga Principal (24 cm x 50 cm) Eje 4-4 Primer piso	38.78	40.33	33.83	46.83	330.62	382.05		
Losa Aligerada (20 cm) pandero Losa primer piso	34.40	38.32	33.82	42.82	312.65	340.26	Segun Taramila G. (Coloquio Virtual 2020) hay distintos factores que afectan los resultados del esclerómetro por ejemplo las lecturas excesivas causan la disminución del número de rebote tomado durante el ensayo.	
Losa Aligerada (20 cm) Pandero Losa primer piso	34.40	38.32	32.32	44.32	312.65	361.89	Por esta razón se ha tomado los valores del límite superior del ensayo de esclerómetro ya que la superficie de ensayo en las losas no han logrado ser pulidas completamente y se usaron cuantas más veces posible, lo que ha hecho disminuir el número de rebote.	
* Los valores Fck cube en N/mm <sup>2</sup> son para cubos de 150 x 150 x 150 mm, por tanto para resistencia $f_c$ en cilindros se multiplica por 0.80 al Fck cube que es el factor de corrección de funcionamiento del esclerómetro utilizado (Esclerómetro Mecánico ZC-3-A, Tipo N, Serie HT26097)								
** Por la incertidumbre del ensayo de esclerómetro se ha considerado el 90% de la resistencia resultante en kg/cm <sup>2</sup> (Gonzalez, 2018, p. 103)								

**PABELLÓN “B”**  
**MÓDULO 03**

De la Instrucción		Del área de ensayo				Del Fraccionamiento		Del Ensayo en Cuerpo							Resultado								
Ubicación y Elemento	Agregado	Resistencia del concreto	Característica de la superficie	Profundidad de pulido	Condiciones de curado	Humedad de la superficie	Tipo de Martillo y serie	Fecha de última calibración	Orientación	Altura de ensayo	Echete							Resultado promedio					
Columna "Rect." (0.25 cm x 0.40 cm) Fig. 6-6 Segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022		3.40 m	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	24.00		
Columna "Rect." (0.25 cm x 0.40 cm) Fig. 6-6 Segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022		4.90 m	26	22	24	26	21	20	20	22	22	22	22	22.90	
Columna "Rect." (0.25 cm x 0.40 cm) Fig. 6-6 Segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022		5.90 m	26	20	27	26	22	27	24	26	22	22	22	22	24.20
Columna "Rect." (0.25 cm x 0.40 cm) Fig. 7-7 Tercer piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022		6.20 m	41	26	41	41	37	41	40	40	41	41	41	41	39.70
Columna "Rect." (0.25 cm x 0.40 cm) Fig. 7-7 Tercer piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022		7.40 m	36	35	36	38	35	34	34	38	33	35	35	35	35.35
Columna "Rect." (0.25 cm x 0.40 cm) Fig. 7-7 Tercer piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20098	23/02/2022		8.25 m	34	36	34	38	34	38	32	32	34	34	34	34	34.50
Viga Principal (25 cm x 50 cm) Fig. 6-6 Segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20103	23/02/2022		5.90 m	34	38	32	38	32	38	32	38	34	34	34	34	35.33
Viga Principal (25 cm x 50 cm) Fig. 6-6 Segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20103	23/02/2022		5.90 m	30	33	31	28	30	24	31	31	32	33	33	33	31.56
Viga Principal (25 cm x 50 cm) Fig. 6-6 Tercer piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20103	23/02/2022		8.35 m	26	26	27	29	28	28	28	26	27	27	27	27	27.17
Losa Aligerada (30 cm) Fig. 6-6 y 7-7 Losa segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura acabada y pulido. Matrículas cerca a la superficie de ensayo	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20107	23/02/2022		8.35 m	30	24	30	28	27	28	30	24	26	27	27	27	26.83
Losa Aligerada (30 cm) Pantón Losa segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura rugosa	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20108	23/02/2022		8.42 m	42	44	43	44	38	38	39	40	41	43	43	41.20	
Losa Aligerada (30 cm) Pantón Losa segundo piso	19 mm	Concreto de 175 Ag+M2 a los 28 días	Textura rugosa	2 cm	Intemperie	Seca	Fechonomo Mecánico ZC3-A Tipo N Serie HT20108	23/02/2022		8.42 m	41	43	44	42	40	41	42	43	40	42	42	42	41.75

De la Estructura Ubicación y Elemento	Rebate proyectado	Fck cable (N/mm <sup>2</sup> )	Límite por deformación (N/mm <sup>2</sup> )	Resultados		Láminas (kg/cm <sup>2</sup> )	** RESISTENCIA FINAL POR ELEMENTO ESTRUCTURAL	Observaciones
				# Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	100 kg/cm <sup>2</sup>			
Columna "Rock" 0.25 cm x 0.40 cm ) Fig. 6-6 Segundo piso	24.00	15.88	9.38	22.38	129.56	76.54	182.99	
Columna "Rock" 0.25 cm x 0.40 cm ) Fig. 6-6 Segundo piso	22.90	14.24	7.54	20.34	116.17	65.14	169.19	
Columna "Rock" 0.25 cm x 0.40 cm ) Fig. 6-6 Segundo piso	23.20	17.79	11.20	24.29	144.40	91.38	197.43	
Columna "Rock" 0.25 cm x 0.40 cm ) Fig. 6-6 Segundo piso	39.70	42.01	35.51	45.51	342.07	289.65	395.70	
Columna "Rock" 0.25 cm x 0.40 cm ) Fig. 7-7 Tercer piso	35.35	34.26	27.76	40.76	279.52	224.69	332.54	
Columna "Rock" 0.25 cm x 0.40 cm ) Fig. 7-7 Tercer piso	34.50	32.89	26.30	39.30	267.55	214.52	328.57	
Viga Principal 3.5 cm x 30 cm ) Fig. 6-6 segundo piso	35.35	34.24	27.54	40.54	279.28	224.29	332.51	
Viga Principal 3.5 cm x 30 cm ) Fig. 6-6 segundo piso	31.56	27.83	21.33	34.33	227.00	173.98	289.03	
Viga Principal 3.5 cm x 30 cm ) Fig. 6-6 tercer piso	27.17	20.75	14.25	27.25	169.24	116.22	222.27	
Viga Principal 3.5 cm x 30 cm ) Fig. 7-7 tercer piso	26.85	20.22	13.72	26.72	164.99	111.99	218.01	
Losa Aligeral 20 cm ) Fig. 6-6 y 7-7 Losa segundo piso	41.20	36.85	32.25	41.25	308.61	261.99	337.52	
Losa Aligeral 20 cm ) Fig. 6-6 y 7-7 Losa segundo piso	41.75	37.88	31.88	42.88	308.02	260.08	337.97	

\* Los valores Fck cable en N/mm<sup>2</sup> son para cables de 150 x 150 x 150 mm, por tanto para resistencia Fc en cilindros se multiplica por 0.80 al Fck cable que es el factor de conversión de Fc a cilindros de 150 mm de diámetro (Normas, 2018, p. 103)

\*\* Por la incertidumbre del ensayo de esliconometría se ha considerado el 90% de la resistencia resultante en kg/cm<sup>2</sup> (Normas, 2018, p. 103)

Segun Tomadas G. (Coloquio Virtual 2020) hay distintas factores que afectan los resultados del esliconometría por ejemplo las lecturas incorrectas causan la **distorsión del número de rebote** tomado durante el ensayo.

Por esta razón se ha tomado los valores del límite superior del ensayo de esliconometría ya que las lecturas en las losas no han logrado ser padidas completamente y así lecturas en **vastante rasgos**, lo que ha hecho disminuir el número de rebote.

**PABELLÓN “A”**  
**MÓDULO 01**





**ESCALERA**

De la Estructura		Del área de ensayo			Del Ensayo en Compresión			Resultados					
Ubicación y Elemento	Agregado	Resistencia del concreto	Características de la superficie	Profundidad de grabado	Condiciones de curado	Humedad de la superficie	Tipo de Mortillo y Serie	Fecha de última aplicación	Orientación	Altera de ensayo	Rebote		Rebote promedio
Barras ( $\phi=9.17$ m) Escalera	19 mm	Concreto de 17% Agre#2 a los 28 días	Trizas acubado y pelada	2 cm	Intemperie	Seca	Ensayos Mortisco ZC3-A Tipo N Serie HT20097	23/02/2022	90°	0.40 m	30 29 30 29 32 25 30 28 32 32		29.30
Viga (25 cm x 50 cm) Escalera	19 mm	Concreto de 17% Agre#2 a los 28 días	Trizas acubado y pelada	2 cm	Intemperie	Seca	Ensayos Mortisco ZC3-A Tipo N Serie HT20097	23/02/2022	90°	3.05 m			26.90
Losa Maciza (28 cm) Escalera	19 mm	Concreto de 17% Agre#2 a los 28 días	Trizas raspa	2 cm	Intemperie	Seca	Ensayos Mortisco ZC3-A Tipo N Serie HT20097	23/02/2022	90°	3.25 m	17 20 18 16 20 18 21 18 20 21		18.90

De la Estructura		Resultados				Condiciones especiales que puedan afectar los datos del ensayo	
Ubicación y Elemento	Rebote promedio	Fck cubo (N/mm <sup>2</sup> )	Llaves por dispersión (N/mm <sup>2</sup> )	* Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Llaves (kg/cm <sup>2</sup> )	** RESISTENCIA FINAL POR ELONGAMIENTO ESTRUCTURAL	Observaciones
Barras ( $\phi=9.17$ m) Escalera	29.30	24.14	17.64	196.92	143.59	139 kg/cm <sup>2</sup>	Según (normas CO 920000 y normas Veritas 9903) hay algunas testuras que afectan los resultados de ensayos, de ahí se realizó con las superficies acubadas y los resultados cercanos a la superficie que hace aumentar el número de rebote tomado durante el ensayo.
Viga (25 cm x 50 cm) Escalera	26.90	23.59	17.90	191.97	138.65	122 kg/cm <sup>2</sup>	Para el caso de vigas y columnas en la U.E. en estudio se le pidió la superficie de ensayo para un diseño de detalle para concreto de 17% de agua de jable la superficie completamente lisa. En todos estos elementos ensayados también se le identificó agregado grueso cerca a la superficie donde se le realizó los rebotes con el esclerómetro.
Losa Maciza (28 cm) Escalera	18.90	14.08	8.58	114.89	76.18	134 kg/cm <sup>2</sup>	Según Tamielán G. (Colegio Veritas 2020) hay algunas testuras que afectan los resultados del ensayo por ejemplo las testuras raspa causan la disminución del número de rebote tomado durante el ensayo.  Por esta razón se le tomó los valores del límite superior del ensayo de esclerómetro se que las superficies de ensayo en las losas se han logrado ser pedida completamente y su testura es bastante raspa, lo que ha hecho disminuir el número de rebote.

\* Los valores Fck cubo en N/mm<sup>2</sup> son para cubos de 150 x 150 x 150 mm, por eso para convertirlo fc en cilindro se multiplica por 0.80 a 1/4 cubic que es el factor de conversión de ensayo utilizado (Instituto

Mortisco ZC3-A, Tipo N, Serie HT20097)

\*\* Por la insustentabilidad del ensayo de esclerómetro se le consideró el 90% de la resistencia resultante en kg/cm<sup>2</sup> (Normas, 2018, p. 101)

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO DE ESCLEROMETRIA				
PABELLÓN/MÓDULO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA INICIAL	RESISTENCIA ACTUAL	OBSERVACIÓN
PAB. A/MOD. 01	COLUMNAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	194 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia superior a lo especific.
	VIGAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	205 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia superior a lo especific.
	LOSA ALIGERADA	175 Kg/cm <sup>2</sup>	273 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia superior a lo especific.
PAB. B/MOD. 01	COLUMNAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	89 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia muy baja
	VIGAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	115 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia baja
	LOSA ALIGERADA	175 Kg/cm <sup>2</sup>	305 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia superior a lo especific.
PAB. B/MOD. 02	COLUMNAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	176 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia aprox. a lo especific.
	VIGAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	227 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia superior a lo especific.
	LOSA ALIGERADA	175 Kg/cm <sup>2</sup>	320 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia superior a lo especific.
PAB. B/MOD. 03	COLUMNAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	100 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia baja
	VIGAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	157 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia baja
	LOSA ALIGERADA	175 Kg/cm <sup>2</sup>	313 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia superior a lo especific.
ESCALERA	COLUMNAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	130 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia baja
	VIGAS	175 Kg/cm <sup>2</sup>	125 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia baja
	LOSA ALIGERADA	175 Kg/cm <sup>2</sup>	136 Kg/cm <sup>2</sup>	resistencia baja

## **CONCLUSIONES**

- ❖ Se determinó la resistencia del concreto de los elementos estructurales del Colegio Abel Carbajal Pérez-Comercio de la Ciudad de Chota, la cual se puede observar que en algunos de ellos no llega a lo especificado (175 Kg/cm<sup>2</sup>) y en otros casos supera la resistencia especificada por lo que se hará su análisis en el desarrollo del trabajo de investigación.
- ❖ Se evalúa que la resistencia del concreto que ha sido diseñada es de 175 kg/cm<sup>2</sup> y comparando con la resistencia actual de cada uno de los elementos estructurales (columnas, vigas y losas), se determina que en dichos elementos que disminuye su resistencia son vulnerables a los diferentes esfuerzos que soporta dicha edificación.

*Anexo 9. Análisis de irregularidad estructural de la edificación*

## ANALISIS ESTATICO PARA IREGULARIDADES MOD: A

### I) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Cbx= Porticos de Concreto  
 Cty= Albañileria

Periodo Fundamental de Vibración

E-030

Hn= 9.1  
 Cbx= 35  
 Cty= 60

Tx= 0.26 seg  
 Ty= 0.15 seg

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



#### Los parametros sismicos

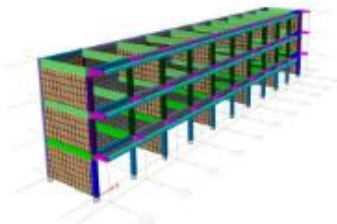


Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.2
3	0.3
2	0.5
1	0.8

Z= 0.25  
 U= 1.00  
 S= 1.20  
 C=   
 R=



	TP	T	TL
S2	0.6		2

#### Coefficiente de reducción "R"

Factor de Irregularidad en altura  
 Factor de Irregularidad en planta

la= 1.00  
 lp= 1.00

Rx= 8.00

Porticos de Concreto

Ry= 3.00

Albañilería

**Cálculo de amplificación sísmica "C"**

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$\gamma < \gamma_v$

$\xi = 2,5$

Tx= 0.26  
Ty= 0.15  
TP= 0.00

Cx =	2.5
Cy =	2.5

**Calculo del factor C "Coef. Cortante"**

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.1406  
Cy=ZUSCy/R = 0.3750

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X	C/R ≥ 0.11	0.313	OK
en el eje Y	C/R ≥ 0.11	0.833	OK

**Fuerza en la base.**

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos de la estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	11300.72	11300.72	111607.31	111607.31
Piso 2	32183.67	32183.67	315615.60	315615.60
Piso 1	32713.62	32713.62	320814.62	320814.62

Peso en X= 748037.52

Peso en y= 748037.52

La fuerza cortante en X : Vx= 105192.78 105.19ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 280514.07 280.51ton

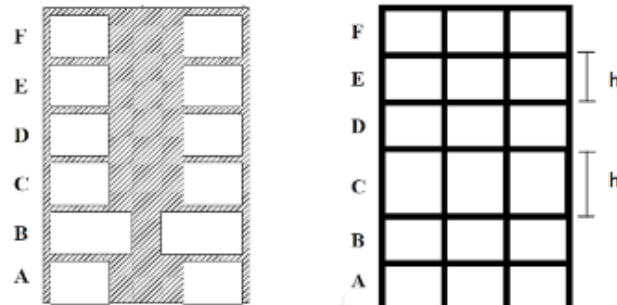
Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

**IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA**

	Factor de Irregularidad $I_a$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_a$
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0.75	1	1	1
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.5	1	1	1
Irregularidad De Peso O Masa	0.9	1	1	1
Irregularidad De Resistencia - Piso Débil	0.75	1	1	1
				1

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO)**



IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO:

$$K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$K_i < 0.80 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$$

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX**

		Rigidez	K i < 70% (ki+1)	Ki < 80% (Ki+1 Ki+2 + Ki+3)/3	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	24098.056			
Nivel 2	SIS_EST-X	137085.536	569%	569%	REGULAR

Nivel 1	SIS_EST-X	136463.953	100%	169%	REGULAR
---------	-----------	------------	------	------	---------

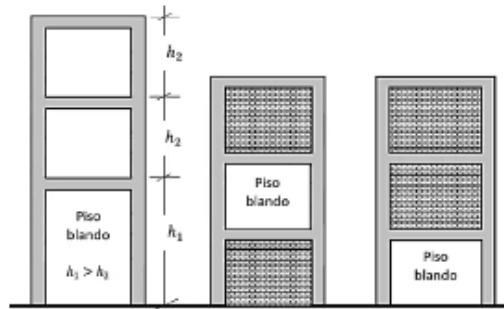
1

### IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY

		Rigidez	$K_i < 70\% (k_{i+1})$	$K_i < 80\% (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	43349.872			
Nivel 2	SIS_EST-Y	105190.193	243%	243%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	118177.927	112%	159%	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ - (PISO BLANDO)



### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	24098.056			
Nivel 2	SIS_EST-X	137085.536	569%	569%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	136463.953	100%	169%	REGULAR

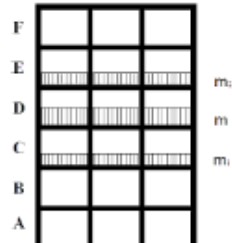
1

### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	43349.872			
Nivel 2	SIS_EST-Y	105190.193	243%	243%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	118177.927	112%	159%	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA



#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE SUPERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	8.73618	86	REGULAR
Nivel 1	D1	8.81444	86	-----

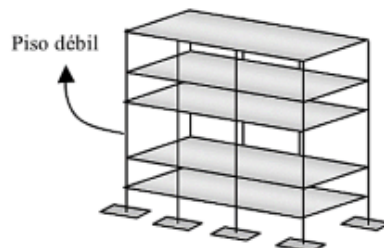
1

#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE INFERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	8.73618	86	REGULAR
Nivel 1	D1	8.81444	86	

1

### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - PISO DEBIL



#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - XX

NIVEL	CASO	V <sub>x</sub>	0.8 (V <sub>x</sub> )	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	26.7	21.4	REGULAR
Nivel 2	SIS_EST-X	78.2	62.5	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	105.2		

1

#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - YY

NIVEL	CASO	V <sub>y</sub>	0.8 (V <sub>y</sub> )	Control E-030, 2018
-------	------	----------------	-----------------------	---------------------

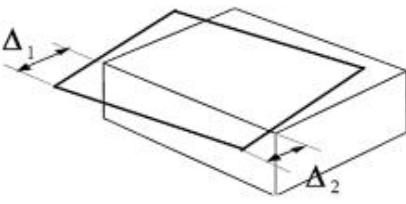
Nivel 3	SIS_EST- Y	71.2	57.0	REGULAR
Nivel 2	SIS_EST- Y	208.5	166.8	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST- Y	280.5		

Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA				
	Factor de Irregularidad $I_p$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_p$
Irregularidad Torsional	0.75	1	1	1
Esquinas Entrantes	0.9	1	1	1
Sistemas no Paralelos	0.9	1	1	1
				1

**IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA**



Si  $\Delta_{\text{máx}} \geq 1.3 \Delta_{\text{prom}} \Rightarrow$  Irregular  
 Donde  $\Delta_{\text{prom}} = (\Delta_1 + \Delta_2) / 2$  y  $\Delta_{\text{máx}} = \Delta_1$

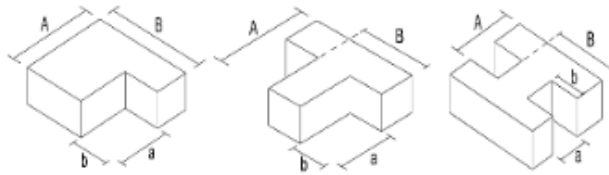
IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - XX					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X				
Nivel 2	SIS_EST-X	0.000205	0.000190	1.079	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	0.000253	0.000241	1.050	REGULAR

1

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - YY					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y				
Nivel 2	SIS_EST-Y	0.000662	0.000661	1.0015	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	0.000746	0.000742	1.0054	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES



Si  $a/A \geq 0.15$  y  $b/B \geq 0.15 \Rightarrow$  Irregular

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES

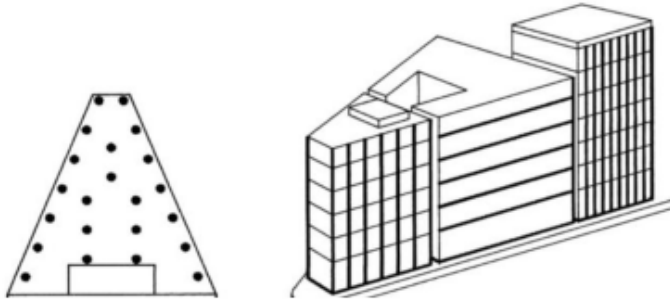
Nº PISO	SENTIDO X-X		SENTIDO Y-Y		CONTROL E-030 (20%)	
	Lado "A" (m)	Lado "a" (m)	Lado "B" (m)	Lado "b" (m)	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y
Nivel 4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 3	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 2	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 1	1.00	0.00	9.40	0.00	0%	0%

IRREGULARIDAD EN SENTIDO X-X	IRREGULARIDAD EN SENTIDO Y-Y	CONTROL E-030
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR

1

1

### SISTEMAS NO PARALELOS





**IRREGULARIDAD DISCONTINUIDAD EXTREMA EN LOS SISTEMAS RESISTENTES**

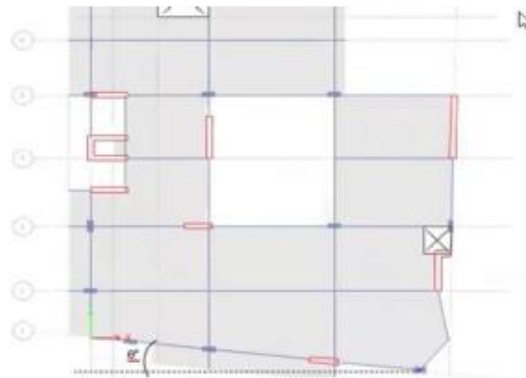
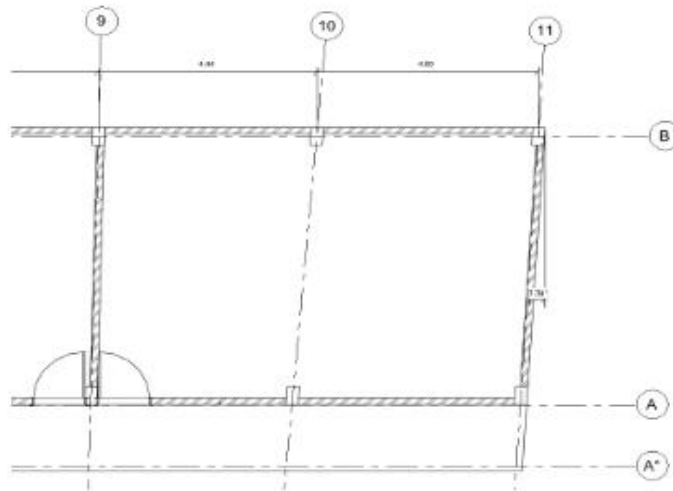
SENTIDO X-X

SENTIDO Y-Y

Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - NO APLICA	CONTROL E-030	Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - SI APLICA	CONTROL E-030
3.39	NO APLICA	REGULAR	3.39	REGULAR	REGULAR
3.39	NO APLICA	REGULAR	3.39	REGULAR	REGULAR
3.39	NO APLICA	REGULAR	3.39	REGULAR	REGULAR

1

1



## ANALISIS ESTATICO PARA IREGULARIDADES N°01\_C

### I) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Cbx= Porticos de Concreto  
 Cty= Albañileria

#### Periodo Fundamental de Vibración

Hn= 8.4  
 Cbx= 60  
 Cty= 60  
  
 Tx= 0.16 seg  
 Ty= 0.16 seg

E-030

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



#### Los parametros sismicos

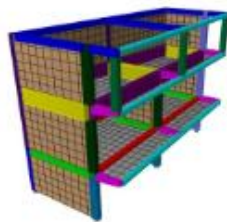


Tabla N° 1	
FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.25
3	0.35
2	0.5
1	0.75

Z= 0.25  
 U= 1.00  
 S= 1.20  
 C=   
 R=



	TP	T	TL
S2	0.6		2

#### Coefficiente de reducción "R"

Factor de Irregularidad en altura  
 Factor de Irregularidad en planta

la= 1.00  
 lp= 1.00

Rx= 8.00

Dual

Ry= 3.00

Dual

**Cálculo de amplificación sísmica "C"**

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$\gamma < 1.5$

$\xi = 2.5$

Tx= 0.16

Ty= 0.16

TP= 0.00

Cx = 2.5  
Cy = 2.5

**Calculo del factor C "Coef. Cortante"**

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.1406

Cy=ZUSCy/R = 0.3750

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X C/R ≥ 0.11 0.313 OK  
en el eje Y C/R ≥ 0.11 0.833 OK

**Fuerza en la base.**

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos d ela estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	2469.99	2469.99	24222.45	24222.45
Piso 2	6139.30	6139.30	79619.67	79619.67
Piso 1	6629.71	6629.71	66976.92	66976.92

Peso en X= 171019.04

Peso en y= 171019.04

La fuerza cortante en X : Vx= 24049.55 24.05ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 64132.14 64.13ton

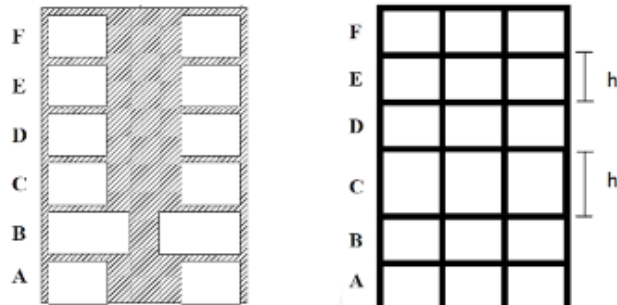
Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

**IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA**

	Factor de Irregularidad $I_a$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_a$
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0.75	1	1	1
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.5	1	1	1
Irregularidad De Peso O Masa	0.9	0.9	0.9	0.9
Irregularidad De Resistencia - Piso Débil	0.75	1	1	1
				<b>0.9</b>

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO)**



IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO:

$$K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$K_i < 0.80 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$$

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX**

Nivel	Caso	Rigidez Tn/m	$K_i < 70\% (k_{i+1})$ Tn/m	$K_i < 80\% (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$ Tn/m	Control
Nivel 3	SIS_EST-X	4924.338			E-030, 2018
Nivel 2	SIS_EST-X	19106.144	388%	388%	REGULAR

Nivel 1	SIS_EST-X	30847.284	161%	257%	REGULAR
---------	-----------	-----------	------	------	---------

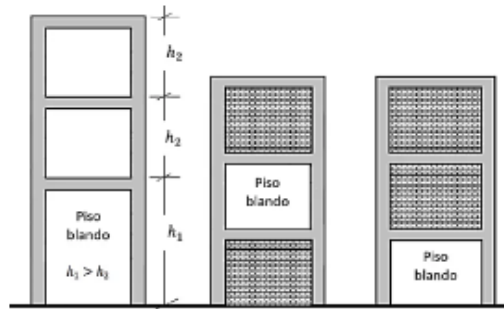
1

### IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY

		Rigidez	$K_i < 70\% (k_{i+1})$	$K_i < 80\% (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	3752.59			
Nivel 2	SIS_EST-Y	18024.92	480%	480%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	31420.71	174%	289%	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ - (PISO BLANDO)



### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	4924.338			
Nivel 2	SIS_EST-X	19106.144	388%	388%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	30847.284	161%	257%	REGULAR

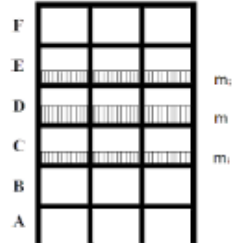
1

### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	3752.587			
Nivel 2	SIS_EST-Y	18024.920	480%	480%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	31420.714	174%	289%	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA



#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE SUPERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	2.82117	28	IRREGULAR
Nivel 1	D1	1.86706	18	

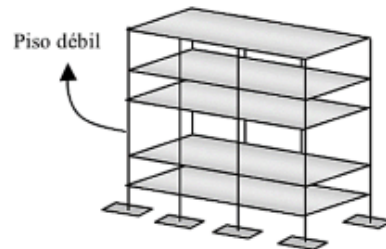
0.9

#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE INFERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	2.82117	28	IRREGULAR
Nivel 1	D1	1.86706	18	

0.9

### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - PISO DEBIL



#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - XX

NIVEL	CASO	V <sub>x</sub>	0.8 (V <sub>x</sub> )	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	5.7	4.6	REGULAR
Nivel 2	SIS_EST-X	19.1	15.3	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	24.0		

1

#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - YY

NIVEL	CASO	V <sub>y</sub>	0.8 (V <sub>y</sub> )	Control E-030, 2018
-------	------	----------------	-----------------------	---------------------

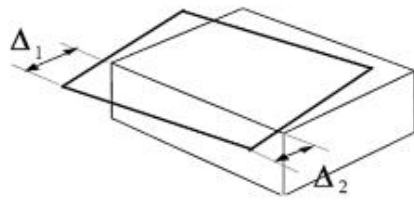
Nivel 3	SIS_EST- Y	15.3	12.2	REGULAR
Nivel 2	SIS_EST- Y	50.9	40.7	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST- Y	64.1		

Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA				
	Factor de Irregularidad $I_p$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_p$
Irregularidad Torsional	0.75	0.75	1	<b>0.75</b>
Esquinas Entrantes	0.9	1	1	<b>1</b>
Sistemas no Paralelos	0.9	1	1	<b>1</b>
				<b>0.75</b>

**IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA**



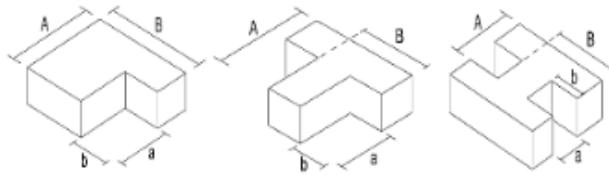
Si  $\Delta_{\text{máx}} \geq 1.3 \Delta_{\text{prom}} \Rightarrow$  Irregular  
 Donde  $\Delta_{\text{prom}} = (\Delta_1 + \Delta_2) / 2$  y  $\Delta_{\text{máx}} = \Delta_1$

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - XX					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X				
Nivel 2	SIS_EST-X	0.000360	0.000270	1.333	IRREGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	0.000317	0.000264	1.201	REGULAR

0.75

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - YY					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y				
Nivel 2	SIS_EST-Y	0.000942	0.000763	1.235	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	0.000815	0.000692	1.178	REGULAR

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES



Si  $a/A \geq 0.15$  y  $b/B \geq 0.15 \Rightarrow$  Irregular

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES

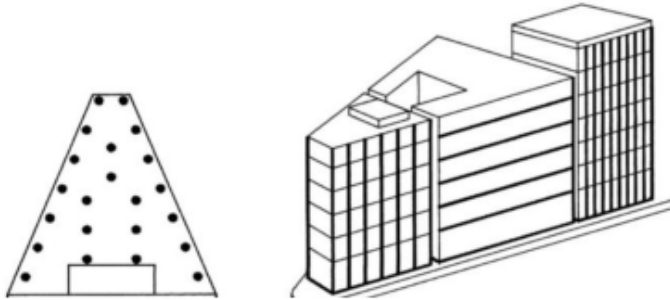
Nº PISO	SENTIDO X-X		SENTIDO Y-Y		CONTROL E-030 (20%)	
	Lado "A" (m)	Lado "a" (m)	Lado "B" (m)	Lado "b" (m)	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y
Nivel 4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 3	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 2	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 1	1.00	0.00	9.40	0.00	0%	0%

IRREGULARIDAD EN SENTIDO X-X	IRREGULARIDAD EN SENTIDO Y-Y	CONTROL E-030
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR

1

1

### SISTEMAS NO PARALELOS





**IRREGULARIDAD DISCONTINUIDAD EXTREMA EN LOS SISTEMAS RESISTENTES**

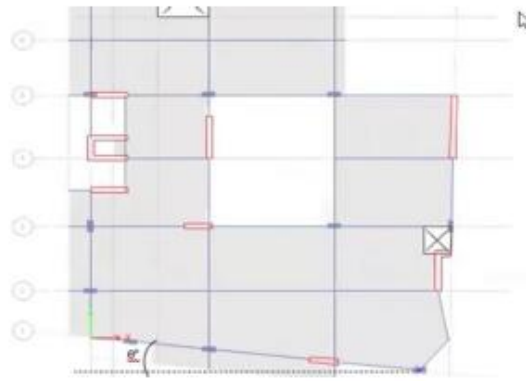
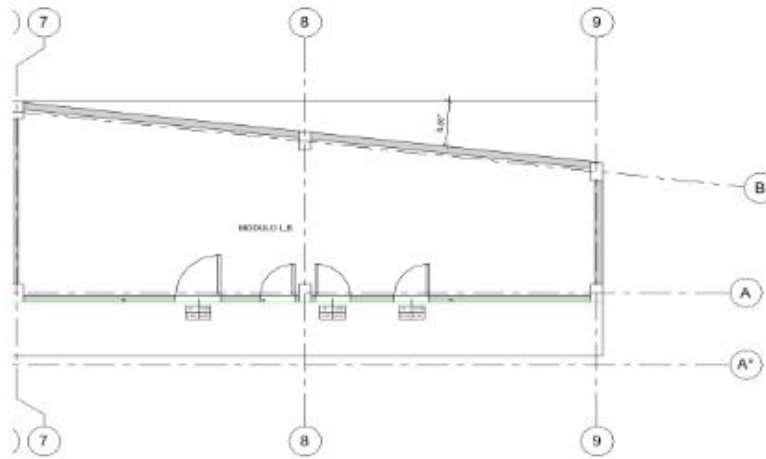
SENTIDO X-X

SENTIDO Y-Y

Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - NO APLICA	CONTROL E-030	Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - SI APLICA	CONTROL E-030
6.56	NO APLICA	REGULAR	6.56	NO APLICA	REGULAR
6.56	NO APLICA	REGULAR	6.56	NO APLICA	REGULAR
6.56	NO APLICA	REGULAR	6.56	NO APLICA	REGULAR

1

1



## ANALISIS ESTATICO PARA IREGULARIDADES N°02\_C

### I) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul [ ]

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Cbx= Porticos de Concreto  
 Cty= Albañileria

Periodo Fundamental de Vibración

E-030

Hn= 9.15  
 Cbx= 35  
 Cty= 60

Tx= 0.26 seg  
 Ty= 0.15 seg

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



#### Los parametros sismicos

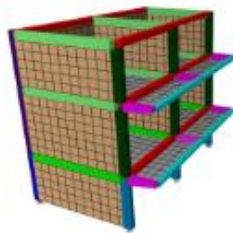


Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.2
3	0.3
2	0.5
1	0.8

Z= 0.25  
 U= 1.50  
 S= 1.20  
 C=   
 R=



	TP	T	TL
S2	0.6		2

#### Coeficiente de reducción "R"

Factor de Irregularidad en altura  
 Factor de Irregularidad en planta

la= 1.00  
 lp= 1.00

Rx= 8.00

Dual

Ry= 3.00

Dual

**Cálculo de amplificación sísmica "C"**

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$\gamma < 1,5$

$\xi = 2,5$

Tx= 0.26

Ty= 0.15

TP= 0.00

Cx = 2.5

Cy = 2.5

**Calculo del factor C "Coef. Cortante"**

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.1406

Cy=ZUSCy/R = 0.3750

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X C/R ≥ 0.11 0.313 OK  
 en el eje Y C/R ≥ 0.11 0.833 OK

**Fuerza en la base.**

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos de la estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	2595.02	2595.02	25475.00	25475.00
Piso 2	6699.88	6699.88	65703.71	65703.71
Piso 1	6992.14	6992.14	68569.82	68569.82

Peso en X= 159751.54

Peso en y= 159751.54

La fuerza cortante en X : Vx= 22465.86 22.47ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 59906.83 59.91ton

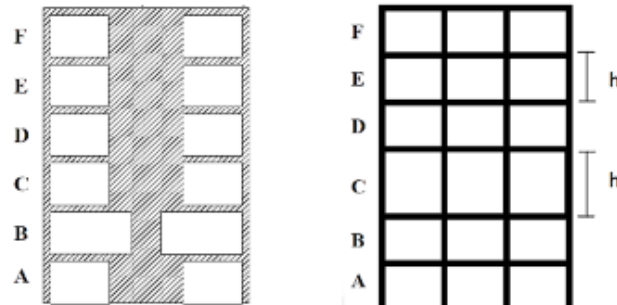
Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

**IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA**

	Factor de Irregularidad $I_a$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_a$
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0.75	1	1	1
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.5	1	1	1
Irregularidad De Peso O Masa	0.9	1	1	1
Irregularidad De Resistencia - Piso Débil	0.75	1	1	1
				<b>1</b>

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO)**



IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO:

$$K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$K_i < 0.80 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$$

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX**

		Rigidez	K i < 70% (ki+1)	K i < 80% (Ki+1 Ki+2 + Ki+3)/3	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	7171.130			
Nivel 2	SIS_EST-X	17747.165	247%	247%	REGULAR

Nivel 1	SIS_EST-X	20411.267	115%	164%	REGULAR
---------	-----------	-----------	------	------	---------

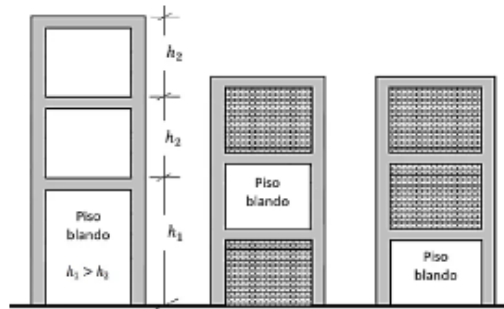
1

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY**

		Rigidez	$K_i < 70\% (k_{i+1})$	$K_i < 80\% (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	25971.274			
Nivel 2	SIS_EST-Y	36129.260	139%	139%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	39764.967	110%	128%	REGULAR

1

**IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ – (PISO BLANDO)**



**IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX**

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	7171.130			
Nivel 2	SIS_EST-X	17747.165	247%	247%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	20411.267	115%	164%	REGULAR

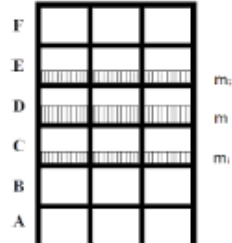
1

**IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY**

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	25971.274			
Nivel 2	SIS_EST-Y	36129.260	139%	139%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	39764.967	110%	128%	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA



#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE SUPERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	1.88721	19	REGULAR
Nivel 1	D1	1.93572	19	-----

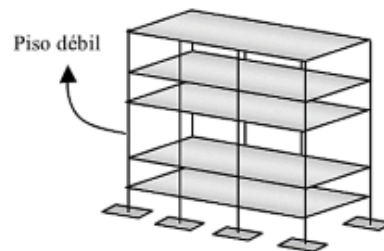
1

#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE INFERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	1.88721	19	REGULAR
Nivel 1	D1	1.93572	19	

1

### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - PISO DEBIL



#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - XX

NIVEL	CASO	Vx	0.8 (Vx)	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	7.9	6.3	REGULAR
Nivel 2	SIS_EST-X	22.1	17.7	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	30.0		

1

#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - YY

NIVEL	CASO	Vy	0.8 (Vy)	Control E-030, 2018
-------	------	----	----------	---------------------

Nivel 3	SIS_EST- Y	15.7	12.6	REGULAR
Nivel 2	SIS_EST- Y	44.2	35.3	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST- Y	59.9		

Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA				
	Factor de Irregularidad $I_p$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_p$
Irregularidad Torsional	0.75	0.75	1	<b>0.75</b>
Esquinas Entrantes	0.9	1	1	<b>1</b>
Sistemas no Paralelos	0.9	1	1	<b>1</b>
				<b>0.75</b>

**IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA**

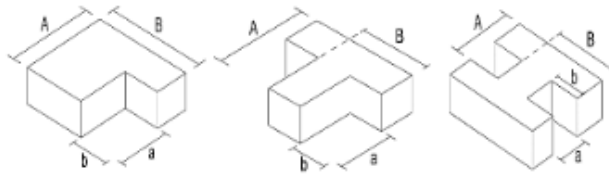
Si  $\Delta_{\text{máx}} \geq 1.3 \Delta_{\text{prom}} \Rightarrow$  Irregular  
 Donde  $\Delta_{\text{prom}} = (\Delta_1 + \Delta_2) / 2$  y  $\Delta_{\text{máx}} = \Delta_1$

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - XX					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X				
Nivel 2	SIS_EST-X	0.000420	0.000311	1.350	IRREGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	0.000408	0.000324	1.259	REGULAR

0.75

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - YY					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y				
Nivel 2	SIS_EST-Y	0.000445	0.000407	1.0934	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	0.000478	0.000443	1.0790	REGULAR

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES



Si  $a/A \geq 0.15$  y  $b/B \geq 0.15 \Rightarrow$  Irregular

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES

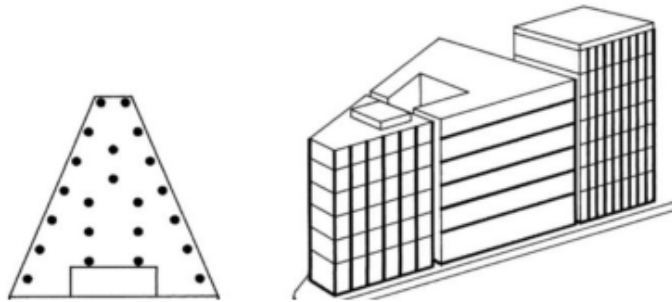
Nº PISO	SENTIDO X-X		SENTIDO Y-Y		CONTROL E-030 (20%)	
	Lado "A" (m)	Lado "a" (m)	Lado "B" (m)	Lado "b" (m)	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y
Nivel 4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 3	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 2	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 1	1.00	0.00	9.40	0.00	0%	0%

IRREGULARIDAD EN SENTIDO X-X	IRREGULARIDAD EN SENTIDO Y-Y	CONTROL E-030
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR

1

1

### SISTEMAS NO PARALELOS





**IRREGULARIDAD DISCONTINUIDAD EXTREMA EN LOS SISTEMAS RESISTENTES**

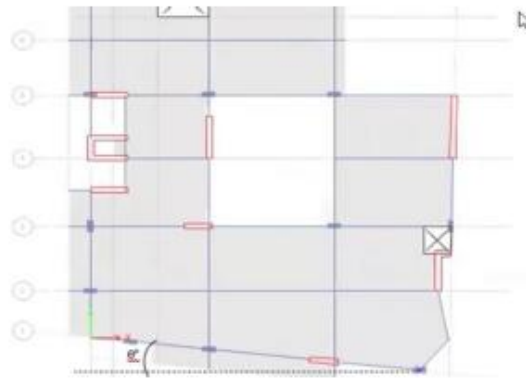
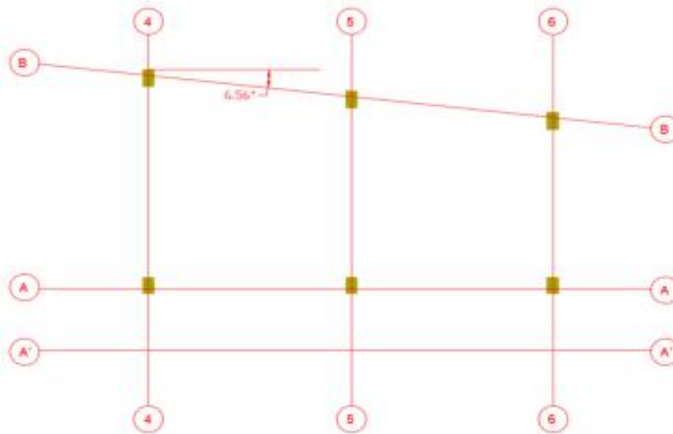
SENTIDO X-X

SENTIDO Y-Y

Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - NO APLICA	CONTROL E-030	Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - SI APLICA	CONTROL E-030
6.56	NO APLICA	REGULAR	6.56	NO APLICA	REGULAR
6.56	NO APLICA	REGULAR	6.56	NO APLICA	REGULAR
6.56	NO APLICA	REGULAR	6.56	NO APLICA	REGULAR

1

1



## ANALISIS ESTATICO PARA IREGULARIDADES N°03 C

### I) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Cbx= Porticos de Concreto  
 Cty= Albañileria

#### Periodo Fundamental de Vibración

Hn= 9.05  
 Cbx= 35  
 Cty= 60  
 Tx= 0.26 seg  
 Ty= 0.15 seg

E-030

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



#### Los parametros sismicos

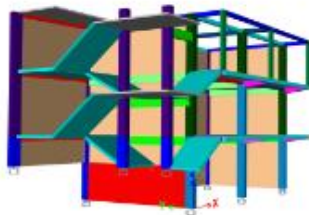


TABLA N°1	
FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.40
3	0.55
2	0.75
1	0.90

Z= 0.25  
 U= 1.00  
 S= 1.20  
 C=   
 R=



	TP	T	TL
S2	0.6	2	

#### Coefficiente de reducción "R"

Factor de Irregularidad en altura  
 Factor de Irregularidad en planta

la= 1.00  
 lp= 1.00

Rx= 8.00

Dual

Ry= 3.00

Dual

### Cálculo de amplificación sísmica "C"

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$\gamma < 1.5$

$\xi = 2.5$

Tx= 0.26

Ty= 0.15

TP= 0.00

Cx = 2.5

Cy = 2.5

### Calculo del factor C "Coef. Cortante"

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.1406

Cy=ZUSCy/R = 0.3750

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X C/R ≥ 0.11 0.313 OK

en el eje Y C/R ≥ 0.11 0.833 OK

### Fuerza en la base.

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos de la estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	5297.29	5297.29	51946.93	51946.93
Piso 2	6951.67	6951.67	67766.34	67766.34
Piso 1	8349.06	8349.06	81664.77	81664.77

Peso en X= 221620.04

Peso en y= 221620.04

La fuerza cortante en X : Vx= 31165.32 31.17ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 83107.52 83.11ton

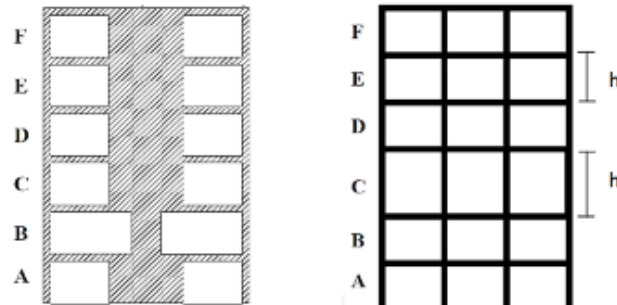
Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

**IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA**

	Factor de Irregularidad $I_a$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_a$
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0.75	1	1	1
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.5	1	1	1
Irregularidad De Peso O Masa	0.9	1	1	1
Irregularidad De Resistencia - Piso Débil	0.75	0.75	0.75	0.75
				<b>0.75</b>

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO)**



IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO:

$$K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$K_i < 0.80 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$$

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX**

		Rigidez	K i < 70% (ki+1)	K i < 80% (Ki+1 Ki+2 + Ki+3)/3	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	9599.452			
Nivel 2	SIS_EST-X	24139.975	251%	251%	REGULAR

Nivel 1	SIS_EST-X	19681.248	82%	117%	REGULAR
---------	-----------	-----------	-----	------	---------

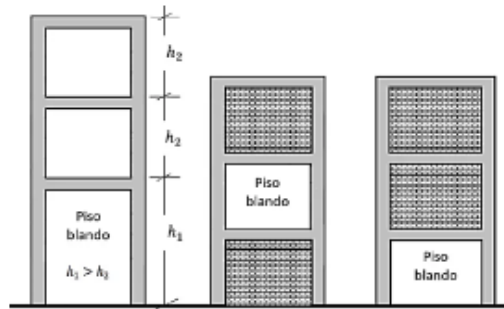
1

### IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY

		Rigidez	$K_i < 70\% (k_{i+1})$	$K_i < 80\% (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	13061.619			
Nivel 2	SIS_EST-Y	37827.076	290%	290%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	33968.186	90%	133%	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ - (PISO BLANDO)



### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - XX

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	9599.452			
Nivel 2	SIS_EST-X	24139.975	251%	251%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	19681.248	82%	117%	REGULAR

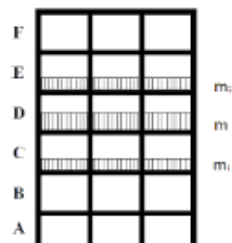
1

### IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ (PISO BLANDO) - YY

		Rigidez	$K_i < 0.60 (k_{i+1})$	$K_i < 0.70 (K_{i+1} K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Control
Nivel	Caso	Tn/m	Tn/m	Tn/m	E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	13061.619			
Nivel 2	SIS_EST-Y	37827.076	290%	290%	REGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	33968.186	90%	133%	REGULAR

1

### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA



#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE SUPERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	2.23132	22	REGULAR
Nivel 1	D1	2.17707	21	-----

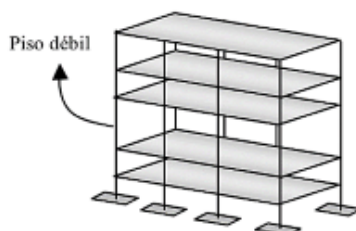
1

#### IRREGULARIDAD DE PESO O MASA - PISO ADYACENTE INFERIOR

NIVEL	Diafragma	MASA	PESO (Tn)	Control E-030, 2018
Nivel 3				
Nivel 2	D2	2.23132	22	REGULAR
Nivel 1	D1	2.17707	21	

1

### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - PISO DEBIL



#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - XX

NIVEL	CASO	Vx	0.8 (Vx)	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X	11.3	9.1	REGULAR
Nivel 2	SIS_EST-X	24.6	19.7	IRREGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	7.0		

0.75

#### IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - (PISO DEBIL) - YY

NIVEL	CASO	Vy	0.8 (Vy)	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y	30.2	24.2	REGULAR

Nivel 2	SIS_EST- Y	65.7	52.6	IRREGULAR
Nivel 1	SIS_EST- Y	24.3		

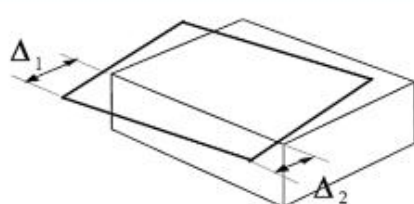
0.75

Artículo 20.- Factores de Irregularidad

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA				
	Factor de Irregularidad $I_p$	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y	FACTOR $I_p$
Irregularidad Torsional	0.75	0.75	0.75	<b>0.75</b>
Esquinas Entrantes	0.9	1	1	<b>1</b>
Sistemas no Paralelos	0.9	1	1	<b>1</b>
				<b>0.75</b>

**IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA**



Si  $\Delta_{\text{máx}} \geq 1.3 \Delta_{\text{prom}} \Rightarrow$  Irregular

Donde  $\Delta_{\text{prom}} = (\Delta_1 + \Delta_2) / 2$  y  $\Delta_{\text{máx}} = \Delta_1$

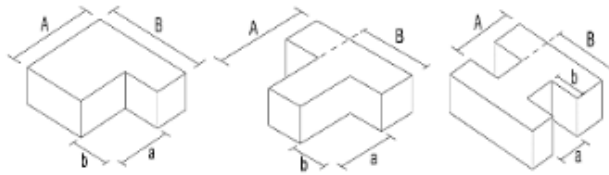
IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - XX					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-X				
Nivel 2	SIS_EST-X	0.000498	0.000340	1.465	IRREGULAR
Nivel 1	SIS_EST-X	0.000133	0.000108	1.231	REGULAR

0.75

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN PLANTA - YY					
Nº PISO	Ax (m)	Deriva Max.	Deriva Prom.	Ratio	Control E-030, 2018
Nivel 3	SIS_EST-Y				
Nivel 2	SIS_EST-Y	0.000803	0.000579	1.387	IRREGULAR
Nivel 1	SIS_EST-Y	0.000223	0.000217	1.028	REGULAR

0.75

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES



Si  $a/A \geq 0.15$  y  $b/B \geq 0.15 \Rightarrow$  Irregular

### IRREGULARIDAD ESQUINAS ENTRANTES

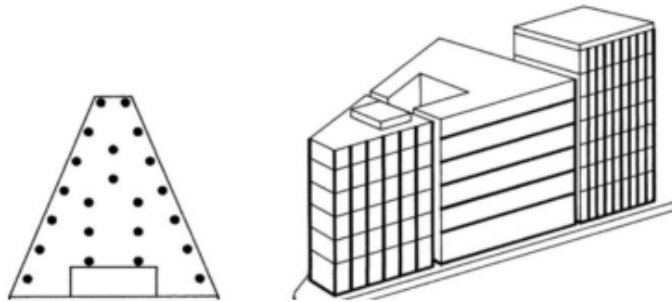
Nº PISO	SENTIDO X-X		SENTIDO Y-Y		CONTROL E-030 (20%)	
	Lado "A" (m)	Lado "a" (m)	Lado "B" (m)	Lado "b" (m)	SENTIDO X-X	SENTIDO Y-Y
Nivel 4	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 3	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 2	1.00	0.00	1.00	0.00	0%	0%
Nivel 1	1.00	0.00	9.40	0.00	0%	0%

IRREGULARIDAD EN SENTIDO X-X	IRREGULARIDAD EN SENTIDO Y-Y	CONTROL E-030
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR
REGULAR	REGULAR	REGULAR

1

1

### SISTEMAS NO PARALELOS





**IRREGULARIDAD DISCONTINUIDAD EXTREMA EN LOS SISTEMAS RESISTENTES**

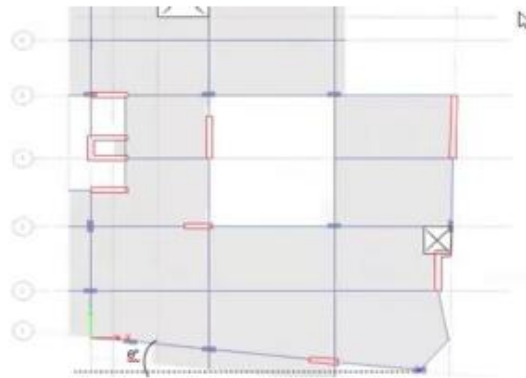
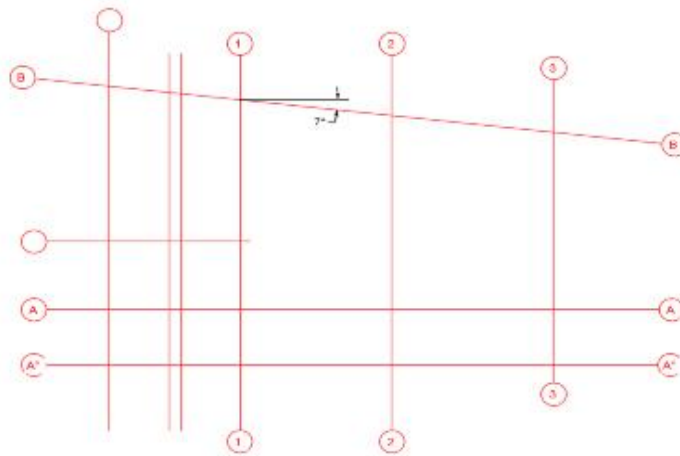
SENTIDO X-X

SENTIDO Y-Y

Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - NO APLICA	CONTROL E-030	Angulo del elemento	$\theta < 30^\circ$ - SI APLICA	CONTROL E-030
7	NO APLICA	REGULAR	7	NO APLICA	REGULAR
7	NO APLICA	REGULAR	7	NO APLICA	REGULAR
7	NO APLICA	REGULAR	7	NO APLICA	REGULAR

1

1



*Anexo 10. Análisis estático – dinámico de la edificación*

## ANALISIS ESTATICO MODULO N°01 A

### I) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Clx= Porticos de Concreto  
 Cty= Albañileria

#### Periodo Fundamental de Vibración

Hn= 9.1  
 Clx= 35  
 Cty= 60

Tx= 0.26 seg  
 Ty= 0.15 seg

E-030

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



#### Los parametros sismicos

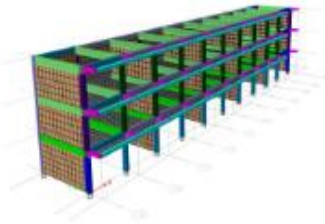


Tabla IP 1  
FACTORES DE ZONA 'Z'

Z	2
<	0.45
>	0.5
>	0.55
1	0.30

Z= 0.25  
 U= 1.50  
 S= 1.20  
 C=

X: R<sub>0</sub> = 8  
 Y: R<sub>0</sub> = 3



	TP	T	TL
S2	0.6		2

#### Coficiente de reducción "R"

		"X"	"Y"
Factor de Irregularidad en altura	ia=	1.00	1.00
Factor de Irregularidad en planta	ip=	1.00	1.00

$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$

Rx= 8.00    Pórtico de concreto armado  
 Ry= 3.00    Albañileria

### Cálculo de amplificación sísmica "C"

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$$T < T_b$$

$$T > T_b$$

Tx= 0.26

Ty= 0.15

TP= 0.00

Cx = 2.5  
Cy = 2.5

### Calculo del factor C "Coef. Cortante"

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.1406

Cy=ZUSCy/R = 0.3750

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X C/R ≥ 0.11 0.313 OK  
en el eje Y C/R ≥ 0.11 0.833 OK

### Fuerza en la base.

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos de la estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	11300.72	11300.72	111607.31	111607.31
Piso 2	32183.67	32183.67	315615.60	315615.60
Piso 1	32713.82	32713.82	320814.62	320814.62

Peso en X= 748037.52

Peso en y= 748037.52

La fuerza cortante en X : Vx= 105192.78 105.19ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 280514.07 280.51ton

### Distribución de la fuerza sísmica en altura.

Está determinado por la siguiente expresión

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde:

V= Cortante basal

ai = Factor de F

n= numero de pisos

K: es un exponente relacionado con el periodo de fundamental de vibración de la estructura (T).

$$T \leq 0.5 \rightarrow k=1.0$$

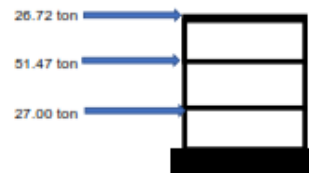
$$T > 0.5 \rightarrow k=0.75 + 0.5T < 2.0$$

Kx= 1  
Ky= 1

### Fuerza sismica en dirección X

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi * (hi) <sup>k</sup>	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
Piso 3	111607.31	9.10	1015626.49	0.25	26715.49	26.72
Piso 2	315615.60	6.20	1956616.70	0.49	51472.97	51.47
Piso 1	320614.62	3.20	1026606.76	0.26	27004.32	27.00
Σ= P. Ed.	748037.52	Σ = Pi * (hi) <sup>k</sup>	3999049.97	1.00	105192.78	105.19

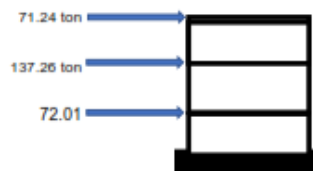
Gráfico de la fuerzas en la altura



### Fuerza sismica en dirección y

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi * (hi) <sup>k</sup>	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
3	111607.31	9.10	1015626.49	0.25	71241.30	71.24
2	315615.60	6.20	1956616.70	0.49	137261.26	137.26
1	320614.62	3.20	1026606.76	0.26	72011.51	72.01
Σ= P. Ed.	748037.52	Σ = Pi * (hi) <sup>k</sup>	3999049.97	1.00	280514.07	280.51

Gráfico de la fuerzas en la altura



## ANALISIS DINAMICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

### II) Analisis modal espectral - Analisis dinamico

#### Aceleración espectral



#### Factor de amplificación (Cortante dinamica)

NTE 030

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$  ----> REGULAR  
 $V_{din} \geq 90\% V_{est}$  ----> IRREGULAR

EN X-X

Load Case/Combo	FX
S_ETX	105.19
S_DX Max	68.67

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	REG
65%	80%

Se observa que la cortante dinamica en "X" es el : 65% Cumple

EN Y-Y

Load Case/Combo	FY
S_ETY	280.51
S_DY Max	238.31

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	REG
85%	80%

Se observa que la cortante dinamica en "Y" es el : 85% Cumple  
 Se observa que la cortante dinamica en "X" es el : 65% Entonces incrementar cortante

Es necesario lograr que la fuerza cortante obtenida mediante el metodo dinamico se igual a por lo menos el 80% de la fuerza cortante obtenida mediante el metodo estatico descrito por la norma de diseño sismo resistente.

**Amplificar :**

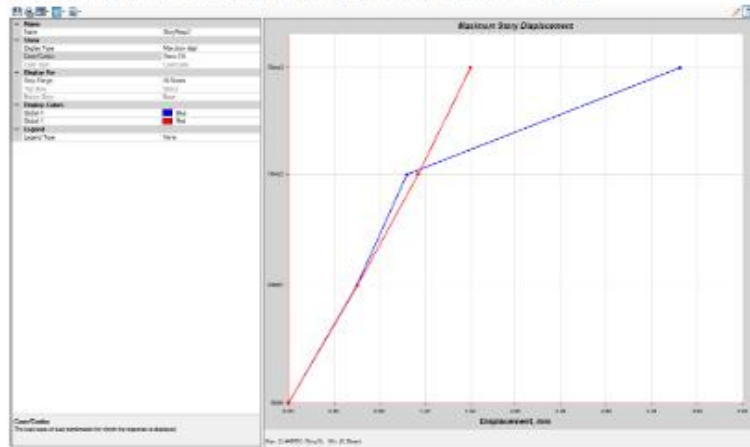
se amplifica al sismo por un nuevo factor de escala

FaX	1.23
FaY	

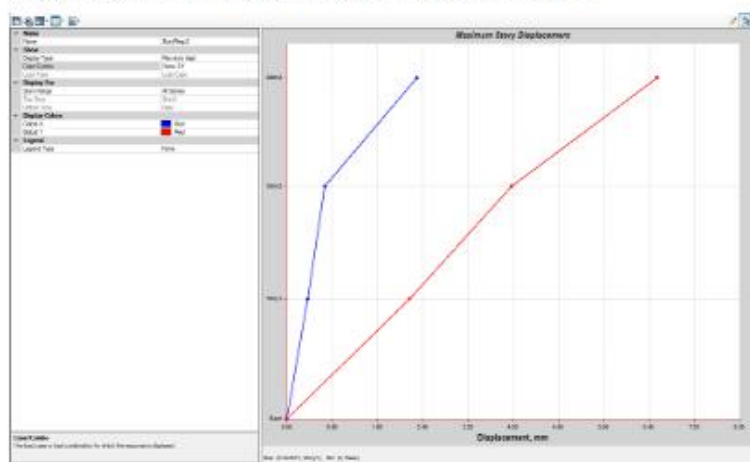
este nuevo factor F.E. no afecta a los desplazamientos, solo al diseño.

### Desplazamientos absolutos y relativos (Derivas)

Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sísmica en dirección X = 3.44 mm.



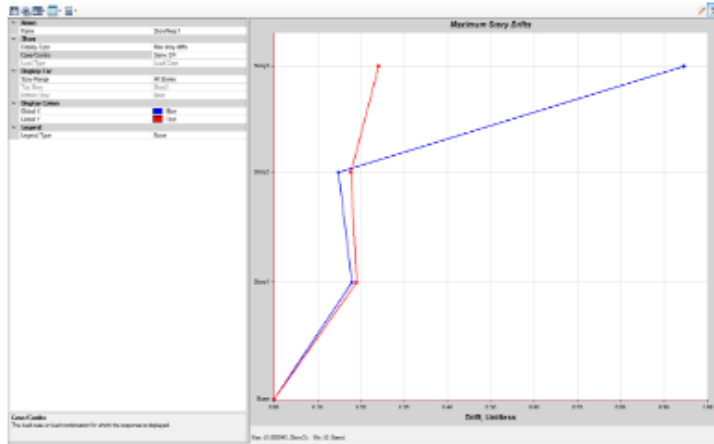
Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sísmica en dirección Y = 6.54 mm.



Desplazamiento relativos en dirección "X".

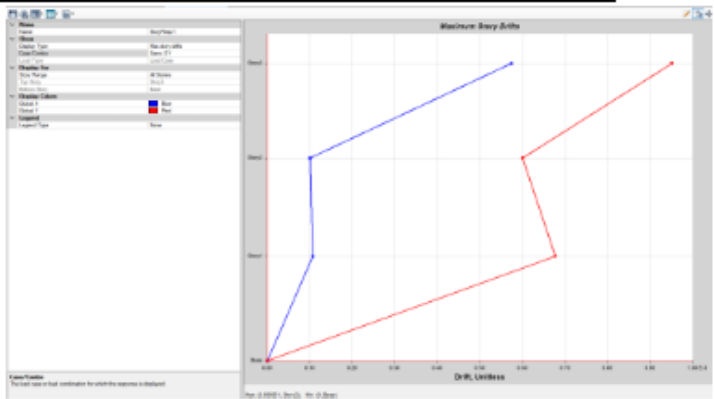
Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Direccion	Deriva	Rx= 5	
				Deriva *0.75*R	< 0.007
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000945	0.00567	SI
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000148	0.000956	SI

Piso 1	SIS Dinam.	X	0.00018	0.00108	SI
--------	------------	---	---------	---------	----



Desplazamiento relativos en dirección "Y".

Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 3	
				Deriva *0,75*R	< 0.005
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.000951	0.00213975	SI
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.0006	0.00135	SI
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000678	0.0015255	SI



$\Delta_{max} = 0.75 R \Delta_{dstat}$  — REGULAR  
 $\Delta_{max} = 0.85 R \Delta_{dstat}$  — IRREGULAR

Material Predominante	( $\Delta_r / h_e$ )
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Alcántara	0.005
Madera	0.010

MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.21	0.447	0.0481	0	0.447	0.0481	0	0.0083	0.1471	0.2261	0.0083	0.1471	0.2261
Modal	2	0.196	0.0252	0.8141	0	0.4722	0.8623	0	0.1449	0.0106	0.0093	0.1531	0.1577	0.2355
Modal	3	0.167	0.0268	0.0005	0	0.499	0.8626	0	0.0006	0.0921	0.506	0.1537	0.2495	0.7415
Modal	4	0.141	0.4208	0.0001	0	0.9198	0.8628	0	0.0002	0.0101	0.0914	0.1539	0.2595	0.8329
Modal	5	0.111	2.1E-05	0.0002	0	0.9198	0.8631	0	0.0005	9.35E-07	0.0002	0.1544	0.2598	0.8331
Modal	6	0.11	0.0001	3.3E-05	0	0.9199	0.8631	0	0.0001	2.715E-05	0.0011	0.1544	0.2598	0.8342
Modal	7	0.109	1.6E-06	0.0004	0	0.9199	0.8636	0	0.0011	1.994E-06	3.439E-06	0.1556	0.2598	0.8342
Modal	8	0.102	0.0025	0.0158	0	0.9224	0.8794	0	0.0629	0.0019	0.0467	0.2184	0.2615	0.881
Modal	9	0.101	0.0008	0.0349	0	0.9232	0.9142	0	0.1255	0.0007	0.0235	0.3439	0.2625	0.9045
Modal	10	0.082	0.0006	5.4E-06	0	0.9239	0.9143	0	1.19E-05	0.0022	0.0002	0.3439	0.2647	0.9047
Modal	11	0.079	0.0018	4.4E-05	0	0.9256	0.9143	0	0.0004	0.0094	7.623E-06	0.3443	0.2742	0.9047
Modal	12	0.076	0.0038	1.7E-06	0	0.9294	0.9143	0	2.05E-05	0.0228	0.0001	0.3443	0.297	0.9048

## ANALISIS ESTATICO MODULO N°01\_C

### I) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Ctx= Porticos de Concreto  
 Cty= Albañileria

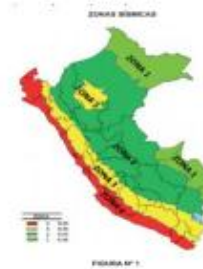
#### Periodo Fundamental de Vibración

Hn= 9.4  
 Ctx= 35  
 Cty= 60

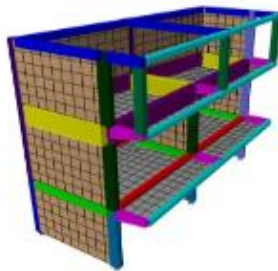
Tx= 0.27 seg  
 Ty= 0.16 seg

E-030

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



#### Los parametros sismicos



Z	Z
4	0.25
3	0.25
2	0.25
1	0.10

Z= 0.25  
 U= 1.50  
 S= 1.20  
 C=   
 X: R<sub>0</sub> = 8  
 Y: R<sub>0</sub> = 3



	TP	T	TL
S2	0.6		2

#### Coefficiente de reducción "R"

	"X"	"Y"
Factor de Irregularidad en altura	Ia= 0.90	0.90
Factor de Irregularidad en planta	Ip= 0.75	1.00

$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$

Rx= 5.40 Pórtico de concreto armado  
 Ry= 2.70 Albañileria

### Cálculo de amplificación sísmica "C"

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$$C_x = 0.27$$

$$C_y = 2.5$$

Tx= 0.27

Ty= 0.16

TP= 0.60

Cx =	2.5
Cy =	2.5

### Calculo del factor C "Coef. Cortante"

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.2083

Cy=ZUSCy/R = 0.4167

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X C/R ≥ 0.11 0.463 OK

en el eje Y C/R ≥ 0.11 0.926 OK

### Fuerza en la base.

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos d ela estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	2469.99	2469.99	24222.45	24222.45
Piso 2	8139.30	8139.30	79819.67	79819.67
Piso 1	6829.71	6829.71	66976.92	66976.92

Peso en X= 171019.04

Peso en y= 171019.04

La fuerza cortante en X : Vx= 35628.97 35.63ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 71257.93 71.26ton

### Distribución de la fuerza sísmica en altura.

Está determinado por la siguiente expresión

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde:

V= Cortante basal

ai = Factor de F

n= numero de pisos

K: es un exponente relacionado con el periodo de fundamental de vibración de la estructura (T).

$$T < 0.5 \rightarrow k = 1.0$$

$$T \geq 0.5 \rightarrow k = 0.75 + 0.5T \leq 2.0$$

Kx= 1  
Ky= 1

### Fuerza sísmica en dirección X

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi * (hi) <sup>k</sup>	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
Piso 3	24222.45	9.40	227691.04	0.24	8485.12	8.49
Piso 2	79819.67	6.65	530800.83	0.56	19780.78	19.78
Piso 1	66976.92	2.95	197581.91	0.21	7363.07	7.36
Σ = P. Ed.	171019.04	Σ = Pi * (hi) <sup>k</sup>	956073.77	1.00	35628.97	35.63

Grafico de la fuerzas en la altura



### Fuerza sísmica en dirección y

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi * (hi) <sup>k</sup>	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
3	24222.45	9.40	227691.04	0.24	16970.23	16.97
2	79819.67	6.65	530800.83	0.56	39561.56	39.56
1	66976.92	2.95	197581.91	0.21	14726.14	14.73
Σ = P. Ed.	171019.04	Σ = Pi * (hi) <sup>k</sup>	956073.77	1.00	71257.93	71.26

Grafico de la fuerzas en la altura



## ANALISIS DINAMICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

### II) Analisis modal espectral - Analisis dinamico

#### Aceleración espectral



#### Factor de amplificación (Cortante dinámica)

NTE 030

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$  -----> REGULAR

$V_{din} > 90\% V_{est}$  -----> IRREGULAR

#### EN X-X

Load Case/Combo	FX
Vest= S_ETX	35.63
Vdin= S_DX Max	21.11

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	<b>REG</b>
59%	80%

Se observa que la cortante dinámica en "X" es el :

59%      Cumple

#### EN Y-Y

Load Case/Combo	FY
Vest= S_ETY	71.26
Vdin= S_DY Max	40.44

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	<b>REG</b>
57%	80%

Se observa que la cortante dinámica en "Y" es el :

57%      Entonces incrementar cortante

Se observa que la cortante dinámica en "Y" es el :

57%      Entonces incrementar cortante

Es necesario lograr que la fuerza cortante obtenida mediante el metodo dinamico se igual a por lo menos el 80% de la fuerza cortante obtenida mediante el metodo estatico descrito por la norma de diseño sismo resistente.

#### Amplificar :

se amplifica al sismo por un nuevo factor de escala

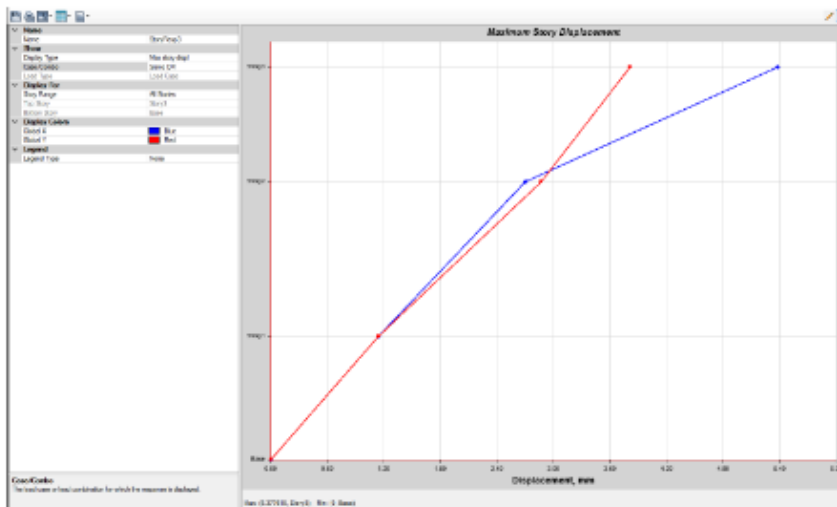
FaX	1.35
FaY	1.41



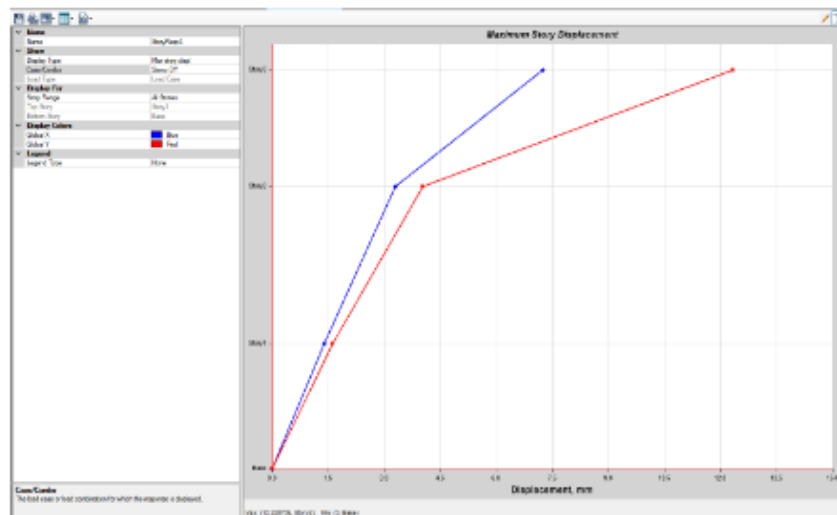
este nuevo factor F.E. no afecta a los desplazamientos, solo al diseño.
---

## Desplazamientos absolutos y relativos (Derivas)

Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sismica en dirección X = 5.37 mm.

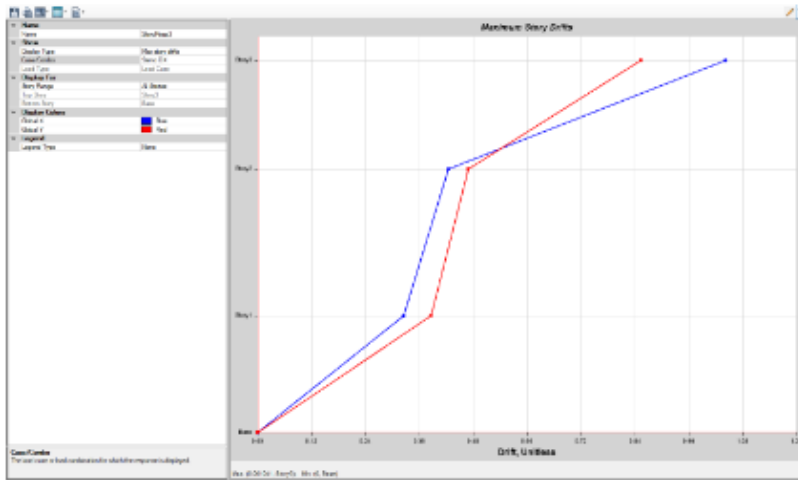


Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sismica en dirección Y = 12.32 mm.



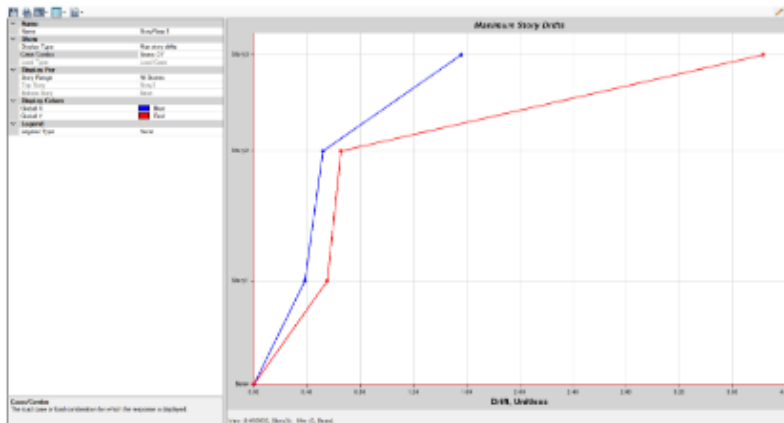
Desplazamiento relativos en dirección "X".

Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 5.40	
				Deriva *0.75*R	< 0.007
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.001041	0.00421605	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000425	0.00172125	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.000325	0.00131625	Si



Desplazamiento relativos en dirección "Y".

Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 2.70	
				Deriva *0.75'R	< 0.005
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.003833	0.007761825	no
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000656	0.0013284	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.00055	0.00111375	Si



$$\Delta_{inv} = 0.75 R \Delta_{l,inv} \text{ ----REGULAR}$$

$$\Delta_{inv} = 0.85 R \Delta_{l,inv} \text{ ----IRREGULAR}$$

Material Predominante	$(\Delta_i / h_i)$
Concreto Armado	0,007
Azero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.258	0.3756	0.1425	0	0.3756	0.1425	0	0.0567	0.0977	0.2577	0.0567	0.0977	0.2577
Modal	2	0.215	0.0785	0.4015	0	0.4541	0.5439	0	0.2112	0.0222	0.063	0.268	0.1199	0.3206
Modal	3	0.168	0.0019	0.0024	0	0.4559	0.5463	0	0.0021	0.0673	0.0907	0.2701	0.1872	0.4113
Modal	4	0.157	0.0046	0.2955	0	0.4606	0.8419	0	0.0002	0	0.018	0.2703	0.1872	0.4293
Modal	5	0.133	0.4187	0.0009	0	0.8792	0.8428	0	0.0013	0.0269	0.3855	0.2718	0.2141	0.8149
Modal	6	0.098	0.0002	4.3E-05	0	0.8794	0.8428	0	0.0007	0.0011	0.0024	0.2723	0.2152	0.8173
Modal	7	0.096	0.0006	0	0	0.88	0.8428	0	0.013	0.0015	2.892E-06	0.2852	0.2168	0.8173
Modal	8	0.092	0.007	0.0005	0	0.887	0.8433	0	0	0.0006	0.0115	0.2852	0.2174	0.8288
Modal	9	0.087	9.03E-06	0.0017	0	0.887	0.845	0	0.0023	0.0085	0.009	0.2875	0.2258	0.8378
Modal	10	0.077	0.0128	0.0041	0	0.8998	0.8491	0	0.0137	0.1534	0.0248	0.3012	0.3792	0.8626
Modal	11	0.075	0.0322	0.0157	0	0.932	0.8648	0	0.0554	0.1789	0.0335	0.3565	0.5582	0.8961
Modal	12	0.074	0.005	0.0061	0	0.937	0.8709	0	0.0159	0.0247	0.0046	0.3724	0.5828	0.9008

Modal Participating Mass Ratios

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Modal Participating Mass Ratios

Filter: None

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.258	0.3756	0.1425	0	0.3756	0.1425	0	0.0567
Modal	2	0.215	0.0785	0.4015	0	0.4541	0.5439	0	0.2112
Modal	3	0.168	0.0019	0.0024	0	0.4559	0.5463	0	0.0021
Modal	4	0.157	0.0046	0.2955	0	0.4606	0.8419	0	0.0002
Modal	5	0.133	0.4187	0.0009	0	0.8792	0.8428	0	0.0013
Modal	6	0.098	0.0002	4.335E-05	0	0.8794	0.8428	0	0.0007
Modal	7	0.096	0.0006	0	0	0.88	0.8428	0	0.013
Modal	8	0.092	0.007	0.0005	0	0.887	0.8433	0	0
Modal	9	0.087	9.025E-06	0.0017	0	0.887	0.845	0	0.0023
Modal	10	0.077	0.0128	0.0041	0	0.8998	0.8491	0	0.0137
Modal	11	0.075	0.0322	0.0157	0	0.932	0.8648	0	0.0554
Modal	12	0.074	0.005	0.0061	0	0.937	0.8709	0	0.0159

## ANALISIS ESTATICO MODULO N°02 C

### I) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Clx= Porticos de Concreto  
 Cty= Albañileria

#### Periodo Fundamental de Vibración

Hn= 9.15  
 Clx= 35  
 Cty= 60

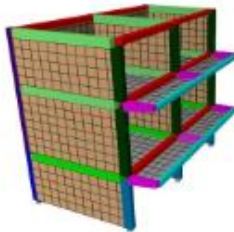
Tx= 0.26 seg  
 Ty= 0.15 seg

E-030

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



#### Los parametros sismicos



Zona	Z
1	0.45
2	0.55
3	0.75

Z= 0.25  
 U= 1.50  
 S= 1.20  
 C=

X: R<sub>0</sub> = 8  
 Y: R<sub>0</sub> = 3



	TP	T	TL
S2	0.6		2

#### Coficiente de reducción "R"

		X"	Y"
Factor de Irregularidad en altura	ia=	1.00	1.00
Factor de Irregularidad en planta	ip=	0.75	1.00

$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$

Rx= 6.00    Pórtico de concreto armado  
 Ry= 3.00    Albañileria

### Cálculo de amplificación sísmica "C"

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$$T < T_b$$

$$T > T_b$$

Tx= 0.26

Ty= 0.15

TP= 0.00

Cx = 2.5

Cy = 2.5

### Calculo del factor C "Coef. Cortante"

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.1875

Cy=ZUSCy/R = 0.3750

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X C/R ≥ 0.11 0.417 OK

en el eje Y C/R ≥ 0.11 0.833 OK

### Fuerza en la base.

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos de la estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	2595.02	2595.02	25475.00	25475.00
Piso 2	6699.55	6699.55	65703.71	65703.71
Piso 1	6992.14	6992.14	68569.52	68569.52

Peso en X= 159751.54

Peso en y= 159751.54

La fuerza cortante en X : Vx= 29953.41 29.95ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 59906.83 59.91ton

### Distribución de la fuerza sísmica en altura.

Está determinado por la siguiente expresión

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde:

V= Cortante basal

ai = Factor de F

n= numero de pisos

K: es un exponente relacionado con el periodo de fundamental de vibración de la estructura (T).

$$T \leq 0.5 \rightarrow k=1.0$$

$$T > 0.5 \rightarrow k=0.75 + 0.5T < 2.0$$

Kx= 1  
Ky= 1

### Fuerza sismica en dirección X

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$P_i * (h_i)^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
Piso 3	25476.00	9.15	233123.73	0.26	7874.52	7.87
Piso 2	65703.71	6.40	420503.76	0.47	14203.90	14.20
Piso 1	68569.82	3.40	233137.39	0.26	7874.99	7.87
$\Sigma = P. Ed.$	159751.54	$\Sigma = P_i * (h_i)^k$	886764.88	1.00	29953.41	29.95

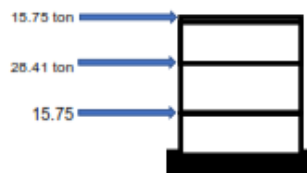
Grafico de la fuerzas en la altura



### Fuerza sismica en dirección y

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$P_i * (h_i)^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
3	25476.00	9.15	233123.73	0.26	15749.05	15.75
2	65703.71	6.40	420503.76	0.47	26407.61	26.41
1	68569.82	3.40	233137.39	0.26	15749.97	15.75
$\Sigma = P. Ed.$	159751.54	$\Sigma = P_i * (h_i)^k$	886764.88	1.00	59906.63	59.91

Grafico de la fuerzas en la altura



## ANALISIS DINAMICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

### II) Analisis modal espectral - Analisis dinamico

#### Aceleración espectral



#### Factor de amplificación (Cortante dinamica)

NTE 030

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$  ----> REGULAR  
 $V_{din} \geq 90\% V_{est}$  ----> IRREGULAR

EN X-X

Load Case/Combo	FX
S_ETX	29.95
S_DX Max	16.11

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	REG
54%	80%

Se observa que la cortante dinamica en "X" es el : 54% Cumple

EN Y-Y

Load Case/Combo	FY
S_ETY	59.91
S_DY Max	31.68

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	REG
86%	80%

Se observa que la cortante dinamica en "Y" es el : 86% Cumple  
 Se observa que la cortante dinamica en "X" es el : 54% Entonces incrementar cortante

Es necesario lograr que la fuerza cortante obtenida mediante el metodo dinamico se igual a por lo menos el 80% de la fuerza cortante obtenida mediante el metodo estatico descrito por la norma de diseño sismo resistente.

**Amplificar :**

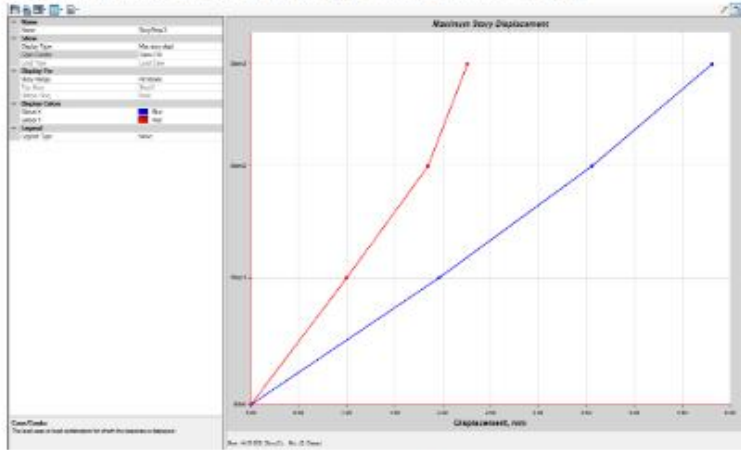
se amplifica al sismo por un nuevo factor de escala

FaX	1.49
FaY	

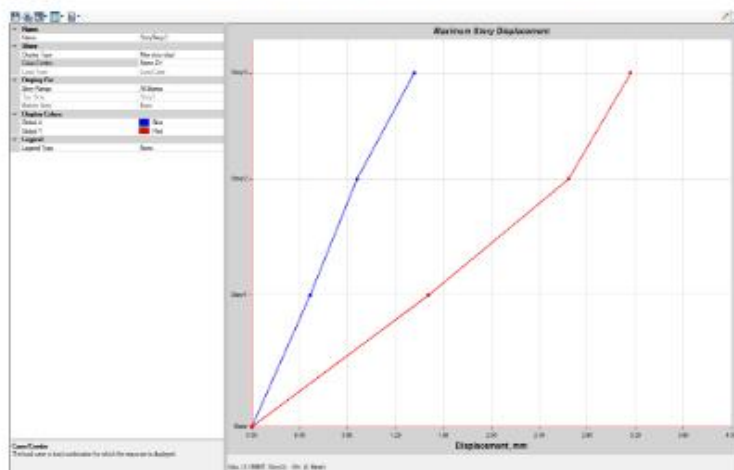
este nuevo factor F.E. no afecta a los desplazamientos, solo al diseño.

### Desplazamientos absolutos y relativos (Derivas)

Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sísmica en dirección X = 4.81 mm.



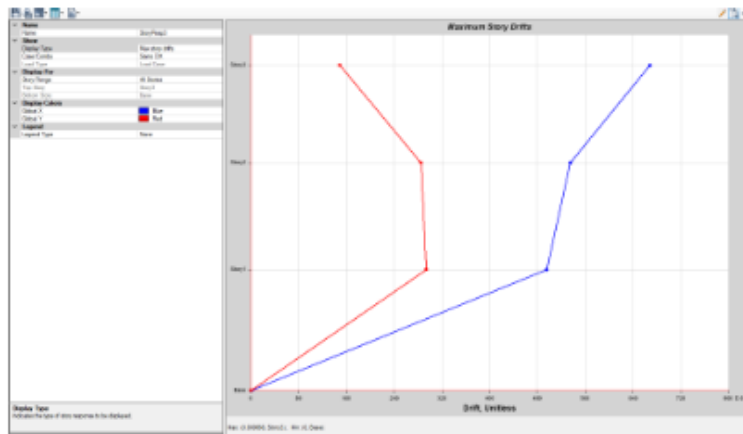
Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sísmica en dirección Y = 3.15 mm.



Desplazamiento relativos en dirección "X".

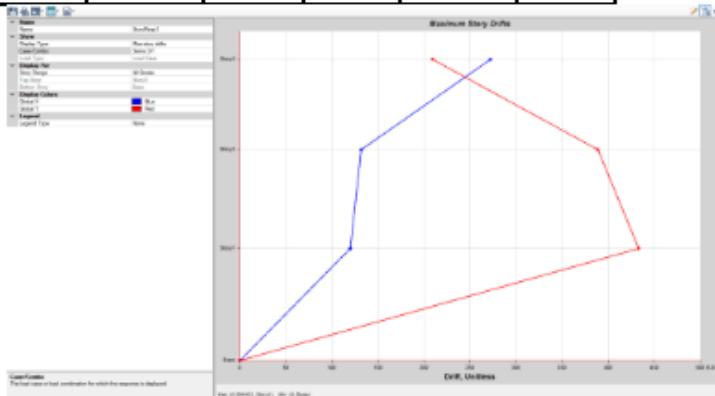
Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Direccion	Deriva	Rx= 6	
				Deriva *0.75*R	< 0.007
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000666	0.003006	SI
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000535	0.0024075	SI

Piso 1	SIS Dinam.	X	0.000495	0.0022275	SI
--------	------------	---	----------	-----------	----



Desplazamiento relativos en dirección "Y".

Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 3	
				Deriva *0.75*R	< 0.005
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.000209	0.00047025	no
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000389	0.00087525	SI
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000433	0.00097425	SI



$\Delta_{max} = 0.75 R \Delta_{d,rel}$  — REGULAR  
 $\Delta_{max} = 0.85 R \Delta_{d,rel}$  — IRREGULAR

Material Predominante	( $\Delta_r / h_e$ )
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Alcáñiles	0.005
Madera	0.010

MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.247	0.6697	0.0073	0	0.6697	0.0073	0	0.0013	0.1155	0.1917	0.0013	0.1155	0.1917
Modal	2	0.193	0.0018	0.861	0	0.6716	0.863	0	0.1553	0.0009	0.0074	0.1566	0.1164	0.199
Modal	3	0.126	0.0037	0.0006	0	0.6752	0.869	0	0.0003	0.1735	0.1047	0.1569	0.2099	0.3038
Modal	4	0.117	0.2362	0.004	0	0.9114	0.8728	0	0.0008	0.0055	0.5735	0.1577	0.2954	0.8773
Modal	5	0.079	0.041	0.002	0	0.9324	0.8748	0	0.007	0.3532	0.0144	0.1647	0.6496	0.8916
Modal	6	0.075	0.003	0.0009	0	0.9354	0.8757	0	0.0037	0.0295	0.0069	0.1664	0.675	0.8985
Modal	7	0.073	0.0004	0.0037	0	0.9356	0.8794	0	0.0214	0.007	5.072E-06	0.1697	0.6851	0.8985
Modal	8	0.072	0.0001	0.011	0	0.9359	0.8903	0	0.0637	0.0016	0.0005	0.2534	0.6866	0.899
Modal	9	0.072	0.0014	5.6E-06	0	0.9373	0.8903	0	2.57E-05	0.0026	0.0085	0.2535	0.6893	0.9075
Modal	10	0.071	0.0013	0.0001	0	0.9367	0.8905	0	0.0006	0.007	0.0003	0.2541	0.6962	0.9078
Modal	11	0.068	0.0017	0.0037	0	0.9604	0.8942	0	0.0227	0.0096	0.0001	0.2765	0.7058	0.9079
Modal	12	0.067	0.0004	0.0036	0	0.9608	0.8978	0	0.0234	0.0062	0.0024	0.3002	0.7119	0.9103

## ANALISIS ESTATICO MODULO N°03 C

### J) ANALISIS ESTATICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul  

#### Periodo.

Hn= Desde el nivel 0+00  
 Ctx= Pórticos de Concreto  
 Cty= Albañilería

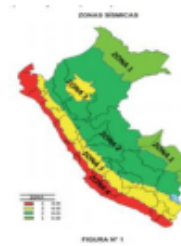
#### Periodo Fundamental de Vibración

Hn= 9.05  
 Ctx= 35  
 Cty= 60

Tx= 0.26 seg  
 Ty= 0.15 seg

E-030

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



#### Los parametros sismicos

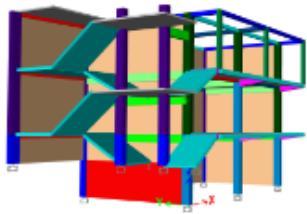


Tabla IP 1  
FACTORES DE ZONA "Z"

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.35
1	0.30

Z= 0.25  
 U= 1.50  
 S= 1.20  
 C=

X: R<sub>0</sub> = 8  
 Y: R<sub>0</sub> = 3



	TP	T	TL
S2	0.6		2

#### Coficiente de reducción "R"

	"X"	"Y"
Factor de Irregularidad en altura	Ia= 0.75	0.75
Factor de Irregularidad en planta	Ip= 0.75	0.75

$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$

Rx=	4.50	Pórtico de concreto armado
Ry=	1.69	Albañilería

### Cálculo de amplificación sísmica "C"

Factor de Amplificación Sísmica (C)

$$T < T_b$$

$$T > T_b$$

Tx= 0.26

Ty= 0.15

TP= 0.00

Cx = 2.5  
Cy = 2.5

### Calculo del factor C "Coef. Cortante"

EN ETABS

Cx=ZUSCx/R = 0.2500

Cy=ZUSCy/R = 0.6667

El valor de C/R no debera considerarse menor que:

en el eje X C/R ≥ 0.11 0.556 OK  
en el eje Y C/R ≥ 0.11 1.481 OK

### Fuerza en la base.

Fuerza cortante en la base de la estructura.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Masa y pesos de la estructura

Nº	Masa (Kgf-s2/m)		peso (Kgf)	
	X	Y	X	Y
Piso 3	5297.29	5297.29	51946.93	51946.93
Piso 2	6951.67	6951.67	67766.34	67766.34
Piso 1	8349.08	8349.08	81664.77	81664.77

Peso en X= 221620.04

Peso en y= 221620.04

La fuerza cortante en X : Vx= 55405.01 55.41ton

La fuerza cortante en Y : Vy= 147746.70 147.75ton

### Distribución de la fuerza sísmica en altura.

Está determinado por la siguiente expresión

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde:

V= Cortante basal

ai = Factor de F

n= numero de pisos

K: es un exponente relacionado con el periodo de fundamental de vibración de la estructura (T).

$$T \leq 0.5 \rightarrow k=1.0$$

$$T > 0.5 \rightarrow k=0.75 + 0.5T < 2.0$$

Kx= 1  
Ky= 1

### Fuerza sismica en dirección X

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$P_i * (h_i)^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
Piso 3	51945.93	9.05	470137.55	0.36	20135.95	20.14
Piso 2	57766.34	6.30	553053.96	0.43	23690.60	23.69
Piso 1	51854.77	3.30	270219.74	0.21	11575.22	11.58
$\Sigma = P. Ed.$	221620.04	$\Sigma = P_i * (h_i)^k$	1293411.54	1.00	55405.01	55.41

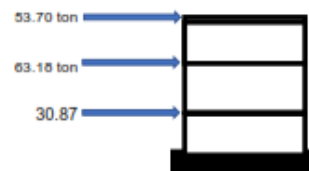
Grafico de la fuerzas en la altura



### Fuerza sismica en dirección y

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$P_i * (h_i)^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
3	51945.93	9.05	470137.55	0.36	53703.95	53.70
2	57766.34	6.30	553053.96	0.43	63175.46	63.18
1	51854.77	3.30	270219.74	0.21	30567.26	30.87
$\Sigma = P. Ed.$	221620.04	$\Sigma = P_i * (h_i)^k$	1293411.54	1.00	147746.70	147.75

Grafico de la fuerzas en la altura



## ANALISIS DINAMICO

\*NOTA\* Rellenar todo de color azul

### II) Analisis modal espectral - Analisis dinamico

#### Aceleración espectral



#### Factor de amplificación (Cortante dinamica)

NTE 030

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	----> REGULAR
$V_{din} \geq 90\% V_{est}$	----> IRREGULAR

EN X-X

	Load Case/Combo	FX
Vest	S_ETX	55.41
Vdin	S_DX Max	27.54

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	<b>REG</b>
50%	80%

Se observa que la cortante dinamica en "X" es el : 50% Incrementar cortante

EN Y-Y

	Load Case/Combo	FY
Vest	S_ETY	147.75
Vdin	S_DY Max	76.73

$V_{din} \geq 80\% V_{est}$	<b>REG</b>
52%	80%

Se observa que la cortante dinamica en "Y" es el : 52% Entonces Incrementar cortante  
 Se observa que la cortante dinamica en "X" es el : 50% Entonces Incrementar cortante

Es necesario lograr que la fuerza cortante obtenida mediante el metodo dinamico se igual a por lo menos el 80% de la fuerza cortante obtenida mediante el metodo estatico descrito por la norma de diseño sismo resistente.

#### Amplificar :

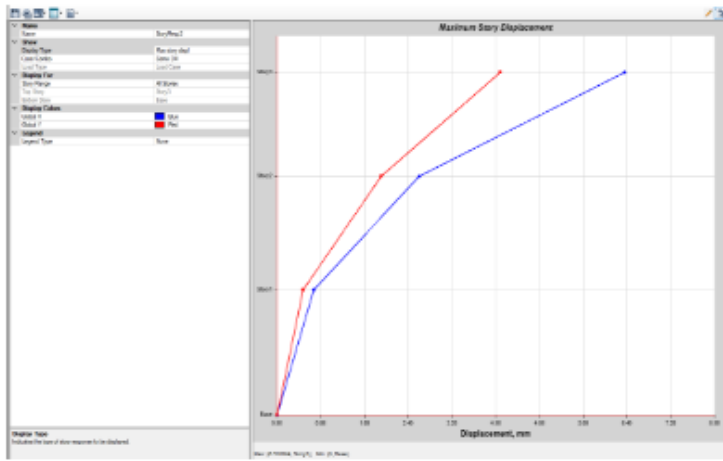
se amplifica al sismo por un nuevo factor de escala

FaX	1.61
FaY	1.54

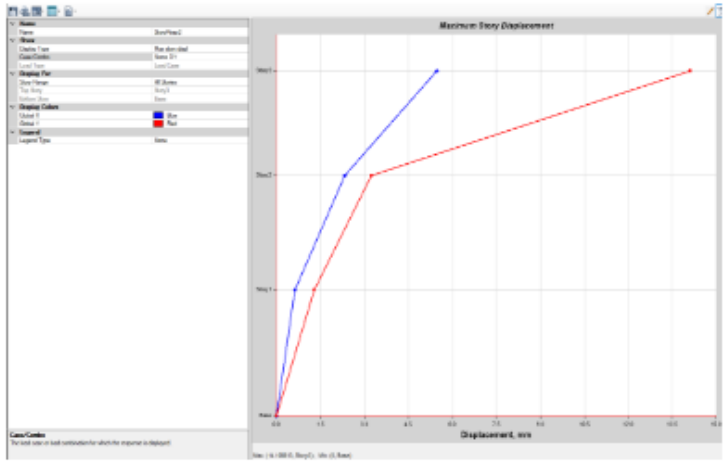
este nuevo factor F.E. no afecta a los desplazamientos, solo al diseño.

**Desplazamientos absolutos y relativos (Derivas)**

Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sísmica en dirección X = 6.35 mm.

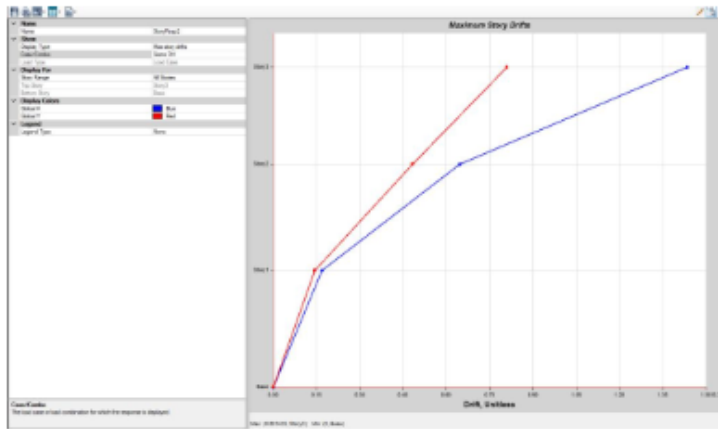


Desplazamiento absoluto de la estructura por carga Sísmica en dirección Y = 14.10 mm.



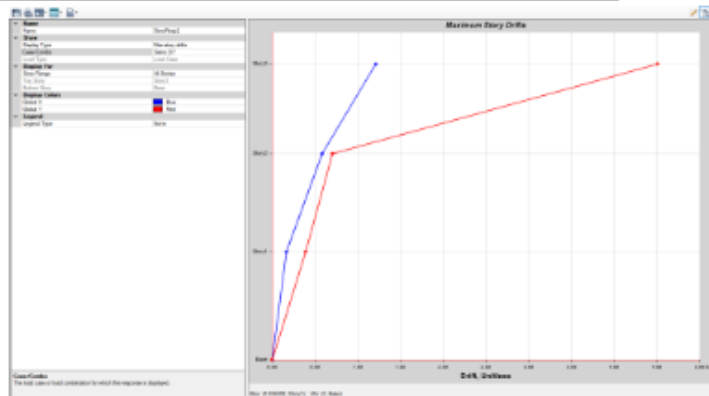
Desplazamiento relativos en dirección "X".

Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 4.5	
				Deriva *0.75*R	< 0.007
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.001433	0.004836375	SI
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000646	0.00218025	SI
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.000169	0.000570375	SI



Desplazamiento relativos en dirección "Y".

Deriva maximas por piso					
Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 1.09	
				Deriva *0.75*R	< 0.005
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.004508	0.00571389	no
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000706	0.000894855	SI
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000389	0.000493058	SI



$$\Delta_{max} = 0.75 R \Delta_{Lmax} \text{ --- REGULAR}$$

$$\Delta_{max} = 0.85 R \Delta_{Lmax} \text{ --- IRRREGULAR}$$

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	( $\Delta_i / \Delta_n$ )
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Alcáñiles	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con	n.oque

MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Case	Mod e	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.247	0.3358	0.0327	0	0.3358	0.0327	0	0.0463	0.2021	0.2626	0.0463	0.2023	0.2626
Modal	2	0.105	0.0146	0.415	0	0.3525	0.4477	0	0.2508	0.0124	0.0046	0.2971	0.2147	0.2672
Modal	3	0.132	0.0804	0.087	0	0.4329	0.5347	0	0.0472	0.1163	0.3712	0.3443	0.351	0.3384
Modal	4	0.125	0.1487	0.0312	0	0.5816	0.5059	0	0.0039	0.0087	0.0238	0.3402	0.3597	0.3622
Modal	5	0.116	0.1988	0.014	0	0.7484	0.7373	0	0.0008	0.0168	0.2629	0.3491	0.3765	0.4825
Modal	6	0.095	0.0129	0.009	0	0.7813	0.7579	0	0.0012	0.0001	0.0096	0.3503	0.3768	0.4348
Modal	7	0.072	0.0009	0.0004088	0	0.7712	0.7579	0	0.000000883	0.0126	0.0001	0.3503	0.4092	0.4340
Modal	8	0.071	0.0005	0.0003	0	0.7716	0.7502	0	0.0003	0.0015	0.0022	0.3506	0.4107	0.4371
Modal	9	0.068	0.0009	0.0001	0	0.7725	0.7643	0	0.0198	0.0008	0.0013	0.3704	0.4110	0.4424
Modal	10	0.065	6.47E-07	0.0012	0	0.7725	0.7656	0	0.0043	0.00002635	0.00002282	0.3747	0.4116	0.4424
Modal	11	0.063	0.0005	0.0003	0	0.7775	0.7706	0	0.0098	0.0121	0.000003189	0.3645	0.4237	0.4424
Modal	12	0.062	0.000019884	0.0009	0	0.7775	0.7504	0	0.0108	0.0023	0.0003	0.4151	0.4262	0.4426
Modal	13	0.06	0.0004	0.0018	0	0.7775	0.7542	0	0.0218	0.0005	0.0005	0.4369	0.4266	0.4451
Modal	14	0.059	0.0001	0.00258	0	0.776	0.81	0	0.077	0.0021	0.0168	0.5136	0.4287	0.4599
Modal	15	0.057	0.0048	0.0001	0	0.7826	0.8101	0	0.00001181	0.0084	0.00002393	0.5139	0.4372	0.4599
Modal	16	0.056	0.0002	0.0018	0	0.783	0.8119	0	0.004	0.0004	0.0036	0.5178	0.4376	0.4635
Modal	17	0.056	0.0001	0.0005	0	0.7931	0.8169	0	0.008	0.0008	0.0002	0.5299	0.4364	0.4727
Modal	18	0.054	0.0083	0.0005	0	0.7914	0.8173	0	0.0016	0.0047	0.0143	0.5274	0.4431	0.4807
Modal	19	0.05	0.0141	0.0002	0	0.8055	0.8176	0	0.0001	0.018	0.0106	0.5276	0.4712	0.4976
Modal	20	0.049	0.0161	0.0004	0	0.8216	0.823	0	0.0075	0.0483	0.0008	0.5349	0.5194	0.4984
Modal	21	0.049	0.0025	0.0004	0	0.8241	0.8233	0	0.0012	0.0003	0.0003	0.5361	0.5198	0.4937
Modal	22	0.049	0.0001	0.0005	0	0.8241	0.8236	0	0.0018	0.00001198	0.0001	0.536	0.5198	0.4938
Modal	23	0.048	0.0303	0.0159	0	0.8544	0.8395	0	0.046	0.0214	0.0104	0.5639	0.5412	0.6142
Modal	24	0.046	0.0208	0.0304	0	0.8762	0.8702	0	0.0712	0.0098	0.0001	0.6052	0.56	0.6152
Modal	25	0.046	0.0029	0.000000073	0	0.8781	0.8702	0	0.000000122	0.0078	0.0001	0.6052	0.5578	0.6153
Modal	26	0.045	0.002	0.00004527	0	0.8901	0.8702	0	0.0007	0.0082	0.00001621	0.6059	0.566	0.6153
Modal	27	0.044	0.0209	0.001	0	0.91	0.8712	0	0.0125	0.1339	0.0004	0.6652	0.7016	0.6216
Modal	28	0.042	0.0036	0.0002	0	0.9136	0.8715	0	0.0013	0.0105	0.0009	0.6697	0.7124	0.6236
Modal	29	0.039	0.0363	0.0162	0	0.9496	0.8677	0	0.0784	0.1111	0.0025	0.7481	0.8234	0.8201
Modal	30	0.039	0.0001	0.0003	0	0.9499	0.865	0	0.001	0.0004	0.0001	0.749	0.8228	0.8201
Modal	31	0.037	0.0002	0.0001	0	0.9501	0.8501	0	0.000001018	0.002	0.000001440	0.749	0.8255	0.8252
Modal	32	0.037	0.0001	0.00009	0	0.951	0.859	0	0.0041	0.00002107	0.000001373	0.7531	0.8259	0.8252
Modal	33	0.036	0.00001194	0	0	0.9511	0.859	0	0.000001345	0.000003056	0.0001	0.7531	0.8259	0.8252
Modal	34	0.035	0.0017	0.0004	0	0.9527	0.853	0	0.013	0.0000103	0.0001	0.7661	0.8259	0.8253
Modal	35	0.035	0.0008	0.0015	0	0.9535	0.8545	0	0.0031	0.0001	0	0.7692	0.826	0.8253
Modal	36	0.034	0.0002	0.001	0	0.9537	0.8505	0	0.0013	0.0006	0.0006	0.7709	0.8267	0.8259
Modal	37	0.034	0.000019132	0.0012	0	0.9537	0.8567	0	0.0021	0.000001472	0.0001	0.7725	0.8267	0.826
Modal	38	0.033	0.0008	0.001	0	0.9545	0.8577	0	0.0006	0.0017	0.0012	0.7731	0.8264	0.8271
Modal	39	0.032	0.0006	0.0018	0	0.9551	0.8015	0	0.003	0.0036	0.0023	0.7761	0.832	0.8294
Modal	40	0.032	0.0005	0.0024	0	0.9557	0.8039	0	0.0012	0.0027	0.0012	0.7773	0.8347	0.8307

*Anexo 11. Planos*

## *Anexo 12. Archivos del modelo en formatos editables*

En el presente anexo se incluye la documentación digital de respaldo utilizada durante el desarrollo de la investigación. Los archivos corresponden al modelamiento estructural y análisis sísmico de los pabellones del colegio Abel Carbajal Perez, realizados con los programas Revit 2023, ETABS 2018 (versión 18.1.1) y Microsoft Excel 2024.

El contenido de este anexo comprende los siguientes archivos:

- Anexo N° 1. Análisis estático y dinámico
- Anexo N° 2. Análisis pushover
- Anexo N° 3. Modelo Revit de los módulos

Asimismo, se incluyen los archivos de cálculo y hojas de procesamiento en Excel, que contienen los parámetros de entrada (rigideces, amortiguamiento, Vs, densidad) y los resultados consolidados de los diferentes análisis realizados.

La versión electrónica completa de estos archivos puede solicitarse directamente al autor a través del correo institucional: [✉ 2017051037@unach.edu.pe](mailto:2017051037@unach.edu.pe)

o descargarse mediante el siguiente enlace: [🔗 https://unachedupe-my.sharepoint.com/:u:/g/personal/2016051025\\_unach\\_edu\\_pe/EbzWKS7dDvNOK\\_0B3BCLwX0Bf3x-5OYqN7vPPAjj7Mq2MA?e=B4M1v7](https://unachedupe-my.sharepoint.com/:u:/g/personal/2016051025_unach_edu_pe/EbzWKS7dDvNOK_0B3BCLwX0Bf3x-5OYqN7vPPAjj7Mq2MA?e=B4M1v7)

También se ha dispuesto el código QR:

