



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Integración Curricular para la Obtención del Título de Ingeniero Civil

Tema:

ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL SÍSMICA DEL EDIFICIO ADMINISTRATIVO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA ESPE

Proyecto de Investigación ESPE Cod. 2024-PIS-05

Autores:

Falcones Tufiño Jordy Steven
Montaluisa Herrera Johana Gabriela

Directora de Proyecto: Ing. Haro Báez, Ana Gabriela, PhD.

Marzo 2025



TABLA DE CONTENIDO

- 1 **Objetivos**
- 2 **Descripción del edificio en estudio**
- 3 **Procedimiento experimental**
- 4 **Modelación numérica del edificio**
- 5 **Análisis Pushover**
- 6 **Resultados**
- 7 **Conclusiones y recomendaciones**

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

Objetivos del proyecto

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la respuesta estructural sísmica del edificio administrativo en el campus matriz de la ESPE bajo un procedimiento experimental y analítico estático no lineal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

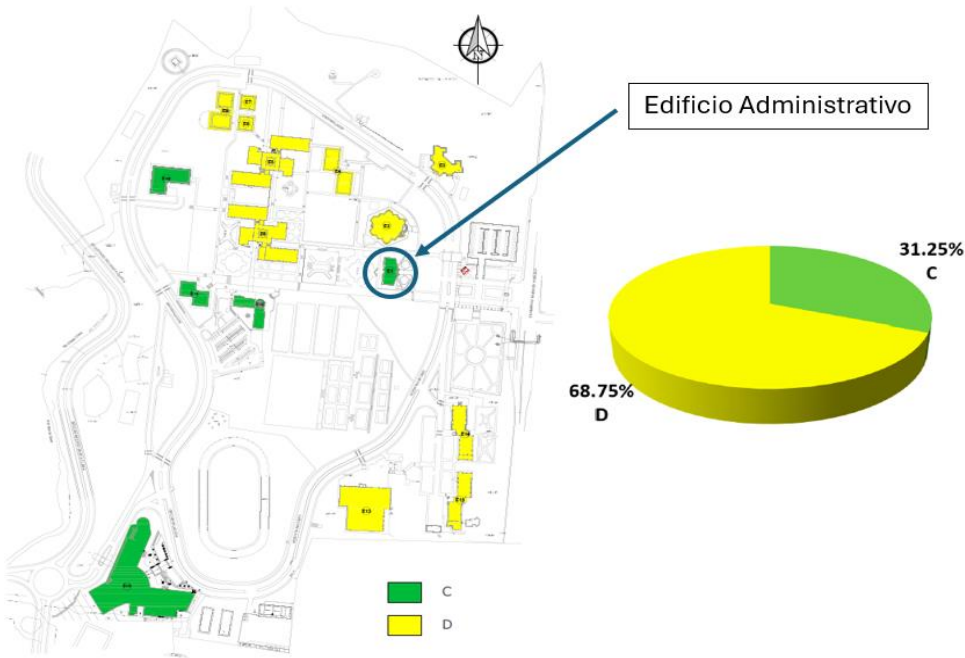
- Determinar los parámetros de demanda ingenieril de la edificación en estudio mediante pruebas de campo.
- Analizar la respuesta estructural, mediante modelación numérica de la edificación en estudio.
- Comparar y analizar los resultados obtenidos.

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE LA ESPE



Es una estructura de ocho pisos y un subsuelo.



- Cimentada sobre suelo tipo C.
- Su uso es de oficinas.

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Ensayo de Pachometría → **Determinar la armadura en columnas**

Equipo necesario:

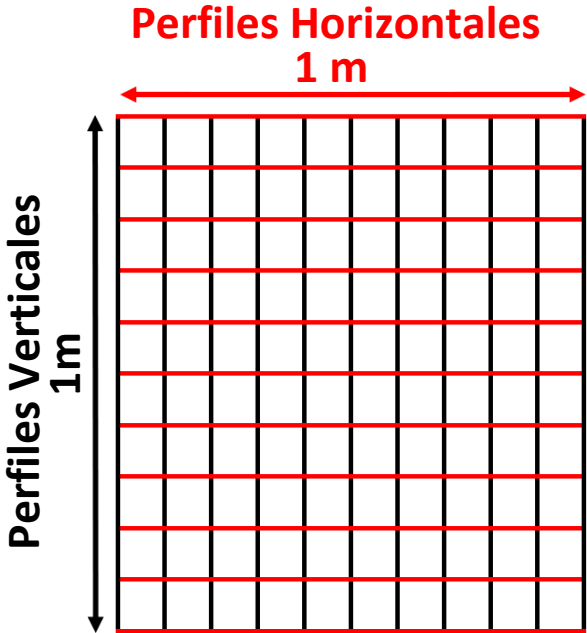


Ensayo de Vibración Ambiental (EVA) → **Determinar las frecuencias y periodos de la estructura**

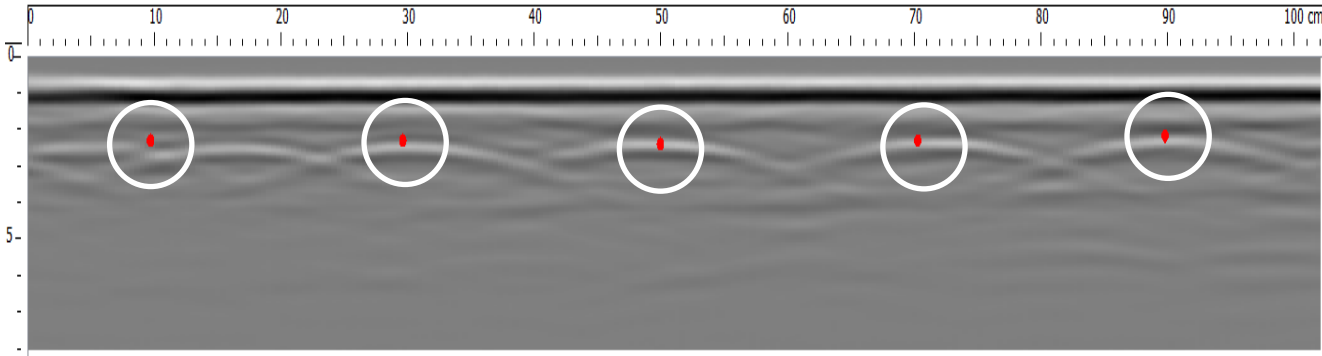


Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

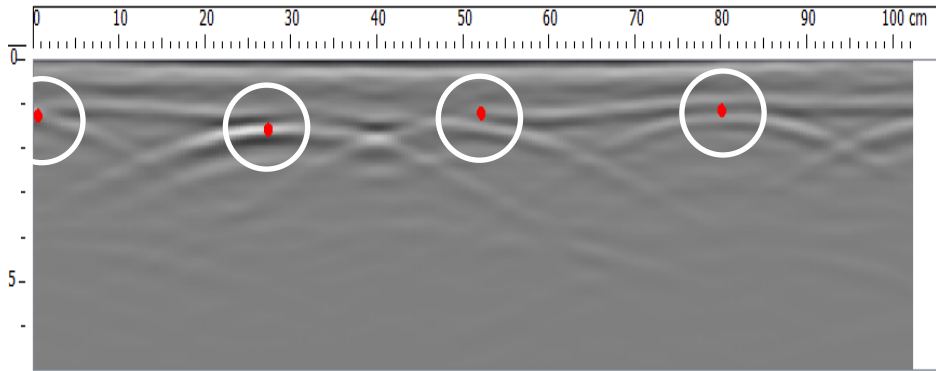
ENSAYO DE PACHOMETRÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS



Perfiles Verticales (Acero Transversal)

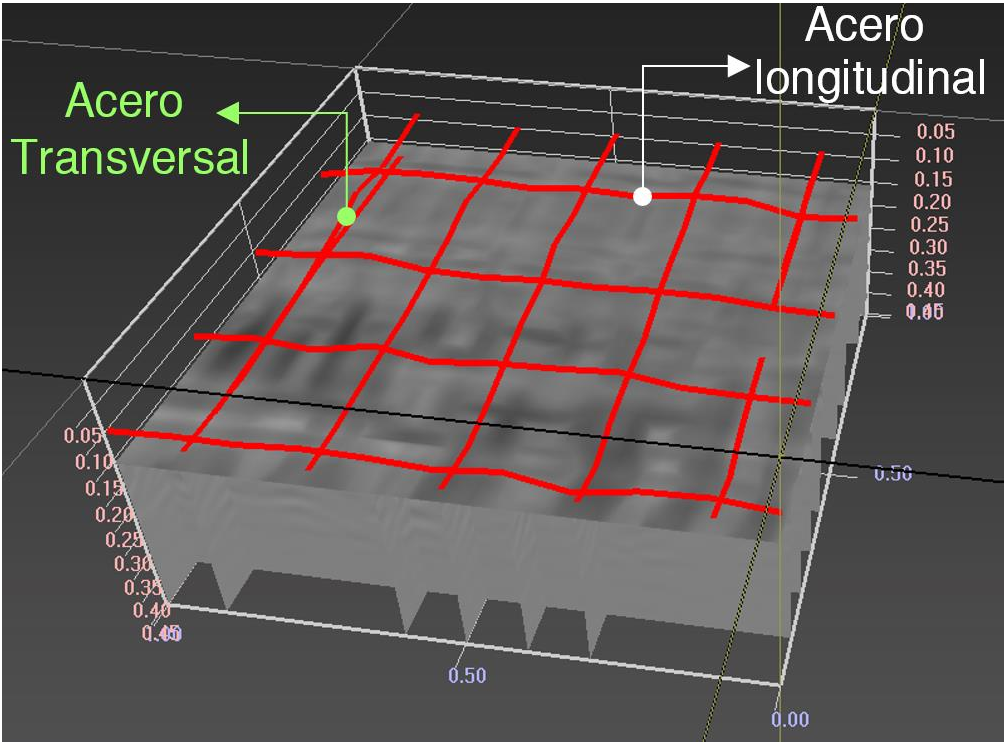
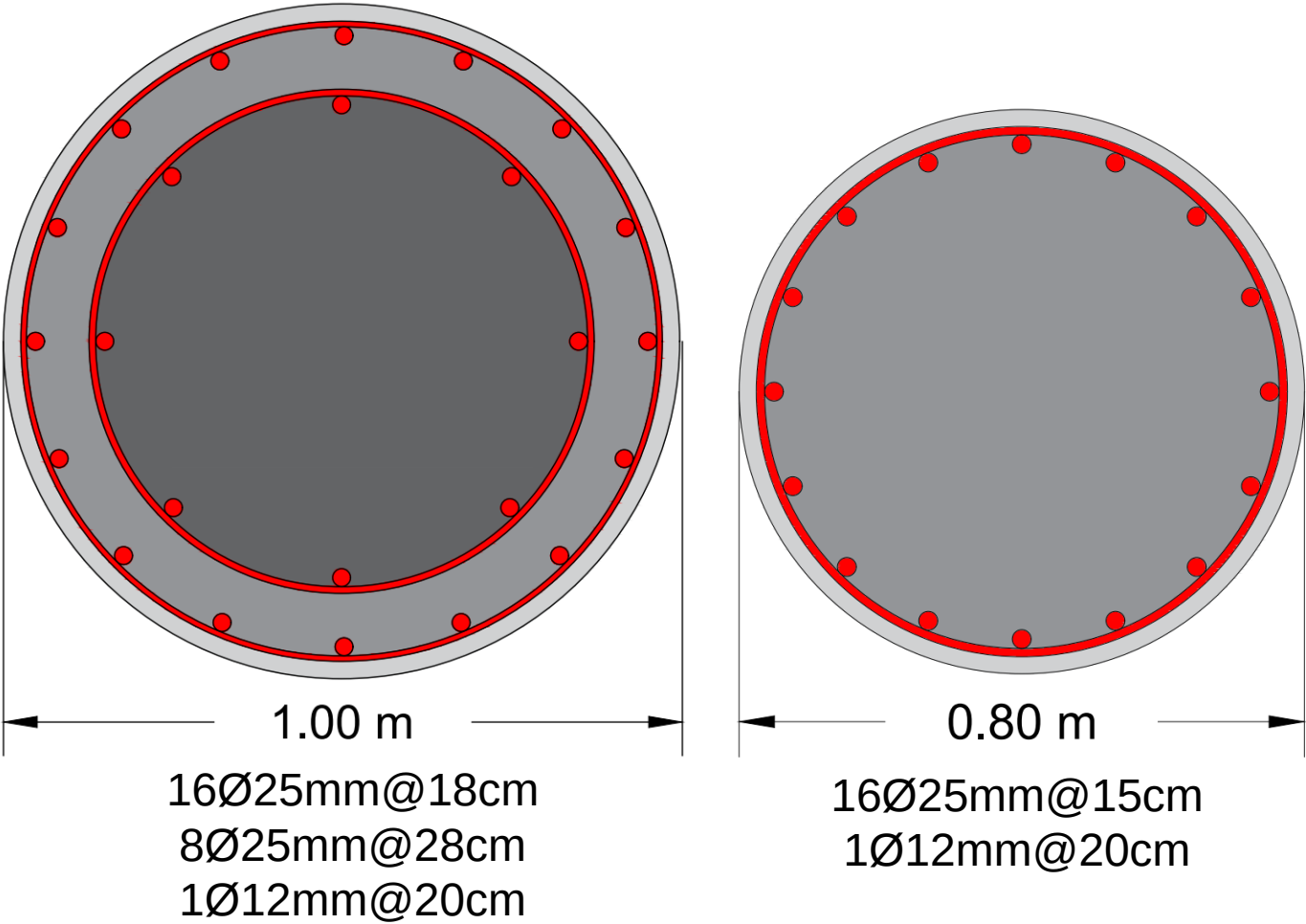


Perfiles Horizontales (Acero Longitudinal)



Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PACHOMETRÍA

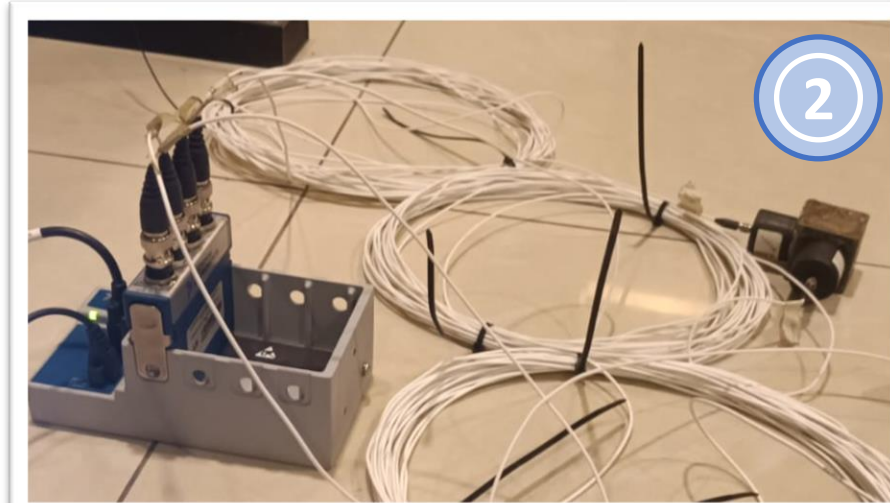


Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

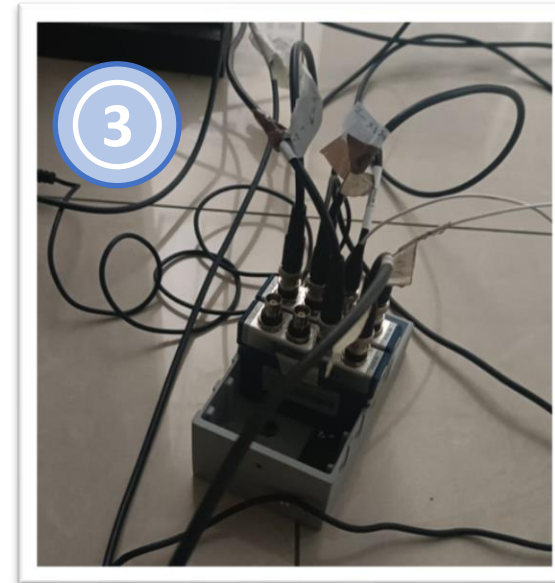
PROCESO DE ENSAYO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL



Cubo metálico con dos sensores



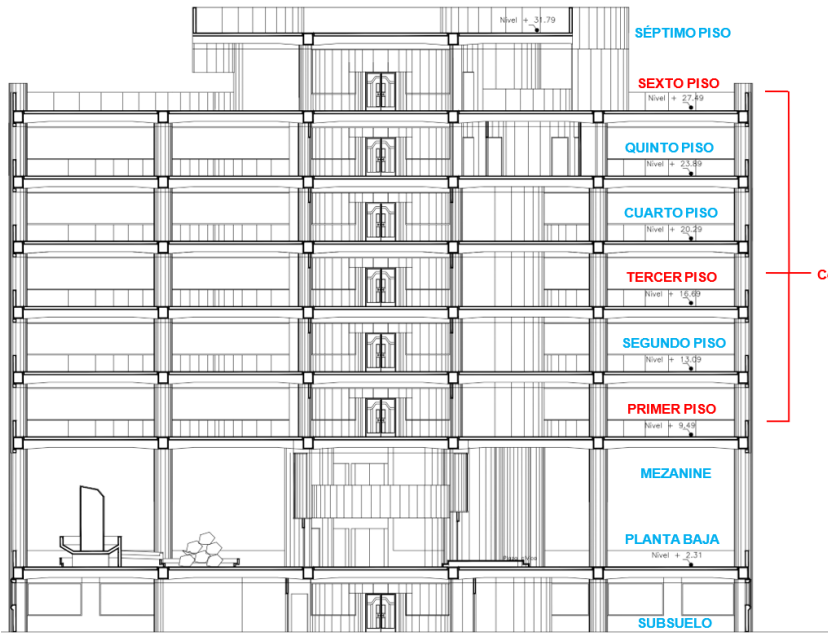
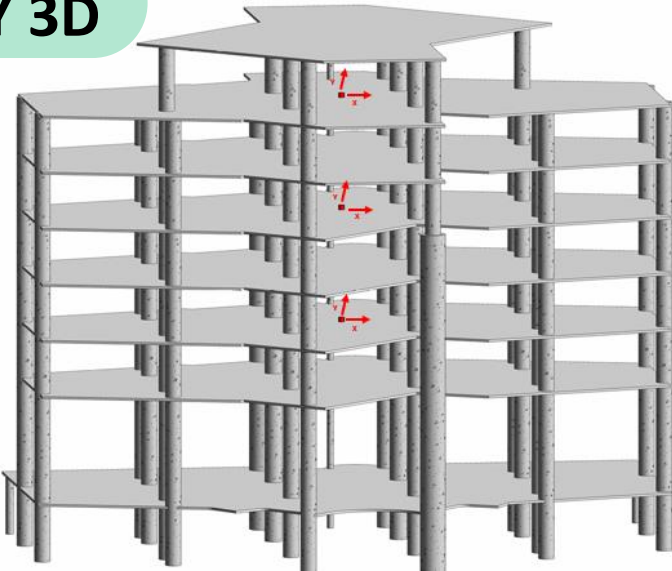
Conexión de cable coaxial con el sensor y DAQ



Uso de extensiones para conectar sensores y DAQ cuando sea necesario

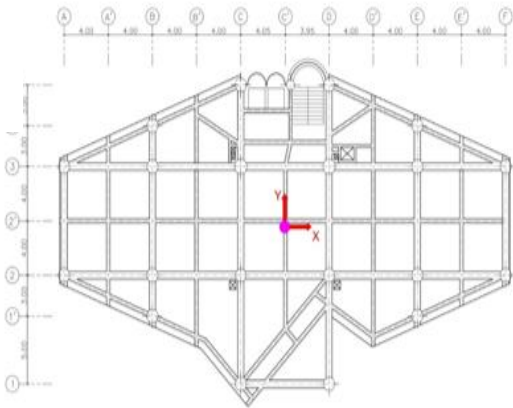


UBICACIÓN DE SENSORES EN PLANTA Y 3D

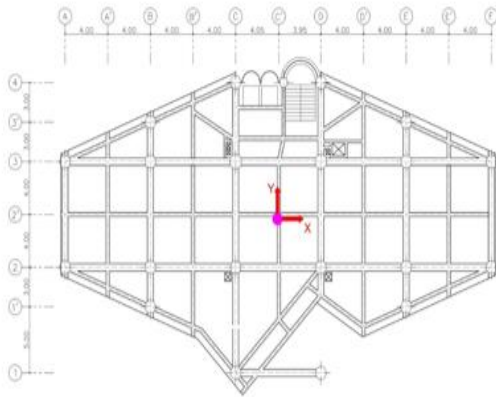


Coordenadas del centro de rigidez de los pisos instrumentados

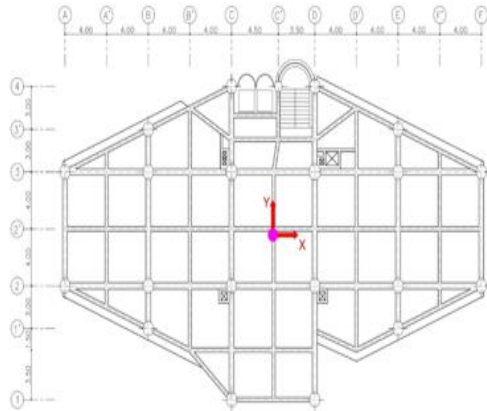
PISO	X (m)	Y (m)
1	19.98	11.57
3	19.93	11.67
6	19.97	11.57



Planta de primer piso Nv.+9.49



Planta de tercer piso Nv.+16.69



Planta de sexto piso Nv.+27.49.

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

HERRAMIENTAS DE IDENTIFICACIÓN

Transformada rápida de Fourier (FFT)

Transforma señales en el dominio del tiempo al de la frecuencia

Función de transferencia (TF)

Relaciona una señal de entrada y una de salida

Densidad de potencia espectral (PSD)

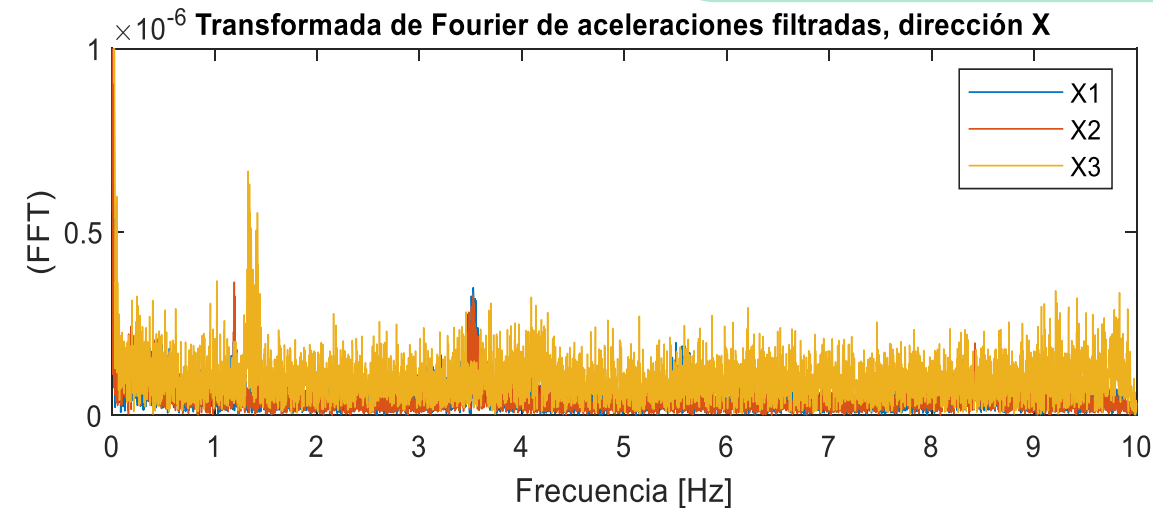
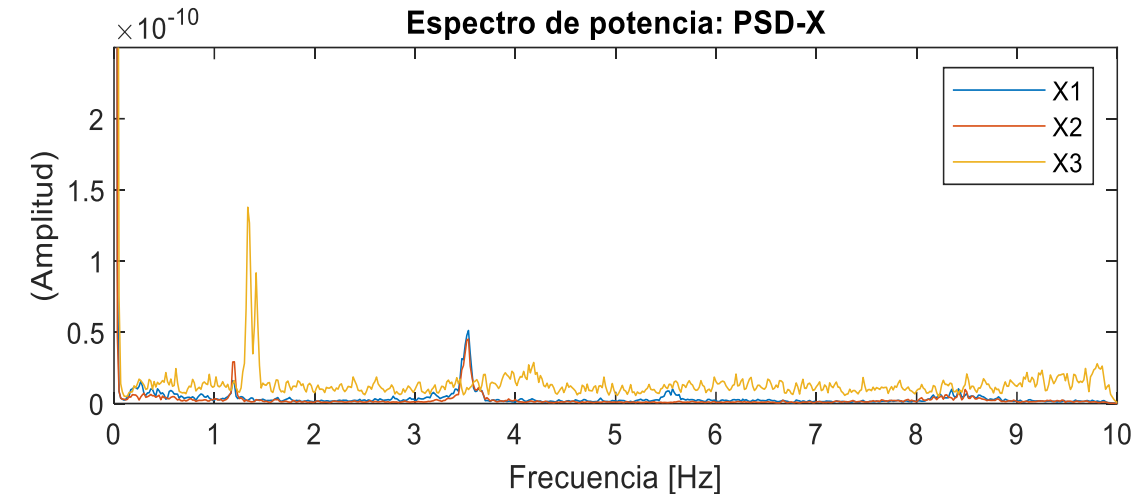
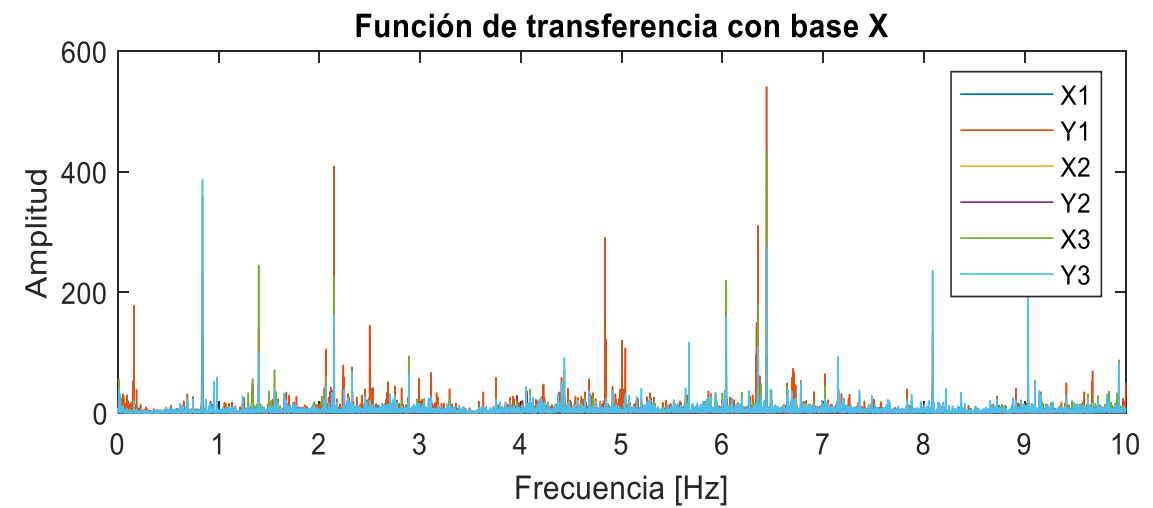
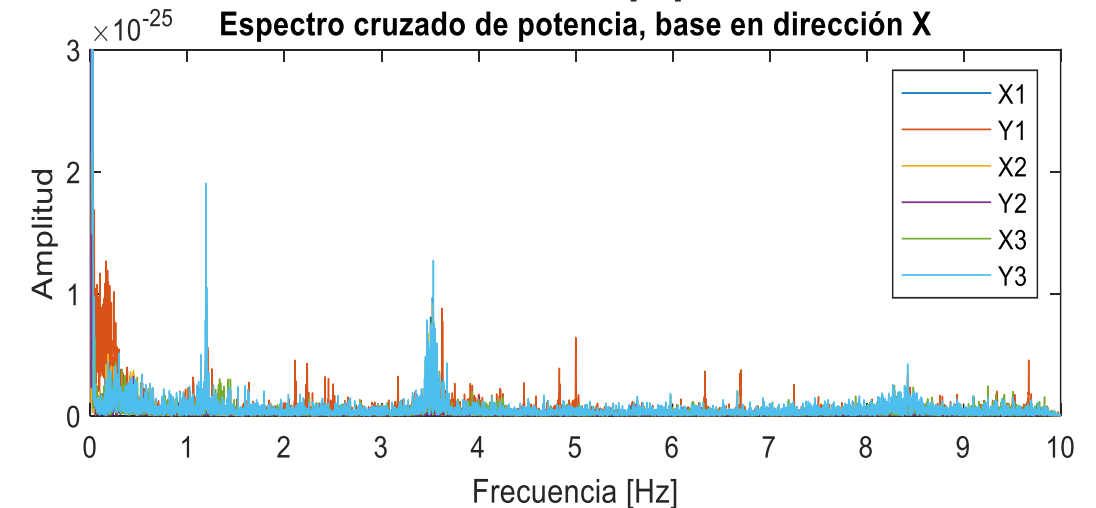
Muestra las frecuencias más dominantes de la señal

Espectro cruzado de potencia (CPS)

Determina la diferencia de fase entre dos señales en diferentes frecuencias

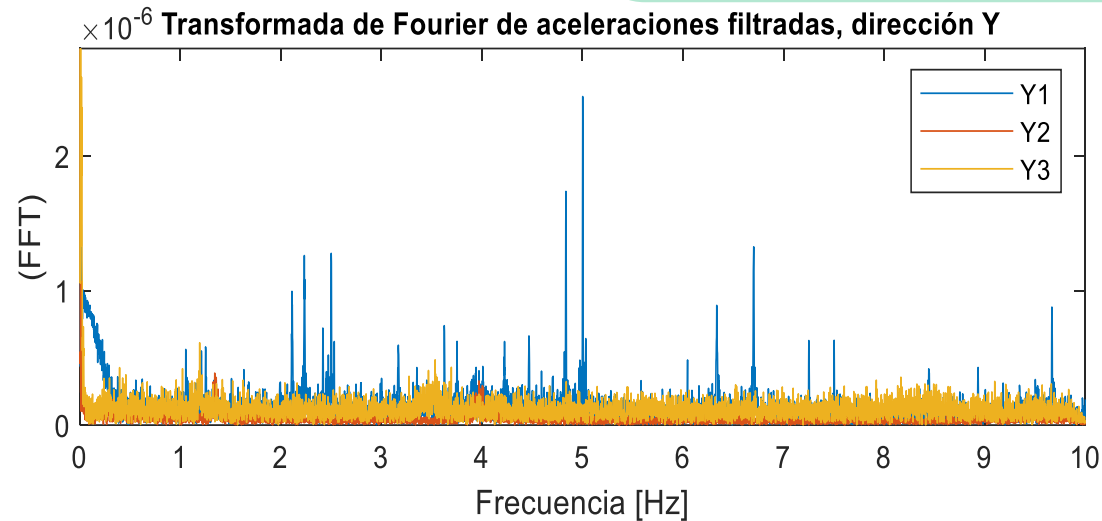
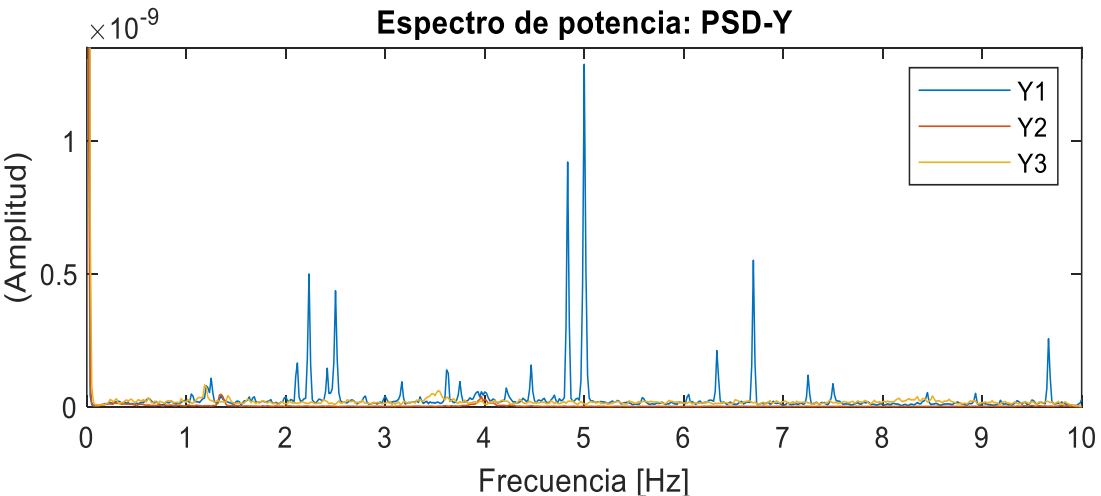
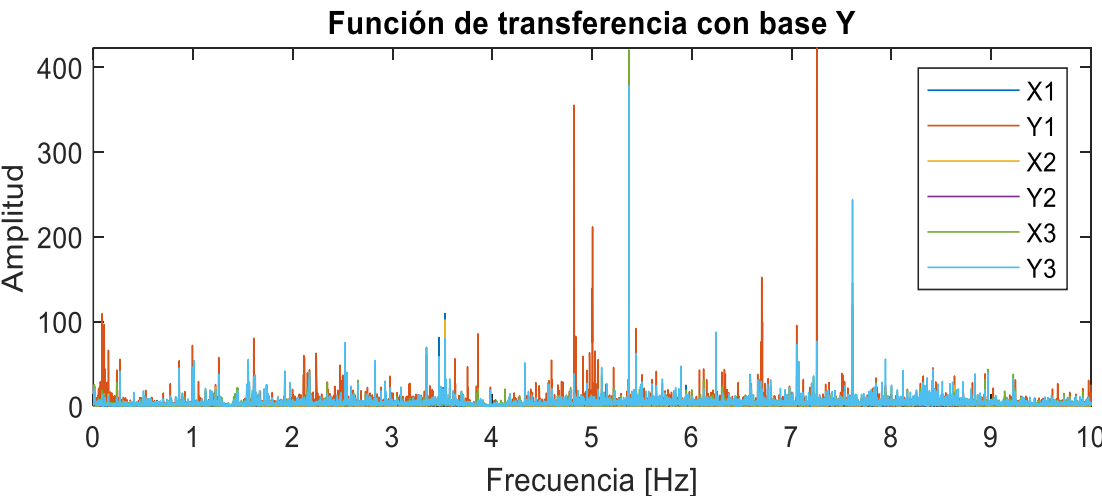
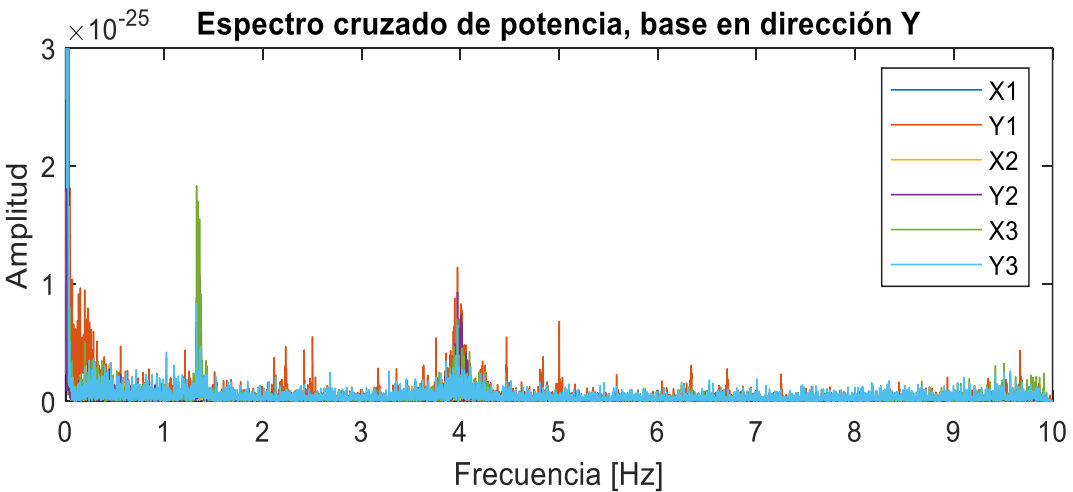
Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

PROCESAMIENTO DE DATOS: SENTIDO X

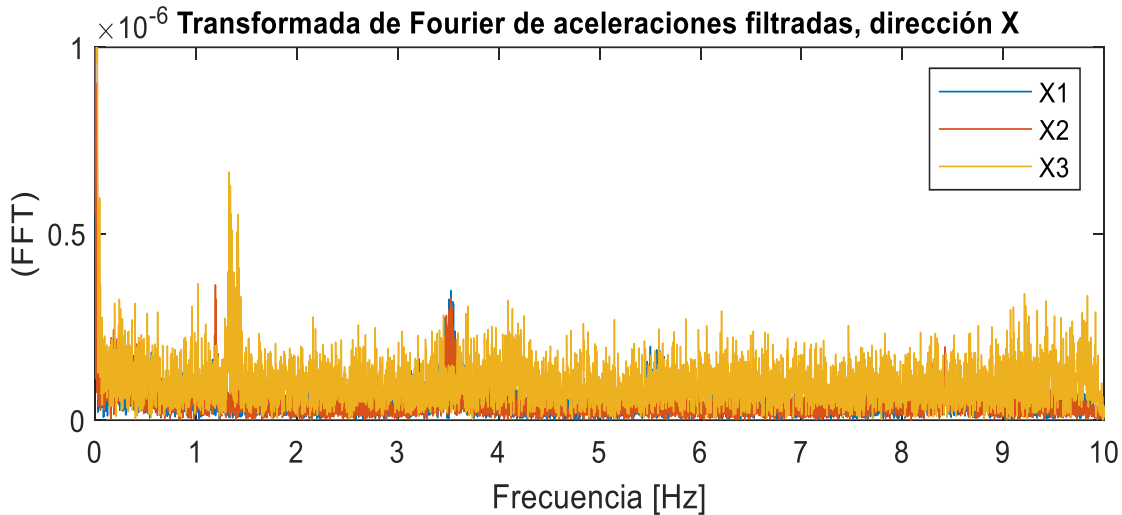
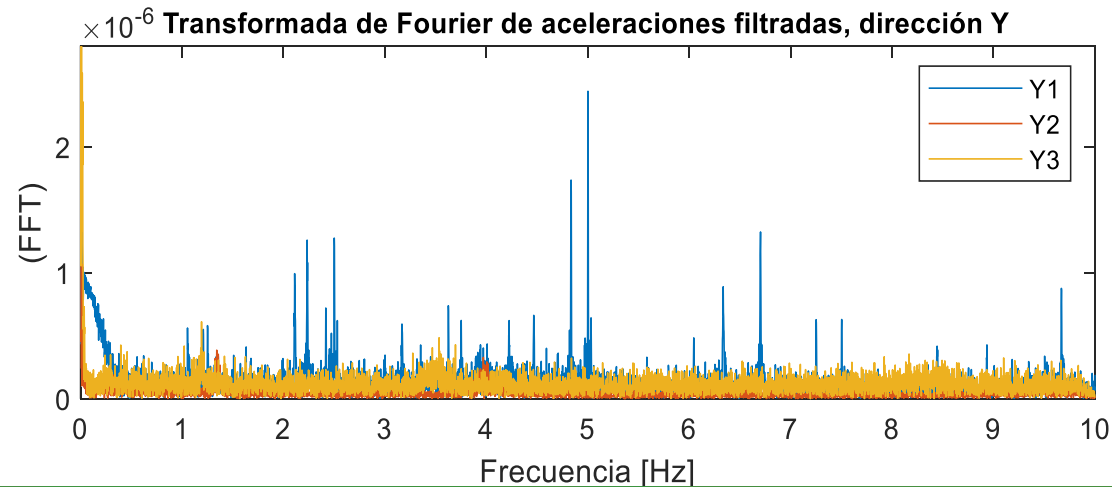


Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

PROCESAMIENTO DE DATOS: SENTIDO Y



MÉTODO “PEAK PICKING”

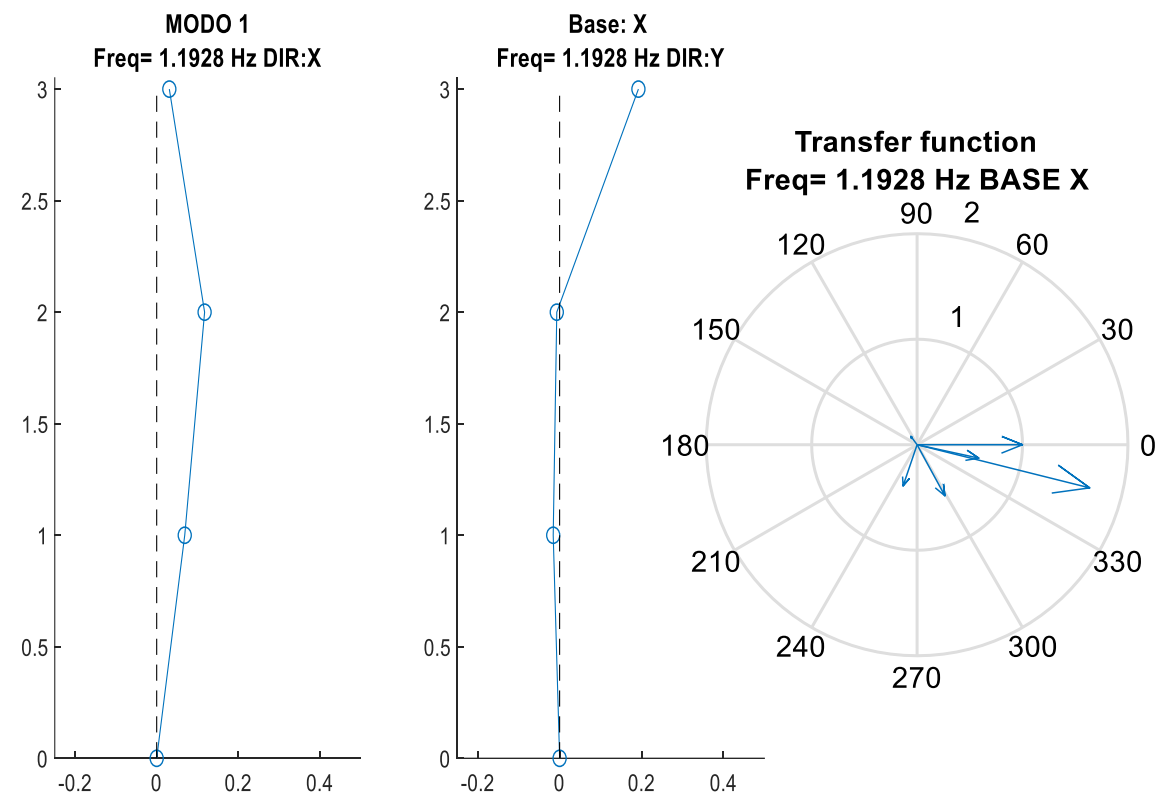
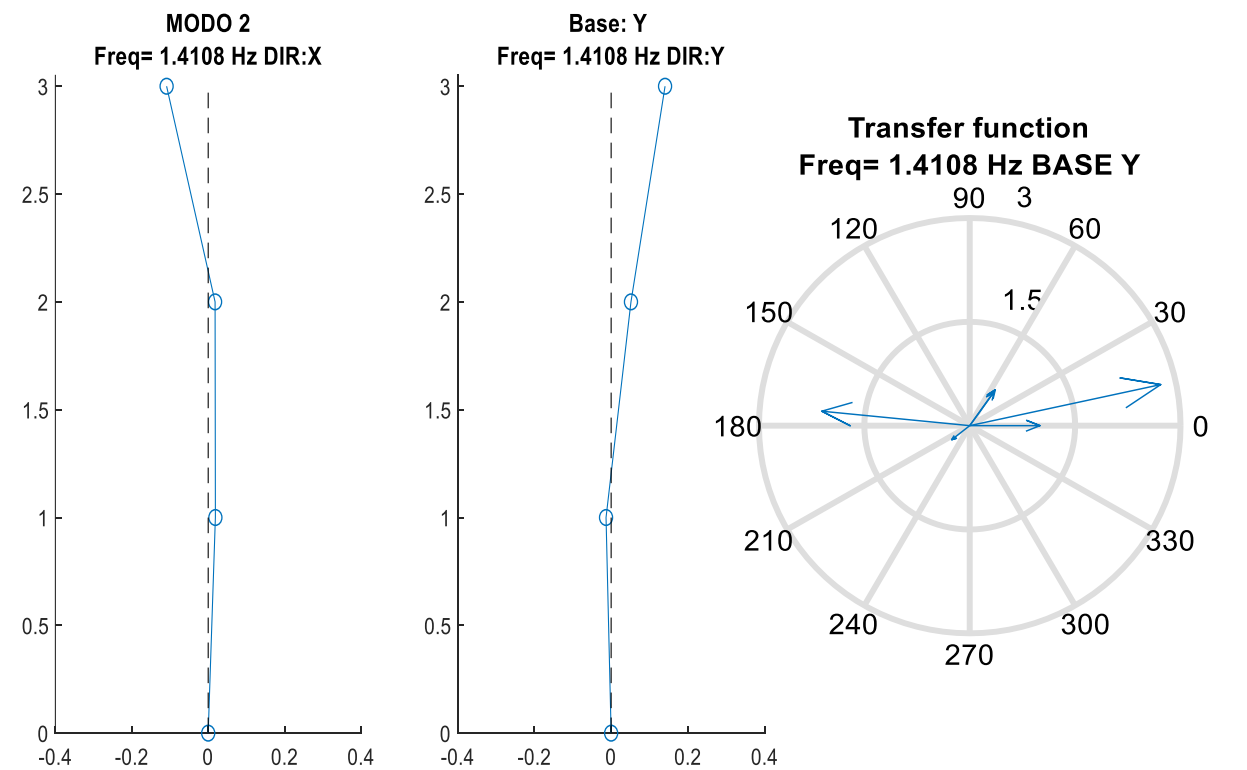


Periodo fundamental de la estructura

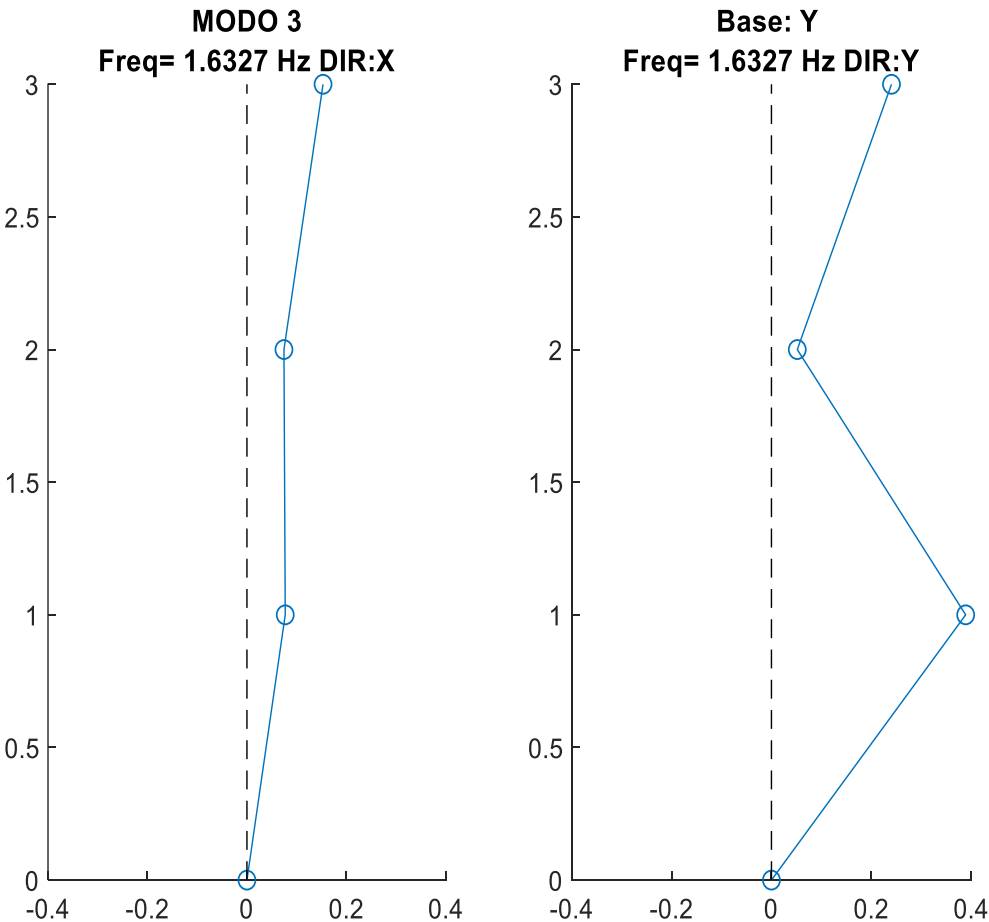
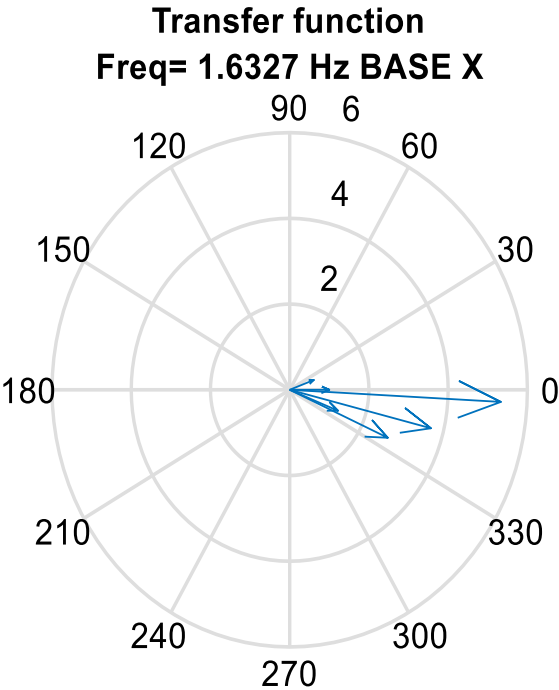
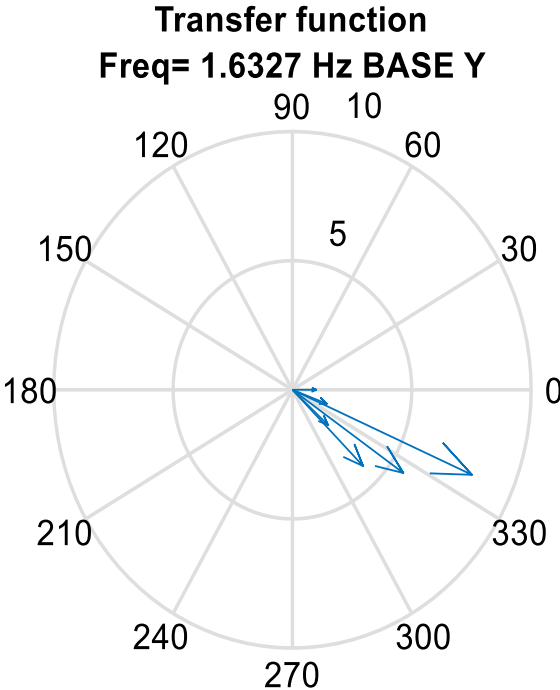
RESULTADOS DEL ENSAYO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL		
Modo	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)
1	0.838	1.193
2	0.709	1.411
3	0.612	1.633
4	0.276	3.626
5	0.237	4.225
6	0.224	4.470
7	0.199	5.033
8	0.162	6.159
9	0.160	6.267
10	0.153	6.523

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

COMPROBAR QUE SON FRECUENCIAS CARACTERÍSTICAS CON COMANDO “COMPASS”



Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------



Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

MIC NRC 6122 “Ensayos no destructivos en la estructura y suelo de cimentación del edificio administrativo en el campus matriz ESPE”

Determinación de la resistencia a la compresión
Método del ultrasonido: **$f'_c = 380 \text{ kg/cm}^2$**

Hormigón	
Resistencia a la compresión inicial (f'_c)	280 kg/cm ²
Resistencia a la compresión esperada ($f'_{ce}=1.3 f'_c$)	364 kg/cm ²
Acero de refuerzo	
Resistencia a la fluencia (f_y)	4200 kg/cm ²
Resistencia a la fluencia esperada ($f_{ye}=1.1 f_y$)	4620 kg/cm ²

Tomado de Pacific Earthquake Engineering Center (2017) en el Informe No. 2017/06

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

Dimensiones de los elementos estructurales del edificio administrativo

Elemento	Dimensiones			
	Ø (cm)	b (cm)	h (cm)	e (cm)
Columna C1	100	-	-	-
Columna C2	80	-	-	-
Viga	-	45	70	-
Viga	-	45	60	-
Viga	-	45	65	-
Viga	-	30	50	-
Viga	-	30	60	-
Viga	-	25	35	-
Viga	-	55	90	-
Viga	-	55	70	-
Viga acartelada	-	55	70-90	-
Vigueta	-	10	20	-
Losa N. +9.49				
N. +13.09				
N. +16.69	-	-	-	11
N. +20.29				
Losa N.+31.79	-	-	-	10

Carga muerta considerada

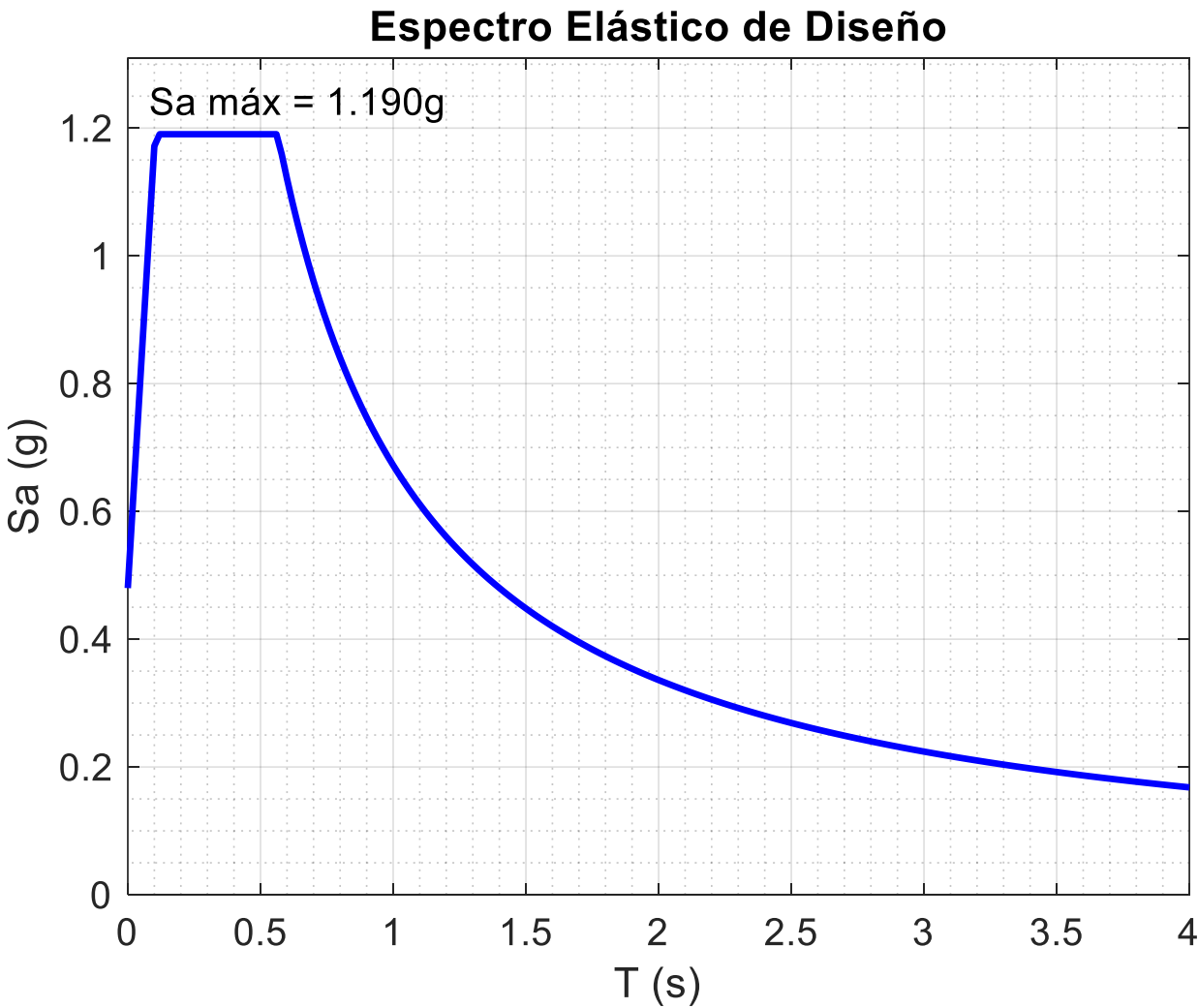
Cargas	Losa con mampostería (kg/m²)	Losa (kg/m²)	Losa de techo (kg/m²)
Enlucido y masillado	88.00	88.00	88.00
Recubrimiento de piso	44.00	44.00	0.00
Peso de mampostería	250.00	100.00	100.00
Instalaciones	18.00	18.00	18.00
Carga muerta TOTAL	400.00	250.00	200.00

Carga viva considerada de acuerdo a MIDUVI & CAMICON (2015)

Cargas	Áreas de recepción y corredores (kg/m²)	Oficinas (kg/m²)	Techo inaccesible (kg/m²)
Primer piso	480.00	240.00	-
Segundo hasta sexto piso	480.00	240.00	-
Techo	-	-	100.00

Parámetros para espectro de diseño	
Zona Sísmica	V
Valor del factor Z	0.40
Característica de la amenaza sísmica	Alta
Tipo de perfil del suelo	C
Factor de sitio Fa	1.2
Factor del comportamiento Fs	1.11
Factor de sitio Fd	1.11
Región	Sierra
Razón entre la aceleración espectral y el PGA η	2.48
Factor dependen de la ubicación geográfica r	1
Periodo límite de vibración T_0	0.10
Periodo límite de vibración T_c	0.56
Parámetros para el período de vibración fundamental	
Coeficiente C_t	0.055
Altura máxima de la edificación h_n (m)	33.08
Coeficiente α	0.9
Contarte Basal de diseño	
Factor de importancia I	1.3
Irregularidad en planta ϕ_p	0.9
Irregularidad en elevación ϕ_e	0.9
Coeficiente de reducción sísmica R	8
RESULTADOS	
Periodo fundamental de vibración (seg)	1.28
Sa elástico	0.52
Coeficiente basal %	0.095

Espectro elástico de diseño

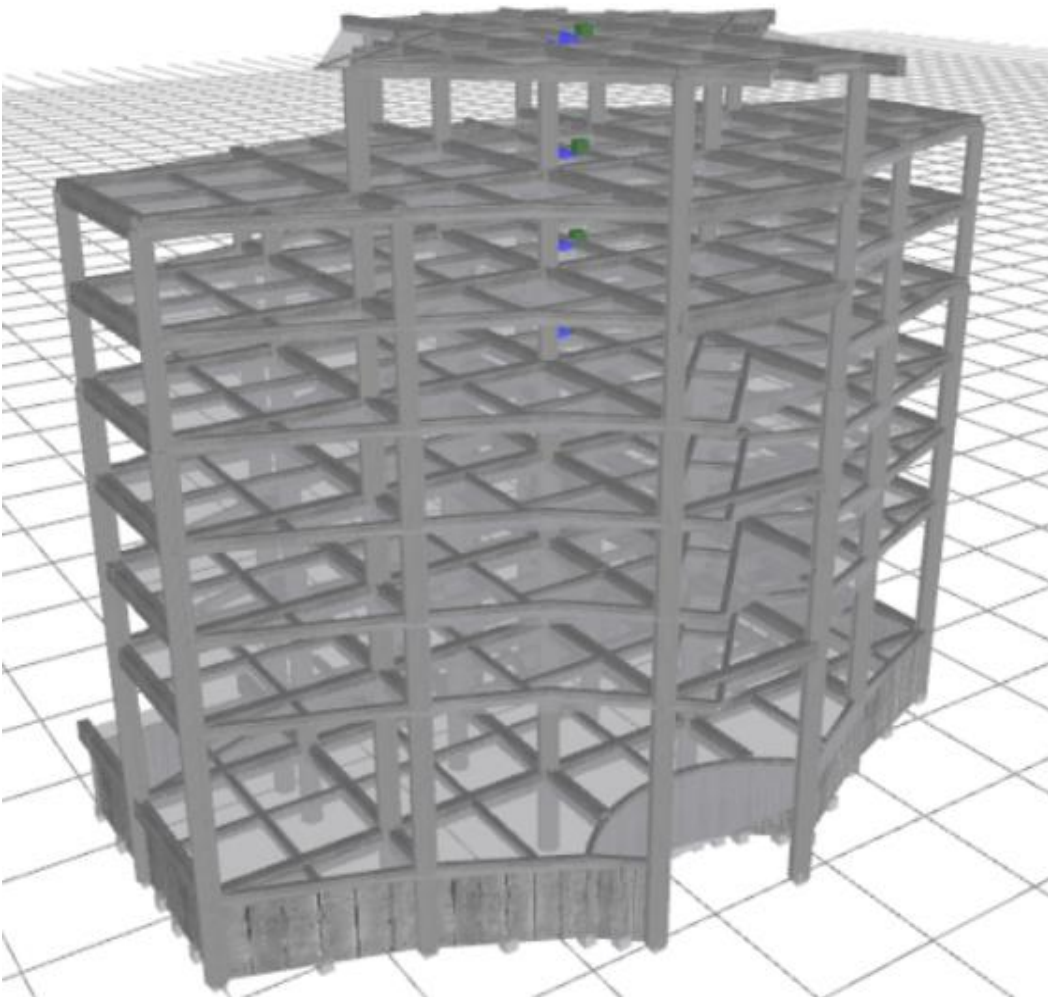


Se usaron los siguientes tipos de elementos para las consideraciones de los elementos estructurales en Seismostruct[®]

FRECUENCIAS Y PERIODOS (MODELO EN SeismoStruct®)

Periodo fundamental de la estructura

Modo	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)
1	0.839	1.192
2	0.710	1.409
3	0.596	1.678
4	0.275	3.639
5	0.238	4.207
6	0.226	4.425
7	0.197	5.082
8	0.162	6.171
9	0.159	6.290
10	0.153	6.540

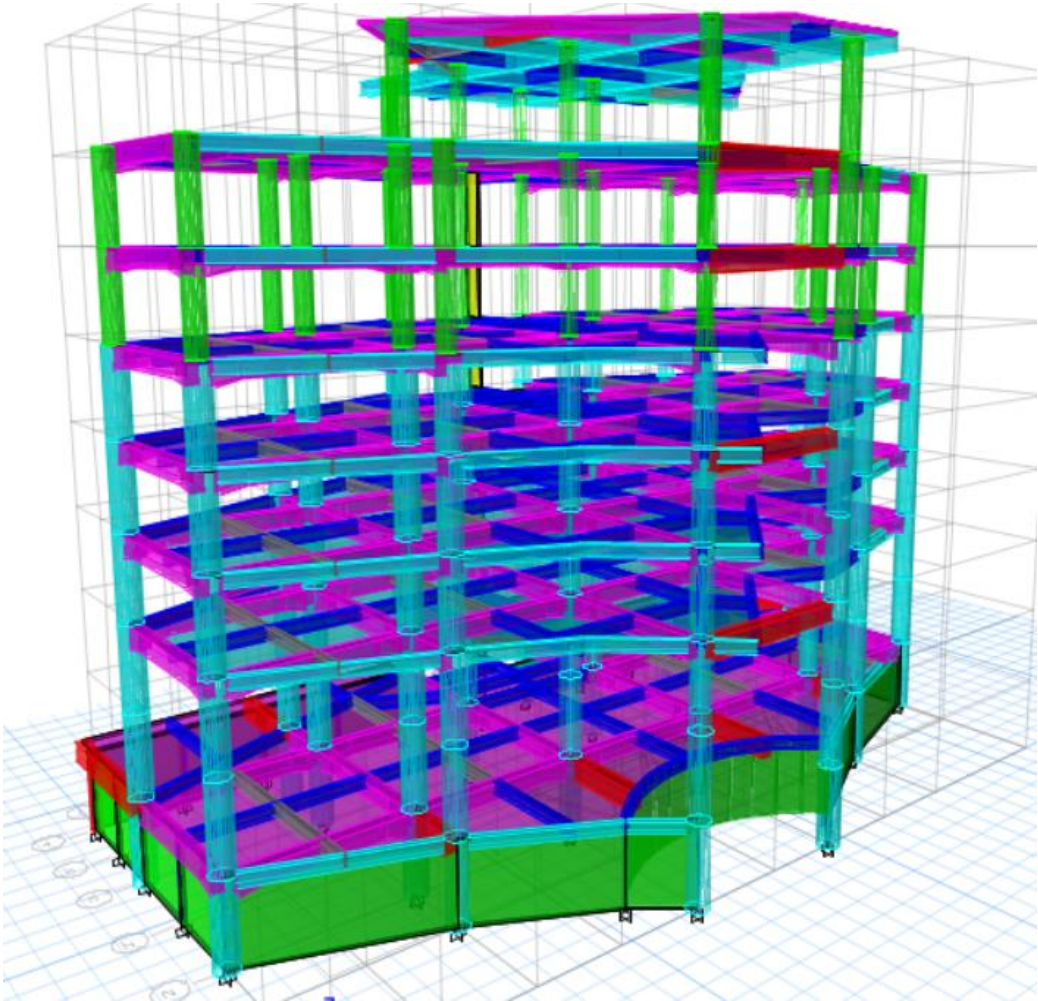


FRECUENCIAS Y PERIODOS (MODELO EN ETABS®)

Periodo fundamental de la estructura

- Factores de inercias:
- 1 lg para vigas
 - 1 lg para columnas

Modo	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)
1	0.859	1.164
2	0.720	1.389
3	0.654	1.529
4	0.276	3.623
5	0.235	4.255
6	0.211	4.739
7	0.162	6.173
8	0.144	6.944
9	0.139	7.194
10	0.105	9.524

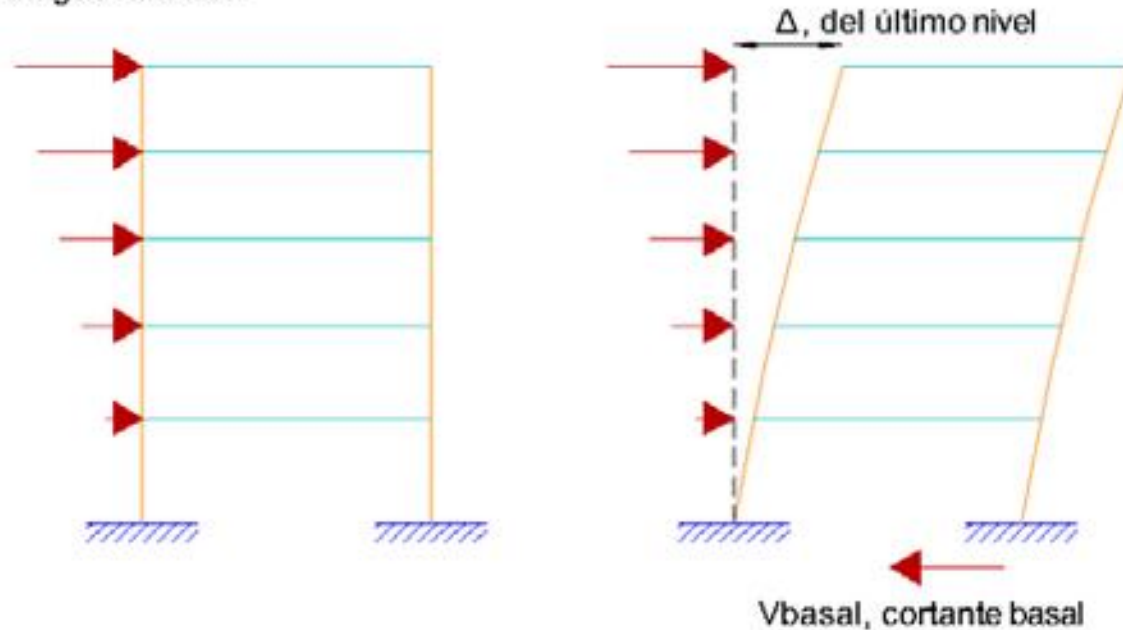
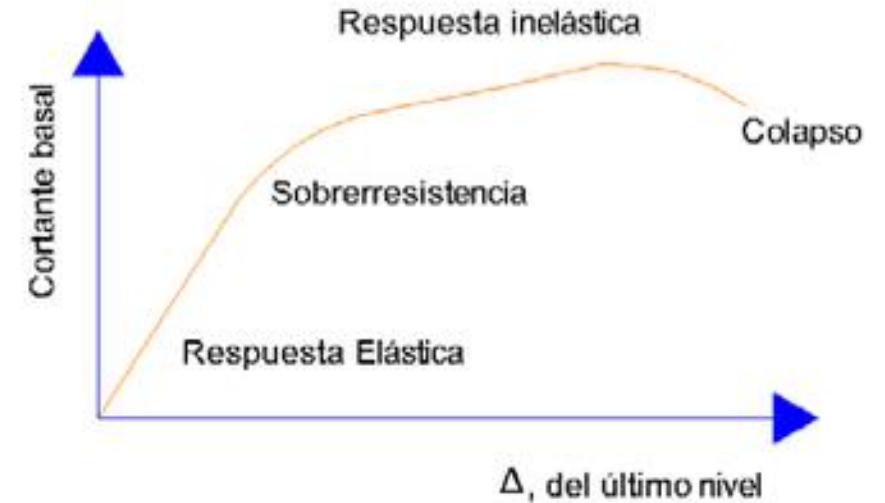


Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

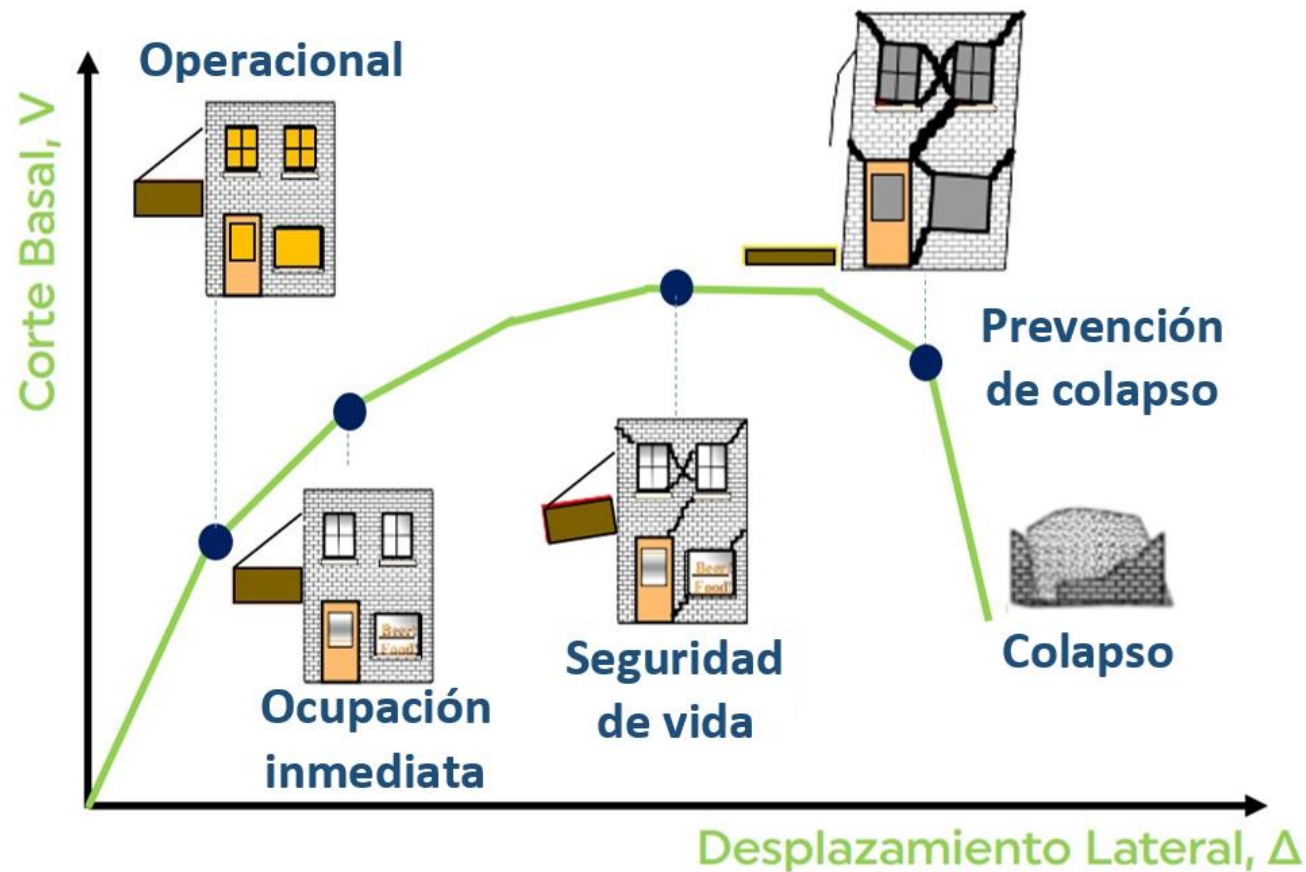
Análisis Pushover

El análisis Pushover permite observar cómo la estructura pierde su capacidad de soportar carga, lo cual es crucial para predecir su nivel de desempeño durante un terremoto real. Esto se visualiza a través de la curva de capacidad, que relaciona el cortante basal con el desplazamiento lateral de la estructura

Cargas laterales



EVALUACIÓN SÍSMICA POR DESEMPEÑO



Adaptada del documento *Visión 2000*, por (SEAOC, 1995).

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA

Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno (años)
50% / 30 años	43
50% / 50 años	72
20% / 50 años	225
10% / 50 años	475
5% / 50 años	975
2% / 50 años	2475

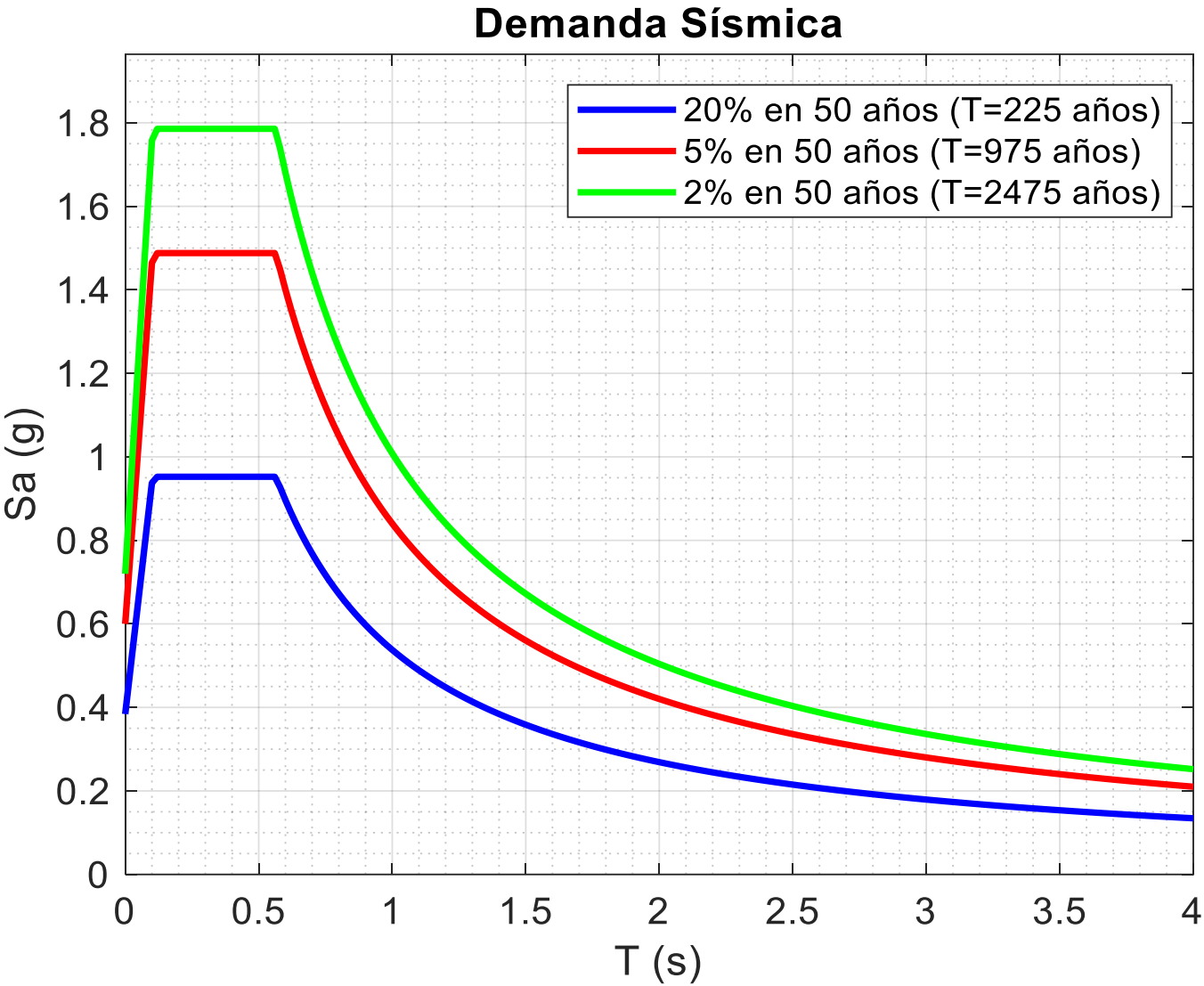
Tomado de *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, por (ASCE/SEI 41-23, 2023).

DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE DESEMPEÑO

Objetivos de desempeño					
Niveles de rendimiento del edificio objetivo					
	Nivel de peligro sísmico	Operacional (Nivel 1-A)	Ocupación inmediata (Nivel 1-B)	Seguridad de vida (Nivel 3-C)	Prevención de colapso (Nivel 5-D)
SISMO OCASIONAL	50%/50 años	a	b	c	d
	BSE-1E (20%/50 años)	e	f	g	h
SISMO RARO	BSE-2E (5%/50 años)	i	j	k	l
	BSE-2N (ASCE 7 MCE _R)	m	n	o	p
SISMO MUY RARO	Tomado de <i>Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings</i> , por (ASCE/SEI 41-23, 2023).				

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

ESPECTROS DE NIVELES DE PELIGRO SÍSMICO

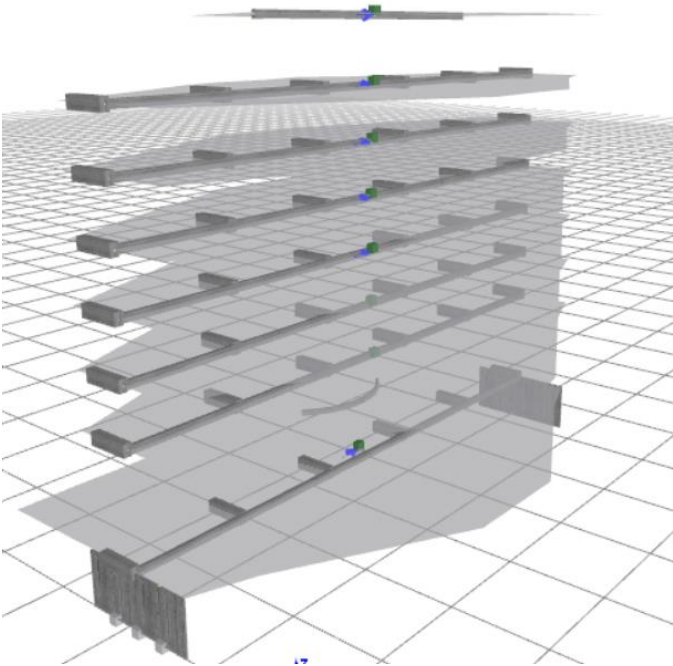


Análisis Pushover

El análisis estático no lineal (Pushover) basado en fuerzas, debemos encontrar la distribución de las cargas nodales para el Pushover en la dirección X e Y, para poder construir la curva capacidad.

$$F_i = \frac{W_i * h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i * h_i^k} * V$$

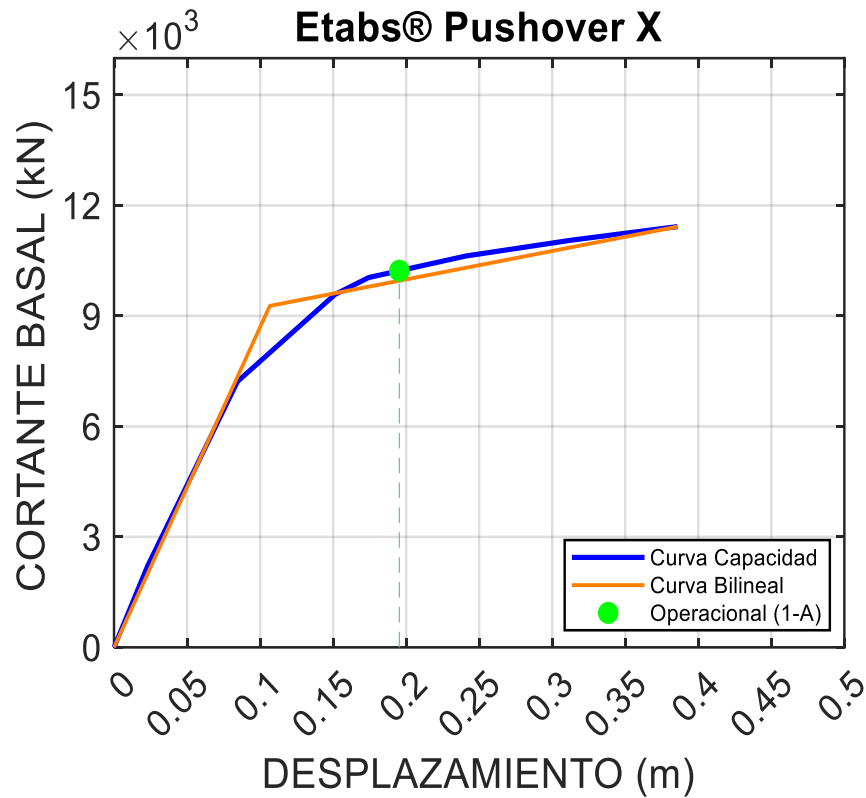
Etiqueta	Piso #	W (kN)	h (m)	W*(h^k) (kN.m)	Fi (Kn)
Story7	9.00	3399.81	33.08	210757.04	1117.85
Story6	8.00	6730.49	28.78	354033.63	1877.79
Story5	7.00	6730.49	25.18	302407.27	1603.96
Story4	6.00	7077.64	21.58	265095.35	1406.06
Story3	5.00	7106.82	17.98	214634.50	1138.42
Story2	4.00	7077.64	14.38	164234.74	871.10
Story1	3.00	7150.86	10.78	118122.39	626.52
Mezanine	2.00	1931.16	7.19	19784.71	104.94
S1	1.00	10044.06	3.60	45505.94	241.36
Σ		57248.97	Σ	1694576	



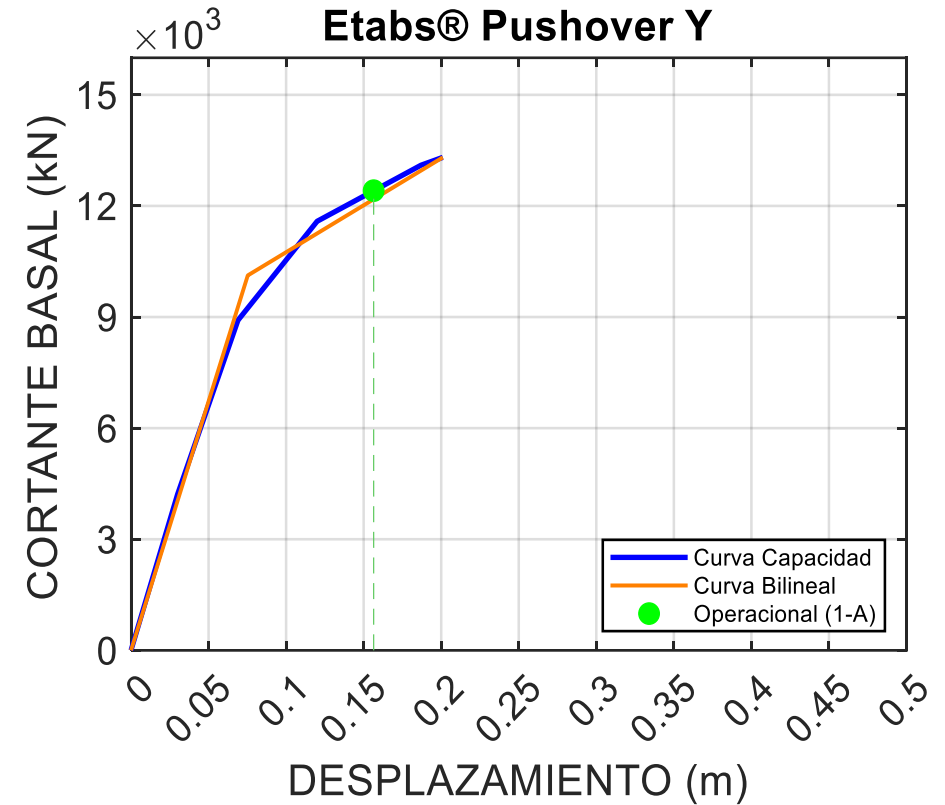
CURVAS DE CAPACIDAD DE I1 (ETABS)

Secciones agrietadas para **SISMO OCASIONAL** de acuerdo a Pacific Earthquake Engineering Center (2017) :

- 0.5 lg para vigas
- 0.7 lg para columnas



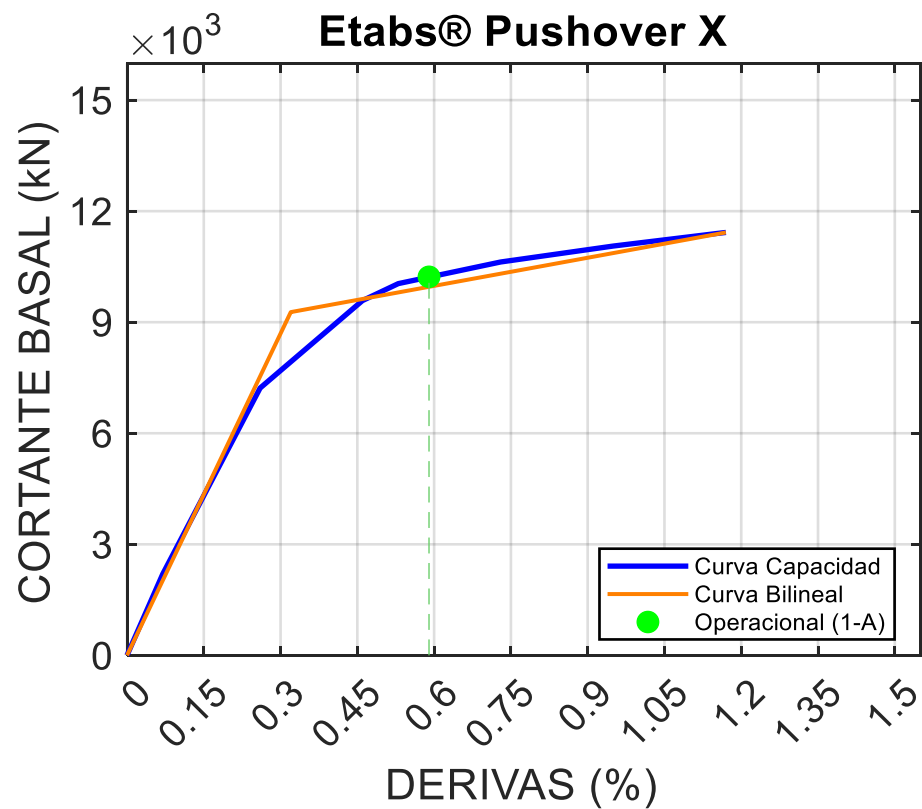
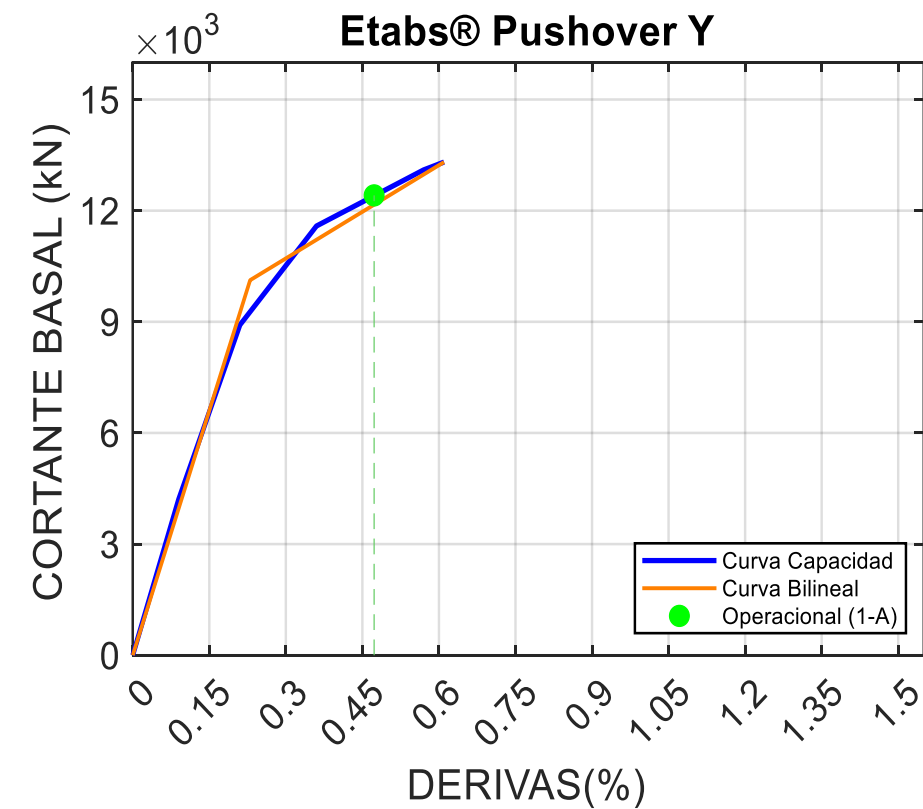
Operativo (1-A)	0.19 m
-----------------	--------



Operativo (1-A)	0.16 m
-----------------	--------

CURVAS DE CAPACIDAD DE I1 (ETABS)

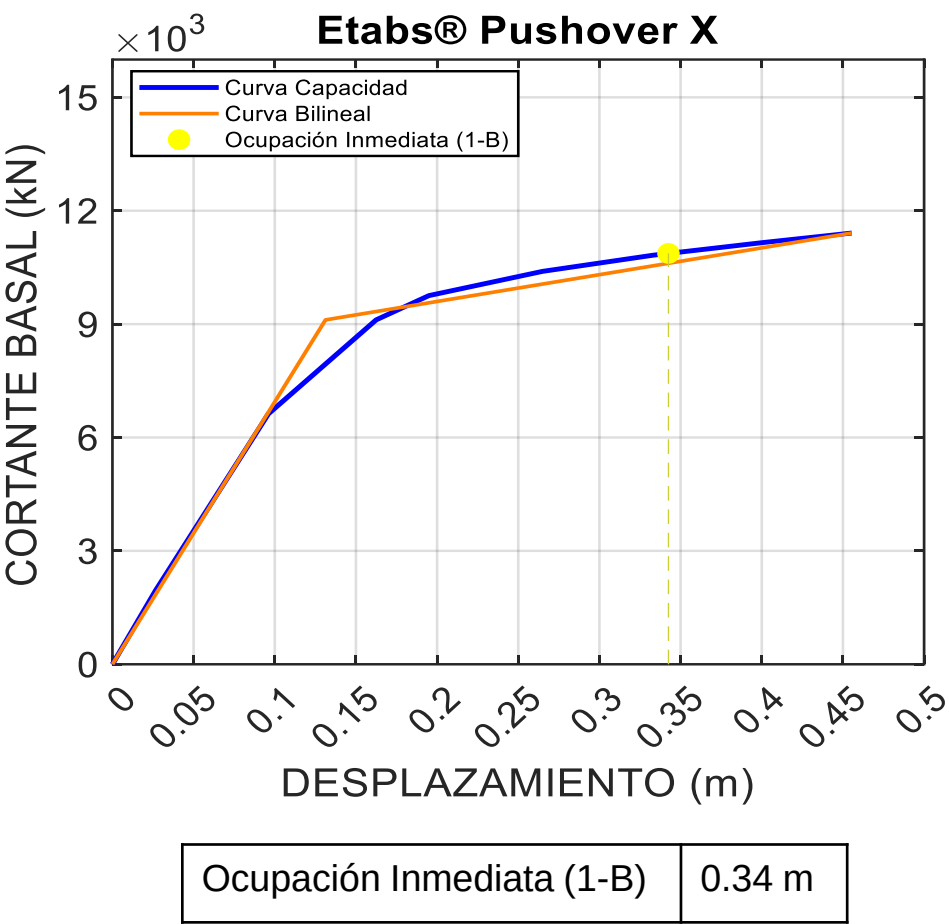
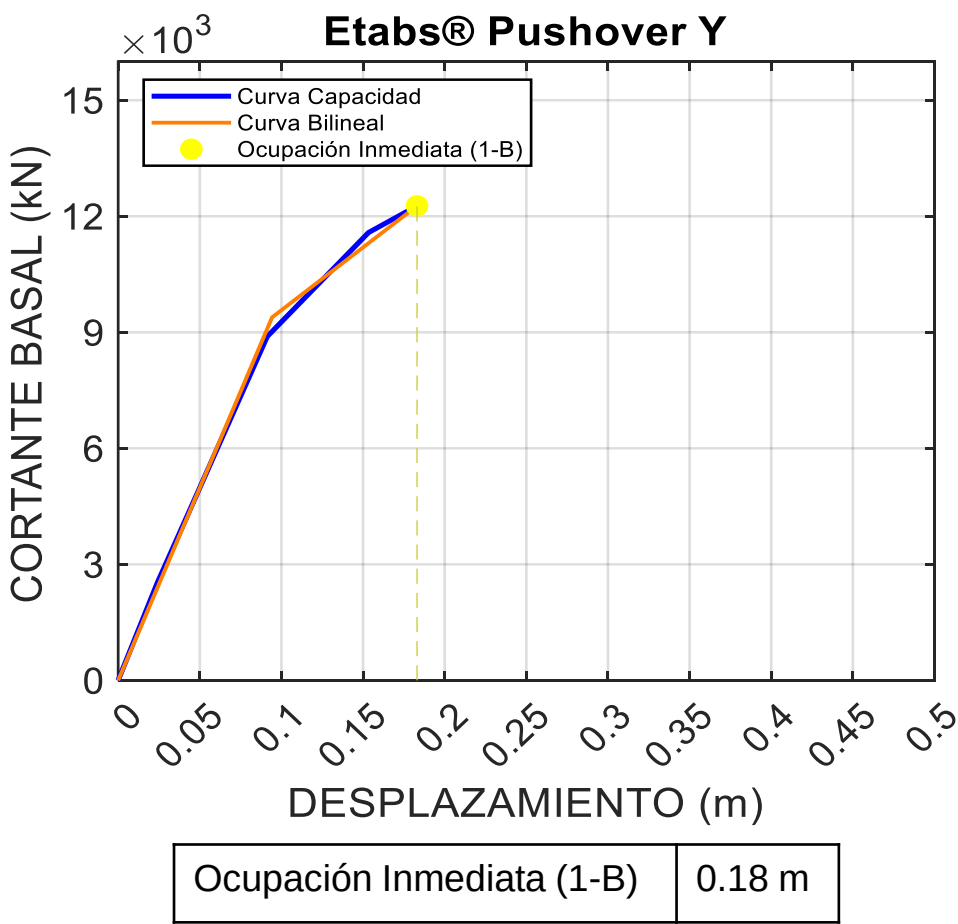
La **DERIVA MÁXIMA** de acuerdo a Pacific Earthquake Engineering Center (2017):
0.5%



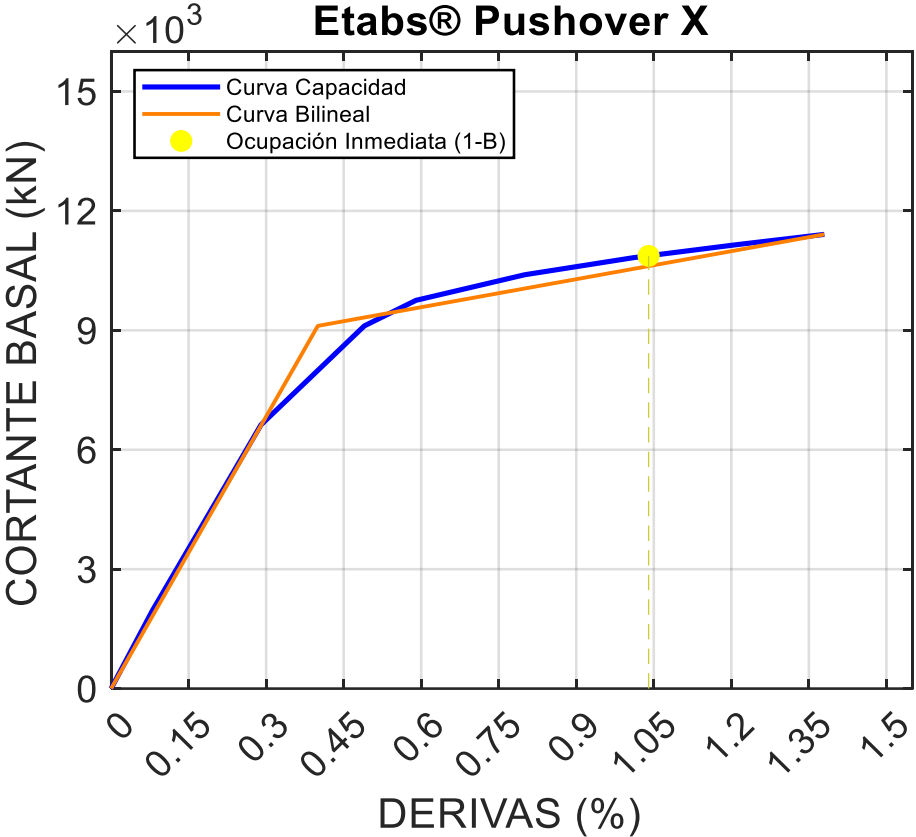
CURVAS DE CAPACIDAD DE I2 (ETABS)

Secciones agrietadas para **SISMO RARO** de acuerdo a American Concrete Institute (2019):

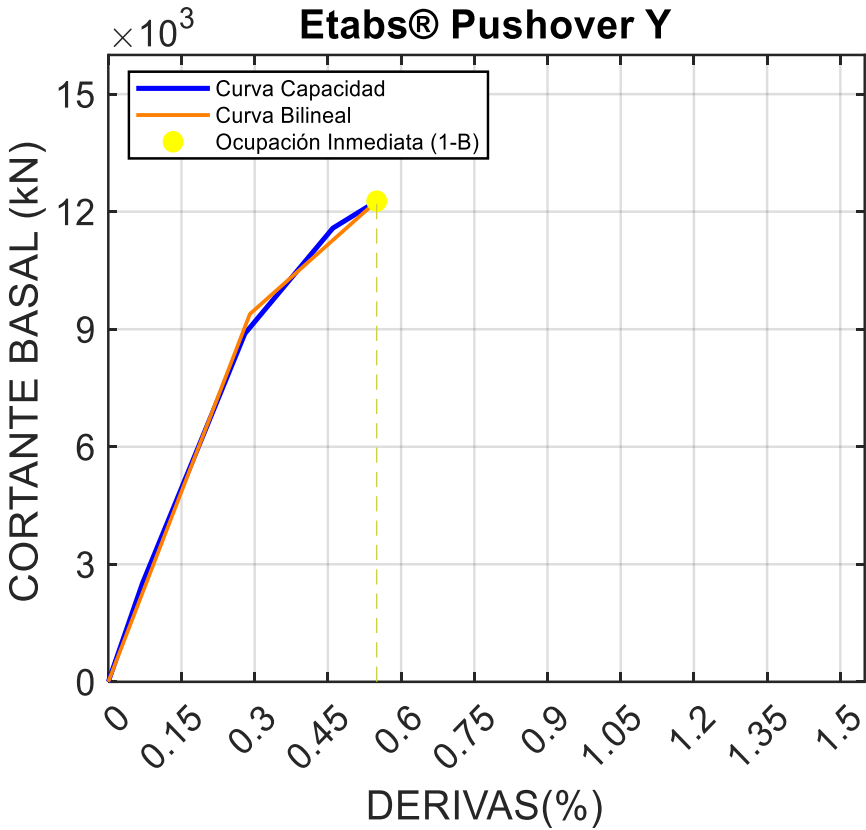
- 0.35 lg para vigas
- 0.7 lg para columnas



CURVAS DE CAPACIDAD DE I2 (ETABS)



Ocupación Inmediata (1-B)	1.04 %
---------------------------	--------



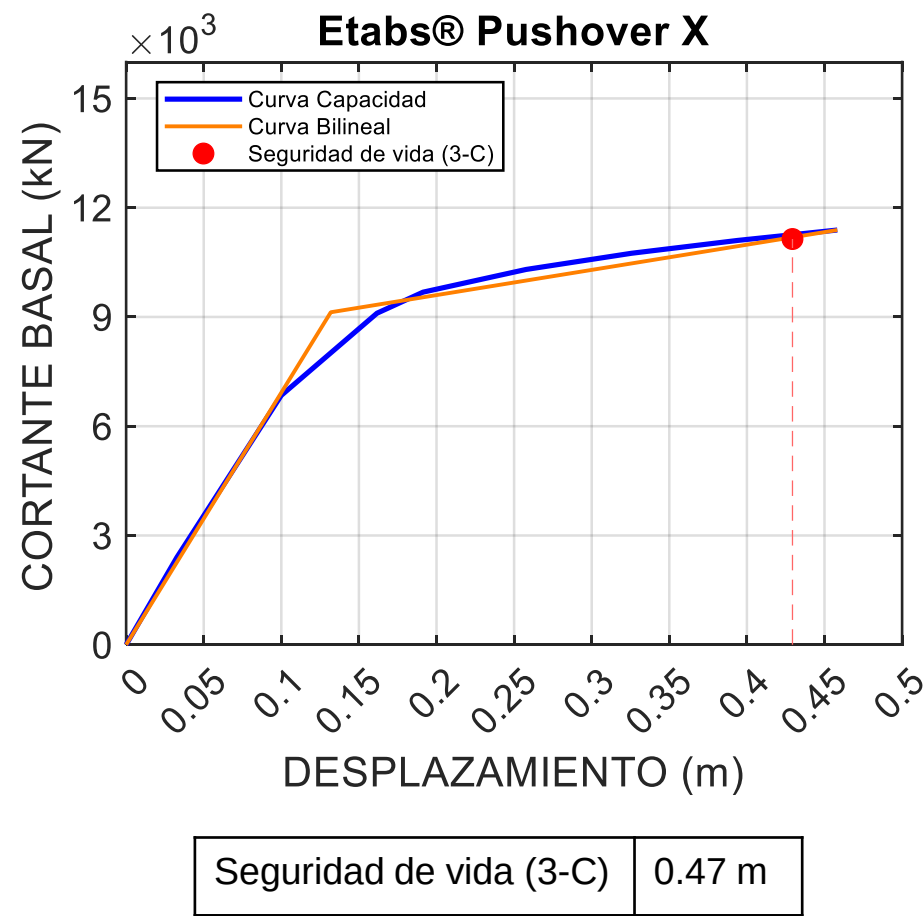
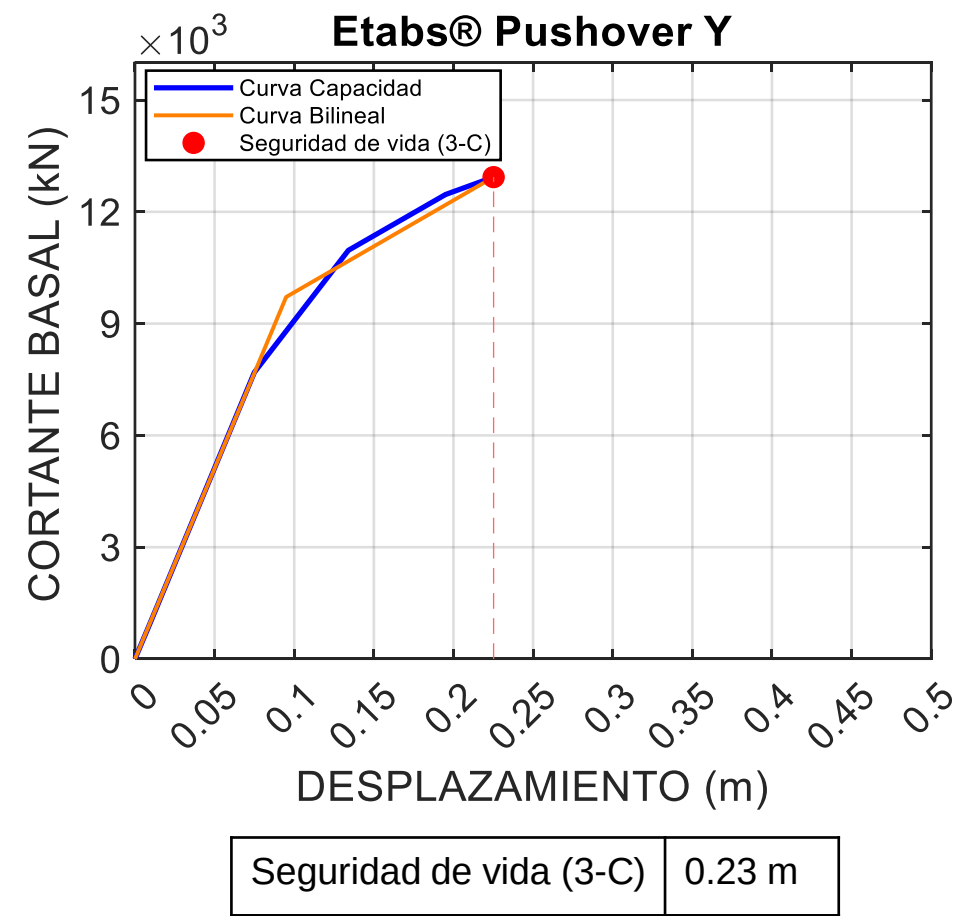
Ocupación Inmediata (1-B)	0.55 %
---------------------------	--------

La **DERIVA MÁXIMA** de acuerdo a ASCE/SEI 41-23 (2023) es de:
2.0%

CURVAS DE CAPACIDAD DE I3 (ETABS)

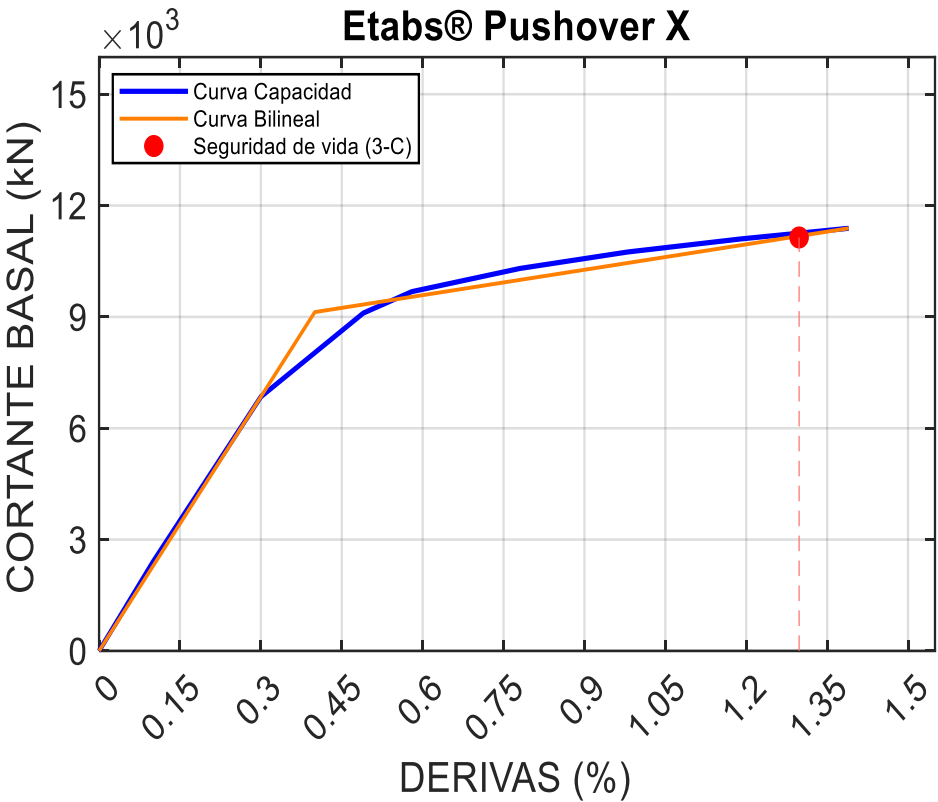
Secciones agrietadas para **SISMO MUY RARO** de acuerdo a Pacific Earthquake Engineering Center (2017):

- 0.3 lg para vigas
- 0.7 lg para columnas

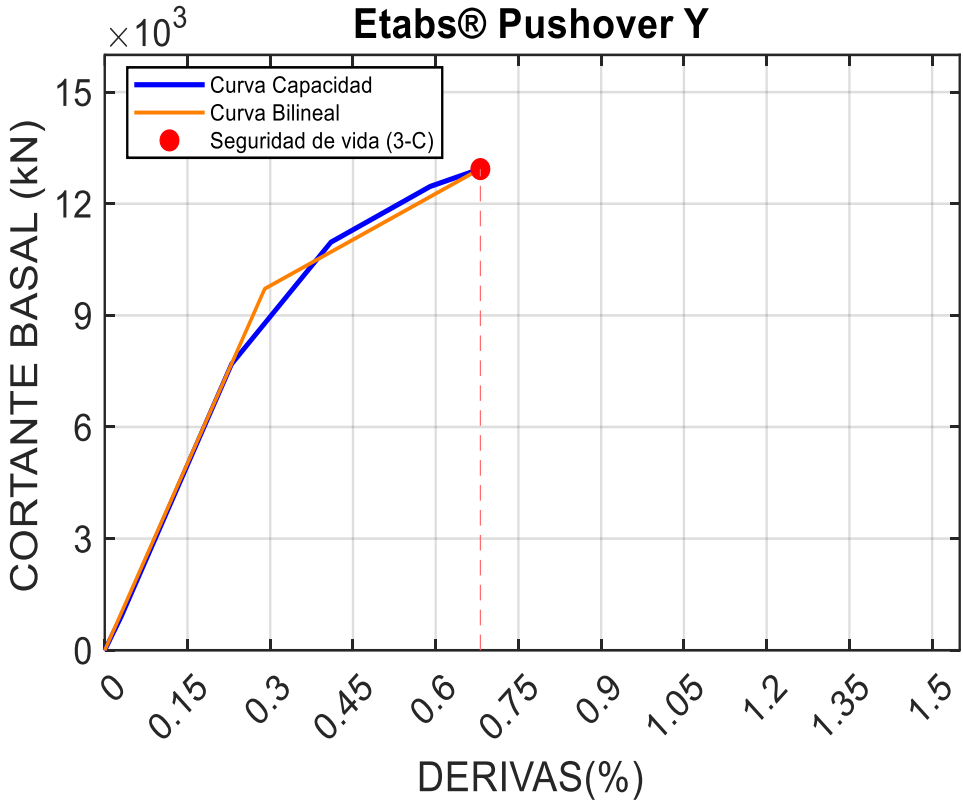


CURVAS DE CAPACIDAD DE I3 (ETABS)

La **DERIVA MÁXIMA** de acuerdo a Pacific Earthquake Engineering Center (2017):
3.0%

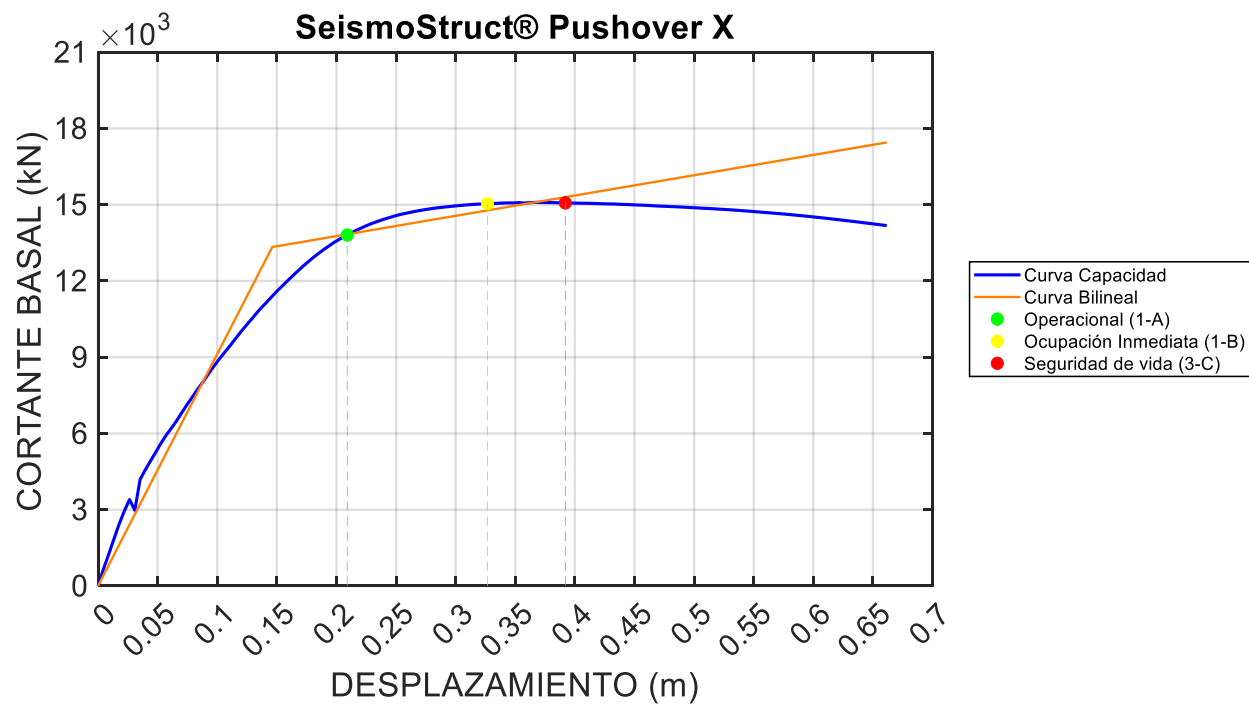
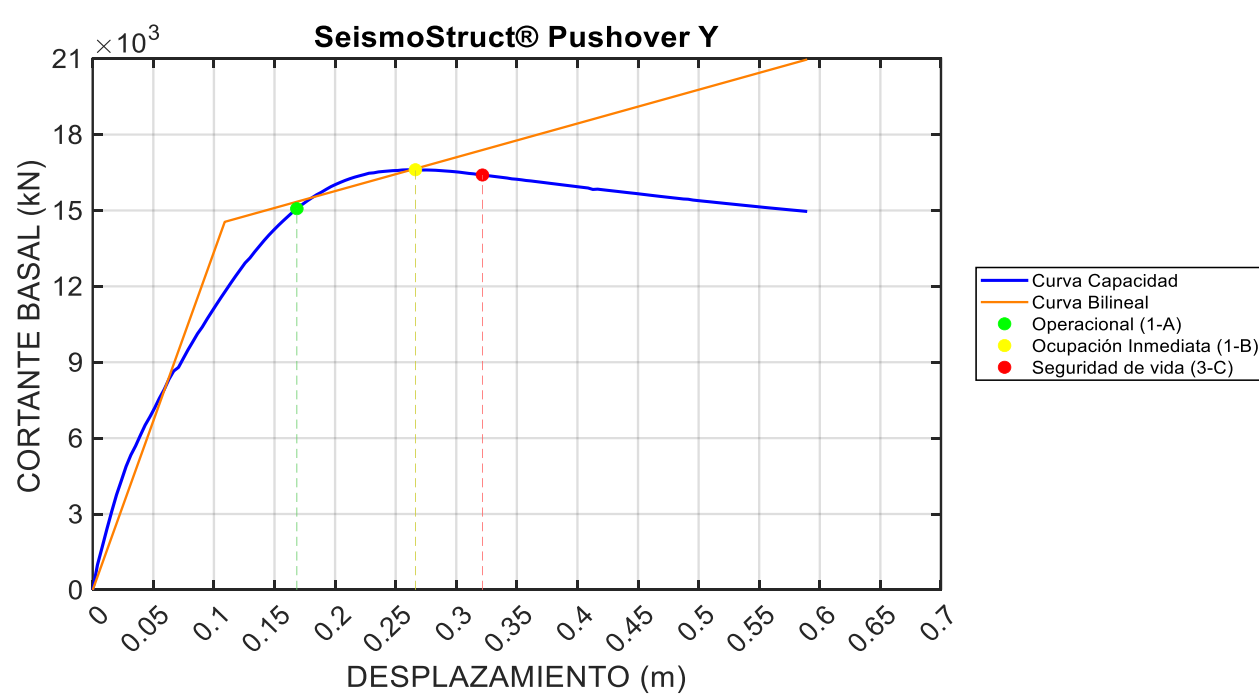


Seguridad de vida (3-C)	1.30 %
-------------------------	--------

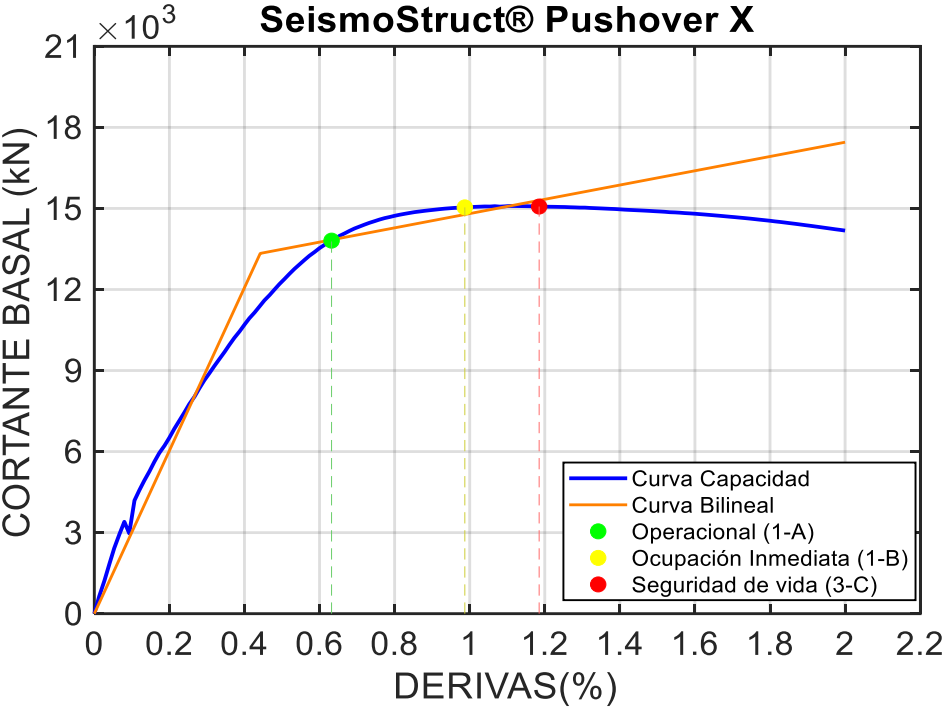


Seguridad de vida (3-C)	0.67 %
-------------------------	--------

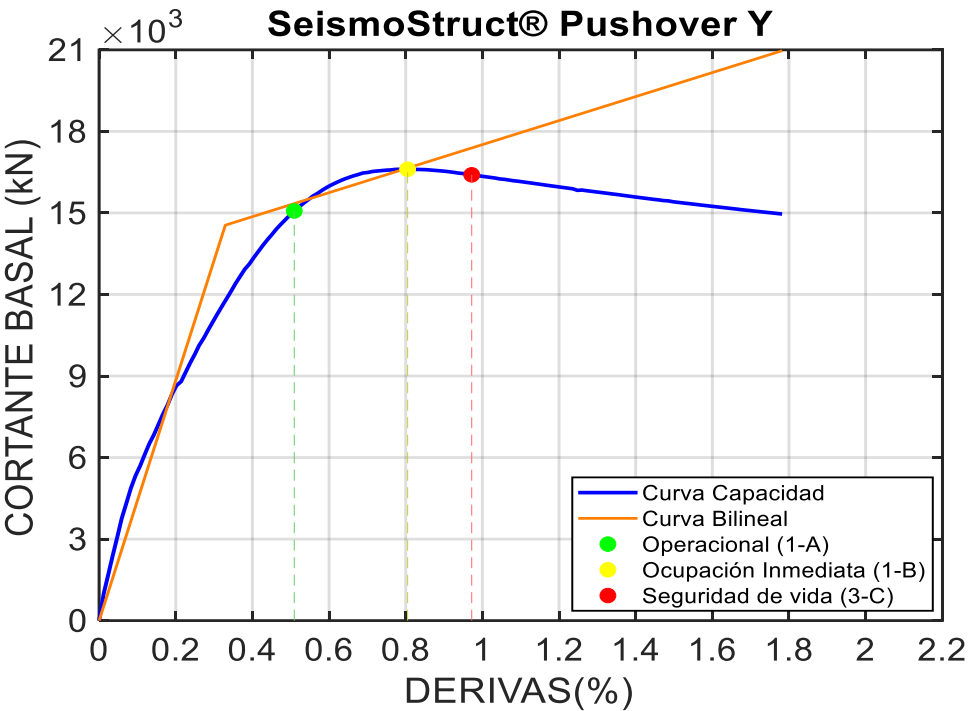
CURVAS DE CAPACIDAD (SeismoStruct®)



CURVAS DE CAPACIDAD (SeismoStruct®)



Operacional (1-A)	0.63 %
Ocupación inmediata (1-B)	0.79 %
Seguridad de vida (3-C)	1.19 %



Operacional (1-A)	0.51 %
Ocupación inmediata (1-B)	0.64 %
Seguridad de vida (3-C)	0.97 %

COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANALÍTICOS

Frecuencias y periodos- Ensayo de vibración ambiental (Instrumentación)			
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Frecuencia (Hz)	1.193	1.411	1.633
Periodo (s)	0.838	0.709	0.612
Frecuencias y periodos- Modelo analítico (ETABS)			
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Frecuencia (Hz)	1.164	1.3812	1.5221
Periodo (s)	0.859	0.724	0.657
Frecuencias y periodos- Modelo analítico (SeismoStruct)			
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Frecuencia (Hz)	1.192	1.409	1.678
Periodo (s)	0.839	0.710	0.596

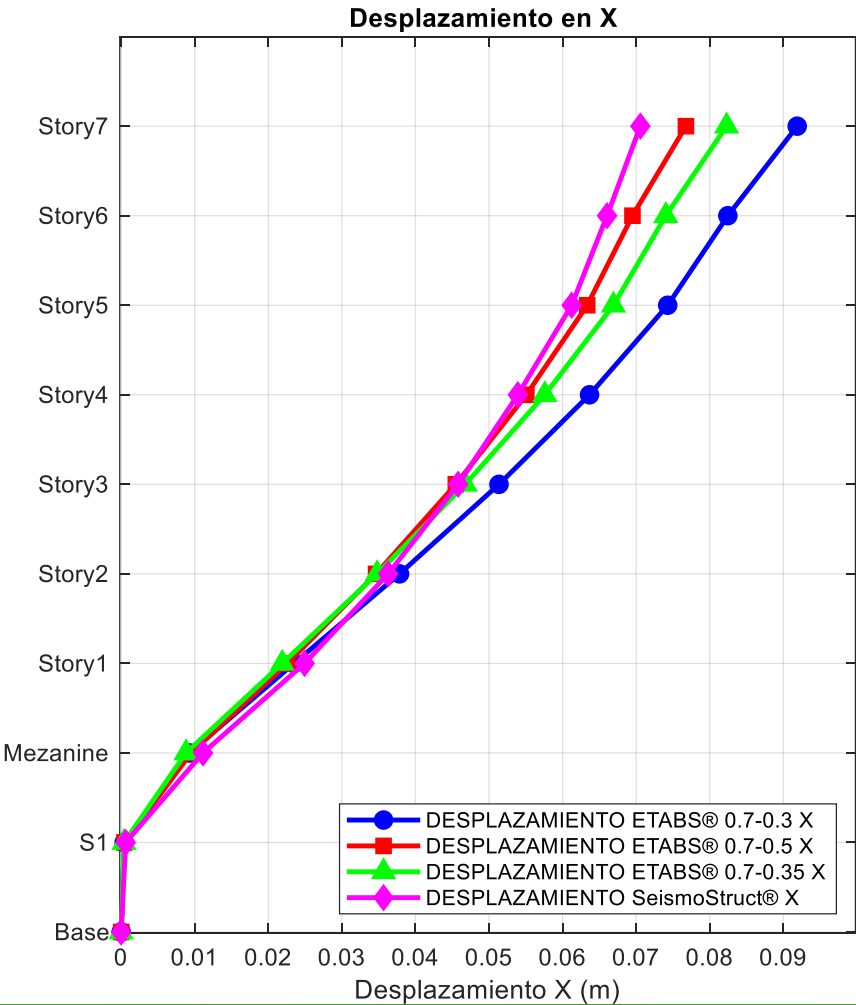
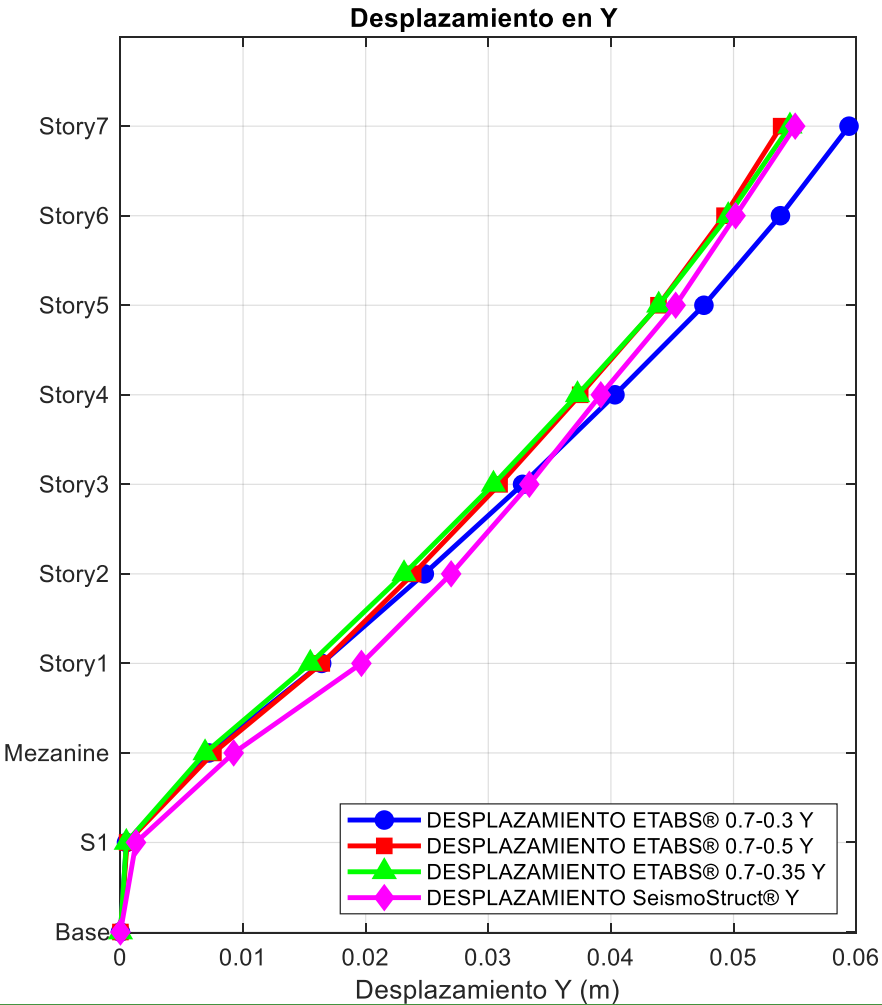
0.12%

2.48%

2.36%

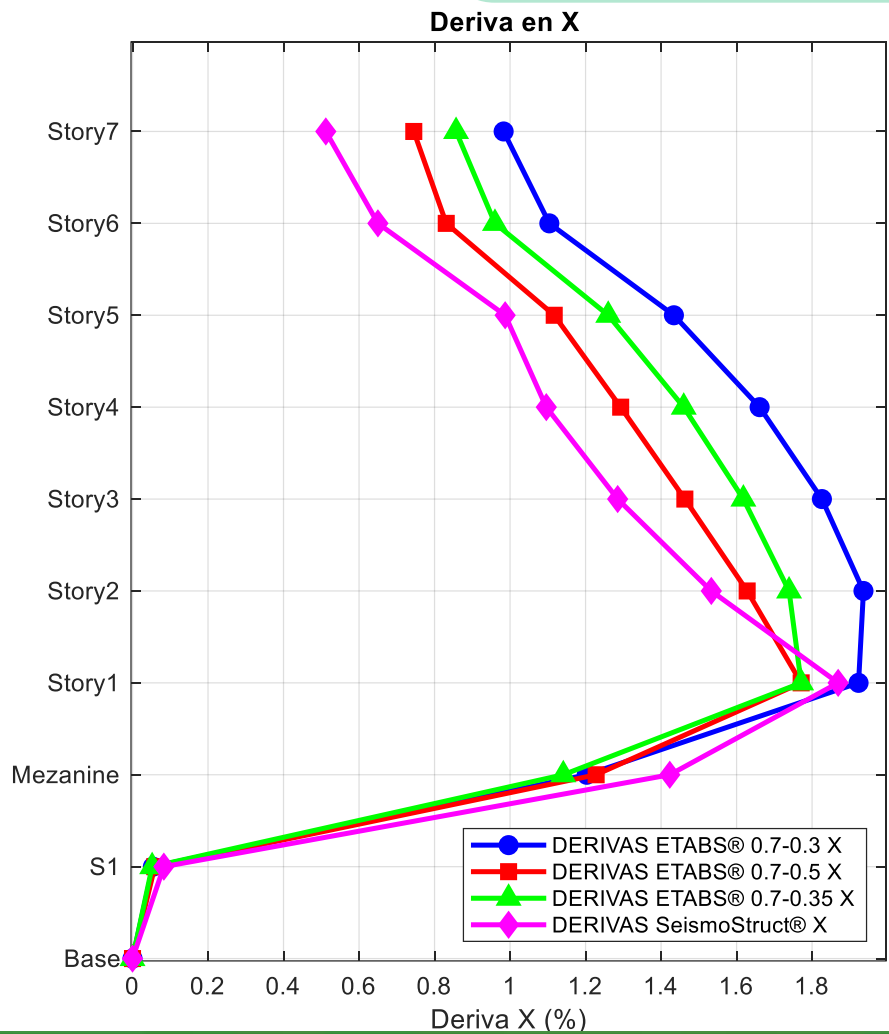
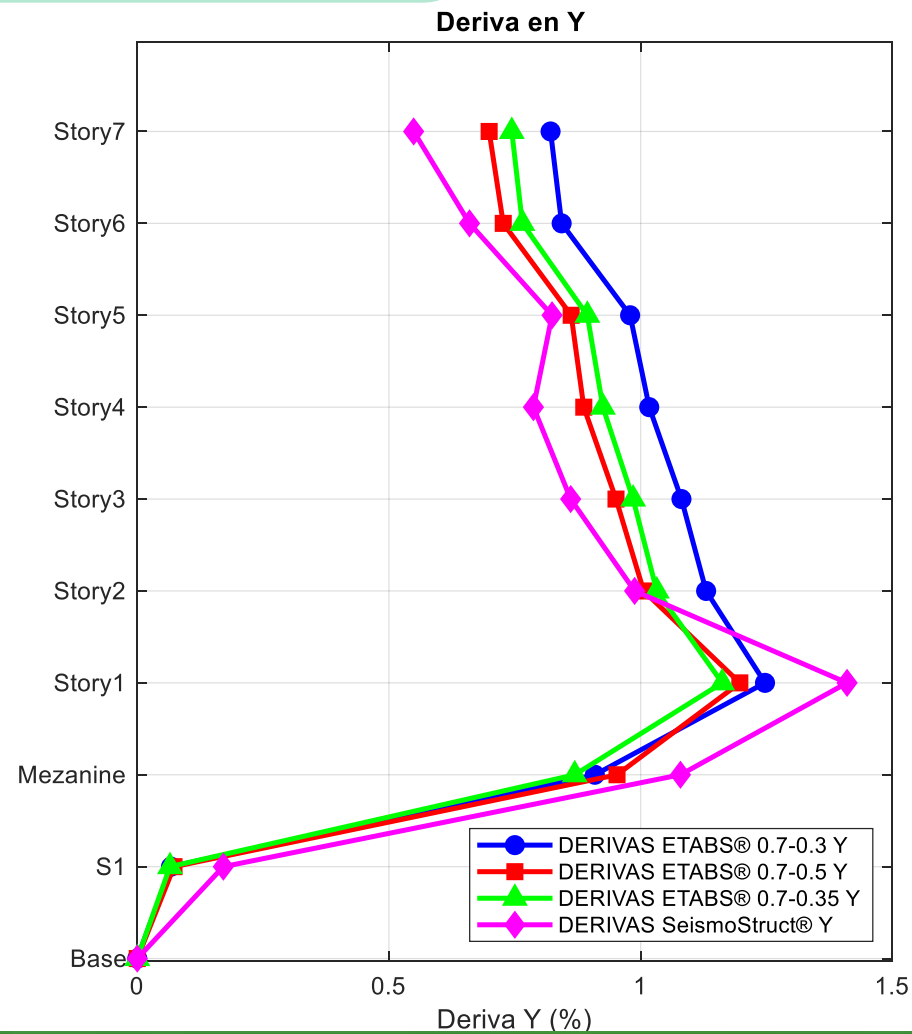
Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS



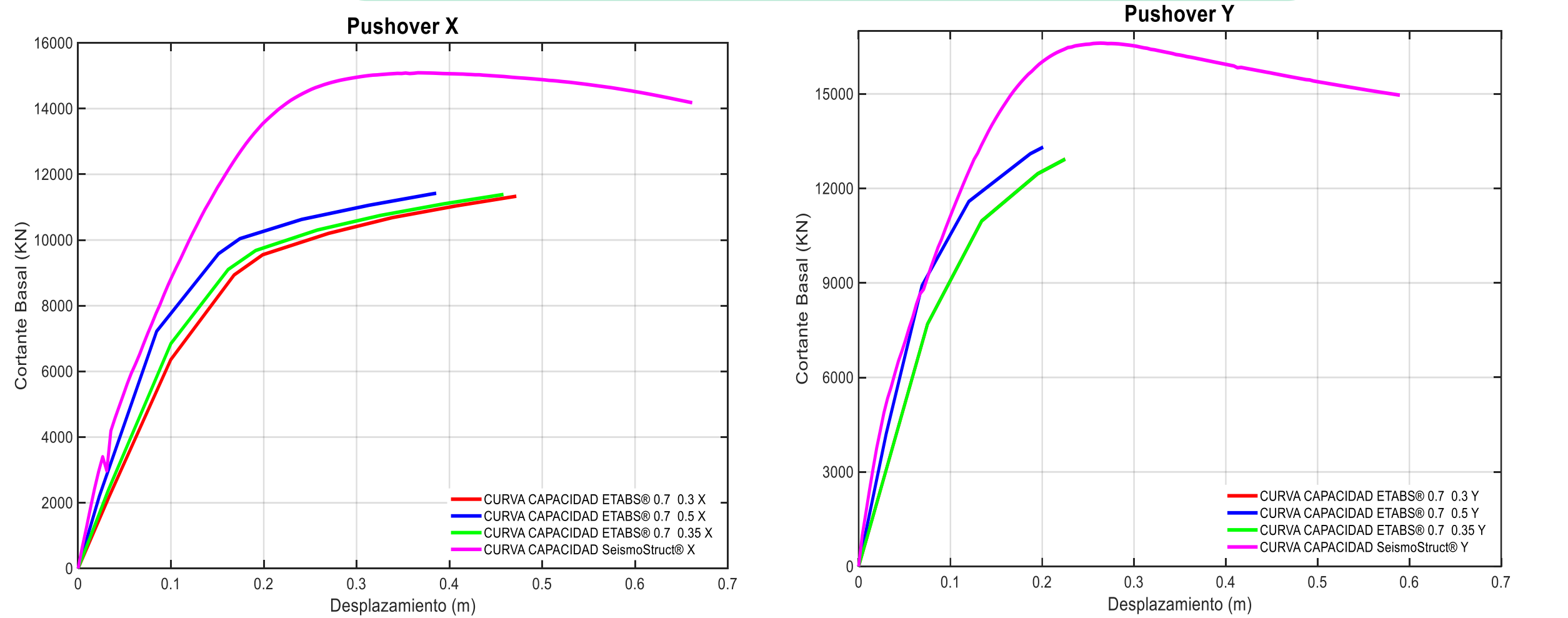
Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

COMPARACIÓN DE DERIVAS



Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

COMPARACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD



Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

Conclusiones

- El ensayo de vibración ambiental identifica frecuencias y periodos estructurales, permitiendo calibrar modelos analíticos para evaluar respuestas sísmicas reales.
- La simulación no lineal en ETABS® con inercias agrietadas aproxima el efecto del agrietamiento, aunque no captura toda la complejidad del comportamiento no lineal.
- Las curvas de capacidad muestran cumplimiento de dos objetivos sísmicos (deriva $<2\%$ y $<3\%$ en sismos raros/muy raros), pero no el operacional (deriva $>0.5\%$ en sismos ocasionales).

Objetivos	Descripción del edificio en estudio	Procedimiento experimental	Modelación numérica del edificio	Análisis PUSHOVER	Resultados	Conclusiones y Recomendaciones
-----------	-------------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------	------------	--------------------------------

Recomendaciones

- Planificar logística de sensores (ubicación, cables y acceso) y realizar ensayos en vacío para minimizar ruido y garantizar calidad de datos ambientales.
- Ajustar factores de agrietamiento en ETABS® según tipo y ubicación de elementos, validando con pruebas de campo para modelación no lineal precisa.
- Priorizar evaluaciones sistemáticas según uso y riesgo sísmico, aplicando metodologías comparativas para identificar vulnerabilidades y reforzar seguridad estructural.

Agradecimiento especial por su colaboración en el presente trabajo:

Ing. Haro Báez, Ana Gabriela, PhD.

Ing. Cando Loachamin, Antonio, PhD.

Ing. Bonifaz García, Hugo Fabián, Mgs.

Ing. Livi Quichimbo, Lesther Josué.

Ing. Arcentales Naranjo, Nicole Isabel.

Ing. Bonilla Garcés, Alejandro.

Ing. López Castro, Brian Andrés.

**!GRACIAS POR
SU ATENCIÓN!**