

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

Desempeño sísmico considerando los efectos dinámicos de interacción suelo-estructura mediante el enfoque directo, caso de estudio

Autor: Alex Wladimir Llano Iza

Director: MSc. Ing. Luis Marcelo Romo Proaño

Interacción Suelo-Estructura

Contenido



1. Justificación y Objetivos



2. Marco Teórico



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño



4. Resultados

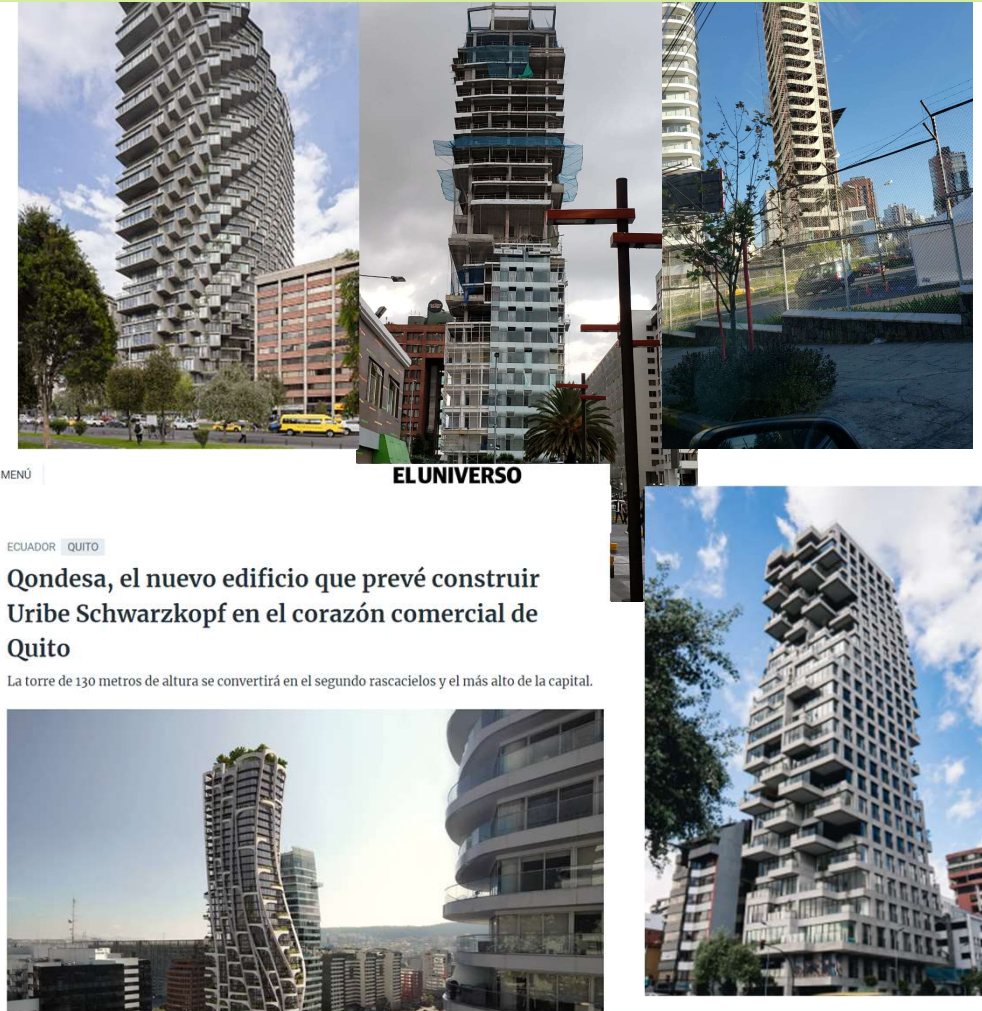


5. Conclusiones y Recomendaciones

1. Justificación y Objetivos

1.1. Justificación

Los efectos de Interacción Suelo-Estructura afectan directamente a las respuestas de la estructura, pero el análisis y la cuantificación de estos resultados hacen que el análisis matemático y la modelación hagan de este un problema complejo de resolver, por tanto se esclarecerá la influencia de la SSI en las repuestas globales y locales de una edificación de gran altura; con el gran aporte de considerar un modelo matemático completamente no lineal de la superestructura que permite analizar las deformaciones unitarias de los principales elementos estructurales resistentes a cargas laterales.



3

1. Justificación y Objetivos

1.1. Justificación

Ecuación 3.2. FEMA P-2091

$$\frac{h'}{V_s * T} > 0,1$$

PRUEBA EMPIRICA PARA LA IMPORTANCIA DE SSI INERCIAL FEMA P-2091

$$Vs30 := 4.4 \frac{mm}{s} \quad e := 6096 \text{ mm} \quad ct := 0.0488 \cdot \frac{1}{3} \cdot s$$

$$b := 7400 \text{ mm} \quad S_{DS} := 1.53 \quad \alpha := 0.75 \frac{m^4}{m^4}$$

$$l := 11250 \text{ mm} \quad hn := 100500 \text{ mm}$$

ESPEORES DE CAPAS DE SUELO
 c1 := 1850 mm
 c2 := 4145 mm
 c3 := 9080 mm
 c4 := 0 mm

PROFUNDIDAD DE CAPAS DE SUELO
 d1 := c1 mm = 1.85 m · mm
 d2 := c1 + c2 = (5.995 · 10³) mm
 d3 := c1 + c2 + c3 = (1.508 · 10⁴) mm
 d4 := c1 + c2 + c3 + c4 = (1.508 · 10⁴) mm

$$Vs1 := 179000 \frac{mm}{s} \quad Vs3 := 287500 \frac{mm}{s}$$

$$Vs2 := 187000 \frac{mm}{s} \quad Vs4 := 386791.2 \frac{mm}{s}$$

CALCULOS

Perfil de profundidad efectivo $z_p := (b^3 \cdot l)^{0.25} = 8216.974 \text{ mm}$

Profundidad efectiva de rotación de la cimentación $r := e + z_p = 14312.974 \text{ mm}$

Velocidad de onda de corte promedio de baja deformación $V_{so} := \frac{r}{\frac{c1}{Vs1} + \frac{c2}{Vs2} + \frac{r-d2}{Vs3}} = 232984.9 \frac{mm}{s}$

Relación de velocidad de onda de corte efectiva $ratio := 0.503 \text{ (Vs/Vso) ver Tabla 19.3-1 ASCE 7-16}$

Velocidad de onda de corte promedio efectiva $Vse := V_{so} \cdot ratio = 117191.40461 \frac{mm}{s}$

Periodo fundamental de la estructura $Ta := ct \cdot hn^\alpha = 1.549 \text{ s}$

$hn = (1.005 \cdot 10^5) \text{ m} \cdot \frac{1}{m} \cdot mm$

Relación de rigidez Suelo-Estructura

$h' := \frac{2}{3} \cdot (hn + e) = 71064 \text{ mm}$

$SE := \frac{h'}{Vse \cdot Ta} = 0.391$

$$X := \begin{cases} \text{if } SE > 0.1 \\ \text{“SSI ES SIGNIFICATIVA”} \\ \text{if } SE \leq 0.1 \\ \text{“SSI NO ES SIGNIFICATIVA”} \end{cases} = \text{“SSI ES SIGNIFICATIVA”}$$

Table 19.3-1 Effective Shear Wave Velocity Ratio (v_s/v_{so})

Site Class	Effective Peak Acceleration, S _{DS} /2.5*			
	S _{DS} /2.5 = 0	S _{DS} /2.5 = 0.1	S _{DS} /2.5 = 0.4	S _{DS} /2.5 ≥ 0.8
A	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	0.97	0.95
C	1.00	0.97	0.87	0.77
D	1.00	0.95	0.71	0.32
E	1.00	0.77	0.22	^b
F	^b	^b	^b	^b

*Use straight-line interpolation for intermediate values of S_{DS}/2.5.
^bSite-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed.

1. Justificación y Objetivos

1.2. Objetivo General

Analizar el Desempeño Sísmico de una edificación que será sometida a un análisis dinámico, considerando los Efectos Dinámicos de la Interacción Suelo Estructura mediante el Enfoque Directo.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Desarrollo de un modelo matemático tridimensional que tome en cuenta la no linealidad de la superestructura; considerando tres distintos tipos de cimentación: de base empotrada, según el enfoque de la infraestructura y según el enfoque directo.
- Cuantificar en términos de desplazamientos de la estructura los beneficios o perjuicios que generan, para el comportamiento estructural, la consideración de los efectos de SSI en edificación de altura considerable.
- Determinar mediante deformaciones unitaria axiales en los cabezales de los muros de corte, la variación de los estados límites locales de la superestructura.
- Recomendaciones a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, de cómo considerar los efectos de Interacción Suelo – Estructura.

Contenido



1. Justificación y Objetivos



2. Marco Teórico



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño



4. Resultados

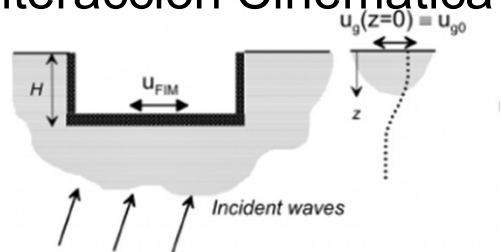


5. Conclusiones y Recomendaciones

2. Marco Teórico

2.1. Enfoque de la Infraestructura

1.2.1. Interacción Cinemática



$$RRS_{bsa} = 0.25 + 0.75 \left\{ \frac{1}{b_o^2} [1 - (\exp(-2b_o^2)) * B_{bsa}] \right\}$$

$$RRS_e = 0.25 + 0.75 \times \cos\left(\frac{2\pi e}{Tv_s}\right)$$

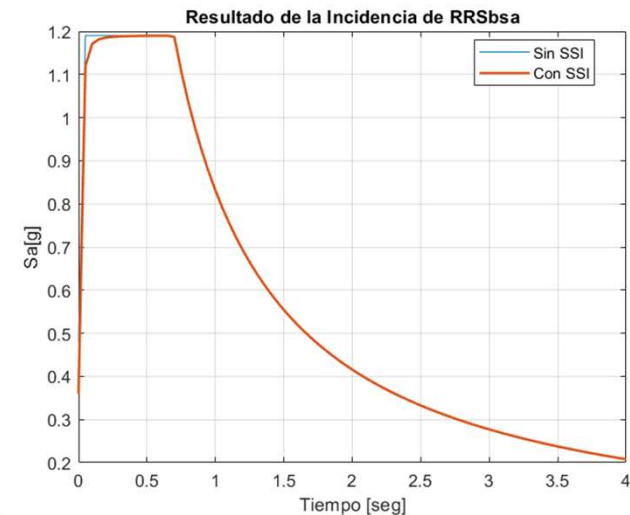
https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-the-following-a-kinematic-interaction-components-of_fig1_273119523

```

%% CALCULOS EFECTOS LOSA PROMEDIO (BASE SLAB AVERIGN)
format short
ABASE=ancho*largo
be=ABASE^(1/2)
num_T=length(T)
for i=1:num_T;
bo(i)=0.0023*(be/T(i));

if bo(i)<=1

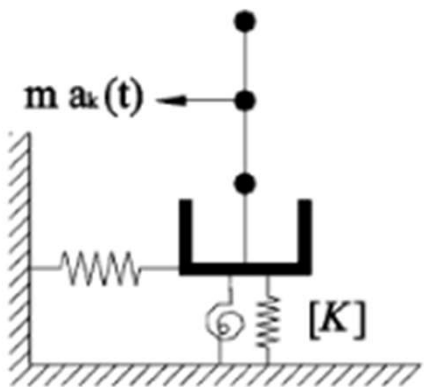
    Bbsa(i)=1+bo(i)^2+bo(i)^4+(bo(i)^6)/2+(bo(i)^8)/4+(bo(i)^10)/12;
else
    bo(i)>=1
    Bbsa(i)=exp(2*bo(i)^2)*(1/(PI*bo(i))^(1/2))*(1-(1/(16*bo(i)^2))));
end
RRSbsa(i)=(1-((exp(-2*bo(i)^2))*Bbsa(i))*(1/bo(i)^2))^(1/2)*0.75+0.25;
if RRSbsa(i)<=0.75
    RRSbsa(i)=0.75
else
    RRSbsa(i)=(1-((exp(-2*bo(i)^2))*Bbsa(i))*(1/bo(i)^2))^(1/2)*0.75+0.25;
end
end
    
```



2. Marco Teórico

2.1. Enfoque de la Infraestructura

1.2.1. Interacción Inercial



https://www.researchgate.net/figure/aThe-SSI-phenomenon-bdecomposition-into-kinematic-and-inertial-interaction_fig4_259193664

$$Kj = kj + i * \omega * cj$$

Pais y Kausel 1988

$$Kz := \left(\frac{G \cdot B}{1 - \nu} \right) \cdot \left(3.1 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1.6 \right) = (4.05 \cdot 10^6) \frac{N}{mm}$$

$$Ky := \left(\frac{G \cdot B}{2 - \nu} \right) \cdot \left(6.8 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.8 \cdot \left(\frac{L}{B} \right) + 1.6 \right) = (3.296 \cdot 10^6) \frac{N}{mm}$$

$$Kx := \left(\frac{G \cdot B}{2 - \nu} \right) \cdot \left(6.8 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right) = (3.257 \cdot 10^6) \frac{N}{mm}$$

$$Kzz := (G \cdot B^3) \cdot \left(4.25 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 4.06 \right) = (5.648 \cdot 10^{14}) \frac{N \cdot mm}{rad}$$

$$Kyy := \left(\frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \right) \cdot \left(3.73 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.27 \right) = (4.407 \cdot 10^{14}) \frac{N \cdot mm}{rad}$$

$$Kxx := \left(\frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \right) \cdot \left(3.2 \cdot \left(\frac{L}{B} \right) + 0.8 \right) = (3.598 \cdot 10^{14}) \frac{N \cdot mm}{rad}$$

Modificador de rigidez

$$\alpha_z := 1 - \left(\frac{\left(\frac{0.4 + \frac{0.2}{L}}{B} \right) \cdot \alpha_0}{\left(\frac{10}{1 + 3 \cdot \left(\frac{L}{B} - 1 \right)} \right) + \alpha_0} \right) = 0.987$$

$$\alpha_y := 1 \quad \alpha_x := 1$$

$$\alpha_{zz} := 1 - \left(\frac{\left(\frac{0.33 - 0.03 \sqrt{\frac{L}{B} - 1}}{3} \right) \cdot \alpha_0}{\left(\frac{0.8}{1 + 0.33 \cdot \left(\frac{L}{B} - 1 \right)} \right) + \alpha_0} \right) = 0.944$$

$$\alpha_{yy} := 1 - \left(\frac{0.55 \cdot \alpha_0^2}{\left(\frac{0.6 + \frac{1.4}{\left(\frac{L}{B} \right)^3}}{3} \right) + \alpha_0^2} \right) = 0.991$$

$$\alpha_{xx} := 1 - \left(\frac{\left(\frac{0.55 - 0.01 \sqrt{\frac{L}{B} - 1}}{3} \right) \cdot \alpha_0^2}{\left(\frac{2.4 + \frac{0.4}{\left(\frac{L}{B} \right)^3}}{2} \right) + \alpha_0^2} \right) = 0.995$$

Amortiguamiento por radiación

$$\beta_z := \frac{4 \cdot \varphi \cdot \left(\frac{L}{B} \right)}{\frac{Kz}{G \cdot B}} \cdot \left(\frac{\alpha_0}{2 \cdot \alpha_z} \right) = 0.099$$

$$\beta_y := \frac{4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)}{\frac{Ky}{G \cdot B}} \cdot \left(\frac{\alpha_0}{2 \cdot \alpha_y} \right) = 0.064 \quad \beta_x := \frac{4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)}{\frac{Kx}{G \cdot B}} \cdot \left(\frac{\alpha_0}{2 \cdot \alpha_x} \right) = 0.065$$

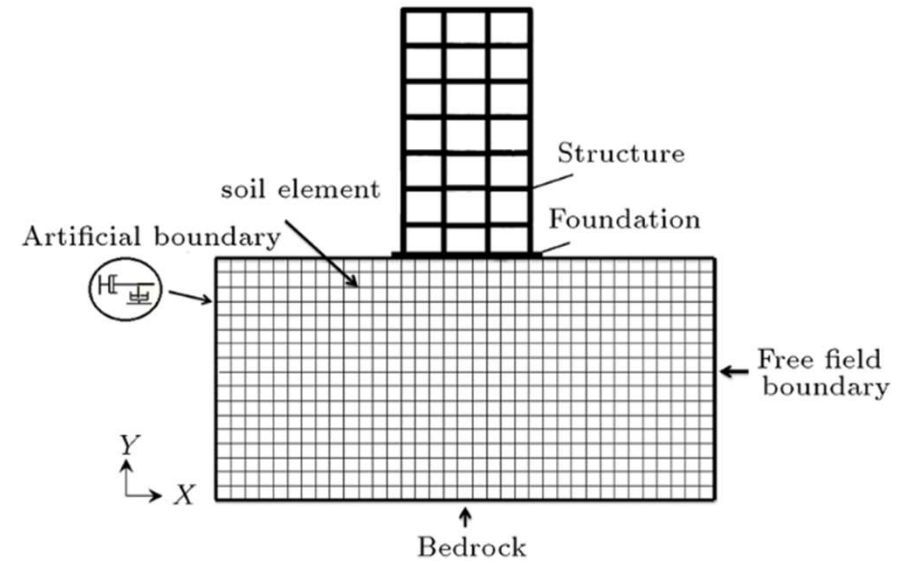
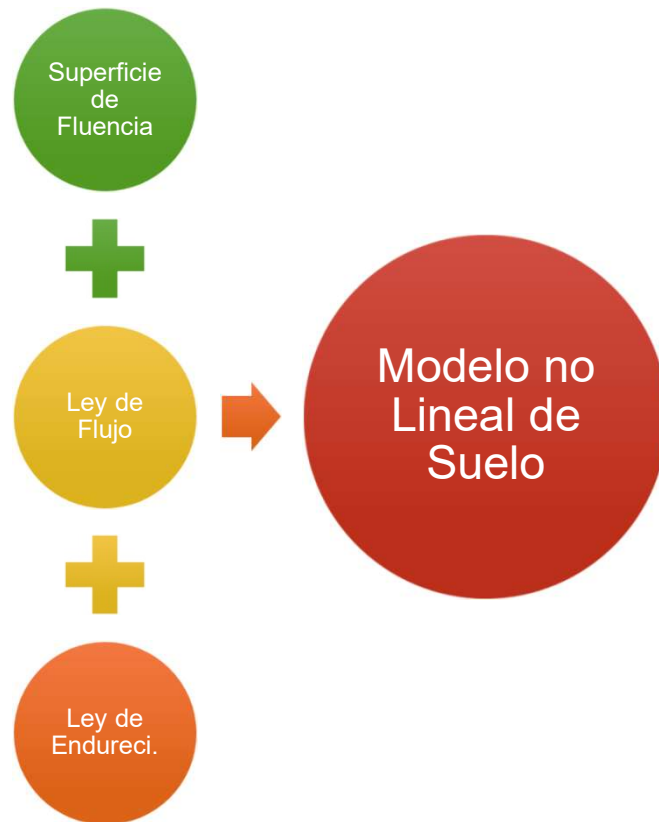
$$\beta_{zz} := \left(\frac{\left(\frac{4}{3} \right) \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^3 + \frac{L}{B}}{G \cdot B^3} \cdot \left(\frac{1.4}{1 + 3 \cdot \left(\frac{L}{B} - 1 \right)^{0.7}} + \alpha_0^2 \right) \right) \cdot \left(\frac{\alpha_0}{2 \cdot \alpha_{zz}} \right) = 0.001$$

$$\beta_{yy} := \left(\frac{\left(\frac{4 \cdot \varphi}{3} \right) \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^3 \cdot \alpha_0^2}{\frac{Kyy}{G \cdot B^3} \cdot \left(\frac{1.8}{1 + 1.75 \cdot \left(\frac{L}{B} - 1 \right)} \right) + \alpha_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha_0}{2 \cdot \alpha_{yy}} \right) = 7.65 \cdot 10^{-4}$$

$$\beta_{xx} := \left(\frac{\left(\frac{4 \cdot \varphi}{3} \right) \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^3 \cdot \alpha_0^2}{\frac{Kxx}{G \cdot B^3} \cdot \left(\frac{2.2 - \frac{0.4}{1.75 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^3}}{2} \right) + \alpha_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha_0}{2 \cdot \alpha_{xx}} \right) = 6.219 \cdot 10^{-4}$$

2. Marco Teórico

2.2. Enfoque Directo



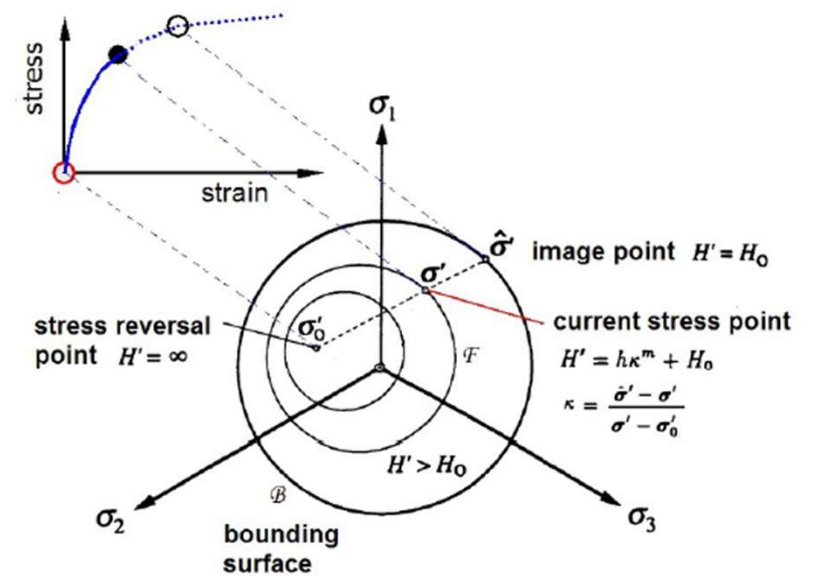
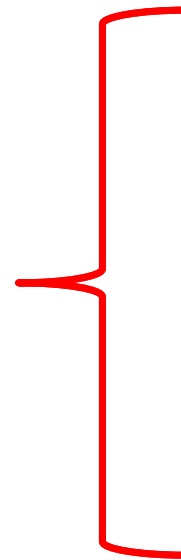
https://www.researchgate.net/figure/The-enite-element-model-of-Soil-Structure-Interaction-SSI-system-in-OpenSees_fig3_345829635

2. Marco Teórico

2.2. Enfoque Directo

Se emplea el modelo **MultiaxialCyclicPlasticity** (Borja et al., 1994) desarrollado en el software OpenSees por Wang & Sitar (2006).

Parámetros del modelo		Métodos de Calibración
Parámetros Elásticos	G_{max}	Del perfil de velocidad de onda de corte
	ν	Relación de Poisson
Parámetros de Resistencia	S_u	De la prueba de compresión no confinada o correlación SPT
Parámetros de Endurecimiento	h, m	Curvas de reducción del módulo de corte
	H_o	Módulo de corte tangencial a gran deformación



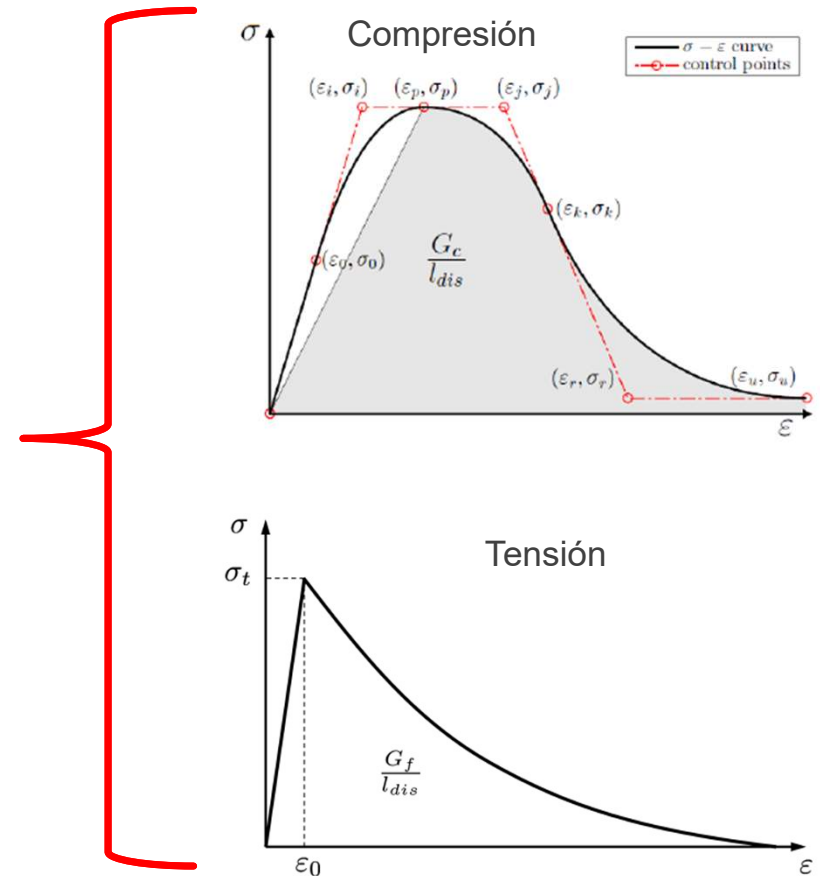
10

2. Marco Teórico

2.3. Materiales Constitutivos de la Superestructura

2.3.1. Hormigón DamageTC3D

Parámetros del modelo		Definición
Parámetros Elásticos	E	Módulo de elasticidad o de Young
	ν	Relación de Poisson
Parámetros de compresión	f_{c0}	Límite elástico de la resistencia a la compresión.
	f_{cp}	Resistencia máxima o pico a la compresión
	f_{cr}	Resistencia residual a la compresión
	ϵ_p	Deformación máxima a compresión
	G_c	Energía de fractura a la compresión
Parámetros de tensión	f_t	Resistencia a la tensión
	G_t	Energía de fractura a la tensión

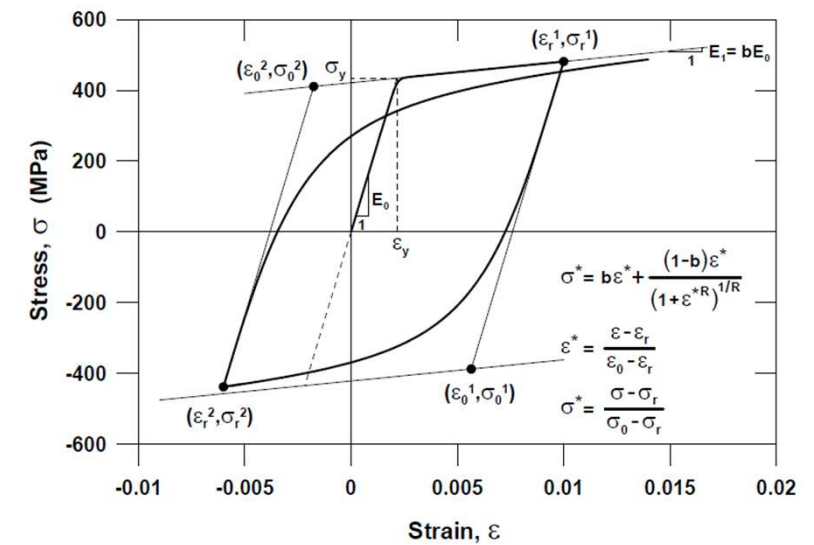
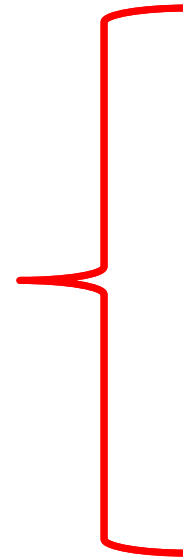


2. Marco Teórico

2.3. Materiales Constitutivos de la Superestructura

2.3.1. Acero

Parámetros del modelo		Definición
Parámetros Elásticos	E	Módulo de elasticidad o de Young
Parámetros No lineales	f_{yp}	Resistencia a la fluencia en tensión.
	f_{yn}	Resistencia a la fluencia en compresión
	bp	Radio de endurecimiento por deformación en tensión
	bn	Radio de endurecimiento por deformación en compresión
	$R0$	Parámetro de curvatura
	$cR1$	Parámetro de degradación de curvatura
	$cR2$	Parámetro de degradación de curvatura



2. Marco Teórico

2.3. Desempeño

Para entender el funcionamiento del Desempeño Sísmico se recurre a la metodología del PEER (Pacific Earthquake Engineering Research, por sus siglas en inglés) la cual consiste en cuatro análisis sucesivos que son los siguientes:


$$v(DV) = \iiint G\langle DV|DM \rangle dG\langle DM|EDP \rangle dG\langle EDP|IM \rangle d\lambda(IM)$$

Contenido



1. Justificación y Objetivos



2. Marco Teórico



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño



4. Resultados



5. Conclusiones y Recomendaciones

Uso	Velocidad	Velocidad de base:	3.20 GHz
2%	1.46 GHz	Sockets:	1
Procesos	Subprocesos	Núcleos:	16
214	3079	Identificadores	Procesadores lógicos: 24
		92997	Virtualización: Habilitado
Tiempo activo		Caché L1:	1.4 MB
56:14:44:23		Caché L2:	14.0 MB
		Caché L3:	30.0 MB

Ver información básica acerca del equipo

Edición de Windows

Windows 10 Pro

© Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.



Sistema

Procesador: 12th Gen Intel(R) Core(TM) i9-12900K 3.20 GHz

Memoria instalada (RAM): 32.0 GB (31.8 GB utilizable)

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64

Lápiz y entrada táctil: La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Configuración de nombre, dominio y grupo de trabajo del equipo

Nombre de equipo: DESKTOP-58RRJ15

Nombre completo de equipo: DESKTOP-58RRJ15

Descripción del equipo:

Grupo de trabajo: WORKGROUP

Cambiar configuración

Activación de Windows

Windows está activado [Lea los Términos de licencia del software de Microsoft](#)

Id. del producto: 00331-10000-00001-AA447

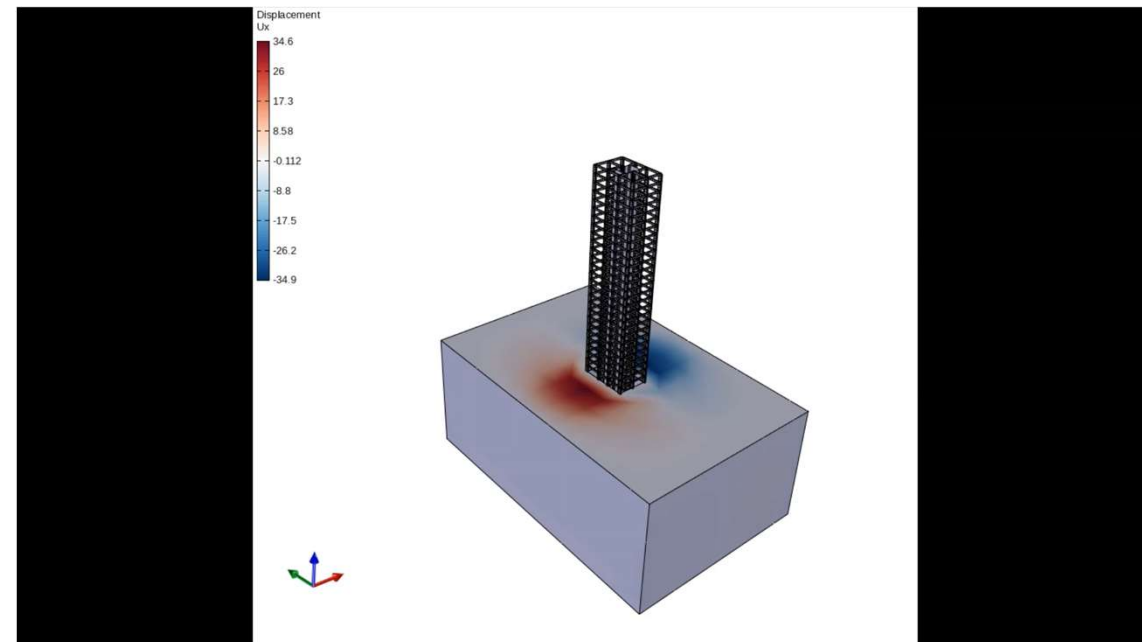
Cambiar la clave de producto

3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.1. Modelación

Todo el proceso de modelado se desarrolla en el software STKO (Petracca, 2017) de la empresa ASDEA SOFTWARE.

STKO contiene todas las bibliotecas del OpenSees en su herramienta de preprocesamiento de datos de entrada; y varias opciones de extracción de resultados en su ventana de post-procesamiento.

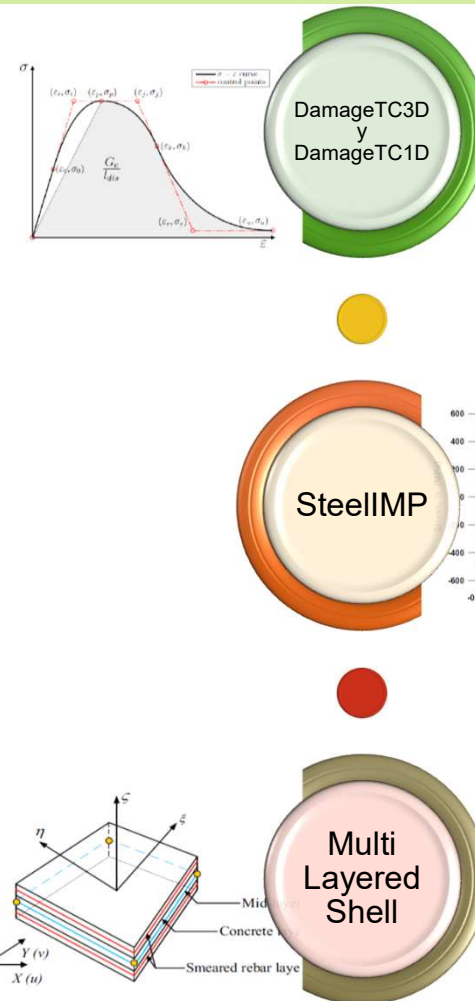


3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.2. Calibración

Para tener fiabilidad en los resultados se partió de una calibración se los modelos constitutivos de acero y hormigón, por lo que se procedió a calibrar el muro RW2 descrito en la investigación de Thomsen y Wallace (1995)

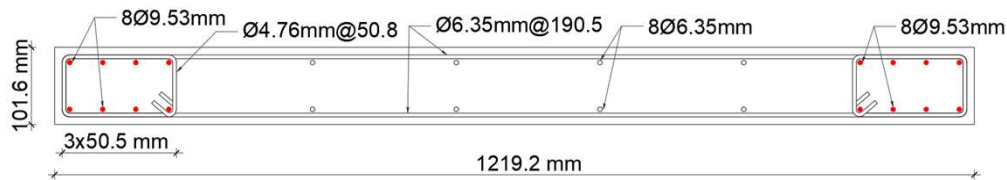
Para conformar el modelo del muro estructural, es decir para el alma y los elementos de borde se emplearon los materiales de hormigón DamageTC3D y DamageTC1D (Petracca et al., 2017) respectivamente, y el modelo de SteelIMP para el acero de refuerzo tanto en elementos de borde como en el alma del muro. Los elementos de borde se consideran con el elemento *dispBeamColum* con 5 puntos de integración. Para el alma del muro estructural se emplearon las secciones de cascara multicapa (*Multi-layer shell element*), que se emplean para análisis dinámicos no lineales de edificios altos y se desarrolló por Lu et al., (2015).



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.2. Calibración

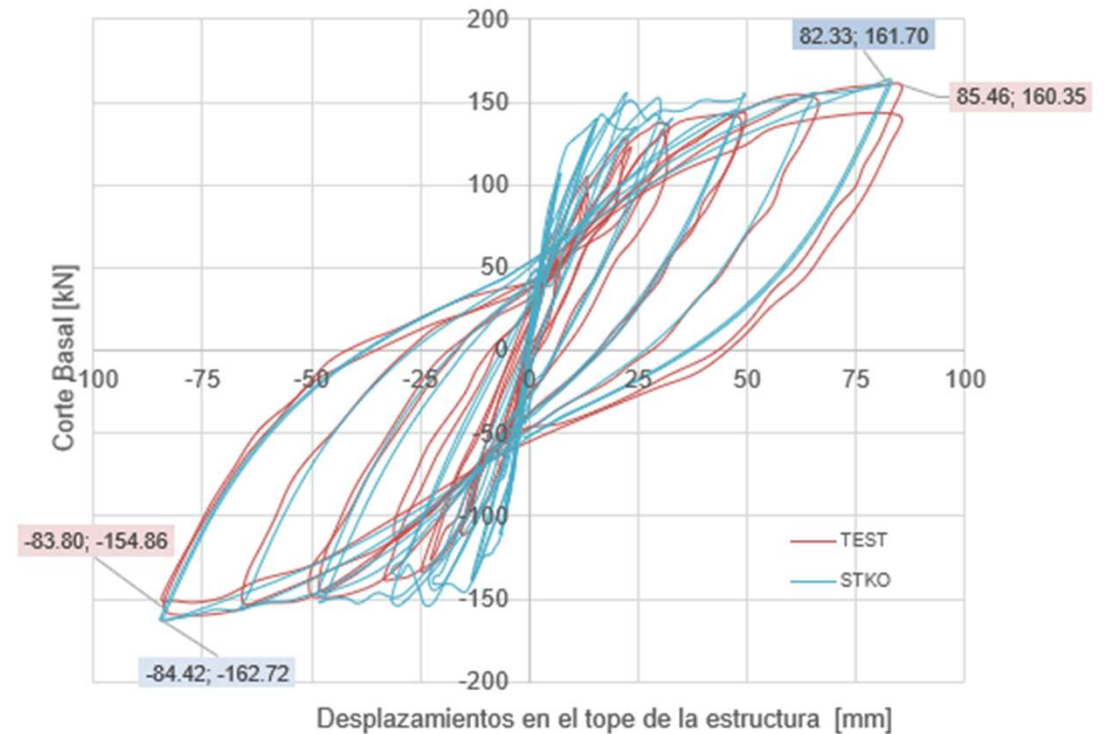
Especimen RW2									
	f_{cp}	f_{co}	f_{cr}	E	ν	ϵ_p	G_c	f_t	G_t
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]				[MPa]	
Hormigón confinado	47.59	19.04	9.52	35103	0.2	0.003	80.13	2.03	0.14
Hormigón no confinado	42.74	17.10	8.55	31026	0.2	0.002	63.39	2.03	0.14
	f_{yp}	f_{yn}	b_p	b_n	R	$cR1$	$cR2$	E	
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]				[GPa]	
Acero en el alma	403.2	537.6	0.025	0.035	20	0.925	0.0015	200	
Acero en cabezales	390.6	520.8	0.025	0.035	20	0.925	0.0015	200	



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.2. Calibración

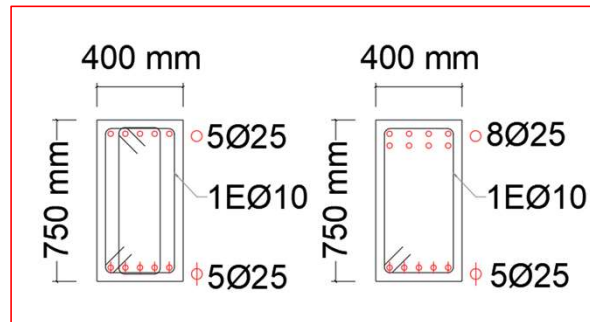
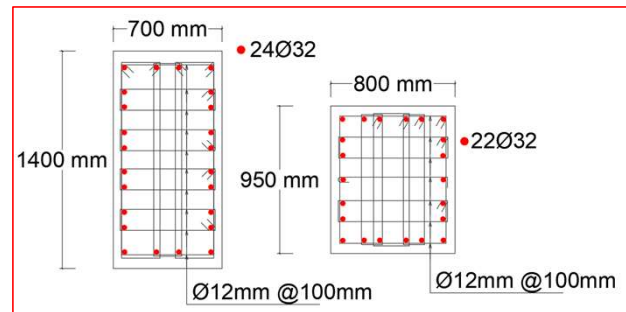
Los resultados del ensayo respecto al corte basal, se tiene un rango de diferencia entre el 0.84 % y 4.84%; mientras que en los desplazamientos en el tope de la estructura se encuentra un intervalo de diferencia que va del 0.73% al 3.79%; estas diferencias se consideran admisibles y se acepta como valida la calibración



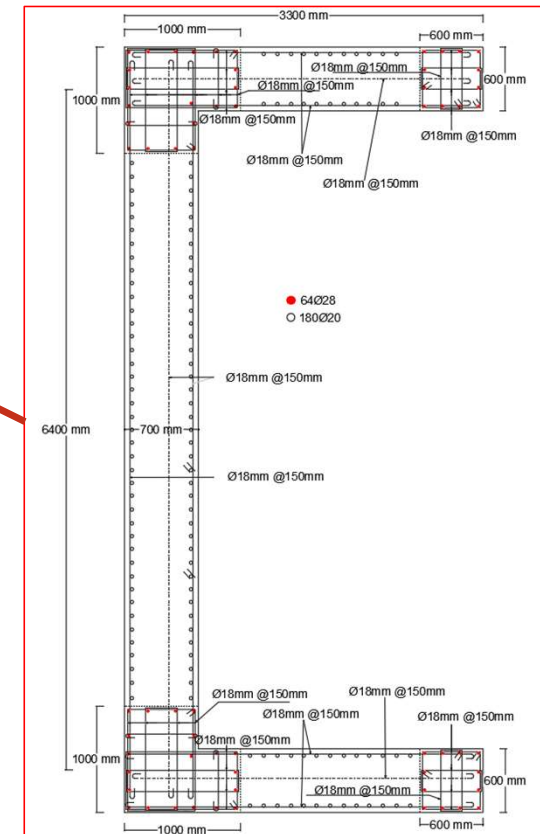
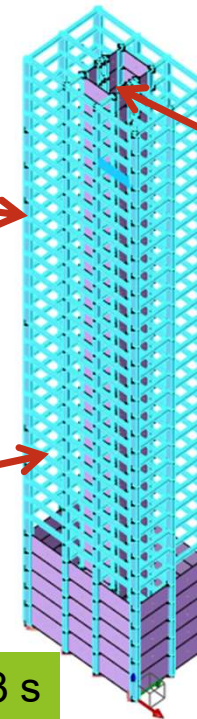
3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.3. Generación de Modelos Matemáticos

3.3.1. Generación del Arquetipo Base



T=2.43 s

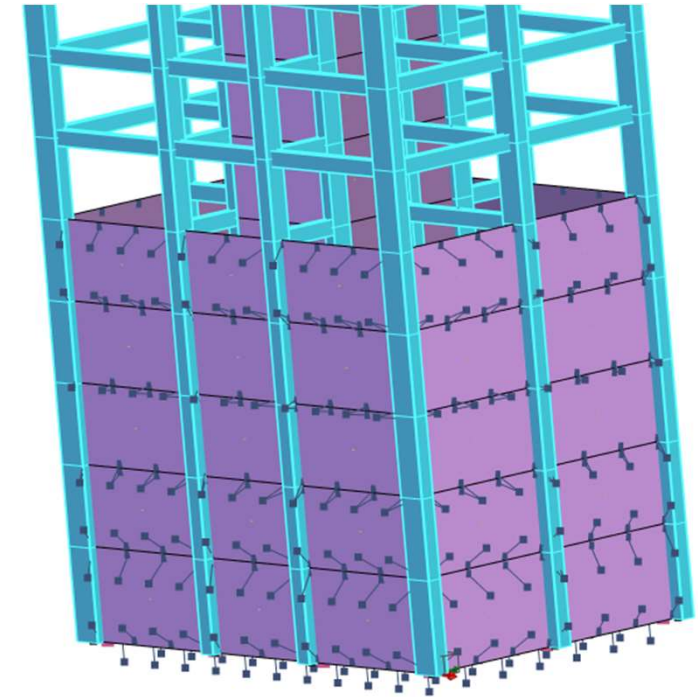


3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.3. Generación de Modelos Matemáticos

3.3.2. Generación del Modelo Enfoque de la Infraestructura

	Rigidez [N/mm ³]	
En borde corto sentido Z	<i>KTX</i>	0.147
En borde largo sentido Z	<i>KTY</i>	0.222
En centro de sentido Z	<i>Kcentro</i>	0.038
En sentido X	<i>khx</i>	0.025
En sentido Y	<i>khy</i>	0.024
En paredes de sótano dirección X	<i>khx_sotano</i>	0.015
En paredes de sótano dirección y	<i>khy_sotano</i>	0.021

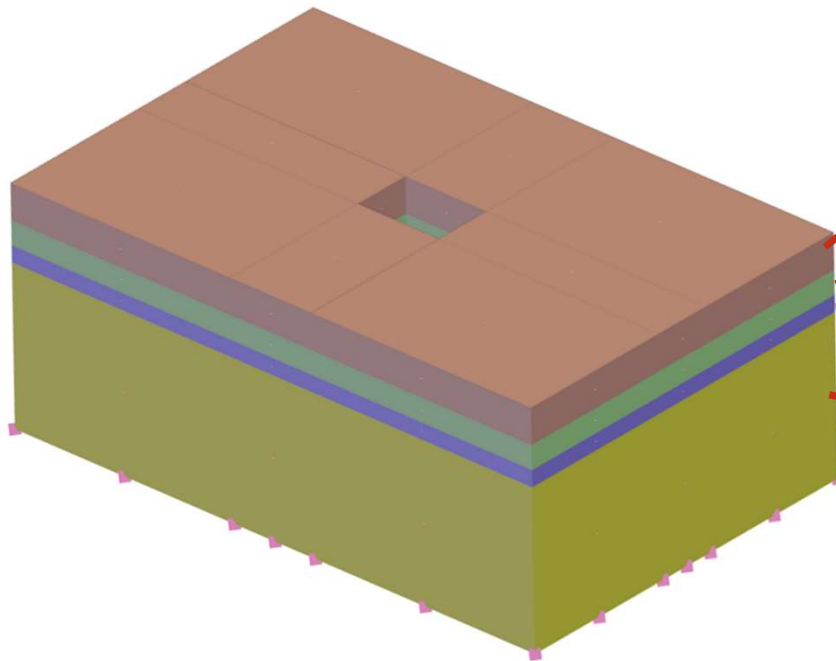


T=2.59 s

3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.3. Generación de Modelos Matemáticos

3.3.3. Generación del Modelo Enfoque Directo

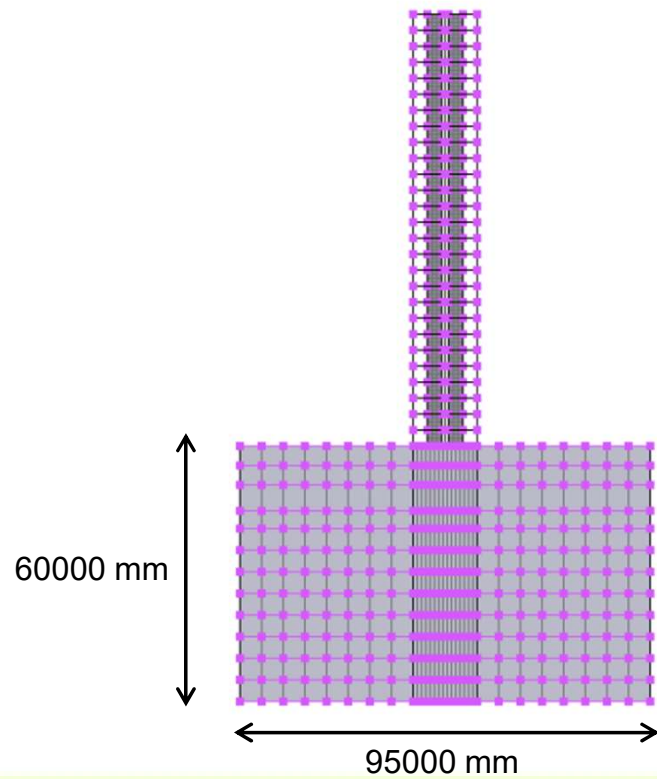


Datos de entrada [MPa]			
Primera capa			
Densidad	ρ		1.083e-9
Módulo Volumétrico	K		21.58
Módulo de corte máximo	G_{max}		7.19
Resistencia al corte no drenada	S_u		0.0476
Módulo de corte tangencial a gran deformación	H_o		0.023
Curvas de reducción del módulo de corte	h		5.75
Curvas de reducción del módulo de corte	m		0.70
Segunda capa			
Densidad	ρ		1.083e-9
Módulo Volumétrico	K		32.37
Módulo de corte máximo	G_{max}		10.79
Resistencia al corte no drenada	S_u		0.071
Módulo de corte tangencial a gran deformación	H_o		0.035
Curvas de reducción del módulo de corte	h		8.63
Curvas de reducción del módulo de corte	m		0.70
Tercera capa			
Densidad	ρ		1.083e-9
Módulo Volumétrico	K		51.05
Módulo de corte máximo	G_{max}		13.31
Resistencia al corte no drenada	S_u		0.11
Módulo de corte tangencial a gran deformación	H_o		0.044
Curvas de reducción del módulo de corte	h		10.65
Curvas de reducción del módulo de corte	m		0.70
Cuarta capa			
Densidad	ρ		1.083e-9
Módulo Volumétrico	K		67.44
Módulo de corte máximo	G_{max}		17.59
Resistencia al corte no drenada	S_u		0.119
Módulo de corte tangencial a gran deformación	H_o		0.058
Curvas de reducción del módulo de corte	h		14.07
Curvas de reducción del módulo de corte	m		0.70

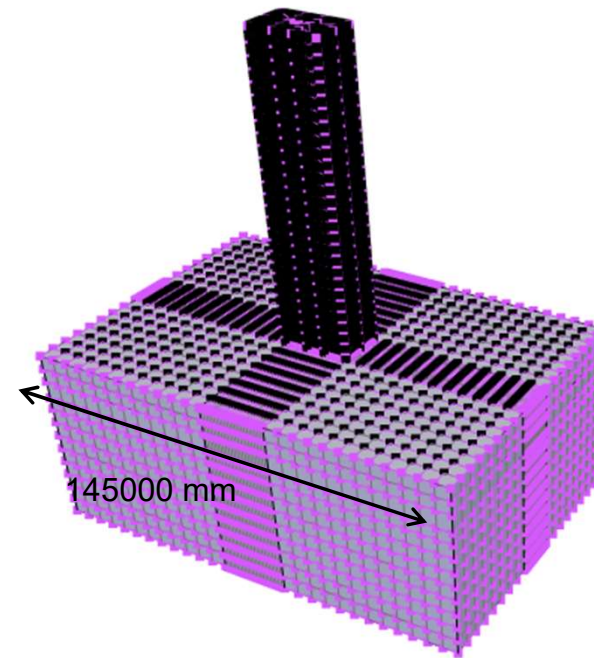
3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.3. Generación de Modelos Matemáticos

3.3.3. Generación del Modelo Enfoque Directo



T=2.78 s

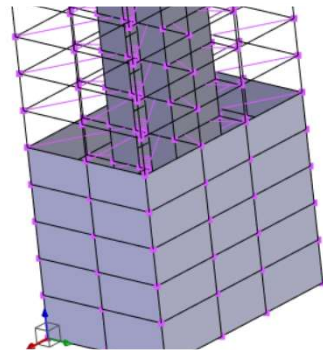


22

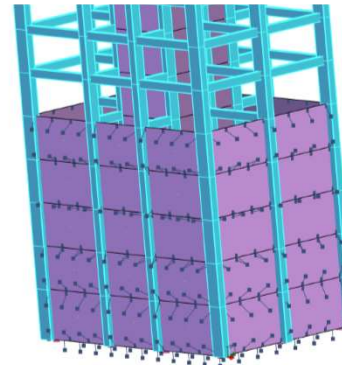
3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.3. Generación de Modelos Matemáticos

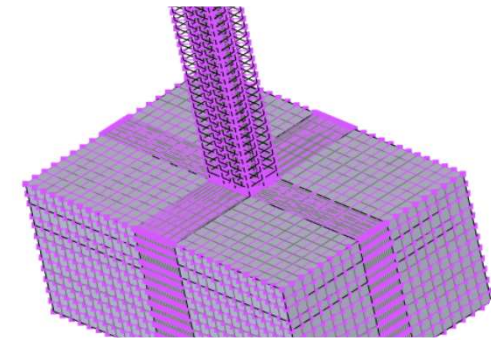
3.3.4. Validación de los Periodos de Vibración de Cada Modelo Generado



2.43s



2.59 s

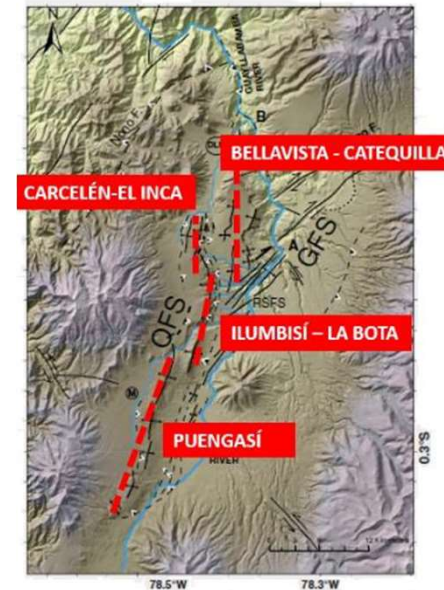
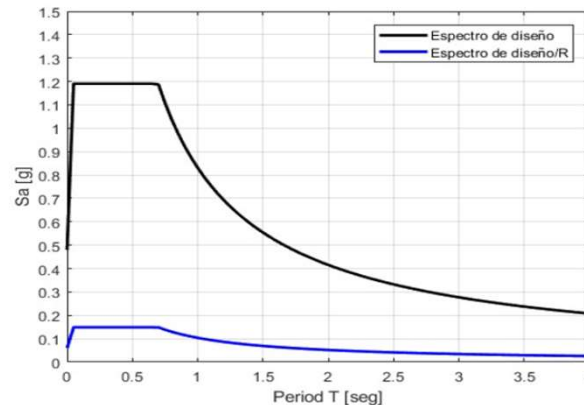


2.78 s

3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.4. Selección de las Señales Sísmicas

La selección de los registros sísmicos se realiza con la herramienta del PEER (2010) para asegurar una espectro-compatibilidad fiable dentro de los once pares de registros escogidos. Los parámetros que se asumen para la selección y escalamiento de los registros sísmicos se fundamentan en el estudio de Microzonificación Sísmica de Quito realizado por Aguiar (2017) el cual es fundamentado en la tesis doctoral de Alvarado (2012),

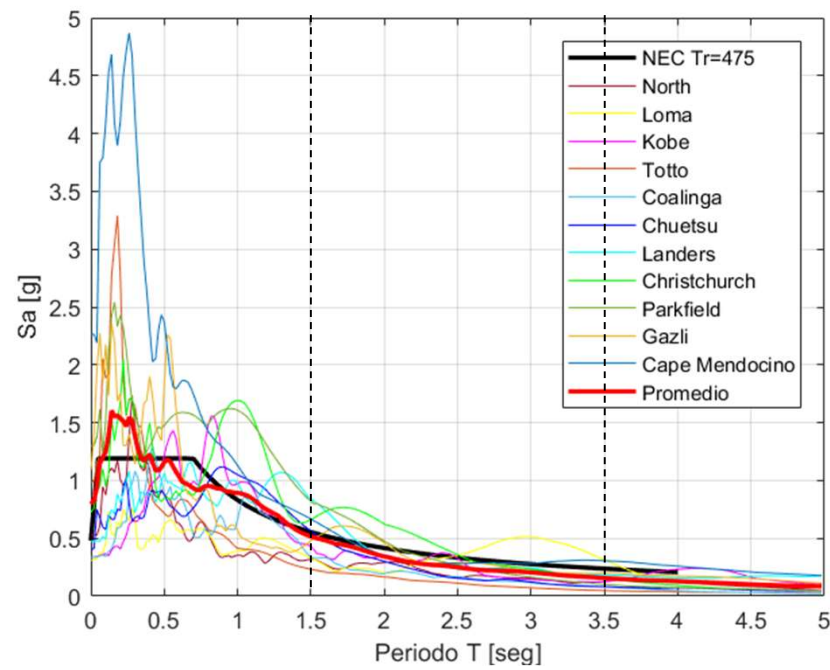


Segmento	Área ruptura (km) ²	Magnitud (RA)	Longitud de Superficie de Ruptura (km)	Magnitud (SRL)	Período de Recurrencia (años)
Puengasí	259	6.4	22	6.4	188
ILB	176	6.2	15	6.2	138
CEI	82	5.9	7	5.7	105
BC	191	6.3	17.5	6.3	183
Tangahuilla	108	6.0	12	6.0	115

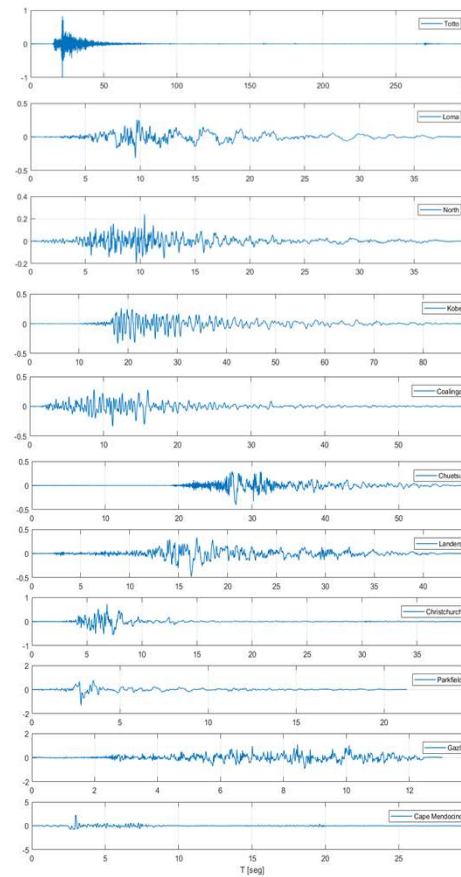
Nota: Tomado de Aguiar (2017). Microzonificación Sísmica de Quito. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (pág. 9).

3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

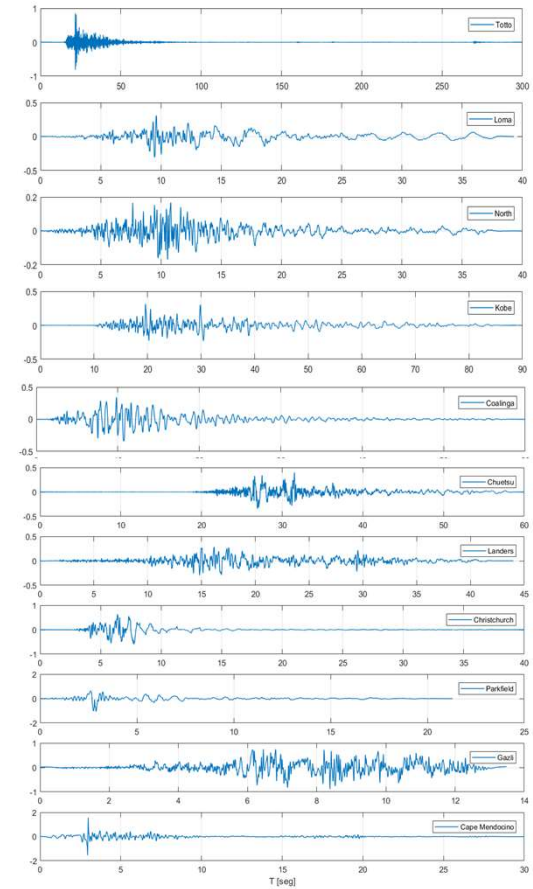
3.4. Selección de las Señales Sísmicas



N-S



E-O



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño

3.5. Criterios del Análisis del Desempeño Sísmico

Global

Nota: Tomado de FEMA 356 (2000) . Prestandard and commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency. (pág. 15).

		Target Building Performance Levels			
		Operational Performance Level (1-A)	Immediate Occupancy Performance Level (1-B)	Life Safety Performance Level (3-C)	Collapse Prevention Performance Level (5-E)
Earthquake Hazard Level	50%/50 year	a	b	c	d
	20%/50 year	e	f	g	h
	BSE-1 (~10%/50 year)	i	j	k	l
	BSE-2 (~2%/50 year)	m	n	o	p

Table C1-3 Structural Performance Levels and Damage^{1, 2, 3}—Vertical Elements (continued)

Elements	Type	Structural Performance Levels		
		Collapse Prevention S-5	Life Safety S-3	Immediate Occupancy S-1
Concrete Walls	Primary	Major flexural and shear cracks and voids. Sliding at joints. Extensive crushing and buckling of reinforcement. Failure around openings. Severe boundary element damage. Coupling beams shattered and virtually disintegrated.	Some boundary element stress, including limited buckling of reinforcement. Some sliding at joints. Damage around openings. Some crushing and flexural cracking. Coupling beams: extensive shear and flexural cracks; some crushing, but concrete generally remains in place.	Minor hairline cracking of walls, <1/16" wide. Coupling beams experience cracking <1/8" width.
	Secondary	Panels shattered and virtually disintegrated.	Major flexural and shear cracks. Sliding at joints. Extensive crushing. Failure around openings. Severe boundary element damage. Coupling beams shattered and virtually disintegrated.	Minor hairline cracking of walls. Some evidence of sliding at construction joints. Coupling beams experience cracks <1/8" width. Minor spalling.
	Drift	2% transient or permanent	1% transient; 0.5% permanent	0.5% transient; negligible permanent

Local

Dentro de la estimación del comportamiento local de la estructura se ha reportado el cálculo de las deformaciones unitarias, con el criterio de fluencia descrito por Priestley & Kowalsky (2000) el cual corresponde a deformaciones unitarias 0.002, es decir una deformación unitaria para el concreto $\epsilon_c = 0.002$ y para el acero de refuerzo $\epsilon_s = f_y/E_s$.

Contenido



1. Justificación y Objetivos



2. Marco Teórico



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño



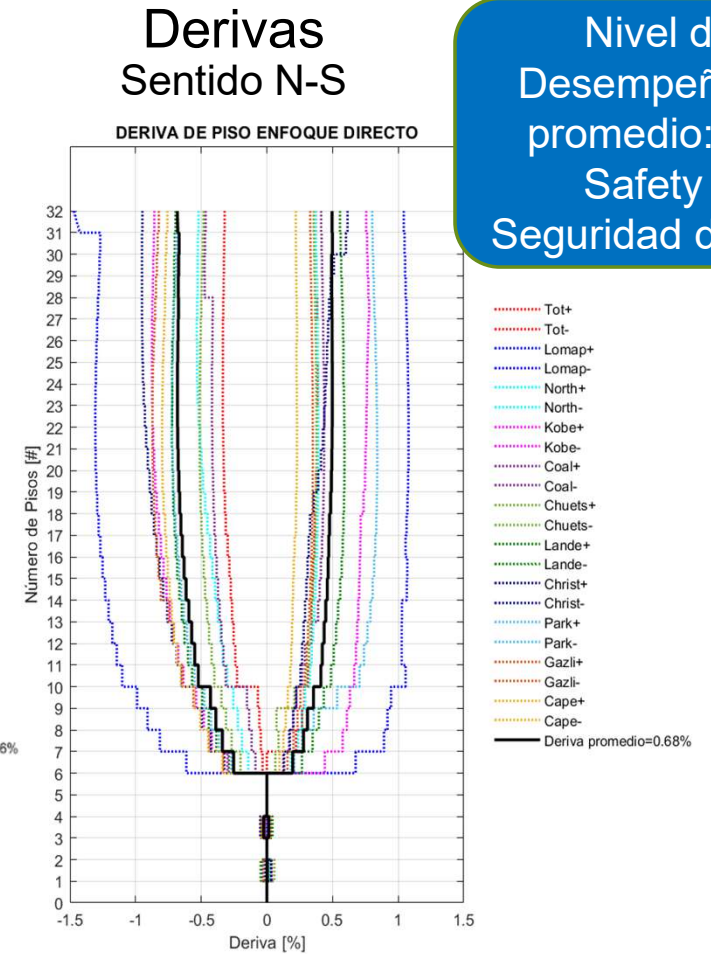
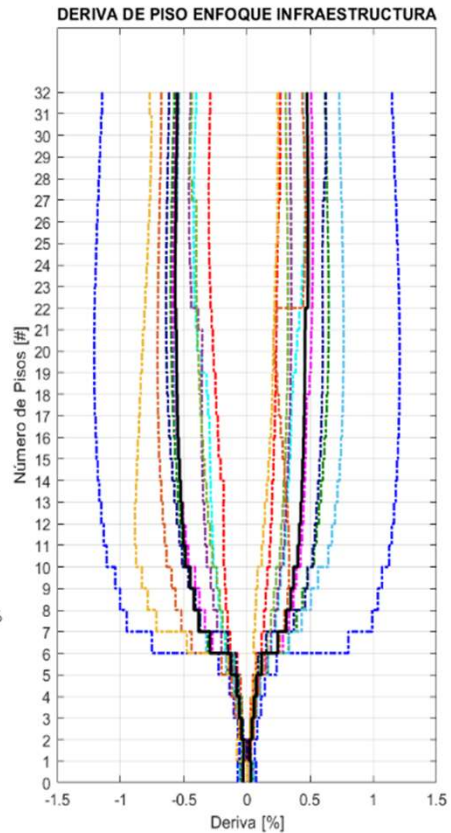
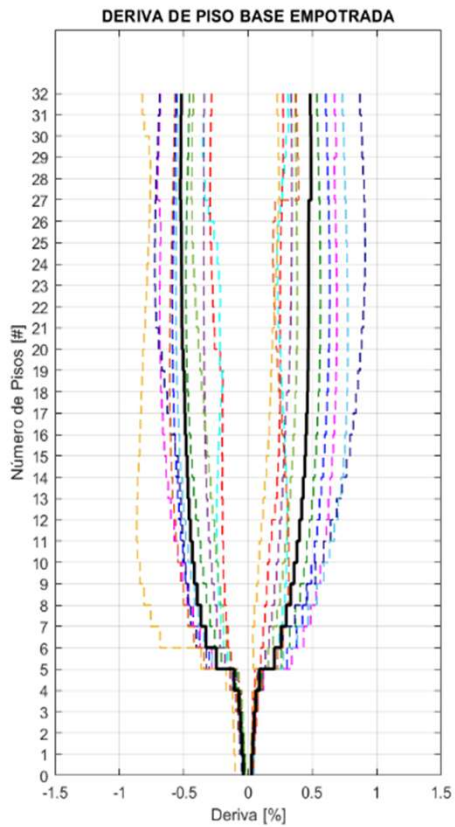
4. Resultados



5. Conclusiones y Recomendaciones

4. Resultados

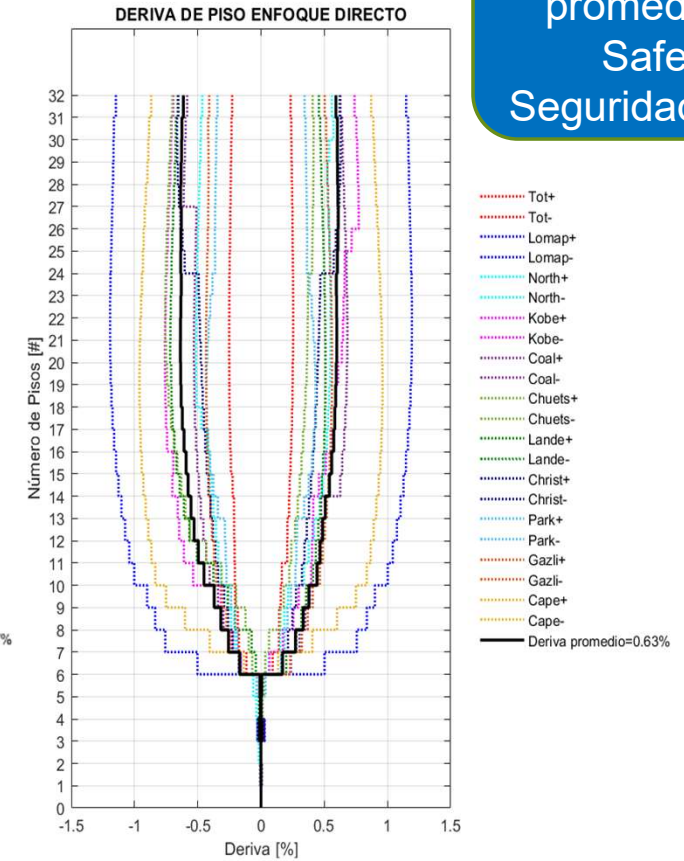
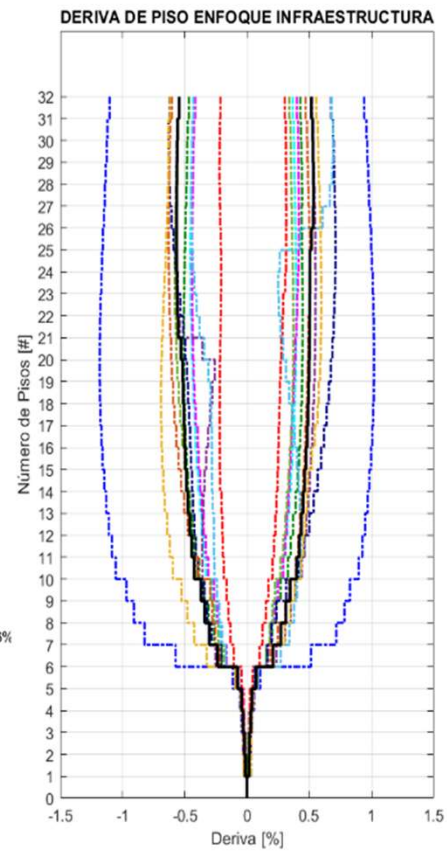
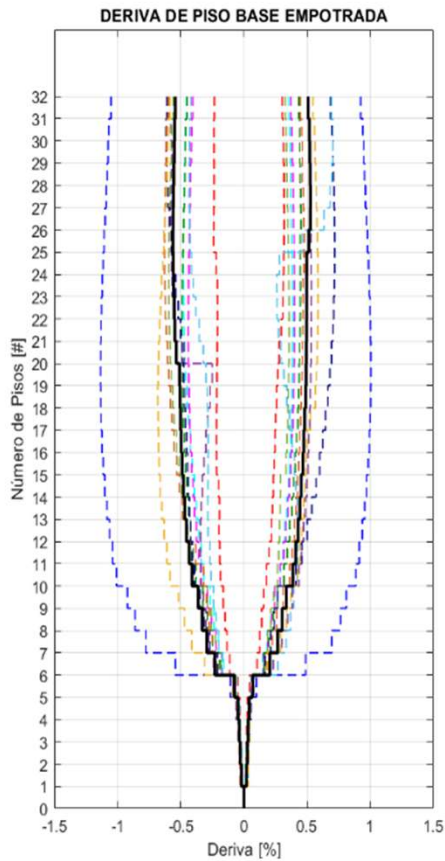
4.1. Análisis del Desempeño Global



Nivel de Desempeño en promedio: Life Safety o Seguridad de vida

4. Resultados

4.1. Análisis del Desempeño Global



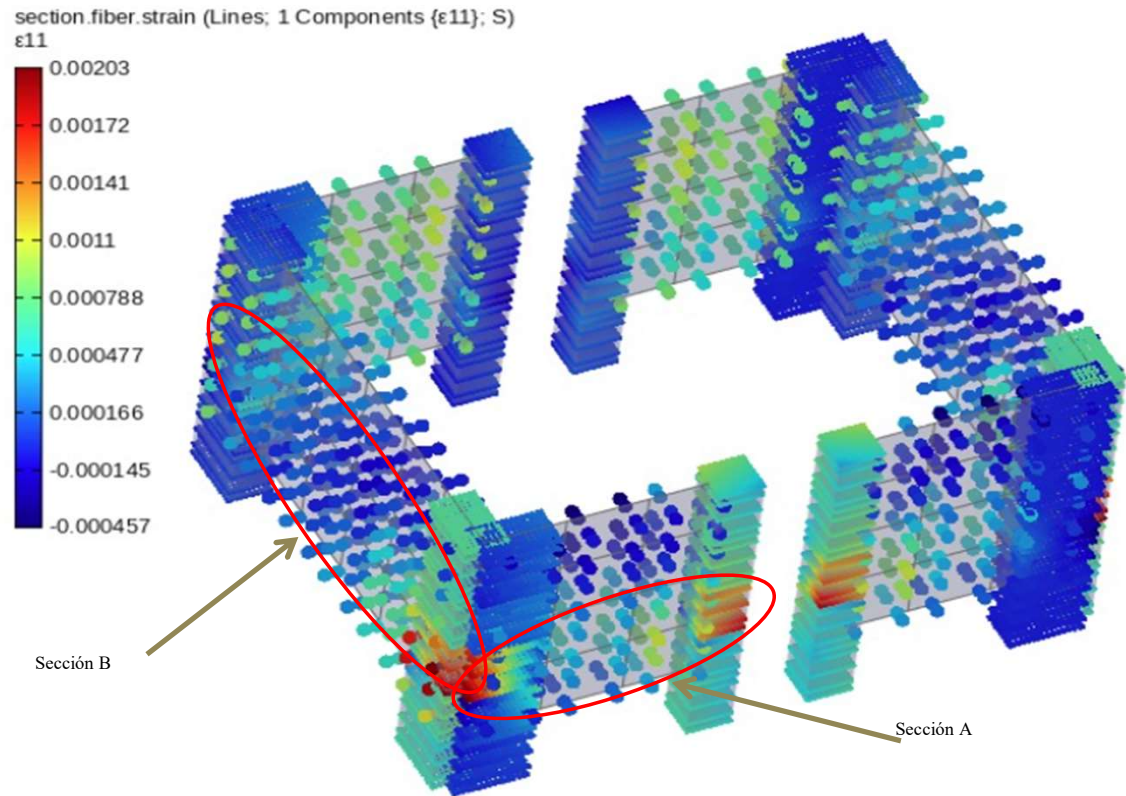
Derivas
Sentido E-O

Nivel de
Desempeño en
promedio: Life
Safety o
Seguridad de vida

4. Resultados

4.2. Análisis del Desempeño Local

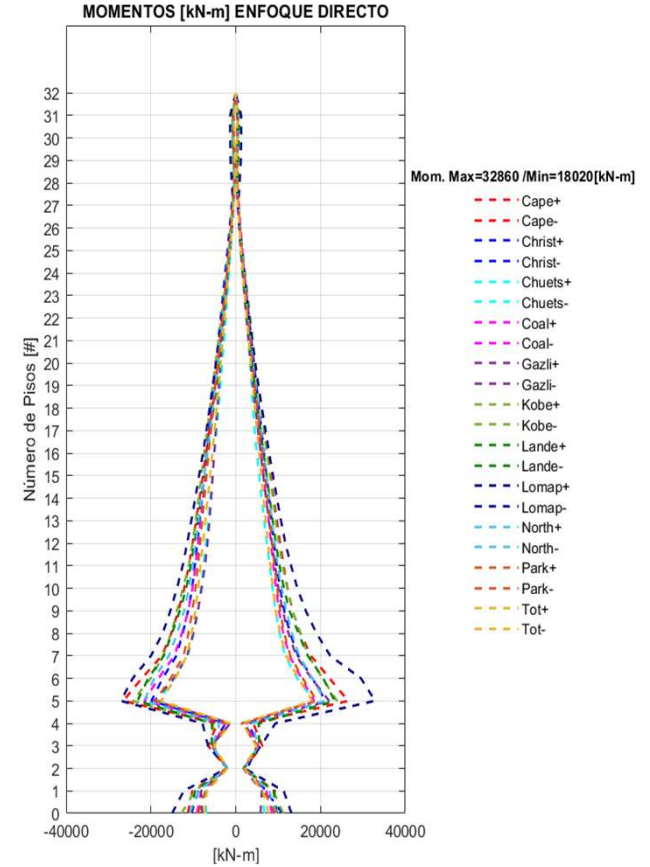
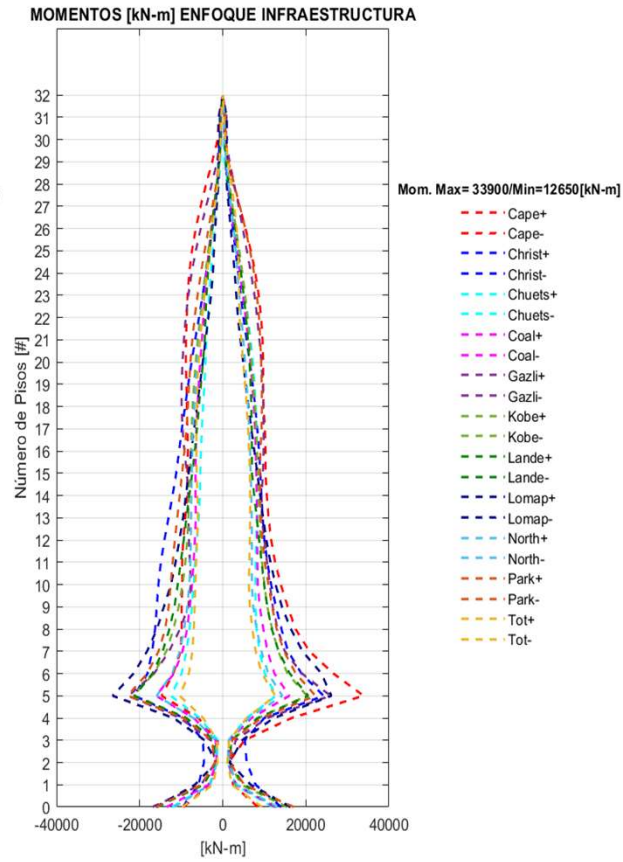
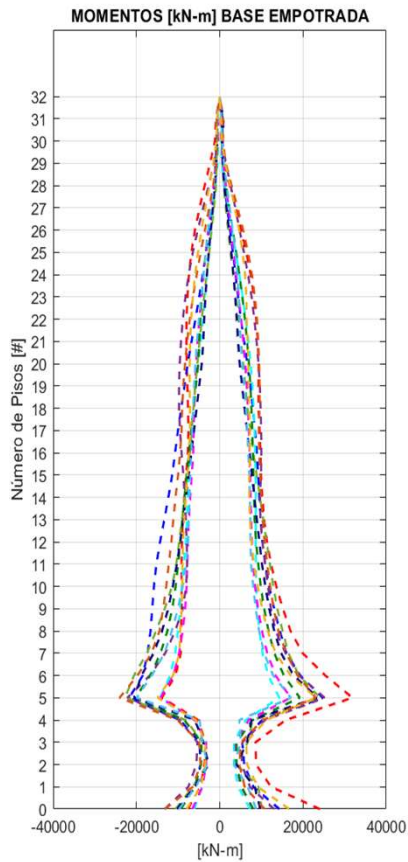
Se inicia el análisis del desempeño local de los muros estructurales con las demandas de momentos y cortantes en el muro estructural izquierdo en la sección A y en la sección B, las cuales se denominan zonas críticas.



4. Resultados

4.2. Análisis del Desempeño Local

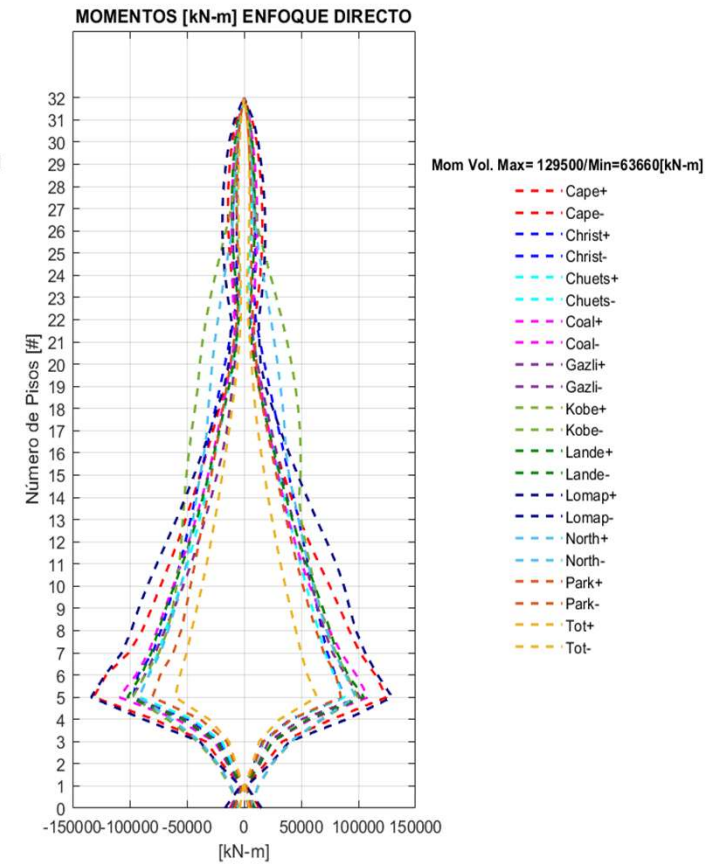
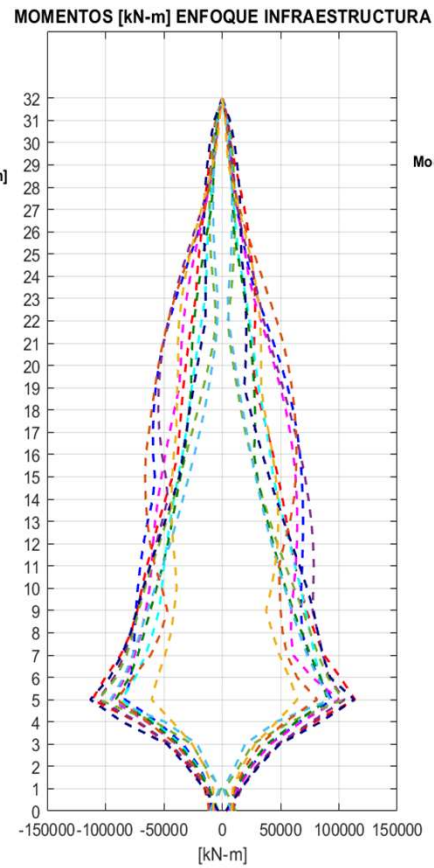
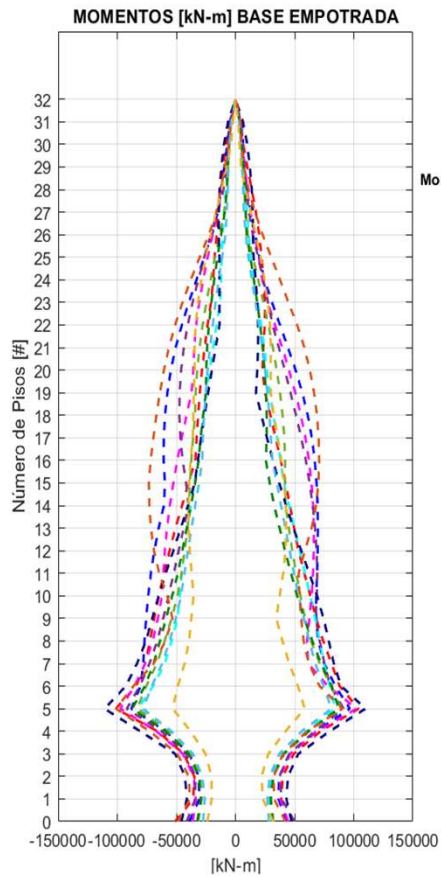
Momentos Sentido N-S



4. Resultados

4.2. Análisis del Desempeño Local

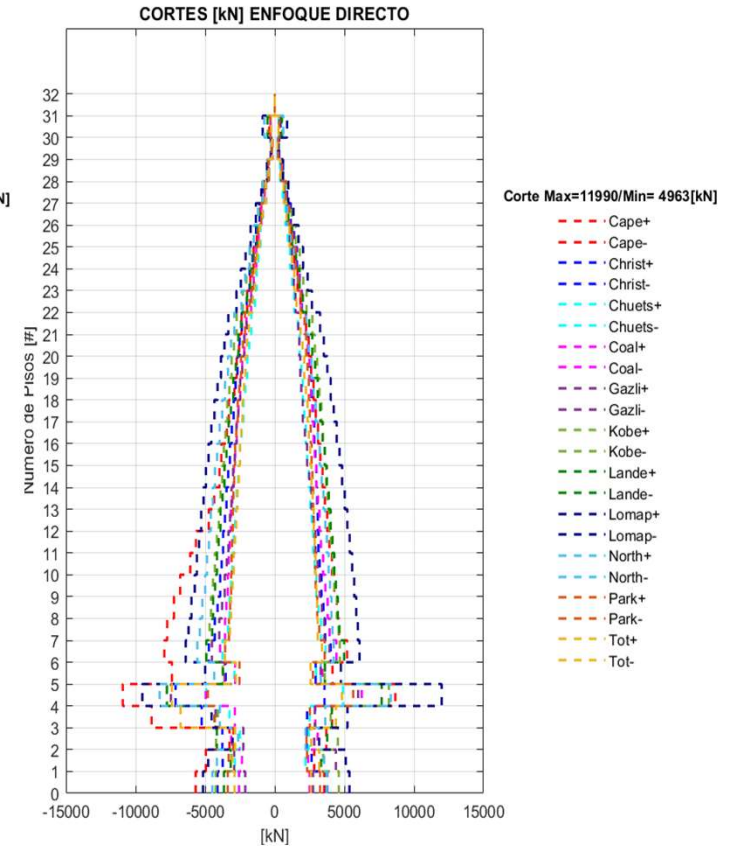
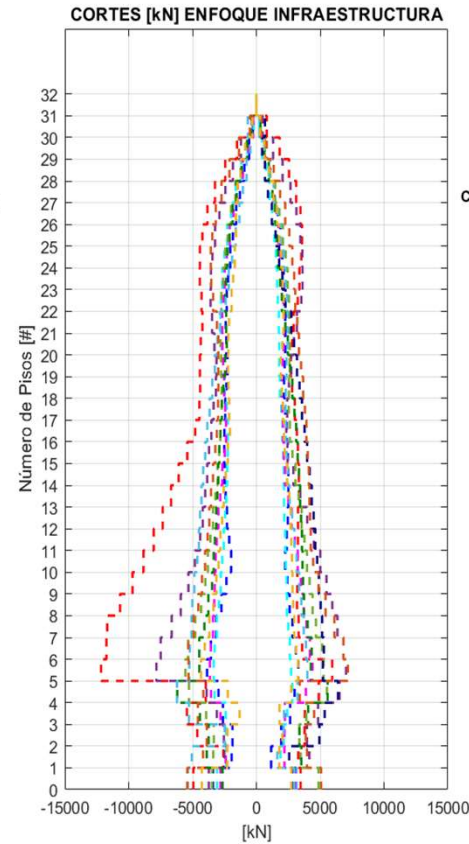
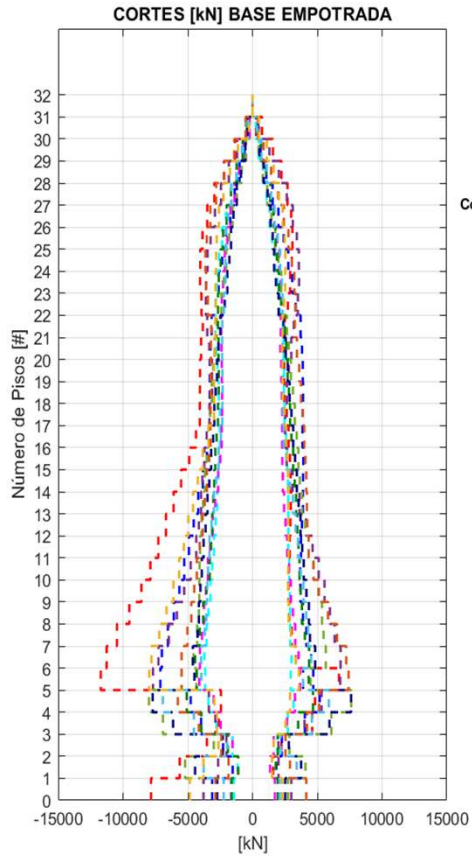
Momentos Sentido E-O



4. Resultados

4.2. Análisis del Desempeño Local

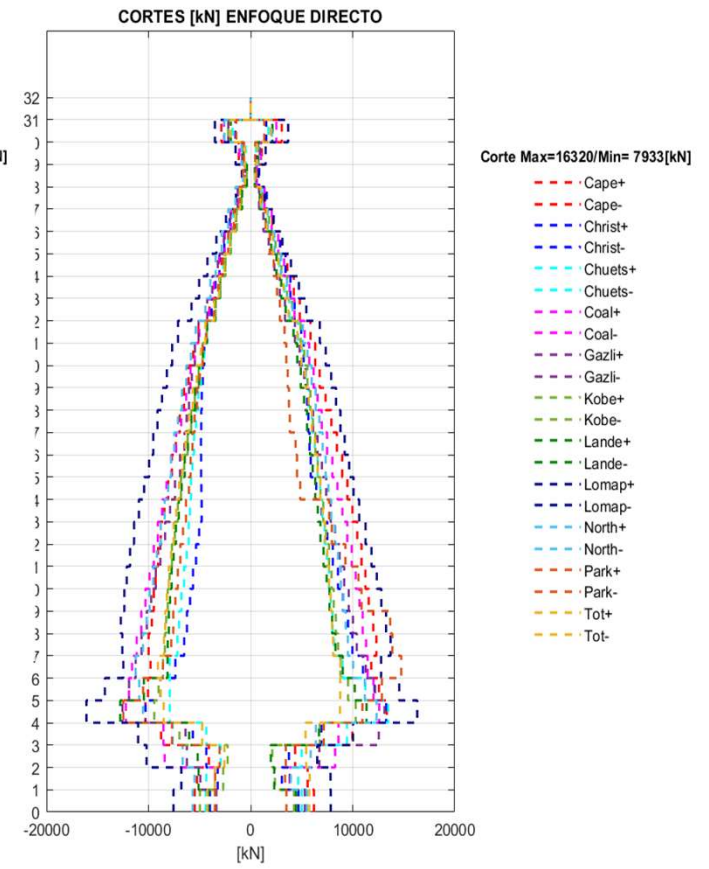
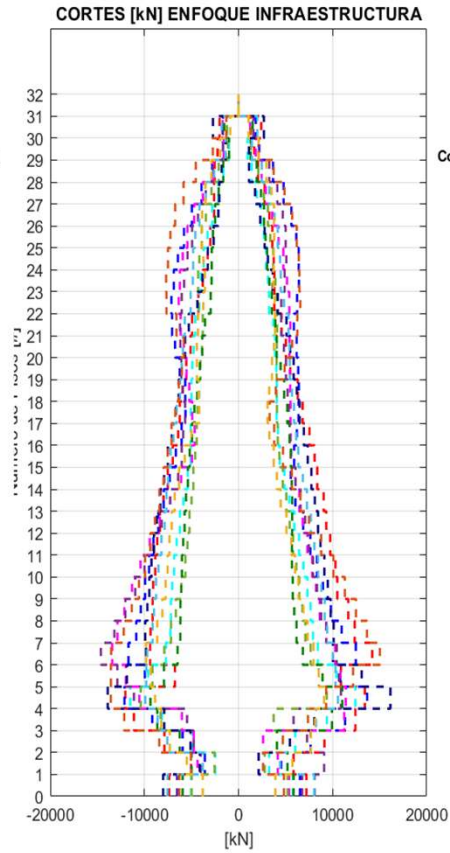
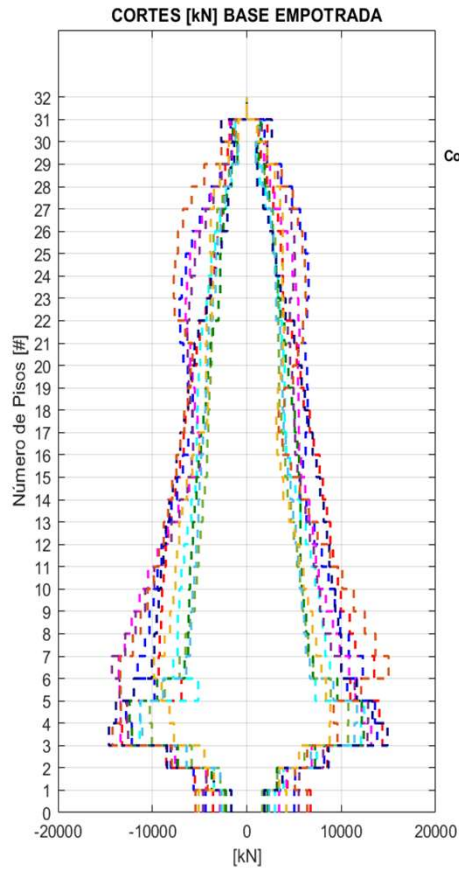
Cortantes Sección A



4. Resultados

4.2. Análisis del Desempeño Local

Cortantes Sección B



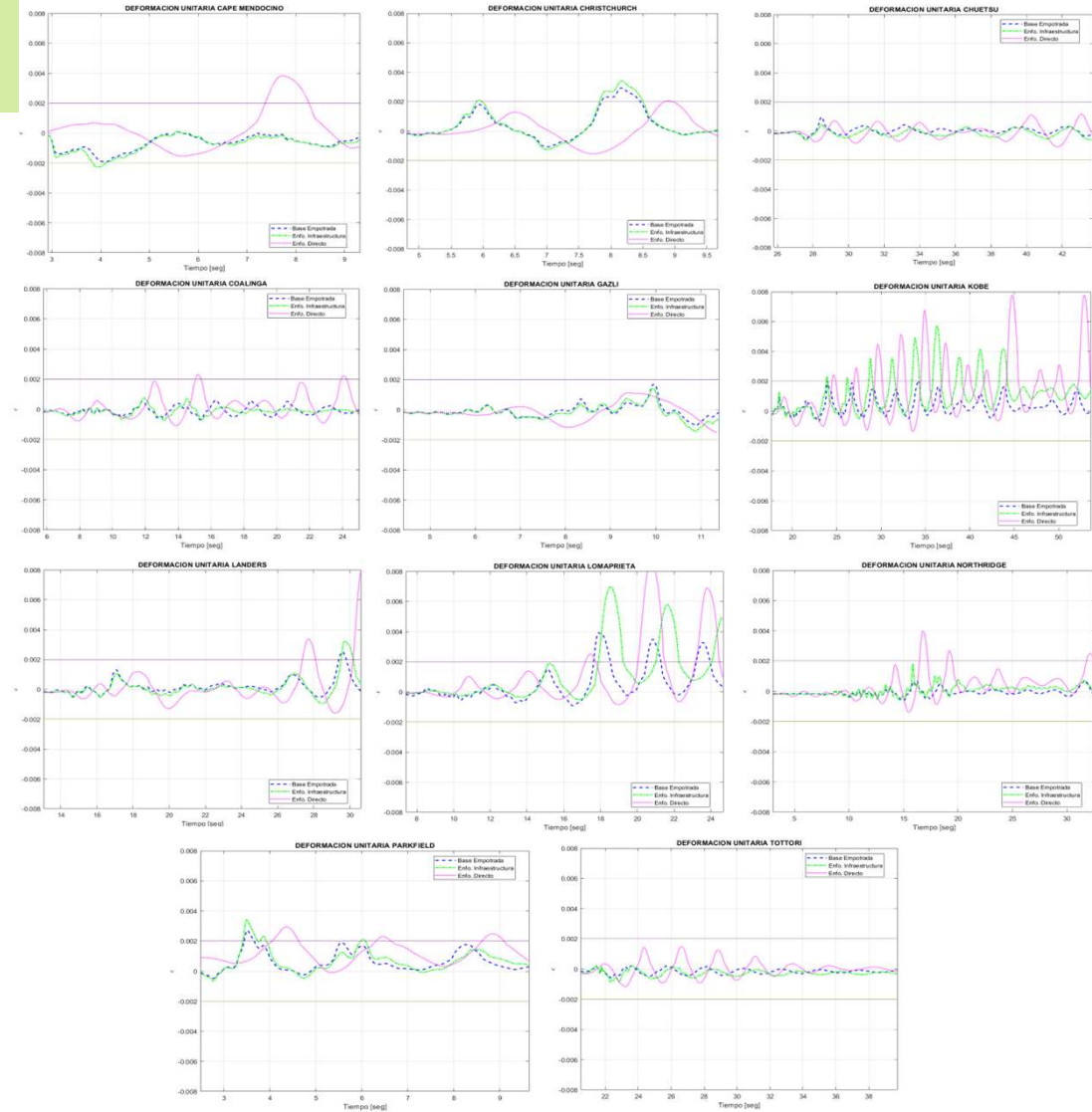
4. Resultados

4.2. Análisis del Desempeño Local

Deformaciones Unitarias Cabezal de la Sección A

Deformación Unitaria Máxima

Nombre del Registro	Base Empotrada	Enfoque Infraestructura	Enfoque Directo
Cape Mendocino	0,0019	0,00226	0,0038
Christchurch	0,0029	0,00338	0,00204
Chuetsu	0,0095	0,00043	0,001137
Coalinga	0,0004	0,00071	0,0023
Gazli	0,0016	0,00140	0,0011
Kobe	0,0018	0,00570	0,0077
Landers	0,0024	0,00321	0,008
Loma Prieta	0,00389	0,00691	0,0086
Northridge	0,0005	0,00179	0,0039
Parkfield	0,00277	0,00343	0,002448
Tottori	0,0005	0,00082	0,0014
Promedio	0,001783	0,00278	0,00385

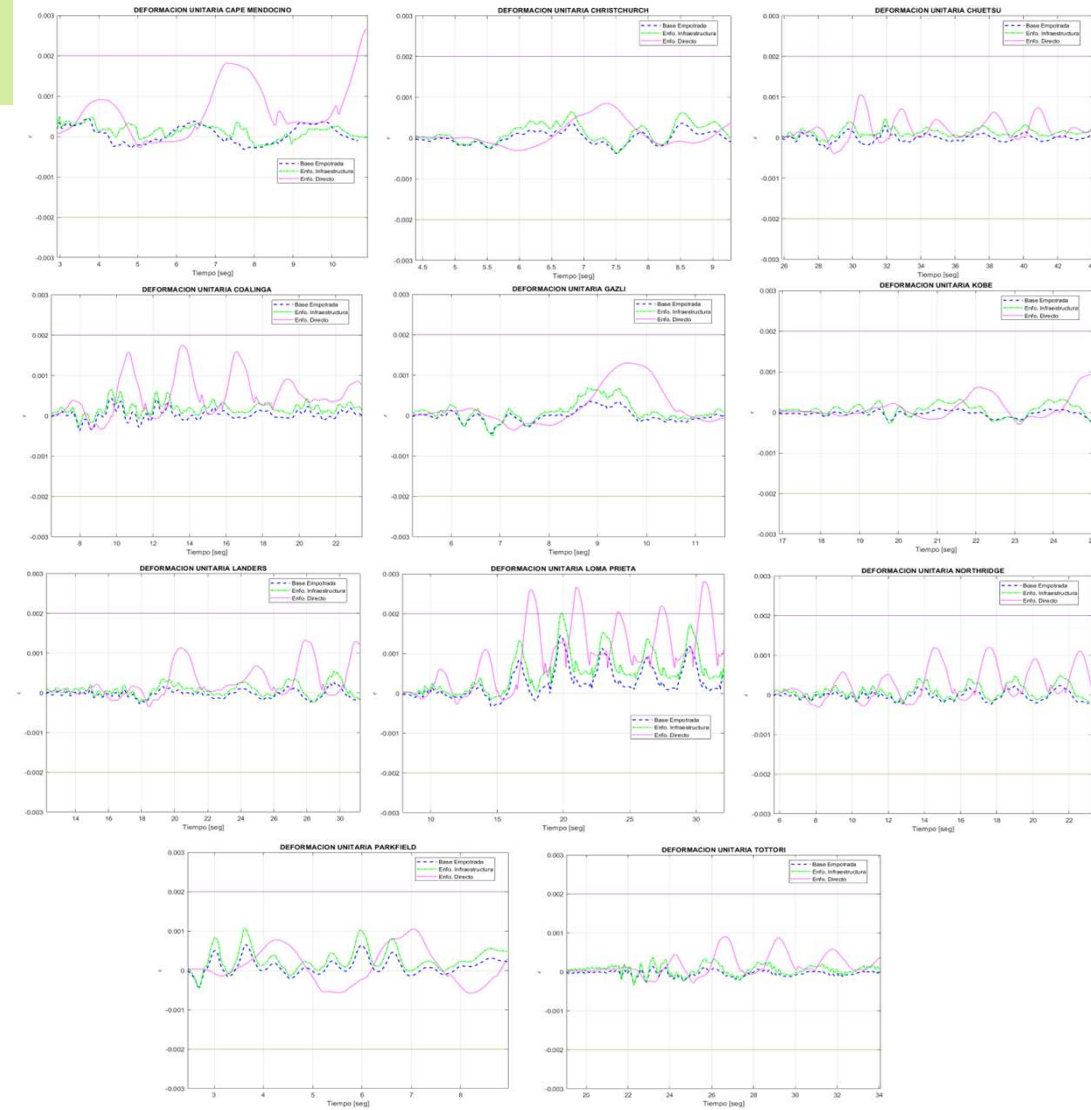


4. Resultados

4.2. Análisis del Desempeño Local

Deformaciones Unitarias Cabezal de la Sección B

Nombre del Registro	Deformación Unitaria Máxima		
	Base Empotrada	Enfoque Infraestructura	Enfoque Directo
Capec Mendocino	0,00037	0,00048	0,00266
Christchurch	0,00033	0,00063	0,00084
Chuetsu	0,00028	0,00044	0,00105
Coalinga	0,00042	0,00065	0,00175
Gazli	0,00035	0,00068	0,00139
Kobe	0,00020	0,000381	0,00094
Landers	0,00026	0,000541	0,00131
Loma Prieta	0,00145	0,002019	0,00256
Northridge	0,00021	0,00047	0,00119
Parkfield	0,00065	0,00106	0,00105
Tottori	0,00013	0,00035	0,00085
Promedio	0,00043	0,00071	0,00147



Contenido



1. Justificación y Objetivos



2. Marco Teórico



3. Generación de Modelos Matemáticos y Análisis del Desempeño



4. Resultados



5. Conclusiones y Recomendaciones

5. Conclusiones y Recomendaciones

En el modelo enfoque directo, el cual es el arquetipo más sofisticado de esta investigación, las deformaciones unitarias en promedio (0.00385) superaron el estado límite considerado en esta investigación para la sección A de los muros estructurales; hecho que permite se establezcan dos importantes conclusiones: se revela que en modelos matemáticos supra realistas, **localmente los muros estructurales tienden a ser más demandados y se demuestra la importancia de evaluar las deformaciones unitarias en arquetipos que incluyan la SSI en razón de que no existen investigaciones previas que hayan analizado estos efectos.**

En el modelo enfoque de la infraestructura se corrobora lo que se concluye anteriormente, dado que las deformaciones unitarias en promedio (0.00278) en la sección A de los muros estructurales sobrepasa el estado límite de fluencia, en tal razón se justifica completamente la **evaluación local de los niveles de desempeño de los elementos estructurales en análisis de SSI.**

Asimismo, se concluye que el arquetipo que simplifica la interacción que ocurre en la base de las estructuras **no reportan adecuadamente estados límites locales**, que conllevaría a errores de estimación en los niveles de desempeño que una edificación requiere cumplir, dado que en el modelo de base empotrada se presentó en promedio un valor menor al estado límite con el cual se analizaron las deformaciones unitarias.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Del análisis de derivas se reporta que se logró determinar el nivel de desempeño sísmico de cada modelo que se generó. Para esta cuantificación de desempeño se tomaron en cuenta los criterios del FEMA 356 (2000), con lo que se concluye que los tres **modelos generados en sus dos direcciones principales cumplen con el objetivo básico de desempeño Seguridad de Vida para una amenaza sísmica básica de diseño con un periodo de retorno de 475 años**. De lo anteriormente mencionado se acota que los modelos de SSI son los que mayor demanda de derivas reportaron, debido a las variaciones en la rigidez que sufren estos modelos, puesto que el valor del periodo fundamental también fue alterado y aumenta en los modelos que incorporan la SSI

Los tres modelos estudiados lograron captar respuestas coherentes y comparables entre sí; sobre todo en el modelo de enfoque directo del cual se puede concluir que el modelo elastoplástico del suelo asumido se puede emplear en estudios de SSI, **con lo que se valida la hipótesis generada por los autores en Borja et al. 1994 , que planteaban que su modelo puede ser aplicable en análisis de SSI**

Se recomienda que la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE, acoja dentro de sus capítulos de Geotecnia y Diseño Sísmico, las consideraciones de Interacción Suelo-Estructura descritas en el FEMA P-2091, puesto que con la rapidez y capacidad computacional actual se pueden generar modelos de infraestructura que pueden ser suficientes para poder revisar el comportamiento estructura con los efectos de SSI.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

Desempeño sísmico considerando los efectos dinámicos de interacción suelo-estructura mediante el enfoque directo, caso de estudio

Autor: Alex Wladimir Llano Iza

Director: MSc. Ing. Luis Marcelo Romo Proaño

