

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

**Análisis, diseño y evaluación del desempeño sísmico de una edificación dual de
concreto reforzado de mediana altura, basado en el método de desplazamientos.**

AUTORES:

Capt. De E. López Hoyos Carlos Israel
Capt. De E. Pérez Viteri Andrea Priscila

TUTOR:

Ing. Ana Gabriela Haro Báez, Ph.D.

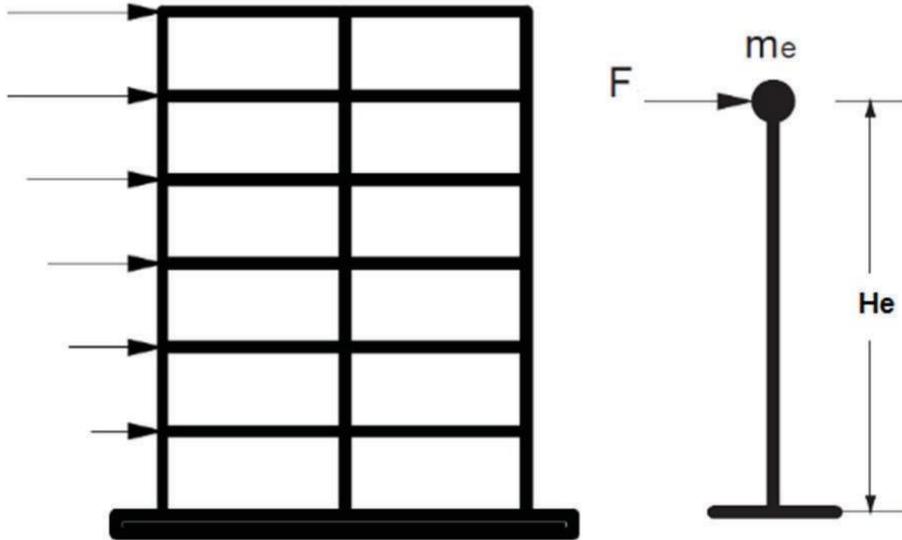
Sangolquí, 28 de agosto 2023



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Sistema de un grado de libertad

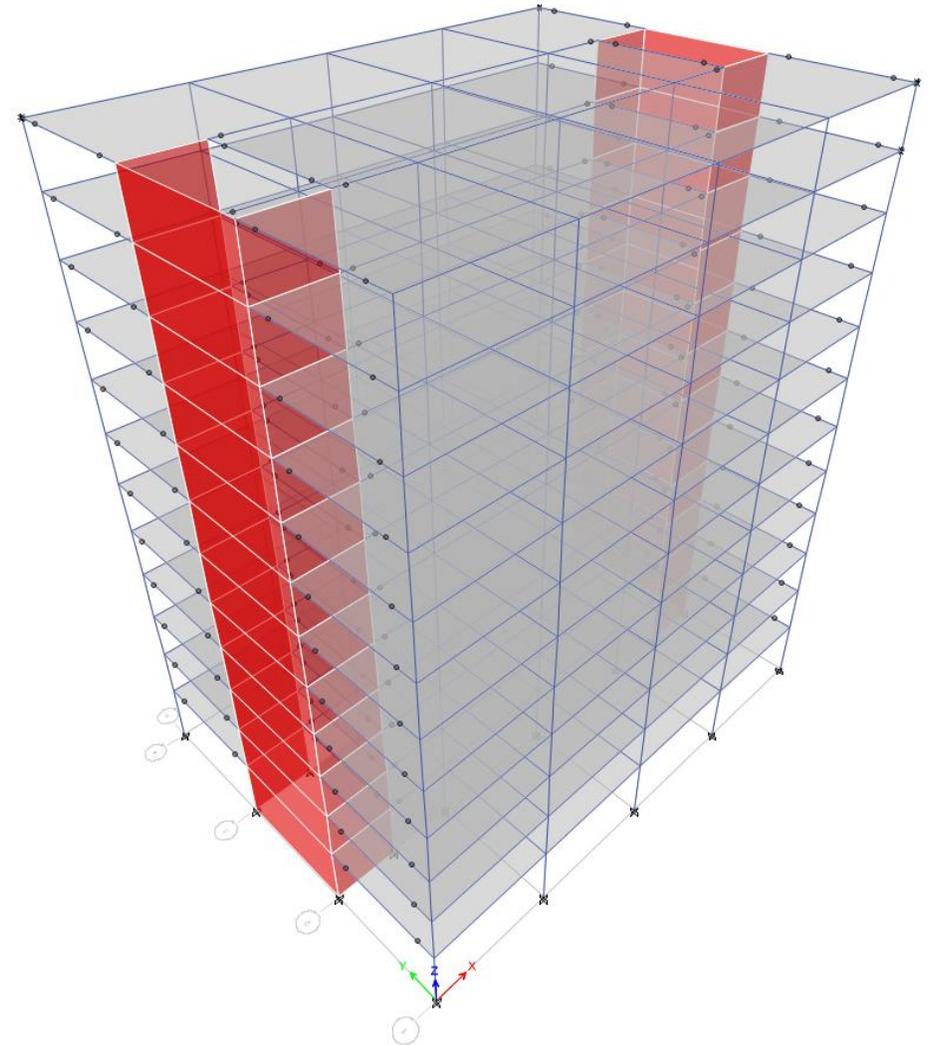


(a) Simulación SDOF

El objetivo de este método es determinar un perfil de desplazamientos considerando un espectro de aceleraciones.

Método de los Desplazamientos

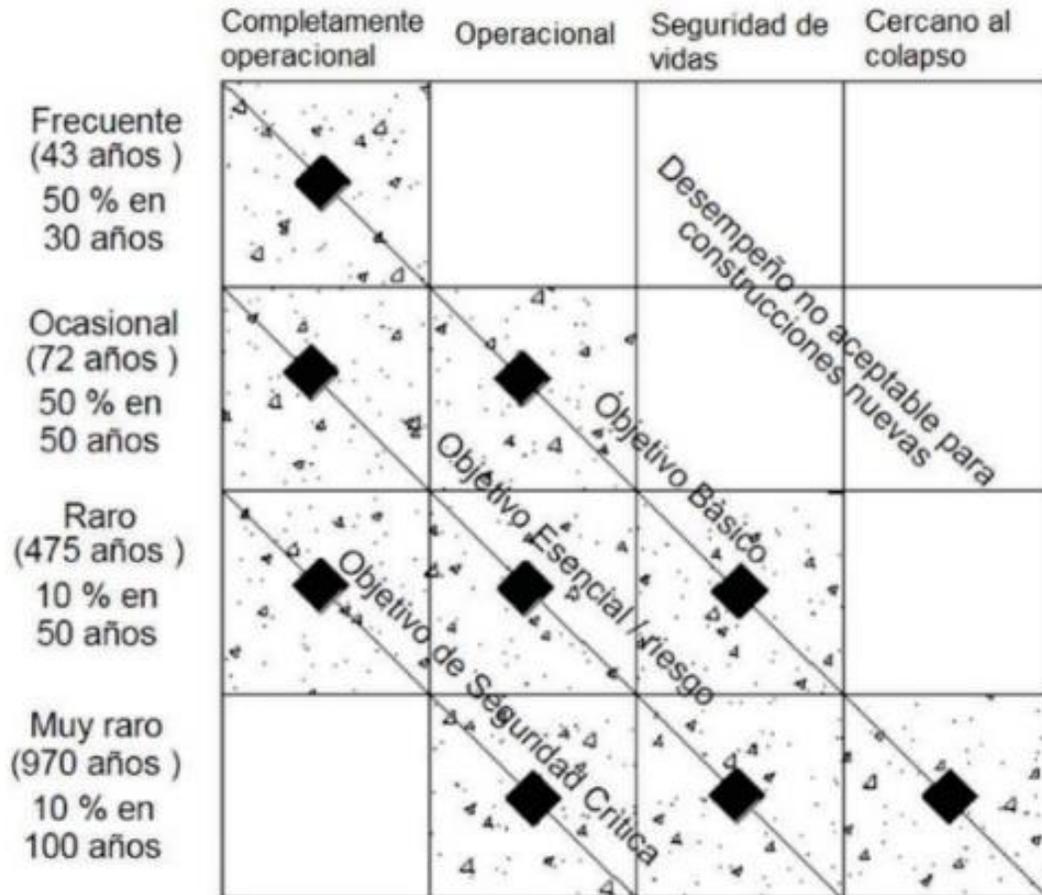
El DDBD es un método sencillo y fácil de aplicar considerando que los niveles de desempeño de una estructura se describen en función de los desplazamientos que presenta y no con las fuerzas que actúan en cada elemento estructural.



Desempeño Sísmico

Nivel de Desempeño Sísmico

Nivel de Diseño Sísmico

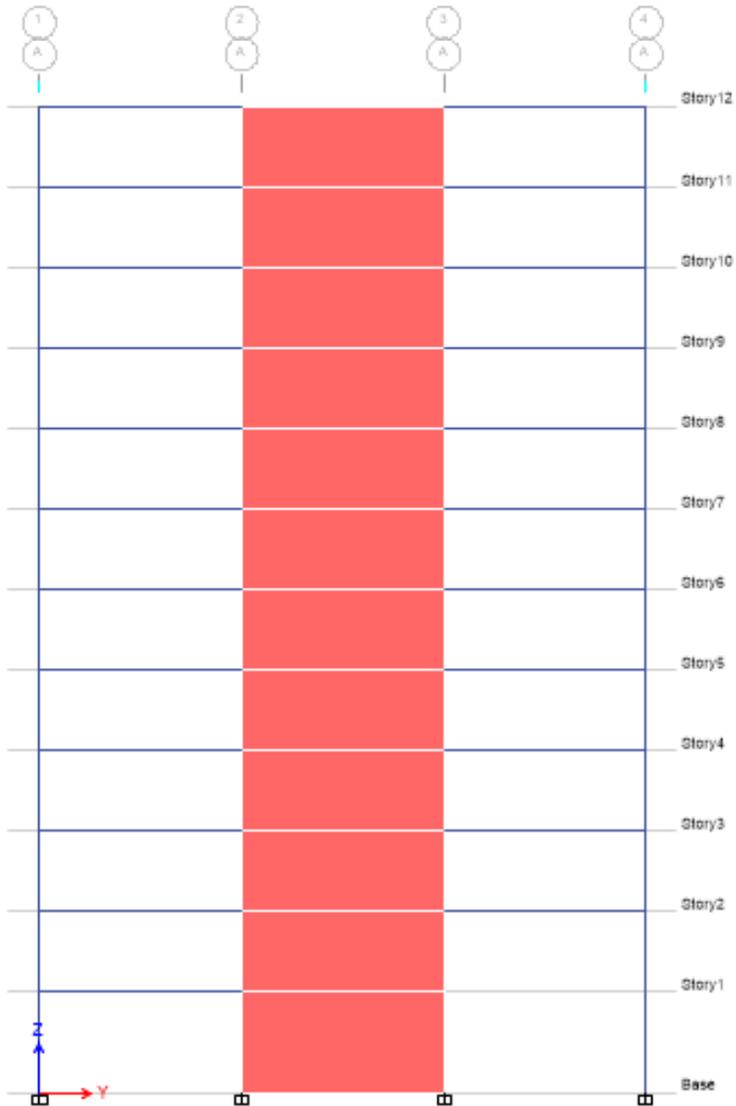


La norma ecuatoriana de la construcción establece tres niveles de desempeño que son analizados ante tres tipos de sismos: sismo menor, sismo moderado y sismo severo.

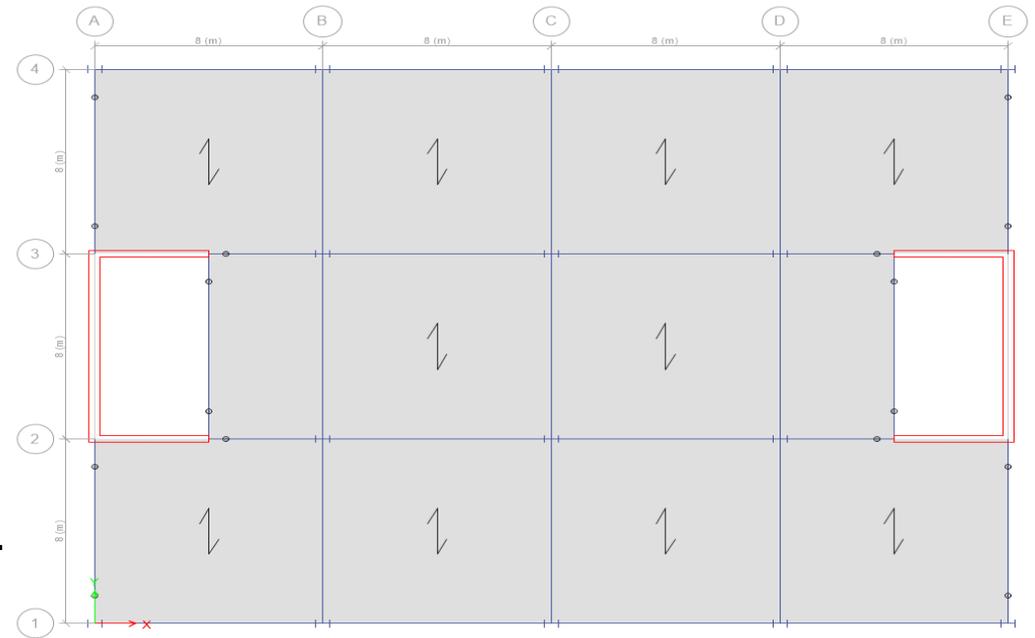
NIVELES DE DESEMPEÑO			
NIVEL	PR	SISMO	OBSERVACIÓN
PRIMER NIVEL	72	Menor	Estructural -nulos
SEGUNDO NIVEL	72	Moderado	Seguridad de vida
TERCER NIVEL	475	Severo	Rangos aceptables



Edificación tipo Dual



Edificación dual tipo de muros de concreto y pórticos de acero de mediana altura (12 pisos).



Configuración estructural regular en planta y en elevación.



Ventajas y desventajas del DDBD

Con el DDBD se puede resolver y evaluar estructuras estáticamente indeterminadas y que no presenten irregularidades, es un proceso ordenado y lógico que permite evaluar el daño que presenta una edificación a través de las deformaciones y derivas, con esto se va a determinar el nivel de desempeño de una estructura y se puede comparar con un análisis no lineal como el Pushover.

El DBF es un método establecido para poder diseñar estructuras que van a presentar como respuesta un comportamiento inelástico y el DDBD, a través de su aplicación se realiza un análisis elástico, considerando que en la realidad cualquier edificación que soporte una fuerza sísmica va a presentar un comportamiento no lineal.



Objetivos

Objetivo general

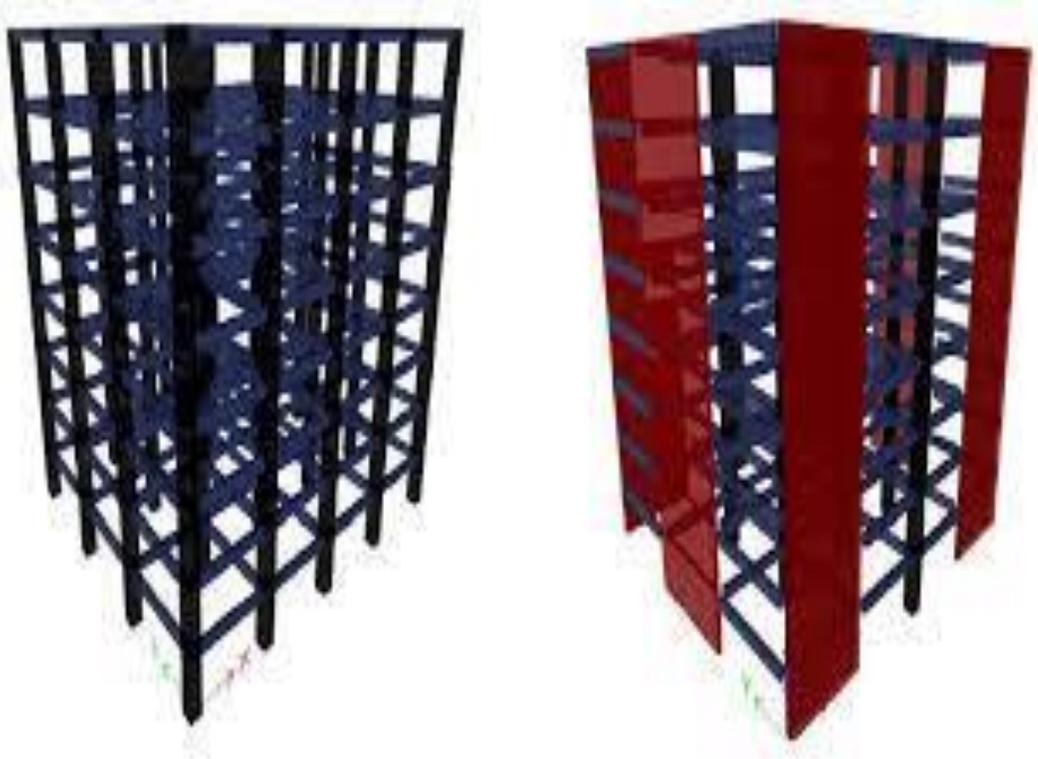
Evaluar el desempeño sísmico de una edificación dual tipo de muros de concreto y pórticos de acero de mediana altura mediante el Método Directo Basado en Desplazamientos.

Objetivos específicos

- Realizar el modelamiento estructural de una edificación tipo dual que será evaluada con el método de los desplazamientos.
- Mantener el control del objetivo de desempeño sísmico (seguridad de vida) ante el sismo de diseño.
- Desarrollo de una guía práctica para evaluar el objetivo de desempeño sísmico (seguridad de vida) de edificaciones duales de muros de concreto reforzado y pórticos de acero mediante el Método Directo Basado en Desplazamientos.



Configuración Estructural



- Prevenir daños en los elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes.
- Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes.
- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez.

GUÍA

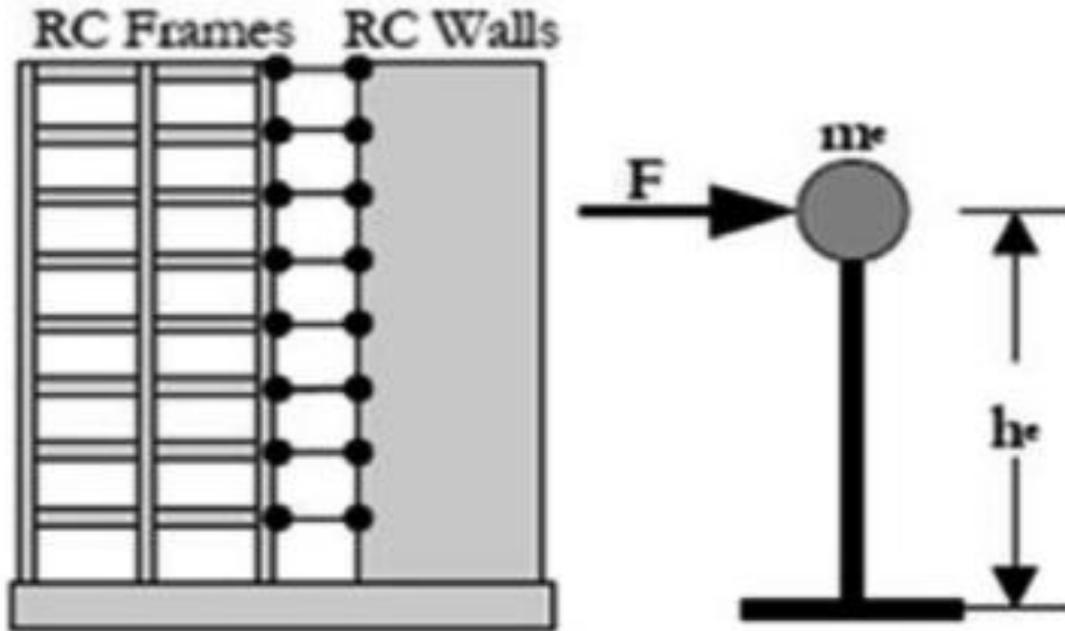


Adaptada del documento Visión 2000 (SEAOC 1995)

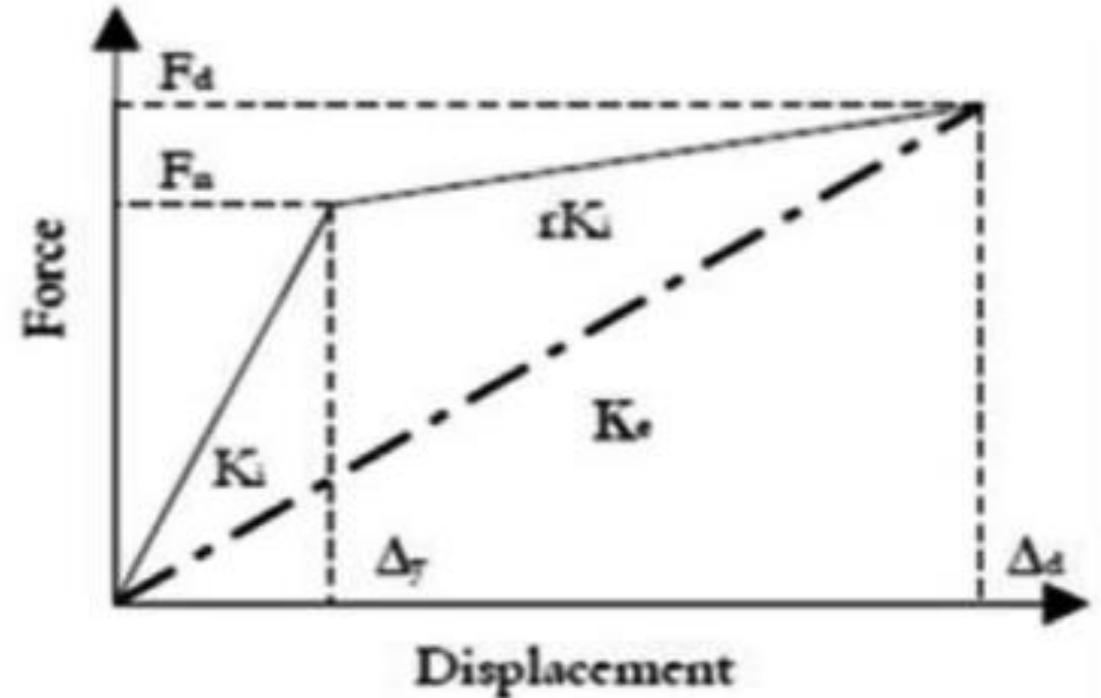
- *Ocupación inmediata*
- *Seguridad de vida*
- *Prevenición de colapso*



Diseño Directo Basado en Desplazamientos



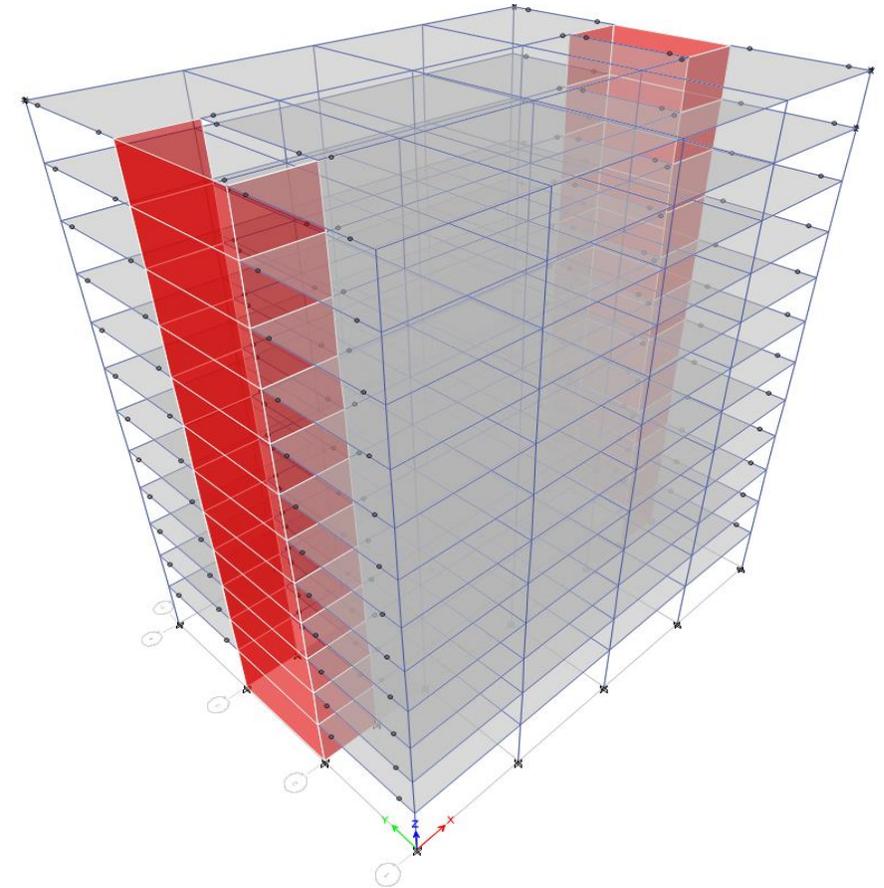
(a) SDOF simulation



(b) Effective stiffness K_e

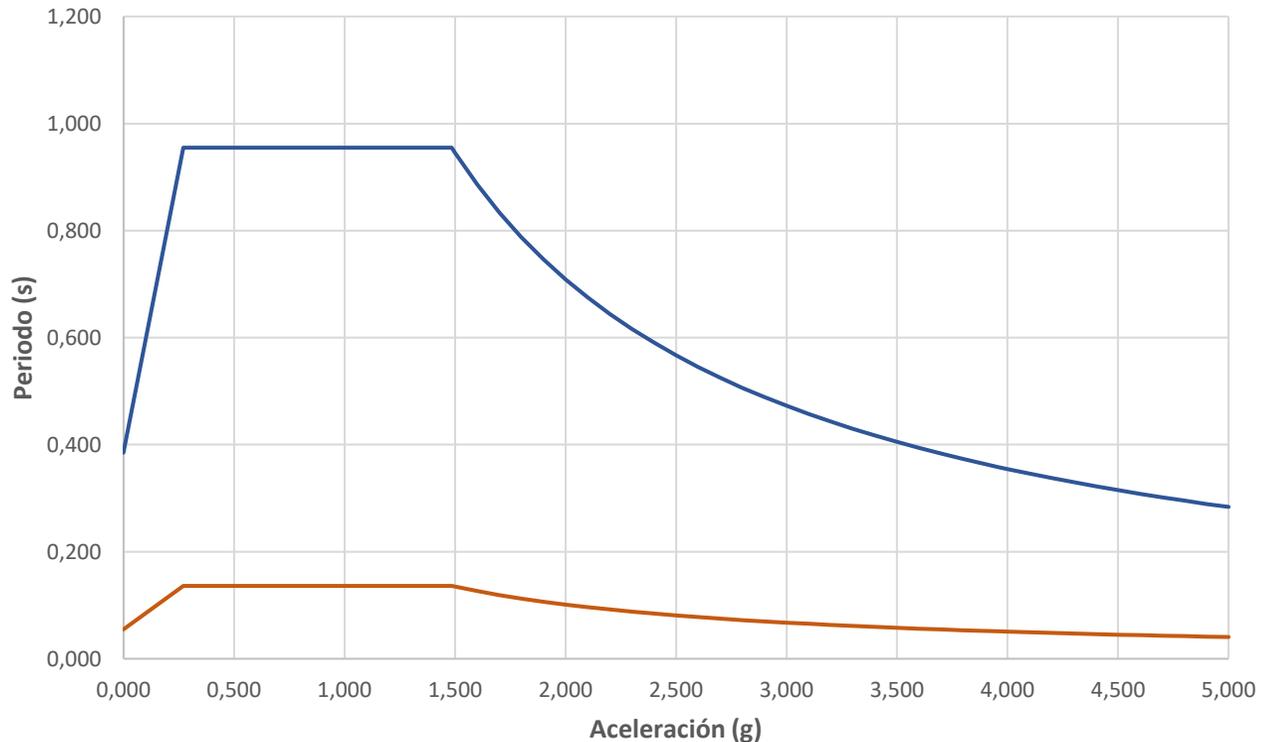
Diseño Directo Basado en Desplazamientos

Características del Edificio	
Altura de piso planta baja	4.00 mts
Altura de piso 1-11	3.20 mts
Número de pisos	12 pisos
Altura total	39.20 mts
Distancia entre columnas eje "X"	8.00 mts
Distancia entre columnas eje "Y"	8.00 mts
Dimensiones en planta	32.00*24.00 mts



Diseño Directo Basado en Desplazamientos

ESPECTRO DE DISEÑO BASADO EN ACELERACIONES NEC-SE-DS-15



Terminología	Valor	Unidad
T_a	1.03	seg
$S_a(T_a)$	1.190	adimensional
I	1.00	adimensional
R	7.00	adimensional
ϕ_p	1.00	adimensional
ϕ_e	1.00	adimensional
C_v	0.170	adimensional
k	1.265	adimensional



Paso 1.- Asignación del porcentaje del cortante basal

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

Piso	Altura	Hi	Masa (tn.s2/m)	Wi*Hi^k	α	Fi
12	3.2	39.20	50.968	80.920	0.067	9.562
11	3.2	36.00	71.356	112.079	0.092	13.244
10	3.2	32.80	71.356	110.772	0.091	13.090
9	3.2	29.60	71.356	109.348	0.090	12.921
8	3.2	26.40	71.356	107.783	0.089	12.736
7	3.2	23.20	71.356	106.043	0.087	12.531
6	3.2	20.00	71.356	104.078	0.086	12.299
5	3.2	16.80	71.356	101.816	0.084	12.031
4	3.2	13.60	71.356	99.141	0.082	11.715
3	3.2	10.40	71.356	95.846	0.079	11.326
2	3.2	7.20	71.356	91.507	0.075	10.813
1	4	4.00	78.491	93.472	0.077	11.045
0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Sumatoria		259.20	843.017	1212.81	1.00	143.31

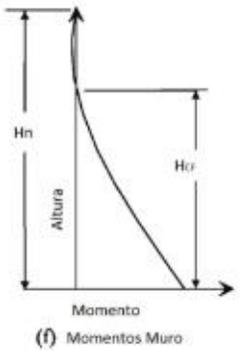
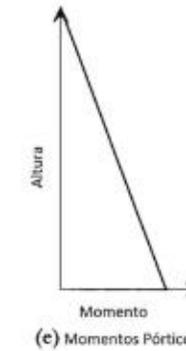
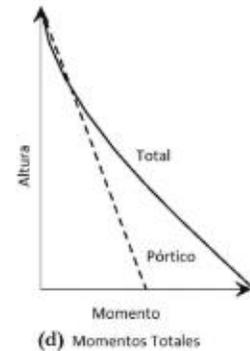
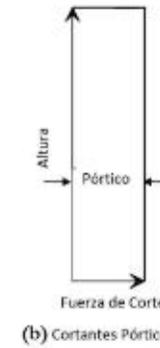
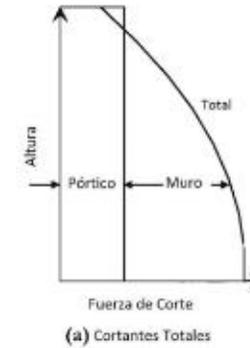
Fuente: Elaboración Propia



Paso 2.- Altura de inflexión

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Nivel	Hi (m)	m (Ton)	m*Hi	Fi (rel)	Vti (rel)	Motm	Vf	Vw	Mw
12	39.2	500	19600	0.112721	0.112721	0.000	0.3	-0.18728	0.0000
11	36	700	25200	0.144928	0.257649	0.361	0.3	-0.04235	-0.5993
10	32.8	700	22960	0.132045	0.389694	1.185	0.3	0.08969	-0.7348
9	29.6	700	20720	0.119163	0.508857	2.432	0.3	0.20886	-0.4478
8	26.4	700	18480	0.106280	0.615137	4.061	0.3	0.31514	0.2205
7	23.2	700	16240	0.093398	0.708535	6.029	0.3	0.40853	1.2290
6	20	700	14000	0.080515	0.789050	8.296	0.3	0.48905	2.5363
5	16.8	700	11760	0.067633	0.856683	10.821	0.3	0.55668	4.1013
4	13.6	700	9520	0.054750	0.911433	13.563	0.3	0.61143	5.8826
3	10.4	700	7280	0.041868	0.953301	16.479	0.3	0.65330	7.8392
2	7.2	700	5040	0.028986	0.982287	19.530	0.3	0.68229	9.9298
1	4	770	3080	0.017713	1.000000	22.673	0.3	0.70000	12.1131
0	0	0	0	0	1.000000	26.673	0.3	0.70000	14.9131
Sumatoria	259.2	8270	173880	1					

Fuente: Elaboración Propia



$$H_{CF} = 27.465 \text{ m}$$



Paso 3.- Desplazamiento de fluencia en los muros

Desplazamiento de fluencia para $H_i < H_{CF}$

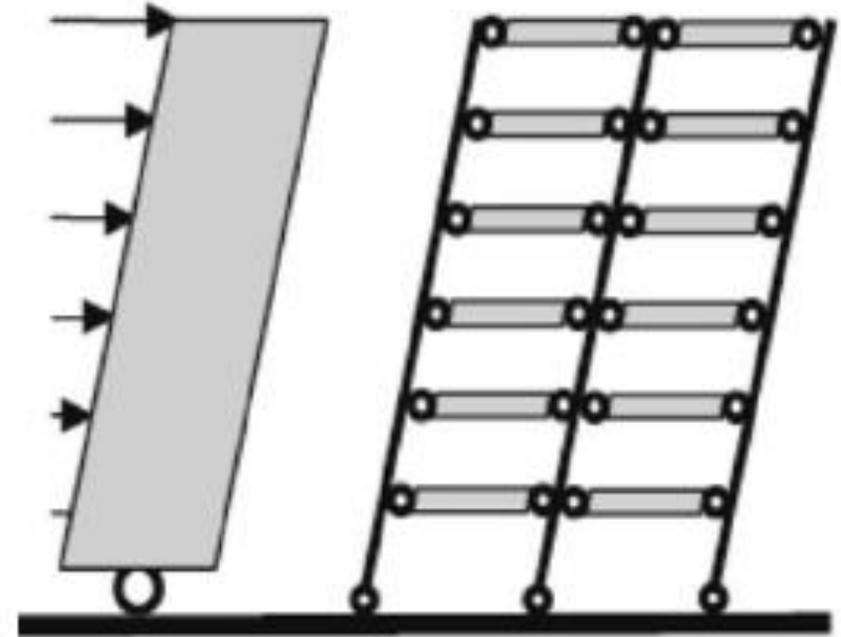
Δy_1	0.004373772
Δy_2	0.013592375
Δy_3	0.027152103
Δy_4	0.044367151
Δy_5	0.064551719
Δy_6	0.087020003
Δy_7	0.111086201
Δy_8	0.136064512

Fuente: Elaboración Propia

Desplazamiento de fluencia para $H_i > H_{CF}$

Δy_9	0.16130351
Δy_{10}	0.186546616
Δy_{11}	0.211789721
Δy_{12}	0.237032827

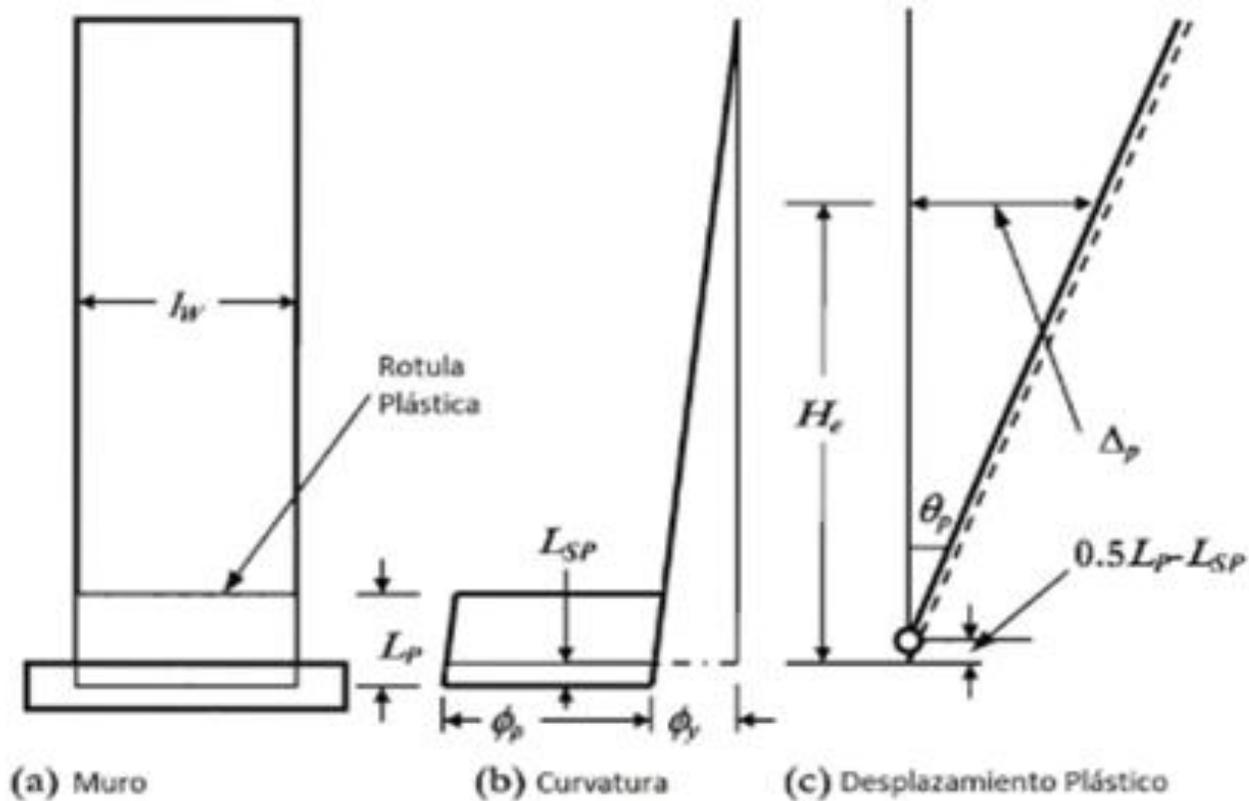
Fuente: Elaboración Propia



BEAM-SWAY MECHANISM



Paso 4.- Perfil de desplazamiento



- *Deformaciones del material del muro*
- *Longitud de la rotula plástica*
- *Desplazamiento de fluencia*
- *Deriva de fluencia*
- *Rotación plástica*

Paso 4.- Perfil de desplazamiento

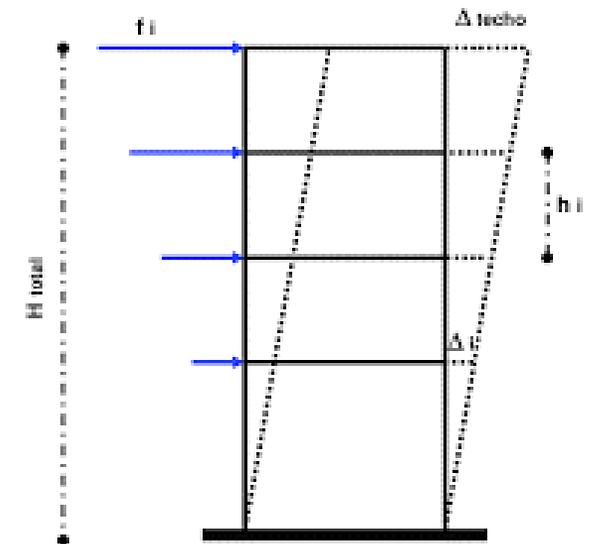
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Piso	Hi	Masa (tn.s2/m)	Δy	Δdi	$m_i \cdot \Delta di$	$m_i \cdot \Delta di^2$	$m_i \cdot \Delta di \cdot H_i$
12	39.2	50.9684	0.2370	0.6739	34.3470	23.1461	1346.4032
11	36	71.3558	0.2118	0.6130	43.7399	26.8119	1574.6372
10	32.8	71.3558	0.1865	0.5521	39.3940	21.7486	1292.1236
9	29.6	71.3558	0.1613	0.4912	35.0481	17.2147	1037.4239
8	26.4	71.3558	0.1361	0.4303	30.7025	13.2105	810.5457
7	23.2	71.3558	0.1111	0.3696	26.3755	9.7493	611.9111
6	20	71.3558	0.0870	0.3099	22.1135	6.8531	442.2710
5	16.8	71.3558	0.0646	0.2518	17.9656	4.5233	301.8227
4	13.6	71.3558	0.0444	0.1959	13.9807	2.7392	190.1373
3	10.4	71.3558	0.0272	0.1431	10.2076	1.4602	106.1593
2	7.2	71.3558	0.0136	0.0938	6.6954	0.6282	48.2068
1	4	78.4913	0.0044	0.0490	3.8422	0.1881	15.3689
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SUMA	259.2	843.0173293			284.4121	128.27317	7777.01077

Fuente: Elaboración Propia

Tabla de resumen del análisis lineal

ANÁLISIS	ESTÁTICO		DINÁMICO	
	SX	SY	ESPX	ESPY
DESPLAZAMIENTO	0.06	0.04	0.06	0.03
DERIVAS INELÁSTICA	0.002	0.001	0.002	0.001
DERIVAS ELÁSTICAS (0.75*R*DI)	0.01	0.005	0.01	0.005
DERIVA ELÁSTICA %	1%	0.5%	1%	0.5%

Fuente: Elaboración Propia



Paso 5.- Desplazamiento del sistema equivalente

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n = 1 (m_j \cdot \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n = 1 (m_j \cdot \Delta_j)}$$

$$\Delta_d = 0.451 \text{ m}$$

Paso 6.- Altura efectiva

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n = 1 (m_j \cdot \Delta_i \cdot H_i)}{\sum_{i=1}^n = 1 (m_j \cdot \Delta_i)}$$

$$H_e = 27.34 \text{ m}$$



Paso 7.- Amortiguamiento equivalente

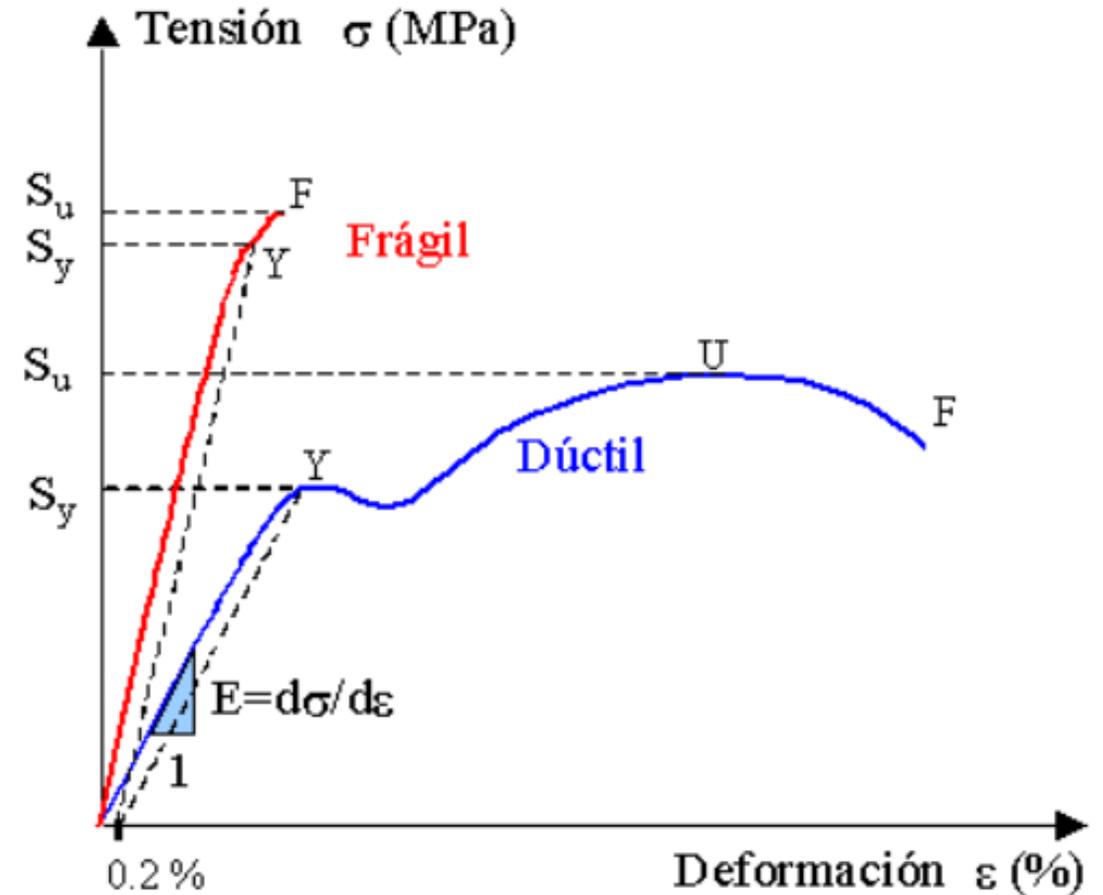
$$\varepsilon_{sys} = \frac{(\varepsilon_{eq} * M_{OTM} + \varepsilon_{eq} * M_{OTMF})}{M_{OTM}}$$

$$\varepsilon_{sys} = 0.152$$

Ductilidad del sistema

$$\mu_{sys} = \frac{(\mu * V_{wbase} + \mu * V_{fbase})}{V_{wbase} + V_{fbase}}$$

$$\mu_{sys} = 2.947$$



Paso 8.- Espectro de desplazamientos

$$R_e = \left(\frac{0,07}{0,02 + \varepsilon} \right)^{0.5}$$

$$R_e = 0.637$$

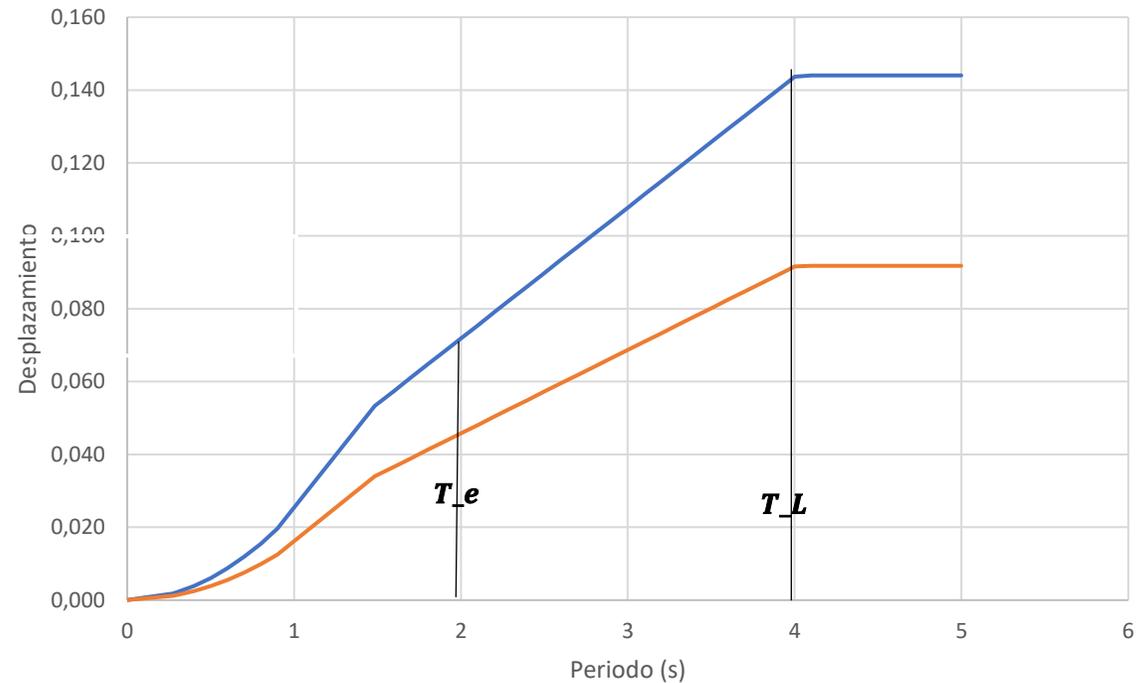
Paso 9.- Periodo efectivo

$$T_L = 2.4 * F_d$$

$$T_L = 3.95$$

$$T_e = 2.00 \text{ seg}$$

ESPECTRO DE DISEÑO BASADO EN DESPLAZAMIENTOS NEC-SE-DS-15



Paso 10.- Masa efectiva

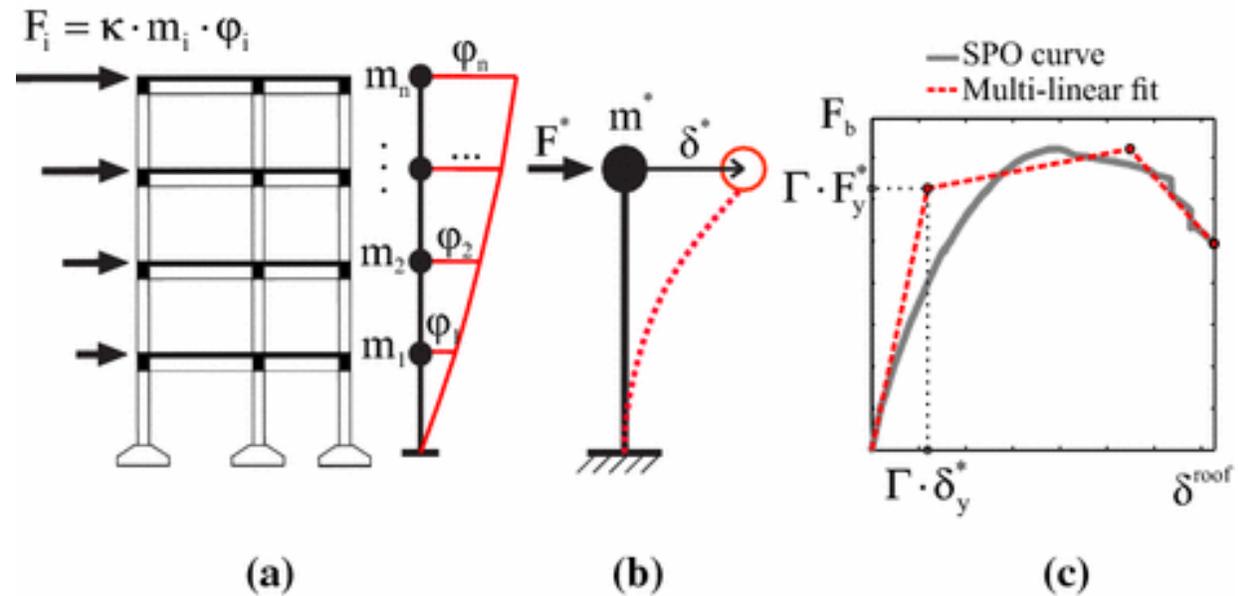
$$m_e = \frac{\sum_j^n = 1(m_i \cdot \Delta_i)}{\Delta_d}$$

Paso 11.- Rigidez efectiva

$$K_e = \frac{4 * \pi^2 * m_e}{T_e^2}$$

Paso 12.- Cortante basal

$$F = K_e * \Delta_e$$



Paso 13.- Fuerzas de diseño en marcos y muros

Piso (1)	Hi (2)	Fi (rel) (3)	Vti (rel) (4)	Mtom (5)	Vf (6)	Vw (7)	Mw (8)	Mf (9)
12	39.20	31.5365	31.5365	0.0000	83.9323	-52.3957	0.0000	0.0000
11	36.00	40.5470	72.0835	100.9169	83.9323	-11.8487	-167.6663	268.5832
10	32.80	36.9428	109.0263	331.5842	83.9323	25.0941	-205.5822	537.1664
9	29.60	33.3386	142.3650	680.4685	83.9323	58.4327	-125.2812	805.7496
8	26.40	29.7345	172.0994	1136.0363	83.9323	88.1672	61.7035	1074.3328
7	23.20	26.1303	198.2297	1686.7545	83.9323	114.2974	343.8384	1342.9160
6	20.00	22.5261	220.7558	2321.0895	83.9323	136.8235	709.5902	1611.4993
5	16.80	18.9219	239.6777	3027.5080	83.9323	155.7455	1147.4255	1880.0825
4	13.60	15.3177	254.9955	3794.4767	83.9323	171.0632	1645.8110	2148.6657
3	10.40	11.7136	266.7090	4610.4622	83.9323	182.7768	2193.2133	2417.2489
2	7.20	8.1094	274.8184	5463.9311	83.9323	190.8862	2778.0990	2685.8321
1	4.00	4.9557	279.7742	6343.3501	83.9323	195.8419	3388.9348	2954.4153
0	0	0.0000	279.7742	7462.4468	83.9323	195.8419	4172.3025	3290.1443

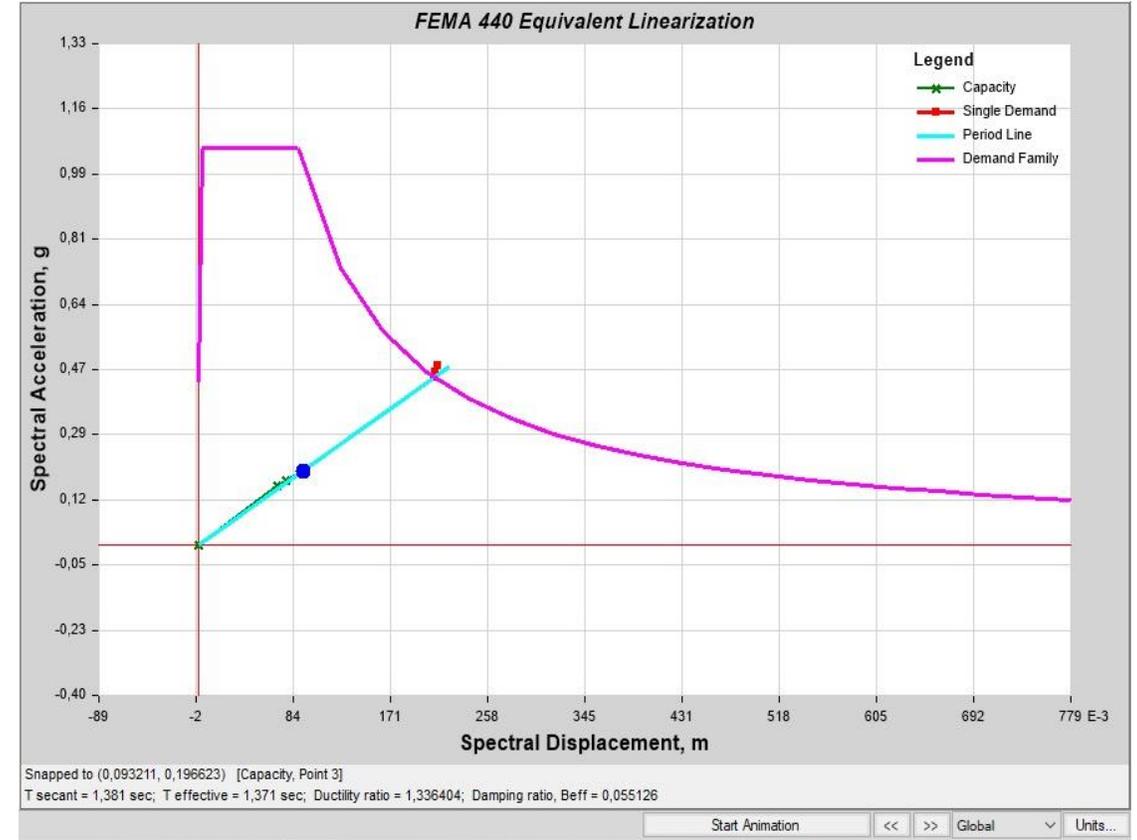
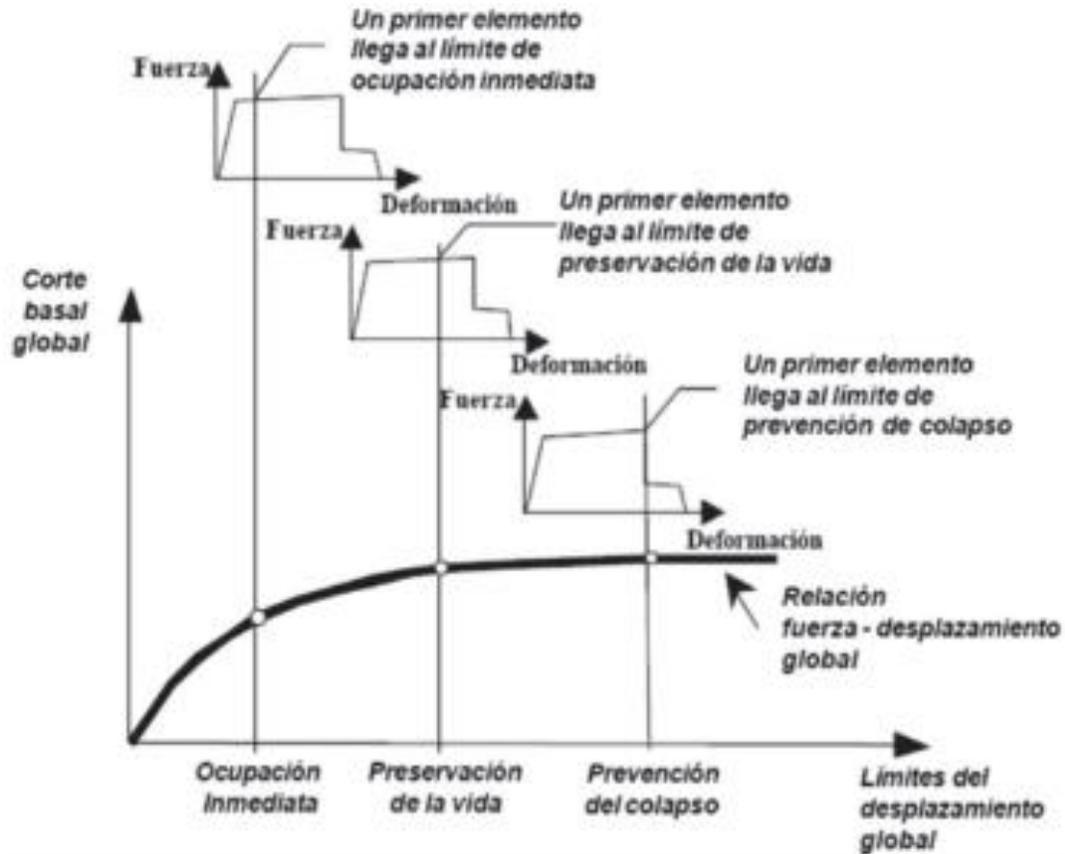
Fuente: Elaboración Propia

TABLE: Story Forces

Story	Output Case	VX	MY
Story1	ESPX	120,2645	5539,4212



Paso 14.- Verificación del método



Conclusiones

- Este método resulta un poco más sencillo que el método de las fuerzas, pudiendo incentivar su utilización ya que en primera instancia el DDBD logra reemplazar a la estructura principal por una equivalente de SDOF.

Derivas y niveles de desempeño		
Análisis	DDBD	
estático (x)		
1%	1.9%	Con los valores obtenidos de las derivas la estructura está dentro de los límites de control de daños y estos valores se encuentran dentro de lo establecido en la norma para deriva máxima que es el 2%.



Conclusiones

- El método del desplazamiento permite trabajar con las derivas de piso de acuerdo a lo que establece la norma, lo que provoca que la rigidez de la estructura sea mayor logrando que el diseño de una estructura sea seguro y eficiente.
- El DDBD nos presenta resultados con un nivel de exactitud muy elevado, pero no debemos dejar de mencionar que esto está muy relacionado con la regularidad de la distribución geométrica de nuestra estructura.
- El procedimiento denominado (DDBD), en el cual, se busca alcanzar un nivel de desempeño especificado, dispone de aplicabilidad a una amplia gama de tipos estructurales incluyendo edificios aporticados, edificios con muros, edificios duales muros/pórticos, puentes, estructuras sísmicamente aisladas, muelles, y un rango de materiales estructurales, incluyendo concreto reforzado y pretensado, acero estructural, mampostería y madera.



Recomendaciones

- En la actualidad no existen muchos tipos de estructuras que han sido analizadas utilizando el DDBD, así como incluir estructuras en otros tipos de materiales para poder estudiar sus resultados combinados con diferentes niveles de demandas sísmicas.
- El uso de un software externo para poder someter a la estructura a las diferentes cargas por las que se ve afectada es de suma importancia para comparar resultados y establecer los parámetros de diseño, por lo cual se debe escoger de forma muy minuciosa dicho software y verificar de forma muy eficiente que cumpla con su objetivo.



**¡MUCHAS GRACIAS
POR SU ATENCIÓN!**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

