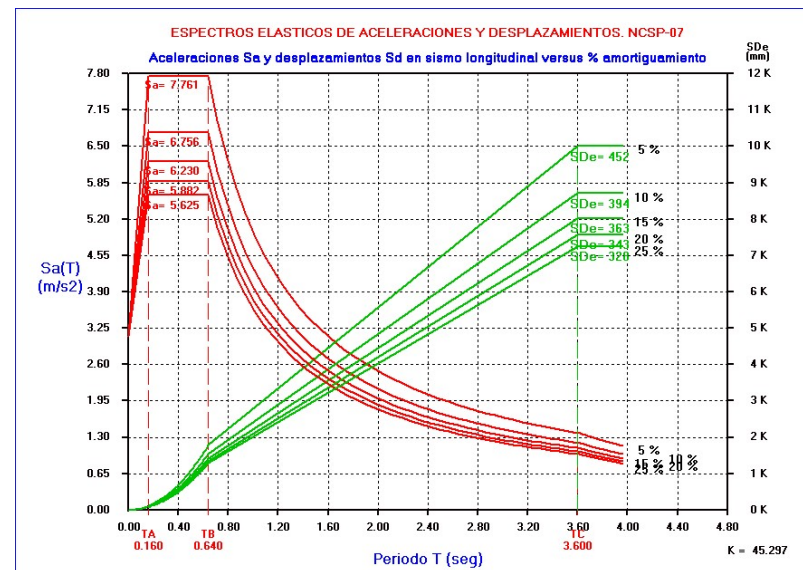
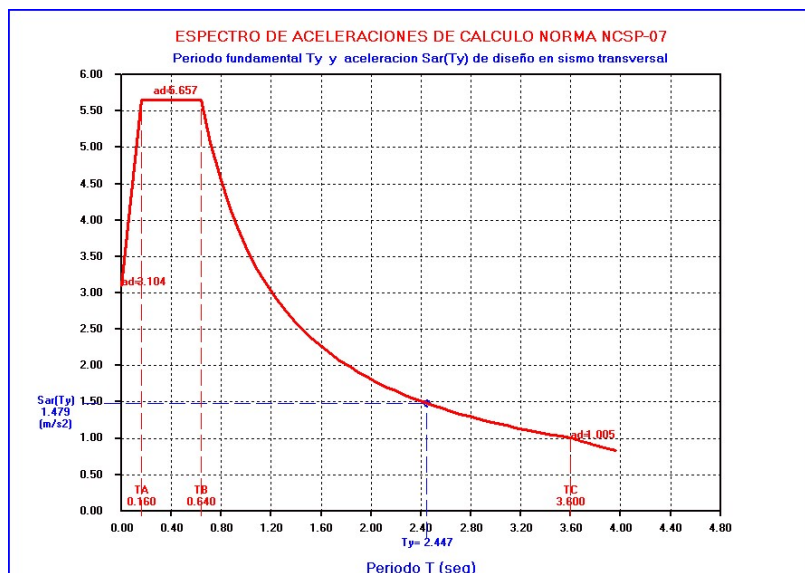
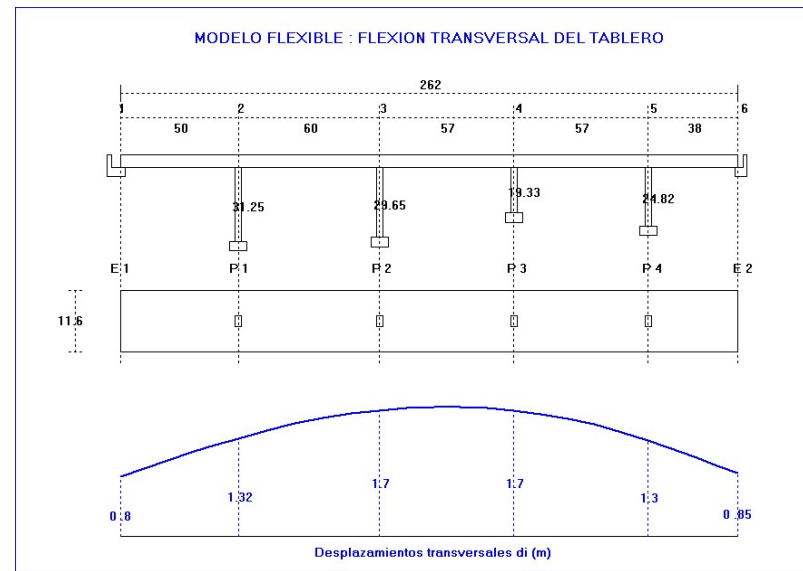
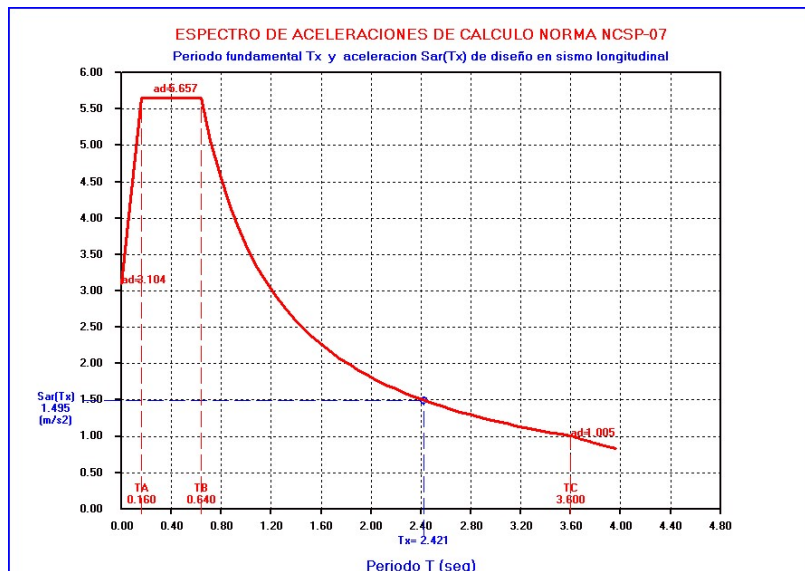
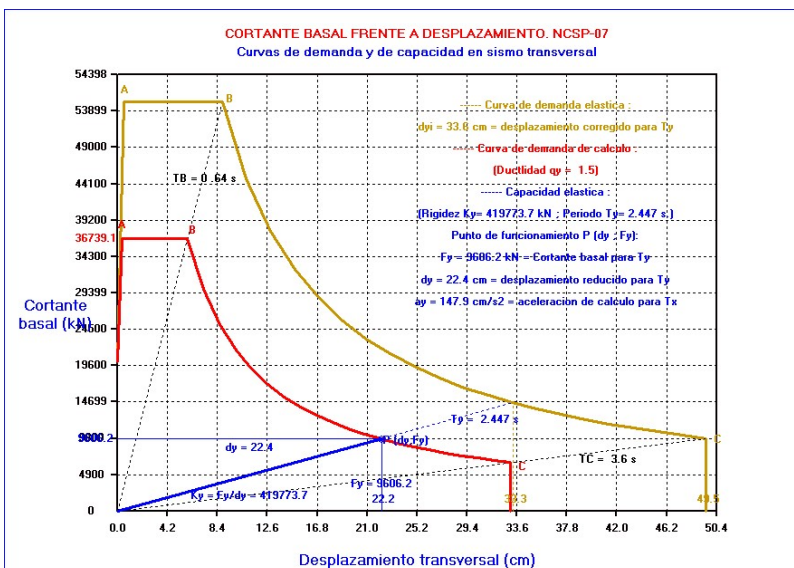
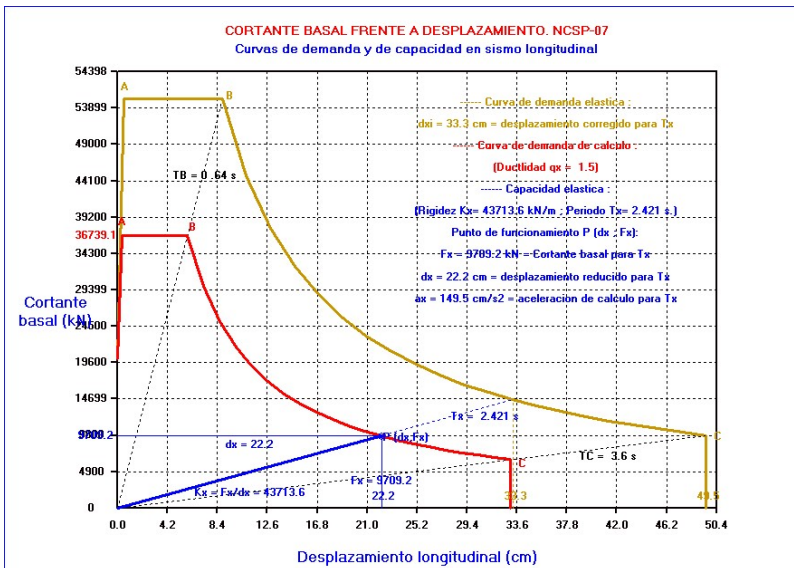


**EJEMPLO Curso sísmico de puentes :**  
**Viaducto de 5 vanos. (TFM Ing.Caminos UPM Jeff, Quispe)**







```

PROGRAMA PONSIS 2 5
=====
ANALISIS SISMICO DE PUENTES
Normas sismicas NCSP-07 ; Eurocodigo 8 y otras
Version 1                      Fecha : 12/01/2025
Copyright : J.Diaz del Valle . SA-172 2025
E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Santander

```

```

DATOS DEL PROYECTO DE LA ESTRUCTURA
=====
Proyecto : EJEMPLO
Referencia : Curso sismico de puentes
Fecha de calculo : 03-28-2025

```

EJEMPLO "Curso sismico de puentes"  
Viaducto de 5 vanos.(TFM Ing.Caminos UPM Jefferson Quispe)

#### UNIDADES Y MATERIALES

Unidades de fuerza (=0 kiloNewtons kN) (=1 toneladas t.) ..... Uni = 0

Aceleracion de la gravedad (m/s2) ..... g = 9.810  
Peso especifico del hormigon .. Gamah = 2.55 (t/m3) = 25.02 (kN/m3)  
Modulo elastico del hormigon ... Eh = 3347255 (t/m2) = 32836572 (kN/m2)  
Modulo de cizalla del Neopreno.. Gn = 101.94 (t/m2) = 1000.00 (kN/m2)

#### SUPERESTRUCTURA . DIMENSIONES Y PESOS

Definicion longitudinal del puente :

Numero de vanos ..... NV = 5  
Longitud del vano 1 (m) ..... L1 = 50.000  
Longitud del vano 2 (m) ..... L2 = 60.000  
Longitud del vano 3 (m) ..... L3 = 57.000  
Longitud del vano 4 (m) ..... L4 = 57.000  
Longitud del vano 5 (m) ..... L5 = 38.000  
Longitud total del tablero ( >=262.00 m.) ..... Ltab =262.000

Definicion de la seccion transversal del tablero : Teclado (=0),

Losa aligerada (=1), Maciza (=2), Cajon (=3), Vigas (=4) ..... Isec = 3  
Anchuras : b1= 4.200 b2= 5.400 b3= 3.100 h = 3.000  
Espesores : t1= 0.250 t2= 0.250 t3= 0.250 t4= 0.470

Anchura del tablero (m) ..... Btab = 11.600  
Seccion recta del tablero (m2) ..... Stab = 6.591  
Inercia del tablero a flexion transversal (m4) ..... Itab = 48.853  
Inercia a torsion de la seccion transversal (m4) ..... Itor = 14.110  
Porcentage (%) considerado de la inercia a torsion .... Ptor = 0.000  
Volumen del tablero (m3) ..... Vtab = 1726.80

PP = Peso propio tablero + % peso de pilas :

Peso propio del tablero (t) ..... Ptab = Vtab\*Gamah = 4403.345  
Peso de las pilas (t) ..... Ppilas = 1087.583  
Fraccion del Peso de las pilas ..... fpil = 0.500  
PP = Ptab + fpil \* Ppilas ..... PP = 4947.136

CM = Carga muerta = Peso pavimento + barreras :

Espesor medio de la capa bituminosa (m) ..... hb = 0.080  
Peso especifico de capa bituminosa (t/m3) ..... Gamab = 2.340  
Ancho total de carriles de trafico (<= 11.60 m) ..... Btra = 10.500  
Peso de la barrera por metro lineal (t/m) ..... Barr = 1.020  
CM = 1.5\*(Ltab\*Btra\*hb\*Gamab) + 2\*Barr\*Ltab (t) = ..... CM = 1306.961

SCper = Sobrecarga casipermanente (20%) :

SCper = 0.2\*(0.9\*3+(Btra-3)\*0.25)\*Ltab = ..... SCper = 239.730

Peso G y Masa M sismicos :

Peso G = PP + CM + SCper = 4947.14+ 1306.96+ 239.73 (t).. G = 6493.83

Aceleracion de la gravedad (m/s2) ..... g = 9.81  
Masa M = G/g (t/m\*s2) ..... M = 661.960

Peso distribuido uniformemente a lo largo del tablero ..... NG = 0

Modelo transversal de tablero (Rigido=0, Flexible=1) ..... Mod = 1  
Numero de elementos en que se divide cada vano del modelo ..... NEV = 5

#### SUBESTRUCTURA . PILAS Y ESTRIBOS

Orden i de los 6 ejes de carga : 4 pilas y 2 estribos :

i=1 i=2 i=3 i=4 i=5 i=6

E1-----P1-----P2-----P3-----P4-----E2

Datos de Pilas, estribos y neoprenos :

Pila	i	Nf	Cir	bx	by	Esp	hz	Neo	bnx	bny	hn	hng
-	-	-	-	(m)	(m)	(m)	(m)	-	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
E1	1	0	0	0.00	0.00	0.000	0.00	2	900	900	180	180
P1	2	1	0	2.50	4.00	0.350	31.25	2	700	800	70	70
P2	3	1	0	2.50	4.00	0.350	29.65	2	700	800	100	100
P3	4	1	0	2.50	4.00	0.350	19.33	2	700	800	140	140
P4	5	1	0	2.50	4.00	0.350	24.82	2	700	800	140	140
E2	6	0	0	0.00	0.00	0.000	0.00	2	900	900	180	180

Nf = Numero de fustes por pila. Neo = Numero de neoprenos por pila.  
Cir=0 Fustes rectangulares bx x by. Cir=1 Fustes circulares diametro bx  
Esp>0 Pilas huecas de espesor esp. Esp=0 Pilas macizas rectang y circu.  
Cir=0 Neoprenos rectang. bnx x bny. Cir=1 Neopreno circular diametro bnx  
hz = altura de la pila. hn = espesor neopreno. hng= espesor goma neopreno  
Pila empotrada en tablero cuando Neo = 0 o bnx = 0 o hn = hng = 0  
Si Nf=0 no hay fustes ---> Apoyo directo en cabezal caso de estribos

#### ANALISIS SEGUN NORMA SISMORRESISTENTE DE PUENTES NCSF-07)

##### INFORMACION SISMICA

Aceleracion sismica basica (g) ..... ab = 0.220  
Aceleracion sismica basica (m/s2) ..... ab = 0.220 g = 2.158  
Aceleracion de la gravedad (m/s2) ..... g = 9.810  
Coeficiente de contribucion (Mapa sismico) ..... K = 1.000  
Factor de importancia ..... Gamal = 1.300  
Factor modificador por Pr : Gama2 = (Pr/500)^0.4 = ..... Gama2 = 1.000  
Periodo de retorno Pr = 500 \* Gama2^2.5 anos = ..... Pr = 500.00  
Coeficiente de riesgo ro = Gamal \* Gama2 = ..... ro = 1.300  
Coeficiente del terreno ..... C = 1.600

Factor S de amplificacion del terreno para ro\*ab = 0.286g :

ro\*ab <= 0.1g --> S = C / 1.25  
0.1g <ro\*ab< 0.4g --> S=C/1.25+3.33\*(ro\*ab/g-0.1) (1-C/1.25) ... S = 1.107  
0.4g >=ro\*ab --> S = 1

Aceleracion sismica de calculo (g) = ..... ac = S \* ro \* ab = 0.316  
Aceleracion sismica de calculo (m/s2) = ..... ac = 0.316 g = 3.105

Porcentage de amortiguamiento de la estructura ..... Q = 4.000  
Factor corrector por amortiguamiento v = (5/Q)^0.4 ..... v = 1.093  
Amortiguamiento adicional por amortiguadores en direccion X .. Qx = 0.000  
Factor corrector por amortiguamiento vx = (5/(Q+Qx))^0.4 .... vx = 1.093  
Amortiguamiento adicional por amortiguadores en direccion Y .. Qy = 0.000  
Factor corrector por amortiguamiento vy = (5/(Q+Qy))^0.4 .... vy = 1.093

Factor de comportamiento en direccion longitudinal X ..... qx = 1.500  
Factor de comportamiento en direccion transversal Y ..... qy = 1.500

##### ESPECTROS DE RESPUESTA

Espectro de respuesta de aceleracion elastica Sa(T) definido por 4 ramas:

Sa(T) = (1 + T/TA \* (2.5 \* v - 1)) \* ac ..... para 0<=T<=TA  
Sa(T) = 2.5 \* v \* ac ..... para TA<=T<=TB  
Sa(T) = 2.5 \* v \* ac \* TB / T ..... para TB<=T<=TC  
Sa(T) = 2.5 \* v \* ac \* TB \* TC / T^2 ..... para TC<=T

con TA=K\*C/10= 0.160 s. TB=K\*C/2.5= 0.640 s. TC=K\*(2+C)= 3.600 s.

Espectro de aceleracion reducida o de calculo ..... Sar(T) = Sa(T)/q

Espectro respuesta elastica desplazamientos.. Sde(T) = Sa(T) \* (T/2\*pi)^2

Espectro de respuesta de desplazamientos inelasticos.. Sdi(T) = mu\*Sde(T)

mu = ductilidad de desplazamientos. Para T >= 1.25\*TB .... mu = q  
para T < 1.25\*TB ..... mu = (q-1) \* 1.25 \* TB/T + 1 <= 5\*q-4  
El factor de comportamiento sera q=qx o qy segun la direccion del sismo.  
El factor corrector por amortiguamiento sera vx o vy segun direccion x, y

SISMO HORIZONTAL LONGITUDINAL x :									
Características geométricas de pilas, estribos y neoprenos:									
	i	A	Ppila	I	rg	Lp	esbel.	beta	An
E1 :	1	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	1.000	1.620
P1 :	2	4.060	323.53	3.605	0.942	37.50	39.80	1.000	1.120
P2 :	3	4.060	306.97	3.605	0.942	35.58	37.76	1.000	1.120
P3 :	4	4.060	200.12	3.605	0.942	23.20	24.62	1.000	1.120
P4 :	5	4.060	256.96	3.605	0.942	29.78	31.61	1.000	1.120
E2 :	6	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	1.000	1.620

Ppilas= 1087.58

Rigideces longitudinales de estribos y pilas Kp y neoprenos Kn :					
	i	EI	Kp	Kn	Kpx
E1 :	1	0.00000E+00	-	9000.00	9000.00
P1 :	2	1.18361E+08	11635.31	16000.00	6736.49
P2 :	3	1.18361E+08	13622.41	11200.00	6146.50
P3 :	4	1.18361E+08	49162.35	8000.00	6880.38
P4 :	5	1.18361E+08	23223.24	8000.00	5950.24
E2 :	6	0.00000E+00	-	9000.00	9000.00

Rigidez longitudinal total del puente (kN/m) ..... Kx = 43713.62

A = Seccion pila (m2); Ppila=Peso pila (t); rg=(I/A)^0.5; esbeltez =Lp/rg  
 beta = Factor de fisuración depende de la esbeltez y varia entre 0.4 y 1.  
 Pila o estribo Kp =(K \* EI \* beta)/hz^3 (kN/m); EI= Rigidez bruta (kN/m2)  
 K=3 tablero apoyado en neopreno de pila ; K=12 pila empotrada en tablero  
 Rigidez del neopreno Kn = (Gn \* An)/hgn (kN/m) . An = Seccion neoprenos  
 Rigidez longitudinal del conjunto pila+neopreno Kpx= 1/(1/Kp+1+Kn) (kN/m)

Periodo de vibración longitudinal (s): Tx=2\*pi\*(M/Kx)^0.5 = .. Tx = 2.422

Aceleración espectral elástica para T=Tx (m/s2) ..... Sa(Tx) = 2.243  
 Aceleración espectral de diseño para T=Tx (m/s2) ..... Sar(Tx) = 1.495  
 Fuerza equivalente sísmica longitudinal (kN) .. Fx = M\*Sar(Tx) = 9709.28

Reparto de fuerzas y desplazamientos longitudinales en pilas :						
	i	Kpx/Kx	Fxi	dxi	dpx	dnx
E1 :	1	0.206	1999.00	0.2221	0.0000	0.2221
P1 :	2	0.154	1496.25	0.2221	0.1286	0.0935
P2 :	3	0.141	1365.21	0.2221	0.1002	0.1219
P3 :	4	0.157	1528.21	0.2221	0.0311	0.1910
P4 :	5	0.136	1321.62	0.2221	0.0569	0.1652
E2 :	6	0.206	1999.00	0.2221	0.0000	0.2221

Fx = 9709.28

Desplazamientos máximos para T = Tx :  
 Desplazamiento elástico (m) ..... Sde(T) = Sar(T) \* (T/2\*pi)^2 = 0.333  
 Desplazamiento inelástico (m) ..... Sdi(T) = mu \* Sde(T) = 0.500  
 Ductilidad desplaz.: mu=q si T>=1.25\*TB sino mu=(q-1)\*1.25\*TB/T+1 <=5\*q-4

Fxi = Fuerza longitudinal en pila i ..... Fxi =Kpx/Kx\*Fx (kN)  
 dxi = desplaz. conjunto pila+neopreno (dxi=dpx+dnx). dxi = Fxi/Kpx (m)  
 dpx = desplazamiento en el extremo de la pila .... dpx = Fxi/Kp (m)  
 dnx = desplaz. relativo entre caras del neopreno ... dnx = Fxi/Kn (m)  
 Gnx = % de distorsión de las caras del neopreno .... Gnx = dnx/Hng \* 100

SISMO HORIZONTAL TRANSVERSAL y :									
Características geométricas de pilas, estribos y neoprenos:									
	i	A	Ppila	I	rg	Lp	esbel.	beta	An
E1 :	1	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	1.000	1.620
P1 :	2	4.060	323.53	7.943	1.399	37.50	26.81	1.000	1.120
P2 :	3	4.060	306.97	7.943	1.399	35.58	25.44	1.000	1.120
P3 :	4	4.060	200.12	7.943	1.399	23.20	16.58	1.000	1.120
P4 :	5	4.060	256.96	7.943	1.399	29.78	21.29	1.000	1.120
E2 :	6	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	1.000	1.620

Ppilas= 1087.58

Rigideces transversales de estribos y pilas Kp y neoprenos Kn :					
	i	EI	Kp	Kn	Kpy
E1 :	1	0.00000E+00	-	9000.00	9000.00
P1 :	2	2.60814E+08	25639.04	16000.00	9851.92
P2 :	3	2.60814E+08	30017.72	11200.00	8156.65
P3 :	4	2.60814E+08	108331.88	8000.00	7449.85
P4 :	5	2.60814E+08	51173.66	8000.00	6918.44
E2 :	6	0.00000E+00	-	9000.00	9000.00

Rigidez transversal total del puente (kN/m) ..... Ky = 50376.86

A = Seccion pila (m2); Ppila=Peso pila ; rg=(I/A)^0.5 ; esbeltez =Lp/rg  
 beta = Factor de fisuración depende de la esbeltez y varia entre 0.4 y 1.  
 Pila o estribo Kp =hz^3/(K \*EI \* beta) (kN/m) ; EI =Rigidez bruta (kN/m2)  
 K=Factor de empotramiento=función de la rigidez a torsión GJ del tablero y de la rigidez EI de la pila:K=12\*(1+hz\*GJ/EI)/(4+hz\*GJ/EI) varia entre K=3 (tablero sobre neopreno de pila) y K=12 (pila empotrada en tablero).  
 Rigidez del neopreno Kn = hgn /(Gn \* An) (kN/m). An = Seccion neoprenos  
 Rigidez transversal del conjunto pila+neopreno Kpy =1/(1/Kp+1+Kn) (kN/m)

Modelo transversal del tablero flexible							
Viga de sección (Eh*Itab) sobre apoyos elásticos de rigidez Kpy							
Nudos,pesos Gi de resultante G, desplazamientos di, reacciones Ry							
Pila	Nudo	X	Gi	di	Gi*di	Gi*di^2	Ry
E1	1	0.00	1215.73	0.806	979.59	789.31	7251.84
	2	10.00	2431.47	0.920	2237.77	2059.50	-0.00
	3	20.00	2431.47	1.031	2507.83	2586.59	-0.00
	4	30.00	2431.47	1.137	2763.89	3141.75	-0.00
	5	40.00	2431.47	1.236	3004.17	3711.76	-0.00
P1	6	50.00	2674.61	1.329	3553.64	4721.56	13089.80
	7	62.00	2917.76	1.434	4183.78	5999.13	-0.00
	8	74.00	2917.76	1.527	4455.89	6804.87	-0.00
	9	86.00	2917.76	1.604	4681.07	7510.00	-0.00
	10	98.00	2917.76	1.664	4856.50	8083.45	-0.00
P2	11	110.00	2844.82	1.710	4863.86	8315.86	13945.63
	12	121.40	2771.87	1.742	4827.55	8407.74	-0.00
	13	132.80	2771.87	1.759	4876.21	8578.12	-0.00
	14	144.20	2771.87	1.759	4876.48	8579.06	-0.00
	15	155.60	2771.87	1.741	4826.79	8405.10	-0.00
P3	16	167.00	2771.87	1.707	4732.66	8080.48	12719.77
	17	178.40	2771.87	1.660	4601.30	7638.13	-0.00
	18	189.80	2771.87	1.596	4425.29	7064.97	-0.00
	19	201.20	2771.87	1.515	4198.89	6360.57	-0.00
	20	212.60	2771.87	1.415	3923.46	5553.47	-0.00
P4	21	224.00	2309.89	1.301	3006.19	3912.39	9003.94
	22	231.60	1847.92	1.220	2253.58	2748.30	-0.00
	23	239.20	1847.92	1.133	2094.28	2373.48	-0.00
	24	246.80	1847.92	1.043	1927.66	2010.85	-0.00
	25	254.40	1847.92	0.950	1755.29	1667.31	-0.00
E2	26	262.00	923.96	0.855	789.83	675.17	7693.46
			Sumas :	63704.44	-	91203.42	135778.91

dymax = 1.759 dymin = 0.806 dymax-dymin= 0.954 dymedio= 1.377  
 Condición Modelo Tablero flexible:(dymax-dymin)/dymedio= 0.693 > 0.2 (SI)

Periodo Fundamental Transversal Ty dado por la fórmula de Rayleigh :  
 Ty = 2\*pi\*(suma Gi\*di^2 / g \* suma Gi\*di) ^0.5 seg. = .... = Ty = 2.448

Aceleración espectral elástica para T=Ty (m/s2) ..... Sa(Ty) = 2.219  
 Aceleración espectral de diseño para T=Ty (m/s2) ..... Sar(Ty) = 1.479  
 Fuerza equivalente sísmica en puente (kN) ... Fy = M\*Sar(Ty) = 9606.20

Fuerzas y desplazamientos transversales en pilas y neoprenos :

	i	xp(i)	Fyi	d <sub>yi</sub>	d <sub>py</sub>	d <sub>ny</sub>	Gny
E1 :	1	0.00	1093.53	0.1215	0.0000	0.1215	0.0675
P1 :	2	50.00	1973.85	0.2004	0.0770	0.1234	0.1762
P2 :	3	110.00	2102.91	0.2578	0.0701	0.1878	0.1878
P3 :	4	167.00	1918.06	0.2575	0.0177	0.2398	0.1713
P4 :	5	224.00	1357.73	0.1962	0.0265	0.1697	0.1212
E2 :	6	262.00	1160.12	0.1289	0.0000	0.1289	0.0716

-----  
Fy = 9606.20

Escalado de los desplazamientos di ..... esc = Sar(Ty)/g = 0.151  
d<sub>yi</sub> = desplazamiento conjunto pila+neopreno ..... d<sub>yi</sub> = esc \* di (m)  
F<sub>yi</sub> = Fuerza transversal en pila i ..... F<sub>yi</sub> = K<sub>pyi</sub>\*d<sub>yi</sub> (kN)  
d<sub>yi</sub> = desplaz. conjunto pila+neopreno (d<sub>yi</sub>=d<sub>py</sub>+d<sub>ny</sub>) . d<sub>yi</sub> = F<sub>yi</sub>/K<sub>py</sub> (m)  
d<sub>py</sub> = desplazamiento en el extremo de la pila ..... d<sub>py</sub> = F<sub>yi</sub>/K<sub>p</sub> (m)  
d<sub>ny</sub> = desplaz. relativo entre caras del neopreno ... d<sub>ny</sub> = F<sub>yi</sub>/K<sub>n</sub> (m)  
Gny = % de distorsion de las caras del neopreno .... Gny = d<sub>ny</sub>/Hng \* 100  
Fy = Fuerza sismica transversal total ..... Fy = Suma F<sub>yi</sub> (kN)

Desplazamientos maximos para T = Ty :  
Desplazamiento elastico (m) ..... Sde(T) = Sar(T) \* (T/2\*pi)^2 = 0.337  
Desplazamiento inelastico (m) ..... Sdi(T) = mu \* Sde(T) = 0.505  
Ductilidad desplaz.: mu=q si T>=1.25\*TB sino mu=(q-1)\*1.25\*TB/T+1 <=5\*q-4

#### ACCIONES CONJUNTAS EN DISTINTAS DIRECCIONES -----

Combinacion 1 : Sismo Longitudinal + 0.3 \* Sismo Transversal :

	Eje	Vx	Mx	0.3 Vy	0.3 My
	i	(kN)	(m.kN)	(kN)	(m.kN)
Estribo izq. E1 :	1	1999.00	0.00	328.06	0.00
Pila 2 P2 :	2	1496.25	46757.78	592.16	18504.88
Pila 3 P3 :	3	1365.21	40478.37	630.87	18705.36
Pila 4 P4 :	4	1528.21	29540.28	575.42	11122.81
Pila 5 P5 :	5	1321.62	32802.49	407.32	10109.69
Estribo der. E2 :	6	1999.00	0.00	348.04	0.00

Combinacion 2 : Sismo Transversal + 0.3 \* Sismo Longitudinal :

	Eje	Vy	My	0.3 Vx	0.3 Mx
	i	(kN)	(m.kN)	(kN)	(m.kN)
Estribo izq. E1 :	1	1093.53	0.00	599.70	0.00
Pila 2 P2 :	2	1973.85	61682.92	448.87	14027.33
Pila 3 P3 :	3	2102.91	62351.20	409.56	12143.51
Pila 4 P4 :	4	1918.06	37076.03	458.46	8862.08
Pila 5 P5 :	5	1357.73	33698.97	396.48	9840.75
Estribo der. E2 :	6	1160.12	0.00	599.70	0.00

Cortantes Vx=F<sub>xi</sub> ; Vy=F<sub>yi</sub> y Momentos Mx=F<sub>xi</sub>\*hzi ; My=F<sub>yi</sub>\*hzi en la base

#### EFFECTOS DE SEGUNDO ORDEN

Momentos de vuelco producidos por el axil maximo Nz concomitante :

DMx = (1+q<sub>x</sub>)/2 \* Sde(T<sub>x</sub>) \* Nz ..... DMx = 0.4165 \* Nz  
DMy = (1+q<sub>y</sub>)/2 \* Sde(T<sub>y</sub>) \* Nz ..... DMy = 0.4209 \* Nz