

# ESCENARIO CATASTRÓFICO PARA LIMA Y EL CALLAO ANTE UN SISMO DE GRAN MAGNITUD ( $> M8.0$ )



XXXIV SIMPOSIO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

## “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL PARABOLOIDE FIC-UNI FRENTE A MÚLTIPLES ESCENARIOS SÍSMICOS PROFUNDOS EN LIMA”

Ponente: Antony Camarena Curi

Asesor: Dr. Miguel Augusto Diaz Figueroa



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE  
INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y  
MITIGACIÓN DE DESASTRES

FACULTAD DE  
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA



# I. Introducción

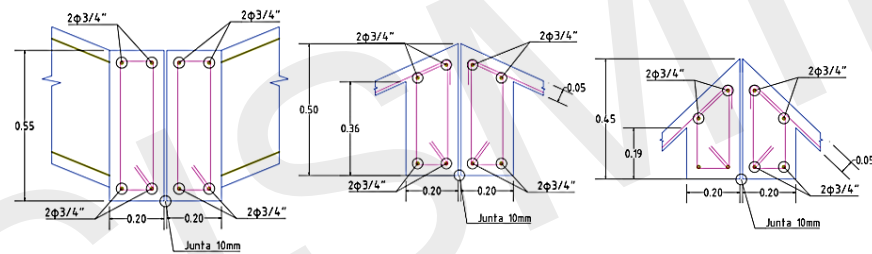
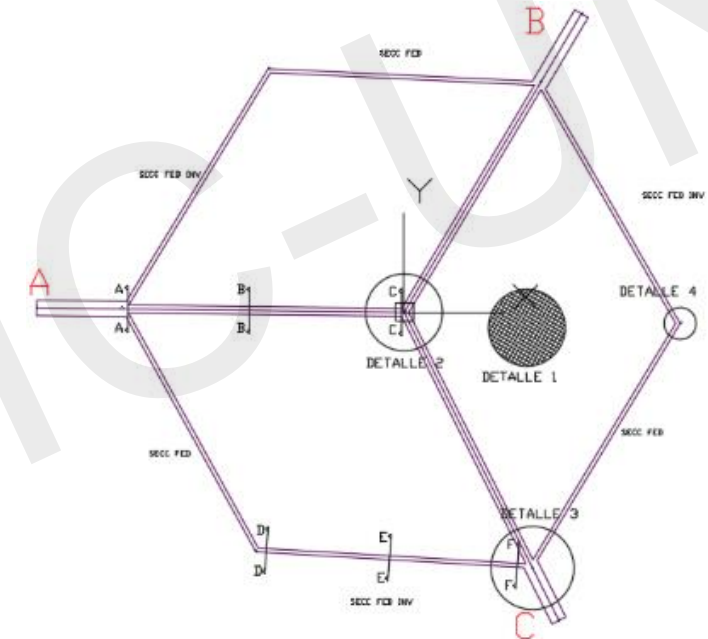
---

- La estructura con forma de paraboloides hiperbólicos tuvo gran aceptación a inicios de la década de 1950.
- En base a los eventos sísmicos históricos conlleva a futuros megaterremotos en el Perú de magnitudes 8.8 Mw.
- Evaluaciones al paraboloides hiperbólicos detectando: corrosión, humedad, antigüedad, entre otros.

# II. Descripción de la estructura



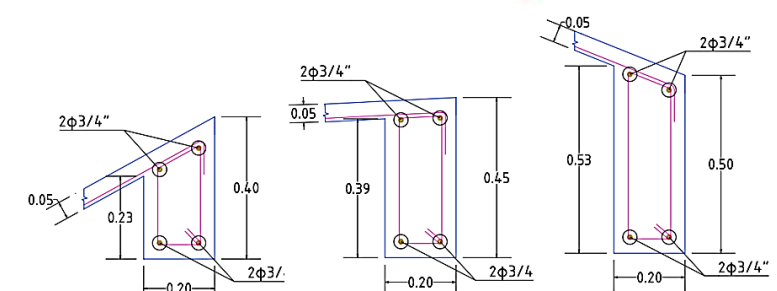
Paraboloide hiperbólico FIC-UNI



SECCIÓN A

SECCIÓN B

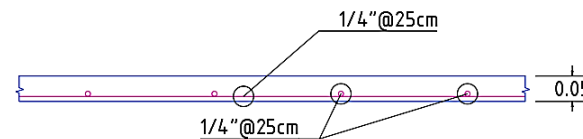
SECCIÓN C



SECCIÓN D

SECCIÓN E

SECCIÓN F

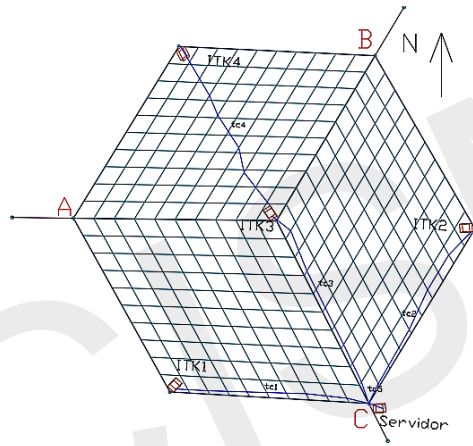


DETALLE 1

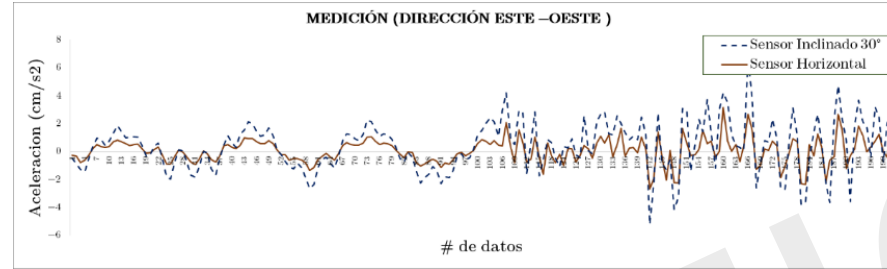
# Vibración ambiental



Ensayo del efecto del Angulo de inclinación sobre la horizontalidad

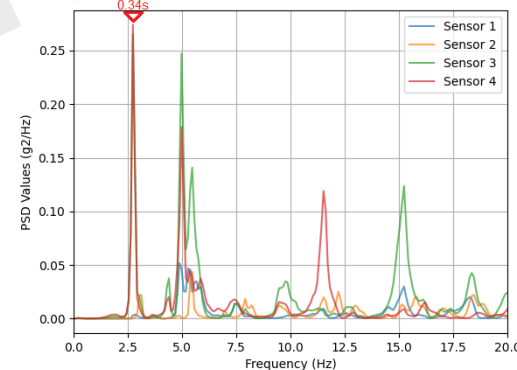
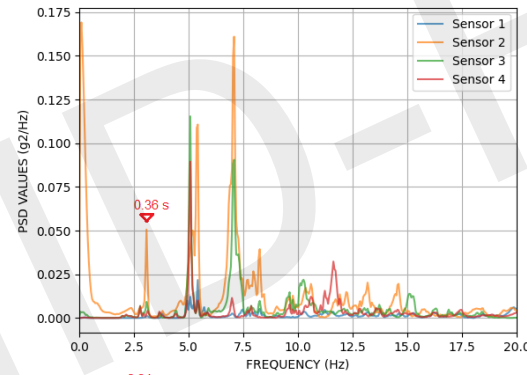


Distribución de sensores ITK

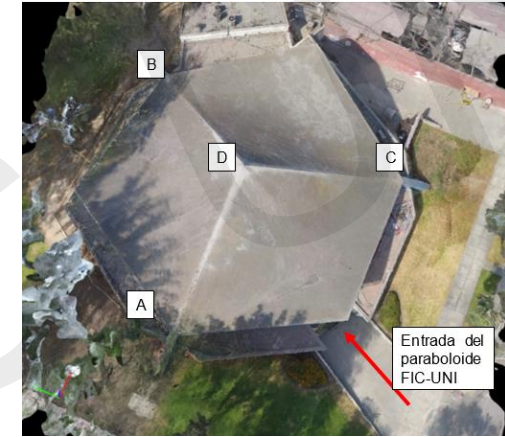


$$A_h = A_i / \cos(\theta)$$

Comparación entre sensor colocado horizontal e inclinado



PSD Función- Golpe DAC y AD/ Paraboloid FIC-UNI



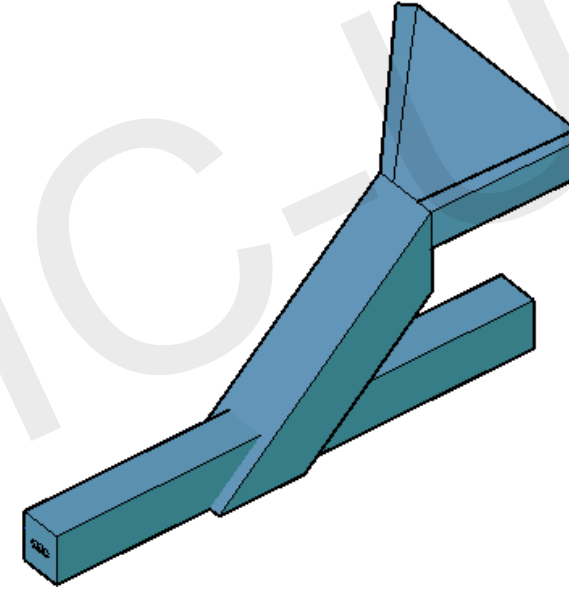
ESTUDIO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL PARABOLOIDE					
Medición	Descripción	FRECUENCIA			
		f1(Hz)	f2(Hz)	f3(Hz)	f4(Hz)
1	LIBRE INICIAL	2.73	2.87	3.13	3.4
2	GOLPE AD	2.73	2.94	3.02	3.37
3	GOLPE BD	2.68	2.98	3.10	3.44
4	GOLPE CD	2.74	2.9	3.10	3.36
5	GOLPE DAB	2.74	2.93	3.10	3.25
6	GOLPE DBC	2.72	2.89	3.11	3.46
7	GOLPE DAC	2.77	2.94	3.07	3.46
8	LIBRE FINAL	2.74	2.84	3.08	3.38
9	ALEATORIO	2.71	2.84	3.03	3.57
	Promedio	2.73	2.90	3.08	3.41
PERIODO	T(s)=	0.366	0.344	0.324	0.293

Frecuencias y periodos del ensayo de vibración

# Auscultación de la cimentación



Auscultación de cimentación



Geometría de la cimentación

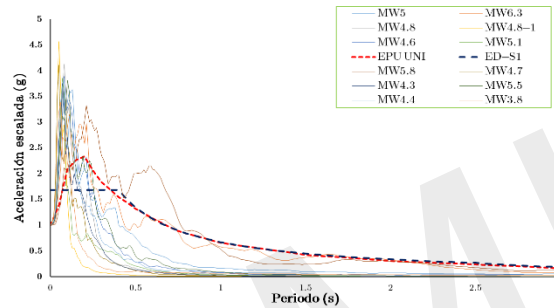
PROPIEDADES DEL TORÓN	
GRADO:	270
DIÁMETRO:	0.5" (12.7mm)
ÁREA:	0.987 cm <sup>2</sup>
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:	1853 Mpa (18900 kgf/cm <sup>2</sup> )
MÓDULO DE ELASTICIDAD:	196132 Mpa (2000000kgf/cm <sup>2</sup> )
ROTURA:	183.4 KN (18.7 Ton)

Propiedades del torón

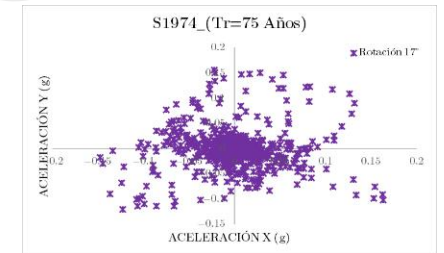
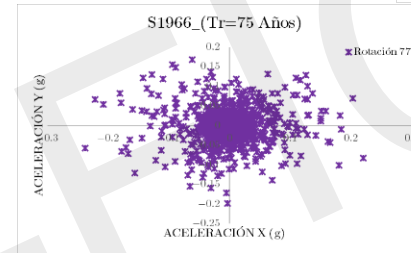
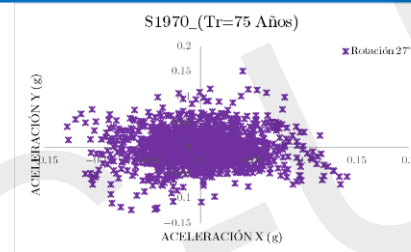
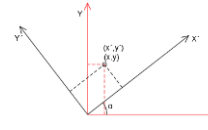
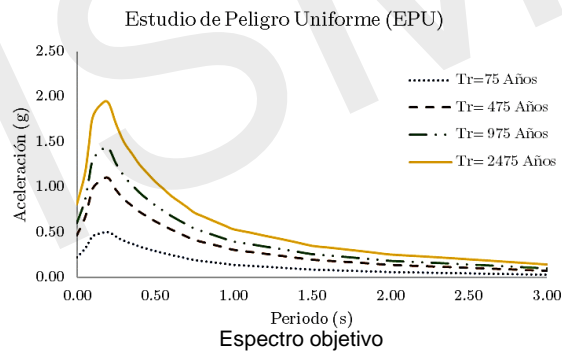
# III. Demanda Sísmica

Sismo	Estación	País	Año	Magnitud(Mw)	PGA(cm/s <sup>2</sup> )
Lima y Callao	PQR	Perú	1966	8.1	268
Ancash	PQR	Perú	1970	7.9	105
Lima	PQR	Perú	1974	8.0	69

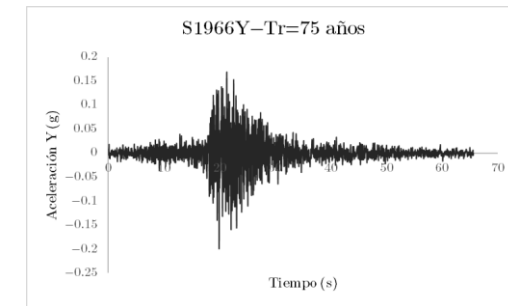
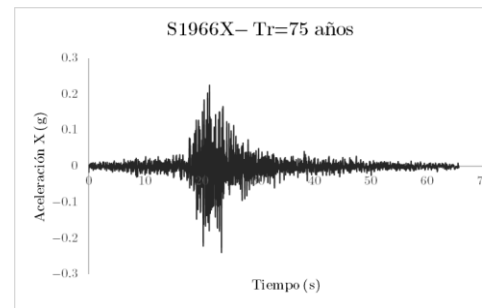
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA	PERIODO DE RETORNO (Años)
50% en 50 Años	75
10% en 50 Años	475
5% en 50 Años	975
2% en 50 Años	2475



Espectros de respuesta en la estación DEA escalados a PGA = 1g

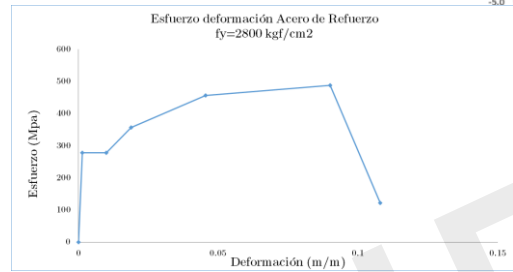
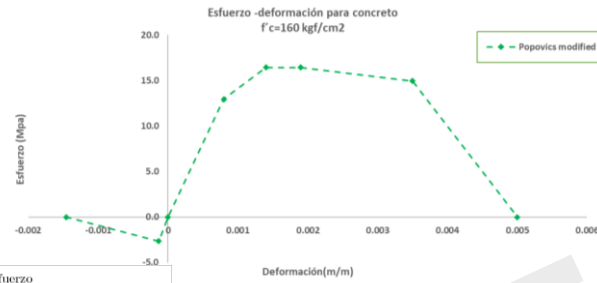
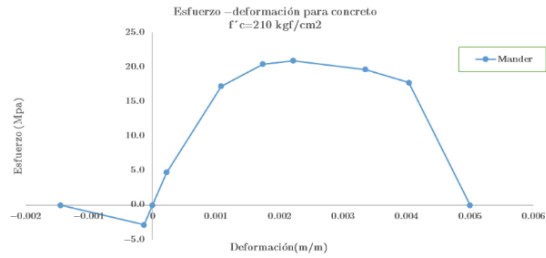


Rotación de registros sísmicos

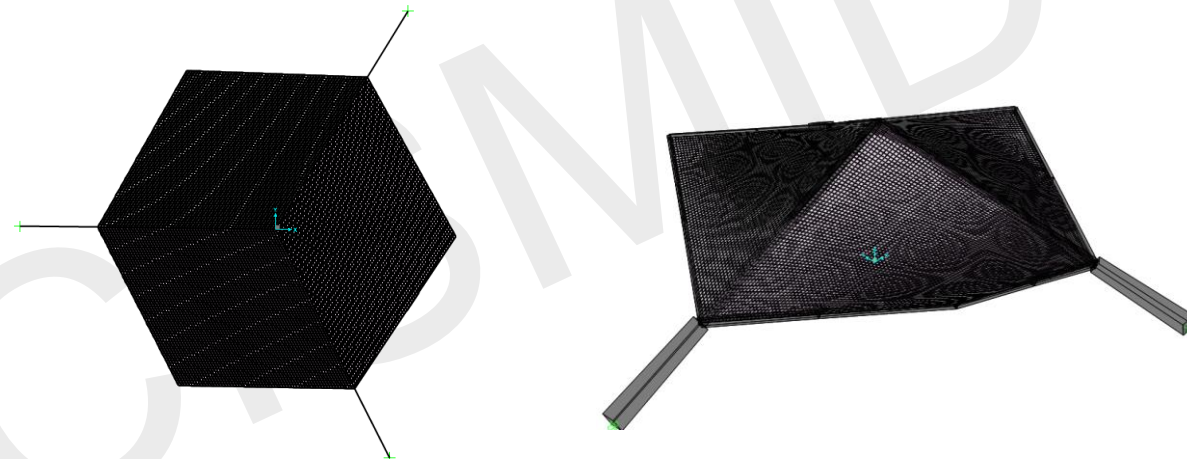


Escalamiento de registros sísmicos

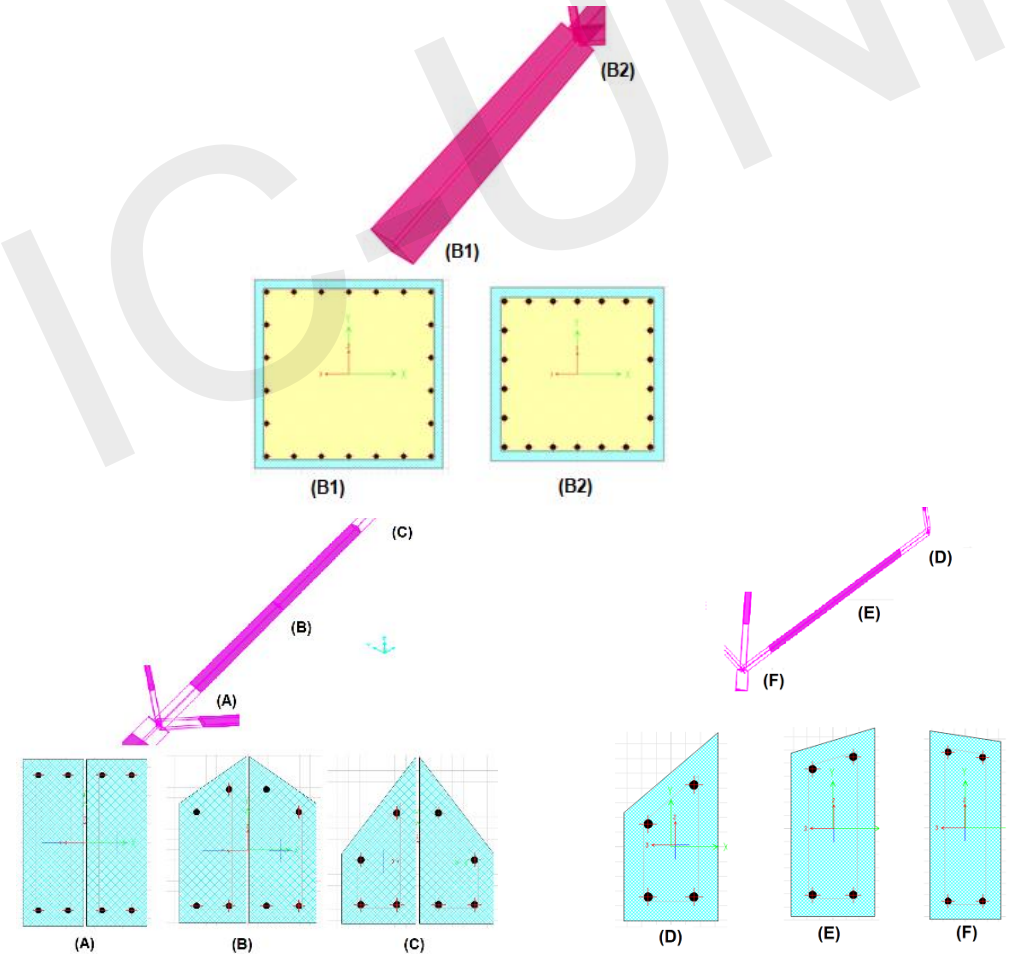
# IV. Estudio del paraboloide FIC-UNI



Esfuerzo deformación para el concreto y acero de refuerzo

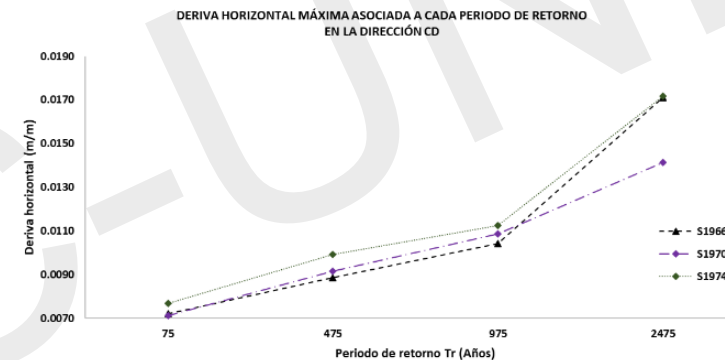
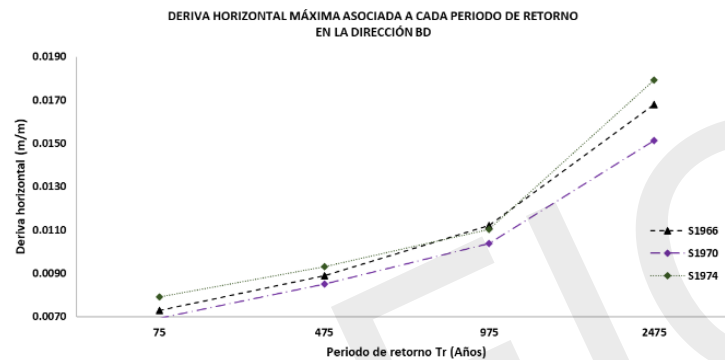
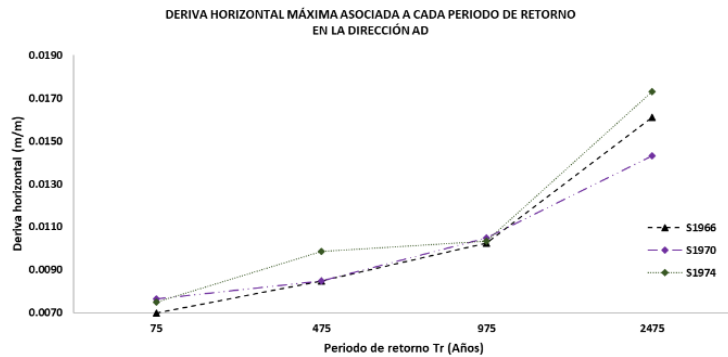


Modelo idealizado



Secciones definidas en la estructura

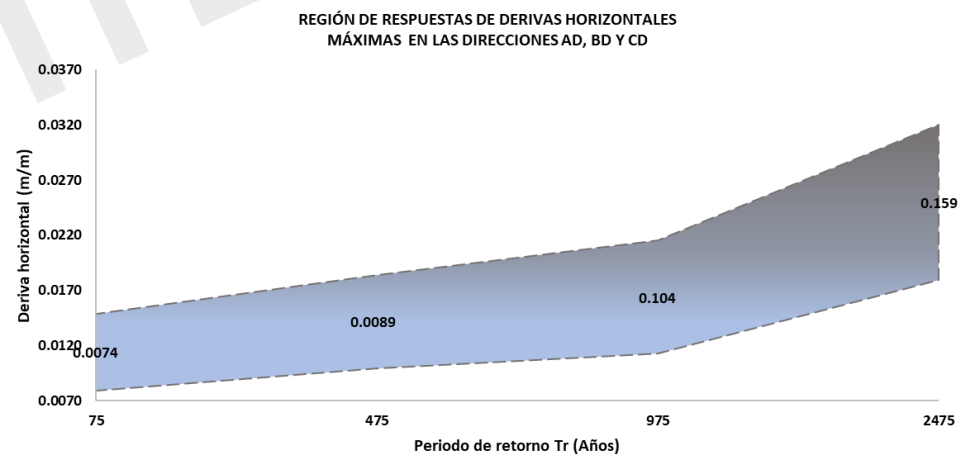
# Análisis de derivas horizontales



DERIVA HORIZONTAL MÁXIMA- DIRECCIÓN AD			
DEMANDA SÍSMICA	1966	1970	1974
Tr	Deriva AD	Deriva AD	Deriva AD
75 años	0.0070	0.0077	0.0075
475 años	0.0085	0.0085	0.0098
975 años	0.0103	0.0105	0.0103
2475 años	0.0161	0.0143	0.0173

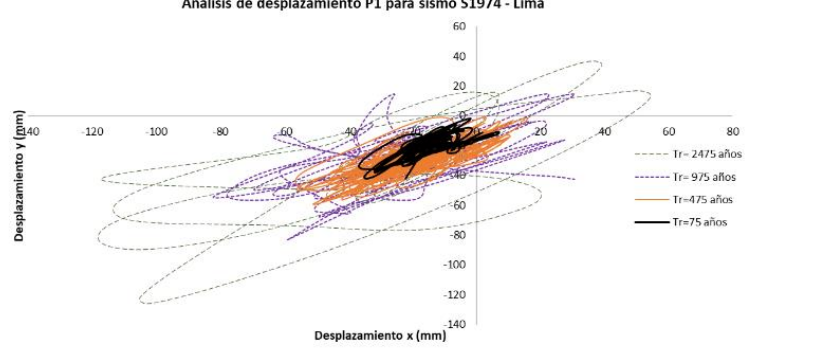
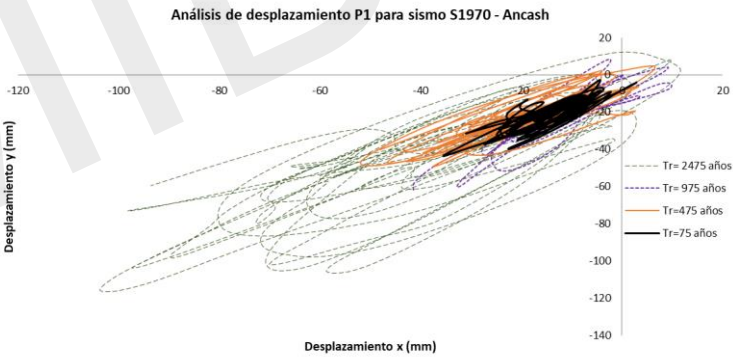
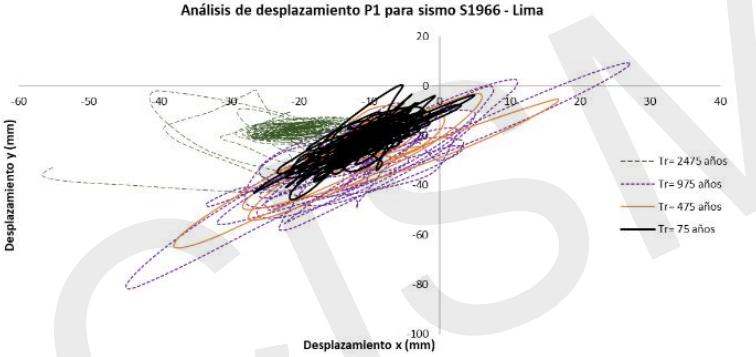
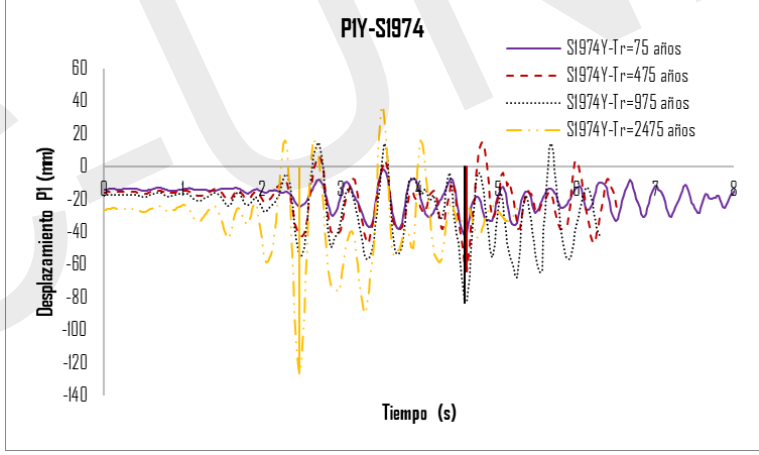
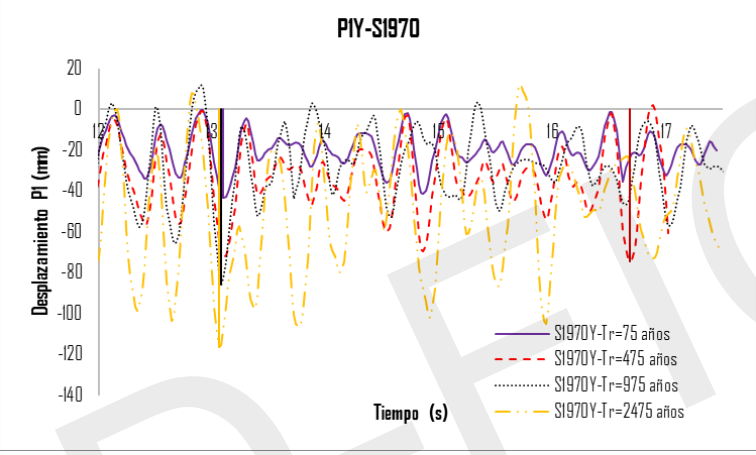
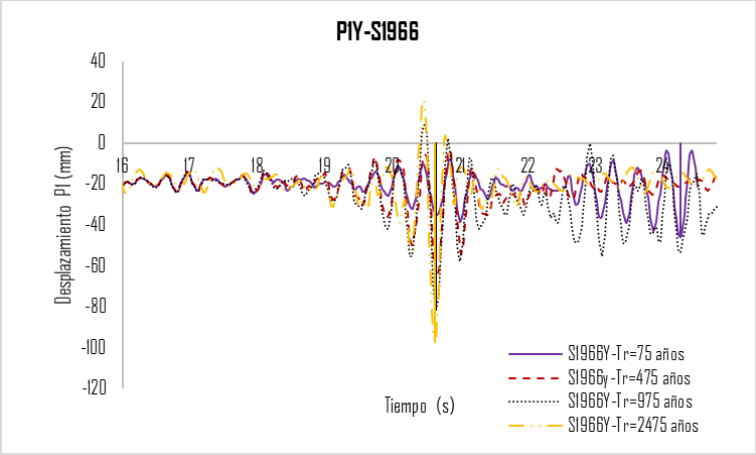
DERIVA HORIZONTAL- DIRECCIÓN BD			
DEMANDA SÍSMICA	1966	1970	1974
Tr	DERIVA BD	DERIVA BD	DERIVA BD
75 años	0.0073	0.0069	0.0079
475 años	0.0089	0.0085	0.0093
975 años	0.0112	0.0104	0.0110
2475 años	0.0168	0.0151	0.0179

DERIVA HORIZONTAL- DIRECCIÓN CD			
DEMANDA SÍSMICA	1966	1970	1974
Tr	DERIVA CD	DERIVA CD	DERIVA CD
75 años	0.0072	0.0071	0.0077
475 años	0.0089	0.0091	0.0099
975 años	0.0104	0.0109	0.0112
2475 años	0.0171	0.0141	0.0172

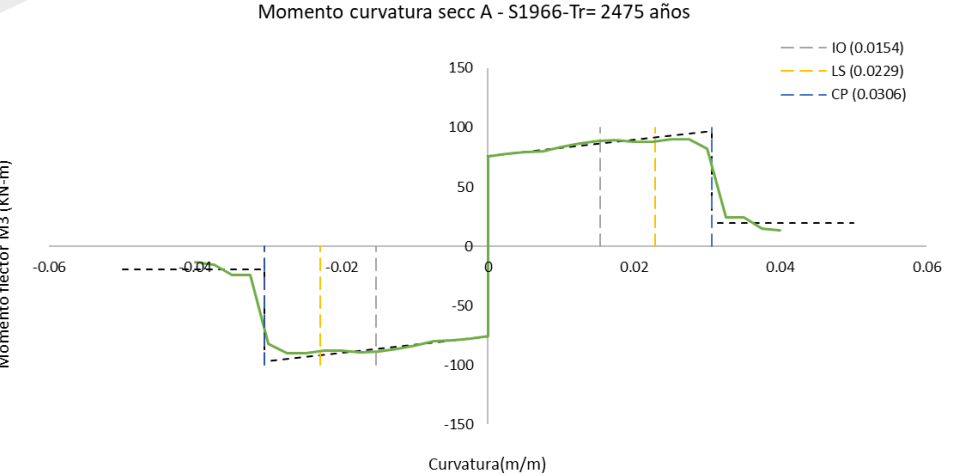
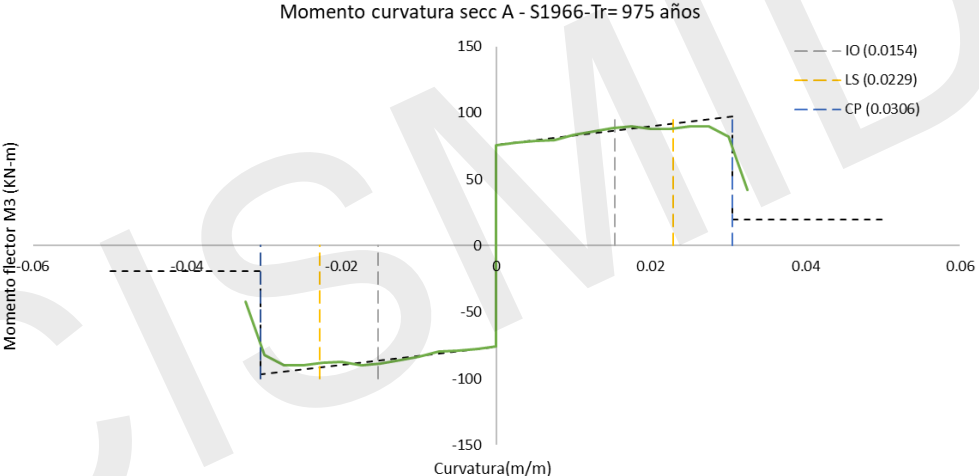
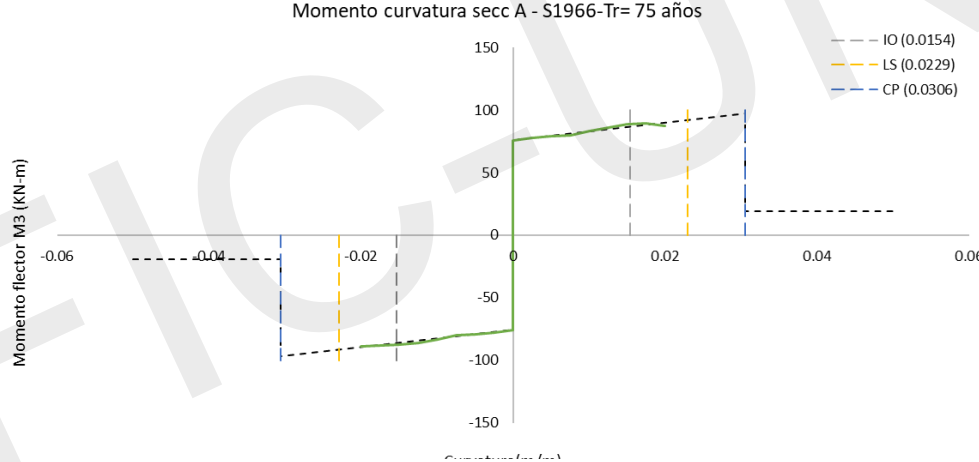
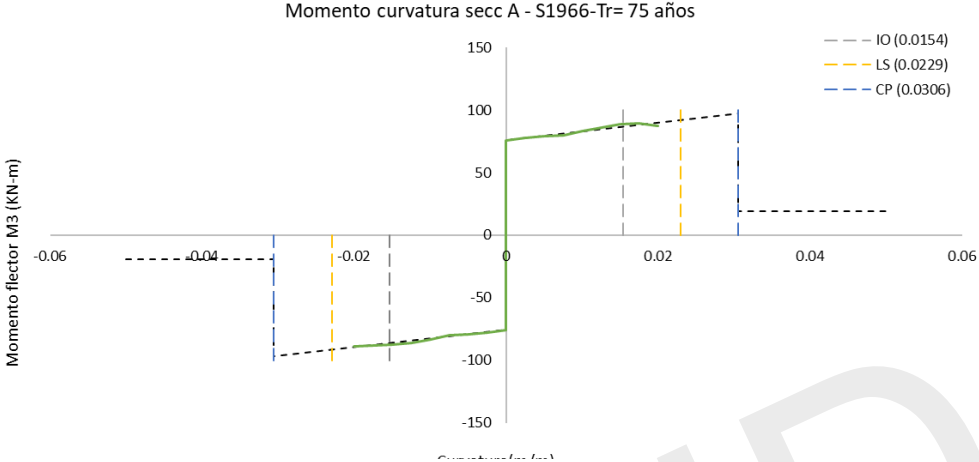




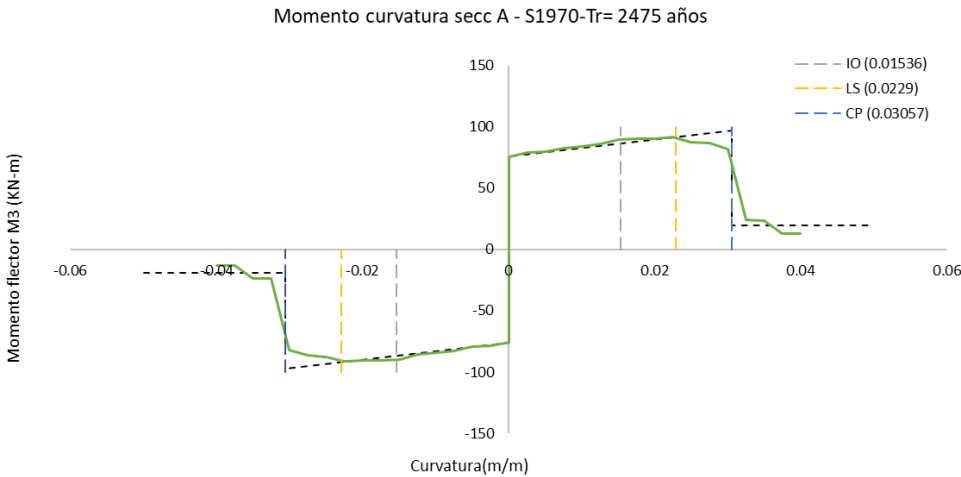
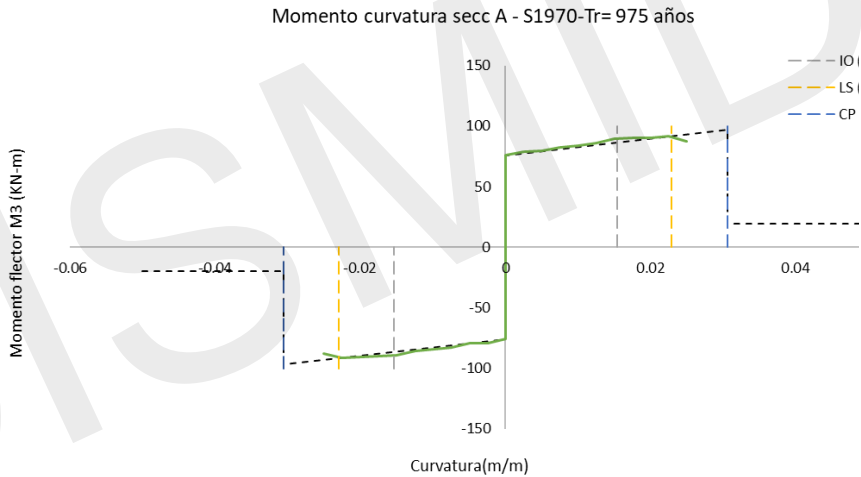
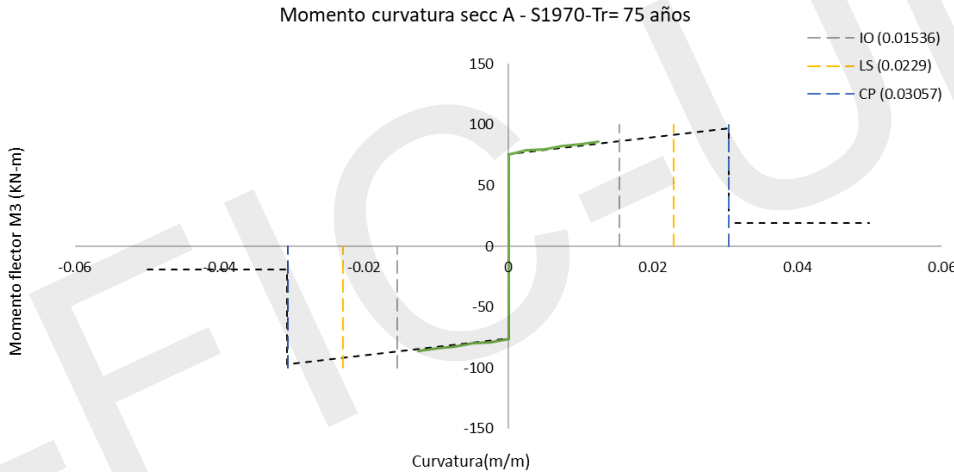
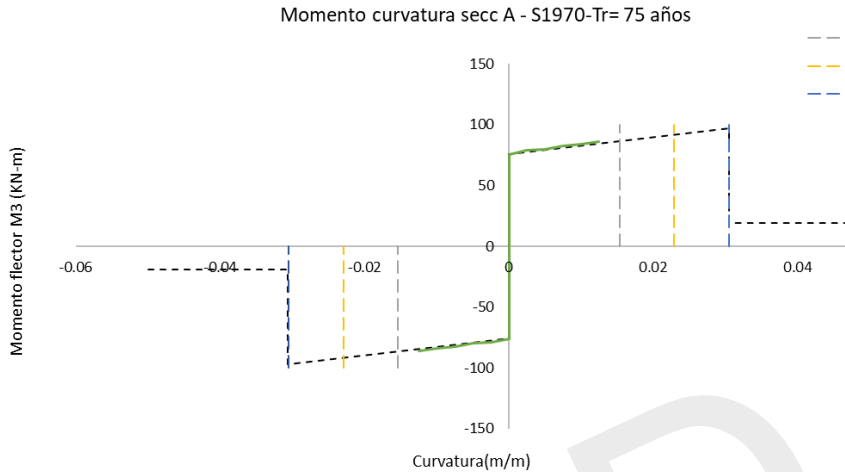
# Análisis de desplazamientos



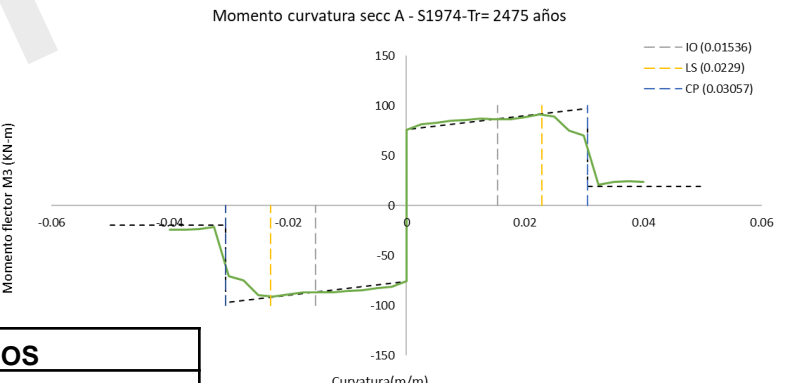
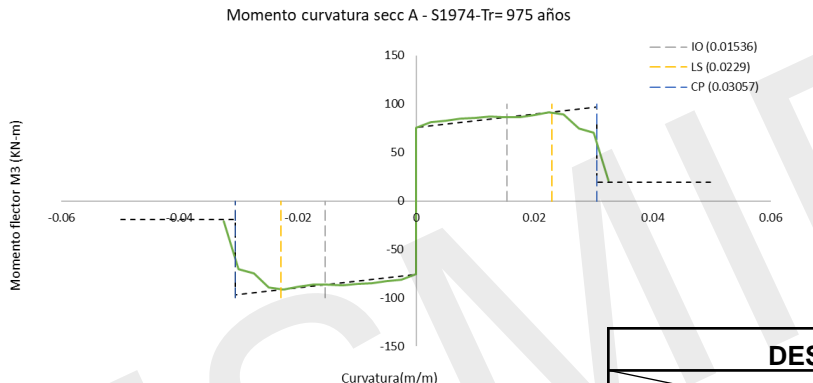
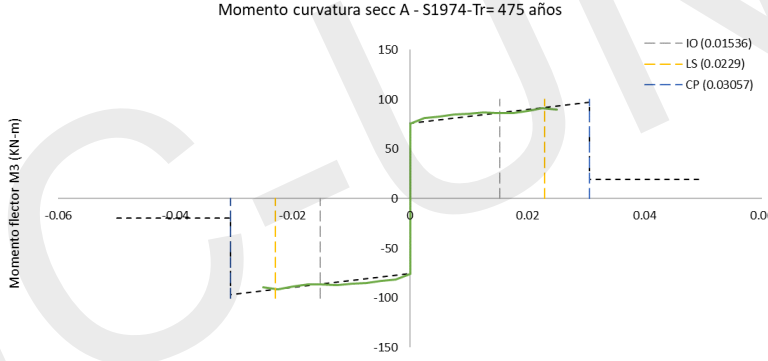
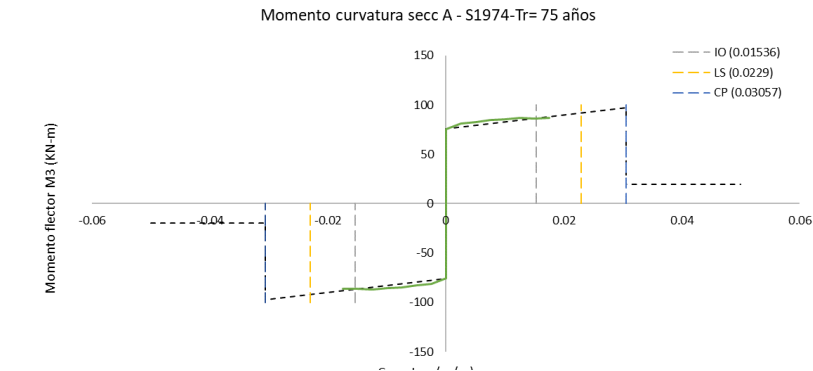
# Análisis relación momento curvatura



# Análisis relación momento curvatura



# Análisis relación momento curvatura



DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS INCLINADOS				
		Registro Sísmico		
		S1966	S1970	S1974
Escalamiento asociado al periodo de retorno (Años)	75	0.021 (LS)	0.0125 (IO)	0.0175 (LS)
	475	0.0301 (CP)	0.026 (CP)	0.025 (CP)
	975	0.0325 (COLAPSO)	0.025 (CP)	0.0325 (COLAPSO)
	2475	0.041 (COLAPSO)	0.0406 (COLAPSO)	0.041 (COLAPSO)



# Análisis del cascarón

$$\Delta \leq \frac{l_t^2}{20000h} < 141 \text{ mm}$$

$$\sigma \text{ máx} < 14.7 \text{ Mpa}$$

DESPLAZAMIENTO VERTICAL (mm)						
Periodo de retorno (Tr)	S1966		S1970		S1974	
	SX	SY	SX	SY	SX	SY
75 años	96.28	87.58	125.81	108.85	127.69	112.35
475 años	126.23	110.52	128.31	<b>141.09</b>	<b>141.53</b>	118.67
975 años	<b>145.13</b>	<b>146.05</b>	<b>142.42</b>	<b>144.14</b>	<b>144.28</b>	<b>141.11</b>
2475 años	<b>169.82</b>	<b>149.33</b>	<b>148.98</b>	<b>146.67</b>	<b>156.33</b>	<b>153.07</b>

ESFUERZOS MÁXIMOS A COMPRESIÓN (Mpa)						
Periodo de retorno (Tr)	S1966		S1970		S1974	
	SX	SY	SX	SY	SX	SY
75 años	10.70	9.94	10.35	10.70	10.27	10.94
475 años	12.80	13.25	12.11	14.48	<b>14.76</b>	12.98
975 años	<b>16.01</b>	<b>16.30</b>	<b>14.76</b>	<b>14.71</b>	<b>14.97</b>	<b>15.56</b>
2475 años	<b>19.36</b>	<b>16.51</b>	<b>15.94</b>	<b>16.44</b>	<b>19.73</b>	<b>17.81</b>

# Nivel de daño de la estructura

Estado de daño alcanzado para la estructura Paraboloides FIC-UNI según metodología HAZUS

ESTRUCTURA	
ESTADO DE DAÑO	DERIVA
LEVE	<0.0033
MODERADO	<0.0083
EXTENSIVO	<0.016
COLAPSO	MAYOR

Estado de daño alcanzado para la estructura Paraboloides FIC-UNI para cada registro

DAÑO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO FIC-UNI							
ESCALAMIENTO ASOCIADO AL PERIODO DE RETORNO	Tr	S1966		S1970		S1974	
		X	Y	X	Y	X	Y
		Tr= 75 años	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
Tr= 475 años	EXTENSIVO	MODERADO	EXTENSIVO	EXTENSIVO	EXTENSIVO	MODERADO	
Tr= 975 años	EXTENSIVO	EXTENSIVO	EXTENSIVO	EXTENSIVO	EXTENSIVO	EXTENSIVO	
Tr= 2475 años	COLAPSO	COLAPSO	EXTENSIVO	COLAPSO	COLAPSO	COLAPSO	

Fuerza axial máxima en la base de las columnas inclinadas en KN

FUERZA AXIAL DE ANÁLISIS EN DIRECCIÓN A LA VIGA DE CIMENTACIÓN (KN)							
Demanda sísmica	Tr	S1966X	S1966Y	S1970X	S1970Y	S1974X	S1974Y
	75 años	475.4	435.3	456.2	519.1	396.0	375.7
	475 años	522.2	557.7	546.9	551.7	520.1	513.3
	975 años	585.4	678.2	564.1	612.2	590.5	710.2
	2475 años	731.5	748.8	715.8	792.2	786.7	797.5

Capacidad a tracción torones:  
3 torones de  $\Phi 0.50'' = 549 \text{ kN}$

# V. Conclusiones

- Del ensayo de vibración ambiental, se obtuvo los periodos predominantes utilizando la transformada de Fourier convirtiendo al dominio de la frecuencia de  $T_1 = 0.36$  s en la dirección X y  $T_2 = 0.44$  s en la dirección Y.
- Mediante el uso de SVD (Singular Value Decomposition) se obtuvieron los vectores y valores singulares, donde se tiene los porcentajes de participación modal de la data en promedio de 49.28% en la dirección X y 39.85% en la dirección Y.
- Mediante las diversas simulaciones numéricas frente a eventos sísmicos se obtuvieron derivas en los elementos estructurales inclinadas de 0.0171 asociado al evento S1966,  $T_r = 2475$  años, 0.0151 asociado al evento S1970,  $T_r = 2475$  años y 0.0179 asociado al evento S1974,  $T_r = 2475$  años.

# Conclusiones

- La estructura fue analizada para cuatro escenarios sísmicos en base a los periodos de retorno alcanzando daños moderados para  $Tr=75$  años, extensivos para  $Tr= 475$  y  $975$  años y colapso para  $Tr= 2475$  años.
- El análisis de la relación momento curvatura para el elemento 2(crítico) muestra que para un  $Tr=75$  años la sección sobrepasa el límite de IO (Ocupación inmediata); para un  $Tr= 475$  años alcanza el límite de LS (seguridad de vida); para un  $Tr= 975$  años sobrepasan CP (Prevención de colapso) y para  $Tr=2475$  años sobrepasan el límite CP (Prevención del colapso).
- Para eventos escalados al periodo de retorno  $Tr= 75$  años no ocurren daños considerables en la losa y columnas; Para eventos de periodo de retorno  $Tr= 475$  años ocurren daños en la losa y colapsan de 1 a 2 columnas y para eventos con periodos de retornos de  $Tr= 975$  y  $Tr= 2475$  años la estructura falla en la losa y columnas conllevando al colapso total.





**Muchas Gracias**