



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

DISIPACIÓN DE ENERGÍA ASOCIADA A PERNOS DE ANCLAJE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PABLO MAXIMILIANO FIGUEROA ROJAS

PROFESOR GUÍA:

RICARDO HERRERA MARDONES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ALEJANDRO VERDUGO PALMA

RUBÉN BOROSCHEK KRAUSKOPF

SANTIAGO DE CHILE

JULIO 2012

“DISIPACIÓN DE ENERGÍA ASOCIADA A PERNOS DE ANCLAJE”

El sector industrial es clave en el desarrollo de los países, por lo cual, las normativas asociadas al diseño de estructuras e instalaciones industriales adquiere especial relevancia. Uno de los diseños más comunes observados en estructuras de acero es la fluencia y fractura de los pernos de anclaje debido esencialmente a que estos presentan disipación de energía, reduciendo daños en otros elementos estructurales. Es por esto que se decidió estudiar el comportamiento de los pernos de anclaje y cuantificar su influencia en la respuesta estructural de estructuras industriales.

Para llevar a cabo lo anterior se modeló un sistema que permitiese simplificar los complejos análisis basándose en la idealización de ciertas características del sistema. De esta forma, se obtuvieron valores relevantes en cuanto a la capacidad de los pernos, la influencia del largo de los mismos y la capacidad al corte del modelo para casos en que los pernos poseían comportamiento lineal y no lineal.

Los resultados obtenidos para el modelo simple mostraron la relevancia del comportamiento de los pernos sobre la respuesta estructural, entregando que el promedio de los factores de modificación de la respuesta estructural “R” fue menor al establecido por la normativa chilena.

De forma complementaria se desarrolló la modelación con elementos finitos de un estanque vitivinícola, con características reales, de materiales y geométricas, con la finalidad de confirmar la validez de los resultados obtenidos con el modelo simplificado.

Teniendo presente lo anterior se verificó la similitud entre modelos, obteniendo valores aproximados en condiciones apropiadas para el factor “R” y magnitudes disímiles en el caso de la sobre-resistencia.

En conclusión, se ratifico la necesidad de aumentar el largo de los pernos de anclajes en la mayor parte de las estructuras analizadas, además de recomendar el uso de pernos con mayores capacidades y ductilidades superiores con la finalidad de maximizar la energía disipada por los pernos de anclaje.

A MIS PADRES, Hernán y Soledad.

A MIS HERMANOS, Nicolás y Macarena.

A MI FAMILIA.

A MIS AMIGOS.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Ricardo Herrera por la oportunidad de realizar mi tema de memoria, por estar presente durante todo el estudio y por permitirme estar a cargo del aprendizaje de mis pares, cumpliendo un anhelo personal.

A mis padres y su apoyo incondicional a lo largo de estos años, su confianza en mis capacidades y su amor infinito.

A mis hermanos, Nicolás y Soledad, pilares fundamentales en el aprendizaje y desarrollo de mi persona, por la paciencia, los consejos y los alientos que me han permitido progresar.

A mis tíos y primos, de quienes guardo los mejores recuerdos y alegrías, gratitud incommensurable por cada día de felicidad brindado. También, a mis abuelos, en especial a mi “tata” Julio que siempre me apoyó y fue un ejemplo de cómo encarar la vida.

A mis amigos de la universidad, en especial, a Carlos S., Cristian R., Javier T., Patricio V. y Pablo R. por los años de compañía, los viajes, los “carretes”, las tardes de pool y cada uno de los segundos compartidos que siempre quedarán en mis recuerdos. También quisiera agradecer a Pablo C., Ricardo E., Oriol N. y Jairo A. por ser parte integral de mi estadía en la universidad.

Por otra parte, quisiera agradecer a mis amigos civiles, gracias a quienes este camino no hubiese sido placentero. A Pablo L., Eduardo N., José C., Andrea G., Cristián M., Diego A., Rodrigo J. cuya compañía y agradable atmósfera, tanto en clases como en la “pecera”, congraciaron todos y cada uno de las horas del quehacer universitario. Además, Nicolás C. y Miguel B., a ellos les debo la motivación y el avance de la memoria.

A mis amigos de la “casa”, Daniel M., Alejandro T., Juan V., Sebastián V., Tamara A. y Ángel A. por entender mis compromisos, apoyarme en las dificultades y compartir instantes de gratificación.

También quisiera agradecer a personas que han cambiado mi forma de ver el mundo, en específico a Sarita por su apoyo incondicional en momentos de desánimo e inseguridades.

A todos ustedes muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1 Objetivo Principal.....	1
1.2.2 Objetivos Secundarios	2
1.3. Metodología	2
1.4. Alcances por capítulo.....	4
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	5
2.1. Efectos disipativos	5
2.2. Curvas histeréticas ante cargas cíclicas	6
2.3. Largo efectivo de los pernos	9
2.4. Características del material	13
2.5. Factor de modificación de la respuesta estructural.....	14
CAPÍTULO 3: ESTUDIO ANALÍTICO.....	17
3.1. Modelación.....	17
3.2. Curvas de corte versus el periodo.....	26
3.2.1 Esbeltez =1.00	29
3.2.2 Esbeltez =1.25	30
3.2.3 Esbeltez =1.50	31
3.2.4 Esbeltez =1.75	32
3.2.5 Esbeltez =2.00	33
3.2.6 Esbeltez =5.00	34
3.2.7 Esbeltez =10.00	35
3.2.8 Esbeltez =15.00	36
3.2.9 Esbeltez =20.00	37

3.3.	Análisis de datos reales	38
3.3.1	Análisis tiempo historia	39
3.3.2	Disipación de la energía.....	43
CAPÍTULO 4: MODELACIÓN ESTRUCTURA REAL		46
4.1.	Descripción general del estanque	46
4.1.1	Geometría y cantidad de elementos.....	47
4.1.2	Materiales.....	48
4.1.3	Altura del líquido.....	50
4.1.4	Cálculo de pesos	50
4.2.	Modelación.....	50
4.2.1	Elementos.....	50
4.2.2	Discretización de la malla	52
4.2.3	Condiciones de conexión entre los elementos.....	53
4.2.4	Condiciones de apoyo	53
4.3.	Análisis.....	54
4.3.1	Comportamiento No Lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	56
4.3.2	Comportamiento Lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	59
4.3.3	Comportamiento No Lineal del estanque bajo desplazamiento cíclico....	61
4.3.4	Comportamiento Lineal del estanque bajo desplazamiento cíclico	67
4.4.	Cálculo de los coeficientes R y Ω_0	71
CAPÍTULO 5: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES		79
5.1.	Modelo Simple	80
5.1.1	Coefficientes R y Ω_0	80
5.1.2	Longitud efectiva de los pernos de anclaje	81
5.1.3	Disipación de energía.....	81
5.2.	Modelo Detallado	82
5.2.1	Análisis estático monotónico	82

5.2.2	Análisis estático cíclico.....	83
5.2.3	Obtención coeficiente R y Ω_0	84
5.3.	Comparación entre modelos.....	84
5.4.	Conclusiones Generales.....	85
5.5.	Limitaciones presentes.....	85
5.6.	Recomendaciones para futuros trabajos.....	86
REFERENCIAS		87
ANEXO A.....		89
ANEXO B.....		102
ANEXO C.....		144
ANEXO D.....		147
ANEXO E.....		149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Aceros permitidos según la NCh2369 y AISC360-05	13
Tabla 2.2 Parámetros de tensiones para el acero ASTM A36.....	13
Tabla 2.3 Valores coeficiente R según Norma NCh2369.....	16
Tabla 3.1 Elementos del modelo simple	19
Tabla 3.2 Variables intrínsecas del modelo simple	20
Tabla 3.3 Agrupación de áreas para los pernos ficticios es de manera ponderada.....	24
Tabla 3.4 Agrupación de áreas para los pernos ficticios es de manera directa	25
Tabla 3.5 Relación entre áreas asignadas a los pernos ficticios de anclaje.....	25
Tabla 3.6 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.00 y diámetro $\emptyset 3/8''$	29
Tabla 3.7 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.00 y diámetro $\emptyset 1/2''$	29
Tabla 3.8 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.00 y diámetro $\emptyset 3/4''$	29
Tabla 3.9 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.25 y diámetro $\emptyset 3/8''$	30
Tabla 3.10 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.25 y diámetro $\emptyset 1/2''$	30
Tabla 3.11 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.25 y diámetro $\emptyset 3/4''$	30
Tabla 3.12 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.50 y diámetro $\emptyset 3/8''$	31
Tabla 3.13 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.50 y diámetro $\emptyset 1/2''$	31
Tabla 3.14 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.50 y diámetro $\emptyset 3/4''$	31
Tabla 3.15 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.75 y diámetro $\emptyset 3/8''$	32
Tabla 3.16 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.75 y diámetro $\emptyset 1/2''$	32
Tabla 3.17 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.75 y diámetro $\emptyset 3/4''$	32
Tabla 3.18 Ecuaciones de corte para esbeltez de 2.00 y diámetro $\emptyset 3/8''$	33
Tabla 3.19 Ecuaciones de corte para esbeltez de 2.00 y diámetro $\emptyset 1/2''$	33
Tabla 3.20 Ecuaciones de corte para esbeltez de 2.00 y diámetro $\emptyset 3/4''$	33
Tabla 3.21 Ecuaciones de corte para esbeltez de 5.00 y diámetro $\emptyset 3/8''$	34
Tabla 3.22 Ecuaciones de corte para esbeltez de 5.00 y diámetro $\emptyset 1/2''$	34

Tabla 3.23 Ecuaciones de corte para esbeltez de 5.00 y diámetro $\emptyset 3/4''$	34
Tabla 3.24 Ecuaciones de corte para esbeltez de 10.00 y diámetro $\emptyset 3/8''$	35
Tabla 3.25 Ecuaciones de corte para esbeltez de 10.00 y diámetro $\emptyset 1/2''$	35
Tabla 3.26 Ecuaciones de corte para esbeltez de 10.00 y diámetro $\emptyset 3/4''$	35
Tabla 3.27 Ecuaciones de corte para esbeltez de 15.00 y diámetro $\emptyset 3/8''$	36
Tabla 3.28 Ecuaciones de corte para esbeltez de 15.00 y diámetro $\emptyset 1/2''$	36
Tabla 3.29 Ecuaciones de corte para esbeltez de 15.00 y diámetro $\emptyset 3/4''$	36
Tabla 3.30 Ecuaciones de corte para esbeltez de 20.00 y diámetro $\emptyset 3/8''$	37
Tabla 3.31 Ecuaciones de corte para esbeltez de 20.00 y diámetro $\emptyset 1/2''$	37
Tabla 3.32 Ecuaciones de corte para esbeltez de 20.00 y diámetro $\emptyset 3/4''$	37
Tabla 3.33 Resumen de datos de estanques reales	39
Tabla 3.34 Características del registro Curicó E-O	40
Tabla 3.35 Cálculo de corte basal para una concentración de masa en la mitad de la altura	41
Tabla 3.36 Cálculo de corte para una concentración de masa en el modo impulsivo	42
Tabla 3.37 Resumen estadístico en los modelos simples.....	42
Tabla 3.38 Energía disipada por los pernos y energía acumulada por la deformación del estanque.....	45
Tabla 4.1 Características del estanque A6-2-E (Barros, 2005)	47
Tabla 4.2 Características de los aceros utilizados	48
Tabla 4.3 Cantidad de elementos por estanque	51
Tabla 4.4 Análisis <i>pushover</i>	54
Tabla 4.5 Análisis cíclico.....	55
Tabla 4.6 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento <i>pushover</i> y respuesta no lineal de la estructura	57
Tabla 4.7 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento <i>pushover</i> y respuesta no lineal de la estructura	58

Tabla 4.8 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento <i>pushover</i> y respuesta lineal de la estructura.....	60
Tabla 4.9 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento <i>pushover</i> y respuesta lineal de la estructura.....	60
Tabla 4.10 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento cíclico y respuesta no lineal de la estructura.....	62
Tabla 4.11 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento cíclico y respuesta no lineal de la estructura.....	62
Tabla 4.12 Máxima tensión de los pernos de anclaje ante carga cíclica, respuesta no lineal de la estructura.....	63
Tabla 4.13 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento cíclico y respuesta lineal de la estructura.....	67
Tabla 4.14 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento cíclico y respuesta lineal de la estructura.....	67
Tabla 4.15 Máxima tensión de los pernos de anclaje ante carga cíclica, respuesta lineal de la estructura.....	68
Tabla 4.16 Categoría de estructuras.....	72
Tabla 4.17 Valor de la aceleración efectiva máxima A_0	72
Tabla 4.18 Valor de los parámetros del suelo.....	72
Tabla 4.19 Resultados para el tipo de suelo I.....	75
Tabla 4.20 Resultados para el tipo de suelo II.....	76
Tabla 4.21 Resultados para el tipo de suelo III.....	77
Tabla 4.22 Resultados para el tipo de suelo IV.....	78
Tabla B. 1 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2.....	103
Tabla B. 2 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4.....	104
Tabla B. 3 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6.....	104
Tabla B. 4 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2.....	105
Tabla B. 5 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4.....	105

Tabla B. 6	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6	..... 106
Tabla B. 7	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2	..... 106
Tabla B. 8	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4	..... 107
Tabla B. 9	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6	..... 107
Tabla B. 10	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2	... 108
Tabla B. 11	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4	... 108
Tabla B. 12	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6	... 109
Tabla B. 13	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2	... 109
Tabla B. 14	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4	... 110
Tabla B. 15	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6	... 110
Tabla B. 16	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2	... 111
Tabla B. 17	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4	... 111
Tabla B. 18	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6	... 112
Tabla B. 19	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2	..... 112
Tabla B. 20	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4	..... 113
Tabla B. 21	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6	..... 113
Tabla B. 22	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2	..... 114
Tabla B. 23	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4	..... 114
Tabla B. 24	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6	..... 115
Tabla B. 25	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2	..... 115
Tabla B. 26	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4	..... 116
Tabla B. 27	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6	..... 116
Tabla B. 28	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2	... 117
Tabla B. 29	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4	... 117
Tabla B. 30	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6	... 118
Tabla B. 31	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2	... 118
Tabla B. 32	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4	... 119

Tabla B. 33	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6 ...	119
Tabla B. 34	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2 ...	120
Tabla B. 35	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4 ...	120
Tabla B. 36	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6 ...	121
Tabla B. 37	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2 ...	121
Tabla B. 38	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4 ...	122
Tabla B. 39	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6 ...	122
Tabla B. 40	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2 ...	123
Tabla B. 41	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4 ...	123
Tabla B. 42	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6 ...	124
Tabla B. 43	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2 ...	124
Tabla B. 44	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4 ...	125
Tabla B. 45	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6 ...	125
Tabla B. 46	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2 ...	126
Tabla B. 47	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4 ...	126
Tabla B. 48	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6 ...	127
Tabla B. 49	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2 ...	127
Tabla B. 50	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4 ...	128
Tabla B. 51	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6 ...	128
Tabla B. 52	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2 ...	129
Tabla B. 53	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4 ...	129
Tabla B. 54	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6 ...	130
Tabla B. 55	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2 .	130
Tabla B. 56	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4 .	131
Tabla B. 57	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6 .	131
Tabla B. 58	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2 .	132
Tabla B. 59	Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4 .	132

Tabla B. 60 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6 .	133
Tabla B. 61 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2 .	133
Tabla B. 62 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4 .	134
Tabla B. 63 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6 .	134
Tabla B. 64 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2 .	135
Tabla B. 65 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4 .	135
Tabla B. 66 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6 .	136
Tabla B. 67 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2 .	136
Tabla B. 68 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4 .	137
Tabla B. 69 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6 .	137
Tabla B. 70 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2 .	138
Tabla B. 71 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4 .	138
Tabla B. 72 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6 .	139
Tabla B. 73 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2 .	139
Tabla B. 74 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4 .	140
Tabla B. 75 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6 .	140
Tabla B. 76 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2 .	141
Tabla B. 77 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4 .	141
Tabla B. 78 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6 .	142
Tabla B. 79 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2 .	142
Tabla B. 80 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4 .	143
Tabla B. 81 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6 .	143
Tabla C. 1 “Datos estanques reales”	145
Tabla C. 2 “Esfuerzos generados en base a datos reales”	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo Simple.....	2
Figura 2.1 Envolventes; a) Bilineal; b) Trilineal (Sivaselvan & Reinhorn, 1999).....	6
Figura 2.2 Tipos de comportamiento cíclico asociado a envolvente trilineal; a) <i>Yield-oriented</i> ; b) <i>Vertex-oriented</i> (Sivaselvan & Reinhorn, 1999).....	7
Figura 2.3 Comportamiento histerético no degradado, modelación con dos resortes (Sivaselvan & Reinhorn, 1999)	7
Figura 2.4 Curva del material asociado al perno de anclaje.....	8
Figura 2.5 Curva de histéresis del material asociado al perno de anclaje.....	9
Figura 2.6 Diversos tipos de pernos de anclaje; a) Fraguados in-situ ;b) Socavados;c) Adhesivos; d) Bajo lechada; e) Expansivos; f) Anclaje de vigas de emparrillado (Wald, et al., 2003).....	10
Figura 2.7 Requisitos mínimos para pernos de anclaje (sillas) (Instituto Nacional de Normalización, 2003)	11
Figura 2.8 Noción de largo efectivo (Wald, et al., 2003).....	11
Figura 2.9 Distribución de tensiones sobre los pernos; a) Constante; b) Lineal; c) Cúbica (Wald, et al., 2003)	12
Figura 2.10 Factor de modificación de respuesta estructural (R) (Federal Emergency Management Agency, 2009)	15
Figura 3.1 Modelo simple abordado en Opensees.....	18
Figura 3.2 a) Distribución de tensiones asumiendo comportamiento de cuerpo rígido; b) Modo de falla por aplastamiento del hormigón (Aviram, et al., 2010)	19
Figura 3.3 Área de pernos ficticios agrupada de manera ponderada.....	22
Figura 3.4 Área de pernos ficticios agrupada de manera directa.....	24
Figura 3.5 Diagrama de cuerpo libre estructura simple.....	26
Figura 3.6 Corte en función del periodo esbeltez de 1.00 y diámetro Ø3/4”	29
Figura 3.7 Corte en función del periodo esbeltez de 1.25 y diámetro Ø3/4”	30

Figura 3.8 Corte en función del periodo esbeltez de 1.50 y diámetro Ø3/4”	31
Figura 3.9 Corte en función del periodo esbeltez de 1.75 y diámetro Ø3/4”	32
Figura 3.10 Corte en función del periodo esbeltez de 2.00 y diámetro Ø3/4”	33
Figura 3.11 Corte en función del periodo esbeltez de 5.00 y diámetro Ø3/4”	34
Figura 3.12 Corte en función del periodo esbeltez de 10.00 y diámetro Ø3/4”	35
Figura 3.13 Corte en función del periodo esbeltez de 15.00 y diámetro Ø3/4”	36
Figura 3.14 Corte en función del periodo esbeltez de 20.00 y diámetro Ø3/4”	37
Figura 3.15 Registro de Curicó dirección E-O	40
Figura 3.16 a) Energía disipada por el perno de anclaje; b) Energía acumulada por la deformación del estanque.....	44
Figura 4.1 Estanques apoyados sobre el suelo	47
Figura 4.2 Vista de perfil de la silla utilizada en estanque A6-2-E (Barros, 2005).....	48
Figura 4.3 Curva de comportamiento A304L	49
Figura 4.4 Curva de comportamiento A36 Trilineal.....	49
Figura 4.5 Modelación Estanque Real; a) Completo; b) Sin tapa.	51
Figura 4.6 Modelación Sillas; a) Vista 3D; b) Vista lateral; c) Vista perfil.....	51
Figura 4.7 Mallado de la estructura; a) Vista general; b) Vista lateral de la silla; c) Vista perfil de la silla.	52
Figura 4.8 Condiciones de apoyo; a) Empotramiento perno; b) Compresión base; c) Condición de desplazamiento.....	54
Figura 4.9 Análisis <i>pushover</i>	55
Figura 4.10 Análisis cíclico.....	56
Figura 4.11 Deformaciones en estanque; a) Debido a la presión hidrostática; b) Debido al análisis <i>pushover</i>	57
Figura 4.12 Deformación en la silla, caso <i>pushover</i> con comportamiento no lineal; a) Vista 3D;b) Vista perfil; c) Vista lateral	58
Figura 4.13 Tensiones en la silla, caso <i>pushover</i> con comportamiento no lineal; a) Vista 3D;b) Vista perfil; c) Vista lateral	58

Figura 4.14 Deformaciones en el estanque; a) Debido a presión hidrostática; b) Debido a <i>pushover</i>	59
Figura 4.15 Deformación en la silla, caso <i>pushover</i> ; a) Vista 3D;b) Vista perfil; c) Vista lateral.....	61
Figura 4.16 Tensiones en la silla, caso <i>pushover</i> ; a) Vista 3D;b) Vista perfil; c) Vista lateral.....	61
Figura 4.17 Distribución de pernos para el análisis cíclico.....	63
Figura 4.18 Tensiones máximas del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura	64
Figura 4.19 Tensiones mínimas del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura	64
Figura 4.20 Tensiones máximas del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura	65
Figura 4.21 Tensiones mínimas del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura	65
Figura 4.22 Deformación remanente; a) Real; b) Modelo	66
Figura 4.23 Corte en la base ante desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura	66
Figura 4.24 Tensión máxima del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura.....	68
Figura 4.25 Tensión mínima del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura.....	69
Figura 4.26 Tensión máxima del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura.....	69
Figura 4.27 Tensión mínima del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura.....	70
Figura 4.28 Reacción en la base ante desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura	70
Figura 4.29 Comportamiento de la estructura bajo carga <i>pushover</i>	71
Figura 4.30 Cálculo del coeficiente R.....	74

Figura 4.31 Diseño establecido para el suelo tipo I.....	75
Figura 4.32 Diseño establecido para el suelo tipo II.....	76
Figura 4.33 Diseño establecido para el suelo tipo III	77
Figura 4.34 Diseño establecido para el suelo tipo IV	78
Figura D. 1 “Detalle anclaje”	148
Figura E. 1 Máxima deformación en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	150
Figura E. 2 Máxima tensión en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	150
Figura E. 3 Máxima deformación en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	151
Figura E. 4 Máxima tensión en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	151
Figura E. 5 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento no lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	152
Figura E. 6 Reacción en la base en la dirección z, comportamiento no lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	152
Figura E. 7 Máxima deformación en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	153
Figura E. 8 Máxima tensión en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	153
Figura E. 9 Máxima deformación en el manto, comportamiento lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	154
Figura E. 10 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	154
Figura E. 11 Reacción en la base en la dirección z, comportamiento lineal del estanque bajo <i>pushover</i>	155

Figura E. 12 Máxima deformación en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico	155
Figura E. 13 Máxima tensión en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico.....	156
Figura E. 14 Máxima deformación en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico	156
Figura E. 15 Máxima tensión en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico.....	157
Figura E. 16 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico.....	157
Figura E. 17 Máxima deformación en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico.....	158
Figura E. 18 Máxima tensión en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico.....	158
Figura E. 19 20 Máxima deformación en el manto, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico	159
Figura E. 21 Máxima tensión en el manto, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico.....	159
Figura E. 22 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico	160

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

Debido a la importancia que tiene el sector industrial en la economía del país se hace indispensable minimizar los daños producidos por sismos en sus estructuras. En este aspecto y a raíz del buen comportamiento mostrado por las estructuras industriales de acero durante el terremoto del 27 de febrero del 2010 (Herrera, et al., 2012), surgió la necesidad de esclarecer cual es el aporte significativo de los pernos de anclaje en la disipación de energía de las mismas. Este requerimiento se sustentó en que existe la creencia general de que la fluencia de los pernos de anclaje permite reducir la respuesta de las estructuras y por ende mejorar sus condiciones de servicio.

De esta forma la línea de análisis de esta memoria se enfocó en la modelación de los efectos disipativos producidos por los pernos de anclaje y como estos afectan la forma en que las estructuras industriales responden frente a los sismos.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

Se buscó cuantificar el efecto de los pernos de anclaje en el desempeño de estructuras bajo la acción de cargas sísmicas usando modelos no lineales simples que permitan confirmar o refutar la suposición de que la energía disipada por los pernos es relevante en el comportamiento de la estructura.

1.2.2 Objetivos Secundarios

Se buscó cuantificar el grado de concordancia entre los resultados obtenidos mediante los análisis simplificados y un análisis detallado de una estructura real.

Por otra parte se buscó establecer la relación entre la disminución de la respuesta estructural debido a la disipación de energía y el factor de modificación de la respuesta estructural (R) en cada uno de los modelos analizados.

1.3. Metodología

Para cumplir los objetivos planteados se trabajó en etapas. Cada una correspondiente a cada objetivo.

En una primera instancia, asociada al capítulo dos, se recopiló información sobre procedimientos similares de modelación y análisis con la finalidad de abordar el problema de forma consistente.

En el tercer capítulo se construyó un modelo simplificado que consistió en una masa concentrada que fue “soportada” por dos resortes en paralelo, como se muestra en la Figura 1.1, que corresponden a una simplificación del sistema global de una estructura anclada por dos pernos de anclaje.

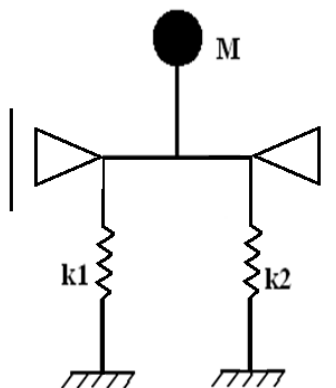


Figura 1.1 Modelo Simple

Este modelo se implementó en el programa computacional OPENSEES (OPENSEES, 2010) que considera las características físicas relevantes de las estructuras a analizar.

En este capítulo se analizaron distintos modelos según sus magnitudes geométricas, cargas aplicadas y tipos de análisis.

Los tipos de análisis realizados fueron dos, cuyo detalle se presenta a continuación.

- i) Lineal: El sistema tiene un comportamiento lineal y elástico.
- ii) No lineal: Se permite la fluencia de los pernos y por ende existe un comportamiento no lineal del modelo.

Ahora bien, se analizaron dos tipos de solicitaciones.

- i) Aceleraciones basales: Consiste en la aplicación de aceleraciones horizontales en la base de la estructura.
- ii) *Pushover*: Corresponde a un análisis estático de la estructura bajo cargas verticales asociadas al peso y cargas horizontales atribuibles a desplazamientos laterales.

En consecuencia de los análisis establecidos se buscó obtener las magnitudes de energía disipada para cada caso, obteniendo valores que permitieran conseguir conclusiones sobre la relevancia de los pernos de anclaje en estructuras industriales.

Además, mediante los análisis lineales y no lineales se obtuvieron correlaciones entre el factor de modificación de la respuesta estructural “R” para cada modelo y su respectivo valor asignado por normativa.

En el capítulo cuarto se llevo a cabo la modelación y análisis de una estructura real mediante el programa computacional ANSYS (ANSYS ®, 2012), en este caso la estructura correspondió a un estanque vitivinícola anclado, permitiendo validar o refutar las conclusiones obtenidas de los modelos simplificados.

Finalmente, se comentaron los resultados obtenidos para ambas modelaciones y se tipificaron las relaciones existentes entre estos.

1.4. Alcances por capítulo

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Se presenta la motivación del trabajo, los objetivos planteados, las hipótesis utilizadas y la metodología a emplear, además de los alcances de cada capítulo.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

Se exponen los datos relevantes de estudios similares, características escogidas para el estudio y la realidad del entendimiento del problema hasta el momento.

CAPÍTULO 3: ESTUDIO ANALÍTICO

En este capítulo se muestran las características específicas del modelo, en donde destacan la cantidad de elementos utilizados y el material del que fueron hechos.

Por otra parte, se exhiben los resultados obtenidos para modelos genéricos y específicos que permiten cuantificar el comportamiento del modelo bajo distintas condiciones de carga.

CAPÍTULO 4: MODELACIÓN ESTRUCTURA REAL

Se caracteriza la manera de modelar un estanque vitivinícola de manera específica. Se incluyen las descripciones generales del estanque, la forma de materializar la estructura y el tipo de análisis al cual se ve sometido.

CAPÍTULO 5: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se presentan los comentarios de los análisis anteriores y las conclusiones del trabajo.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

El diseño establecido en las diferentes normativas vigentes plantea enfoques asociados esencialmente a aceleraciones espectrales máximas o desplazamientos relativos que permiten establecer a priori cierto comportamiento de las estructuras. Si consideramos que en estos diseños la ductilidad de los materiales permite diseñar estructuras bajo menores cargas que en el diseño elástico, se puede ahondar en el interés de cuantificar cual es el efecto de la energía disipada en el comportamiento de las estructuras.

2.1. Efectos disipativos

Existen diversas formas de disipar energía en una estructura, esencialmente asociadas al daño producido en la estructura, roce entre elementos, amortiguamiento de la estructura. etc.

Se debe considerar que la histéresis corresponde a un comportamiento no lineal de sistemas que poseen “memoria” en alguna de sus propiedades, que en este estudio se basa en deformaciones, por lo cual un material al someterse a cargas cíclicas e intentar mantener su comportamiento produce disipación de la energía.

El ciclo explicado anteriormente se denomina ciclo histerético del comportamiento de materiales inelásticos y ha sido de especial interés para ingenieros estructurales debido a que el diseño estructural se basa en la suposición de que las estructuras se ven sometidas a cargas cíclicas. En este sentido, existen estudios (García & Riddell, 1995) que establecen la existencia de espectros de energía disipada por histéresis en sistemas inelásticos que complementan la noción de que el daño acumulado depende de la energía disipada en el sistema.

2.2. Curvas histeréticas ante cargas cíclicas

Si consideramos que los materiales se comportan de una determinada forma y son modelados intentando asemejar dicho comportamiento, se debe tener en consideración que los ciclos histeréticos dependen del modelo con que se analice el material. Se puede clasificar estos comportamientos (Sivaselvan & Reinhorn, 1999) como:

i) Modelos Histeréticos poligonales(MHP)

Corresponden a modelos en los cuales existen tramos lineales, por lo cual este tipo de modelo puede recibir también el nombre de multi-lineal. Este tipo de modelación envuelve una gran gama de modelos como el bilineal, doble bilineal, slip model y otros, cuyos parámetros pueden ser modificados con la finalidad de representar magnitudes físicas reales.

Estos modelos presentan ciertas reglas de unión entre los distintos puntos de las rectas y también dictan la transición entre distintas etapas de la respuesta. Algunos ejemplos de comportamiento multilíneal se muestran en la Figura 2.1 y la Figura 2.2

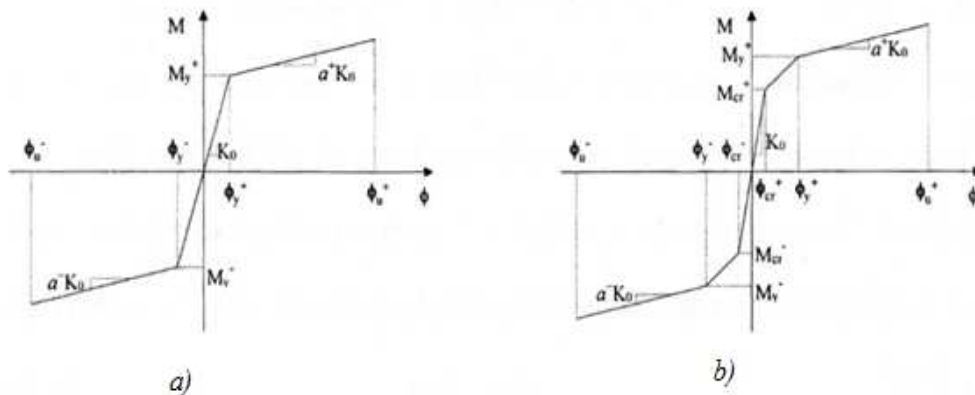


Figura 2.1 Envolventes; a) Bilineal; b) Trilineal (Sivaselvan & Reinhorn, 1999)

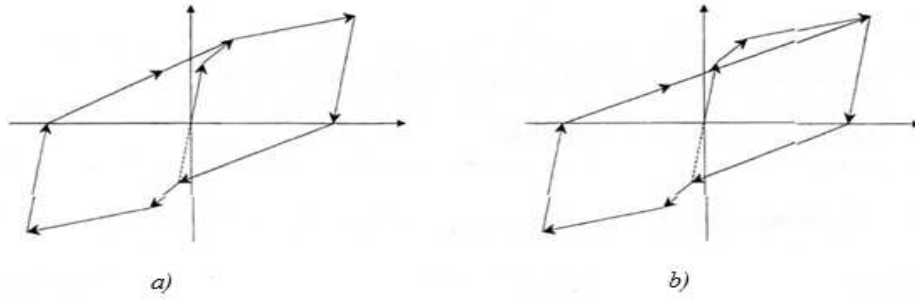


Figura 2.2 Tipos de comportamiento cíclico asociado a envolvente trilineal; a) *Yield-oriented*; b) *Vertex-oriented* (Sivaselvan & Reinhorn, 1999)

ii) Modelos Histeréticos Suavizados

Corresponde a modelaciones que en la unión de dos tramos lineales presenta curvas que compatibilizan las trayectorias.

La forma de modelar se puede basar en dos aspectos esenciales a saber, el primero es asumir que no existe degradación y el segundo que si existe este fenómeno.

Algunos de estos comportamientos se detallan en la Figura 2.3.

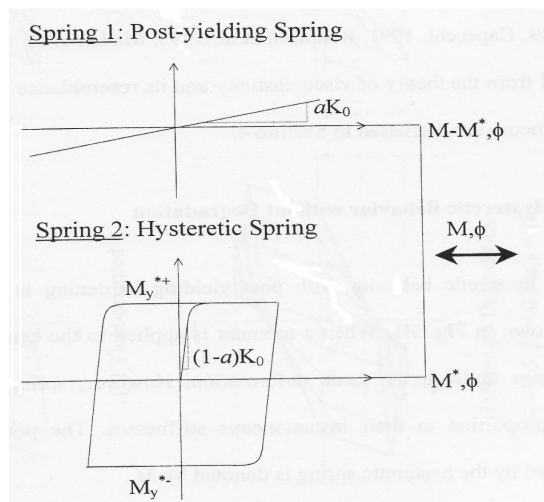


Figura 2.3 Comportamiento histerético no degradado, modelación con dos resortes (Sivaselvan & Reinhorn, 1999)

En la Figura 2.3 se muestra el caso en que no existe degradación y se modela el endurecimiento post-fluencia mediante dos resortes.

Al tener en consideración los aspectos anteriores se decidió basar el estudio de la disipación de la energía en pernos de anclaje en alguno de los comportamientos mencionados.

Para este análisis en particular se escogió una curva del tipo tri-lineal, similar a la mostrada en la Figura 2.1 con la salvedad de no poseer simetría con respecto al eje horizontal. Esta diferencia se sustentó en que los pernos de anclaje no tienen un comportamiento idéntico dependiendo del tipo de carga, compresión o tracción, pues no son solicitados cuando la columna (u otro elemento estructural adosado) se comprime. El comportamiento utilizado y las diferencias con los casos anteriores se aprecian en la Figura 2.4, en donde el cuadrante superior corresponde a la zona de tracción y el cuadrante inferior a la zona de compresión.

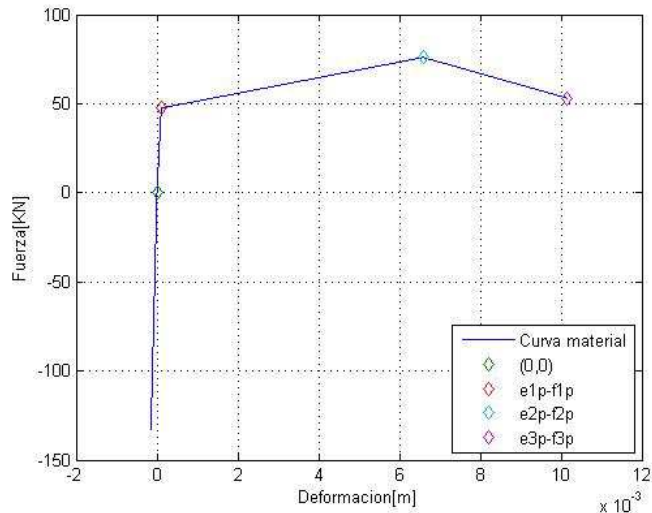


Figura 2.4 Curva del material asociado al perno de anclaje

Como se muestra en la Figura 2.5 existen ciclos de carga y descarga que cumplen con la condición de “deformación remanente del perno”, es decir, el perno trabaja en tracción sólo una vez que se ha superado la deformación producida por la tracción correspondiente al ciclo anterior.

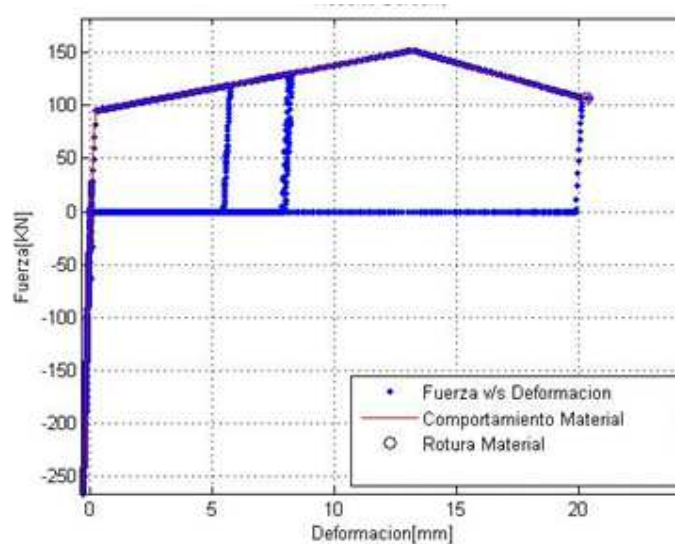


Figura 2.5 Curva de histéresis del material asociado al perno de anclaje

2.3. Largo efectivo de los pernos

Es lo habitual que las estructuras de acero posean elementos que sirven de conexión con las cimentaciones de la obra. Específicamente la conexión entre estos dos elementos se materializa con placas rígidas adosadas a la estructura y pernos de anclaje que unen estos elementos con la fundación pertinente, formando de esta manera un sector clave a la hora de transmitir esfuerzos y controlar deformaciones de la estructura global.

Existe un sinnúmero de normativas que rigen el uso y diseño de los pernos de anclaje (Chávez, 2011), destacando que la disposición de estos depende de criterios constructivos, materiales disponibles, etc. De forma similar se tienen múltiples maneras de materializar un perno de anclaje, mostradas a modo de resumen en la Figura 2.6.

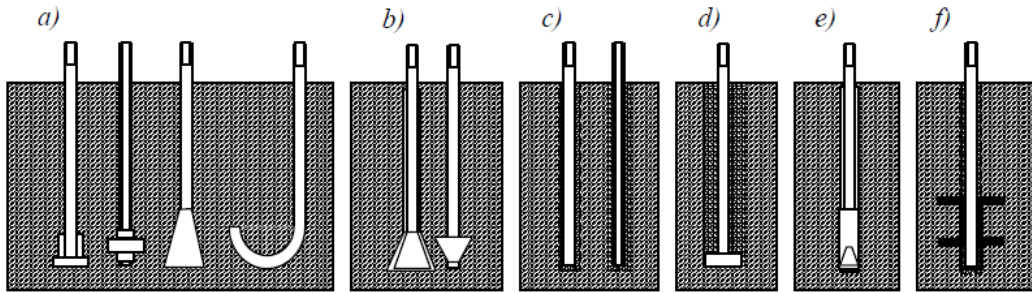


Figura 2.6 Diversos tipos de pernos de anclaje; a) Fraguados in-situ ;b) Socavados;c) Adhesivos; d) Bajo lechada; e) Expansivos; f) Anclaje de vigas de emparrillado (Wald, et al., 2003)

Los pernos de anclaje permiten resistir tres tipos de esfuerzos existentes en una estructura (tracción, momento y corte), sin embargo, en la generalidad de los casos se asume que la resistencia al corte es dada por elementos auxiliares. La forma de visualizar los elementos que resisten los esfuerzos de corte se basa en la combinación de tres mecanismos (Chávez, 2011).

- i) Fricción a lo largo del área de contacto entre la placa y el hormigón.
- ii) Flexión y corte resistida por los pernos de anclaje.
- iii) Aplastamiento de las llaves de corte contra el hormigón, instaladas debajo de la placa base.

Cada una de las disposiciones anteriores depende de las cargas solicitantes y la capacidad de los materiales. En este sentido se establece que existen normativas que permiten determinar los criterios de diseño de los pernos dependiendo de la zona geográfica en donde se encuentre la obra. Esto se manifiesta en el hecho de que cada país, e incluso continentes, presentan distintas maneras de salvaguardar sus estructuras (Chávez, 2011).

En el caso chileno, la norma que establece el criterio de apoyos de estructuras ante esfuerzos sísmicos es la Norma Chilena NCH2369 (Instituto Nacional de Normalización, 2003), específicamente en el punto 8.6, en donde se dispone que los pernos de anclaje que están sometidos a tracción deben tener “sillas” y el vástago debe ser visible. Además la longitud de los pernos debe cumplir con un mínimo de 250 [mm] u 8 veces el diámetro del mismo para visualizar los daños en las conexiones mencionadas.

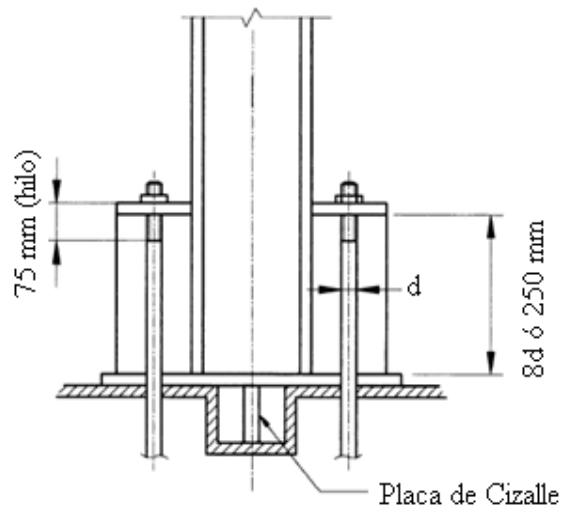


Figura 2.7 Requisitos mínimos para pernos de anclaje (sillas) (Instituto Nacional de Normalización, 2003)

Un caso distinto se plantea en Europa, en donde el estudio de las estructuras de acero se dispone en los Eurocódigos 3 y 8. El primer caso no considera la condición de cargas sísmicas para la estructura y el segundo si.

Teniendo en consideración los puntos anteriores, el comportamiento entregado por los pernos depende intrínsecamente del área y del largo que los pernos posean, por ende resulta de vital relevancia cuantificar cuál es el largo del perno que influye en la resistencia de la estructura.

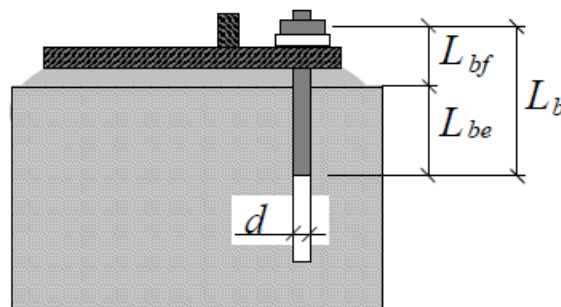


Figura 2.8 Noción de largo efectivo (Wald, et al., 2003)

Según lo establecido por autores europeos (Wald, et al., 2003), el largo embebido efectivo de los pernos depende del modelo de distribución de tensiones que ejerce la fundación sobre dichos elementos.

- i) Tensiones constantes a lo largo del perno(Figura 2.9a)

$$L_{be} = 12d \quad (2.1)$$

- ii) Tensiones “lineales” a lo largo del perno(Figura 2.9b)

$$L_{be} = 8d \quad (2.2)$$

- iii) Tensiones “cúbicas” a lo largo del perno(Figura 2.9c)

$$L_{be} = 4,8d \quad (2.3)$$

En donde el parámetro “d” corresponde al diámetro de los pernos de anclaje.

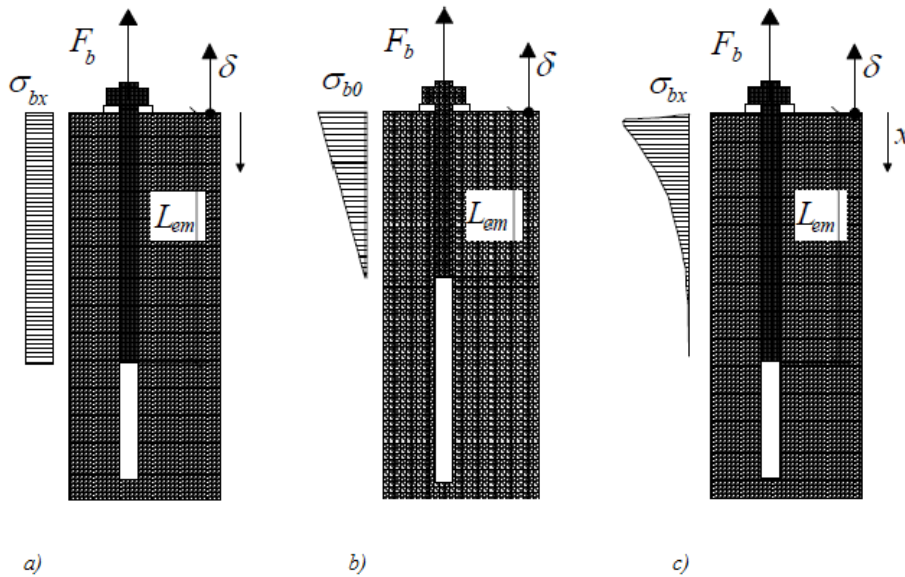


Figura 2.9 Distribución de tensiones sobre los pernos; a) Constante; b) Lineal; c) Cúbica (Wald, et al., 2003)

Al asumir una distribución de tensiones lineal sobre el perno anclado se escogió un largo efectivo del perno embebido de ocho veces el diámetro.

2.4. Características del material

Uno de los aspectos relevantes al momento de diseñar las conexiones de los pernos de anclaje corresponde al material con que estos son desarrollados, según las disposiciones establecidas tanto por la NCh 2369 (Instituto Nacional de Normalización, 2003) en el punto 8.2.2 como por la AISC 360-05 (American Institute of Steel Construction, 2005) los aceros de los pernos de anclaje deben cumplir con ciertas restricciones. La Tabla 2.1 presenta un resumen de los tipos de acero permitidos en la fabricación de pernos de anclaje.

Tabla 2.1 Aceros permitidos según la NCh2369 y AISC360-05

Aceros permitidos según normativa chilena	Aceros permitidos según AISC360-05
ASTM A36	ASTM A36/A36M
ASTM A242	ASTM A193/A193M
ASTM A572 Gr. 42 y 50	ASTM A354
ASTM A588 Gr. 50	ASTM A449
ASTM A913	ASTM A572/A572M
ASTM A992	ASTM A588/A588M
	ASTM F1554

La Tabla 2.1 muestra aceros que cumplen con la exigencia de poseer ductilidad (Instituto Nacional de Normalización, 2003). Para este análisis se consideró un acero del tipo ASTM A36 con las siguientes propiedades.

Tabla 2.2 Parámetros de tensiones para el acero ASTM A36

Parámetro	Magnitud [MPa]
Tensión de fluencia	250
Tensión Máxima	400
Tensión de rotura	280

De esta forma y según lo establecido en la Tabla 2.2, se tiene que los valores de las elongaciones a los que se produce la fluencia, el máximo esfuerzo y la rotura están dados por:

i) Elongación de fluencia

$$e_1 = 0,0021 \cdot L_{be} \quad (2.4)$$

ii) Elongación de máximo esfuerzo

$$e_2 = 0,13 \cdot L_{be} \quad (2.5)$$

iii) Elongación de rotura

$$e_3 = 0,2 \cdot L_{be} \quad (2.6)$$

Teniendo en consideración la resistencia dada y las deformaciones a las cuales éstas se producen fue posible definir de forma directa el comportamiento de los pernos de anclaje, tal y como se aprecia en la Figura 2.4.

2.5. Factor de modificación de la respuesta estructural

El diseño de una estructura está basado en el nivel de fuerzas que puede desarrollar el sistema resistiendo los sismos. Se define el factor de modificación de la respuesta estructural “R” según la ecuación (2.7)

$$R = \frac{V_E}{V} \quad (2.7)$$

En donde:

V_E : Fuerza lateral resistente si el sistema se mantiene lineal y elástico.

V : Corte basal debido al sismo requerido por diseño.

Además, se puede definir la sobre-resistencia según la ecuación (2.8)

$$\Omega_0 = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V} \quad (2.8)$$

Con $V_{m\acute{a}x}$ el máximo corte resistido dado el comportamiento no lineal del material.

Ambos coeficientes se presentan de manera gráfica en la Figura 2.10

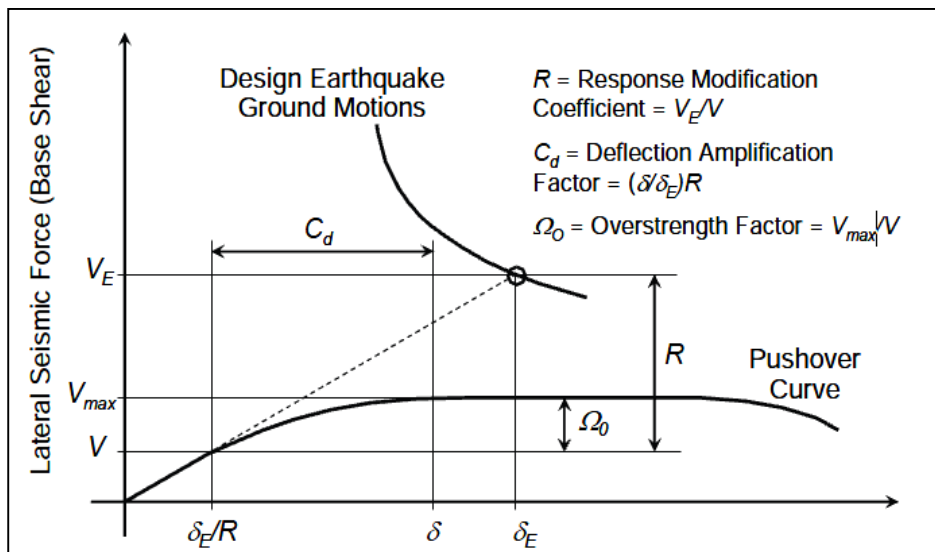


Figura 2.10 Factor de modificación de respuesta estructural (R) (Federal Emergency Management Agency, 2009)

El factor R cuantifica en cierto aspecto el daño que se permite en la estructura al no tener un comportamiento perfectamente lineal, y por ende, acepta que los costos de diseño de una determinada obra sean menores haciendo factible la construcción de dicha estructura. Por este motivo existen calibraciones hechas en cada norma local, como también ocurre en Chile, que asignan valores de este coeficiente a determinados sistemas estructurales.

Algunos de los valores asignados por la norma Chilena NCh2369 a estructura de interés se muestran en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Valores coeficiente R según Norma NCh2369

Sistema resistente	Factor de modificación de respuesta estructural (R)
1 Estructuras diseñadas para permanecer elásticas	1
7 Estanques, Recipientes, chimeneas, silos y tolvas	
7.1 Chimeneas, silos y tolvas con mantos continuos hasta el suelo	3
7.2 Silos, Tolvas, estanques apoyados sobre columnas, con o sin arriostamiento entre columnas	4
7.3 Estanques de acero de eje vertical con manto continuo hasta el suelo	4
7.4 Estanques de hormigón armado de eje vertical con manto continuo hasta el piso	3
7.5 Estanques y ductos de materiales sintéticos compuestos(FRP,GFRP,HDPE y similares)	3
7.6 Recipientes horizontales apoyados sobre cunas con anclajes dúctiles	4

CAPÍTULO 3: ESTUDIO ANALÍTICO

Se llevó a cabo la modelación de un sistema estructural que permitiese a priori establecer características relevantes de estructuras complejas de manera simple.

En una primera etapa se caracterizó cada modelo, destacando principalmente los supuestos establecidos, los elementos utilizados, las características cuantificadas y las secuencias computacionales utilizadas.

A continuación, se planteó el estudio de la capacidad de los pernos de anclaje mediante análisis *pushover*, obteniendo con esto una serie de curvas que entregan dicha capacidad.

Por último, se realizaron análisis en modelos con características físicas reales, correspondientes a magnitudes asociadas a estanques vitivinícolas que se utilizan actualmente en el país. Estos análisis permitieron determinar el factor de modificación de respuesta estructural (R) y el factor de sobre resistencia (Ω_0), además de permitir cuantificar la disipación de la energía para los pernos modelados

3.1. Modelación

El modelo simplificado constó de una masa concentrada, tres elementos rígidos y dos resortes ubicados en la base de la estructura.

La masa concentrada es una idealización del comportamiento de un cuerpo que es sometido a fuerzas producidas ya sea por cargas externas o por aceleraciones basales. Los elementos rígidos se asocian esencialmente a la nula deformación presente en un cuerpo rígido al ser excitado bajo las cargas mencionadas anteriormente y los resortes corresponden a la idealización del comportamiento de los pernos de anclaje, entendiendo que estos sólo trabajan en la dirección vertical y se deforman considerablemente sólo bajo fuerzas de tracción.

Los siguientes supuestos se aplicaron en la construcción del modelo:

- i) El cuerpo posee una masa constante para cada modelo simplificado.
- ii) El sistema varía su rigidez debido a la fluencia de los pernos.
- iii) Existe “Rocking” (“Cabeceo” o rotación de la base) en cada uno de los casos.
- iv) Existe una acción de cargas producidas por los pernos al entrar en los ciclos de carga y descarga.
- v) Los pernos sólo se mueven en sus ejes verticales.
- vi) Amortiguamiento del 2% para los modos existentes.

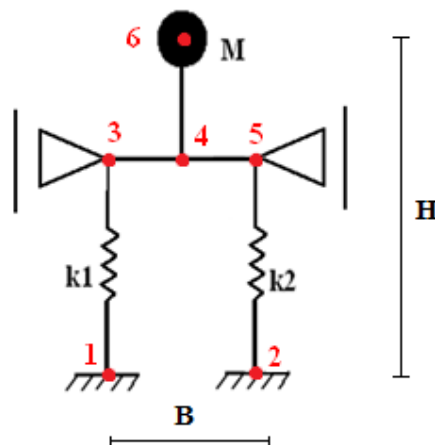


Figura 3.1 Modelo simple aboradado en Opensees

La inclusión de apoyos laterales permitió la estabilidad del sistema, debido esencialmente a que los pernos sólo actúan en la dirección vertical, emulando el efecto de una llave de corte u otro elemento resistente. Estas características se visualizan en la Figura 3.1

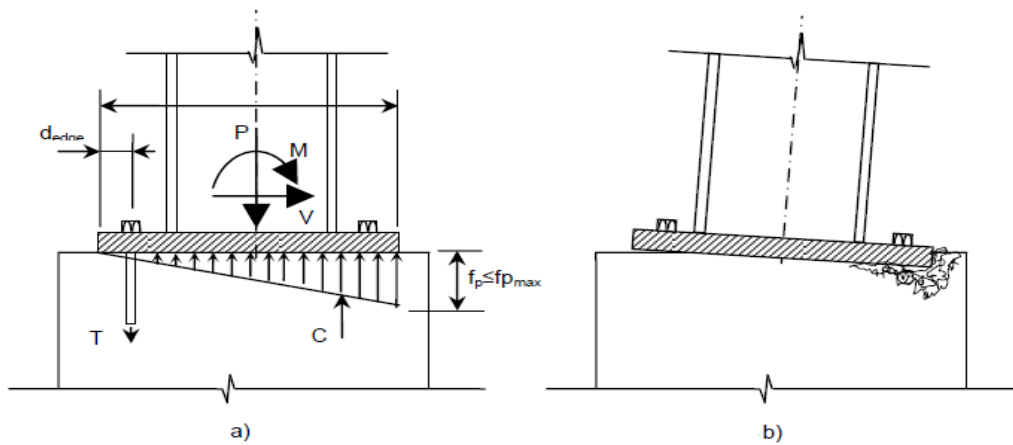


Figura 3.2 a) Distribución de tensiones asumiendo comportamiento de cuerpo rígido; b) Modo de falla por aplastamiento del hormigón (Aviram, et al., 2010)

De esta manera, al considerar los supuestos y al agregar los apoyos laterales se logró establecer un comportamiento similar al real por parte del modelo simple. Destacando que al permitir deformaciones en compresión disminuyó el efecto del impacto en la disipación de la energía.

El comportamiento real que se simuló se aprecia en Figura 3.2

El modelo “simple” quedó compuesto estructuralmente como se detalla en la Figura 3.1 y en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Elementos del modelo simple

ELEMENTO	NODO INICIAL	NODO FINAL
Perno de Anclaje	1	3
Perno de Anclaje	2	5
Viga rígida	3	4
Viga rígida	4	5
Columna rígida	4	6

Por otra parte, las variables relevantes para establecer el comportamiento del modelo se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Variables intrínsecas del modelo simple

VARIABLES	NOTACIÓN	EXPLICACIÓN
Ancho	b	Distancia horizontal en que se encuentran los pernos de anclaje.
Altura	h	Altura total a la cual se ubica la masa
Peso	M	Peso asociado a la masa, concentrado de forma puntual
Área	-	Área inicial que poseen los pernos utilizados
Tensiones de los pernos	-	Características asociadas al acero ASTM A36 mostradas en la Tabla 2.2
Largo efectivo	-	Largo del perno que es capaz de tomar carga al momento de ser solicitado, se establece en $8d$ según la ecuación (2.2) que corresponde a una distribución lineal de tensiones sobre el perno. Se debe destacar que este valor no considera la normativa chilena referida al uso de “sillas”.

Para llevar a cabo esta modelación se contó con el programa computacional OPENSEES (OPENSEES, 2010), específicamente se desarrollaron cuatro instrucciones programadas. Dos secuencias poseen características “resolutivas” y el par restante permite graficar la modelación realizada (para mayor detalle revisar códigos en el ANEXO A). Las instrucciones utilizadas son:

- i) Modelo.tcl: Posee el código general del programa, con características físicas, geométricas, de materiales, análisis y tipos de convergencia.
- ii) Resorte.tcl: Programa que permite programar de manera específica los “resortes” que corresponden a la idealización de los pernos. Esto se realiza con elementos *Zerolength*.
- iii) DisplayModel2D.tcl y DisplayPlane.tcl: Programas auxiliares que permiten la visualización del modelo y del comportamiento de éste.

A grandes rasgos la secuencia Modelo.tcl se divide en secciones claramente delimitados y escritos en un sólo archivo, aspecto que permite comprender el global de lo que realiza en la programación.

Las subdivisiones del documento programado son las siguientes:

- i) Propiedades asociadas a cada estanque: Se entregan pesos, alturas y bases.
- ii) Propiedades geométricas: Asociadas esencialmente a la ubicación de nodos.
- iii) Propiedades del material: Se entrega el área y largo asociada a cada perno, además de entregar las tensiones a las cuales el perno fluye, alcanza su máxima tensión y se rompe. Se debe destacar el comportamiento disímil del material del “perno ficticio” dependiendo si se encuentra traccionado o comprimido.
- iv) Definición de nodos y condiciones de apoyo.
- v) Creación de los elementos a utilizar: Se crean las vigas, columna y resortes a partir de propiedades definidas.
- vi) Cálculo de valores y vectores propios: En este caso los modos “dinámicos” corresponden a uno, pues existe un solo grado de libertad que es excitado bajo la acción de un sismo.
- vii) Análisis gravitacional.
- viii) Obtención de registros.
- ix) Análisis *pushover*: Se tiene la opción de realizar este análisis en base a control por desplazamiento o por fuerza, en este caso la opción indicada fue por desplazamientos. Los algoritmos utilizados fueron de distinto tipo, destacando entre ellos el algoritmo de Newton y de Broyden.
- x) Análisis tiempo historia: Se tiene la opción de ingresar registros sísmicos con distintas escalas y direcciones. Al igual que en el caso anterior se utilizan diversos algoritmos, destacando Newton, Lineal, etc.

En cuanto a las áreas asociadas a los pernos “ficticios” mostrados en la Figura 3.1, se debe tener presente que las estructuras modeladas corresponden a estanques vitivinícolas que actualmente son utilizados en el país. A pesar de lo cual las disposiciones de los pernos de anclaje no cuentan con el diseño establecido por la normativa Chilena NCh2369 (Instituto Nacional de Normalización, 2003), difiriendo cada estanque en las cantidad de sillas y pernos de refuerzo.

Teniendo en consideración lo anterior, se buscó una manera simplificada de considerar el área aportada por los pernos en la resistencia del estanque. En donde la disyuntiva estuvo entre agrupar el área de los pernos de manera ponderada o agrupar de manera directa dichas áreas en función del sector en que se ubiquen los refuerzos.

El primer procedimiento ponderó las áreas de acuerdo al “brazo” efectivo de giro en el estanque. Si se considera como explicación un estanque con seis sillas equiespaciadas, como se muestra en la Figura 3.3, y se asume una rotación del estanque en torno al punto B, se verifica que el aporte en resistencia de lo pernos centrales (A2, A3, A4 y A5) no es igual al aporte del extremo (A1). De esta forma se pudo cuantificar una relación entre las áreas “externas” e “internas” de los estanques con el objetivo de agrupar un área en el extremo que considerara la diferencia de resistencias al volcamiento por parte de los pernos.

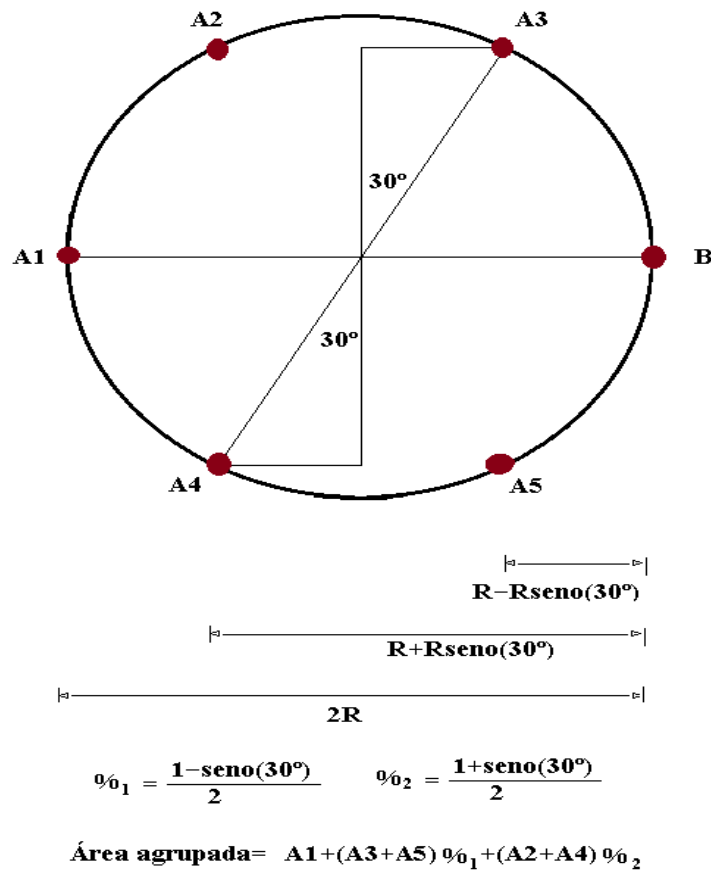


Figura 3.3 Área de pernos ficticios agrupada de manera ponderada

En la cantidad de datos analizados se encontraron tres diferentes disposiciones de anclajes, con cuatro, seis y ocho “sillas” distribuidas de manera equi-espaciada. Para cada distribución de sillas se presentan las siguientes relaciones entre las áreas “internas” y las “externas”, según la notación mostrada en la Figura 3.3 .

i) Distribución equi-espaciada de cuatro sillas

$$\text{Porcentaje efectivo} = \frac{1 \pm \text{seno}(45^\circ)}{2} \quad (3.1)$$

ii) Distribución equi-espaciada de seis sillas

$$\text{Porcentaje efectivo} = \frac{1 \pm \text{seno}(30^\circ)}{2} \quad (3.2)$$

iii) Distribución equi-espaciada de ocho sillas

$$\text{Porcentaje efectivo} = \frac{1 \pm \text{seno}(22,5^\circ)}{2} \quad (3.3)$$

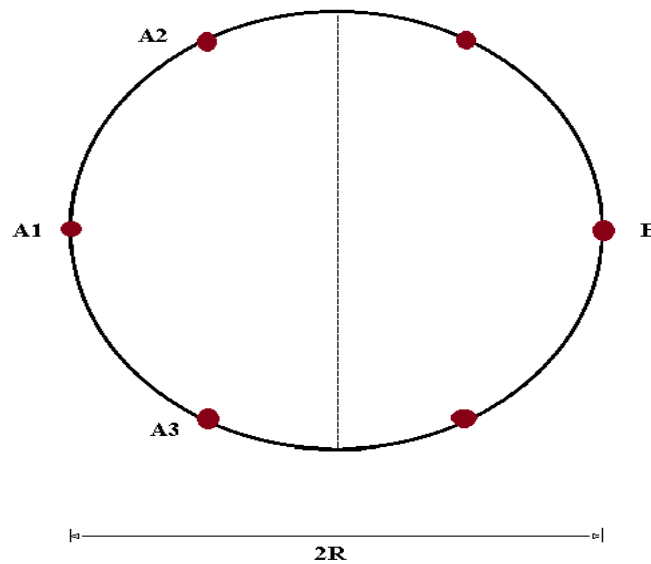
$$\text{Porcentaje efectivo} = \frac{1 \pm \text{seno}(67,5^\circ)}{2} \quad (3.4)$$

De esta manera, se llevaron a cabo las agrupaciones de áreas para pernos “ficticios”, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Agrupación de áreas para los pernos ficticios es de manera ponderada

Código Estanque	Área por Perno ficticio [m ²]
A0-1-A	0,0023
A0-2-C	0,0002
A0-3-A	0,0017
A0-5-A	0,0011
A2-1-K	0,0004
A2-2-K	0,0004
A4-5-A	0,0004
A6-2-E	0,0004
A6-3-E	0,0004
A7-3-A	0,0008
A11-1-A	0,0008
A13-6-F	0,0015

Para el segundo caso se consideró de manera directa la agrupación de las áreas en el perno “ficticio” según el sector en que se ubicaron los pernos de anclaje, como se muestra en la Figura 3.4.



$$\text{Área agrupada} = A1 + A2 + A3$$

Figura 3.4 Área de pernos ficticios agrupada de manera directa

De esta forma, la Tabla 3.4 resume los valores de los pernos agrupados de manera directa.

Tabla 3.4 Agrupación de áreas para los pernos ficticios es de manera directa

Código Estanque	Área por Perno ficticio [m ²]
A0-1-A	0,0023
A0-2-C	0,0002
A0-3-A	0,0017
A0-5-A	0,0011
A2-1-K	0,0004
A2-2-K	0,0004
A4-5-A	0,0004
A6-2-E	0,0004
A6-3-E	0,0004
A7-3-A	0,0008
A11-1-A	0,0008
A13-6-F	0,0015

Teniendo en consideración los casos anteriores, y a modo de resumen, la Tabla 3.5 verificó la no existencia de diferencias en la manera de “agrupar” las áreas. Por ende los valores escogidos para los análisis posteriores corresponden a los mostrados en la Tabla 3.3

Tabla 3.5 Relación entre áreas asignadas a los pernos ficticios de anclaje

Código Estanque	Área detallada /Área directa
A0-1-A	1,0
A0-2-C	1,0
A0-3-A	1,0
A0-5-A	1,0
A2-1-K	1,0
A2-2-K	1,0
A4-5-A	1,0
A6-2-E	1,0
A6-3-E	1,0
A7-3-A	1,0
A11-1-A	1,0
A13-6-F	1,0

En cuanto a los análisis realizados sobre el modelo, este fue sometido a dos tipos de análisis.

El primer análisis se denomina *pushover* y en este caso consiste en la aplicación creciente de desplazamientos laterales, lo que es posible extrapolar y visualizar como un aumento de la carga lateral concentrada.

El segundo análisis corresponde a un análisis en el tiempo, es decir, se aplican aceleraciones basales sobre la estructura y se registran las respuestas temporales de los distintos elementos.

3.2. Curvas de corte versus el periodo

Considerando el modelo mostrado en la Figura 3.1, se estableció una expresión analítica que relaciona la carga lateral y la tensión existente en los pernos modelados.

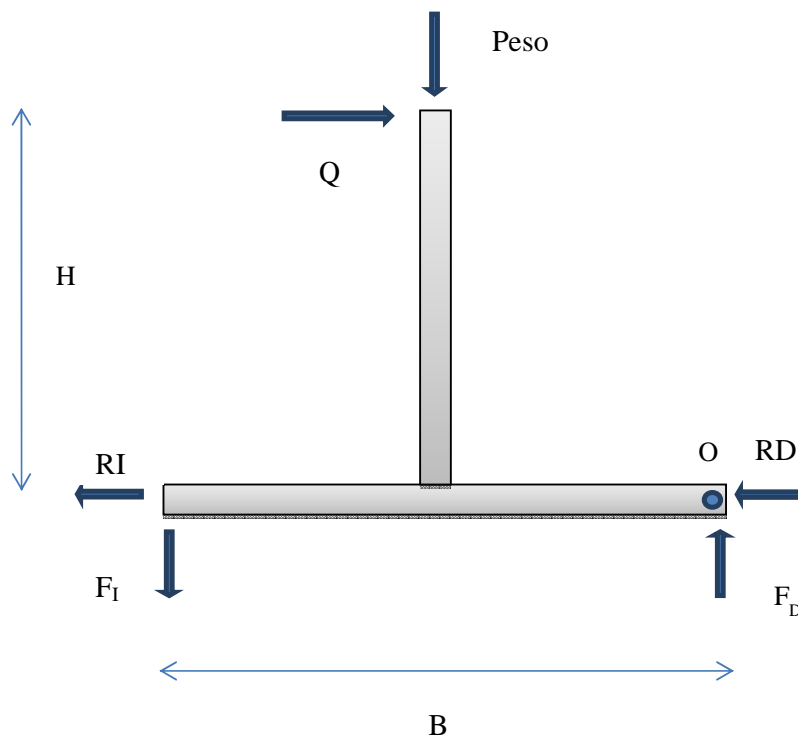


Figura 3.5 Diagrama de cuerpo libre estructura simple

Según lo establece el DCL (Diagrama de cuerpo libre) mostrado en la Figura 3.5 se dedujo una ecuación de momento en el centro de giro de la estructura, que en este caso es O, obteniendo la ecuación (3.5).

$$\sum M_o = 0 \leftrightarrow \frac{B}{2} \cdot Peso + B \cdot F_l - Q \cdot H = 0 \quad (3.5)$$

Asumiendo como variables:

B: Base de la estructura.

H: Altura a la cual se “carga” la estructura.

Peso: Corresponde al peso de la masa concentrada.

F_D: Fuerza realizada por el perno derecho, en este caso comprimido.

F_I: Fuerza realizada por el perno izquierdo, en este caso traccionado.

R_D: Fuerza realizada por el apoyo derecho.

R_I: Fuerza realizada por el apoyo izquierdo.

Q: Carga lateral o corte resistido por el modelo

Asumiendo que la fuerza de los pernos corresponde al producto de un área por tensión, se tiene la expresión (3.6) para la tensión en el perno izquierdo.

$$f_i = \frac{Q \cdot H}{A_i \cdot B} - \frac{Peso}{2 A_i} \quad (3.6)$$

En donde:

A_i : Área asignada al perno izquierdo.

f_i : Tensión en el perno izquierdo.

De esta forma en la presente sección se calculó la carga lateral necesaria para poder romper uno de los pernos. Teniendo claro que el objetivo inicial de este procedimiento es la generalización del estudio, evitando el proceso de programación de un nuevo modelo específico.

Por otra parte, al ser un modelo rígido la rotura de los pernos se basa sólo en la esbeltez del modelo, definiendo esbeltez como:

$$\text{Esbeltez} = \frac{H}{B} \quad (3.7)$$

En donde los parámetros H y B se definen de manera similar a los parámetros mostrados en la ecuación (3.5). Teniendo la salvedad de que en este caso la altura corresponde a la concentración de la masa.

De esta forma el procedimiento para obtener las curvas es el siguiente:

- i) Se fija una esbeltez que se encuentre dentro de rangos adecuados de esbeltez, de acuerdo a estructuras reales.
- ii) Se ingresan los pernos que posee el modelo, es decir, magnitudes como el diámetro y la cantidad de pernos. Con estas magnitudes se tiene el área que posee cada “perno ficticio” y el largo efectivo de éstos.
- iii) Se ingresa un rango de pesos a los cuales se puede someter la estructura, variando de esta manera el periodo de la estructura.

Con dicho procedimiento se tienen los siguientes casos (para mayor información ver ANEXO B).

3.2.1 Esbeltez =1.00

Tabla 3.6 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.00 y diámetro Ø3/8"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8"	0,71	$C = 109422p^2 - 0.4183p + 240.52$
4Ø3/8"	2,85	$C = 218642p^2 - 36.128p + 160.03$
6Ø3/8"	6,41	$C = 333556p^2 - 69.005p + 240.52$

Tabla 3.7 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.00 y diámetro Ø1/2"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2"	1,27	$C = 145846p^2 + 11.445p + 141.72$
4Ø1/2"	5,07	$C = 292583p^2 + 19.581p + 283.65$
6Ø1/2"	11,40	$C = 442472p^2 + 2.9714p + 425.6$

Tabla 3.8 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.00 y diámetro Ø3/4"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4"	2,85	$C = 217.997p^2 + 0.0031p + 319.23$
4Ø3/4"	11,40	$C = 443.501p^2 - 33.1p + 638.68$
6Ø3/4"	25,65	$C = 662126p^2 - 0.0036p + 957.68$

A modo de ejemplo, se muestran las curvas mostradas en la Tabla 3.6

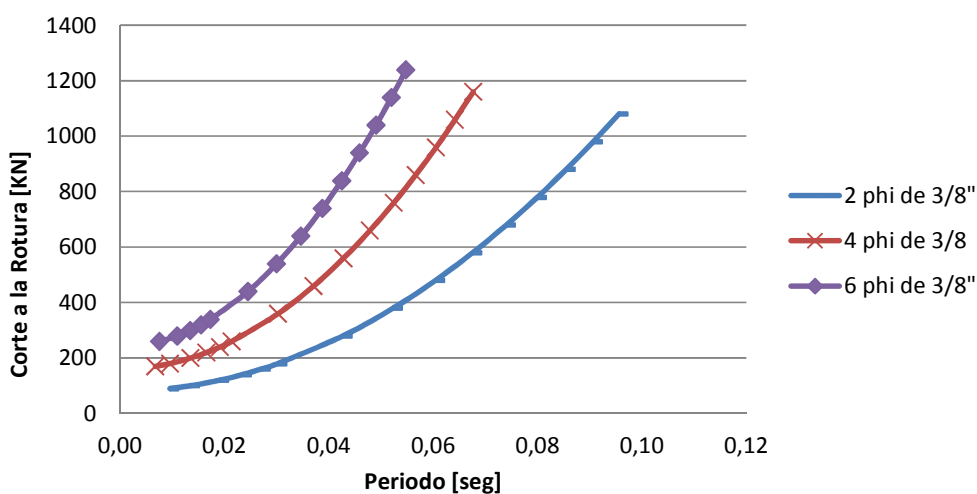


Figura 3.6 Corte en función del periodo esbeltez de 1.00 y diámetro Ø3/4"

3.2.2 Esbeltez = 1.25

Tabla 3.9 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.25 y diámetro Ø3/8"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8"	0,71	$C = 56882p^2 - 0.0339p + 63.84$
4Ø3/8"	2,85	$C = 112430p^2 + 0.0284p + 127.69$
6Ø3/8"	6,41	$C = 171409p^2 + 0.0242p + 191.53$

Tabla 3.10 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.25 y diámetro Ø1/2"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2"	1,27	$C = 74485 p^2 + 18.662p + 113.23$
4Ø1/2"	5,07	$C = 150653p^2 - 36.219p + 227.37$
6Ø1/2"	11,40	$C = 226973p^2 + 0.1323p + 340.51$

Tabla 3.11 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.25 y diámetro Ø3/4"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4"	2,85	$C = 112430 p^2 + 0.0016p + 255.38$
4Ø3/4"	11,40	$C = 22697p^2 + 0.0513p + 510.76$
6Ø3/4"	25,65	$C = 339423p^2 + 0.0058p + 766.14$

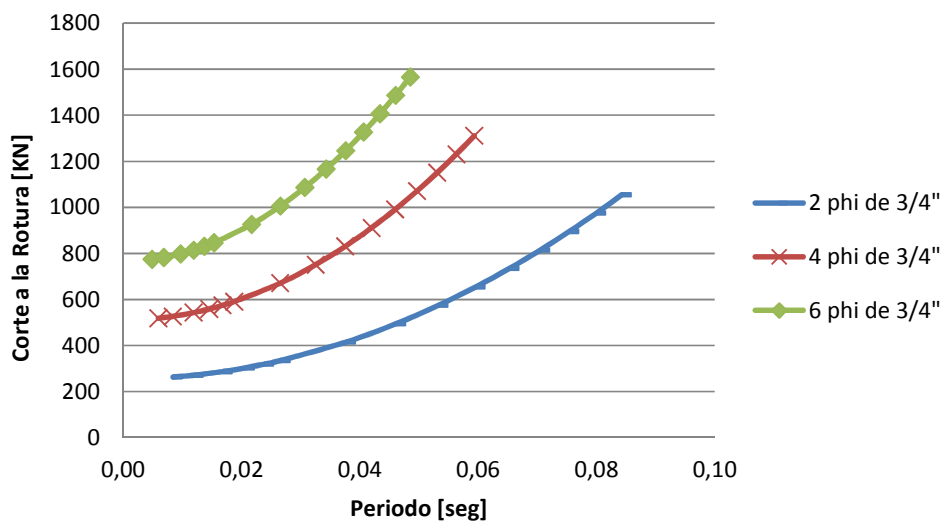


Figura 3.7 Corte en función del periodo esbeltez de 1.25 y diámetro Ø3/4"

3.2.3 Esbeltez =1.50

Tabla 3.12 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.50 y diámetro Ø3/8"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8"	0,71	$C = 32014p^2 + 9.901p + 53.011$
4Ø3/8"	2,85	$C = 164392p^2 + 0.0229p + 106.41$
6Ø3/8"	6,41	$C = 95865p^2 + 580.06p + 130.96$

Tabla 3.13 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.50 y diámetro Ø1/2"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2"	1,27	$C = 42473p^2 + 8.783p + 94.436$
4Ø1/2"	5,07	$C = 86167p^2 - 11.776p + 189.31$
6Ø1/2"	11,40	$C = 130675p^2 + 0.1188p + 283.75$

Tabla 3.14 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.50 y diámetro Ø3/4"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4"	2,85	$C = 64393p^2 + 0.002p + 212.82$
4Ø3/4"	11,40	$C = 130676p^2 + 0.0399p + 425.63$
6Ø3/4"	25,65	$C = 196051p^2 - 8.4432p + 638.6$

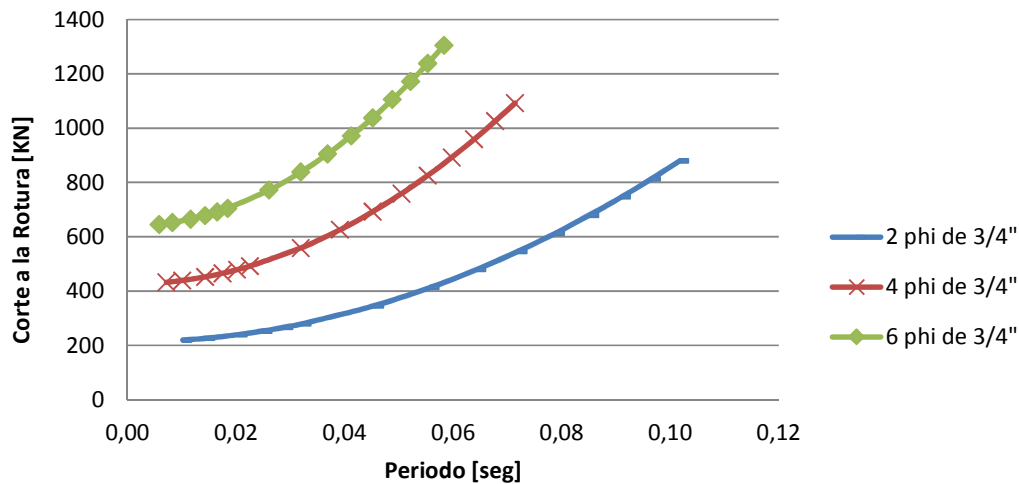


Figura 3.8 Corte en función del periodo esbeltez de 1.50 y diámetro Ø3/4"

3.2.4 Esbeltez =1.75

Tabla 3.15 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.75 y diámetro Ø3/8"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8"	0,71	$C = 21255p^2 - 46.31p + 47.881$
4Ø3/8"	2,85	$C = 41264p^2 + 6.3986p + 91.108$
6Ø3/8"	6,41	$C = 62736p^2 + 5.5339p + 136.65$

Tabla 3.16 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.75 y diámetro Ø1/2"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2"	1,27	$C = 27496p^2 + 2.2288p + 81.031$
4Ø1/2"	5,07	$C = 55090p^2 - 7.266p + 162.24$
6Ø1/2"	11,40	$C = 83124p^2 - 2.8137p + 243.25$

Tabla 3.17 Ecuaciones de corte para esbeltez de 1.75 y diámetro Ø3/4"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4"	2,85	$C = 41265p^2 + 6.338p + 182.32$
4Ø3/4"	11,40	$C = 83099p^2 + 0.808p + 364.74$
6Ø3/4"	25,65	$C = 124108p^2 + 1.3452p + 547.23$

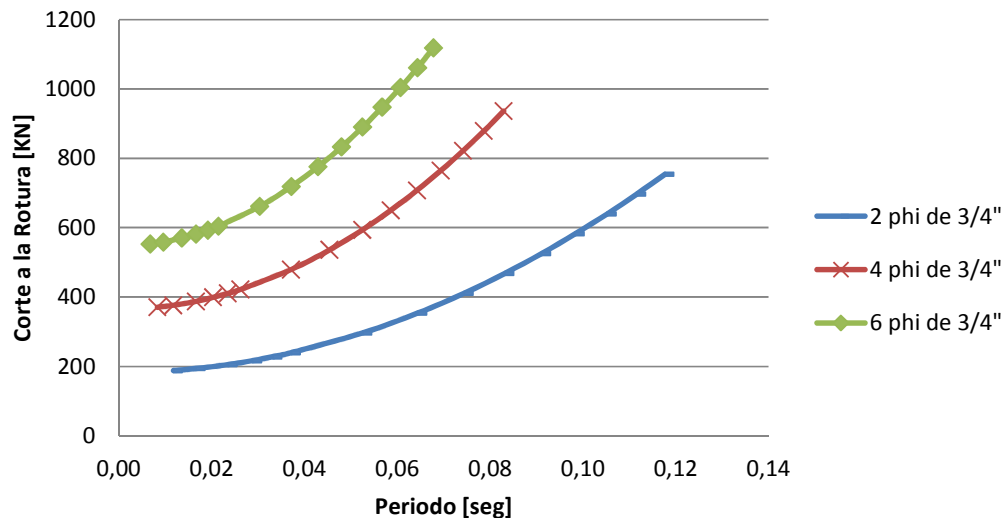


Figura 3.9 Corte en función del periodo esbeltez de 1.75 y diámetro Ø3/4"

3.2.5 Esbeltez =2.00

Tabla 3.18 Ecuaciones de corte para esbeltez de 2.00 y diámetro Ø3/8"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8"	0,71	$C = 27125p^2 - 0.014p + 49.879$
4Ø3/8"	2,85	$C = 53614p^2 + 0.0245p + 99.757$
6Ø3/8"	6,41	$C = 75347p^2 + 737.41p + 131.07$

Tabla 3.19 Ecuaciones de corte para esbeltez de 2.00 y diámetro Ø1/2"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2"	1,27	$C = 35560p^2 + 6.8731p + 88.552$
4Ø1/2"	5,07	$C = 71720p^2 - 13.496p + 177.52$
6Ø1/2"	11,40	$C = 108230p^2 + 0.077p + 266.02$

Tabla 3.20 Ecuaciones de corte para esbeltez de 2.00 y diámetro Ø3/4"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4"	2,85	$C = 81736p^2 + 0.0342p + 199.51$
4Ø3/4"	11,40	$C = 108230p^2 + 0.0215p + 399.03$
6Ø3/4"	25,65	$C = 161850p^2 + 0.0069p + 598.55$

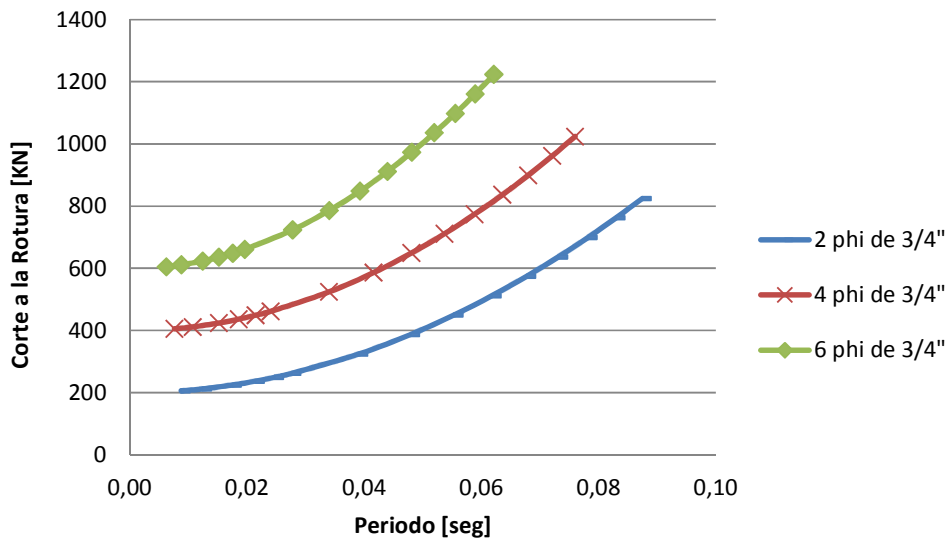


Figura 3.10 Corte en función del periodo esbeltez de 2.00 y diámetro Ø3/4"

3.2.6 Esbeltez =5.00

Tabla 3.21 Ecuaciones de corte para esbeltez de 5.00 y diámetro Ø3/8"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8"	0,71	$C = 881.72p^2 - 0.0928p + 15.967$
4Ø3/8"	2,85	$C = 1753.8p^2 + 0.018p + 31.921$
6Ø3/8"	6,41	$C = 2679.9p^2 - 0.1449p + 47.888$

Tabla 3.22 Ecuaciones de corte para esbeltez de 5.00 y diámetro Ø1/2"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2"	1,27	$C = 1172.9p^2 + 0.142p + 28.367$
4Ø1/2"	5,07	$C = 2336.7p^2 - 0.1214p + 56.756$
6Ø1/2"	11,40	$C = 3549.4p^2 + 0.0329p + 85.126$

Tabla 3.23 Ecuaciones de corte para esbeltez de 5.00 y diámetro Ø3/4"

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4"	2,85	$C = 1753.8p^2 + 0.0265p + 63.844$
4Ø3/4"	11,40	$C = 3549.4p^2 + 0.0336p + 127.69$
6Ø3/4"	25,65	$C = 5317.6p^2 - 5.249p + 192.01$

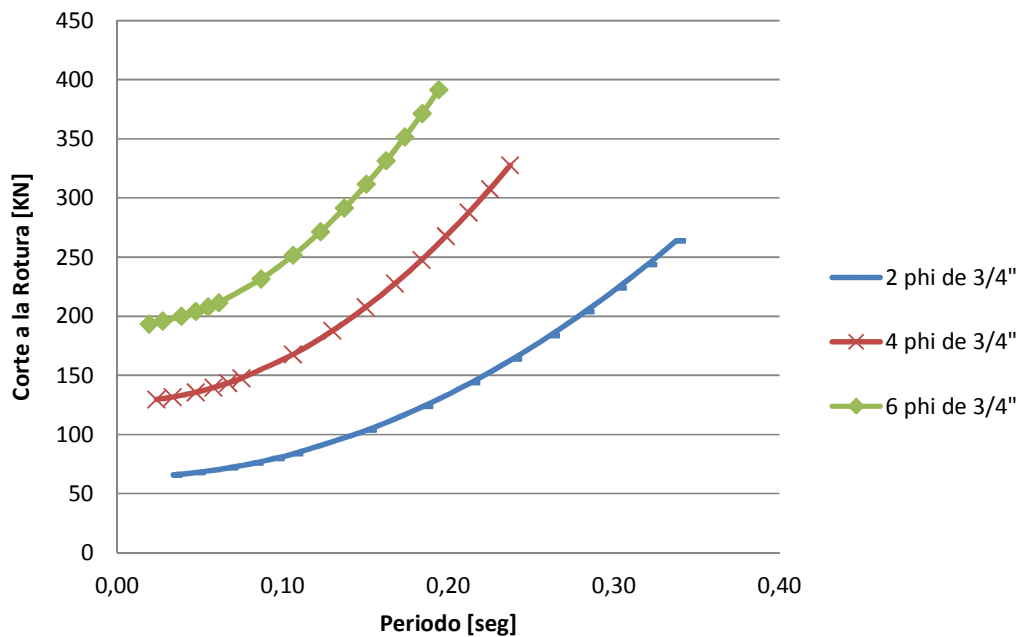


Figura 3.11 Corte en función del periodo esbeltez de 5.00 y diámetro Ø3/4"

3.2.7 Esbeltez =10.00

Tabla 3.24 Ecuaciones de corte para esbeltez de 10.00 y diámetro Ø3/8”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8”	0,71	$C = 125.98p^2 + 0.0153p + 8.3112$
4Ø3/8”	2,85	$C = 249.22p^2 + 0.0128p + 16.625$
6Ø3/8”	6,41	$C = 378.9p^2 - 0.0031p + 24.938$

Tabla 3.25 Ecuaciones de corte para esbeltez de 10.00 y diámetro Ø1/2”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2”	1,27	$C = 165.49p^2 + 0.0001p + 14.779$
4Ø1/2”	5,07	$C = 331.77p^2 - 0.023p + 29.56$
6Ø1/2”	11,40	$C = 501.73p^2 - 0.0064p + 44.337$

Tabla 3.26 Ecuaciones de corte para esbeltez de 10.00 y diámetro Ø3/4”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4”	2,85	$C = 1249.21p^2 + 0.0145p + 33.251$
4Ø3/4”	11,40	$C = 501.73p^2 - 0.0068p + 66.506$
6Ø3/4”	25,65	$C = 751.75p^2 + 0.0128p + 99.757$

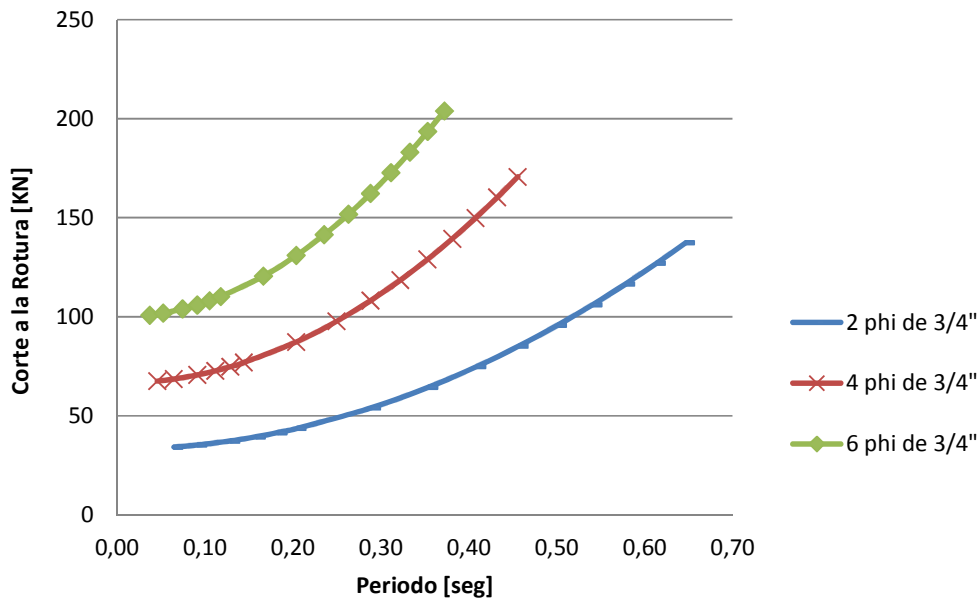


Figura 3.12 Corte en función del periodo esbeltez de 10.00 y diámetro Ø3/4”

3.2.8 Esbeltez =15.00

Tabla 3.27 Ecuaciones de corte para esbeltez de 15.00 y diámetro Ø3/8”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8”	0,71	$C = 33.25p^2 + 0.0003p + 5.3203$
4Ø3/8”	2,85	$C = 65.457p^2 - 7E - 05p + 10.641$
6Ø3/8”	6,41	$C = 99.715p^2 + 0.0023p + 15.961$

Tabla 3.28 Ecuaciones de corte para esbeltez de 15.00 y diámetro Ø1/2”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2”	1,27	$C = 43.916p^2 + 0.0028p + 9.4581$
4Ø1/2”	5,07	$C = 87.349p^2 - 0.0039p + 18.917$
6Ø1/2”	11,40	$C = 131.79p^2 - 2E - 05p + 28.376$

Tabla 3.29 Ecuaciones de corte para esbeltez de 15.00 y diámetro Ø3/4”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4”	2,85	$C = 65.491p^2 - 0.0483p + 21.297$
4Ø3/4”	11,40	$C = 131.76p^2 + 0.0326p + 42.554$
6Ø3/4”	25,65	$C = 197.04p^2 + 0.0015p + 63.845$

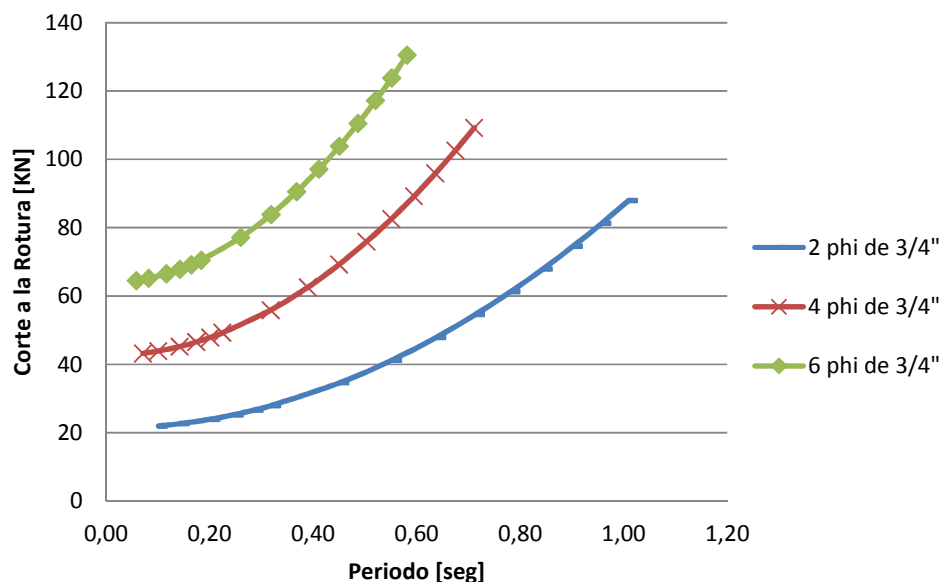


Figura 3.13 Corte en función del periodo esbeltez de 15.00 y diámetro Ø3/4”

3.2.9 Esbeltez =20.00

Tabla 3.30 Ecuaciones de corte para esbeltez de 20.00 y diámetro Ø3/8”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/8”	0,71	$C = 13.773p^2 - 0.0002p + 3.9903$
4Ø3/8”	2,85	$C = 27.405p^2 - 0.0008p + 7.9808$
6Ø3/8”	6,41	$C = 41.861p^2 + 0.0015p + 11.97$

Tabla 3.31 Ecuaciones de corte para esbeltez de 20.00 y diámetro Ø1/2”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø1/2”	1,27	$C = 18.334p^2 + 0.0004p + 7.0938$
4Ø1/2”	5,07	$C = 36.51p^2 - 0.01p + 14.19$
6Ø1/2”	11,40	$C = 55.461p^2 + 0.0005p + 21.282$

Tabla 3.32 Ecuaciones de corte para esbeltez de 20.00 y diámetro Ø3/4”

Diámetro equivalente por perno	Área equivalente por perno [cm ²]	Ecuación encontrada
2Ø3/4”	2,85	$C = 27.404p^2 - 0.0002p + 15.961$
4Ø3/4”	11,40	$C = 55.462p^2 + 0.0003p + 31.922$
6Ø3/4”	25,65	$C = 82.867p^2 + 9E - 05p + 47.884$

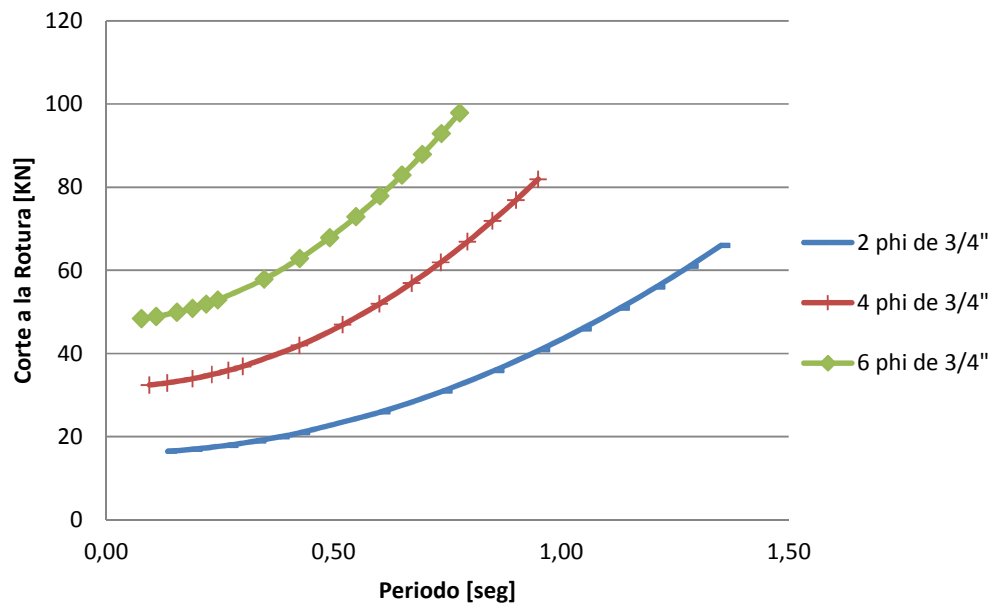


Figura 3.14 Corte en función del periodo esbeltez de 20.00 y diámetro Ø3/4”

3.3. Análisis de datos reales

Se analizó un compendio de datos, precedentes al terremoto del 27 de Febrero de 2010, que permitieron establecer los parámetros fundamentales mencionados en la Tabla 3.2. Los datos corresponden a una muestra tomada de 17 viñas ubicadas en la sexta región de Chile (Barros, 2005). En particular los estanques considerados en este análisis corresponden a los apoyados con anclajes y los que poseen falda con anclaje.

Para el cálculo del peso de los estanques seleccionados se consideró la suposición de despreciar el peso del manto, tapa y base de los estanques en relación al peso del contenido. La masa se calculó según la expresión (3.8)

$$Masa = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) (H)(\rho) \quad (3.8)$$

En donde:

D: Diámetro del estanque

H: Altura del estanque

ρ : Densidad del vino estimada en 994 [kg/m³]

De esta manera se tienen los datos resumidos en la Tabla 3.33, en donde se muestran las características relevantes de cada estanque. Además se muestra el cálculo de las esbelteces dados por la ecuación (3.7).

Tabla 3.33 Resumen de datos de estanques reales

Código	Altura [m]	Perímetro [m]	Diámetro [m]	Peso [KN]	Cantidad empadronada	Esbeltez del estanque
A0-1-A	4,3	13,0	4,14	557	5	1,0
A0-2-C	5,2	10,5	3,34	444	12	1,6
A0-3-A	3,5	10,4	3,31	293	36	1,1
A0-5-A	2,7	8,54	2,72	153	34	1,0
A2-1-K	4,0	11,0	3,50	375	36	1,1
A2-2-K	3,0	11,0	3,50	281	3	0,9
A4-5-A	4,0	8,0	2,55	199	6	1,6
A6-2-E	5,5	15,5	4,93	1023	10	1,1
A6-3-E	4,5	12,0	3,82	502	18	1,2
A7-3-A	3,8	11,5	3,66	389	40	1,0
A11-1-A	4,5	13,0	4,14	590	6	1,1
A13-6-F	4,0	11,4	3,63	403	24	1,1

3.3.1 Análisis tiempo historia

La idea principal fue modelar los estanques mediante modelos simples, detallados en el punto 3.1, obteniendo magnitudes de interés como lo son el coeficiente R obtenido a partir de (2.7) y el coeficiente Ω_0 según (2.8).

Para llevar a cabo esto se hicieron dos análisis en paralelo, el primero consistió en someter al modelo a un movimiento horizontal dado por un registro real tomado en la ciudad de Curicó con motivo del terremoto que asoló la zona centro sur de Chile el 27 de Febrero de 2010. De esta forma se obtuvieron dos sub-casos, el primero correspondiente a asumir que los pernos poseen un comportamiento lineal elástico y el segundo con una conducta no lineal como se detallada en la Figura 2.4.

Cabe destacar que este registro fue considerado por la cercanía de la región en que se tomaron los datos de los estanques. Las características específicas del registro se muestran tanto en la Tabla 3.34 como en la Figura 3.15 .

Tabla 3.34 Características del registro Curicó E-O

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Terremoto	Región del Maule
Año	2010
Ciudad	Curicó
Encargados del registro	UNIVERSIDAD DE CHILE-RENADIC
Dirección del registro	Este-Oeste
Frecuencia de muestreo	100[Hz]
Duración del registro	180[seg]
Pico de aceleración	4,056 [m/seg ²]
Tiempo del pico de aceleración	83,950[seg]

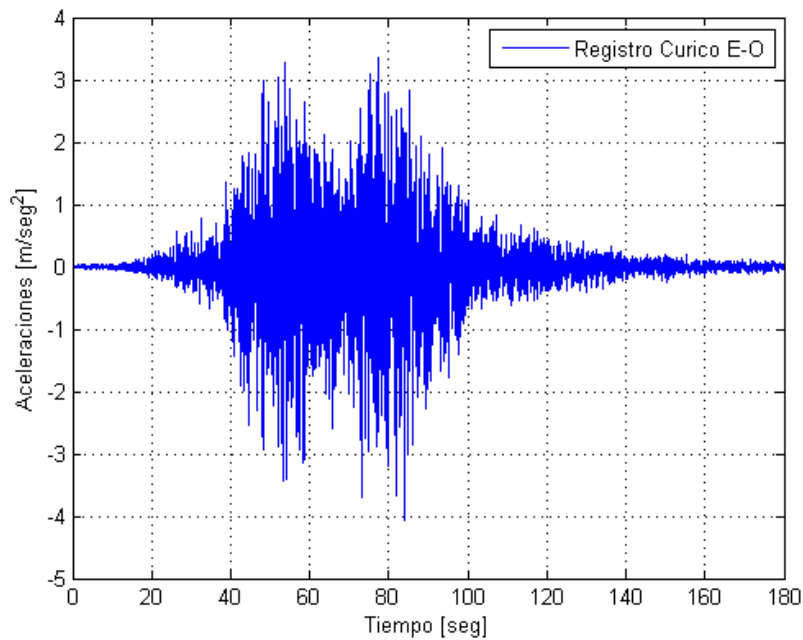


Figura 3.15 Registro de Curicó dirección E-O

El segundo análisis correspondió a un procedimiento de carga *pushover* de la estructura, específicamente se sometió el modelo a un control del desplazamiento horizontal de la masa con la finalidad de encontrar cuál es la fuerza que genera la rotura de uno de los pernos.

Los resultados para ambos análisis se muestran resumidos en la Tabla 3.35 y consideraron la aproximación de concentrar la masa en la mitad del manto de un estanque real.

Tabla 3.35 Cálculo de corte basal para una concentración de masa en la mitad de la altura

Código estanque	Altura modelo [m]	Diámetro pernos [cm]	Área pernos [m ²]	Largo pernos [m]	Sismo Curicó			Push-over	
					No Lineal	Lineal	R	No Lineal	Ω
					Max corte [KN]	Max corte [KN]		Max corte [KN]	
A0-1-A	2,13	1,91	0,0023	0,1524	1.646	2.393	1,5	2.320	1,4
A0-2-C	2,60	0,64	0,0002	0,0508	352	2.036	5,8	383	1,1
A0-3-A	1,75	1,91	0,0017	0,1524	1.103	1.221	1,1	1563	1,4
A0-5-A	1,35	1,91	0,0011	0,1524	645	645	1,0	1073	1,5
A2-1-K	2,00	0,95	0,0004	0,0762	503	1.655	3,3	627	1,2
A2-2K	1,50	0,95	0,0004	0,0762	875	1.197	1,4	1090	1,3
A4-5-A	2,00	0,95	0,0004	0,0762	261	837	3,2	345	1,3
A6-2-E	2,75	1,27	0,0004	0,1016	1.189	5.484	4,6	1189	1,1
A6-3-E	2,25	1,27	0,0004	0,1016	634	2.795	4,4	684	1,2
A7-3-A	1,90	1,27	0,0008	0,1016	747	1.655	2,2	960	1,3
A11-1-A	2,25	1,27	0,0008	0,1016	848	2.491	2,9	1102	1,2
A13-6-F	2,00	2,54	0,0015	0,2032	1.025	1.795	1,8	1469	1,4

Al basarse en la idealización de considerar que el estanque posee sólo un “modo impulsivo” por el hecho de permanecer colmado de vino (Malhotra, et al., 2000), se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.36

Tabla 3.36 Cálculo de corte para una concentración de masa en el modo impulsivo

Código estanque	Altura modelo [m]	Diámetro pernos [cm]	Área pernos [m ²]	Largo pernos [m]	Sismo Curicó			Push-over	
					No Lineal	Lineal	R	No Lineal	Ω
					Max corte [KN]	Max corte [N]		Max corte [KN]	
A0-1-A	1,896	1,91	0,0023	0,1524	1.902	2.347	1,2	2.600	1,4
A0-2-C	2,246	0,64	0,0002	0,0508	418	2157	5,2	443	1,1
A0-3-A	1,565	1,91	0,0017	0,1524	1.217	1222	1,0	1.749	1,4
A0-5-A	1,207	1,91	0,0011	0,1524	631	631	1,0	810	1,3
A2-1-K	1,788	0,95	0,0004	0,0762	569	1.681	3,0	702	1,2
A2-2K	1,332	0,95	0,0004	0,0762	629	1.172	1,9	819	1,3
A4-5-A	1,716	0,95	0,0004	0,0762	312	837	2,7	402	1,3
A6-2-E	2,459	1,27	0,0004	0,1016	1.211	4.915	4,1	1.331	1,1
A6-3-E	2,012	1,27	0,0004	0,1016	667	2.299	3,4	765	1,1
A7-3-A	1,695	1,27	0,0008	0,1016	805	1.676	2,1	824	1,0
A11-1-A	2,012	1,27	0,0008	0,1016	959	2.605	2,7	1.233	1,3
A13-6-F	1,788	2,54	0,0015	0,2032	1.168	1.701	1,5	1.644	1,4

Si se consideran valores estadísticos para las magnitudes calculadas en la Tabla 3.35 y la Tabla 3.36 se resumen valores relevantes como el coeficiente R y Ω_0 en la Tabla 3.37

Tabla 3.37 Resumen estadístico en los modelos simples

MAGNITUDES	Altura en la mitad del estanque		Altura asociada al autor (Malhotra, et al., 2000)	
	R	Ω_0	R	Ω_0
Promedio	2,8	1,3	2,5	1,2
Desviación Estándar Poblacional	1,5	0,1	1,2	0,1
Varianza Poblacional	2,2	0,0	1,5	0,0

3.3.2 Disipación de la energía

Teniéndose presente el comportamiento de los pernos ficticios mostrados en la Figura 2.4, se realizó un análisis *pushover* sobre el modelo simple con la finalidad de establecer la energía disipada por el perno al ser sometido a cargas de tracción.

Además, se calculó el amortiguamiento equivalente (Chopra, 1995) del perno en la estructura, entregando con ello una estimación de la influencia de los pernos en la disipación de la estructura analizada.

El procedimiento para realizar dichos cálculos se muestra en la Figura 3.16 y consistió básicamente en los siguientes pasos:

- i) Aplicar una carga para la rotura y establecer la energía disipada por el perno de anclaje bajo comportamiento no lineal de este.
- ii) Estimar una distribución de tensiones sobre el estaque que sea consistente con la carga de rotura (Virella, et al., 2005), permitiendo con ello establecer una energía de deformación tanto por flexión como por corte en el estaque. En este caso se consideró una distribución triangular sobre el estaque.
- iii) Establecer el amortiguamiento equivalente mediante la expresión dada por (3.9)

$$\zeta_{equi} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{So}} \quad (3.9)$$

En donde:

ζ_{equi} : Amortiguamiento equivalente.

E_D : Energía disipada.

E_{So} : Energía de deformación máxima.

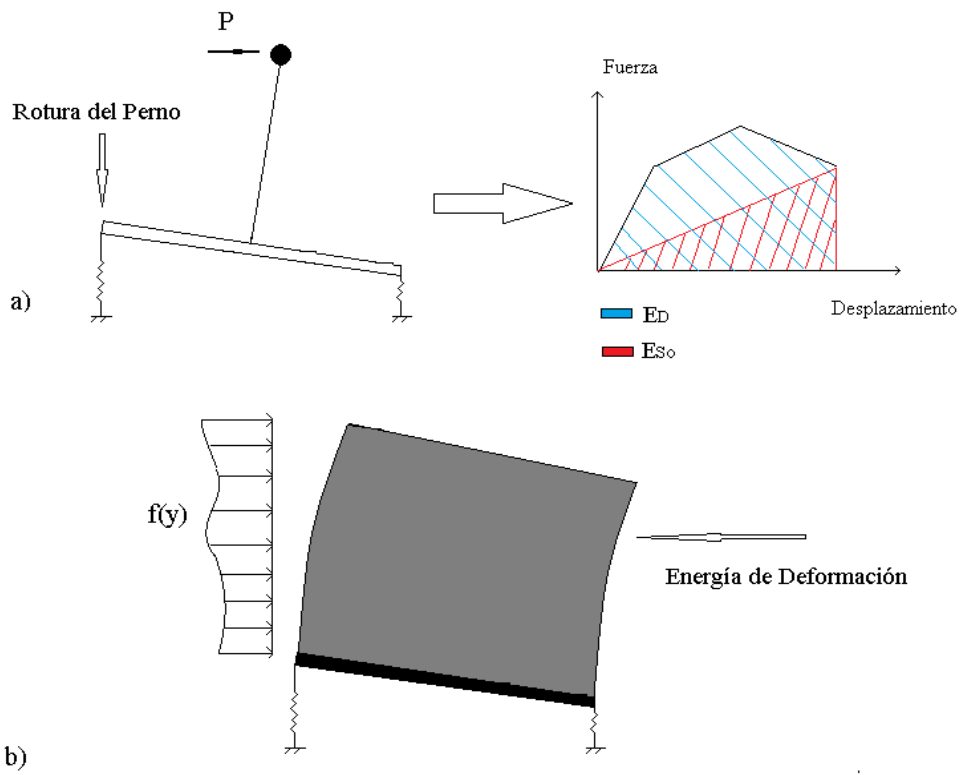


Figura 3.16 a) Energía disipada por el perno de anclaje; b) Energía acumulada por la deformación del estanque

De esta manera los resultados obtenidos para los modelos realizados quedan de manifiesto en la Tabla 3.38

Tabla 3.38 Energía disipada por los pernos y energía acumulada por la deformación del estanque

Código estanque	Asociado al perno		Asociado al estanque			Amortiguamiento equivalente
	E_D [KJ]	E_{So} [KJ]	Energía flexión [KJ]	Energía corte [KJ]	Energía total [KJ]	
A0-1-A	22,81	9,73	0,23	1,77	1,99	15%
A0-2-C	0,63	0,27	0,03	0,11	0,14	12%
A0-3-A	17,10	7,30	0,11	0,79	0,89	17%
A0-5-A	11,40	4,86	0,03	0,28	0,31	18%
A2-1-K	2,14	0,91	0,03	0,18	0,21	15%
A2-2K	2,14	0,91	0,02	0,17	0,19	15%
A4-5-A	2,14	0,91	0,02	0,07	0,09	17%
A6-2-E	2,53	1,08	0,09	0,59	0,68	11%
A6-3-E	2,53	1,08	0,04	0,23	0,27	15%
A7-3-A	5,07	2,16	0,04	0,30	0,34	16%
A11-1-A	5,07	2,16	0,06	0,41	0,47	15%
A13-6-F	20,27	8,65	0,14	0,93	1,06	17%

CAPÍTULO 4: MODELACIÓN ESTRUCTURA REAL

La elección de un estanque vitivinícola se sustentó principalmente debido a la costumbre chilena de diseñar este tipo de estanques con elementos de anclaje como “sillas” o pernos (Rudolph, 2010).

La modelación efectuada al estanque se realizó en el programa computacional ANSYS (ANSYS ®, 2012) y consideró tanto el comportamiento lineal como el no lineal de los materiales.

Los análisis realizados para cada uno de los modelos fueron del tipo *pushover* y cíclico, en donde ambos se basaron en desplazamientos producidos en la tapa del estanque.

4.1. Descripción general del estanque

En general los dos tipos de estanques que presentan mayor uso en el país dado el cumplimiento de la normativa chilena NCh2369 (Rudolph, 2010) son:

i) Estanques elevados

Estos estanques se diseñan considerando la movilidad del líquido contenido en altura y van soportados sobre columnas con tensores laterales, de manera ideal conformados en forma de “X” para armar la estructura y tomar las cargas cíclicas del sismo.

ii) Estanques verticales apoyados sobre suelo

Estos estanques suelen ser cilíndricos o rectangulares, simétricos respecto a un eje vertical y con el fondo apoyado sobre el suelo o fundaciones.



Figura 4.1 Estanques apoyados sobre el suelo

Por otra parte, para establecer el análisis comparativo de los factores de respuesta estructural “R” en el modelo real y el dado por la norma NCH2369 (Instituto Nacional de Normalización, 2003) debemos considerar que el valor dado para estanques de acero corresponde a cuatro, como se muestra en la Tabla 2.3.

El estanque escogido se encuentra dentro de los analizados en la Tabla 3.33 y se denomina con el código A6-2-E. De esta forma a continuación se describe la estructura de manera específica.

4.1.1 Geometría y cantidad de elementos

Las características físicas están asociadas a un estanque de forma cilíndrica apoyado sobre el suelo con la presencia de anclajes, similar al mostrado en la Figura 4.1. Dichas propiedades se aprecian en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Características del estanque A6-2-E (Barros, 2005)

PARÁMETRO	MAGNITUD	COMENTARIO
Altura	5,50 [m]	-
Perímetro	15,50 [m]	-
Diámetro	4,93 [m]	-
Cantidad de Estanques	10	-
Cantidad de Sillas	6	-
Cantidad de pernos	6	Único perno de ½” por silla
Espesor Manto	2[mm]	-
Espesor Tapas y Base	2[mm]	-

En donde el tipo de anclaje que posee el estanque se muestra en la Figura 4.2

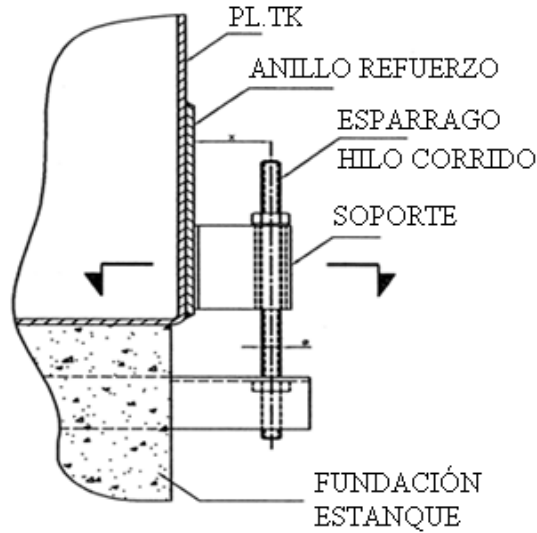


Figura 4.2 Vista de perfil de la silla utilizada en estanque A6-2-E (Barros, 2005)

4.1.2 Materiales

Para la presente modelación se utilizaron tres materiales de características diferentes. El primero de los materiales se definió como A304L y se asignó principalmente al manto, tapas, base y sillas del modelo. El segundo de ellos se estipuló como A36 Lineal y corresponde al análisis basado en un comportamiento lineal de los pernos de anclaje. Por último se utilizó el material denominado A36 Trilineal y corresponde a un comportamiento similar al mostrado en el cuadrante positivo de la Figura 4.4.

Tabla 4.2 Características de los aceros utilizados

	Unidades	A304L	A36 Lineal	A36 Trilineal
Densidad	[kg/m ³]	8000	7850	7850
Coefficiente térmico de expansión	[K ⁻¹]	1,2E-05	1,2E-05	1,2E-05
Comportamiento	-	Bilineal	Lineal	Trilineal
Tensión fluencia	[MPa]	210	250	250
Tensión máx. esfuerzo	[MPa]	-	15476	400
Tensión rotura	[MPa]	220	23810	410
Módulo de Poisson		0,3	0,3	0,3

En donde las magnitudes anteriores se representan de manera gráfica en la Figura 4.3 y la Figura 4.4

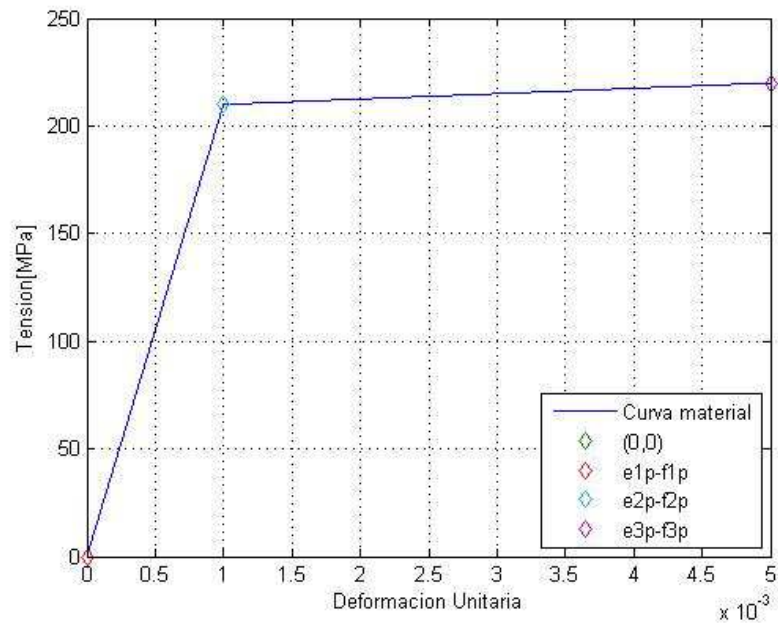


Figura 4.3 Curva de comportamiento A304L

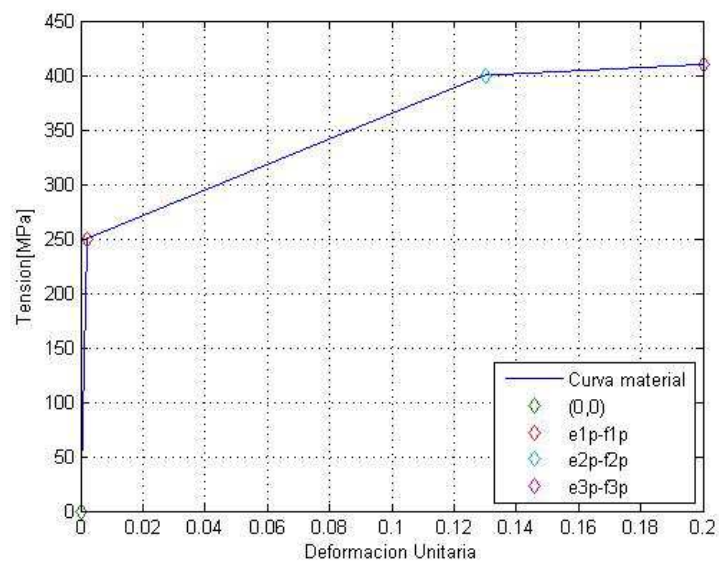


Figura 4.4 Curva de comportamiento A36 Trilineal

4.1.3 Altura del líquido

Para llevar a cabo una comparación con los valores entregados por el “modelo simple” se estimó que el estaque está repleto de vino, es decir, poseía sólo el modo impulsivo. La altura a la cual se concentra la masa corresponde a 2,459 [m] como se muestra en la Tabla 3.36

4.1.4 Cálculo de pesos

La estimación de la masa del modelo se realizó mediante la expresión (3.8) y corresponde al valor mostrado en la Tabla 3.33. En este caso el modelo tuvo una masa de 104.360 [kg]. Además el programa estimó de forma independiente el cálculo del peso de los elementos metálicos basándose en la densidad y volumen que estos poseían.

4.2. Modelación

La modelación del estanque vitivinícola se llevó a cabo mediante el programa ANSYS (ANSYS ®, 2012). El desarrollo se basó en etapas que se asociaron principalmente a la creación de los elementos, la interacción entre éstos y la respuesta global ante cargas externas.

4.2.1 Elementos

En el presente modelo existieron veinte elementos, los cuales fueron definidos como “elementos sólidos” con la finalidad de cumplir con las condiciones de apoyo requeridas.

El detalle de la cantidad y tipo de elemento se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Cantidad de elementos por estanque

ELEMENTO	CANTIDAD
Manto y tapas	1
Sillas	6
Cabezales del perno	6
Hilos del perno	6

Los elementos detallados en la Tabla 4.3 se plasman en la Figura 4.5 y la Figura 4.6.

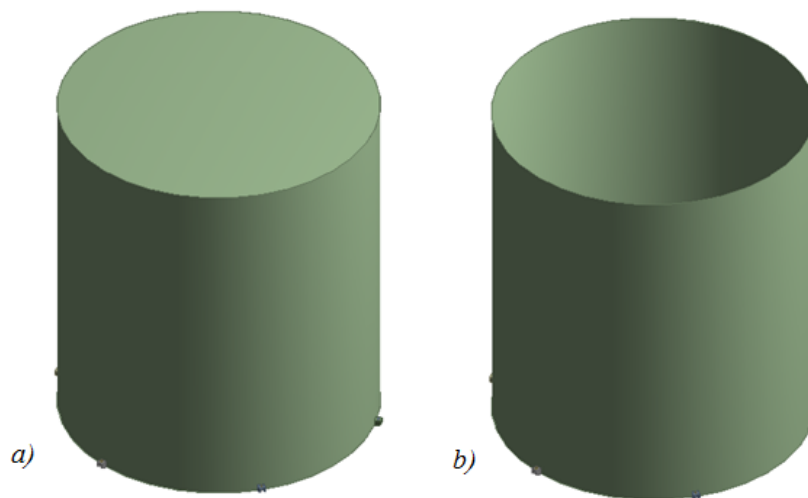


Figura 4.5 Modelación Estanque Real; a) Completo; b) Sin tapa.

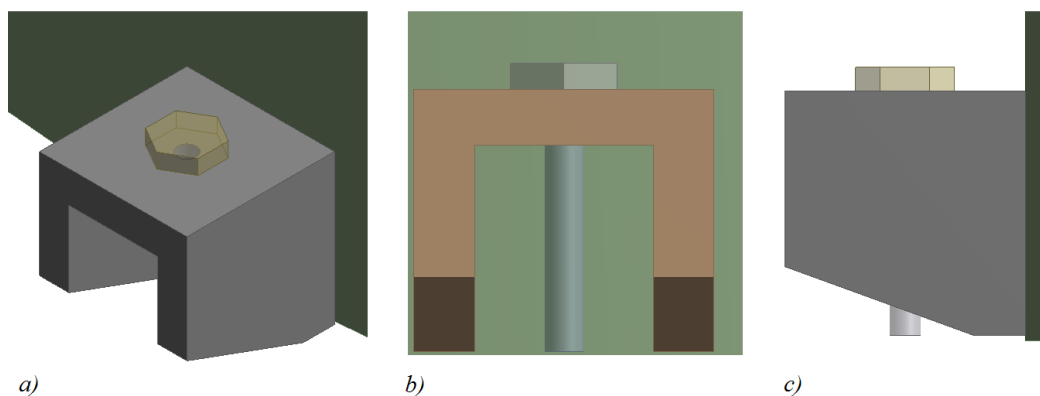


Figura 4.6 Modelación Sillas; a) Vista 3D; b) Vista lateral; c) Vista perfil.

4.2.2 Discretización de la malla

La discretización utilizada para todos los elementos sólidos en esta modelación fue la opción automática que entrega el programa ANSYS, esto se debió al gran refinamiento que este tuvo por defecto.

Dicha discretización consideró tanto elementos tetraédricos como hexaédricos, es decir, elementos formados por cuatro y ocho nodos respectivamente.

La cantidad de nodos establecidos en este caso fueron 109.968 y el número de elementos 52.976. En este aspecto se debe destacar que el programa seleccionó la forma entre una gama de opciones, como exaedros, tetraedros, cuadriláteros, etc.

La discretización se muestra en la Figura 4.7

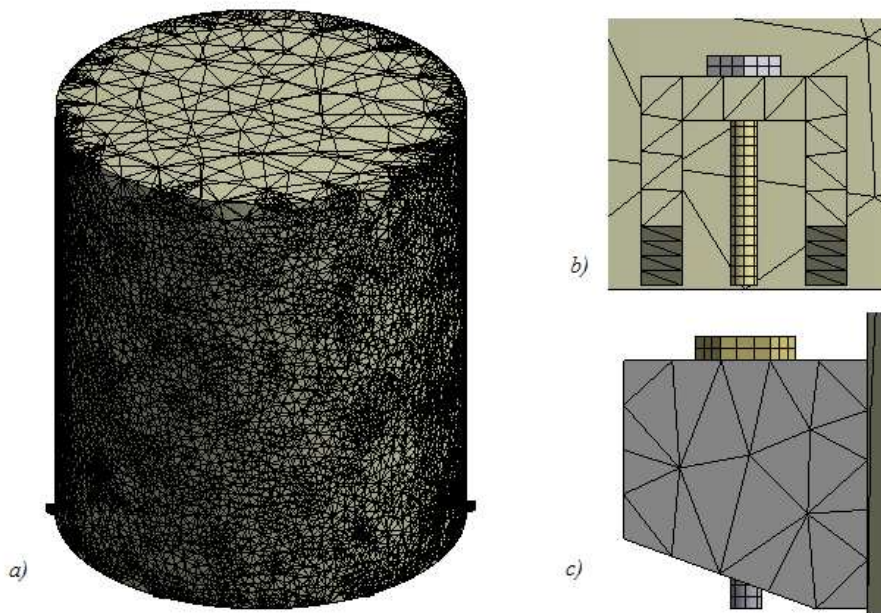


Figura 4.7 Mallado de la estructura; a) Vista general; b) Vista lateral de la silla; c) Vista perfil de la silla.

4.2.3 Condiciones de conexión entre los elementos

Dado que se tienen 19 elementos diferentes se hace necesario establecer la relación existente entre cada uno de estos. El programa en sí es capaz de identificar posibles conexiones, sin embargo, se corre el riesgo de aplicar condiciones inexistentes.

En los modelos analizados se establecieron las siguientes interacciones:

- i) La relación entre el manto y las “sillas” se define como *bonded*, es decir, se tiene un comportamiento solidario.
- ii) El contacto entre “sillas” e hilos es *frictionless*, es decir, no existe fricción entre los elementos.
- iii) El contacto entre “sillas” y cabezales es *frictionless*.
- iv) La relación entre cabezales e hilos es *bonded*.

4.2.4 Condiciones de apoyo

Las condiciones de borde aplicadas a los elementos mencionados anteriormente consisten en restricciones que buscan representar el tambaleo que se produce en la estructura al momento de ser solicitada.

Se tienen básicamente las siguientes restricciones:

- i) Empotramiento de las caras inferiores de los pernos de anclaje
- ii) En la base del estanque existe un apoyo que resiste sólo compresión
- iii) El movimiento de la base del estanque se restringe en el sentido lateral y longitudinal, lo que permite simular el comportamiento de una llave de corte.

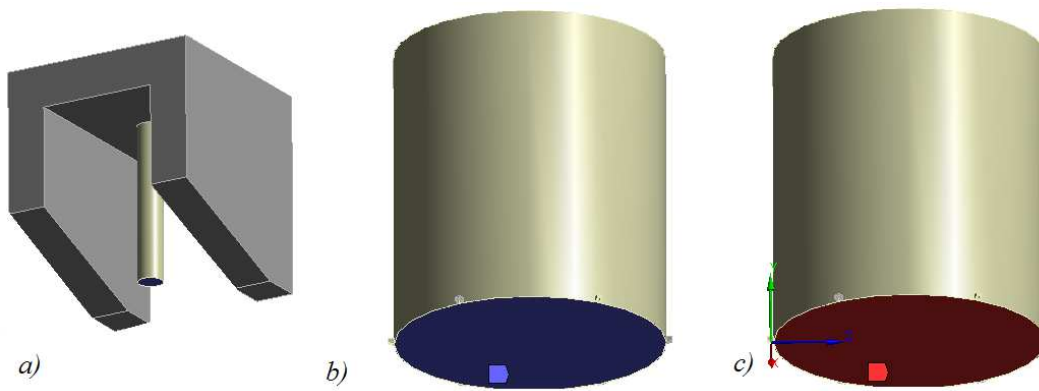


Figura 4.8 Condiciones de apoyo; a) Empotramiento perno; b) Compresión base; c) Condición de desplazamiento

4.3. Análisis

Al igual que el modelo detallado en el punto 3.3 este prototipo se vió sometido a dos tipos de estudio. El primero consistió en la aplicación de un desplazamiento lateral en el sector superior del estanque (Tapa) y la segunda en la asignación de un desplazamiento “cíclico” en el mismo sector que la condición anterior.

Para el análisis *pushover* se fijó un límite en el desplazamiento lateral con el objetivo de producir deformaciones considerables en los pernos evitando la fractura, esta cota se indujo con la finalidad de evitar problemas de convergencia en el cálculo numérico.

Para el presente modelo se estableció que un valor aceptable de paso de desplazamiento estaba dado por 1,4 [mm] y se decidió aplicar este desplazamiento en 20 pasos iguales. Aspecto que se aprecia en la Tabla 4.4

Tabla 4.4 Análisis *pushover*

Paso	Desplazamiento [mm]	Paso	Desplazamiento [mm]
1	-	11	14,00
2	1,40	12	15,40
3	2,80	13	16,80
4	4,20	14	18,20
5	5,60	15	19,60
6	7,00	16	21,00
7	8,40	17	22,40
8	9,80	18	23,80
9	11,20	19	25,20
10	12,60	20	26,60

Los desplazamientos mostrados en la Tabla 4.4 se reflejan en la Figura 4.9.

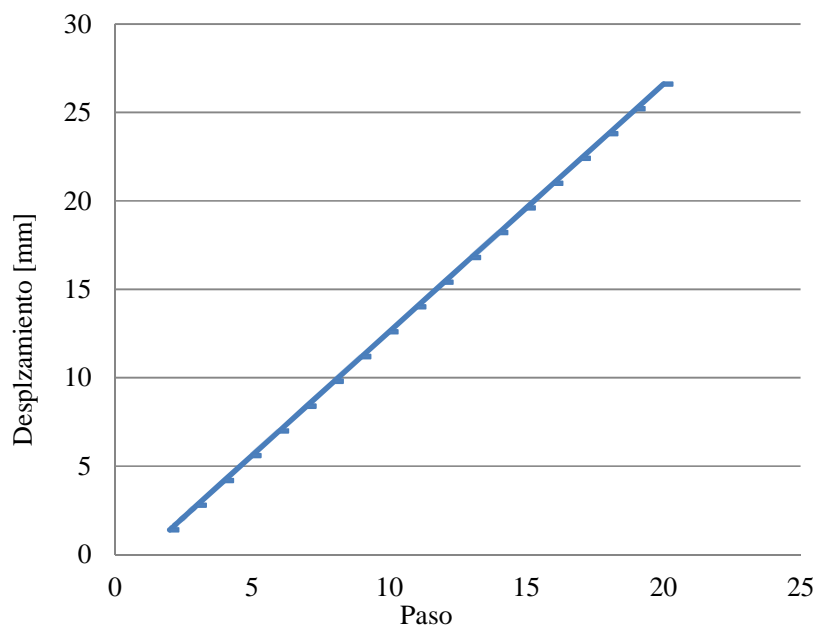


Figura 4.9 Análisis *pushover*

El análisis cíclico se basó en desplazamientos similares al detallado anteriormente, sin embargo, el objetivo fue diferente y por ende se llevaron a cabo de manera distinta. El paso de desplazamiento corresponde a 3,5[mm] y la cantidad a 19. Esto se aprecia de manera patente en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Análisis cíclico

Paso	Deformación [m]	Paso	Deformación [m]
1	-	11	-10,50
2	3,50	12	10,50
3	-3,50	13	-10,50
4	3,50	14	14,00
5	-3,50	15	-14,00
6	7,00	16	14,00
7	-7,00	17	-14,00
8	7,00	18	17,50
9	-7,00	19	-17,50
10	10,50		

De forma similar al análisis de *pushover* se establecen los valores mostrados en la Tabla 4.5 en la Figura 4.10.

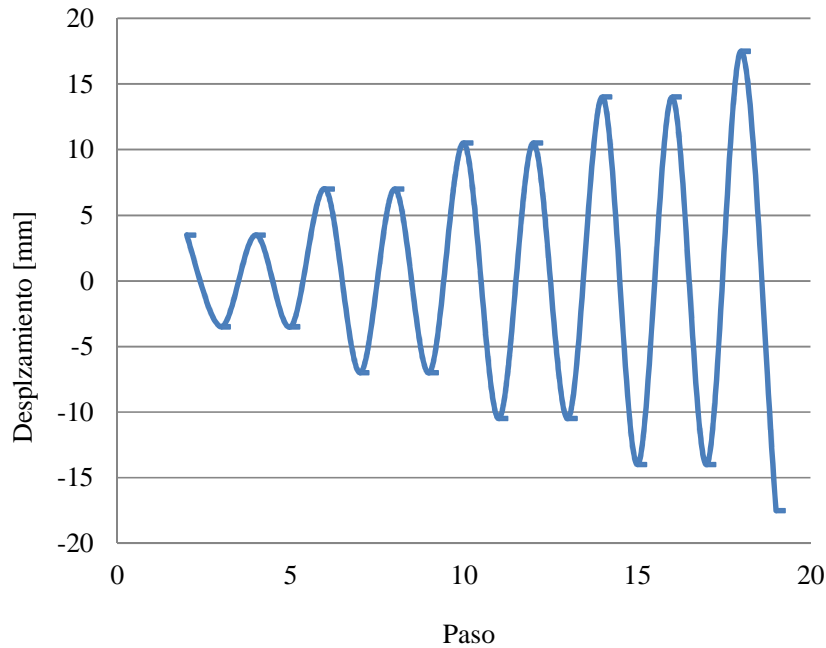


Figura 4.10 Análisis cíclico

4.3.1 Comportamiento No Lineal del estanque bajo *pushover*

En esta sección se establecen los resultados obtenidos al realizar el análisis *pushover* asumiendo un comportamiento no lineal por parte de los materiales.

La solución obtenida se enfocó esencialmente en las deformaciones y tensiones presentes en elementos como la tapa y el manto, así como en los esfuerzos resistidos por los apoyos.

En una primera instancia existieron esfuerzos asociados a las presiones hidrostáticas que produjo el contenido de vino, las cuales se concentraron esencialmente en las virolas inferiores del estanque.

En una segunda etapa se produjeron esfuerzos debido al desplazamiento del sector superior, que se concentraron en el sector de los pernos de anclaje.

Ambos aspectos anteriores quedan manifiestos en la Figura 4.11.

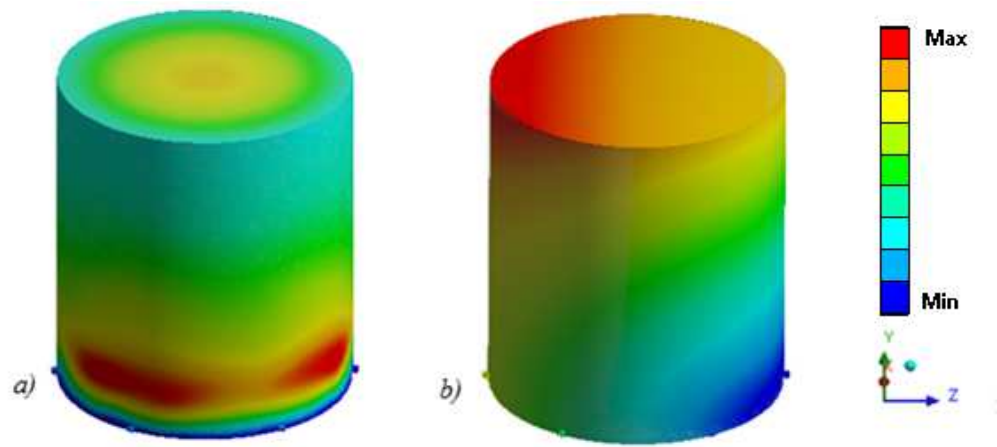


Figura 4.11 Deformaciones en estanque; a) Debido a la presión hidrostática; b) Debido al análisis *pushover*

Las tensiones y deformaciones asociadas a manto y tapa se exponen en la Tabla 4.6 y la Tabla 4.7.

Tabla 4.6 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento *pushover* y respuesta no lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,64	4	11	16,83	45
2	1,57	13	12	18,68	45
3	2,95	21	13	20,53	46
4	4,50	27	14	22,39	46
5	6,17	32	15	24,25	46
6	7,88	35	16	26,12	46
7	9,60	39	17	27,99	47
8	11,36	42	18	29,87	47
9	13,14	44	19	31,75	46
10	14,98	44	20	33,63	46

Tabla 4.7 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento *pushover* y respuesta no lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,73	147	11	14,00	365
2	1,40	142	12	15,40	379
3	2,80	252	13	16,80	393
4	4,20	264	14	18,20	401
5	5,60	277	15	19,60	403
6	7,00	292	16	21,00	408
7	8,40	306	17	22,40	410
8	9,80	321	18	23,80	409
9	11,20	336	19	25,20	408
10	12,60	351	20	26,60	410

En los “pasos superiores” o deformaciones mayores se tienen desplazamientos que producen la fluencia de los materiales, esto se expone tanto en la Figura 4.12 como en la Figura 4.13.

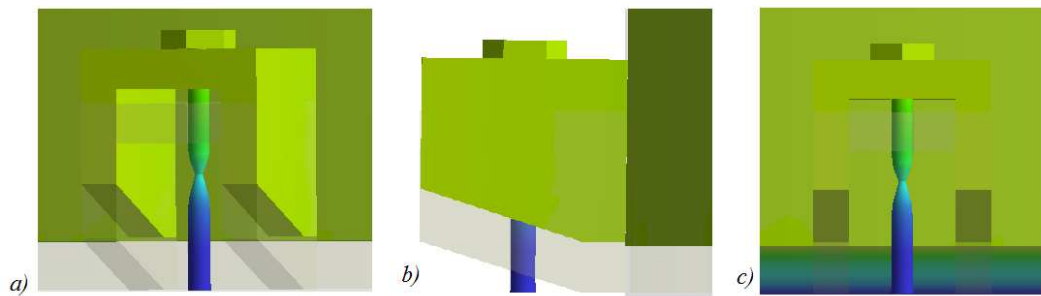


Figura 4.12 Deformación en la silla, caso *pushover* con comportamiento no lineal; a) Vista 3D; b) Vista perfil; c) Vista lateral

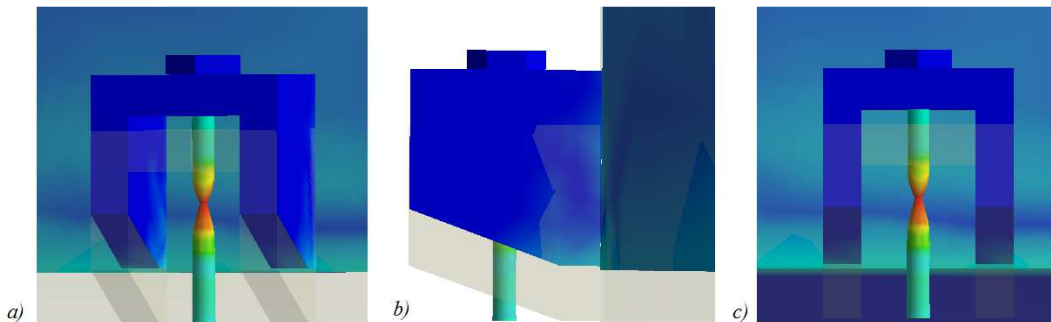


Figura 4.13 Tensiones en la silla, caso *pushover* con comportamiento no lineal; a) Vista 3D; b) Vista perfil; c) Vista lateral

Otro aspecto que se cuantificó fue la relación entre la fuerza que se produjo en la tapa y la que resistió el apoyo basal. Para todos los pasos establecidos los valores fueron uno, lo que demostró que los pernos no tomaron corte en el análisis.

4.3.2 Comportamiento Lineal del estanque bajo *pushover*

El análisis presente en esta sección fue similar al caso anterior debido a que se aplican las mismas condiciones de desplazamiento, sin embargo, existió una diferencia sustancial en la respuesta obtenida debido al cambio en las propiedades de los materiales. En este caso los materiales se asumieron lineales elásticos.

La tendencia de presentar tensiones mayores en las virolas inferiores siguió presente en este modelo debido a que la presión hidrostática produjo esfuerzos lineales en el material del manto.

Por otro lado, al comparar el comportamiento producido debido al análisis *pushover* se tuvieron diferencias en las deformaciones existentes en los elementos como mantos y tapas.

Ambos aspectos se visualizan en la Figura 4.14

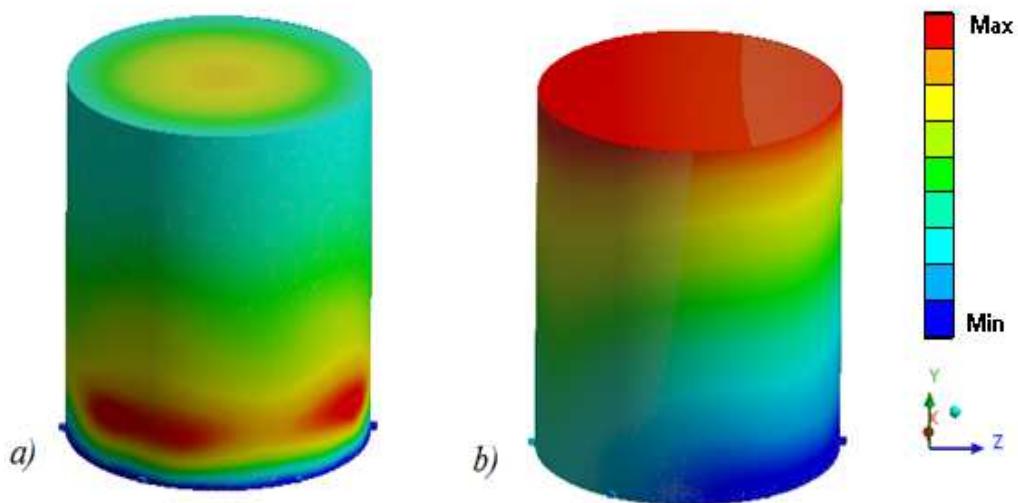


Figura 4.14 Deformaciones en el estanque; a) Debido a presión hidrostática; b) Debido a *pushover*

Con la finalidad de comparar el comportamiento de la tapa y el manto con respecto a la modelación no lineal se plantean las máximas deformaciones y tensiones en los elementos a través de todo el análisis. Estos valores se resumen en la Tabla 4.8 y Tabla 4.9

Tabla 4.8 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento *pushover* y respuesta lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,64	4	11	15,24	86
2	1,57	13	12	16,80	93
3	2,95	22	13	18,35	101
4	4,41	30	14	19,91	109
5	5,95	39	15	21,46	116
6	7,49	47	16	23,02	124
7	9,04	54	17	24,58	132
8	10,59	62	18	26,13	139
9	12,14	70	19	27,69	147
10	13,69	78	20	29,25	154

Tabla 4.9 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento *pushover* y respuesta lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,74	73	11	14,00	500
2	1,40	81	12	15,40	558
3	2,80	88	13	16,80	616
4	4,20	109	14	18,20	674
5	5,60	161	15	19,60	733
6	7,00	214	16	21,00	792
7	8,40	271	17	22,40	850
8	9,80	328	18	23,80	909
9	11,20	385	19	25,20	968
10	12,60	443	20	26,60	1028

Como se aprecia en la Figura 4.15 y la Figura 4.16 existieron diferencias en el comportamiento de los pernos en comparación con el análisis lineal, estas diferencias se manifestaron de manera grafica mediante la no presencia de estricción en los anclajes.

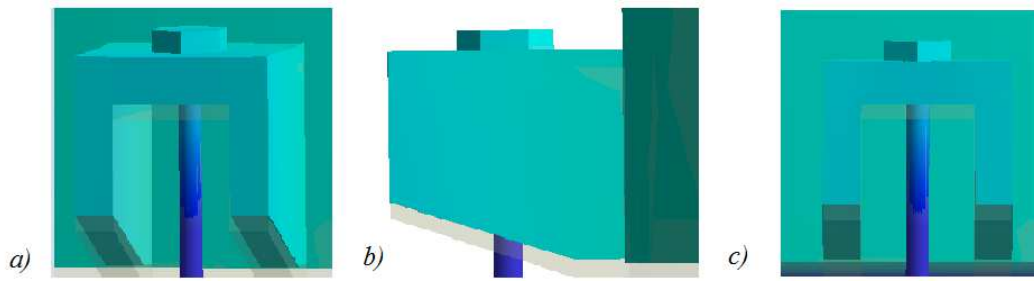


Figura 4.15 Deformación en la silla, caso *pushover*; a) Vista 3D;b) Vista perfil; c) Vista lateral

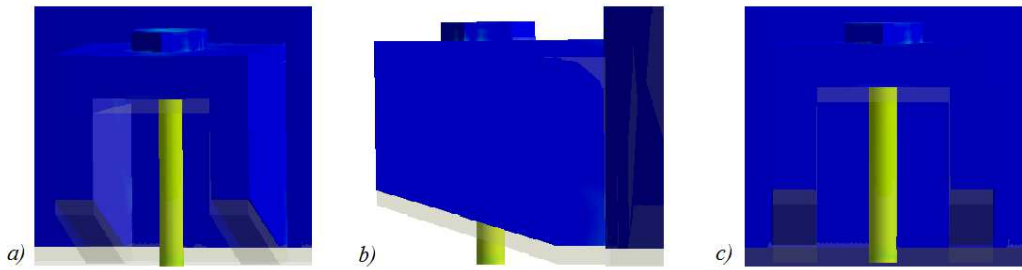


Figura 4.16 Tensiones en la silla, caso *pushover*; a) Vista 3D;b) Vista perfil; c) Vista lateral

La relación entre la fuerza ejercida en la tapa y la reacción por parte de la llave de corte tuvo valores similares al modelo anterior, lo que ratifica la correcta transmisión de esfuerzos

4.3.3 Comportamiento No Lineal del estanque bajo desplazamiento cíclico

Los resultados obtenidos en este análisis profundizaron el estudio en el comportamiento de los pernos de anclaje, específicamente en la forma en que estos se comportan ante cargas cíclicas.

Al igual que en los casos anteriores se plantean las tensiones y deformaciones máximas obtenidas tanto en el manto como en la tapa con la finalidad de comparar la respuesta de los elementos al variar las propiedades del material.

Tabla 4.10 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento cíclico y respuesta no lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,64	3,95	11	12,28	39,02
2	3,69	24,33	12	12,31	40,67
3	3,69	23,83	13	12,28	39,02
4	3,69	24,33	14	16,93	41,74
5	3,69	23,83	15	16,90	39,76
6	7,88	35,30	16	16,93	41,73
7	7,87	33,21	17	16,90	39,74
8	7,88	35,30	18	21,58	42,41
9	7,87	33,21	19	21,54	40,42
10	12,31	40,68			

Tabla 4.11 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento cíclico y respuesta no lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,84	73,07	11	12,28	135,16
2	3,69	94,09	12	12,31	136,23
3	3,69	94,69	13	12,28	135,14
4	3,69	94,09	14	16,93	138,57
5	3,69	94,69	15	16,90	138,12
6	7,88	121,96	16	16,93	138,62
7	7,87	121,21	17	16,90	138,06
8	7,88	121,96	18	21,58	139,08
9	7,87	121,21	19	21,54	141,22
10	12,31	136,27			

Como se aprecia en la Tabla 4.10 y Tabla 4.11 tanto la “tapa” como el manto del estanque no alcanzaron la fluencia del material, debido a que en este caso se permitió la fluencia de los pernos y por ende se tuvo una menor rigidez al resistir el movimiento de la estructura.

Ahora bien, para entender el efecto que produjeron los desplazamientos en los pernos se decidió centrar el análisis en los pernos ubicados en los extremos del estanque, específicamente en el perno izquierdo y derecho según muestra la Figura 4.17

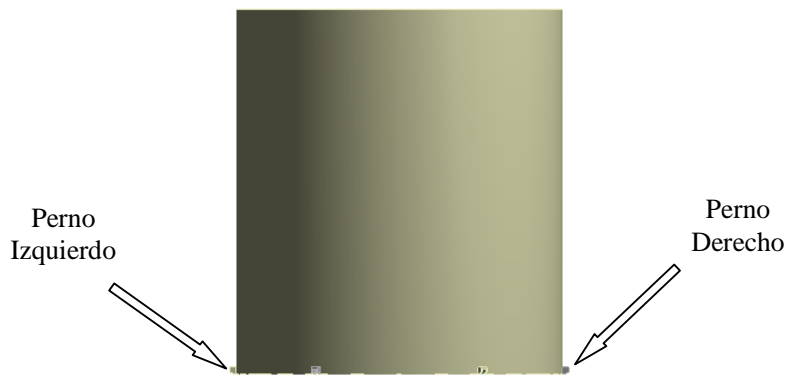


Figura 4.17 Distribución de pernos para el análisis cíclico

Teniéndose presente lo anterior, se expuso un paralelo entre las tensiones presentes en los pernos de anclaje extremos. Esto queda planteado en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Máxima tensión de los pernos de anclaje ante carga cíclica, respuesta no lineal de la estructura

Paso	Tensión perno derecho [MPa]	Tensión perno izquierdo [MPa]	Paso	Tensión perno derecho [MPa]	Tensión perno izquierdo [MPa]
1	90	38	11	109	330
2	258	38	12	328	124
3	55	258	13	109	330
4	258	66	14	367	123
5	57	258	15	135	367
6	292	66	16	367	153
7	89	292	17	135	367
8	292	104	18	400	146
9	89	292	19	152	400
10	330	103			

Además se expresan las tensiones máximas y mínimas con la finalidad de comprender en mayor detalle los esfuerzos a los que fueron sometidos los pernos. Ambos aspectos mostrados en la Figura 4.18 y la Figura 4.19.

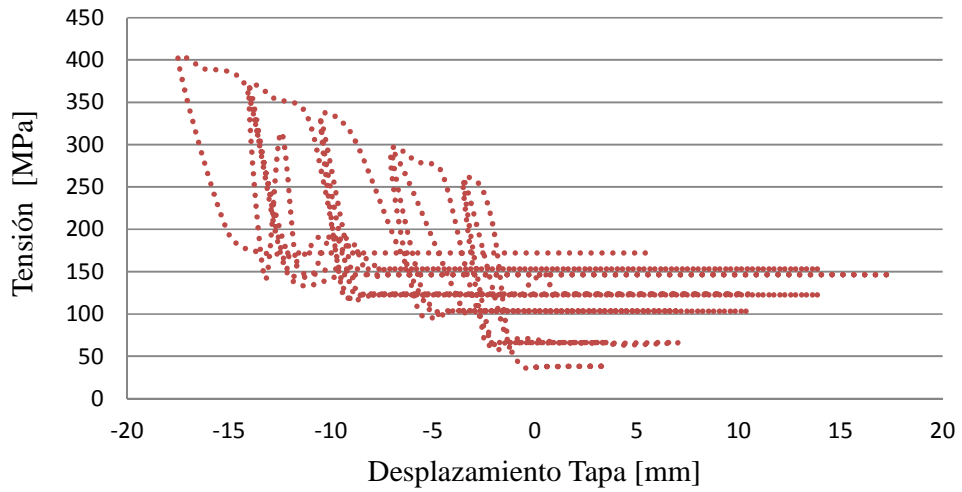


Figura 4.18 Tensiones máximas del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura

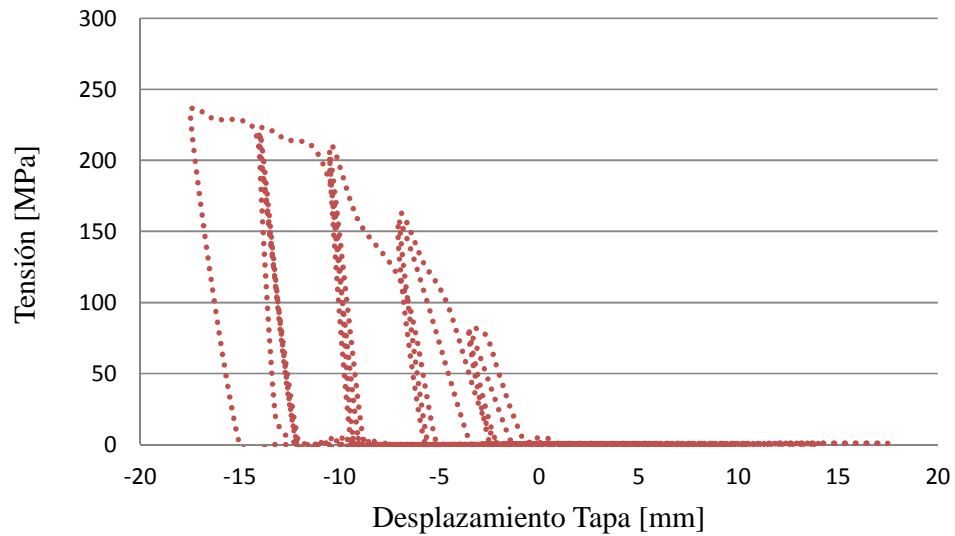


Figura 4.19 Tensiones mínimas del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura

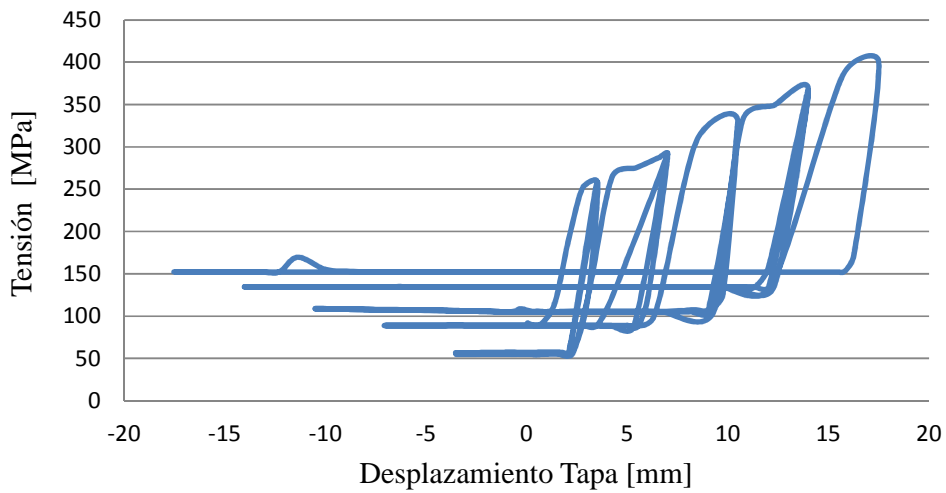


Figura 4.20 Tensiones máximas del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura

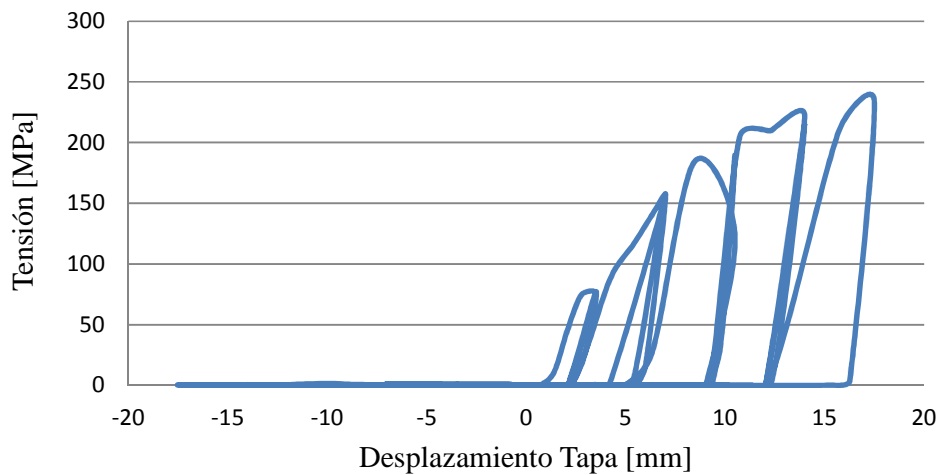


Figura 4.21 Tensiones mínimas del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura

Según lo establecido en los comportamientos anteriores, existen tensiones remanentes al considerar las tensiones máximas en cada ciclo. Esto se debió por las tensiones locales producidas por la flexión en el perno, específicamente en el tope con la silla.

Además, mediante el análisis de las tensiones mínimas y la opción gráfica del programa se puede establecer que la modelación representa la condición real de comportamiento de los pernos ante cargas cíclicas, manteniendo incluso las deformaciones remanentes. Esto se muestra en la Figura 4.22.

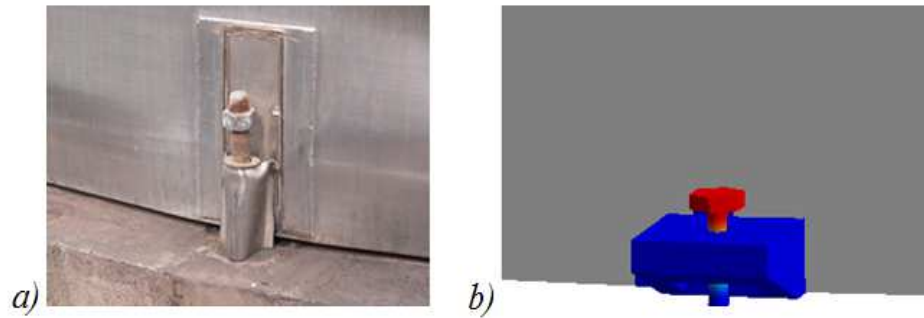


Figura 4.22 Deformación remanente; a) Real; b) Modelo

Por otra parte, y de manera similar a los casos anteriores la relación entre fuerzas ejercidas y resistentes corresponde a uno. Por lo cual no existieron solicitaciones al corte por parte de los pernos modelados.

Se plantea el corte resistido por la llave de corte en la Figura 4.23.

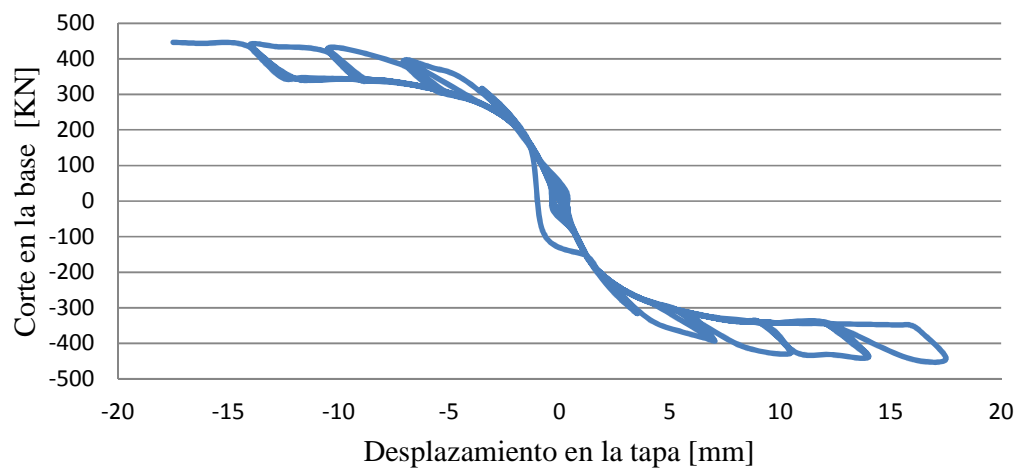


Figura 4.23 Corte en la base ante desplazamientos cíclicos, respuesta no lineal de la estructura

4.3.4 Comportamiento Lineal del estanque bajo desplazamiento cíclico

Al igual que en el análisis *pushover* se presentan diferencias en la respuesta de la estructura dependiendo del tipo de material que fue considerado.

En una primera instancia se destacan los valores de tensión y deformación bajo la carga cíclica para los elementos “globales”. Esto se detalla en la Tabla 4.13 y la Tabla 4.14.

Tabla 4.13 Máxima deformación y tensión en la tapa, desplazamiento cíclico y respuesta lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,64	3,93	11	11,34	66,07
2	3,66	26,27	12	11,36	66,17
3	3,67	26,67	13	11,34	66,07
4	3,66	26,27	14	15,24	85,53
5	3,67	26,67	15	15,22	85,31
6	7,49	46,69	16	15,24	85,53
7	7,48	46,73	17	15,22	85,31
8	7,49	46,69	18	19,13	104,79
9	7,48	46,73	19	19,10	104,42
10	11,36	66,17			

Tabla 4.14 Máxima deformación y tensión en el manto, desplazamiento cíclico y respuesta lineal de la estructura

Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	Paso	Deformación [mm]	Tensión [MPa]
1	0,74	73,14	11	0,10	327,38
2	3,50	95,82	12	10,50	356,46
3	0,14	96,53	13	0,74	73,14
4	3,50	95,82	14	0,10	327,38
5	0,14	96,53	15	14,00	499,69
6	7,00	213,82	16	0,13	452,63
7	0,06	202,10	17	14,00	499,68
8	7,00	213,78	18	0,13	452,62
9	0,06	202,10	19	17,50	644,89
10	10,50	356,47			

De manera similar al análisis anterior, se plantean las tensiones en los pernos “extremos” con la finalidad de comprender su comportamiento.

Tabla 4.15 Máxima tensión de los pernos de anclaje ante carga cíclica, respuesta lineal de la estructura

Paso	Tensión perno derecho [MPa]	Tensión perno derecho [MPa]	Paso	Tensión perno derecho [MPa]	Tensión perno derecho [MPa]
1	177	78	11	178	5309
2	1067	76	12	4608	77
3	182	1207	13	178	5310
4	1067	76	14	6413	78
5	182	1207	15	176	7411
6	2805	76	16	6414	78
7	180	3217	17	176	7412
8	2805	76	18	8234	78
9	180	3217	19	174	9521
10	4607	77			

Como se aprecia en la Tabla 4.15 los pernos “extremos” presentaron valores de tensiones disimiles en la medida que se produjo el tambaleo del estanque, esto confirma que esta disposición de materiales, conexiones y condiciones de apoyo permitieron cuantificar el tambaleo de la estructura real cuando fue sometida a cargas cíclicas. Además ratifica que existieron tensiones muy superiores a los valores de fluencia y rotura en el caso del material no lineal, entregando mayor resistencia a este tipo de modelación.

Los ciclos mostrados en la Tabla 4.15 se muestran de manera gráfica n la Figura 4.24 y la Figura 4.26.

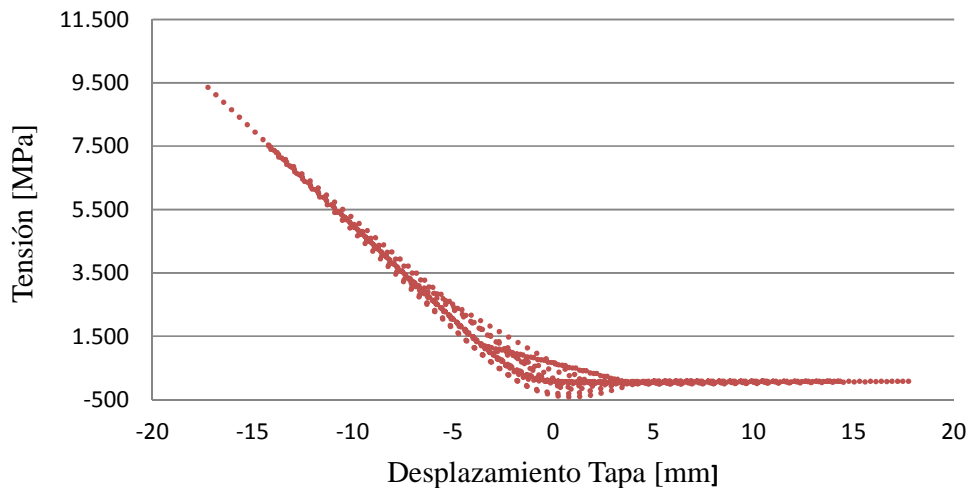


Figura 4.24 Tensión máxima del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura

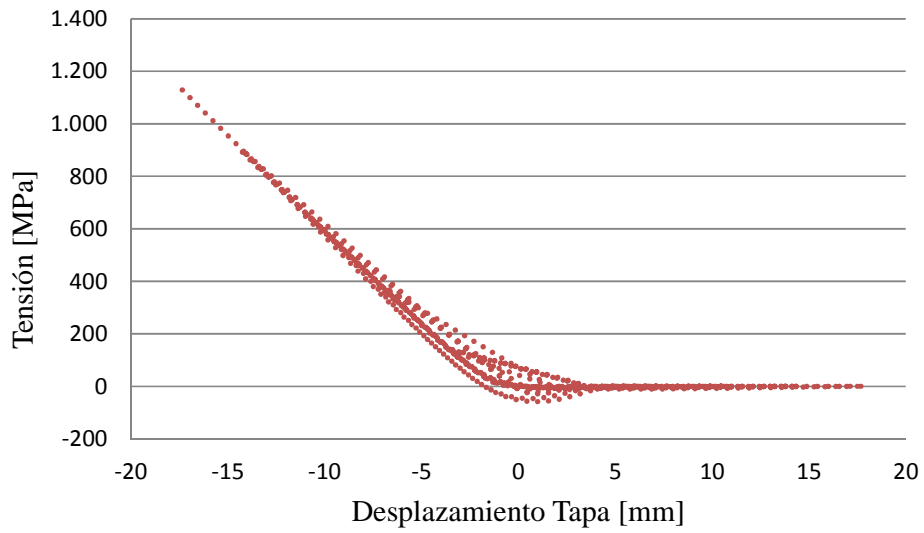


Figura 4.25 Tensión mínima del perno derecho bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura

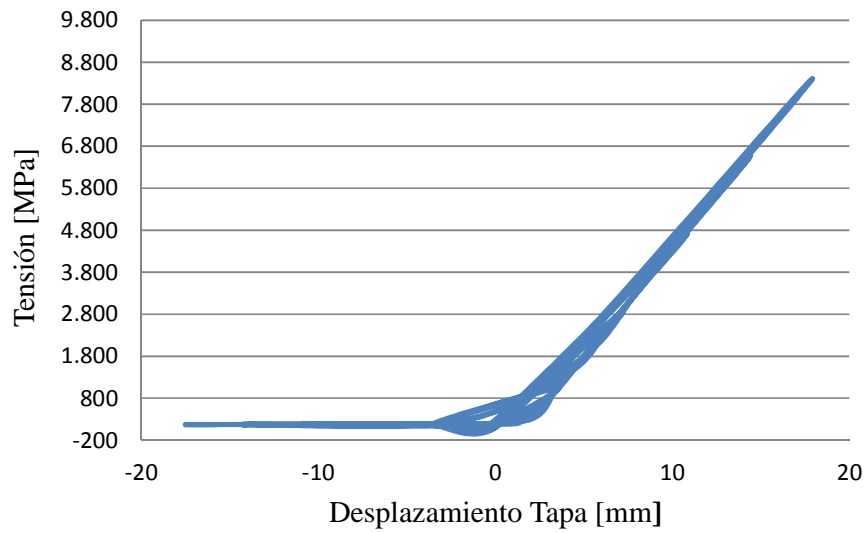


Figura 4.26 Tensión máxima del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura

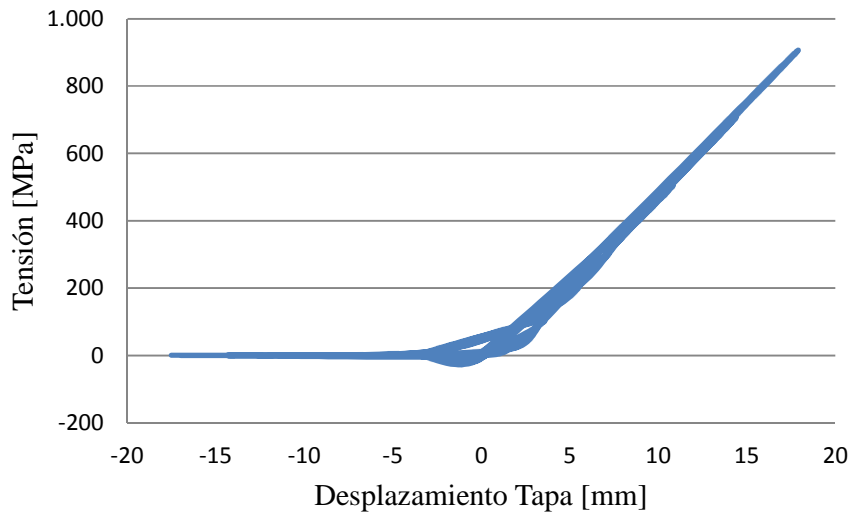


Figura 4.27 Tensión mínima del perno izquierdo bajo desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura

Se debe tener presente a que a diferencia del análisis no lineal, los pernos mantuvieron un comportamiento similar para tensiones máximas y mínimas, es decir, no se produjeron tensiones remanentes en cada ciclo.

Se muestra el corte resistido por la base en la Figura 4.28

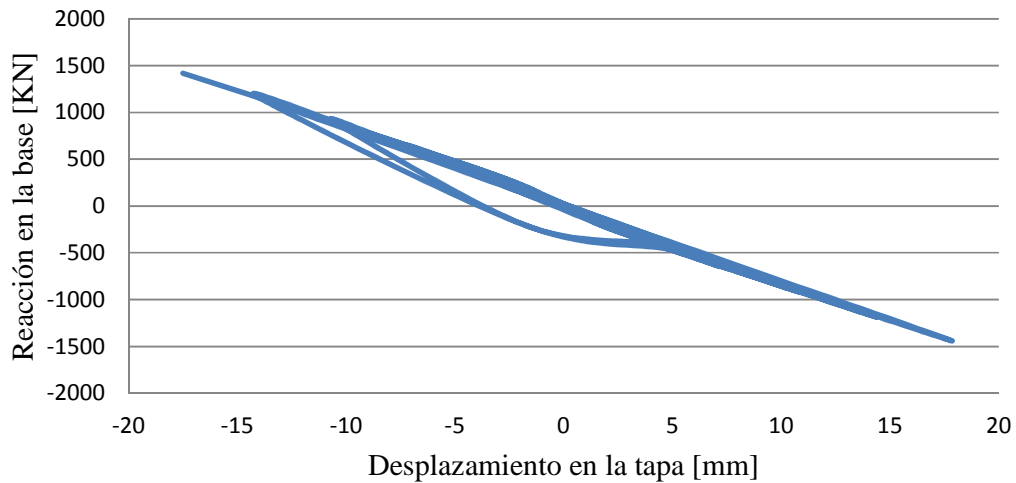


Figura 4.28 Reacción en la base ante desplazamientos cíclicos, respuesta lineal de la estructura

De esta forma se tienen las características principales del comportamiento del estanque bajo distintas cargas solicitantes y materiales resistentes, que a posteriori permiten obtener los objetivos planteados.

4.4. Cálculo de los coeficientes R y Ω_0

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron los resultados obtenidos en el análisis *pushover* establecidos en los puntos 4.3.1 y 4.3.2.

El primer aspecto relevante consistió en establecer curvas que muestren el corte resistido en la base en función del desplazamiento de la tapa. Estos resultados quedan de manifiesto en la Figura 4.29.

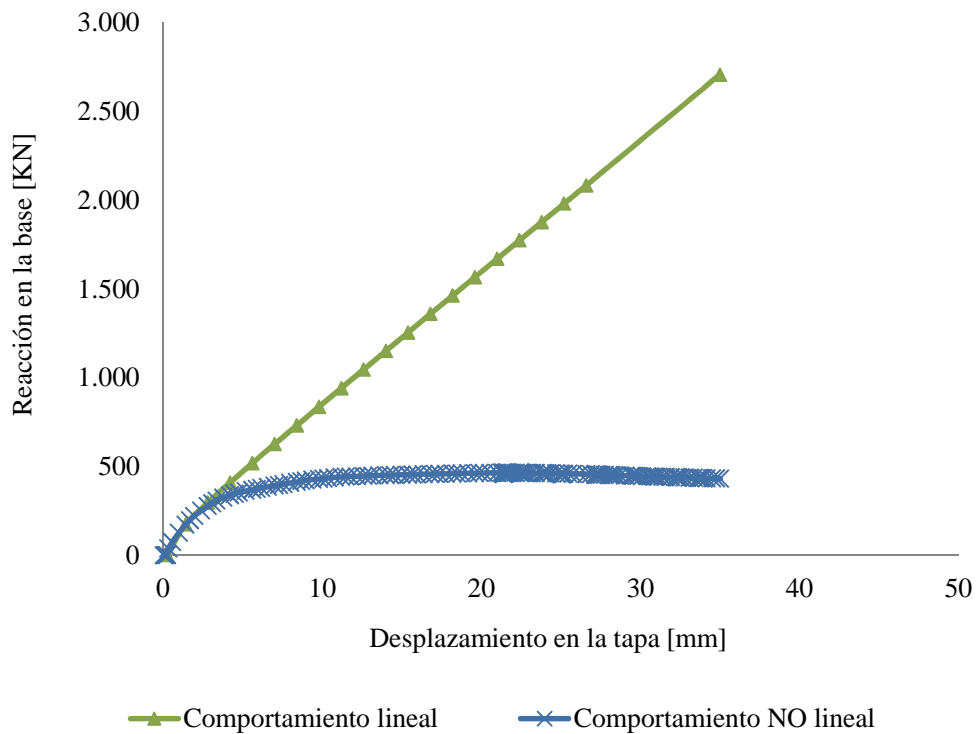


Figura 4.29 Comportamiento de la estructura bajo carga *pushover*

Para identificar una configuración similar a la establecida en la Figura 2.10, se necesitó disponer del diseño de la estructura bajo la acción sísmica. En este caso se consideró el diseño de la norma chilena NCh2369 (Instituto Nacional de Normalización, 2003), en donde se especifican diferentes aspectos a considerar.

El primer aspecto que considera la norma NCh2369 (Instituto Nacional de Normalización, 2003) corresponde a la categoría según la importancia de la estructura, aspecto que se cuantifica mediante los coeficientes mostrados en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Categoría de estructuras

Categoría de Estructuras	I
C1	1,2
C2	1,0
C3	0,8

A continuación, se consideró la clasificación geográfica del país, que divide las zonas sísmicas en tres. Como se muestra en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 Valor de la aceleración efectiva máxima A_0

Zona Sísmica	A_0
1	0,2g
2	0,3g
3	0,4g

Por último, se utilizó la clasificación particular de suelos, en donde existen cuatro tipos con sus respectivos parámetros. Estas magnitudes se muestran en la Tabla 4.18

Tabla 4.18 Valor de los parámetros del suelo

Tipo de Suelo	T' [seg]	n
I	0,20	1,00
II	0,35	1,33
III	0,62	1,80
IV	1,35	1,80

La forma de determinar el corte de diseño se basó en el siguiente procedimiento.

- i) En una primera instancia se escoge una determinada categoría, en este caso corresponde a C2 y el criterio de elección se basó en ponderar por 1.0 el corte solicitante.
- ii) Al tener presente la elección anterior se dispone de una matriz de doce resultados posible al variar la zona geográfica y el tipo de suelo.
- iii) Se varió la zona geográfica en función de cada tipo de suelo.
- iv) Con las consideraciones anteriores se tuvo el espectro de diseño al corte en función del periodo de la estructura, por lo que mediante la noción de pseudo espectro se obtuvo un pseudo espectro de aceleraciones y por ende el corte en función del desplazamiento.
- v) Se procedió a intersectar cada curva de diseño elástico con la capacidad lineal elástica de la estructura.
- vi) Se tienen tantos factores R como diseños se hayan establecido, en este caso son doce.

Este procedimiento se ejemplifica en la Figura 4.30, en donde se aprecia la intersección entre la curva el diseño establecido por la normativa y la capacidad de la estructura de resistir el corte asumiendo un comportamiento lineal de los materiales (V_e). Además quedan de manifiesto las capacidades de la estructura.

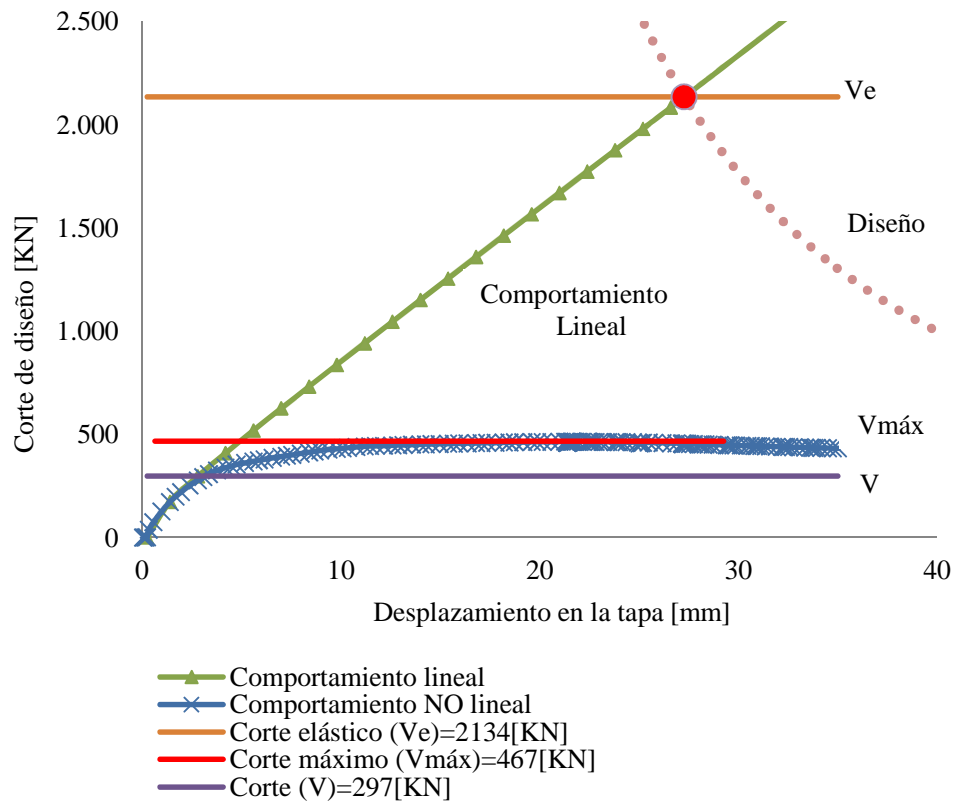


Figura 4.30 Cálculo del coeficiente R

Para el caso mostrado en la Figura 4.30 se obtuvo mediante (2.7) un factor $R=7,2$ y por (2.8) un coeficiente $\Omega_0 = 1,6$.

De esta manera se calcularon los doce casos mencionados anteriormente obteniéndose con ello los respectivos valores de R. Estos aspectos son resumidos en la serie de gráficos y tablas que se muestran a continuación.

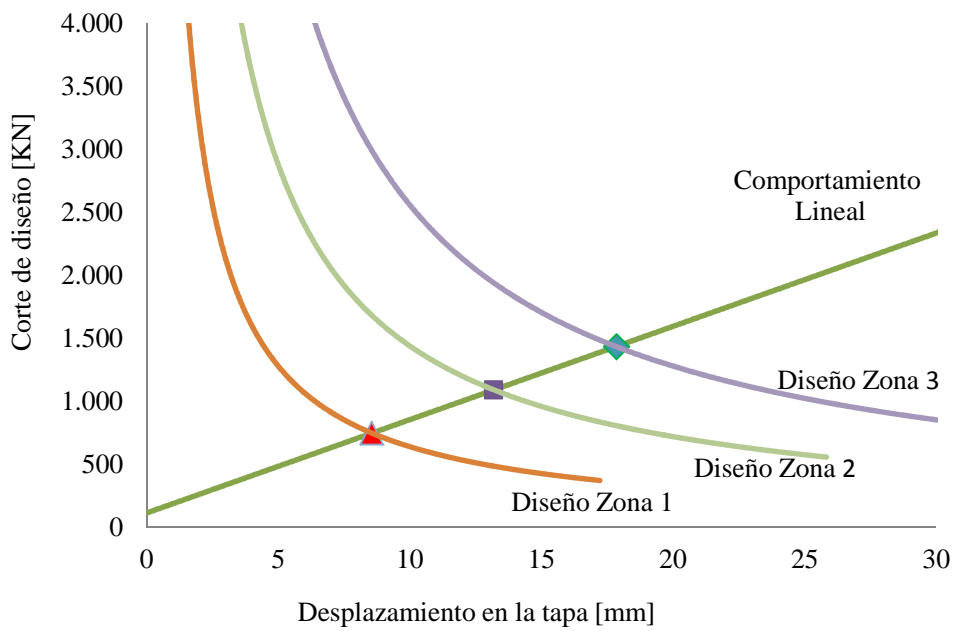


Figura 4.31 Diseño establecido para el suelo tipo I

Tabla 4.19 Resultados para el tipo de suelo I

Zona Sísmica	Corte de Diseño Elástico (Ve) [KN]	Corte de Diseño (V) [KN]	Factor R
1	748	297	2,5
2	1092	297	3,7
3	1433	297	4,8

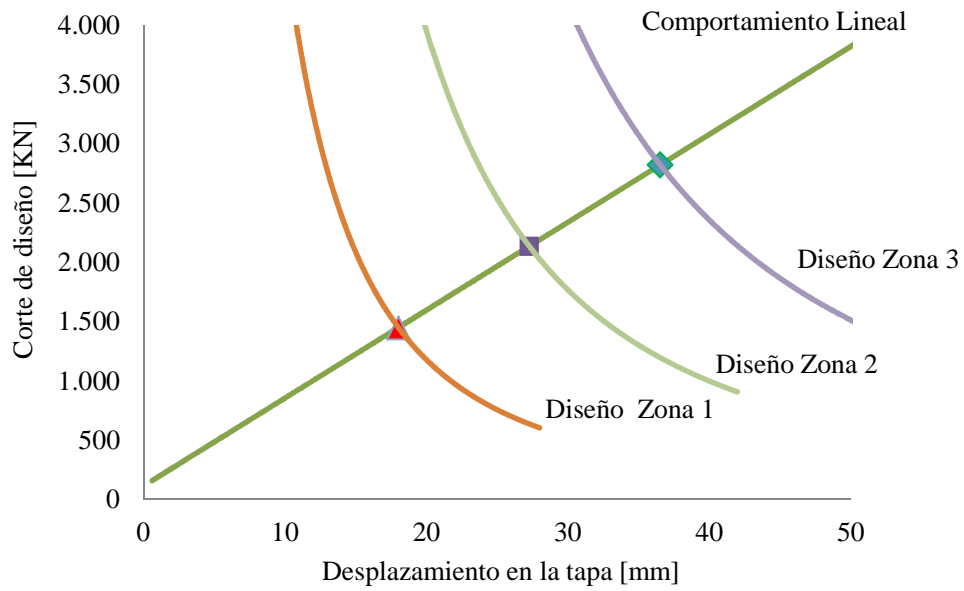


Figura 4.32 Diseño establecido para el suelo tipo II

Tabla 4.20 Resultados para el tipo de suelo II

Zona Sísmica	Corte de Diseño Elástico (Ve) [KN]	Corte de Diseño (V) [KN]	Factor R
1	1448	297	4,9
2	2134	297	7,2
3	2821	297	9,5

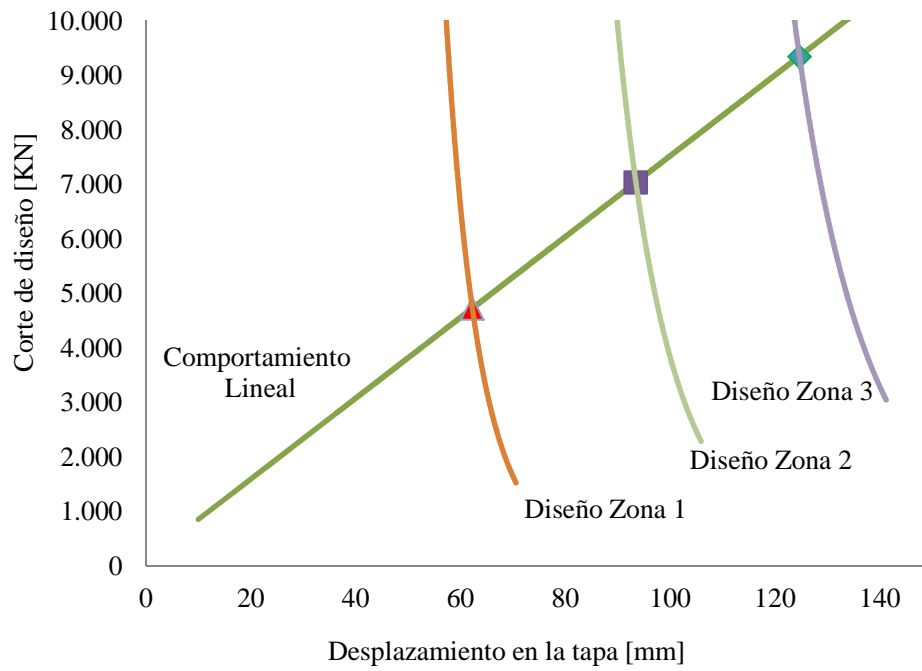


Figura 4.33 Diseño establecido para el suelo tipo III

Tabla 4.21 Resultados para el tipo de suelo III

Zona Sísmica	Corte de Diseño Elástico (Ve) [KN]	Corte de Diseño (V) [KN]	Factor R
1	4725	297	15,9
2	7032	297	23,7
3	9341	297	31,4

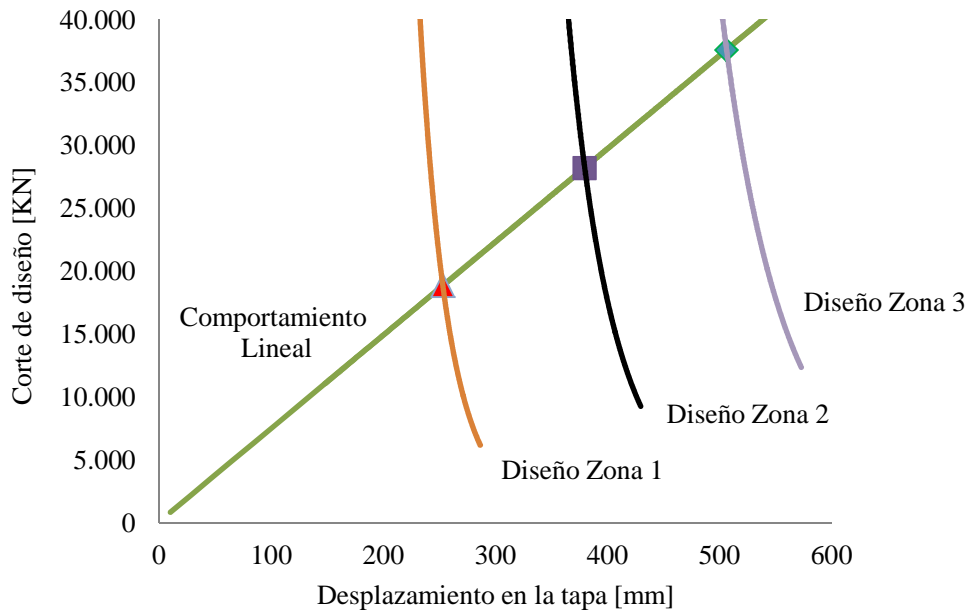


Figura 4.34 Diseño establecido para el suelo tipo IV

Tabla 4.22 Resultados para el tipo de suelo IV

Zona Sísmica	Corte de Diseño Elástico (Ve) [KN]	Corte de Diseño (V) [KN]	Factor R
1	18879	297	63,6
2	28210	297	95,0
3	37614	297	126,6

CAPÍTULO 5: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Para comprender de mejor manera cada uno de los análisis y conclusiones desarrollados se debe recordar cuál fue la metodología realizada en el presente trabajo.

En una primera instancia se desarrolló un modelo estructural simple (OPENSEES, 2010) que captó características específicas de estructuras más complejas, como peso, altura y anclajes presentes, con la finalidad de ser sometido a análisis *pushover* y tiempo historia bajo el comportamiento lineal y no lineal de los materiales. Permitiendo esto cuantificar factores estructurales, como R y Ω_0 , la influencia del largo de los pernos y la relevancia de estos en la disipación de la energía en cada uno de los modelos.

De forma complementaria se desarrolló la modelación de un estanque vitinícola mediante un programa computacional de elementos finitos (ANSYS®, 2012), con características verídicas, de materiales y geométricas, con el objetivo de validar de los resultados obtenidos con el modelo simplificado. Para ellos se sometió dicho modelo a los mismos análisis realizados en el modelo simplificado y bajo las mismas condiciones sobre los materiales.

De esta manera, se llevaron a cabo comparaciones en la respuesta de un modelo específico, permitiendo obtener las similitudes y diferencias establecidas para ambas modelaciones.

Por último, se presentan las conclusiones generales, las limitaciones presentes y las recomendaciones para trabajos futuros que permiten comprender la globalidad de los resultados, las falencias en cada modelación y los desafíos que presentan futuros estudios.

5.1. Modelo Simple

5.1.1 Coeficientes R y Ω_0

Los resultados obtenidos para el coeficiente R mostraron diferencias en relación a lo establecido en la normativa Chilena NCh2369, cuyo valor asignado es cuatro para estanques de acero de eje vertical con manto continuo hasta el suelo. Para el caso en que la masa se concentró a una altura media del estanque se obtuvo un coeficiente promedio de $R=2,8$, representando esto un 70% de lo establecido por la disposición nacional. De manera similar, el valor obtenido al concentrar la masa asumiendo sólo el modo impulsivo fue de $R=2,5$, representando un 63% del valor reglamentario.

En este mismo sentido se debe destacar que de un total de 24 análisis un 20,8% de los modelos presentaron valores de R superiores a cuatro, otro 41,7% exhibió valores menores a dos y el restante 37,5% se encontró entre dos y cuatro. Esto deja entrever la disparidad de los resultados dependiendo de las características del modelo.

En el análisis *pushover* el comportamiento de los pernos de anclaje estuvo relacionado directamente con la esbeltez del modelo, es decir, a mayor esbeltez menor resistencia al corte se tuvo en los modelos.

Por otra parte, este mismo concepto esbeltez no tuvo una real significancia en la obtención del coeficiente R. Las propiedades que sí influyeron de manera evidente en los resultados fueron la cantidad de pernos dispuestos y la magnitud de masa concentrada, obteniéndose los mayores valores en los casos en que existía un área de acero menor para un peso considerable. Esto resulta intuitivo si se comprende que en este modelo la resistencia al volcamiento estuvo dada en su plenitud por los pernos y por tanto al poseer una menor cantidad de área se tiene una menor resistencia.

Los datos obtenidos referentes a los coeficientes Ω_0 presentaron diferencias sustanciales en comparación con los obtenidos para el coeficiente R, sobre todo por que estos cuantificaron la sobre-resistencia de los pernos y por ende se relacionan de manera directa con el tipo de material utilizado. En este sentido el promedio del coeficiente Ω_0 fue $\Omega_{0=1,3}$ y $\Omega_{0=1,2}$ para los casos de concentración de masas en la mitad del estanque y

bajo el supuesto de sólo modos impulsivos respectivamente. La varianza fue muy pequeña, debido a que la sobre-resistencia se produjo producto de las características de resistencia del material, por ende al poseer iguales resistencias se tuvieron similares relaciones. Este último aspecto permitió establecer que no existió dependencia de esbeltez, de masa y de la cantidad de área asignada por perno en la obtención de este coeficiente.

5.1.2 Longitud efectiva de los pernos de anclaje

Como se estableció en la ecuación (2.2) el largo efectivo de los pernos depende de manera directa del diámetro de los mismos. Además según lo deducido por las “curvas de corte” a medida que el largo de los pernos aumenta se debe aplicar un mayor desplazamiento en la masa concentrada para producir su fractura, aspecto que resulta intuitivo.

Por otra parte, al ser analizados los modelos bajo el análisis tiempo-historia se alcanzaron deformaciones en los pernos que ocasionaron la rotura de los mismos.

Por lo anterior, se recomienda un aumento en la resistencia de los pernos utilizados y un uso de mayores largos de anclaje, como se expone en la normativa chilena, puesto que para las estructuras modeladas sólo existieron los largos dados por el “embebido” descartando el uso de sillas en el diseño.

5.1.3 Disipación de energía

Para cuantificar la energía disipada por los pernos de anclaje se utilizó el concepto de amortiguamiento equivalente. Dichos valores manifiestan la relevancia del comportamiento no lineal de los pernos en cada estructura, destacando que estos valores no son comparables unos entre otros.

A pesar de lo anterior, el rango de valores obtenidos alcanzó un máximo de 18% y un mínimo de 15%, siendo ambas magnitudes muy superiores al amortiguamiento que se asume por normativa para este tipo de estructuras.

La disipación de los pernos de anclaje fue comparada con la energía de deformación del estanque y se obtuvieron valores relativamente grandes, acrecentando su trascendencia en la respuesta estructural del sistema, contraponiéndose levemente con la recomendación, debida a la poca capacidad de las personas, de limitar la fluencia del anclaje mediante el aumento de la fuerza a la que serán sometidos (Chávez, 2011).

La disipación de los pernos de anclaje fue comparada con la energía de deformación del estanque, y por ende, presentó valores relativamente grandes, aportando significativamente en la disipación de la energía y acrecentando su trascendencia en la respuesta estructural del sistema.

5.2. Modelo Detallado

5.2.1 Análisis estático monotónico

Al comparar las respuestas entregadas por la tapa bajo la condición de linealidad y no linealidad de los materiales se establecieron diferencias significativas en las magnitudes obtenidas. En el caso de las deformaciones se encontraron magnitudes inferiores bajo el comportamiento lineal del material, llegando a representar un 30% de las deformaciones obtenidas bajo el comportamiento no lineal del estanque. Por otra parte las tensiones existentes en este elemento bajo el análisis lineal triplicaron los valores obtenidos bajo el análisis no lineal.

Si se extiende el procedimiento anterior al manto los resultados fueron diferentes, por un lado, las deformaciones obtenidas para cada caso fueron similares, y por otro, el comportamiento de las tensiones fue particular. En un comienzo las tensiones fueron mayores en el caso no lineal, dando paso a un declive de esta diferencia a medida que la

tapa fue más solicitada. Este efecto se produjo debido a que, a medida que se forzó un desplazamiento en la tapa los pernos fueron tomando mayor carga en el caso lineal.

El aspecto anterior se relaciona con la capacidad de los pernos de generar estricción, aspecto que sólo pudo establecerse en el caso del comportamiento no lineal del material.

Según pudo constatarse en la Figura 4.29 la capacidad al corte del modelo fue decreciendo en el caso de las respuestas no lineales, presentando un máximo que se asocia a la sobre-resistencia. Este aspecto es relevante, pues permite establecer diferencias entre la sobre-resistencia y el factor de modificación de respuesta estructural.

5.2.2 Análisis estático cíclico

Este tipo de análisis permitió dar un enfoque específico al estudio de los pernos de anclaje y comprender la forma en que estos trabajaron.

Si consideramos la relación entre los esfuerzos resistidos por los pernos según el comportamiento del material de la estructura se pudo apreciar que existieron diferencias significativas. En específico, las tensiones producidas en el caso lineal alcanzaron magnitudes que equivalen a veinte veces las obtenidas en el caso no lineal.

Por otra parte, y realizando la misma comparación anterior se pudo establecer que en el caso de la tapa y el manto la relación existente fue de tres y cinco veces respectivamente, mostrando con ello la relevancia de los pernos al momento de resistir el volcamiento del estanque.

En cuanto a la relación entre los esfuerzos de corte soportados por la estructura, el caso no lineal significó menos de un tercio del esfuerzo resistido por la estructura con un comportamiento lineal de los materiales.

5.2.3 Obtención coeficiente R y Ω_0

Según lo establecido en el punto 4.4 existieron tantos coeficientes R como diseños elásticos fueron calculados, teniéndose que los valores obtenidos fueron absolutamente desiguales debido a que los espectros de diseño, según la norma NCH2369 (Instituto Nacional de Normalización, 2003) , presentan valores muy disímiles en sus magnitudes.

La gran parte de los coeficientes calculados fueron muy superiores a cuatro, que corresponde al valor asignado por norma, debido esencialmente a la mala calidad del suelo. Sin embargo, existieron algunas combinaciones en el diseño que presentaron valores comparables con la magnitud normativa. En este sentido el suelo tipo I presentó valores de coeficientes $R_{Zona\ I}=2,5$, $R_{Zona\ II}=3,7$ y $R_{Zona\ III}=4,8$, que porcentualmente representan el 63%, 93% y 129% respectivamente. Además para el suelo tipo II se obtuvo un valor asociado a la zona sísmica I de $R_{Zona\ I}=4,9$ correspondiente a un 123% de lo establecido por norma.

En cuanto al coeficiente Ω_0 su valor fue estimado en 1,6 según la expresión (2.8) y corresponde a un valor asociado únicamente a la estructura.

5.3. Comparación entre modelos

Teniendo en consideración el costo temporal de realizar un análisis transiente en el modelo detallado, surgió un procedimiento para poder establecer de manera aproximada una relación entre ambos modelos.

El cálculo del coeficiente R para el modelo simple A6-2-E se basó en un sismo registrado en Curicó (zona II) y por ende este valor se comparó con el obtenido en el modelo detallado al considerar el diseño elástico para la zona en que se ubica dicha ciudad.

Los valores obtenidos para el modelo simple en promedio fueron de $R=4,4$ y $\Omega_0=1,1$ y como se mencionó anteriormente los coeficientes para el modelo detallado fueron $R_{Suelo\ I}=4,9$, $R_{Suelo\ II}=7,2$ y $\Omega_0=1,6$.

De los resultados anteriores se infirió que el modelo presentaría valores aproximados para el coeficiente R en el caso en que el tipo de suelo fuese I. En cuanto al coeficiente Ω_0 se dedujo que no es un buen estimador de la sobre capacidad pues el coeficiente obtenido mediante el análisis simple sólo alcanza el 69% del valor obtenido mediante la modelación detallada.

5.4. Conclusiones Generales

En términos generales la influencia de la disipación de energía de los pernos de anclaje fue preponderante en la respuesta estructural. Esto se verifica si se considera que la modelación establecida no estudió otros tipos de pérdidas de energía y aun así existieron capacidades muy diferentes al considerar el comportamiento no lineal de los pernos.

Entendiendo que en su mayoría los estanques analizados no fueron diseñados por normativa alguna se hace necesario recomendar la utilización de mayor cantidad de pernos, con ductilidades superiores que permitan aumentar aún más la energía disipada en la estructura.

Por otra parte, el factor de respuesta estructural fue menor al recomendado por la normativa chilena, sugiriendo que este valor debe ser disminuido sin afectar la capacidad de deformación en fluencia de los pernos como se mencionó anteriormente.

5.5. Limitaciones presentes.

Las limitaciones presentes en la modelación simple son:

- i) Existe una arbitrariedad en la agrupación de las áreas de los pernos existentes en cada lado de la estructura a considerar.
- ii) El comportamiento de los pernos de anclaje sometidos a compresión permite pequeñas deformaciones, perdiendo la disipación de energía asociada al impacto en la estructura.

Por otra parte, la modelación detallada constó de características que influyeron en la modelación. Entre ellas se encuentran:

- i) No existió una distribución de masas a lo alto del estanque, aspecto que influye si se desea aplicar aceleraciones basales en el modelo
- ii) No se realizaron análisis transientes debido al alcance computacional limitado, pues la capacidad requerida por cada modelo fue extensa.

5.6. Recomendaciones para futuros trabajos.

Con la finalidad de establecer un conocimiento más acabado del comportamiento de los pernos de anclaje, y específicamente en la modelación simple que se detalló en el presente trabajo, se establecen las siguientes sugerencias:

- i) Realizar un estudio de columnas de marcos rígidos con el denominado “modelo simple”, con la finalidad de contar con una mayor cantidad de casos estudiados.
- ii) Aplicar modificaciones en lo respectivo a la agrupación de áreas de pernos. Específicamente aumentar el detalle con que se calculan y la ubicación en que son dispuestas.

En cuanto a los avances que pueden ser desarrollados en el modelo detallado (en ANSYS), se tienen las siguientes proposiciones:

- i) Aplicar la distribución de masa en función de la altura y realizar análisis transientes.
- ii) Realizar un estudio similar con una mayor cantidad de modelos basados en estudios anteriores (Barros, 2005).
- iii) Desarrollar análisis que contengan un mejor diseño de la cantidad de pernos de anclaje necesitados por normativas internacionales.

REFERENCIAS

American Institute of Steel Construction, 2005. *"AISC 360-05: Specification for Structural Steel Buildings"*. Chicago: IL.

ANSYS ®, 2012. Workbench 2.0 Framework, versión 12.1.0, 2012.

Aviram, A., Stojadinovic, B. & Der Kiureghian, A., 2010. *"Performance and Reliability of Exposed Column Base Plate Connections for Steel Moment- Resisting Frames"*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Agosto Vol. 107, Berkeley, California.

Barros, D. I., 2005. *"Estanques de acero inoxidable de la industria vitivinícola: Revisión de diseño"*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Chávez, N. A., 2011. *"Revisión de los criterios de diseño de pernos de anclaje"*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Chopra, A. K., 1995. *"Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering"*. University of California. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

Federal Emergency Management Agency, 2009. *"FEMA P695:Quantification of Building Seismic Performance Factor"*. Federal Emergency Management Agency.

García, E. & Riddell, R., 1995. *"Espectro de energía disipada por histéresis en sistemas inelásticos sometidos a terremotos"*. Departamento de Ingeniería Estructural, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Herrera, R., Beltrán, J. F., Aguirre, C. & Verdugo, A., 2012. *"Seismic performance of steel structures during the 2010 Maule earthquake"*. Proceedings of the 7th International Conference Steel Structures in Seismic Areas, STESSA 2012. Santiago, Chile, 19-21 Enero,2012.

Instituto Nacional de Normalización, 2003. "*Norma Chilena Oficial NCh2369. Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales*". Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.

Malhotra, P. K., Wenk, T. & Wieland, M., 2000. "*Simple Procedure for Seismic Analysis of Liquid-Storage Tanks*". Structural Engineering International.

OPENSEES, 2010. *Open System for Earthquake Engineering Simulation*. [En línea] <http://opensees.berkeley.edu> [Último acceso: 2012].

Rudolph, G., 2010. "Norma NCh2369 y Estanques Antisísmicos". *Tersaber*, Issue 50, pp. 7-8.

Sivaselvan, M. & Reinhorn, A. M., 1999. "*Hysteretic Models for Cyclic Behaviour of Deteriorating Inelastic Structures*". Technical Report MCEER-99-0018.

Virella, J. C., Godoy, L. A. & Suárez, L. E., 2005. "*Dynamic Buckling of anchored steel tanks subjected to horizontal earthquake excitation*". Journal of Constructional Steel Research.

Wald, F., Sokol, Z. & Jaspert, J. P., 2003. "*Base Plate in Bending and Anchor Bolts in Tension*". Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering; Université de Liège, Institut du Génie Civil, Département MSM.

ANEXO A

En la presente sección se adjunta uno de los modelos programados en el programa OPENSEES, en donde se incluyen los aspectos mencionados en el cuerpo de la memoria .

```
#MODELO QUE SE BASA EN 6 NODOS
```

```
#Borramos todo  
wipe
```

```
#Buscamos las funciones a utilizar  
source resorte.tcl  
source DisplayModel2D.tcl  
source DisplayPlane.tcl
```

```
#Creamos el modelo y grados de libertad  
model basic -ndm 2 -ndf 3
```

```
#Ingresamos masa, altura y base del estanque  
set peso 293 ; # En KN  
set altura [expr 0.447*3.5] ; # En m  
set base 3.31 ; # En m  
set g 9.8 ; # En m/seg^2  
set masa [expr $peso/$g] ; # En KNseg^2/m  
puts "masa= $masa KNseg^2/m"
```

```
#Propiedades geometricas  
set Piso 0 ; #Altura del piso  
set ri 0 ; #Ubicación en el eje x del resorte izquierdo  
set cm [expr $base/2] ; #Ubicación en el eje x de la masa concentrada  
set rd $base ; #Ubicación en el eje x del resorte derecha
```

```
# Definimos el tipo de analisis: "pushover" = pushover; "dynamic" = dynamic  
set analysisType "dynamic"; # En este caso se escoge este tipo de análisis  
#set analysisType "pushover";
```

```
    if {$analysisType == "pushover"} {  
        set dataDir Resultados-Pushover; # Nombre de la carpeta de salida  
        file mkdir $dataDir; # Se crea la carpeta de salida  
    }  
    if {$analysisType == "dynamic"} {  
        set dataDir Resultados-Dinamicos; # Nombre de la carpeta de salida  
        file mkdir $dataDir; # Se crea la carpeta de salida  
        set GMfile "curicoEO.txt"; # Nombre del archivo del movimiento del suelo  
        set dt_analysis 0.0005; # Paso de tiempo de análisis  
        set TotalNumberOfSteps 18000; # Numero de aceleraciones  
analizadas  
    }
```

```
# Definimos el tipo de material "lineal" = Análisis Lineal; "nlineal" = No lineal
```

```

set analysisMaterial "lineal"
#set analysisMaterial "nlineal"

#Propiedades del material histerético
set area 0.0017; # Área axial de los pernos agrupados en m^2
set largo 0.1524; # Largo inicial de los pernos en m
set factor 1000 ; # Factor asociado a los Kilo Newton

#Comportamiento a Tracción de los pernos
set e1p [expr 0.0021*$largo] ; # Deformación a la que fluye el material
set s1p [expr 250*$factor*$area]; # Fuerza a la que fluye el material
set e2p [expr 0.13*$largo ] ; # Deformación máxima alcanzada por el material
set s2p [expr 400*$factor*$area]; # Fuerza máxima alcanzada por el material
set e3p [expr 0.2*$largo ] ; # Deformación máxima alcanzada por el material
set s3p [expr 280*$factor*$area]; # Fuerza máxima alcanzada por el material

#Comportamiento a Compresión de los pernos
set m [expr 2.0*$s1p/$e1p];
set e1n [expr -1*$e1p];
set s1n [expr $m*$e1n];
set e2n [expr $e1n*1.2] ;
set s2n [expr $s1n/$e1n*$e2n] ;
set e3n [expr $e1n*1.4 ] ;
set s3n [expr $s1n/$e1n*$e3n] ;
#Características de deformación
set damage1 0 ;
set damage2 0 ;
set beta 0 ;

#Definimos los nodos
#Asociados al resorte izquierdo
node 1 $ri $Piso
node 3 $ri $Piso
#Asociados al resorte derecho
node 2 $rd $Piso
node 5 $rd $Piso
#Asociados a las vigas
node 4 $cm $Piso
#Asociados a la masa concentrada
node 6 $cm $altura

#Definimos las masas
mass 6 $masa [expr 0.778*$masa] 0.0; # Masa asociada al nodo 6 en la dirección x e y

#Definimos las condiciones de apoyo
fix 1 1 1 1 ; # Empotramos el nodo 1
fix 2 1 1 1 ; # Empotramos el nodo 2
fix 3 1 0 0 ; # Se permite giro y desplazamiento en el eje y del nodo 3
fix 5 1 0 0 ; # Se permite giro y desplazamiento en el eje y del nodo 5

#Definimos los resortes

```

```

if {$AnalysisMaterial == "lineal"} {
#Resorte de material histerético que se asigna como el elemento 1 y va desde el nodo 1
al 3, además se mueve en la dirección y
set pinchX 1 ;
set pinchY 0 ;
resorte 1 1 3 [expr $s1p*0.5] [expr $e1p*0.5] [expr $s1p*0.8] [expr $e1p*0.8] [expr
$s1p*1.0] [expr $e1p*1.0] $s1n $e1n $s2n $e2n $s3n $e3n $pinchX $pinchY $damage1
$damage2 $beta 2 ;
resorte 2 2 5 [expr $s1p*0.5] [expr $e1p*0.5] [expr $s1p*0.8] [expr $e1p*0.8] [expr
$s1p*1.0] [expr $e1p*1.0] $s1n $e1n $s2n $e2n $s3n $e3n $pinchX $pinchY $damage1
$damage2 $beta 2;
}
if {$AnalysisMaterial == "nlineal"} {
#Resorte de material histeretico que se asigna como el elemento 1 y va desde el nodo 1
al 3, además se mueve en la dirección y
puts "Material No lineal"
set pinchX 1 ;
set pinchY 0 ;
resorte 1 1 3 $s1p $e1p $s2p $e2p $s3p $e3p $s1n $e1n $s2n $e2n $s3n $e3n $pinchX
$pinchY $damage1 $damage2 $beta 2;
resorte 2 2 5 $s1p $e1p $s2p $e2p $s3p $e3p $s1n $e1n $s2n $e2n $s3n $e3n $pinchX
$pinchY $damage1 $damage2 $beta 2;
}

```

```

# transformación
geomTransf Linear 1

```

```

#Elementos de conectividad:
element elasticBeamColumn 3 3 4 2500000000 2500000000 2500000000 1 ;#Viga que
se asigna al elemento 3 y va desde el nodo 3 al 4
element elasticBeamColumn 4 4 5 2500000000 2500000000 2500000000 1 ;#Viga que
se asigna al elemento 4 y va desde el nodo 4 al 5
element elasticBeamColumn 5 4 6 2500000000 2500000000 2500000000 1 ;#Viga que
se asigna al elemento 5 y va desde el nodo 4 al 6

```

```

#Graficamos el problema a analizar
#DisplayModel2D NodeNumbers

```

```

#####
##                               Análisis Valores Propios
#####

```

```

set pi [expr 2.0*asin(1.0)];          # Definición de PI
set nEigenI 1;                       # Modo i = 1
set nEigenJ 1;                       # Modo j = 2
set lambdaN [eigen [expr $nEigenI]]; # Análisis de valores propios para
nEigenJ modos
set lambdaI [lindex $lambdaN [expr 0]]; # Valores propios modo i = 1
set lambdaJ [lindex $lambdaN [expr $nEigenJ-1]]; # Valores propios j = 2

```

```

set w1 [expr pow($lambdaI,0.5)];      # w1 (1st mode circular frequency)
set w2 [expr pow($lambdaJ,0.5)];      # w2 (2nd mode circular frequency)
set T1 [expr 2.0*$pi/$w1];            # 1er periodo modal de la estructura
set T2 [expr 2.0*$pi/$w2];            # 2do periodo modal de la estructura
puts "T1 = $T1 s";                    # Muestra el primer periodo
puts "T2 = $T2 s";                    # Muestra el segundo periodo

```

```

#####
                          Cargas gravitacionales & Analisis gravitacional
#####

```

```

# Aplicando cargas de gravedad

```

```

#command: pattern PatternType $PatternID TimeSeriesType
pattern Plain 101 Constant {
    load 6 0.0 [expr -1*$peso] 0.0;# Carga concentrada para analisis de
peso
}

```

```

# Gravity-analysis: load-controlled static analysis

```

```

    set Tol 1.0e-6;                    # Entregamos la tolerancia de
convergencia
    constraints Plain;                  # Como manejar las condiciones
borde
    numberer RCM;                      # cambiar la numeración de grados
de libertad es para minimizar el ancho de banda (optimización)
    system BandGeneral;                # La forma de almacenar y resolver
el sistema de ecuaciones en el análisis (modelo grande: tratar UMFPACK)
    test NormDispIncr $Tol 6;          # Determinar si la convergencia se
ha logrado al final de un paso de la iteración
    algorithm Linear #Newton           # Si se utiliza el algoritmo de
Newton solución: la rigidez actualizaciones tangente en cada iteración
    set NstepGravity 10;                # Solicitar la gravedad
    set DGravity [expr 1.0/$NstepGravity]; # Load increment
    integrator LoadControl $DGravity;  # Determinar el próximo paso del
tiempo para un análisis
    analysis Static;                   # Definir el tipo de análisis: estática
o transitorios
    analyze $NstepGravity;              # Aplicar gravedad

```

```

# Mantener la carga constante de la gravedad y tiempo de reajuste a cero
loadConst -time 0.0
puts "Modelo Construido"

```

```

#####
                          Registros
#####

```

```

# Registramos los desplazamientos en nodos para corroborar
recorder Node -file $dataDir/Desplazamientos.out -time -node 1 2 3 4 5 6 -dof 2 disp;
recorder Node -file $dataDir/Desp_Nodo1.out -time -node 1 -dof 1 2 3 disp; # Guardar
desplazamientos nodo1
recorder Node -file $dataDir/Desp_Nodo2.out -time -node 2 -dof 1 2 3 disp; # Guardar
desplazamientos nodo2
recorder Node -file $dataDir/Desp_Nodo3.out -time -node 3 -dof 1 2 3 disp; # Guardar
desplazamientos nodo3
recorder Node -file $dataDir/Desp_Nodo4.out -time -node 4 -dof 1 2 3 disp; # Guardar
desplazamientos nodo4
recorder Node -file $dataDir/Desp_Nodo5.out -time -node 5 -dof 1 2 3 disp; # Guardar
desplazamientos nodo5
recorder Node -file $dataDir/Desp_Nodo6.out -time -node 6 -dof 1 2 3 disp; # Guardar
desplazamientos nodo6

```

```

# Registramos la Fuerza inercial del tanque
recorder Node -file $dataDir/reaccion_masa.out -time -node 6 -dof 1 2 3 reaction;

```

```

# Registramos las reacciones en los apoyos
recorder Node -file $dataDir/reaccion1.out -time -node 1 -dof 1 2 3 reaction; # Guardar
reacciones nodo1
recorder Node -file $dataDir/reaccion2.out -time -node 2 -dof 1 2 3 reaction; # Guardar
reacciones nodo2
recorder Node -file $dataDir/reaccion3.out -time -node 3 -dof 1 2 3 reaction; # Guardar
reacciones nodo3
recorder Node -file $dataDir/reaccion4.out -time -node 4 -dof 1 2 3 reaction; # Guardar
reacciones nodo4
recorder Node -file $dataDir/reaccion5.out -time -node 5 -dof 1 2 3 reaction; # Guardar
reacciones nodo5

```

```

# Registramos la deformación de los resortes
recorder Element -file $dataDir/def_PI.out -time -ele 1 deformation; # Guardar
deformaciones elemento 1
recorder Element -file $dataDir/def_PD.out -time -ele 2 deformation; # Guardar
deformaciones elemento 2

```

```

# Registramos la Fuerza de los resortes
recorder Element -file $dataDir/fuerza_PI.out -time -ele 1 force; # Guardar fuerza
elemento 1
recorder Element -file $dataDir/fuerza_PD.out -time -ele 2 force; # Guardar fuerza
elemento 2

```

```

# Registramos la Fuerza de los elementos
recorder Element -file $dataDir/Fuerza_Barra_I.out -time -ele 3 force; # Guardar fuerza
elemento 3
recorder Element -file $dataDir/Fuerza_Barra_D.out -time -ele 4 force; # Guardar
fuerza elemento 4 recorder Element -file $dataDir/Fuerza_Barra_S.out -time -ele 5
force; # Guardar fuerza elemento 5

```



```

#####
                        Sección de Análisis
#####

#####
                        Análisis Pushover
#####

if {$analysisType == "pushover"} {
    puts "Corriendo analisis Pushover..."
    set lat 1;      # Fuerza lateral aplicada en el nodo 6 en KN.

    pattern Plain 2 Linear {
        load 6 [expr 1*$lat] [expr 0*$lat] 0.0;
    }

# Mostramos la deformada
    set ViewScale 5;
    #DisplayModel2D DeformedShape $ViewScale ;# display deformed shape, the
scaling factor needs to be adjusted for each model

# Parámetros de desplazamiento
    set IDctrlNode 6;      # Nodo donde se lee el control
    set IDctrlDOF 1;      # Grado de libertad leído para disponer el control
(1 = x desplazamiento)

# Comandos de analisis
    constraints Plain;    # Como manejar las condiciones borde
    numberer RCM;        # Cambiar la numeración de grados de libertad es para
minimizar el ancho de banda (optimización)
    system BandGeneral; # La forma de almacenar y resolver el sistema de
ecuaciones en el análisis (modelo grande: tratar UMFPACK)
    test NormUnbalance 1.0e-10 1000; # Tipo de criterio de convergencia con
tolerancia
    algorithm ModifiedNewton -initial; # Utilizar el algoritmo de Newton
solución: la rigidez actualizaciones tangente en cada iteración
    set control "Desplazamiento"
    if {$control == "Fuerza"} {
        puts "Desplzamiento"
        set Dmax [expr 0.04*$altura]; # Máximo desplazamiento del nodo controlado
        set Nsteps 20                # Numero de pasos
        integrator LoadControl 1 ;
        analysis Static;             # Definir el tipo de análisis para pushover
        set ok [analyze $Nsteps];    # Esto retorna cero si el problema no converge
por algún problema encontrado

        # Si el análisis falla, se intenta lo siguiente, rendimiento es más lento dentro de
este bucle
        if {$ok != 0} {
            set ok 0;
            set maxU $Dmax

```

```

set controlDisp 0.0;
test NormDispIncr 1.0e-10 20 0
while {$controlDisp < $Dmax && $ok == 0} {
set ok [analyze 1]
set controlDisp [nodeDisp $IDctrlNode 1]
if {$ok != 0} {
puts "Intentando Newton con Tangente Inicial .."
test NormDispIncr 1.0e-8 1000 1
algorithm Newton -initial
set ok [analyze 1]
test NormDispIncr 1.0e-10 20 0
algorithm Newton
}
if {$ok != 0} {
puts "Intentando Broyden .."
algorithm Broyden 8
set ok [analyze 1]
algorithm Newton
}
if {$ok != 0} {
puts "Intentando NewtonWithLineSearch .."
algorithm NewtonLineSearch .8
set ok [analyze 1]
algorithm Newton
}
}; # end while loop
}; # end original if $ok!=0 loop
if {$ok != 0} {
puts "Análisis por control fuerzas FALLIDO"
puts "Desea continuar s/n ?";# Incluir, si quiere hacer una pausa en el análisis de
fallas
gets stdin ans; # No se recomienda en el estudio de parámetros
if {$ans == "n"} done; # Ya que interrumpe archivo por lotes
} else {
puts "Análisis fuerzas controladas EXITOSO"
}

} ;# Final de Fuerza

if {$control == "Desplazamiento"} {
set Dmax [expr 4.0e-2*$altura]; # Máximo desplazamiento
pushover: 4% de la altura
set Dincr [expr 1.0e-6*$altura]; # Incremento del desplazamiento
integrator DisplacementControl $IDctrlNode $IDctrlDOF $Dincr 1 $Dincr
$Dincr; #Use displacement-Controlled analysis
set Nsteps [expr int($Dmax/$Dincr)]; # Numero de pasos analizados en el
pushover
analysis Static; # Definir el tipo de análisis para pushover
set ok [analyze $Nsteps]; # Esto retorna cero si el problema no
converge por algún problema encontrado

```

```

# if analysis fails, try the following, performance is slowed inside this loop
  if {$ok != 0} {
    set ok 0;
    set maxU $Dmax
    set controlDisp 0.0;
    test NormDispIncr 1.0e-8 20 0
    while {$controlDisp < $Dmax && $ok == 0} {
      set ok [analyze 1]
      set controlDisp [nodeDisp $IDctrlNode 1]
      if {$ok != 0} {
        puts "Intentando Newton con Tangente Inicial .."
        test NormDispIncr 1.0e-8 1000 1
        algorithm Newton -initial
        set ok [analyze 1]
        test NormDispIncr 1.0e-8 20 0
        algorithm Newton
      }
      if {$ok != 0} {
        puts "Intentando Broyden .."
        algorithm Broyden 8
        set ok [analyze 1]
        algorithm Newton
      }
      if {$ok != 0} {
        puts "Intentando NewtonWithLineSearch .."
        algorithm NewtonLineSearch .8
        set ok [analyze 1]
        algorithm Newton
      }
    }; # end while loop
  }; # end original if $ok!=0 loop
  if {$ok != 0} {
    puts "Análisis por control desplazamientos FALLIDO"
    puts "Desea continuar y/n ?";# Incluir, si quiere hacer una pausa en el análisis de
fallas
    gets stdin ans; # No se recomienda en el estudio de parámetros
    if {$ans == "n"} done; # Ya que interrumpe archivo por lotes
  } else {
    puts "Análisis desplazamiento controlado EXITOSO"
  }

} ; # Final Desplazamiento

}

#####
Tiempo Historia/Análisis Dinámico
#####

if {$analysisType == "dynamic"} {
  puts "Corriendo analisis dinamico..."

```

```

# Mostramos la forma de la deformada/display deformed shape:
set ViewScale 5; # Amplificar deformada en la pantalla
#DisplayModel2D DeformedShape $ViewScale; # Mostrar forma
deformada, el factor de escala necesita ser ajustado para cada modelo

# Amortiguamiento según Rayleigh
# Calculando los parámetros
modo
set beta1 0.02; # Porcentaje de amortiguamiento critico primer
segundo modo
set beta2 0.02; # Porcentaje de amortiguamiento critico
#set a1_mod [expr $a1*(1.0+$n)/$n]; # Rigidez modificada coeficiente
de amortiguación utilizado para n elementos modificados. See Zareian & Medina 2010.
# Asignando el damping a los elementos
if {$w1 == $w2} {
set a [expr 2*$beta1*$w1];
rayleigh $a 0.0 0.0 0.0;
} else {
set a [expr 2*($beta1-$beta2*$w1/$w2)/(1/$w1-$w1/$w2/$w2)]; #
Coeficiente de amortiguamiento de masa basado en el primer y segundo modo
set b [expr 2/$w2*($beta2-$a/2/$w2)]; # Coeficiente de
amortiguamiento de rigidez basado en el primer y segundo modo
rayleigh $a $b 0.0 0.0;
}

# Definiendo los parámetros asociados al sismo

set patternID 1; # Asignacion de carga ID
set GMdirection 1; # Movimiento del suelo en
direction (1 = x)
set dt 0.01; # Espaciamiento de tiempo
del registro ingresado Gm
set Scalefact 1.0; # Factor de escla del
movimiento del suelo
set GMtime [expr $dt*$TotalNumberOfSteps + 0.0];# Tiempo total del
movimiento del suelo + 0.0 segundos de vibracion libre

# Definir la serie de aceleración para el movimiento del suelo
# syntax: "Series -dt $timestep_of_record -filePath
$filename_with_acc_history -factor $scale_record_by_this_amount
set accelSeries "Series -dt $dt -filePath $GMfile -factor [expr
$Scalefact*$g]";

# Crear el patrón de carga: aplicar la aceleración a todos los nodos fijos con
UniformExcitation
# command: pattern UniformExcitation $patternID $GMdir -accel
$timeSeriesID
pattern UniformExcitation $patternID $GMdirection -accel $accelSeries;

# Definiendo los parametros dinamicos del analisis

```

```

wipeAnalysis;          # Destruir todos los componentes del objeto de
análisis, es decir, los objetos creados con el sistema, Numberer, las limitaciones,
integrador, el algoritmo, y los comandos de análisis
constraints Plain;    # Como manejar las condiciones borde
numberer RCM;        # Cambiar la numeración de grados de
libertad es para minimizar el ancho de banda (optimización)
system SparseGeneral;
# how to store and solve the system of equations in the analysis
set tol 1.0e-12
set norma EnergyIncr
set printFlag 0
set NmaxIter 25
test $norma $tol $NmaxIter $printFlag;    # Tipo de criterio de
convergencia con tolerancia, maximas iteraciones

if {$analysisMaterial == "lineal"} {
set algoritmo Linear
}
if {$analysisMaterial == "nlineal"} {
set algoritmo Linear
}

algorithm $algoritmo;          # Utilizar el algoritmo
de Newton solución: la rigidez actualizaciones tangente en cada iteración
integrator Newmark 0.5 0.25;    # Utiliza el método
de aceleración media de Newmark para calcular la evolución temporal
analysis Transient;          # Tipo de análisis:
Transiente o estático
set NumSteps [expr round(($GMtime + 0.0)/$dt_analysis)]; # Numero
de pasos en el análisis

# perform the dynamic analysis and display whether analysis was successful
set ok [analyze $NumSteps $dt_analysis];    # ok = 0 Si el análisis
fue exitoso
if {$ok == 0} {
puts "Análisis dinamico completo";
} else {
puts "Análisis dinamico no cnvergido";
}
set t 0.
while {$t <= $GMtime} {

if {$t >= $GMtime + 10.} {set dtInt 0.05}

set ok [analyze 1 $dt_analysis]

if {$ok != 0} {
puts "Usando Newton con paso menor..."
test EnergyIncr 1e-10 50 0
algorithm Newton
set ok [analyze 1 [expr $dt_analysis/10.]]
}
}

```

```

        if {$ok == 0} {
            test $norma $tol $NmaxIter $printFlag
            algorithm $algoritmo
            puts "Se vuelve al paso inicial"
        }
    }
    if {$ok != 0} {
        puts "Usando Newton con tangente inicial y paso menor..."
        test EnergyIncr 1e-10 100 0
        algorithm Newton -initial
        set ok [analyze 1 [expr $dt_analysis/10.]]
        if {$ok == 0} {
            test $norma $tol $NmaxIter $printFlag
            algorithm $algoritmo
            puts "Se vuelve a Newton"
        }
    }
    if {$ok != 0} {
        puts "Usando Newton Line Search y paso menor..."
        test EnergyIncr 1e-10 150 1
        algorithm NewtonLineSearch -type InitialInterpolated -tol 0.6 -maxIter
50 -minEta 0.05 -maxEta 2.0
        set ok [analyze 1 [expr $dt_analysis/10.]]
        if {$ok == 0} {
            test $norma $tol $NmaxIter $printFlag
            algorithm $algoritmo
            puts "Se vuelve a Newton"
        }
    }
    if {$ok !=0} {
        puts "Análisis fallido"
        break
    }

    set t [getTime]
    puts "Tiempo: [expr round([getTime]*100.)/100.] s"
    puts "Número de iteraciones: [testIter]"

}

# output time at end of analysis
    set currentTime [getTime];      # Obtener el tiempo de análisis actual
(Luego del análisis dinámico)
    puts "Tiempo actual: $currentTime";
    wipe all;
}

```

De forma similar se plantea el código asociado al programa resorte.tcl, que es en definitiva el encargado de crear los penos y su respectiva resistencia.

```

proc resorte {eleID nodeR nodeC s1p e1p s2p e2p s3p e3p s1n e1n s2n e2n s3n e3n
pinchX pinchY damage1 damage2 beta direccion} {
#Spring Stiffness o resorte

# creamos el material y definimos el resorte
uniaxialMaterial Hysteretic $eleID $s1p $e1p $s2p $e2p $s3p $e3p $s1n $e1n $s2n
$e2n $s3n $e3n $pinchX $pinchY $damage1 $damage2 $beta

element zeroLength $eleID $nodeR $nodeC -mat $eleID -dir $direccion # Constrain
the translational DOF with a multi-point constraint

}

```

ANEXO B

En el presente anexo se adjuntan los cálculos de las curvas mencionadas en CAPÍTULO 3:, en donde se calculan las cargas laterales que producen la fluencia de los pernos. Su máximo esfuerzo y su rotura. Dichas cargas laterales son equivalentes al corte que se genera en la estructura. Esto se debe principalmente a la configuración del modelo simple.

Tabla B. 1 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Área	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.010	81	124	90	0.32%	1.38
20	0.014	91	134	100	0.32%	1.34
40	0.019	111	154	120	0.32%	1.29
60	0.023	131	174	140	0.32%	1.24
80	0.027	151	194	160	0.32%	1.21
100	0.030	171	214	180	0.32%	1.19
200	0.043	271	314	280	0.32%	1.12
300	0.052	371	414	380	0.32%	1.09
400	0.060	471	514	480	0.32%	1.07
500	0.068	571	614	580	0.32%	1.06
600	0.074	671	714	680	0.32%	1.05
700	0.080	771	814	780	0.32%	1.04
800	0.086	871	914	880	0.36%	1.04
900	0.091	971	1014	980	0.36%	1.03
1000	0.096	1071	1114	1080	0.36%	1.03

Tabla B. 2 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.007	152	238	170	0.32%	1.40
20	0.010	162	248	180	0.32%	1.38
40	0.014	182	268	200	0.32%	1.34
60	0.017	202	288	220	0.32%	1.31
80	0.019	222	308	240	0.32%	1.29
100	0.021	242	328	260	0.32%	1.26
200	0.030	342	428	360	0.32%	1.19
300	0.037	442	528	460	0.32%	1.15
400	0.043	542	628	560	0.32%	1.12
500	0.048	642	728	660	0.32%	1.10
600	0.052	742	828	760	0.32%	1.09
700	0.057	842	928	860	0.32%	1.08
800	0.061	942	1028	960	0.32%	1.07
900	0.064	1042	1128	1060	0.32%	1.06
1000	0.068	1142	1228	1160	0.32%	1.06

Tabla B. 3 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	-	224	352	249	0.32%	1.41
20	0.008	234	362	259	0.32%	1.40
40	0.011	254	382	279	0.32%	1.37
60	0.013	274	402	299	0.32%	1.34
80	0.016	294	422	319	0.32%	1.32
100	0.017	314	442	339	0.32%	1.30
200	0.025	414	542	439	0.32%	1.23
300	0.030	514	642	539	0.32%	1.19
400	0.035	614	742	639	0.32%	1.16
500	0.039	714	842	739	0.32%	1.14
600	0.042	814	942	839	0.32%	1.12
700	0.046	914	1042	939	0.32%	1.11
800	0.049	1014	1142	1039	0.32%	1.10
900	0.052	1114	1242	1139	0.32%	1.09
1000	0.055	1214	1342	1239	0.32%	1.08

Tabla B. 4 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04[m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	137	213	152	0.40%	1.40
20	0.012	147	223	162	0.40%	1.37
40	0.017	167	243	182	0.40%	1.33
60	0.020	187	263	202	0.40%	1.30
80	0.023	207	283	222	0.40%	1.27
100	0.026	227	303	242	0.40%	1.25
200	0.037	327	403	342	0.40%	1.18
300	0.045	427	503	442	0.40%	1.14
400	0.052	527	603	542	0.44%	1.11
500	0.059	627	703	642	0.44%	1.09
600	0.064	727	803	742	0.44%	1.08
700	0.069	827	903	842	0.44%	1.07
800	0.074	927	1003	942	0.44%	1.06
900	0.079	1027	1103	1042	0.44%	1.06
1000	0.083	1127	1203	1142	0.44%	1.05

Tabla B. 5 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04[m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.006	263	415	294	0.40%	1.41
20	0.008	273	425	304	0.40%	1.40
40	0.012	293	445	324	0.40%	1.38
60	0.014	313	465	344	0.40%	1.35
80	0.017	333	485	364	0.40%	1.33
100	0.018	353	505	384	0.40%	1.32
200	0.026	453	605	484	0.40%	1.25
300	0.032	553	705	584	0.40%	1.21
400	0.037	653	805	684	0.40%	1.18
500	0.041	753	905	784	0.40%	1.15
600	0.045	853	1005	884	0.40%	1.14
700	0.049	953	1105	984	0.44%	1.12
800	0.052	1053	1205	1084	0.44%	1.11
900	0.055	1153	1305	1184	0.44%	1.10
1000	0.058	1253	1405	1284	0.44%	1.09

Tabla B. 6 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04[m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.005	390	618	436	0.40%	1.42
20	0.007	400	628	446	0.40%	1.41
40	0.010	420	648	466	0.40%	1.39
60	0.012	440	668	486	0.40%	1.37
80	0.013	460	688	506	0.40%	1.36
100	0.015	480	708	526	0.40%	1.35
200	0.021	580	808	626	0.40%	1.29
300	0.026	680	908	726	0.40%	1.25
400	0.030	780	1008	826	0.40%	1.22
500	0.034	880	1108	926	0.40%	1.20
600	0.037	980	1208	1026	0.40%	1.18
700	0.040	1080	1308	1126	0.40%	1.16
800	0.043	1180	1408	1226	0.40%	1.15
900	0.045	1280	1508	1326	0.40%	1.14
1000	0.048	1380	1608	1426	0.44%	1.13

Tabla B. 7 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.007	295	466	329	0.60%	1.41
20	0.010	305	476	339	0.60%	1.40
40	0.014	325	496	359	0.60%	1.38
60	0.017	345	516	379	0.60%	1.36
80	0.019	365	536	399	0.60%	1.34
100	0.021	385	556	419	0.60%	1.33
200	0.030	485	656	519	0.60%	1.26
300	0.037	585	756	619	0.64%	1.22
400	0.043	685	856	719	0.64%	1.19
500	0.048	785	956	819	0.64%	1.17
600	0.052	885	1056	919	0.64%	1.15
700	0.057	985	1156	1019	0.64%	1.13
800	0.061	1085	1256	1119	0.64%	1.12
900	0.064	1185	1356	1219	0.64%	1.11
1000	0.068	1285	1456	1319	0.64%	1.10

Tabla B. 8 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.005	580	922	648	0.60%	1.42
20	0.007	590	932	658	0.60%	1.41
40	0.010	610	952	678	0.60%	1.40
60	0.012	630	972	698	0.60%	1.39
80	0.013	650	992	718	0.60%	1.38
100	0.015	670	1012	738	0.60%	1.37
200	0.021	770	1112	838	0.60%	1.33
300	0.026	870	1212	938	0.60%	1.29
400	0.030	970	1312	1038	0.60%	1.26
500	0.034	1070	1412	1138	0.60%	1.24
600	0.037	1170	1512	1238	0.64%	1.22
700	0.040	1270	1612	1338	0.64%	1.20
800	0.043	1370	1712	1438	0.64%	1.19
900	0.045	1470	1812	1538	0.64%	1.18
1000	0.048	1570	1912	1638	0.64%	1.17

Tabla B. 9 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.004	865	1377	968	0.60%	1.42
20	0.005	868	1387	978	0.00%	1.42
40	0.008	895	1407	998	0.60%	1.41
60	0.010	915	1427	1018	0.60%	1.40
80	0.011	935	1447	1038	0.60%	1.39
100	0.012	955	1467	1058	0.60%	1.39
200	0.017	1055	1567	1158	0.60%	1.35
300	0.021	1155	1667	1258	0.60%	1.33
400	0.025	1255	1767	1358	0.60%	1.30
500	0.027	1355	1867	1458	0.60%	1.28
600	0.030	1455	1967	1558	0.60%	1.26
700	0.033	1555	2067	1658	0.60%	1.25
800	0.035	1655	2167	1758	0.60%	1.23
900	0.037	1755	2267	1858	0.64%	1.22
1000	0.039	1855	2367	1958	0.64%	1.21

Tabla B. 10 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.25	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.012	65	99	72	0.32%	1.38
20	0.017	73	107	80	0.32%	1.34
40	0.024	89	123	96	0.32%	1.28
60	0.029	105	139	112	0.32%	1.24
80	0.034	121	155	128	0.32%	1.21
100	0.038	137	171	144	0.32%	1.19
200	0.053	217	251	224	0.32%	1.12
300	0.065	297	331	304	0.32%	1.09
400	0.075	377	411	384	0.32%	1.07
500	0.084	457	491	464	0.32%	1.06
600	0.092	537	571	544	0.32%	1.05
700	0.099	617	651	624	0.35%	1.04
800	0.106	697	731	704	0.35%	1.04
900	0.113	777	811	784	0.35%	1.03
1000	0.119	857	891	864	0.35%	1.03

Tabla B. 11 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.25	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	122	190	136	0.32%	1.40
20	0.012	130	198	144	0.32%	1.38
40	0.017	146	214	160	0.32%	1.34
60	0.021	162	230	176	0.32%	1.31
80	0.024	178	246	192	0.32%	1.28
100	0.027	194	262	208	0.32%	1.26
200	0.038	274	342	288	0.32%	1.19
300	0.046	354	422	368	0.32%	1.15
400	0.053	434	502	448	0.32%	1.12
500	0.060	514	582	528	0.32%	1.10
600	0.065	594	662	608	0.32%	1.09
700	0.071	674	742	688	0.32%	1.08
800	0.075	754	822	768	0.32%	1.07
900	0.080	834	902	848	0.32%	1.06
1000	0.084	914	982	928	0.32%	1.06

Tabla B. 12 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:	1.25	Número de pernos	6
Esbeltez		Area	4.275E-04 [m ²]
Diámetro	3/8"		
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.007	179	281	200	0.32%	1.41
20	0.010	187	289	208	0.32%	1.39
40	0.014	203	305	224	0.32%	1.37
60	0.017	219	321	240	0.32%	1.34
80	0.019	235	337	256	0.32%	1.32
100	0.022	251	353	272	0.32%	1.30
200	0.031	331	433	352	0.32%	1.23
300	0.037	411	513	432	0.32%	1.19
400	0.043	491	593	512	0.32%	1.16
500	0.048	571	673	592	0.32%	1.14
600	0.053	651	753	672	0.32%	1.12
700	0.057	731	833	752	0.32%	1.11
800	0.061	811	913	832	0.32%	1.10
900	0.065	891	993	912	0.32%	1.09
1000	0.068	971	1073	992	0.32%	1.08

Tabla B. 13 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:	1.25	Número de pernos	2
Esbeltez		Area	2.534E-04 [m ²]
Diámetro	1/2"		
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.010	109	109	122	0.42%	0.90
20	0.015	117	117	130	0.42%	0.91
40	0.021	133	133	146	0.42%	0.92
60	0.025	149	149	162	0.42%	0.92
80	0.029	165	165	178	0.42%	0.93
100	0.033	181	181	194	0.42%	0.94
200	0.046	261	261	274	0.42%	0.96
300	0.057	341	341	354	0.42%	0.97
400	0.066	421	421	434	0.42%	0.97
500	0.073	501	501	514	0.42%	0.98
600	0.080	581	581	594	0.42%	0.98
700	0.087	661	661	674	0.45%	0.98
800	0.093	741	741	754	0.45%	0.98
900	0.098	821	821	834	0.45%	0.99
1000	0.104	901	901	914	0.45%	0.99

Tabla B. 14 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.25	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.007	211	211	235	0.42%	0.90
20	0.010	219	219	243	0.42%	0.90
40	0.015	235	235	259	0.42%	0.91
60	0.018	251	251	275	0.42%	0.91
80	0.021	267	267	291	0.42%	0.92
100	0.023	283	283	307	0.42%	0.92
200	0.033	363	363	387	0.42%	0.94
300	0.040	443	443	467	0.42%	0.95
400	0.046	523	523	547	0.42%	0.96
500	0.052	603	603	627	0.42%	0.96
600	0.057	683	683	707	0.42%	0.97
700	0.061	763	763	787	0.42%	0.97
800	0.065	843	843	867	0.42%	0.97
900	0.069	923	923	947	0.42%	0.97
1000	0.073	1003	1003	1027	0.42%	0.98

Tabla B. 15 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.25	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.006	312	494	349	0.42%	1.42
20	0.008	320	502	357	0.42%	1.41
40	0.012	336	518	373	0.42%	1.39
60	0.015	352	534	389	0.42%	1.37
80	0.017	368	550	405	0.42%	1.36
100	0.019	384	566	421	0.42%	1.35
200	0.027	464	646	501	0.42%	1.29
300	0.033	544	726	581	0.42%	1.25
400	0.038	624	806	661	0.42%	1.22
500	0.042	704	886	741	0.42%	1.20
600	0.046	784	966	821	0.42%	1.18
700	0.050	864	1046	901	0.42%	1.16
800	0.053	944	1126	981	0.42%	1.15
900	0.056	1024	1206	1061	0.42%	1.14
1000	0.059	1104	1286	1141	0.42%	1.13

Tabla B. 16 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.25	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	236	373	263	0.61%	1.41
20	0.012	244	381	271	0.00%	1.40
40	0.017	260	397	287	0.61%	1.38
60	0.021	276	413	303	0.61%	1.36
80	0.024	292	429	319	0.61%	1.34
100	0.027	308	445	335	0.61%	1.33
200	0.038	388	525	415	0.61%	1.26
300	0.046	468	605	495	0.61%	1.22
400	0.053	548	685	575	0.61%	1.19
500	0.060	628	765	655	0.64%	1.17
600	0.065	708	845	735	0.64%	1.15
700	0.071	788	925	815	0.64%	1.13
800	0.075	868	1005	895	0.64%	1.12
900	0.080	948	1085	975	0.64%	1.11
1000	0.084	1028	1165	1055	0.64%	1.10

Tabla B. 17 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.25	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.006	464	737	519	0.61%	1.42
20	0.008	472	745	527	0.61%	1.41
40	0.012	488	761	543	0.61%	1.40
60	0.015	504	777	559	0.61%	1.39
80	0.017	520	793	575	0.61%	1.38
100	0.019	536	809	591	0.61%	1.37
200	0.027	616	889	671	0.61%	1.33
300	0.033	696	969	751	0.61%	1.29
400	0.038	776	1049	831	0.61%	1.26
500	0.042	856	1129	911	0.61%	1.24
600	0.046	936	1209	991	0.61%	1.22
700	0.050	1016	1289	1071	0.61%	1.20
800	0.053	1096	1369	1151	0.61%	1.19
900	0.056	1176	1449	1231	0.61%	1.18
1000	0.059	1256	1529	1311	0.64%	1.17

Tabla B. 18 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.25, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.25	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.005	692	1102	774	0.61%	1.42
20	0.007	695	1110	782	0.61%	1.42
40	0.010	716	1126	798	0.00%	1.41
60	0.012	732	1142	814	0.61%	1.40
80	0.014	748	1158	830	0.61%	1.39
100	0.015	764	1174	846	0.61%	1.39
200	0.022	844	1254	926	0.61%	1.35
300	0.027	924	1334	1006	0.61%	1.33
400	0.031	1004	1414	1086	0.61%	1.30
500	0.034	1084	1494	1166	0.61%	1.28
600	0.038	1164	1574	1246	0.61%	1.26
700	0.041	1244	1654	1326	0.61%	1.25
800	0.043	1324	1734	1406	0.61%	1.23
900	0.046	1404	1814	1486	0.61%	1.22
1000	0.049	1484	1894	1566	0.61%	1.21

Tabla B. 19 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.014	54	83	60	0.32%	1.38
20	0.020	61	89	67	0.32%	1.34
40	0.029	74	103	80	0.32%	1.28
60	0.035	88	116	93	0.32%	1.24
80	0.041	101	129	107	0.32%	1.21
100	0.046	114	143	120	0.32%	1.19
200	0.064	181	209	187	0.32%	1.12
300	0.079	248	276	253	0.32%	1.09
400	0.091	314	343	320	0.32%	1.07
500	0.102	381	409	387	0.32%	1.06
600	0.112	448	476	453	0.35%	1.05
700	0.120	514	543	520	0.35%	1.04
800	0.129	581	610	587	0.05%	1.04
900	0.137	648	676	653	0.35%	1.03
10	0.014	54	83	60	0.32%	1.03

Tabla B. 20 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.010	102	159	113	0.32%	1.40
20	0.014	108	165	120	0.32%	1.38
40	0.020	122	179	133	0.32%	1.34
60	0.025	135	192	146	0.32%	1.31
80	0.029	148	205	160	0.32%	1.28
100	0.032	162	219	173	0.32%	1.26
200	0.046	228	285	240	0.32%	1.19
300	0.056	295	352	306	0.32%	1.15
400	0.064	362	419	373	0.32%	1.12
500	0.072	428	485	440	0.32%	1.10
600	0.079	495	552	506	0.32%	1.09
700	0.085	562	619	573	0.32%	1.08
800	0.091	628	685	640	0.32%	1.07
900	0.097	695	752	706	0.32%	1.06
1000	0.102	762	819	773	0.32%	1.06

Tabla B. 21 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04 [m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	147	235	147	0.00%	1.60
20	0.012	154	241	154	0.00%	1.57
40	0.016	169	255	167	0.32%	1.53
60	0.020	183	268	180	0.32%	1.49
80	0.023	196	281	193	0.32%	1.46
100	0.026	209	295	206	0.32%	1.43
200	0.037	276	361	273	0.32%	1.32
300	0.045	343	428	360	0.32%	1.19
400	0.052	409	495	426	0.32%	1.16
500	0.058	476	561	493	0.32%	1.14
600	0.064	543	628	560	0.32%	1.12
700	0.069	609	695	626	0.32%	1.11
800	0.074	676	761	693	0.32%	1.10
900	0.078	743	828	760	0.32%	1.09
1000	0.082	809	895	826	0.32%	1.08

Tabla B. 22 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.013	91	142	101	0.40%	1.40
20	0.018	98	148	108	0.40%	1.37
40	0.025	111	162	121	0.40%	1.33
60	0.031	124	175	135	0.40%	1.30
80	0.035	138	188	148	0.40%	1.27
100	0.040	151	202	161	0.40%	1.25
200	0.056	218	268	228	0.43%	1.18
300	0.069	284	335	295	0.43%	1.14
400	0.079	351	402	361	0.43%	1.11
500	0.089	418	468	428	0.43%	1.09
600	0.097	484	535	495	0.43%	1.08
700	0.105	551	602	561	0.43%	1.07
800	0.112	618	668	628	0.43%	1.06
900	0.119	684	735	695	0.43%	1.06
1000	0.125	751	802	761	0.45%	1.05

Tabla B. 23 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.009	176	277	196	0.40%	1.41
20	0.012	182	283	203	0.40%	1.40
40	0.018	196	297	216	0.40%	1.37
60	0.022	209	310	229	0.40%	1.35
80	0.025	222	323	243	0.40%	1.33
100	0.028	236	337	256	0.40%	1.32
200	0.039	302	403	323	0.40%	1.25
300	0.048	369	470	389	0.43%	1.21
400	0.056	436	537	456	0.43%	1.18
500	0.062	502	603	523	0.43%	1.15
600	0.068	569	670	589	0.43%	1.14
700	0.074	636	737	656	0.43%	1.12
800	0.079	702	803	723	0.43%	1.11
900	0.084	769	870	789	0.43%	1.10
1000	0.088	836	937	856	0.43%	1.09

Tabla B. 24 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.007	260	412	290	0.40%	1.42
20	0.010	267	418	297	0.40%	1.41
40	0.014	280	432	310	0.40%	1.39
60	0.017	293	445	324	0.40%	1.37
80	0.020	307	458	337	0.40%	1.36
100	0.023	320	472	350	0.40%	1.35
200	0.032	387	538	417	0.40%	1.29
300	0.039	453	605	484	0.40%	1.25
400	0.045	520	672	550	0.43%	1.22
500	0.051	587	738	617	0.43%	1.20
600	0.055	653	805	684	0.43%	1.18
700	0.060	720	872	750	0.43%	1.16
800	0.064	787	938	817	0.43%	1.15
900	0.068	853	1005	884	0.43%	1.14
1000	0.071	920	1072	950	0.43%	1.13

Tabla B. 25 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.010	197	311	219	0.61%	1.41
20	0.014	203	317	226	0.00%	1.40
40	0.020	217	331	239	0.61%	1.38
60	0.025	230	344	253	0.61%	1.36
80	0.029	243	357	266	0.61%	1.34
100	0.032	257	371	279	0.61%	1.33
200	0.046	323	437	346	0.61%	1.26
300	0.056	390	504	413	0.61%	1.22
400	0.064	457	571	479	0.61%	1.19
500	0.072	523	637	546	0.61%	1.17
600	0.079	590	704	613	0.64%	1.15
700	0.085	657	771	679	0.64%	1.13
800	0.091	723	837	746	0.64%	1.12
900	0.097	790	904	813	0.64%	1.11
1000	0.102	857	971	879	0.64%	1.10

Tabla B. 26 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.007	387	614	432	0.61%	1.42
20	0.010	393	621	439	0.61%	1.41
40	0.014	407	634	452	0.61%	1.40
60	0.017	420	648	466	0.61%	1.39
80	0.020	433	661	479	0.61%	1.38
100	0.023	447	674	492	0.61%	1.37
200	0.032	513	741	559	0.61%	1.33
300	0.039	580	808	626	0.61%	1.29
400	0.045	647	874	692	0.61%	1.26
500	0.051	713	941	759	0.61%	1.24
600	0.055	780	1008	826	0.61%	1.22
700	0.060	847	1074	892	0.61%	1.20
800	0.064	913	1141	959	0.61%	1.19
900	0.068	980	1208	1026	0.61%	1.18
1000	0.071	1047	1274	1092	0.61%	1.17

Tabla B. 27 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.5, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.5	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.006	577	918	645	0.61%	1.42
20	0.008	579	925	652	0.61%	1.42
40	0.012	597	938	665	0.61%	1.41
60	0.014	610	952	678	0.61%	1.40
80	0.016	623	965	692	0.61%	1.39
100	0.018	637	978	705	0.61%	1.39
200	0.026	703	1045	772	0.61%	1.35
300	0.032	770	1112	838	0.61%	1.33
400	0.037	837	1178	905	0.61%	1.30
500	0.041	903	1245	972	0.61%	1.28
600	0.045	970	1312	1038	0.61%	1.26
700	0.049	1037	1378	1105	0.61%	1.25
800	0.052	1103	1445	1172	0.61%	1.23
900	0.055	1170	1512	1238	0.61%	1.22
1000	0.058	1237	1578	1305	0.61%	1.21

Tabla B. 28 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.016	47	77	55	0.30%	1.42
20	0.023	53	80	57	0.30%	1.40
40	0.033	63	98	70	0.30%	1.40
60	0.040	75	104	80	0.32%	1.30
80	0.047	86	115	91	0.32%	1.26
100	0.052	97	134	103	0.32%	1.30
200	0.074	155	182	160	0.32%	1.14
300	0.090	212	244	217	0.32%	1.12
400	0.104	269	300	274	0.32%	1.09
500	0.117	326	356	331	0.32%	1.07
600	0.128	383	412	389	0.34%	1.06
700	0.138	441	471	446	0.34%	1.06
800	0.147	498	535	503	0.34%	1.06
900	0.156	555	583	560	0.34%	1.04
1000	0.165	612	645	617	0.34%	1.05

Tabla B. 29 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.012	87	136	97	0.30%	1.40
20	0.017	93	142	103	0.30%	1.38
40	0.024	104	153	114	0.30%	1.34
60	0.029	116	165	125	0.30%	1.31
80	0.033	127	176	137	0.30%	1.28
100	0.037	139	187	148	0.32%	1.26
200	0.053	196	245	205	0.32%	1.19
300	0.064	253	302	263	0.32%	1.15
400	0.074	310	359	320	0.32%	1.12
500	0.083	367	416	377	0.32%	1.10
600	0.091	424	473	434	0.32%	1.09
700	0.098	481	530	491	0.32%	1.08
800	0.105	539	587	548	0.32%	1.07
900	0.112	596	645	605	0.32%	1.06
1000	0.118	653	702	663	0.32%	1.06

Tabla B. 30 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04 [m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.010	126	201	142	0.00%	1.41
20	0.013	134	207	148	0.00%	1.39
40	0.019	145	218	160	0.30%	1.37
60	0.023	156	230	171	0.30%	1.34
80	0.027	168	241	183	0.30%	1.32
100	0.030	179	252	194	0.30%	1.30
200	0.043	236	310	251	0.32%	1.23
300	0.052	294	367	308	0.32%	1.19
400	0.060	351	424	365	0.32%	1.16
500	0.067	408	481	423	0.32%	1.14
600	0.074	465	538	480	0.32%	1.12
700	0.080	522	595	537	0.32%	1.11
800	0.085	579	652	594	0.32%	1.10
900	0.091	636	710	651	0.32%	1.09
1000	0.095	694	767	708	0.32%	1.08

Tabla B. 31 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.014	78	121	87	0.41%	1.40
20	0.020	84	127	93	0.41%	1.37
40	0.029	95	139	104	0.41%	1.33
60	0.035	107	150	115	0.41%	1.30
80	0.041	118	161	127	0.41%	1.27
100	0.046	130	173	138	0.41%	1.25
200	0.064	187	230	195	0.41%	1.18
300	0.079	244	287	253	0.41%	1.14
400	0.091	301	344	310	0.41%	1.11
500	0.102	358	401	367	0.43%	1.09
600	0.112	415	459	424	0.43%	1.08
700	0.121	472	516	481	0.43%	1.07
800	0.129	530	573	538	0.43%	1.06
900	0.137	587	630	595	0.43%	1.06
1000	0.144	644	687	653	0.43%	1.05

Tabla B. 32 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.010	150	237	168	0.41%	1.41
20	0.014	156	243	174	0.41%	1.40
40	0.020	168	254	185	0.41%	1.37
60	0.025	179	266	196	0.41%	1.35
80	0.029	190	277	208	0.41%	1.33
100	0.032	202	289	219	0.41%	1.32
200	0.046	259	346	276	0.41%	1.25
300	0.056	316	403	334	0.41%	1.21
400	0.064	373	460	391	0.41%	1.18
500	0.072	430	517	448	0.41%	1.15
600	0.079	488	574	505	0.41%	1.14
700	0.085	545	632	562	0.41%	1.12
800	0.091	602	689	619	0.41%	1.11
900	0.097	659	746	676	0.43%	1.10
1000	0.102	716	803	734	0.43%	1.09

Tabla B. 33 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	223	353	249	0.41%	1.42
20	0.012	229	359	255	0.41%	1.41
40	0.017	240	370	266	0.00%	1.39
60	0.020	251	382	278	0.41%	1.37
80	0.023	263	393	289	0.41%	1.36
100	0.026	274	404	300	0.41%	1.35
200	0.037	331	462	358	0.41%	1.29
300	0.045	389	519	415	0.41%	1.25
400	0.052	446	576	472	0.41%	1.22
500	0.059	503	633	529	0.41%	1.20
600	0.064	560	690	586	0.41%	1.18
700	0.069	617	747	643	0.41%	1.16
800	0.074	674	804	700	0.41%	1.15
900	0.079	731	862	758	0.41%	1.14
1000	0.083	789	919	815	0.41%	1.13

Tabla B. 34 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.012	169	266	188	0.62%	1.41
20	0.017	174	272	194	0.62%	1.40
40	0.024	186	283	205	0.62%	1.38
60	0.029	197	295	217	0.62%	1.36
80	0.033	209	306	228	0.62%	1.34
100	0.037	220	318	240	0.62%	1.33
200	0.053	277	375	297	0.62%	1.26
300	0.064	334	432	354	0.62%	1.22
400	0.074	391	489	411	0.62%	1.19
500	0.083	449	546	468	0.62%	1.17
600	0.091	506	603	525	0.62%	1.15
700	0.098	563	660	582	0.64%	1.13
800	0.105	620	718	640	0.64%	1.12
900	0.112	677	775	697	0.64%	1.11
1000	0.118	734	832	754	0.64%	1.10

Tabla B. 35 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	331	527	371	0.62%	1.42
20	0.012	337	532	376	0.62%	1.41
40	0.017	346	543	387	0.00%	1.40
60	0.020	360	555	399	0.62%	1.39
80	0.023	371	567	411	0.62%	1.38
100	0.026	383	578	422	0.62%	1.37
200	0.037	440	635	479	0.62%	1.33
300	0.045	497	692	536	0.62%	1.29
400	0.052	554	749	593	0.62%	1.26
500	0.059	611	807	651	0.62%	1.24
600	0.064	669	864	708	0.62%	1.22
700	0.069	726	921	765	0.62%	1.20
800	0.074	783	978	822	0.62%	1.19
900	0.079	840	1035	879	0.62%	1.18
1000	0.083	897	1092	936	0.62%	1.17

Tabla B. 36 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 1.75, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	1.75	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.007	494	787	553	0.62%	1.42
20	0.010	500	793	559	0.62%	1.42
40	0.014	511	804	570	0.62%	1.41
60	0.017	523	816	582	0.62%	1.40
80	0.019	534	827	593	0.62%	1.39
100	0.021	546	839	604	0.62%	1.39
200	0.030	603	896	662	0.62%	1.35
300	0.037	660	953	719	0.62%	1.33
400	0.043	717	1010	776	0.62%	1.30
500	0.048	774	1067	833	0.62%	1.28
600	0.053	831	1124	890	0.62%	1.26
700	0.057	889	1181	947	0.62%	1.25
800	0.061	946	1239	1004	0.62%	1.23
900	0.064	1003	1296	1062	0.62%	1.22
1000	0.068	1060	1353	1119	0.62%	1.21

Tabla B. 37 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.015	51	77	56	0.24%	1.38
20	0.021	57	84	62	0.24%	1.34
40	0.030	70	96	75	0.24%	1.28
60	0.037	82	109	87	0.24%	1.24
80	0.043	95	121	100	0.24%	1.21
100	0.048	107	134	112	0.24%	1.19
200	0.068	170	196	175	0.26%	1.12
300	0.083	232	259	237	0.26%	1.09
400	0.096	295	321	300	0.26%	1.07
500	0.107	357	384	362	0.26%	1.06
600	0.118	420	446	425	0.26%	1.05
700	0.127	482	509	487	0.28%	1.04
800	0.136	545	571	550	0.04%	1.04
900	0.144	607	634	612	0.28%	1.03
1000	0.152	670	696	675	0.28%	1.03

Tabla B. 38 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.011	95	149	106	0.24%	1.40
20	0.015	102	155	112	0.24%	1.38
40	0.022	114	167	125	0.24%	1.34
60	0.026	127	180	137	0.24%	1.31
80	0.031	139	192	150	0.24%	1.28
100	0.034	152	205	162	0.24%	1.26
200	0.048	214	267	225	0.24%	1.19
300	0.059	277	330	287	0.26%	1.15
400	0.068	339	392	350	0.26%	1.12
500	0.076	402	455	412	0.26%	1.10
600	0.084	464	517	475	0.26%	1.09
700	0.090	527	580	537	0.26%	1.08
800	0.097	589	642	600	0.26%	1.07
900	0.102	652	705	662	0.26%	1.06
1000	0.108	714	767	725	0.26%	1.06

Tabla B. 39 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04 [m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.009	138	220	138	0.24%	1.60
20	0.012	144	226	144	0.24%	1.57
40	0.017	159	239	175	0.24%	1.37
60	0.021	171	251	187	0.24%	1.35
80	0.025	184	264	200	0.24%	1.32
100	0.028	196	276	212	0.24%	1.30
200	0.039	259	339	275	0.24%	1.23
300	0.048	321	401	337	0.24%	1.19
400	0.055	384	464	400	0.26%	1.16
500	0.062	446	526	462	0.26%	1.14
600	0.068	509	589	525	0.26%	1.12
700	0.073	571	651	587	0.26%	1.11
800	0.078	634	714	650	0.26%	1.10
900	0.083	696	776	712	0.26%	1.09
1000	0.087	759	839	775	0.26%	1.08

Tabla B. 40 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.013	85	133	95	0.32%	1.40
20	0.019	92	139	101	0.32%	1.37
40	0.027	104	152	114	0.32%	1.33
60	0.032	117	164	126	0.32%	1.30
80	0.037	129	177	139	0.32%	1.27
100	0.042	142	189	151	0.32%	1.25
200	0.059	204	252	214	0.34%	1.18
300	0.073	267	314	276	0.34%	1.14
400	0.084	329	377	339	0.34%	1.11
500	0.094	392	439	401	0.34%	1.09
600	0.103	454	502	464	0.34%	1.08
700	0.111	517	564	526	0.34%	1.07
800	0.119	579	627	589	0.34%	1.06
900	0.126	642	689	651	0.36%	1.06
1000	0.133	704	752	714	0.36%	1.05

Tabla B. 41 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.009	165	259	184	0.32%	1.41
20	0.013	171	266	190	0.32%	1.40
40	0.019	183	278	202	0.32%	1.37
60	0.023	196	291	215	0.32%	1.35
80	0.026	208	303	227	0.32%	1.33
100	0.030	221	316	240	0.32%	1.32
200	0.042	283	378	302	0.32%	1.25
300	0.051	346	441	365	0.34%	1.21
400	0.059	408	503	427	0.34%	1.18
500	0.066	471	566	490	0.34%	1.15
600	0.072	533	628	552	0.34%	1.14
700	0.078	596	691	615	0.34%	1.12
800	0.084	658	753	677	0.34%	1.11
900	0.089	721	816	740	0.34%	1.10
1000	0.093	783	878	802	0.34%	1.09

Tabla B. 42 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	244	386	272	0.32%	1.42
20	0.011	250	392	279	0.32%	1.41
40	0.015	263	405	291	0.32%	1.39
60	0.019	275	417	304	0.32%	1.37
80	0.021	288	430	316	0.32%	1.36
100	0.024	300	442	329	0.32%	1.35
200	0.034	363	505	391	0.32%	1.29
300	0.042	425	567	454	0.32%	1.25
400	0.048	488	630	516	0.34%	1.22
500	0.054	550	692	579	0.34%	1.20
600	0.059	613	755	641	0.34%	1.18
700	0.064	675	817	704	0.34%	1.16
800	0.068	738	880	766	0.34%	1.15
900	0.072	800	942	829	0.34%	1.14
1000	0.076	863	1005	891	0.34%	1.13

Tabla B. 43 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.009	184	291	206	0.50%	1.41
20	0.012	191	297	212	0.50%	1.40
40	0.017	203	310	225	0.50%	1.38
60	0.021	216	322	237	0.50%	1.36
80	0.025	228	335	250	0.50%	1.34
100	0.028	241	347	262	0.50%	1.33
200	0.039	303	410	325	0.50%	1.26
300	0.048	366	472	387	0.50%	1.22
400	0.055	428	535	450	0.50%	1.19
500	0.062	491	597	512	0.50%	1.17
600	0.068	553	660	575	0.50%	1.15
700	0.073	616	722	637	0.50%	1.13
800	0.078	678	785	700	0.50%	1.12
900	0.083	741	847	762	0.50%	1.11
1000	0.087	803	910	825	0.50%	1.10

Tabla B. 44 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.008	363	576	405	0.50%	1.42
20	0.011	369	582	412	0.50%	1.41
40	0.015	381	595	424	0.50%	1.40
60	0.019	394	607	437	0.50%	1.39
80	0.021	406	620	449	0.50%	1.38
100	0.024	419	632	462	0.50%	1.37
200	0.034	481	695	524	0.50%	1.33
300	0.042	544	757	587	0.50%	1.29
400	0.048	606	820	649	0.50%	1.26
500	0.054	669	882	712	0.50%	1.24
600	0.059	731	945	774	0.50%	1.22
700	0.064	794	1007	837	0.50%	1.20
800	0.068	856	1070	899	0.50%	1.19
900	0.072	919	1132	962	0.50%	1.18
1000	0.076	981	1195	1024	0.50%	1.17

Tabla B. 45 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 2.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	2.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.006	541	861	605	0.50%	1.42
20	0.009	547	867	611	0.50%	1.42
40	0.012	559	880	624	0.50%	1.41
60	0.015	572	892	636	0.50%	1.40
80	0.018	584	905	649	0.50%	1.39
100	0.020	597	917	661	0.00%	1.39
200	0.028	659	980	724	0.50%	1.35
300	0.034	722	1042	786	0.50%	1.33
400	0.039	784	1105	849	0.50%	1.30
500	0.044	847	1167	911	0.50%	1.28
600	0.048	909	1230	974	0.50%	1.26
700	0.052	972	1292	1036	0.50%	1.25
800	0.056	1034	1355	1099	0.50%	1.23
900	0.059	1097	1417	1161	0.50%	1.22
1000	0.062	1159	1480	1224	0.50%	1.21

Tabla B. 46 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.048	16	25	18	0.30%	1.38
20	0.067	18	27	20	0.30%	1.34
40	0.095	22	31	24	0.31%	1.28
60	0.117	26	35	28	0.31%	1.24
80	0.135	30	39	32	0.31%	1.21
100	0.151	34	43	36	0.31%	1.19
200	0.213	54	63	56	0.31%	1.12
300	0.261	74	83	76	0.32%	1.09
400	0.301	94	103	96	0.33%	1.07
500	0.337	114	123	116	0.33%	1.06
600	0.369	134	143	136	0.34%	1.05
700	0.399	154	163	156	0.34%	1.04
800	0.426	174	183	176	0.04%	1.04
900	0.452	194	203	196	0.34%	1.03
1000	0.476	214	223	216	0.35%	1.03

Tabla B. 47 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.034	31	48	34	0.30%	1.40
20	0.048	33	50	36	0.30%	1.38
40	0.068	37	54	40	0.30%	1.34
60	0.083	41	58	44	0.31%	1.31
80	0.096	45	62	48	0.31%	1.28
100	0.107	49	66	52	0.31%	1.26
200	0.151	69	86	72	0.31%	1.19
300	0.185	89	106	92	0.31%	1.15
400	0.214	109	126	112	0.31%	1.12
500	0.239	129	146	132	0.32%	1.10
600	0.262	149	166	152	0.32%	1.09
700	0.283	169	186	172	0.32%	1.08
800	0.302	189	206	192	0.33%	1.07
900	0.320	209	226	212	0.33%	1.06
1000	0.338	229	246	232	0.33%	1.06

Tabla B. 48 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04 [m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.027	45	70	50	0.01%	1.41
20	0.039	47	72	52	0.30%	1.39
40	0.055	51	76	56	0.30%	1.37
60	0.067	55	80	60	0.30%	1.34
80	0.077	59	84	64	0.30%	1.32
100	0.086	63	88	68	0.31%	1.30
200	0.122	83	108	88	0.31%	1.23
300	0.150	103	128	108	0.31%	1.19
400	0.173	123	148	128	0.31%	1.16
500	0.193	143	168	148	0.31%	1.14
600	0.212	163	188	168	0.31%	1.12
700	0.229	183	208	188	0.32%	1.11
800	0.244	203	228	208	0.32%	1.10
900	0.259	223	248	228	0.32%	1.09
1000	0.273	243	268	248	0.32%	1.08

Tabla B. 49 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.041	27	43	30	0.41%	1.40
20	0.058	29	45	32	0.41%	1.37
40	0.083	33	49	36	0.41%	1.33
60	0.101	37	53	40	0.41%	1.30
80	0.117	41	57	44	0.41%	1.27
100	0.131	45	61	48	0.42%	1.25
200	0.185	65	81	68	0.42%	1.18
300	0.226	85	101	88	0.42%	1.14
400	0.261	105	121	108	0.42%	1.11
500	0.292	125	141	128	0.42%	1.09
600	0.320	145	161	148	0.43%	1.08
700	0.345	165	181	168	0.43%	1.07
800	0.369	185	201	188	0.43%	1.06
900	0.392	205	221	208	0.44%	1.06
1000	0.413	225	241	228	0.44%	1.05

Tabla B. 50 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez		Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.029	53	83	59	0.41%	1.41
20	0.041	55	85	61	0.41%	1.40
40	0.059	59	89	65	0.41%	1.37
60	0.072	63	93	69	0.41%	1.35
80	0.083	67	97	73	0.41%	1.33
100	0.093	71	101	77	0.41%	1.32
200	0.131	91	121	97	0.42%	1.25
300	0.160	111	141	117	0.42%	1.21
400	0.185	131	161	137	0.42%	1.18
500	0.207	151	181	157	0.42%	1.15
600	0.227	171	201	177	0.42%	1.14
700	0.245	191	221	197	0.42%	1.12
800	0.262	211	241	217	0.42%	1.11
900	0.278	231	261	237	0.42%	1.10
1000	0.293	251	281	257	0.42%	1.09

Tabla B. 51 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.024	78	124	87	0.41%	1.42
20	0.034	80	126	89	0.41%	1.41
40	0.047	84	130	93	0.41%	1.39
60	0.058	88	134	97	0.41%	1.37
80	0.067	92	138	101	0.41%	1.36
100	0.075	96	142	105	0.41%	1.35
200	0.106	116	162	125	0.41%	1.29
300	0.130	136	182	145	0.42%	1.25
400	0.150	156	202	165	0.42%	1.22
500	0.168	176	222	185	0.42%	1.20
600	0.184	196	242	205	0.42%	1.18
700	0.199	216	262	225	0.42%	1.16
800	0.212	236	282	245	0.42%	1.15
900	0.225	256	302	265	0.42%	1.14
1000	0.237	276	322	285	0.42%	1.13

Tabla B. 52 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.034	59	93	66	0.00%	1.41
20	0.048	61	95	68	0.00%	1.40
40	0.068	65	99	72	0.00%	1.38
60	0.083	69	103	76	0.00%	1.36
80	0.096	73	107	80	0.00%	1.34
100	0.107	77	111	84	0.00%	1.33
200	0.151	97	131	104	0.00%	1.26
300	0.185	117	151	124	0.00%	1.22
400	0.214	137	171	144	0.00%	1.19
500	0.239	157	191	164	0.00%	1.17
600	0.262	177	211	184	0.00%	1.15
700	0.283	197	231	204	0.00%	1.13
800	0.302	217	251	224	0.00%	1.12
900	0.320	237	271	244	0.00%	1.11
1000	0.338	257	291	264	0.00%	1.10

Tabla B. 53 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.024	116	184	130	0.62%	1.42
20	0.034	118	186	132	0.62%	1.41
40	0.047	122	190	136	0.62%	1.40
60	0.058	126	194	140	0.62%	1.39
80	0.067	130	198	144	0.62%	1.38
100	0.075	134	202	148	0.62%	1.37
200	0.106	154	222	168	0.62%	1.33
300	0.130	174	242	188	0.62%	1.29
400	0.150	194	262	208	0.62%	1.26
500	0.168	214	282	228	0.62%	1.24
600	0.184	234	302	248	0.62%	1.22
700	0.199	254	322	268	0.62%	1.20
800	0.212	274	342	288	0.62%	1.19
900	0.225	294	362	308	0.62%	1.18
1000	0.237	314	382	328	0.62%	1.17

Tabla B. 54 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 5.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	5.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.019	173	275	194	0.62%	1.42
20	0.027	174	278	196	0.01%	1.42
40	0.039	178	282	200	0.01%	1.41
60	0.048	182	286	204	0.01%	1.40
80	0.055	187	290	208	0.01%	1.39
100	0.061	191	293	212	0.01%	1.39
200	0.087	211	313	232	0.62%	1.35
300	0.106	231	333	252	0.62%	1.33
400	0.123	251	353	272	0.62%	1.30
500	0.137	271	373	292	0.62%	1.28
600	0.150	291	393	312	0.62%	1.26
700	0.162	311	413	332	0.62%	1.25
800	0.174	331	433	352	0.62%	1.23
900	0.184	351	453	372	0.62%	1.22
1000	0.194	371	473	392	0.62%	1.21

Tabla B. 55 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.091	8	13	9	0.30%	1.38
20	0.129	10	14	10	0.30%	1.34
40	0.182	12	16	12	0.30%	1.28
60	0.223	14	18	15	0.30%	1.24
80	0.257	16	20	17	0.30%	1.21
100	0.288	18	22	19	0.30%	1.19
200	0.407	28	33	29	0.30%	1.12
300	0.498	39	43	40	0.31%	1.09
400	0.575	49	54	50	0.31%	1.07
500	0.643	60	64	60	0.32%	1.06
600	0.704	70	74	71	0.32%	1.05
700	0.761	80	85	81	0.32%	1.04
800	0.813	91	95	92	0.04%	1.04
900	0.863	101	106	102	0.33%	1.03
1000	0.909	112	116	112	0.34%	1.03

Tabla B. 56 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.065	16	25	18	0.30%	1.40
20	0.091	17	26	19	0.30%	1.38
40	0.129	19	28	21	0.30%	1.34
60	0.158	21	30	23	0.30%	1.31
80	0.183	23	32	25	0.30%	1.28
100	0.204	25	34	27	0.30%	1.26
200	0.289	36	45	37	0.30%	1.19
300	0.354	46	55	48	0.30%	1.15
400	0.409	57	65	58	0.30%	1.12
500	0.457	67	76	69	0.30%	1.10
600	0.501	77	86	79	0.31%	1.09
700	0.541	88	97	90	0.31%	1.08
800	0.578	98	107	100	0.31%	1.07
900	0.613	109	117	110	0.31%	1.06
1000	0.646	119	128	121	0.32%	1.06

Tabla B. 57 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04 [m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.052	23	37	26	0.00%	1.41
20	0.074	24	38	27	0.00%	1.39
40	0.105	26	40	29	0.30%	1.37
60	0.128	29	42	31	0.30%	1.34
80	0.148	31	44	33	0.30%	1.32
100	0.166	33	46	35	0.30%	1.30
200	0.234	43	56	46	0.30%	1.23
300	0.287	54	67	56	0.30%	1.19
400	0.332	64	77	67	0.30%	1.16
500	0.371	74	88	77	0.30%	1.14
600	0.406	85	98	87	0.30%	1.12
700	0.439	95	109	98	0.30%	1.11
800	0.469	106	119	108	0.30%	1.10
900	0.497	116	129	119	0.31%	1.09
1000	0.524	126	140	129	0.31%	1.08

Tabla B. 58 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.079	14	22	16	0.39%	1.40
20	0.112	15	23	17	0.39%	1.37
40	0.159	17	25	19	0.39%	1.33
60	0.194	19	27	21	0.40%	1.30
80	0.224	22	29	23	0.40%	1.27
100	0.251	24	32	25	0.40%	1.25
200	0.355	34	42	36	0.40%	1.18
300	0.435	44	52	46	0.40%	1.14
400	0.502	55	63	56	0.40%	1.11
500	0.561	65	73	67	0.41%	1.09
600	0.615	76	84	77	0.41%	1.08
700	0.664	86	94	88	0.42%	1.07
800	0.710	97	104	98	0.42%	1.06
900	0.753	107	115	109	0.42%	1.06
1000	0.793	117	125	119	0.42%	1.05

Tabla B. 59 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.056	27	43	31	0.39%	1.41
20	0.079	28	44	32	0.39%	1.40
40	0.112	31	46	34	0.39%	1.37
60	0.137	33	48	36	0.39%	1.35
80	0.158	35	51	38	0.39%	1.33
100	0.177	37	53	40	0.40%	1.32
200	0.251	47	63	50	0.40%	1.25
300	0.307	58	73	61	0.40%	1.21
400	0.354	68	84	71	0.40%	1.18
500	0.396	78	94	82	0.40%	1.15
600	0.434	89	105	92	0.40%	1.14
700	0.469	99	115	102	0.40%	1.12
800	0.501	110	126	113	0.40%	1.11
900	0.532	120	136	123	0.41%	1.10
1000	0.560	131	146	134	0.41%	1.09

Tabla B. 60 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.046	41	64	45	0.39%	1.42
20	0.064	42	65	46	0.39%	1.41
40	0.091	44	67	49	0.39%	1.39
60	0.112	46	70	51	0.39%	1.37
80	0.129	48	72	53	0.39%	1.36
100	0.144	50	74	55	0.39%	1.35
200	0.204	60	84	65	0.40%	1.29
300	0.250	71	95	76	0.40%	1.25
400	0.288	81	105	86	0.40%	1.22
500	0.322	92	115	96	0.40%	1.20
600	0.353	102	126	107	0.40%	1.18
700	0.381	113	136	117	0.40%	1.16
800	0.408	123	147	128	0.40%	1.15
900	0.432	133	157	138	0.40%	1.14
1000	0.456	144	167	149	0.40%	1.13

Tabla B. 61 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.065	31	49	34	0.59%	1.41
20	0.091	32	50	35	0.01%	1.40
40	0.129	34	52	37	0.59%	1.38
60	0.158	36	54	40	0.59%	1.36
80	0.183	38	56	42	0.59%	1.34
100	0.204	40	58	44	0.59%	1.33
200	0.289	51	68	54	0.59%	1.26
300	0.354	61	79	65	0.60%	1.22
400	0.409	71	89	75	0.60%	1.19
500	0.457	82	100	85	0.60%	1.17
600	0.501	92	110	96	0.60%	1.15
700	0.541	103	120	106	0.60%	1.13
800	0.578	113	131	117	0.61%	1.12
900	0.613	123	141	127	0.61%	1.11
1000	0.646	134	152	137	0.61%	1.10

Tabla B. 62 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.046	60	96	68	0.59%	1.42
20	0.064	61	97	69	0.59%	1.41
40	0.091	64	99	71	0.59%	1.40
60	0.112	66	101	73	0.59%	1.39
80	0.129	68	103	75	0.59%	1.38
100	0.144	70	105	77	0.59%	1.37
200	0.204	80	116	87	0.59%	1.33
300	0.250	91	126	98	0.59%	1.29
400	0.288	101	137	108	0.59%	1.26
500	0.322	111	147	119	0.60%	1.24
600	0.353	122	157	129	0.60%	1.22
700	0.381	132	168	139	0.60%	1.20
800	0.408	143	178	150	0.60%	1.19
900	0.432	153	189	160	0.60%	1.18
1000	0.456	164	199	171	0.60%	1.17

Tabla B. 63 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 10.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	10.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.037	90	143	101	0.59%	1.42
20	0.053	91	145	102	0.59%	1.42
40	0.074	93	147	104	0.59%	1.41
60	0.091	95	149	106	0.01%	1.40
80	0.105	97	151	108	0.01%	1.39
100	0.118	99	153	110	0.59%	1.39
200	0.166	110	163	121	0.59%	1.35
300	0.204	120	174	131	0.59%	1.33
400	0.235	131	184	141	0.59%	1.30
500	0.263	141	195	152	0.59%	1.28
600	0.288	152	205	162	0.59%	1.26
700	0.311	162	215	173	0.59%	1.25
800	0.333	172	226	183	0.60%	1.23
900	0.353	183	236	194	0.60%	1.22
1000	0.372	193	247	204	0.60%	1.21

Tabla B. 64 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.142	5	8	6	0.31%	1.38
20	0.200	6	9	7	0.31%	1.34
40	0.283	7	10	8	0.31%	1.28
60	0.347	9	12	9	0.31%	1.24
80	0.400	10	13	11	0.31%	1.21
100	0.448	11	14	12	0.31%	1.19
200	0.633	18	21	19	0.31%	1.12
300	0.776	25	28	25	0.32%	1.09
400	0.896	31	34	32	0.33%	1.07
500	1.001	38	41	39	0.33%	1.06
600	1.097	45	48	45	0.33%	1.05
700	1.185	51	54	52	0.34%	1.04
800	1.266	58	61	59	0.04%	1.04
900	1.343	65	68	65	0.35%	1.03
1000	1.416	71	74	72	0.35%	1.03

Tabla B. 65 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.101	10	16	11	0.31%	1.40
20	0.143	11	17	12	0.31%	1.38
40	0.202	12	18	13	0.31%	1.34
60	0.247	14	19	15	0.31%	1.31
80	0.285	15	21	16	0.31%	1.28
100	0.319	16	22	17	0.31%	1.26
200	0.451	23	29	24	0.31%	1.19
300	0.553	30	35	31	0.31%	1.15
400	0.638	36	42	37	0.31%	1.12
500	0.714	43	49	44	0.32%	1.10
600	0.782	50	55	51	0.32%	1.09
700	0.844	56	62	57	0.32%	1.08
800	0.903	63	69	64	0.33%	1.07
900	0.957	70	75	71	0.33%	1.06
1000	1.009	76	82	77	0.33%	1.06

Tabla B. 66 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez		Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04 [m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.082	15	23	17	0.01%	1.41
20	0.116	15	24	17	0.01%	1.40
40	0.164	17	25	19	0.31%	1.37
60	0.200	18	27	20	0.31%	1.34
80	0.231	20	28	21	0.31%	1.32
100	0.259	21	29	23	0.31%	1.30
200	0.366	28	36	29	0.31%	1.23
300	0.448	34	43	36	0.31%	1.19
400	0.517	41	49	43	0.31%	1.16
500	0.578	48	56	49	0.31%	1.14
600	0.633	54	63	56	0.31%	1.12
700	0.684	61	69	63	0.32%	1.11
800	0.731	68	76	69	0.32%	1.10
900	0.776	74	83	76	0.32%	1.09
1000	0.818	81	89	83	0.32%	1.08

Tabla B. 67 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.123	9	14	10	0.41%	1.40
20	0.174	10	15	11	0.41%	1.37
40	0.246	11	16	12	0.41%	1.33
60	0.302	12	18	13	0.41%	1.30
80	0.348	14	19	15	0.41%	1.27
100	0.390	15	20	16	0.41%	1.25
200	0.551	22	27	23	0.42%	1.18
300	0.675	28	34	29	0.42%	1.14
400	0.779	35	40	36	0.42%	1.11
500	0.871	42	47	43	0.43%	1.09
600	0.954	48	54	49	0.43%	1.08
700	1.031	55	60	56	0.43%	1.07
800	1.102	62	67	63	0.43%	1.06
900	1.169	68	74	69	0.44%	1.06
1000	1.232	75	80	76	0.44%	1.05

Tabla B. 68 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.087	18	28	20	0.41%	1.41
20	0.124	18	28	20	0.41%	1.40
40	0.175	20	30	22	0.41%	1.37
60	0.214	21	31	23	0.41%	1.35
80	0.247	22	32	24	0.41%	1.33
100	0.276	24	34	26	0.41%	1.32
200	0.391	30	40	32	0.41%	1.25
300	0.479	37	47	39	0.41%	1.21
400	0.553	44	54	46	0.42%	1.18
500	0.618	50	60	52	0.42%	1.15
600	0.677	57	67	59	0.42%	1.14
700	0.731	64	74	66	0.42%	1.12
800	0.781	70	80	72	0.42%	1.11
900	0.829	77	87	79	0.42%	1.10
1000	0.874	84	94	86	0.43%	1.09

Tabla B. 69 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.071	26	41	29	0.41%	1.42
20	0.101	27	42	30	0.41%	1.41
40	0.142	28	43	31	0.01%	1.39
60	0.174	29	45	32	0.41%	1.37
80	0.201	31	46	34	0.41%	1.36
100	0.225	32	47	35	0.41%	1.35
200	0.318	39	54	42	0.41%	1.29
300	0.390	45	61	48	0.41%	1.25
400	0.450	52	67	55	0.41%	1.22
500	0.503	59	74	62	0.41%	1.20
600	0.551	65	81	68	0.42%	1.18
700	0.595	72	87	75	0.42%	1.16
800	0.636	79	94	82	0.42%	1.15
900	0.675	85	101	88	0.42%	1.14
1000	0.711	92	107	95	0.42%	1.13

Tabla B. 70 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.101	20	31	22	0.61%	1.41
20	0.143	20	32	23	0.01%	1.40
40	0.202	22	33	24	0.61%	1.38
60	0.247	23	34	25	0.61%	1.36
80	0.285	24	36	27	0.62%	1.34
100	0.319	26	37	28	0.62%	1.33
200	0.451	32	44	35	0.62%	1.26
300	0.553	39	50	41	0.62%	1.22
400	0.638	46	57	48	0.62%	1.19
500	0.714	52	64	55	0.62%	1.17
600	0.782	59	70	61	0.63%	1.15
700	0.844	66	77	68	0.63%	1.13
800	0.903	72	84	75	0.63%	1.12
900	0.957	79	90	81	0.63%	1.11
1000	1.009	86	97	88	0.63%	1.10

Tabla B. 71 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.071	39	61	43	0.61%	1.42
20	0.101	39	62	44	0.61%	1.41
40	0.142	41	63	45	0.61%	1.40
60	0.174	42	65	47	0.61%	1.39
80	0.201	43	66	48	0.61%	1.38
100	0.225	45	67	49	0.61%	1.37
200	0.318	51	74	56	0.62%	1.33
300	0.390	58	81	63	0.62%	1.29
400	0.450	65	87	69	0.62%	1.26
500	0.503	71	94	76	0.62%	1.24
600	0.551	78	101	83	0.62%	1.22
700	0.595	85	107	89	0.62%	1.20
800	0.636	91	114	96	0.62%	1.19
900	0.675	98	121	103	0.62%	1.18
1000	0.711	105	127	109	0.62%	1.17

Tabla B. 72 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 15.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	15.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.058	58	92	65	0.61%	1.42
20	0.082	58	92	65	0.61%	1.42
40	0.116	60	94	67	0.61%	1.41
60	0.142	61	95	68	0.61%	1.40
80	0.165	62	96	69	0.61%	1.39
100	0.184	64	98	71	0.61%	1.39
200	0.260	70	104	77	0.62%	1.35
300	0.319	77	111	84	0.62%	1.33
400	0.368	84	118	91	0.62%	1.30
500	0.411	90	124	97	0.62%	1.28
600	0.451	97	131	104	0.62%	1.26
700	0.487	104	138	111	0.62%	1.25
800	0.520	110	144	117	0.62%	1.23
900	0.552	117	151	124	0.62%	1.22
1000	0.582	124	158	131	0.62%	1.21

Tabla B. 73 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/8"	Area	1.425E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.191	4	6	4	0.31%	1.38
20	0.269	5	7	5	0.31%	1.34
40	0.381	6	8	6	0.31%	1.28
60	0.467	7	9	7	0.31%	1.24
80	0.539	8	10	8	0.31%	1.21
100	0.603	9	11	9	0.31%	1.19
200	0.852	14	16	14	0.32%	1.12
300	1.044	19	21	19	0.32%	1.09
400	1.205	24	26	24	0.32%	1.07
500	1.347	29	31	29	0.33%	1.06
600	1.476	34	36	34	0.33%	1.05
700	1.594	39	41	39	0.34%	1.04
800	1.704	44	46	44	0.04%	1.04
900	1.808	49	51	49	0.35%	1.03
1000	1.905	54	56	54	0.35%	1.03

Tabla B. 74 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/8"	Area	2.850E-04[m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.135	8	12	8	0.31%	1.40
20	0.191	8	12	9	0.31%	1.38
40	0.270	9	13	10	0.31%	1.34
60	0.331	10	14	11	0.31%	1.31
80	0.382	11	15	12	0.31%	1.28
100	0.427	12	16	13	0.31%	1.26
200	0.604	17	21	18	0.31%	1.19
300	0.740	22	26	23	0.31%	1.15
400	0.854	27	31	28	0.32%	1.12
500	0.955	32	36	33	0.32%	1.10
600	1.046	37	41	38	0.32%	1.09
700	1.130	42	46	43	0.32%	1.08
800	1.208	47	51	48	0.32%	1.07
900	1.281	52	56	53	0.33%	1.06
1000	1.351	57	61	58	0.33%	1.06

Tabla B. 75 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/8''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/8"	Area	4.275E-04 [m ²]
Largo	0.0762[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.109	11	18	12	0.00%	1.41
20	0.155	12	18	13	0.01%	1.39
40	0.219	13	19	14	0.31%	1.37
60	0.268	14	20	15	0.31%	1.34
80	0.309	15	21	16	0.31%	1.32
100	0.346	16	22	17	0.31%	1.30
200	0.489	21	27	22	0.31%	1.23
300	0.599	26	32	27	0.31%	1.19
400	0.691	31	37	32	0.31%	1.16
500	0.773	36	42	37	0.31%	1.14
600	0.847	41	47	42	0.32%	1.12
700	0.914	46	52	47	0.32%	1.11
800	0.978	51	57	52	0.32%	1.10
900	1.037	56	62	57	0.32%	1.09
1000	1.093	61	67	62	0.32%	1.08

Tabla B. 76 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	2
Diámetro	1/2"	Area	2.534E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.165	7	11	8	0.41%	1.40
20	0.234	7	11	8	0.41%	1.37
40	0.330	8	12	9	0.41%	1.33
60	0.405	9	13	10	0.41%	1.30
80	0.467	10	14	11	0.41%	1.27
100	0.522	11	15	12	0.41%	1.25
200	0.739	16	20	17	0.42%	1.18
300	0.905	21	25	22	0.42%	1.14
400	1.044	26	30	27	0.42%	1.11
500	1.168	31	35	32	0.43%	1.09
600	1.279	36	40	37	0.43%	1.08
700	1.382	41	45	42	0.43%	1.07
800	1.477	46	50	47	0.44%	1.06
900	1.567	51	55	52	0.44%	1.06
1000	1.651	56	60	57	0.44%	1.05

Tabla B. 77 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	4
Diámetro	1/2"	Area	5.067E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.117	13	21	15	0.41%	1.41
20	0.166	14	21	15	0.41%	1.40
40	0.234	15	22	16	0.41%	1.37
60	0.287	16	23	17	0.41%	1.35
80	0.331	17	24	18	0.41%	1.33
100	0.370	18	25	19	0.41%	1.32
200	0.523	23	30	24	0.41%	1.25
300	0.641	28	35	29	0.41%	1.21
400	0.740	33	40	34	0.42%	1.18
500	0.828	38	45	39	0.42%	1.15
600	0.907	43	50	44	0.42%	1.14
700	0.979	48	55	49	0.42%	1.12
800	1.047	53	60	54	0.42%	1.11
900	1.110	58	65	59	0.42%	1.10
1000	1.170	63	70	64	0.43%	1.09

Tabla B. 78 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 1/2''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	6
Diámetro	1/2"	Area	7.601E-04 [m ²]
Largo	0.1016[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.095	20	19	22	0.41%	0.89
20	0.134	20	20	22	0.41%	0.90
40	0.190	21	21	23	0.01%	0.89
60	0.233	22	22	24	0.41%	0.91
80	0.269	23	23	25	0.41%	0.91
100	0.300	24	24	26	0.41%	0.91
200	0.425	29	29	31	0.41%	0.93
300	0.520	34	34	36	0.41%	0.94
400	0.601	39	39	41	0.41%	0.94
500	0.671	44	44	46	0.41%	0.95
600	0.735	49	49	51	0.42%	0.96
700	0.794	54	54	56	0.42%	0.96
800	0.849	59	59	61	0.42%	0.96
900	0.901	64	64	66	0.42%	0.97
1000	0.949	69	69	71	0.42%	0.97

Tabla B. 79 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 2

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	2
Diámetro	3/4"	Area	5.700E-04[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.135	15	23	16	0.61%	1.41
20	0.191	15	24	17	0.01%	1.40
40	0.270	16	25	18	0.61%	1.38
60	0.331	17	26	19	0.61%	1.36
80	0.382	18	27	20	0.62%	1.34
100	0.427	19	28	21	0.62%	1.33
200	0.604	24	33	26	0.62%	1.26
300	0.740	29	38	31	0.62%	1.22
400	0.854	34	43	36	0.62%	1.19
500	0.955	39	48	41	0.62%	1.17
600	1.046	44	53	46	0.63%	1.15
700	1.130	49	58	51	0.63%	1.13
800	1.208	54	63	56	0.63%	1.12
900	1.281	59	68	61	0.63%	1.11
1000	1.351	64	73	66	0.64%	1.10

Tabla B. 80 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 4

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	4
Diámetro	3/4"	Area	1.140E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.095	29	46	32	0.61%	1.42
20	0.134	30	47	33	0.61%	1.41
40	0.190	30	48	34	0.01%	1.40
60	0.233	32	49	35	0.61%	1.39
80	0.269	33	50	36	0.61%	1.38
100	0.300	34	51	37	0.61%	1.37
200	0.425	39	56	42	0.62%	1.33
300	0.520	44	61	47	0.62%	1.29
400	0.601	49	66	52	0.62%	1.26
500	0.671	54	71	57	0.62%	1.24
600	0.735	59	76	62	0.62%	1.22
700	0.794	64	81	67	0.62%	1.20
800	0.849	69	86	72	0.62%	1.19
900	0.901	74	91	77	0.62%	1.18
1000	0.949	79	96	82	0.62%	1.17

Tabla B. 81 Cálculo de curvas de carga lateral esbeltez 20.00, $\Phi 3/4''$ y N° Pernos 6

Parámetros:

Esbeltez	20.00	Número de pernos	6
Diámetro	3/4"	Area	1.710E-03[m ²]
Largo	0.1524[m]		

Peso [KN]	Periodo [Seg]	Corte Max Fluencia [KN]	Corte Max Máximo [KN]	Corte Max Rotura [KN]	Rotura	Co.
10	0.078	43	69	48	0.61%	1.42
20	0.110	43	69	49	0.01%	1.42
40	0.155	45	70	50	0.01%	1.41
60	0.190	45	71	51	0.61%	1.40
80	0.220	46	72	52	0.01%	1.39
100	0.246	48	73	53	0.01%	1.39
200	0.347	53	78	58	0.61%	1.35
300	0.425	58	83	63	0.62%	1.33
400	0.491	63	88	68	0.62%	1.30
500	0.549	68	93	73	0.62%	1.28
600	0.602	73	98	78	0.62%	1.26
700	0.650	78	103	83	0.62%	1.25
800	0.695	83	108	88	0.62%	1.23
900	0.737	88	113	93	0.62%	1.22
1000	0.777	93	118	98	0.62%	1.21

ANEXO C

Tabla C. 1 “Datos estanques reales”

Código		Co Emp	Año	Tipo de apoyo	Hm [m]	Pe [m]	d [m]	Peso [KN]	Periodo [seg]	Esbeltez	Cantidad Virolas	Espeor virola inferior [mm]	Criterio de compra	Cantidad
A0	1	A	2002	4	4.25	13	4.14	557	0.026	1.0	3	2.0	Económico	5
A0	2	C	2005	4	5.2	10.5	3.34	444	0.070	1.6	4	2.0	Económico	12
A0	3	A	2001	4	3.5	10.4	3.31	293	0.000	1.1	3	2.0	Económico	36
A0	5	A	2000	4	2.7	8.54	2.72	153	0.019	1.0	2	2.0	Económico	34
A2	1	K	-	7	4.0	11	3.5	375	0.038	1.1	3	2.0	Económico	36
A2	2	K	-	7	3.0	11	3.5	281	0.029	0.9	2	2.0	Económico	3
A4	5	A	2002	4	4.0	8	2.55	199	0.029	1.6	3	2.0	Económico	6
A6	2	E	-	4	5.5	15.5	4.93	1023	0.076	1.1	4	2.5	Económico	10
A6	3	E	-	7	4.5	12	3.82	502	0.056	1.2	3	2.0	Económico	18
A7	3	A	-	4	3.8	11.5	3.66	389	0.031	1.0	3	2.0	Económico	40
A11	1	A	2004	4	4.5	13	4.14	590	0.040	1.1	3	2.5	Económico	6
A13	6	F	1995	4	4.0	11.4	3.63	403	0.033	1.1	3	2.0	Económico	24

Tabla C. 2 “Esfuerzos generados en base a datos reales”

Código		Co Emp	Tipo de apoyo	Tope o Anclaje	Comentarios	Φ [cm]	Área [m2]	Largo [m]
A0	1	A	4	Tipo 2	8 anclajes con pernos de 3/4" equiespaciados	1.91	0.0023	0.1524
A0	2	C	4	Tipo 4	6 anclajes con pernos de 1/4" equiespaciados	0.64	0.0002	0.0508
A0	3	A	4	Tipo 2	6 anclajes con pernos de 3/4" equiespaciados	1.91	0.0017	0.1524
A0	5	A	4	Tipo 2	4 anclajes con pernos de 3/4" equiespaciados	1.91	0.0011	0.1524
A2	1	K	7	Tipo 9	6 anclajes equiespaciados con un perno de 3/8"	0.95	0.0004	0.0762
A2	2	K	7	Tipo 9	6 anclajes equiespaciados con único perno de 3/8"	0.95	0.0004	0.0762
A4	5	A	4	Tipo 2	6 anclajes equiespaciados con único perno de 3/8"	0.95	0.0004	0.0762
A6	2	E	4	Tipo 12	6 anclajes con único perno de 1/2"	1.27	0.0004	0.1016
A6	3	E	7	Tipo 12	6 anclajes con único perno de 1/2"	1.27	0.0004	0.1016
A7	3	A	4	Tipo 2	6 anclajes con pernos de 1/2"	1.27	0.0008	0.1016
A11	1	A	4	Tipo 2	6 anclajes con pernos de 1/2"	1.27	0.0008	0.1016
A13	6	F	4	Tipo 11	6 pernos de anclaje equidistante, pernos de 1"	2.54	0.0015	0.2032

ANEXO D

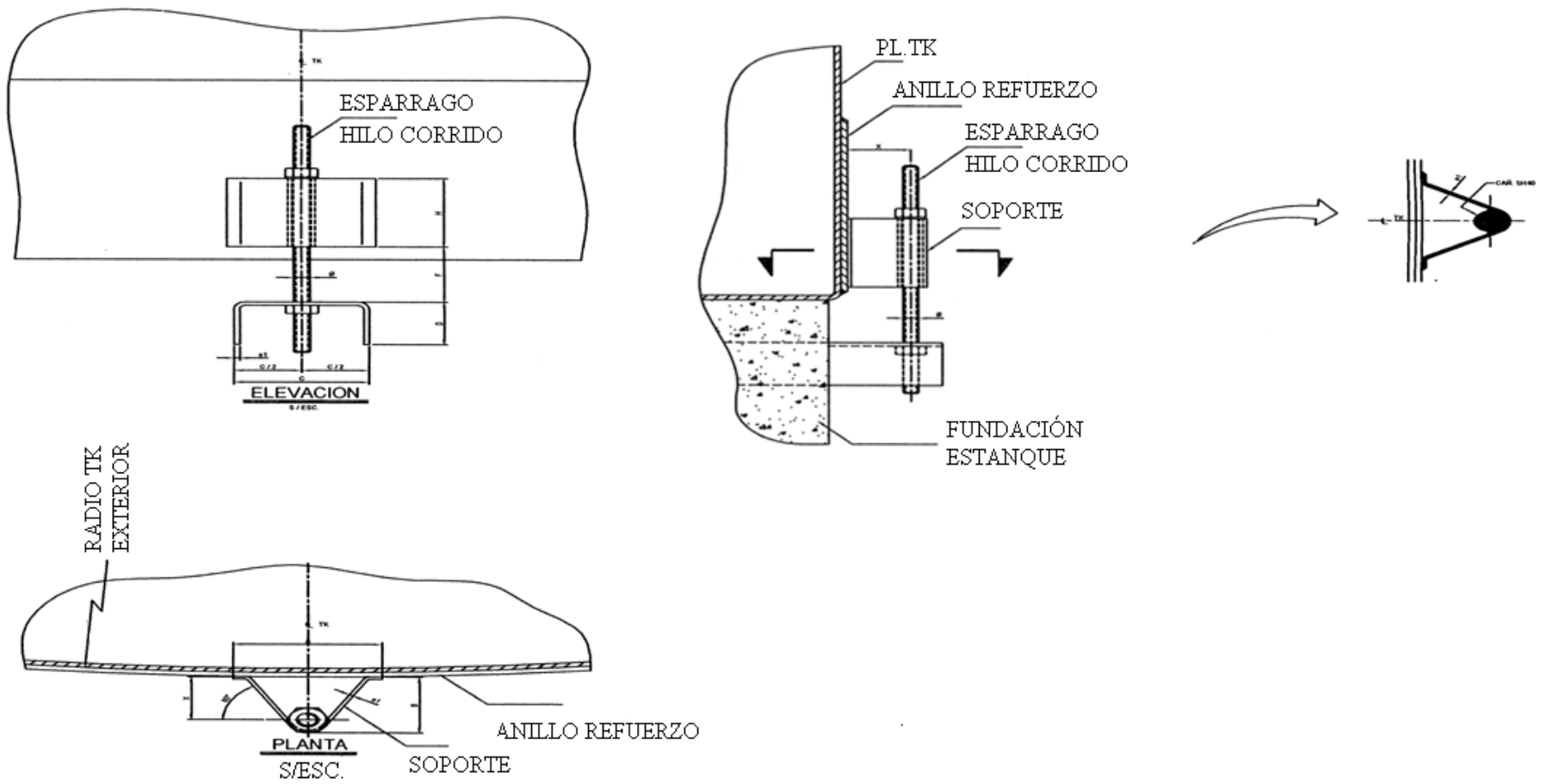


Figura D. 1 “Detalle anclaje”

ANEXO E

En el presente anexo se presentan los resultados correspondientes al Capítulo 4.

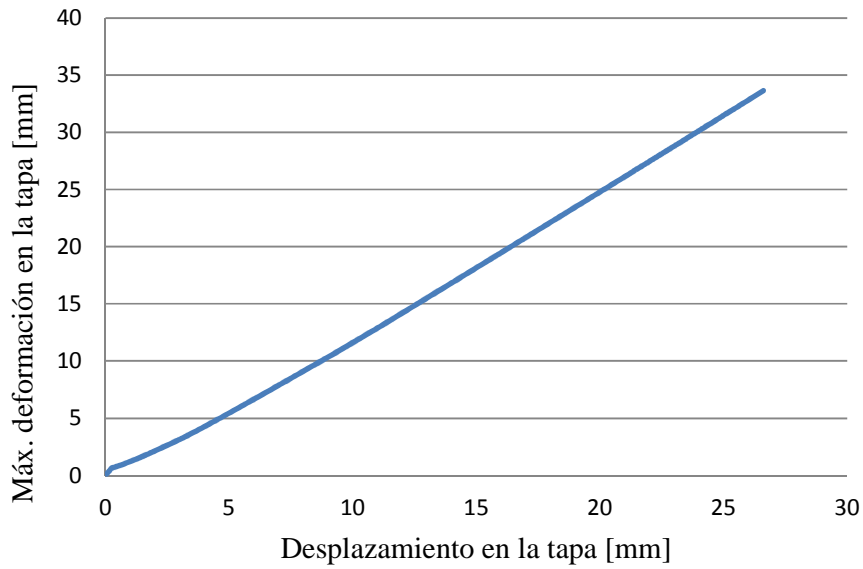


Figura E. 1 Máxima deformación en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo *pushover*

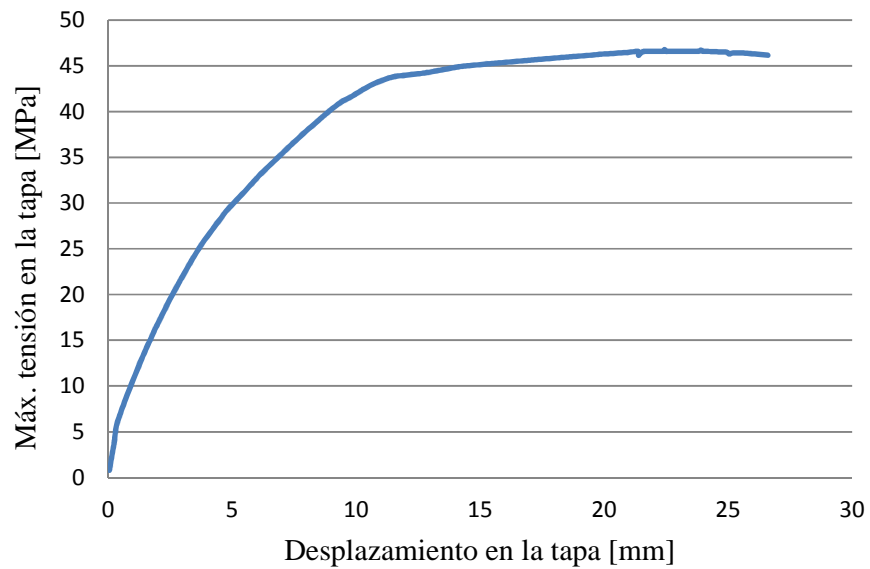


Figura E. 2 Máxima tensión en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo *pushover*

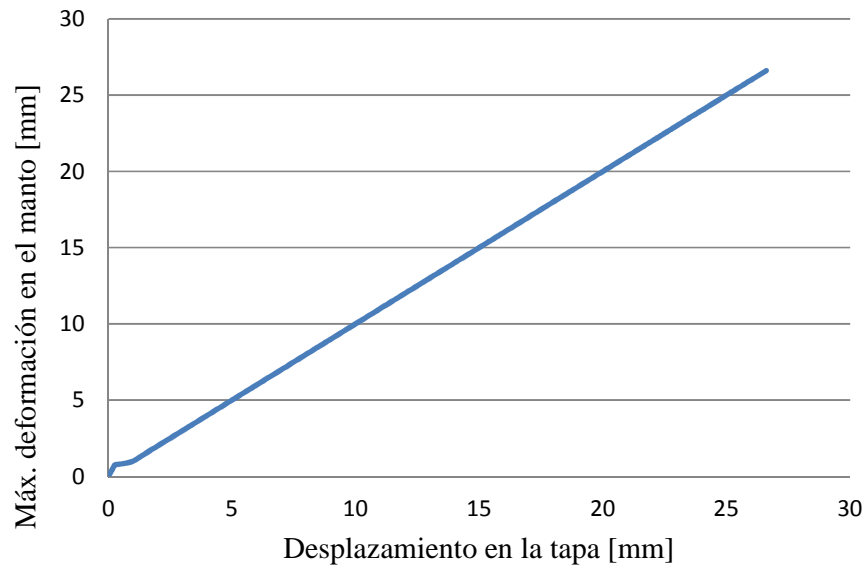


Figura E. 3 Máxima deformación en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo *pushover*

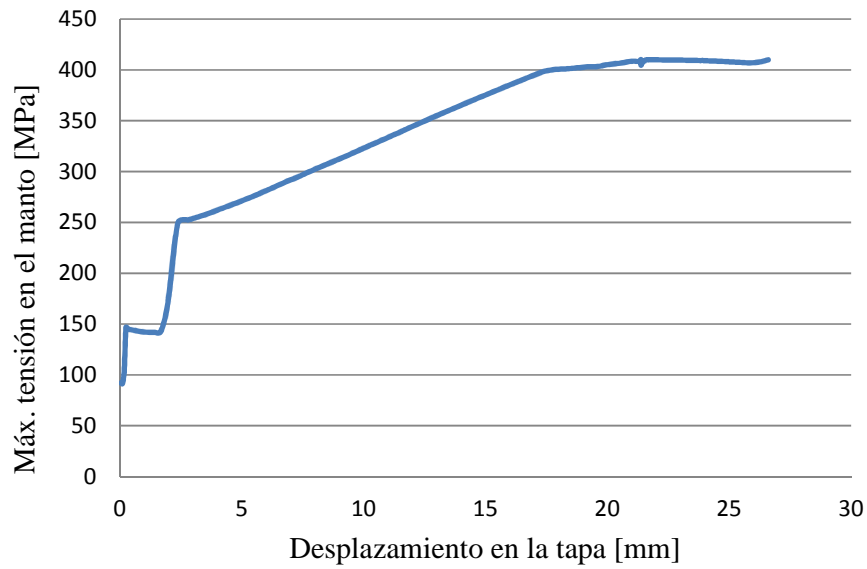


Figura E. 4 Máxima tensión en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo *pushover*

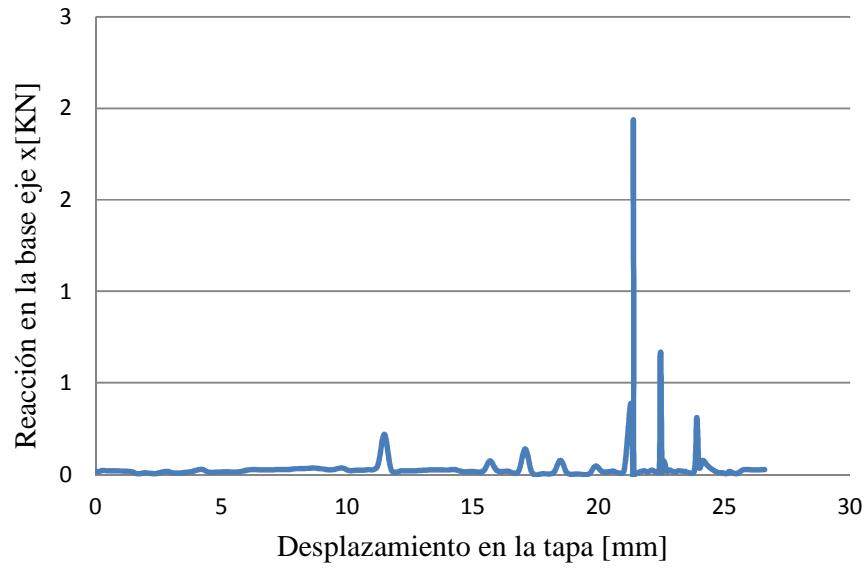


Figura E. 5 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento no lineal del estanque bajo *pushover*

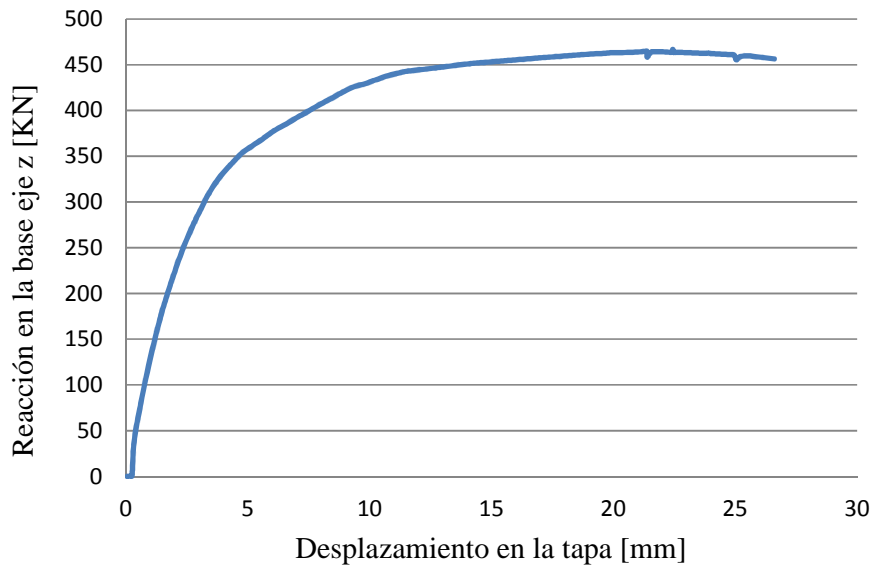


Figura E. 6 Reacción en la base en la dirección z, comportamiento no lineal del estanque bajo *pushover*

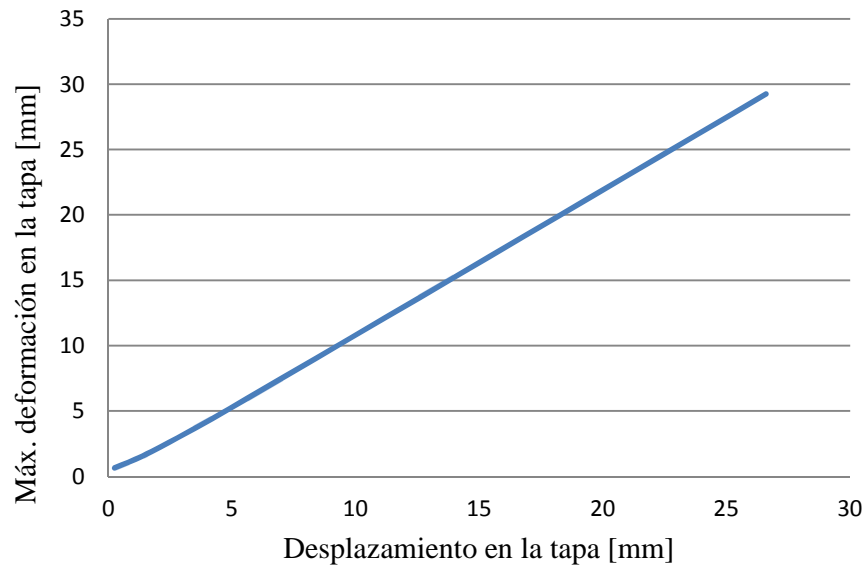


Figura E. 7 Máxima deformación en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo *pushover*

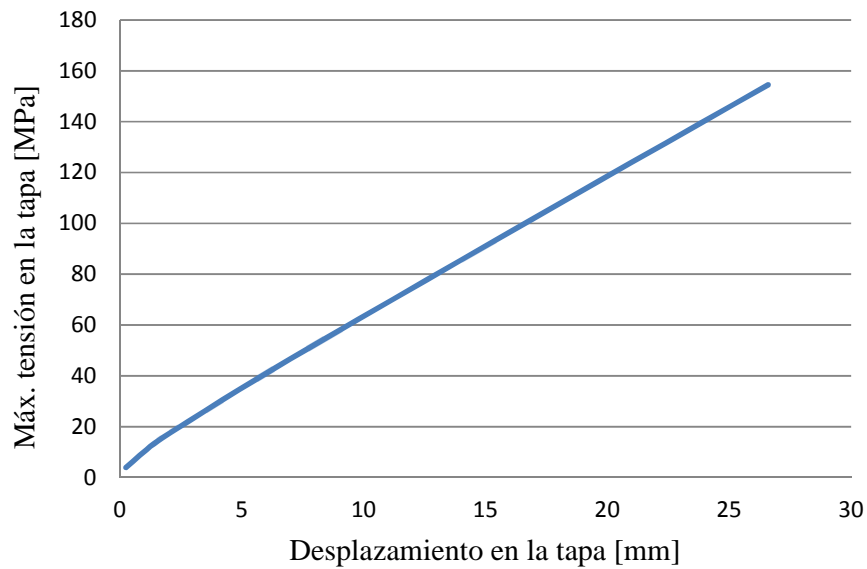


Figura E. 8 Máxima tensión en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo *pushover*

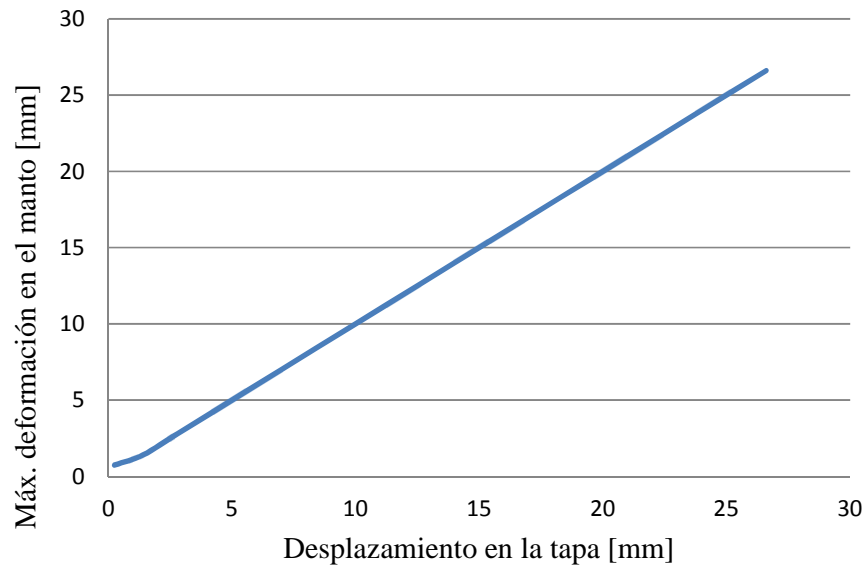


Figura E. 9 Máxima deformación en el manto, comportamiento lineal del estanque bajo *pushover*

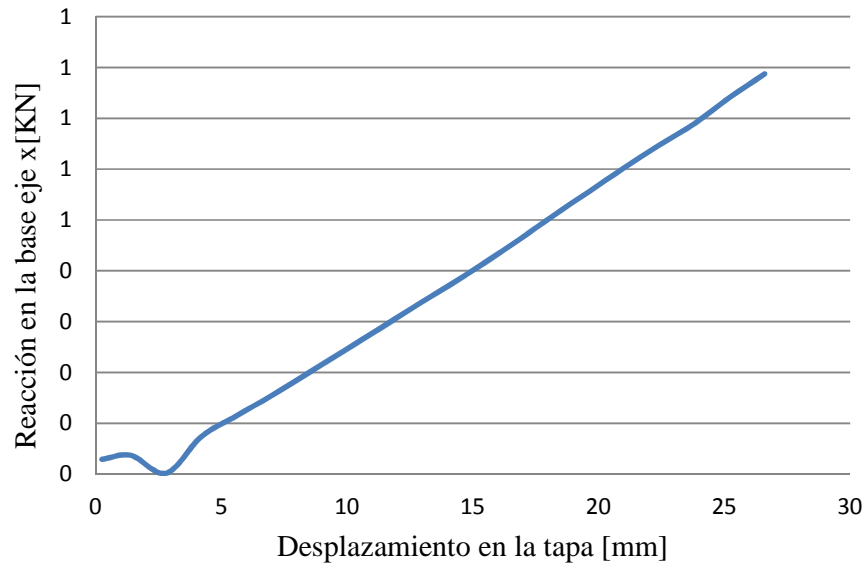


Figura E. 10 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento lineal del estanque bajo *pushover*

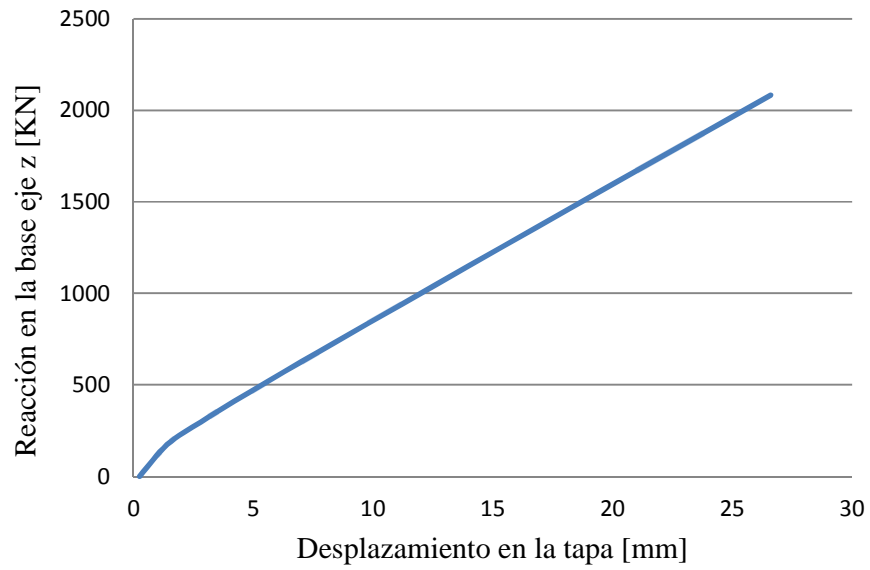


Figura E. 11 Reacción en la base en la dirección z, comportamiento lineal del estanque bajo *pushover*

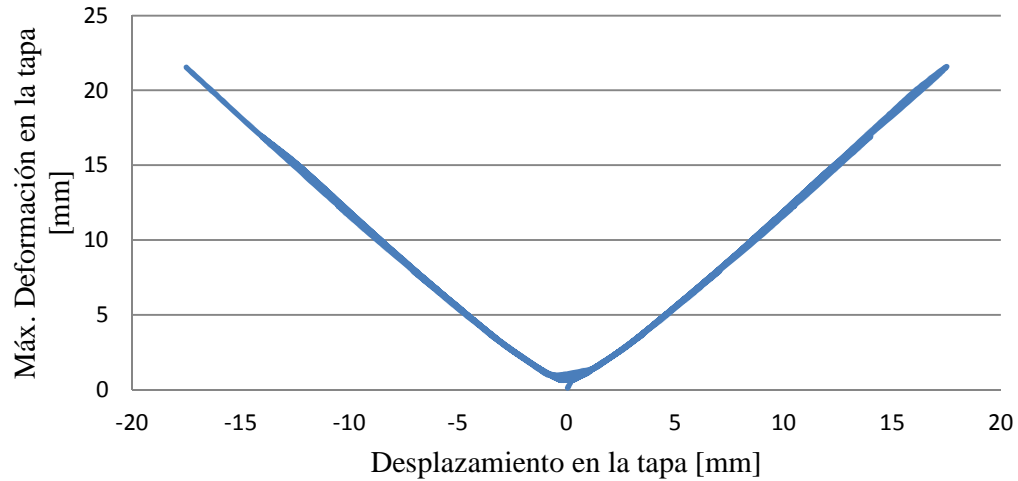


Figura E. 12 Máxima deformación en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

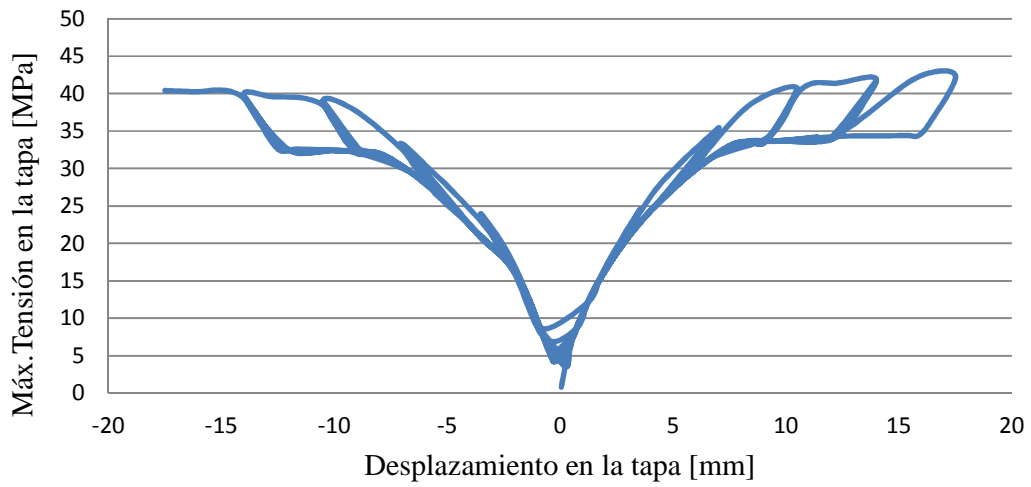


Figura E. 13 Máxima tensión en la tapa, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

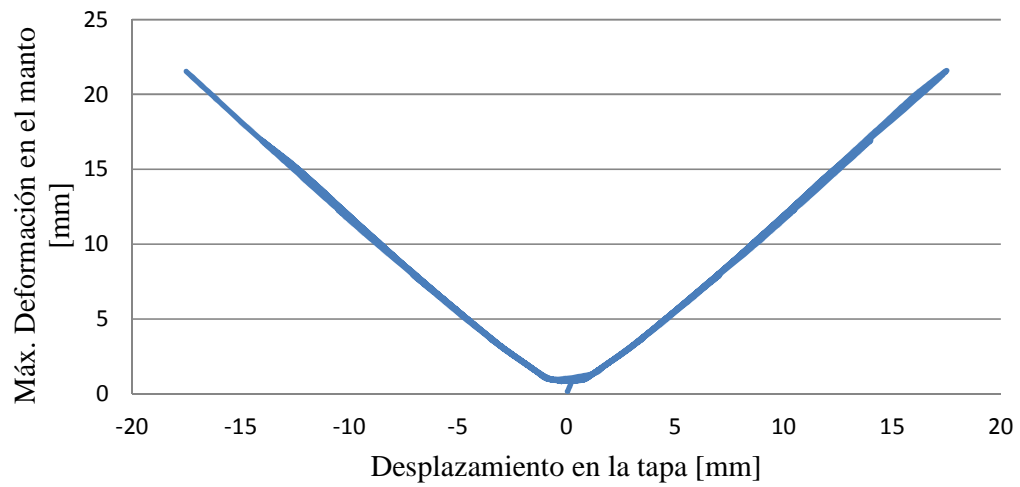


Figura E. 14 Máxima deformación en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

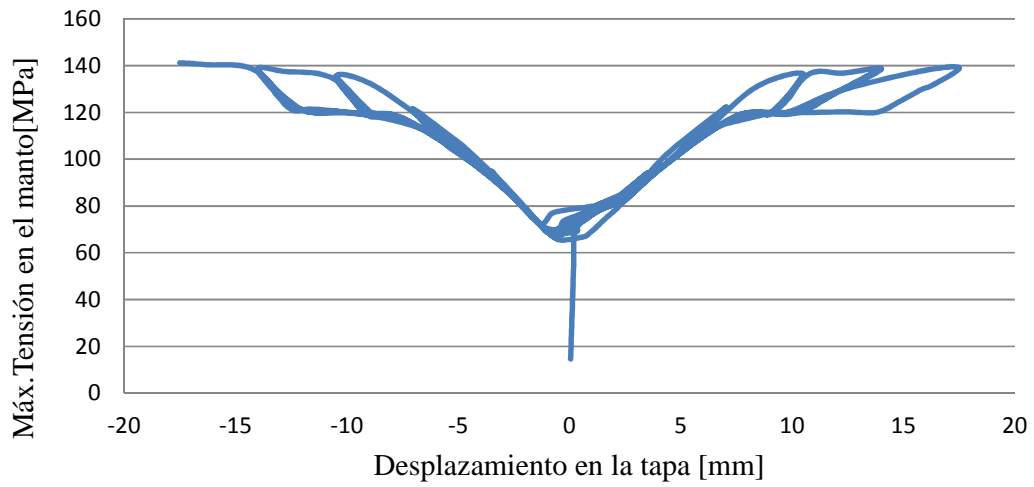


Figura E. 15 Máxima tensión en el manto, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

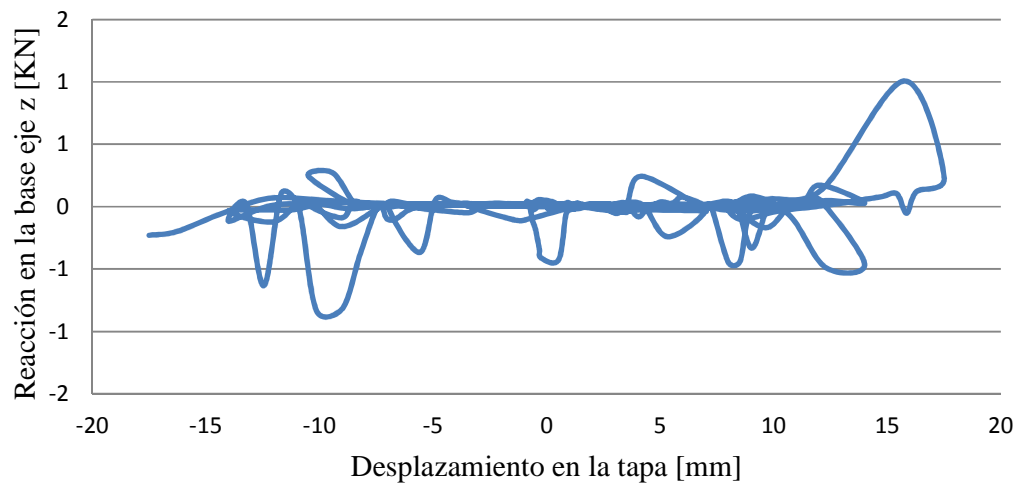


Figura E. 16 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento no lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

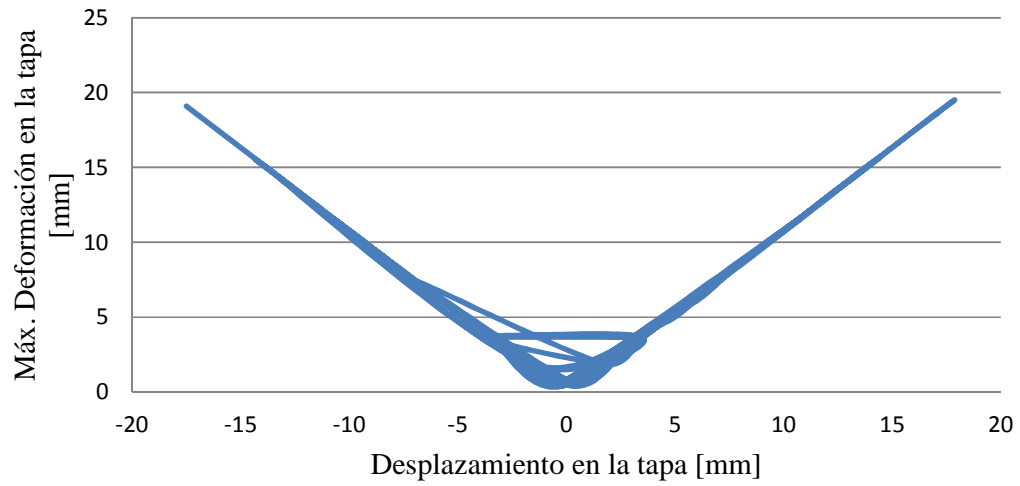


Figura E. 17 Máxima deformación en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

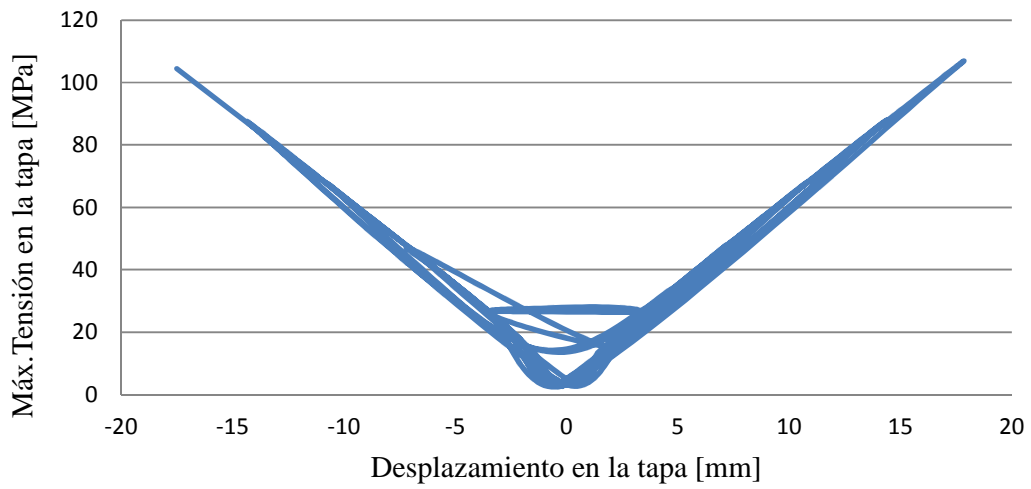


Figura E. 18 Máxima tensión en la tapa, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

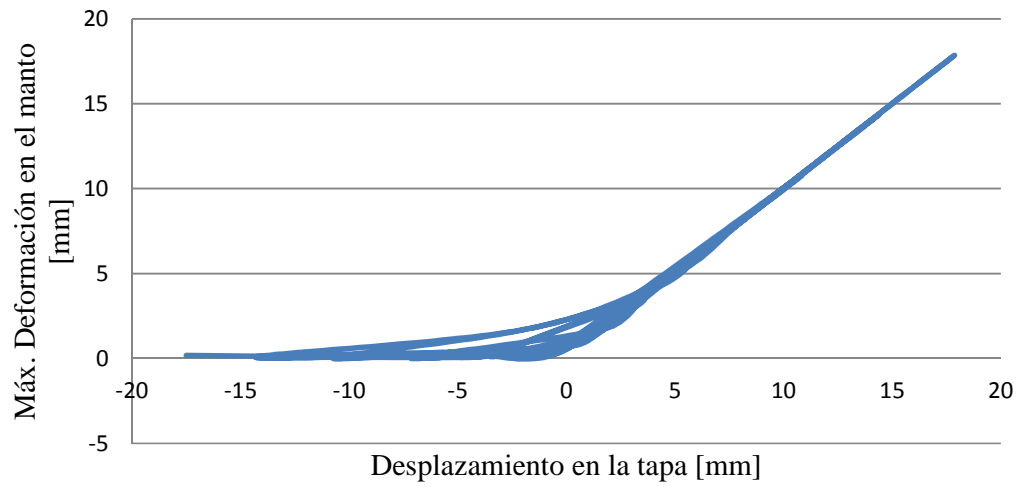


Figura E. 19 20 Máxima deformación en el manto, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

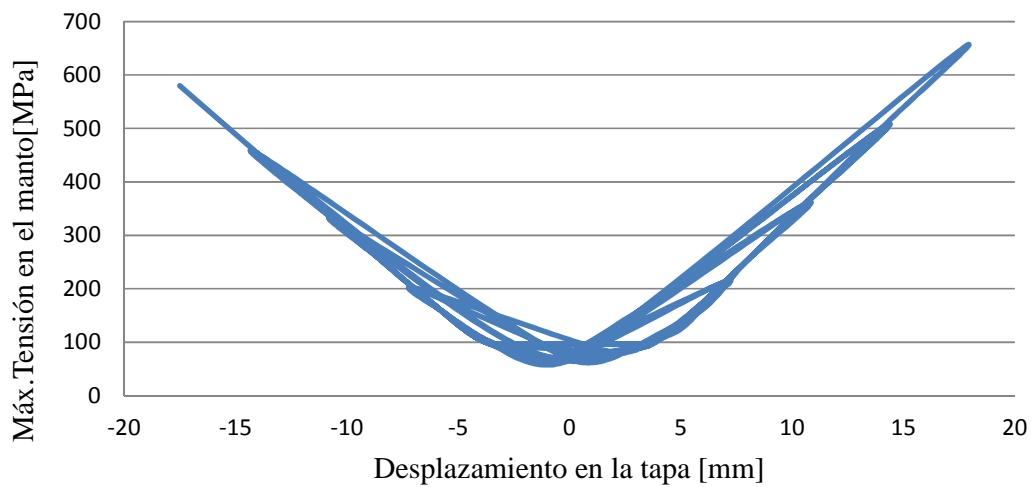


Figura E. 21 Máxima tensión en el manto, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

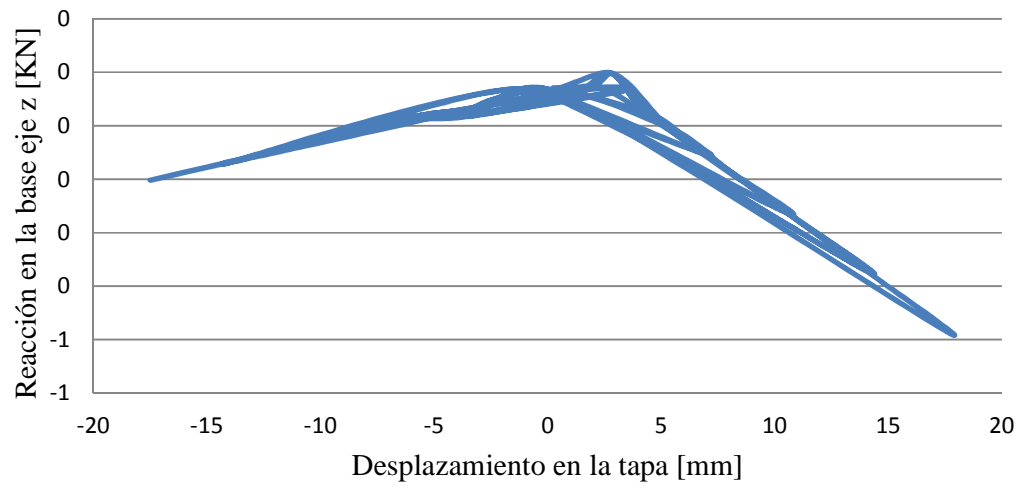


Figura E. 22 Reacción en la base en la dirección x, comportamiento lineal del estanque bajo desplazamientos cíclico

e