

# Diseño de Fundaciones

Proyecto de Hormigón Armado - Entrega N°7

Grupo: N°1  
Integrantes: Mauricio Leal V.  
Pablo Pizarro R.  
Ignacio Yáñez G.  
Profesor: Juan Mendoza V.  
Auxiliar: Felipe Andrade T.

Fecha de entrega: 12 de Diciembre de 2018  
Santiago, Chile

# Índice de Contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Metodología</b>	<b>2</b>
2.1. Obtención de esfuerzos . . . . .	2
2.2. Diseño de fundaciones . . . . .	3
<b>3. Resultados</b>	<b>5</b>
3.1. Esfuerzos de cada muro . . . . .	5
3.2. Diseño de fundaciones . . . . .	8
<b>4. Comentarios y Conclusiones</b>	<b>17</b>

## Lista de Figuras

1. Esquema de piers asignados en el análisis. . . . .	2
2. Esquema de la conexión de una zapata aislada al muro perimetral, mediante cadena. . . . .	17

## Lista de Tablas

1. Tensiones admisibles del suelo de fundación. . . . .	3
2. Esfuerzos de compresión en base de muros. . . . .	5
3. Esfuerzos de flexión en base de muros. . . . .	6
4. Esfuerzos de corte en base de muros. . . . .	7
5. Dimensiones escogidas para las zapatas. . . . .	8
6. Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 1 (estática). . . . .	9
7. Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 2 (estática). . . . .	10
8. Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 3.1 (sísmica). . . . .	11
9. Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 3.2 (sísmica). . . . .	12
10. Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 4.1 (sísmica). . . . .	13
11. Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 4.2 (sísmica). . . . .	14
12. Tensión aplicada al suelo que controlan el diseño para caso Estático y Sísmico. . . . .	15
13. Evaluación de necesidad de parrilla de refuerzo. . . . .	16

# 1. Introducción

En el presente informe, correspondiente a la séptima entrega del curso de Proyecto de Hormigón, se presenta la metodología y los resultados obtenidos en el diseño de las fundaciones de la estructura, ubicadas entre los ejes 1-12 y A-O. A partir de los esfuerzos sísmicos y estáticos del modelo computacional (ETABS) se determinaron las secciones de diseño en planta de cada uno de los elementos a fundar.

Para cada fundación se determinó la altura del cimiento,  $H$ , se evaluó la necesidad de parrillas, la estabilidad al volcamiento y al desplazamiento. Por último se adjuntan los esquemas en planta de las fundaciones diseñadas, considerando las dimensiones, las vigas de fundación, cadenas y parrillas, en caso de ser aplicables.

## 2. Metodología

Para el diseño de las fundaciones de la estructura es necesario, en primer lugar, conocer los esfuerzos puros de compresión, momento y corte. Posteriormente se diseñan las zapatas, estableciendo su geometría, mediante los parámetros  $L$ ,  $B$ ,  $y$   $H$ , y verificando que esta cumpla las solicitaciones mediante un análisis de tensiones admisibles.

### 2.1. Obtención de esfuerzos

A modo de obtener los esfuerzos puros en cada muro se crean *piers* en el modelo de ETABS. Cada pier se definió de manera única considerando tanto su distribución geométrica como la dirección del muro asociado. La Figura 1 ilustra los piers utilizados.

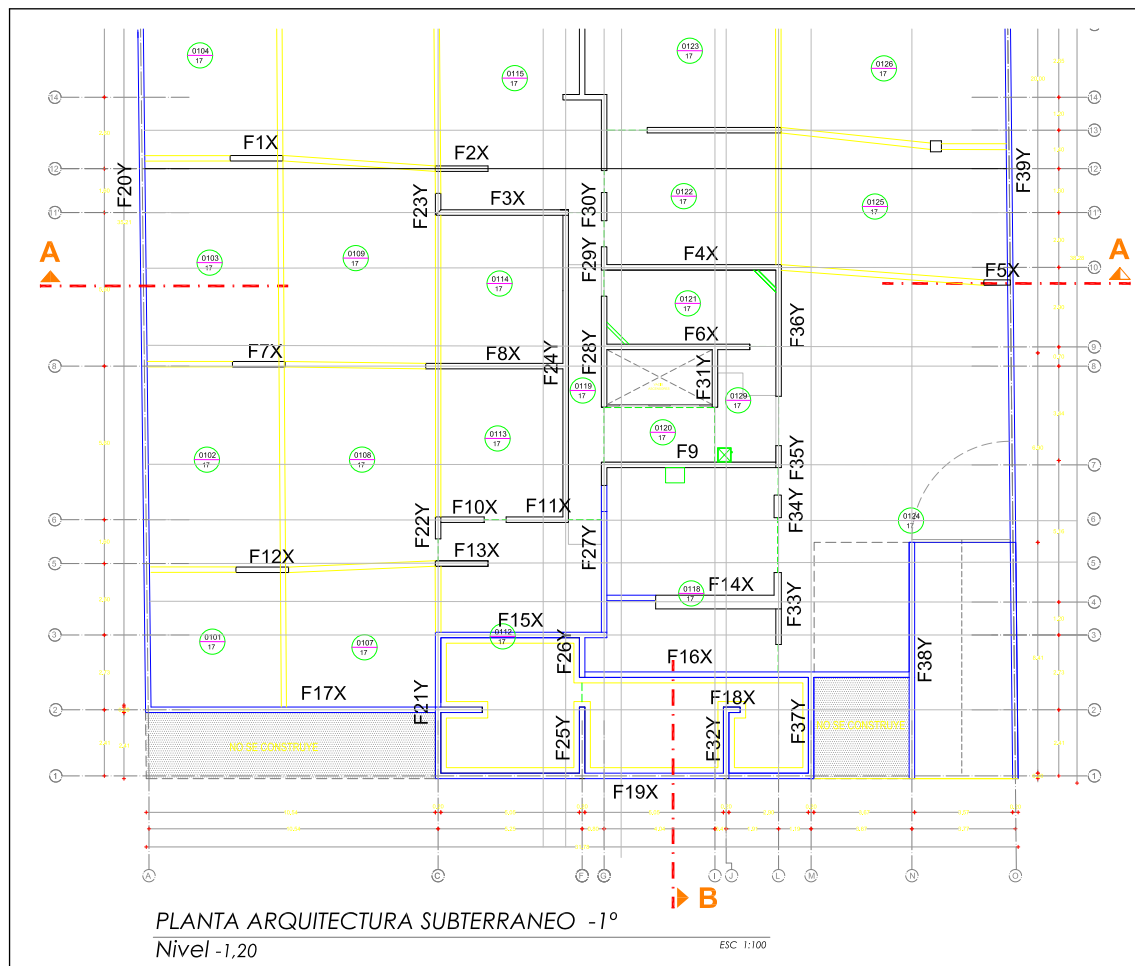


Figura 1: Esquema de piers asignados en el análisis.

## 2.2. Diseño de fundaciones

En primer lugar, hay que considerar el tipo de suelo y sus resistencias.

Tabla 1: Tensiones admisibles del suelo de fundación.

Tipo de Suelo	$\sigma_{adm-est}$ ( $Kgf/cm^2$ )	$\sigma_{adm-sis}$ ( $Kgf/cm^2$ )
A	8	10

Las resistencias del suelo de fundación deben compararse con las tensiones solicitantes estáticas y sísmicas de cada muro. A continuación se exponen una serie de pasos y consideraciones a tener en cuenta para el diseño de las zapatas y su obtención de esfuerzos. El análisis a mencionar se utiliza tanto para muros interiores como para muros aledaños a los perimetrales, en donde, con respecto a estos últimos se considera una excentricidad distinta dado que el largo del muro se encuentra limitado en uno de sus extremos por el muro perimetral.

- Primero, con las dimensiones dadas de cada muro, se definen largo, ancho y alto de la zapata. Dependiendo de que zapata se este diseñando, las dimensiones mencionadas se verán acotadas en mayor o menor medida.
- Teniendo la fundación con sus dimensiones definidas, se calcula el esfuerzo normal por peso propio de esta.

$$N_{zap} = \gamma_H \cdot B_{zap} \cdot L_{zap} \cdot H_{zap} \quad (1)$$

- El esfuerzo calculado se considera en conjunto con el resto de esfuerzos obtenidos a través de ETABS y se calculan 4 combinaciones que permitan determinar las tensiones máximas que solicitan, sísmica y estáticamente, a la zapata.

Combinaciones ASD:

1) PP	(Estática)
2) PP + SC	(Estática)
3.1) PP + S	(Sísmica)
3.2) PP - S	(Sísmica)
4.1) PP + SC + S	(Sísmica)
4.2) PP + SC - S	(Sísmica)

- Para cada combinación anterior se obtendrá una solicitación, pero las que determinan el diseño son las máximas entre 1 y 2 y entre 3 y 4 para el caso estático y sísmico respectivamente. Es importante chequear que estas tensiones sean menores que las capacidades estáticas y dinámicas del suelo.
- Para cada combinación se debe efectuar un análisis de los factores de seguridad al volcamiento y deslizamiento, procurando que estos sean mayores que 1. Para el cálculo de los factores se deben tener en consideración las siguientes fuerzas y momentos:

$$\begin{aligned}
 F_D &= |V_{est}| \\
 F_R &= |N_{est} \cdot \mu| \\
 M_V &= |M_{est}| + |V_{est} \cdot H_{zap}| \\
 M_R &= |N_{est} \cdot \frac{L_{zap}}{2}| + |M_{est}|
 \end{aligned}$$

Considerando los factores anteriores, los factores de seguridad se determinan como:

$$\begin{aligned}
 FS_D &= \frac{|F_R|}{|F_D|} \\
 FS_V &= \frac{|M_R|}{|M_D|}
 \end{aligned}$$

- Por último se analiza si es necesaria la implementación de la parrilla, esto se controla principalmente mediante la altura de la zapata, y se chequea tanto para el lado corto como para el lado largo.
- Como el procedimiento mencionado debe emplearse para todos los muros, debe realizarse de forma iterativa, es decir, las dimensiones de las zapatas deben variar de forma tal, que las alturas de las zapatas sea lo más homogénea posible. Cabe destacar que, independientemente de la cercanía entre zapatas, estas se analizan como elementos independientes que no interactúan entre si.

En los anexos se adjunta una memoria de cálculo de uno de los muros a modo de ejemplo.

### 3. Resultados

#### 3.1. Esfuerzos de cada muro

Las Tablas 2, 3 y 4 resumen los esfuerzos en cada uno de los piers asignados:

Tabla 2: Esfuerzos de compresión en base de muros.

Ejes	N° pier	Largo (m)	$PP$ (tonf)	$P_{sc}$ (tonf)	$P_x$ (tonf)	$P_y$ (tonf)
12 entre A y C	F1X	1,92	-48,41	-42,06	0,39	0,10
12 entre C y E	F2X	1,92	-211,84	-57,13	135,36	71,56
11' entre C y E	F3X	5,05	-461,91	-111,88	292,87	96,19
10 entre G y L	F4X	6,76	-455,24	-118,10	216,72	157,94
10 entre N y O	F5X	1,17	-11,74	-10,04	5,18	0,64
9 entre G y L	F6X	5,41	-327,65	-87,65	196,66	27,33
8 entre A y C	F7X	1,92	-46,81	-40,02	0,77	0,14
8 entre C y F	F8X	5,30	-511,16	-137,75	352,96	58,38
7 entre G y L	F9X	6,75	-416,20	-108,52	186,71	55,12
6 entre C y E	F10X	1,88	-186,36	-46,06	155,80	58,24
6 entre C y E	F11X	2,37	-221,65	-52,38	74,10	37,84
5 entre A y C	F12X	1,92	-41,79	-35,65	0,46	0,25
5 entre C y E	F13X	1,92	-235,12	-59,03	159,61	85,76
4 entre G y L	F14X	6,76	-433,22	-102,88	124,45	44,51
3 entre C y G	F15X	6,45	-200,90	-46,24	57,86	65,44
2' entre F y N	F16X	12,42	-220,73	-53,02	42,84	114,00
2 entre A y E	F17X	12,38	-250,50	-62,16	38,54	26,57
2 entre J y K	F18X	0,71	-52,46	-11,44	16,45	12,78
1 entre C y M	F19X	14,00	-385,00	-83,02	64,01	229,75
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	-203,98	-70,99	105,67	34,60
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	-200,68	-43,53	53,22	28,81
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	-102,58	-25,51	102,29	38,84
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	-100,42	-24,31	104,70	26,48
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	-964,06	-232,24	152,24	43,93
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	-96,34	-21,82	23,35	72,09
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	-105,86	-23,57	23,00	48,00
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	-430,71	-97,66	85,69	54,84
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	-362,22	-92,86	158,90	30,77
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	-81,17	-19,75	58,63	23,58
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	-101,18	-23,87	24,85	27,08
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	-149,52	-41,38	172,25	60,52
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	-187,61	-40,56	36,85	22,52
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	-36,02	-8,59	48,73	14,11
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	-54,01	-14,35	82,85	22,13
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	-54,73	-14,79	84,44	13,89
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	-301,29	-85,03	538,66	109,25
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	17,71	2,65	14,98	10,35
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	-41,52	-20,05	6,16	1,05
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	-92,68	-26,74	16,03	10,98

Tabla 3: Esfuerzos de flexión en base de muros.

Ejes	N° pier	Largo (m)	$M_{pp}$ (tonf·m)	$M_{sc}$ (tonf·m)	$M_x$ (tonf·m)	$M_y$ (tonf·m)
12 entre A y C	F1X	1,92	-2,46	-2,11	6,12	0,94
12 entre C y E	F2X	1,92	0,58	0,69	6,68	0,86
11' entre C y E	F3X	5,05	-58,82	-15,50	201,14	24,88
10 entre G y L	F4X	6,76	-112,81	-20,34	522,45	59,86
10 entre N y O	F5X	1,17	10,35	11,61	5,47	0,53
9 entre G y L	F6X	5,41	-57,36	-12,21	292,25	30,38
8 entre A y C	F7X	1,92	-1,75	-1,88	5,26	1,49
8 entre C y F	F8X	5,30	-107,72	-32,06	258,74	31,10
7 entre G y L	F9X	6,75	33,12	13,27	463,68	63,30
6 entre C y E	F10X	1,88	-2,51	0,23	5,13	1,66
6 entre C y E	F11X	2,37	3,97	0,96	19,34	3,34
5 entre A y C	F12X	1,92	-0,91	-1,29	4,88	3,42
5 entre C y E	F13X	1,92	10,96	3,12	7,14	7,83
4 entre G y L	F14X	6,76	-202,71	-47,29	301,94	99,90
3 entre C y G	F15X	6,45	189,51	40,45	66,13	67,45
2' entre F y N	F16X	12,42	-855,92	-190,87	383,17	515,08
2 entre A y E	F17X	12,38	802,12	165,87	257,16	136,14
2 entre J y K	F18X	0,71	3,17	0,54	2,37	2,47
1 entre C y M	F19X	14,00	-302,20	-68,23	453,13	335,76
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	-77,68	-32,76	804,95	984,28
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	-93,12	-19,57	29,47	86,12
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	-3,70	-2,31	2,13	1,69
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	2,06	1,54	3,04	1,34
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	51,51	12,80	73,49	312,57
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	-8,99	-2,16	5,43	14,83
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	-1,54	-0,35	2,24	6,18
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	-103,39	-21,61	25,55	155,64
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	-3,69	-1,60	18,33	103,92
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	-0,69	-0,67	2,10	1,68
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	0,92	0,06	6,80	5,62
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	-3,09	-1,16	6,49	14,10
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	-14,58	-3,50	2,53	23,34
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	-0,69	-0,51	4,44	31,67
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	11,05	2,98	15,80	14,32
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	6,80	2,19	5,68	13,47
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	-4,09	-1,02	60,17	183,34
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	-7,16	-1,36	5,39	36,22
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	29,48	28,24	7,66	43,93
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	-69,19	-68,81	196,10	468,20



Tabla 4: Esfuerzos de corte en base de muros.

Ejes	N° pier	Largo (m)	$V_{pp}$ (tonf)	$V_{sc}$ (tonf)	$V_x$ (tonf)	$V_y$ (tonf)
12 entre A y C	F1X	1,92	-0,41	-2,24	8,91	2,37
12 entre C y E	F2X	1,92	3,88	1,70	7,94	2,15
11' entre C y E	F3X	5,05	14,05	4,38	24,04	5,03
10 entre G y L	F4X	6,76	5,80	-1,06	27,60	8,23
10 entre N y O	F5X	1,17	9,53	10,47	3,61	0,36
9 entre G y L	F6X	5,41	4,32	0,49	22,40	3,66
8 entre A y C	F7X	1,92	0,34	-1,94	9,85	2,48
8 entre C y F	F8X	5,30	24,77	8,90	24,34	5,74
7 entre G y L	F9X	6,75	-37,67	-11,10	20,59	7,49
6 entre C y E	F10X	1,88	-1,78	0,51	4,05	2,39
6 entre C y E	F11X	2,37	18,19	4,55	14,89	11,24
5 entre A y C	F12X	1,92	1,32	-1,12	11,55	6,72
5 entre C y E	F13X	1,92	18,16	5,12	24,28	13,10
4 entre G y L	F14X	6,76	30,51	6,41	98,00	11,37
3 entre C y G	F15X	6,45	-55,49	-12,46	62,17	25,42
2' entre F y N	F16X	12,42	11,37	0,83	100,29	13,51
2 entre A y E	F17X	12,38	-62,81	-15,38	117,11	22,43
2 entre J y K	F18X	0,71	2,67	0,46	2,22	2,10
1 entre C y M	F19X	14,00	-0,33	-1,61	139,11	28,11
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	-14,07	-3,64	56,07	232,21
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	31,61	6,24	6,95	30,66
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	-3,13	-1,96	1,79	1,34
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	1,75	1,30	2,61	1,00
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	-6,80	-2,40	11,61	82,78
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	-8,23	-1,97	4,79	12,22
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	-1,62	-0,34	2,49	3,18
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	32,54	6,50	18,47	41,38
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	3,04	0,70	3,55	10,41
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	-0,59	-0,57	1,85	1,14
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	0,84	0,06	6,43	6,50
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	-0,11	-0,31	10,11	7,47
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	-38,90	-8,80	9,26	10,36
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	-2,89	-0,95	10,47	11,13
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	9,58	2,59	13,69	13,13
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	5,74	1,86	4,84	11,88
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	0,95	-0,60	18,26	16,12
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	3,87	0,22	4,17	20,77
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	-0,90	-0,62	3,39	18,02
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	12,93	3,81	57,71	270,29

### 3.2. Diseño de fundaciones

Con los esfuerzos presentados anteriormente se escogen las dimensiones de la zapata, mostrados en la 5, y se procede a verificar el esfuerzo que esta traspasa al suelo, verificando que este no sea mayor a la resistencia del suelo, así como también los Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, verificando que estos sean mayores a 1.0.

A continuación se presentan las tablas que resumen los resultados obtenidos.

Tabla 5: Dimensiones escogidas para las zapatas.

Ejes	N° pier	L [m]	B [m]	H [m]
12 entre A y C	F1X	2,52	0,60	0,60
12 entre C y E	F2X	3,12	1,50	2,00
11' entre C y E	F3X	6,65	1,60	2,00
10 entre G y L	F4X	8,56	2,00	2,00
10 entre N y O	F5X	3,20	2,50	2,00
9 entre G y L	F6X	7,41	1,90	2,00
8 entre A y C	F7X	2,52	0,60	0,60
8 entre C y F	F8X	6,90	1,80	2,00
7 entre G y L	F9X	7,75	1,60	2,00
6 entre C y E	F10X	2,68	1,70	2,00
6 entre C y E	F11X	3,17	1,70	2,00
5 entre A y C	F12X	2,52	0,80	0,80
5 entre C y E	F13X	3,02	1,80	2,00
4 entre G y L	F14X	7,96	1,80	2,00
3 entre C y G	F15X	10,25	3,00	2,00
2' entre F y N	F16X	14,42	2,70	2,00
2 entre A y E	F17X	15,98	3,00	2,00
2 entre J y K	F18X	1,31	1,00	1,00
1 entre C y M	F19X	14,00	1,00	2,00
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	2,50	2,00
C entre 1 y 3	F21Y	6,03	2,00	2,00
C entre 5 y 6	F22Y	2,25	1,30	2,00
C entre 11' y 12	F23Y	1,85	1,40	2,00
E entre 6 y 11'	F24Y	12,70	1,70	2,00
F entre 1 y 2	F25Y	3,06	2,30	2,00
F entre 2 y 3	F26Y	3,05	1,60	2,00
G entre 3 y 7	F27Y	7,50	1,80	2,00
G entre 7 y 10	F28Y	5,36	2,10	2,00
G entre 10 y 11'	F29Y	1,50	1,90	2,00
G entre 11' y 12	F30Y	2,33	1,40	2,00
I entre 7 y 9	F31Y	3,75	1,70	2,00
J entre 1 y 2	F32Y	3,91	1,80	2,00
L entre 3 y 5	F33Y	3,62	1,70	2,00
L entre 6 y 7	F34Y	2,23	1,40	2,00
L entre 7 y 8	F35Y	1,65	1,40	2,00
L entre 7 y 10	F36Y	6,65	1,70	2,00
M entre 1 y 3	F37Y	4,50	2,00	2,00
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	1,00	2,00
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	3,20	2,00

Tabla 6: Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 1 (estática).

Ejes	Nº pier	Largo (m)	$FSD_{sis5}$	$FSV_{sis5}$	$\sigma_{est1}[kgf/cm^2]$
12 entre A y C	F1X	1,92	49,13	24,51	3,74
12 entre C y E	F2X	1,92	24,25	44,09	5,05
11' entre C y E	F3X	5,05	14,67	20,38	5,34
10 entre G y L	F4X	6,76	37,27	19,51	3,62
10 entre N y O	F5X	1,17	2,17	3,17	0,89
9 entre G y L	F6X	5,41	36,86	23,22	3,16
8 entre A y C	F7X	1,92	56,99	32,45	3,52
8 entre C y F	F8X	5,30	9,26	13,26	5,37
7 entre G y L	F9X	6,75	5,08	17,39	4,06
6 entre C y E	F10X	1,88	46,94	46,56	4,71
6 entre C y E	F11X	2,37	5,47	9,86	4,75
5 entre A y C	F12X	1,92	13,93	29,88	2,38
5 entre C y E	F13X	1,92	5,78	8,61	5,23
4 entre G y L	F14X	6,76	6,62	8,39	4,59
3 entre C y G	F15X	6,45	2,56	6,68	1,51
2' entre F y N	F16X	12,42	14,62	4,38	1,98
2 entre A y E	F17X	12,38	3,12	5,09	1,65
2 entre J y K	F18X	0,71	8,35	6,79	5,36
1 entre C y M	F19X	14,00	555,89	11,51	4,18
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	18,52	110,84	0,74
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	3,30	5,63	2,93
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	14,97	13,60	4,34
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	25,89	19,23	4,64
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	63,04	105,33	5,08
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	6,39	8,26	2,12
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	32,12	41,84	2,73
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	6,13	11,70	4,30
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	54,99	115,13	3,75
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	64,36	38,43	3,45
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	55,76	52,94	3,67
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	677,47	103,81	2,92
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	2,29	4,87	3,48
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	9,24	18,79	1,10
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	2,91	2,94	3,18
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	4,62	3,36	3,94
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	151,36	199,49	3,20
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	6,48	9,95	0,80
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	37,75	12,65	1,22
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	21,81	142,73	0,58

Tabla 7: Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 2 (estática).

Ejes	Nº pier	Largo (m)	$FSD_{sis5}$	$FSV_{sis5}$	$\sigma_{est2}[kgf/cm^2]$
12 entre A y C	F1X	1,92	13,98	19,70	6,85
12 entre C y E	F2X	1,92	20,96	36,81	6,30
11' entre C y E	F3X	5,05	13,61	19,42	6,52
10 entre G y L	F4X	6,76	55,52	20,70	4,39
10 entre N y O	F5X	1,17	1,24	1,95	1,29
9 entre G y L	F6X	5,41	40,42	23,61	3,85
8 entre A y C	F7X	1,92	22,31	25,23	6,47
8 entre C y F	F8X	5,30	8,45	12,52	6,70
7 entre G y L	F9X	6,75	4,81	16,12	5,02
6 entre C y E	F10X	1,88	80,16	71,28	5,71
6 entre C y E	F11X	2,37	5,30	9,56	5,76
5 entre A y C	F12X	1,92	167,02	44,53	4,30
5 entre C y E	F13X	1,92	5,52	8,23	6,43
4 entre G y L	F14X	6,76	6,58	8,24	5,56
3 entre C y G	F15X	6,45	2,36	6,24	1,74
2' entre F y N	F16X	12,42	15,36	4,13	2,32
2 entre A y E	F17X	12,38	2,83	4,79	1,91
2 entre J y K	F18X	0,71	8,57	6,97	6,43
1 entre C y M	F19X	14,00	110,88	11,05	4,98
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	16,32	89,35	0,83
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	3,22	5,47	3,45
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	11,21	10,28	5,43
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	18,02	13,49	5,77
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	56,68	100,90	6,18
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	6,02	7,79	2,49
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	31,36	40,70	3,23
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	6,11	11,62	5,15
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	54,64	107,75	4,60
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	39,51	23,71	4,23
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	62,31	59,36	4,41
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	212,57	82,84	3,60
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	2,21	4,70	4,14
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	7,85	15,49	1,26
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	2,76	2,81	3,90
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	4,27	3,14	4,93
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	514,49	254,51	3,96
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	6,39	9,31	0,85
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	27,61	8,40	1,68
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	17,49	82,51	0,62

Tabla 8: Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 3.1 (sísmica).

Ejes	Nº pier	Largo (m)	$FSD_{sis5}$	$FSV_{sis5}$	$\sigma_{sis1}[kgf/cm^2]$
12 entre A y C	F1X	1,92	2,41	7,77	3,95
12 entre C y E	F2X	1,92	12,54	18,94	8,22
11' entre C y E	F3X	5,05	8,49	12,95	8,80
10 entre G y L	F4X	6,76	9,07	7,67	6,10
10 entre N y O	F5X	1,17	1,73	2,54	1,08
9 entre G y L	F6X	5,41	8,90	8,46	5,57
8 entre A y C	F7X	1,92	1,96	6,89	3,85
8 entre C y F	F8X	5,30	7,54	13,43	8,51
7 entre G y L	F9X	6,75	15,57	5,79	8,46
6 entre C y E	F10X	1,88	64,32	68,68	8,14
6 entre C y E	F11X	2,37	3,90	5,98	6,81
5 entre A y C	F12X	1,92	1,44	4,37	2,77
5 entre C y E	F13X	1,92	3,98	6,36	8,42
4 entre G y L	F14X	6,76	1,96	7,31	4,91
3 entre C y G	F15X	6,45	24,72	8,81	1,83
2' entre F y N	F16X	12,42	1,64	5,43	1,68
2 entre A y E	F17X	12,38	3,90	4,52	1,93
2 entre J y K	F18X	0,71	5,90	5,06	7,45
1 entre C y M	F19X	14,00	1,50	8,83	4,17
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	1,26	9,81	0,94
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	1,86	6,70	2,46
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	34,88	31,75	5,52
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	20,33	14,91	5,83
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	5,88	14,44	5,97
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	20,42	22,98	3,06
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	45,72	35,62	3,84
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	2,99	10,63	4,41
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	13,36	10,26	4,99
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	86,66	43,30	4,31
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	7,88	8,25	4,95
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	13,15	18,06	4,07
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	3,44	7,42	3,68
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	3,93	3,74	2,15
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	1,62	1,80	5,12
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	1,82	1,56	6,66
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	10,95	8,12	5,56
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	1,19	2,47	1,24
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	2,00	4,12	1,58
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	1,01	14,61	0,64

Tabla 9: Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 3.2 (sísmica).

Ejes	Nº pier	Largo (m)	$FSD_{sis5}$	$FSV_{sis5}$	$\sigma_{sis2}[kgf/cm^2]$
12 entre A y C	F1X	1,92	2,16	5,08	4,68
12 entre C y E	F2X	1,92	9,84	11,38	2,39
11' entre C y E	F3X	5,05	8,89	3,57	4,30
10 entre G y L	F4X	6,76	5,95	2,98	4,66
10 entre N y O	F5X	1,17	3,15	4,75	0,70
9 entre G y L	F6X	5,41	4,45	2,84	3,59
8 entre A y C	F7X	1,92	2,03	5,34	4,30
8 entre C y F	F8X	5,30	201,84	3,07	4,57
7 entre G y L	F9X	6,75	2,00	2,85	5,06
6 entre C y E	F10X	1,88	3,66	4,10	1,55
6 entre C y E	F11X	2,37	21,16	13,29	3,78
5 entre A y C	F12X	1,92	1,77	4,50	2,93
5 entre C y E	F13X	1,92	6,71	9,89	2,03
4 entre G y L	F14X	6,76	2,25	3,16	5,31
3 entre C y G	F15X	6,45	1,01	4,58	1,20
2' entre F y N	F16X	12,42	1,68	2,77	2,37
2 entre A y E	F17X	12,38	1,00	4,59	1,37
2 entre J y K	F18X	0,71	35,05	21,22	3,28
1 entre C y M	F19X	14,00	1,12	3,38	5,11
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	1,00	7,78	0,89
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	97,95	4,85	3,40
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	7,00	6,52	3,17
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	46,26	36,54	3,44
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	4,59	15,42	5,33
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	1,16	1,77	1,51
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	6,85	7,68	2,00
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	20,06	6,94	4,82
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	21,06	9,37	4,51
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	16,56	9,63	2,85
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	6,40	6,87	3,14
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	6,38	7,54	2,33
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	1,63	3,15	3,67
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	1,50	2,11	1,73
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	5,35	5,42	1,80
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	3,42	2,63	3,32
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	6,55	4,66	3,69
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	1,24	2,09	1,23
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	1,77	7,19	1,08
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	1,08	13,14	0,64

Tabla 10: Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 4.1 (sísmica).

Ejes	Nº pier	Largo (m)	$FSD_{sis5}$	$FSV_{sis5}$	$\sigma_{sis3} [kgf/cm^2]$
12 entre A y C	F1X	1,92	5,96	22,44	6,40
12 entre C y E	F2X	1,92	12,65	19,30	9,47
11' entre C y E	F3X	5,05	8,66	15,04	9,72
10 entre G y L	F4X	6,76	10,83	9,11	6,71
10 entre N y O	F5X	1,17	1,13	1,80	1,48
9 entre G y L	F6X	5,41	10,03	9,93	6,13
8 entre A y C	F7X	1,92	4,36	17,47	6,20
8 entre C y F	F8X	5,30	7,34	16,13	9,40
7 entre G y L	F9X	6,75	10,98	6,19	9,42
6 entre C y E	F10X	1,88	59,18	65,89	9,16
6 entre C y E	F11X	2,37	3,99	6,22	7,81
5 entre A y C	F12X	1,92	2,79	8,77	4,38
5 entre C y E	F13X	1,92	4,05	6,43	9,62
4 entre G y L	F14X	6,76	2,17	9,22	5,38
3 entre C y G	F15X	6,45	31,73	8,60	2,06
2' entre F y N	F16X	12,42	1,82	4,90	2,02
2 entre A y E	F17X	12,38	6,07	4,56	2,19
2 entre J y K	F18X	0,71	6,24	5,32	8,51
1 entre C y M	F19X	14,00	1,76	12,04	4,55
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	1,41	11,06	1,01
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	1,95	6,31	2,98
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	19,37	17,64	6,60
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	16,19	12,02	6,96
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	7,33	17,06	7,07
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	44,58	45,15	3,31
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	66,18	46,32	4,31
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	3,24	12,90	5,00
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	15,32	12,22	5,80
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	2351,74	291,31	4,91
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	9,10	9,48	5,68
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	16,08	22,60	4,69
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	3,06	7,06	4,18
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	4,91	4,27	2,27
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	1,68	1,86	5,84
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	1,95	1,64	7,65
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	13,41	9,54	6,31
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	1,22	2,56	1,25
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	2,56	4,15	2,04
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	1,04	16,09	0,65

Tabla 11: Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento, y tensión aplicada al suelo para Combinación 4.2 (sísmica).

Ejes	Nº pier	Largo (m)	$FSD_{sis5}$	$FSV_{sis5}$	$\sigma_{sis4}[kgf/cm^2]$
12 entre A y C	F1X	1,92	3,20	7,21	7,79
12 entre C y E	F2X	1,92	26,60	24,69	3,58
11' entre C y E	F3X	5,05	23,79	4,84	5,48
10 entre G y L	F4X	6,76	7,74	3,63	5,27
10 entre N y O	F5X	1,17	1,38	2,17	1,09
9 entre G y L	F6X	5,41	6,57	3,61	4,13
8 entre A y C	F7X	1,92	3,09	7,62	7,24
8 entre C y F	F8X	5,30	15,33	3,92	5,67
7 entre G y L	F9X	6,75	2,31	3,54	5,83
6 entre C y E	F10X	1,88	7,47	7,78	2,55
6 entre C y E	F11X	2,37	11,56	12,42	4,72
5 entre A y C	F12X	1,92	2,85	6,75	4,85
5 entre C y E	F13X	1,92	64,39	28,06	3,23
4 entre G y L	F14X	6,76	3,17	3,67	6,28
3 entre C y G	F15X	6,45	1,05	4,53	1,43
2' entre F y N	F16X	12,42	1,93	2,80	2,73
2 entre A y E	F17X	12,38	1,05	4,37	1,63
2 entre J y K	F18X	0,71	22,27	15,31	4,34
1 entre C y M	F19X	14,00	1,34	3,75	5,91
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	1,10	8,40	0,97
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	15,34	4,83	3,93
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	6,46	6,05	4,25
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	21,63	16,52	4,58
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	5,48	19,09	6,38
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	1,45	2,12	1,88
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	8,23	9,23	2,49
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	92,59	8,09	5,67
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	28,84	11,40	5,36
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	15,87	9,36	3,64
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	8,18	8,71	3,87
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	8,23	9,45	3,01
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	1,66	3,25	4,33
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	1,64	2,29	1,88
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	25,71	31,25	2,01
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	6,28	4,60	3,61
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	8,46	5,90	4,45
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	1,32	2,16	1,28
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	2,12	8,74	1,31
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	1,14	12,94	0,67



Tabla 12: Tensión aplicada al suelo que controlan el diseño para caso Estático y Sísmico.

Ejes	Nº pier	Largo (m)	$\sigma_{est}[kgf/cm^2]$	$\sigma_{sis}[kgf/cm^2]$
12 entre A y C	F1X	1,92	6,85	7,79
12 entre C y E	F2X	1,92	6,30	9,47
11' entre C y E	F3X	5,05	6,52	9,72
10 entre G y L	F4X	6,76	4,39	6,71
10 entre N y O	F5X	1,17	1,29	1,48
9 entre G y L	F6X	5,41	3,85	6,13
8 entre A y C	F7X	1,92	6,47	7,24
8 entre C y F	F8X	5,30	6,70	9,40
7 entre G y L	F9X	6,75	5,02	9,42
6 entre C y E	F10X	1,88	5,71	9,16
6 entre C y E	F11X	2,37	5,76	7,81
5 entre A y C	F12X	1,92	4,30	4,85
5 entre C y E	F13X	1,92	6,43	9,62
4 entre G y L	F14X	6,76	5,56	6,28
3 entre C y G	F15X	6,45	1,74	2,06
2' entre F y N	F16X	12,42	2,32	2,73
2 entre A y E	F17X	12,38	1,91	2,19
2 entre J y K	F18X	0,71	6,43	8,51
1 entre C y M	F19X	14,00	4,98	5,91
A entre 2 y 18	F20Y	35,78	0,83	1,01
C entre 1 y 3	F21Y	5,43	3,45	3,93
C entre 5 y 6	F22Y	0,85	5,43	6,60
C entre 11' y 12	F23Y	0,85	5,77	6,96
E entre 6 y 11'	F24Y	11,50	6,18	7,07
F entre 1 y 2	F25Y	2,66	2,49	3,31
F entre 2 y 3	F26Y	1,75	3,23	4,31
G entre 3 y 7	F27Y	6,50	5,15	5,67
G entre 7 y 10	F28Y	4,06	4,60	5,80
G entre 10 y 11'	F29Y	0,90	4,23	4,91
G entre 11' y 12	F30Y	1,03	4,41	5,68
I entre 7 y 9	F31Y	2,35	3,60	4,69
J entre 1 y 2	F32Y	2,71	4,14	4,33
L entre 3 y 5	F33Y	2,62	1,26	2,27
L entre 6 y 7	F34Y	0,83	3,90	5,84
L entre 7 y 8	F35Y	0,85	4,93	7,65
L entre 7 y 10	F36Y	4,85	3,96	6,31
M entre 1 y 3	F37Y	4,00	0,85	1,28
N entre 1 y 6	F38Y	8,64	1,68	2,04
O entre 1 y 18	F39Y	38,28	0,62	0,67

Una vez que se verifica la resistencia y estabilidad de todas las zapatas, se evalúa la necesidad de parrilla.

Tabla 13: Evaluación de necesidad de parrilla de refuerzo.

Momento lado Corto				Momento lado Largo			
$M[\text{tonf} \cdot \text{m}]$	$W[\text{m}^3]$	$M/W[\text{kgf}/\text{cm}^2]$	¿Parrilla?	$M[\text{tonf} \cdot \text{m}]$	$W[\text{m}^3]$	$M/W[\text{kgf}/\text{cm}^2]$	¿Parrilla?
3,51	0,06	5,84	NO PARRILLA	3,51	0,06	5,84	NO PARRILLA
26,62	0,67	3,99	NO PARRILLA	17,04	0,67	2,56	NO PARRILLA
31,11	0,67	4,67	NO PARRILLA	31,11	0,67	4,67	NO PARRILLA
33,54	0,67	5,03	NO PARRILLA	27,17	0,67	4,08	NO PARRILLA
11,56	0,67	1,73	NO PARRILLA	7,62	0,67	1,14	NO PARRILLA
27,65	0,67	4,15	NO PARRILLA	30,64	0,67	4,60	NO PARRILLA
3,26	0,06	5,43	NO PARRILLA	3,26	0,06	5,43	NO PARRILLA
38,07	0,67	5,71	NO PARRILLA	30,08	0,67	4,51	NO PARRILLA
30,15	0,67	4,52	NO PARRILLA	11,78	0,67	1,77	NO PARRILLA
33,09	0,67	4,96	NO PARRILLA	7,33	0,67	1,10	NO PARRILLA
28,22	0,67	4,23	NO PARRILLA	6,25	0,67	0,94	NO PARRILLA
3,88	0,11	3,64	NO PARRILLA	2,18	0,11	2,05	NO PARRILLA
38,97	0,67	5,85	NO PARRILLA	14,55	0,67	2,18	NO PARRILLA
25,42	0,67	3,81	NO PARRILLA	11,30	0,67	1,69	NO PARRILLA
23,12	0,67	3,47	NO PARRILLA	37,10	0,67	5,57	NO PARRILLA
24,87	0,67	3,73	NO PARRILLA	13,65	0,67	2,05	NO PARRILLA
24,66	0,67	3,70	NO PARRILLA	35,51	0,67	5,33	NO PARRILLA
10,64	0,17	6,38	NO PARRILLA	3,83	0,17	2,30	NO PARRILLA
29,53	0,67	4,43	NO PARRILLA	0,00	0,67	0,00	NO PARRILLA
31,56	0,67	4,73	NO PARRILLA	0,00	0,67	0,00	NO PARRILLA
19,63	0,67	2,94	NO PARRILLA	1,77	0,67	0,27	NO PARRILLA
13,95	0,67	2,09	NO PARRILLA	16,17	0,67	2,43	NO PARRILLA
17,04	0,67	2,56	NO PARRILLA	8,70	0,67	1,30	NO PARRILLA
25,54	0,67	3,83	NO PARRILLA	12,72	0,67	1,91	NO PARRILLA
21,86	0,67	3,28	NO PARRILLA	0,66	0,67	0,10	NO PARRILLA
13,79	0,67	2,07	NO PARRILLA	9,10	0,67	1,37	NO PARRILLA
22,97	0,67	3,44	NO PARRILLA	7,09	0,67	1,06	NO PARRILLA
31,96	0,67	4,79	NO PARRILLA	12,25	0,67	1,84	NO PARRILLA
22,17	0,67	3,32	NO PARRILLA	2,21	0,67	0,33	NO PARRILLA
13,93	0,67	2,09	NO PARRILLA	12,01	0,67	1,80	NO PARRILLA
16,95	0,67	2,54	NO PARRILLA	11,49	0,67	1,72	NO PARRILLA
17,52	0,67	2,63	NO PARRILLA	7,79	0,67	1,17	NO PARRILLA
8,22	0,67	1,23	NO PARRILLA	2,84	0,67	0,43	NO PARRILLA
14,31	0,67	2,15	NO PARRILLA	14,31	0,67	2,15	NO PARRILLA
18,73	0,67	2,81	NO PARRILLA	6,12	0,67	0,92	NO PARRILLA
22,78	0,67	3,42	NO PARRILLA	25,54	0,67	3,83	NO PARRILLA
6,38	0,67	0,96	NO PARRILLA	0,40	0,67	0,06	NO PARRILLA
2,55	0,67	0,38	NO PARRILLA	0,00	0,67	0,00	NO PARRILLA

## 4. Comentarios y Conclusiones

La altura,  $H$ , de las zapatas fue la determinada por la zapata que más altura exigía para cumplir con los requerimientos. Se uniformó dicha dimensión para todas las zapatas, con algunas excepciones, como las de los piers  $F1X$ ,  $F7X$  y  $F18X$ , que no se encuentran superpuestas con el resto de las zapatas, como se muestra el a Figura 2 sólo ancladas al muro perimetral mediante cadena, para mayor estabilidad.

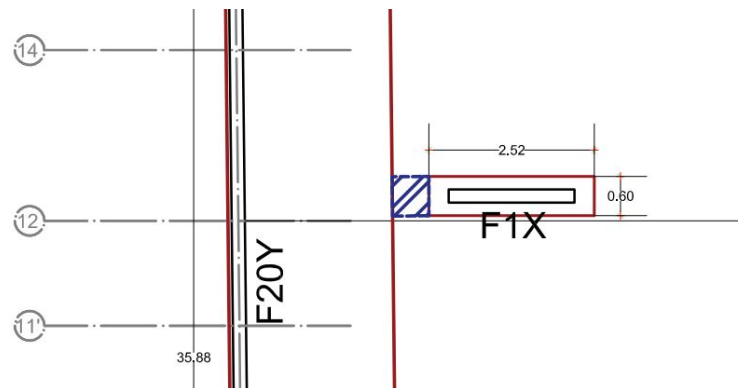


Figura 2: Esquema de la conexión de una zapata aislada al muro perimetral, mediante cadena.

Durante el proceso iterativo de diseño se obtuvo que, en general, fueron los Factores de Seguridad al Deslizamiento y Volcamiento los que controlaron el diseño. Esto tiene sentido si se considera que el suelo en que está fundada la estructura es roca, con muy alta resistencia, como se indica en la Tabla 1.

Como se puede ver en el plano adjunto, la superficie que abarcan las fundaciones es un gran porcentaje del total de la torre, por lo que se justificaría la elección de *losa de fundación*, al menos para este sector, en vez de zapatas corridas.