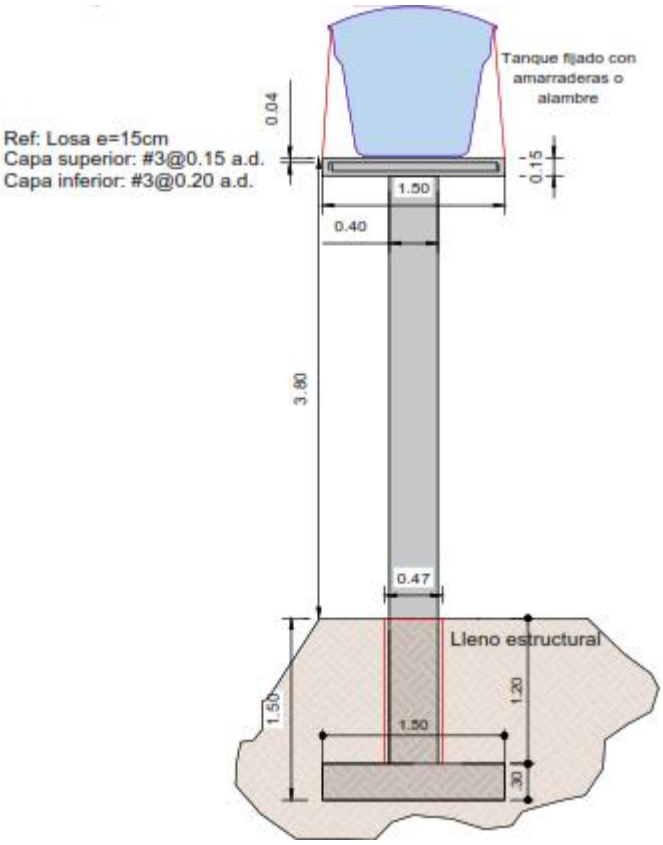
MEMORÍAS DE CÁLCULO

ESTRUCTURA SOPORTE DE TANQUE DE AGUA H=3.80m



EMPRESA DE VIVIENDA DE ANTIOQUIA

JUAN HINESTROZA FARFAN
Ingeniero Civil
Esp. Especialista en Ingeniería Sismo-Resistente
M.Sc. Ingeniería
Medellín-Antioquia

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETO 4

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 4

2.1 CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA 5

3. PARÁMETROS DE DISEÑO 5

4. MODELO COMPUTACIONAL 5

5. MATERIALES 6

5.1 CONCRETO ESTRUCTURAL 6

5.2 ACERO DE REFUERZO 6

6. CARGAS 6

6.1 CARGAS VERTICALES 6

6.1.1 CARGAS MUERTAS 6

6.1.2 CARGAS VIVAS 7

6.1.3 CARGAS DE GRANIZO 7

6.2 CARGAS HORIZONTALES 8

6.2.1 EVALUACIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA 8

6.3 COMBINACIONES DE CARGA 10

7. ANÁLISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA 11

7.1 ANÁLISIS MODAL 11

7.2 AJUSTE DE RESULTADOS 12

7.3 REQUISITOS DE RESISTENCIA Y FUNCIONAMIENTO 14

7.4 DISEÑO DE COLUMNAS 14

7.5 CIMENTACION 14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema general de la estructura. 4
Figura 6.1. Espectro de -aceleraciones 9
Figura 7.1 Diseño de Columna según NSR-10. Unidades en kN y m. 14

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia a la compresión 6
Tabla 2. Carga muerta debido a los tanques 7
Tabla 3. Coeficientes Aa, Av según ubicación. Fuente: Apéndice A-4 – NSR-10. 8
Tabla 4. Coeficiente Fa para la zona de períodos cortos. Fuente: Tabla A.2.4-3 – NSR-10. 8
Tabla 5. Coeficiente Fa para la zona de períodos intermedios. Fuente: Tabla A.2.4-4 – NSR-10. 9
Tabla 6. Combinaciones de cargas. Estado límite de resistencia 10
Tabla 7. Combinaciones de cargas. Estado límite de servicio. 10
Tabla 8. Información Modal. 11
Tabla 9. Masa participativa. 12
Tabla 10. Ajuste de resultados. 13

1. OBJETO

Presentar los resultados de análisis y diseño estructural conforme a los requerimientos del Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10 del proyecto “Estructura de soporte de tanque de agua”. Dado que este prototipo de tanque podría estar ubicado en diversas partes de Antioquia, se asume una amenaza sísmica ALTA, tomando como referente (para efectos de cálculo estructural) Vigía del Fuerte.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en una estructura para el soporte de unos tanques de agua de 500 litros a una altura total de 3.80 m. El sistema estructural propuesta está conformado por una única columna, responsable de soportar las cargas verticales y las fuerzas laterales impuestas por los movimientos sísmicos.

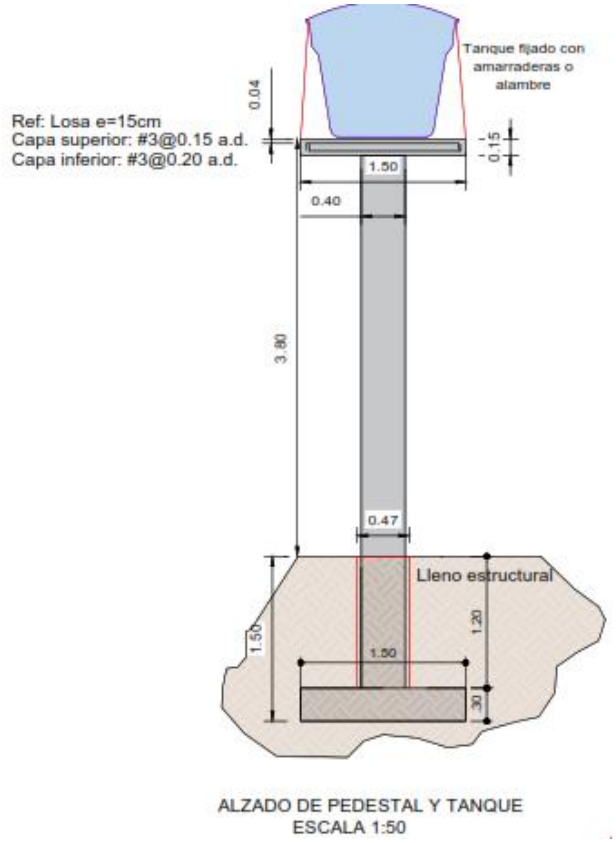


Figura 2.1. Esquema general de la estructura.

2.1 CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA

- Grupo de uso: IV
- Altura de la estructura: 3.80 m
- Tipo de cimentación: Zapatas aisladas
- Columna de 40x40 y loseta de 15cm
- El sistema de cimentación utilizado para la estructura en mención constará de zapatas aisladas desplantadas a 1.5m desde el nivel actual del terreno, en las cuales se apoyarán los elementos verticales en un pedestal de concreto de 47x47cm.

3. PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño para la estructura, utilizados en el modelo de análisis y diseño, corresponden a los siguientes de acuerdo con los requisitos normativos según el AIS 180-13 Recomendaciones para requisitos sísmicos de estructuras diferentes de edificaciones:

- Aceleración pico efectiva, Aa: 0.35.
- Velocidad pico efectiva, Av: 0.35.
- Coeficiente sísmico de sitio para períodos cortos, Fa: 1.15.
- Coeficiente sísmico de sitio para períodos cortos, Fa: 1.15.
- Coeficiente sísmico de sitios para periodos intermedios, Fv: 1.70
- Valor del espectro de aceleraciones horizontales de diseño con 5% de amortiguamiento para un período de 0.20 s, Sds: 1.51.
- Sd1: 1.071.
- Coeficiente de disipación de energía, R0: 1.00.

4. MODELO COMPUTACIONAL

Con el fin de analizar el comportamiento de la estructura frente a las solicitaciones tanto en servicio como mayoradas se realiza una modelación del proyecto “Soporte de tanque de agua” con el uso del programa de análisis y diseño “Midas Gen”. Para el cual se ingresan como insumo la siguiente información:

- Geometría tomada de los planos.
- Secciones de elementos según las dimensiones que cumplen con las solicitaciones impuestas.
- Determinación de los apoyos de la estructura.
- Ingreso de las combinaciones de carga cumpliendo la NSR-10.

- Ingreso de cargas.
- Elección del análisis a emplear en el uso del programa.

5. MATERIALES

5.1 CONCRETO ESTRUCTURAL

Tabla 1. Resistencia a la compresión

Ítem	Valor	Unidad
Resistencia a la compresión, f'c	210	kg/cm^2

5.2 ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo utilizado en el diseño de los elementos deberá cumplir con la norma NTC 2289 (ASTM A-706), la cual establece que el acero deberá tener una resistencia nominal a la fluencia mínima de Fy = 4200 kgf/cm². El refuerzo de los elementos consiste en varillas corrugadas en acero.

Para las mallas electrosoldadas se empleará un acero que cumpla con la norma NRC 2289 (ASTM A-497) la cual estable que el acero deberá tener un esfuerzo mínimo a la fluencia igual a Fy=4200 kgf/cm².

6. CARGAS

Los elementos estructurales fueron diseñados para las combinaciones más críticas de cargas, que corresponden a combinaciones de peso propio, cargas sobreimpuestas, carga viva de cubierta y cargas laterales (sismo). A continuación, se presentan los patrones de carga que se tuvieron en cuenta en el diseño de la estructura.

6.1 CARGAS VERTICALES

6.1.1 CARGAS MUERTAS

Las cargas muertas incluyen el peso propio de los elementos y el peso de los tanques de agua. Las cargas de peso propio son aplicadas directamente en el programa en todos y cada uno de los nodos de acuerdo con los elementos que allí se conecte.

Tabla 2. Carga muerta debido a los tanques

Name	Loadcase1	Load (kilos)
Tanque	DEAD	500 kg

6.1.2 CARGAS VIVAS

Por criterio de la consultoría se considera una carga viva de **0.05 tonf/m²** debido al posible mantenimiento.

6.1.3 CARGAS DE GRANIZO

Las cargas de granizo deben tenerse en cuenta en las regiones del país con más de 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar o en lugares de menor altura donde la autoridad municipal o distrital lo exija.

En nuestro caso no se deben tomar en cuenta debido a que el municipio en el cual se realizará el proyecto no supera los metros especificados en la NSR-10.

6.2 CARGAS HORIZONTALES

6.2.1 EVALUACIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA

Para la determinación de las cargas sísmicas que se generan por la inercia de la estructura, se utilizó el espectro de aceleraciones de diseño del documento ASCE 7-10.

Tabla 3. Coeficientes Aa, Av según ubicación. **Fuente:** Apéndice A-4 – NSR-10.

Turbo	05837	0.25	0.25	Alta	0.13	0.07
Uramita	05842	0.25	0.25	Alta	0.12	0.07
Urrao	05847	0.30	0.30	Alta	0.17	0.10
Valdivia	05854	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Valparaíso	05856	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Vegachí	05858	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Venecia	05861	0.20	0.25	Alta	0.15	0.08
Vigía del Fuerte	05873	0.35	0.35	Alta	0.22	0.12
Yalí	05885	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Yarumal	05887	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Yolombó	05890	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Yondó	05893	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Zaragoza	05895	0.15	0.20	Intermedia	0.05	0.03

Adicionalmente se considera un perfil de suelo tipo **"D".** Este nos permite definir los factores de amplificación de onda para periodos cortos, intermedios y largos.

Tabla 4. Coeficiente Fa para la zona de períodos cortos. **Fuente:** Tabla A.2.4-3 – NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Al realizar la interpolación lineal, se obtiene un valor de **Fa** igual a **1.15.**

Tabla 5. Coeficiente Fa para la zona de períodos intermedios. **Fuente:** Tabla A.2.4-4 – NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_V \leq 0.1$	$A_V = 0.2$	$A_V = 0.3$	$A_V = 0.4$	$A_V \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Para un valor de **Av=0.35**, se obtiene un **Fv=1.70**.

El grupo de uso del proyecto se clasifica dentro de las "Edificaciones indispensables", las cuales tienen un factor de importancia **IV**, por lo cual su coeficiente de importancia es igual a **1.50**.

A continuación, se presenta el espectro de diseño:

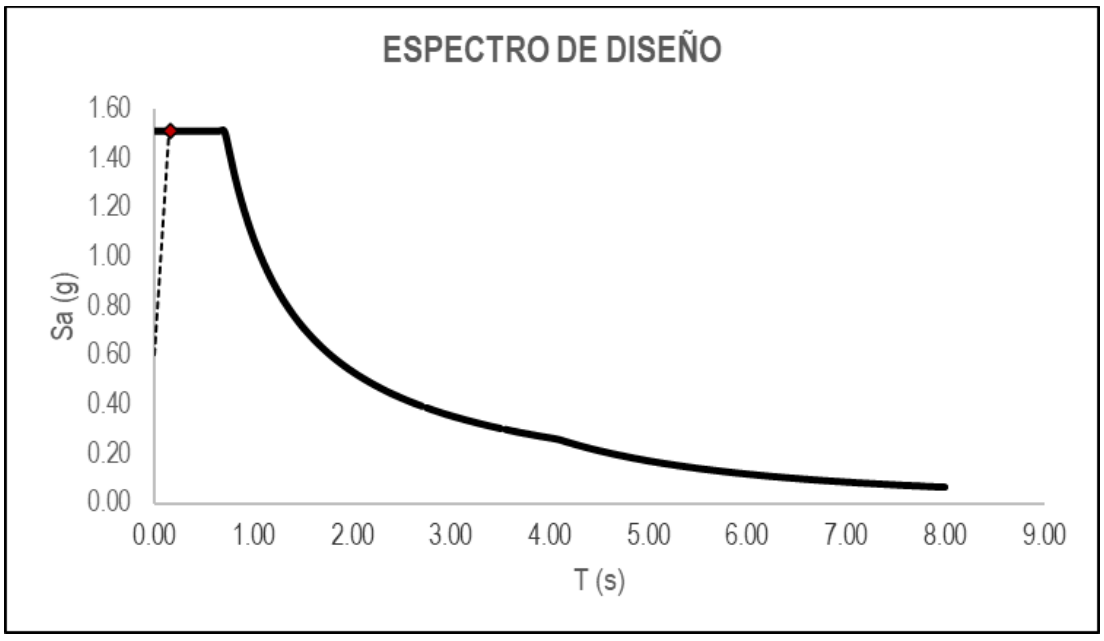


Figura 6.1. Espectro de -aceleraciones

6.3 COMBINACIONES DE CARGA

Tabla 6. Combinaciones de cargas. Estado límite de resistencia

Modelo Estructural	NSR-10	Combinación de carga	D	L	G	Lr	W	Ex	Ey	Estado límite
U1	B.2.4-1	1.4D	1.4							Resistencia
U2	B.2.4-2	1.2D + 1.6L + 0.5G	1.2	1.6	0.5					Resistencia
U3	B.2.4-2	1.2D + 1.6L + 0.6Lr	1.2	1.6		1.6				Resistencia
U4	B.2.4-3	1.2D + 1.6G + 0.5L	1.2	0.5	1.6					Resistencia
U5	B.2.4-3	1.2D + 1.6Lr + 0.5L	1.2	0.5		1.6				Resistencia
U6	B.2.4-3	1.2D + 1.6Lr + 0.5W	1.2			1.6	0.5			Resistencia
U7	B.2.4-3	1.2D + 1.6Lr - 0.5W	1.2			1.6	-0.5			Resistencia
U8	B.2.4-3	1.2D + 1.6G + 0.5W	1.2		1.6		0.5			Resistencia
U9	B.2.4-3	1.2D + 1.6G - 0.5W	1.2		1.6		-0.5			Resistencia
U10	B.2.4-4	1.2D + W + L + 0.5G	1.2	1	0.5		1			Resistencia
U11	B.2.4-4	1.2D - W + L + 0.5G	1.2	1	0.5		-1			Resistencia
U12	B.2.4-4	1.2D + W + L + 0.5Lr	1.2	1		0.5	1			Resistencia
U13	B.2.4-4	1.2D - W + L + 0.5Lr	1.2	1		0.5	-1			Resistencia
U14	B.2.4-5	1.2D + Ex + 0.3Ey + 0.5L	1.2	0.5				1	0.3	Resistencia
U15	B.2.4-5	1.2D + 0.3Ex + Ey + 0.5L	1.2	0.5				0.3	1	Resistencia
U16	B.2.4-6	0.9D + W	0.9				1			Resistencia
U17	B.2.4-6	0.9D - W	0.9				-1			Resistencia
U18	B.2.4-7	0.9D + Ex + 0.3Ey	0.9					1	0.3	Resistencia
U19	B.2.4-7	0.9D + 0.3Ex + Ey	0.9					0.3	1	Resistencia

Tabla 7. Combinaciones de cargas. Estado límite de servicio.

Modelo Estructural	NSR-10	Combinación de carga	D	L	G	Lr	W	Ex	Ey	Estado límite
S1	B.2.3-1	D	1							Servicio
S2	B.2.3-2	D + L	1	1						Servicio
S3	B.2.3-3	D + Lr	1			1				Servicio
S4	B.2.3-3	D + G	1			1				Servicio
S5	B.2.3-4	D + 0.75L + 0.75Lr	1	0.75		0.75				Servicio
S6	B.2.3-4	D + 0.75L + 0.75G	1	0.75	0.75					Servicio
S7	B.2.3-5	D + W	1				1			Servicio
S8	B.2.3-5	D - W	1				-1			Servicio
S9	B.2.3-6	D + 0.7Ex + 0.21Ey	1					0.7	0.21	Servicio
S10	B.2.3-6	D + 0.21Ey + 0.7Ex	1					0.21	0.7	Servicio
S11	B.2.3-7	D + 0.75L + 0.75W + 0.75Lr	1	0.75		0.75	0.75			Servicio
S12	B.2.3-7	D + 0.75L - 0.75W + 0.75Lr	1	0.75		0.75	-0.75			Servicio
S13	B.2.3-7	D + 0.75L + 0.75W + 0.75G	1	0.75	0.75		0.75			Servicio
S14	B.2.3-7	D + 0.75L - 0.75W + 0.75G	1	0.75	0.75		-0.75			Servicio

Modelo Estructural	NSR-10	Combinación de carga	D	L	G	Lr	W	Ex	Ey	Estado límite
S15	B.2.3-8	D + 0.525Ex + 0.157Ey + 0.75L + 0.75Lr	1	0.75		0.75		0.525	0.157	Servicio
S16	B.2.3-8	D + 0.157Ex + 0.525Ey + 0.75L + 0.75Lr	1	0.75		0.75		0.157	0.525	Servicio
S17	B.2.3-8	D + 0.525Ex + 0.157Ey + 0.75L + 0.75G	1	0.75	0.75			0.525	0.157	Servicio
S18	B.2.3-8	D + 0.157Ex + 0.525Ey + 0.75L + 0.75G	1	0.75	0.75			0.157	0.525	Servicio
S19	B.2.3-9	0.6D + W	0.6				1			Servicio
S20	B.2.3-9	0.6D - W	0.6				-1			Servicio
S21	B.2.3-10	0.6D + 0.7Ex + 0.21Ey	0.6					0.7	0.21	Servicio
S22	B.2.3-10	0.6D + 0.21Ex + 0.7Ey	0.6					0.21	0.7	Servicio

7. ANÁLISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA

Una vez localizada la estructura dentro de los mapas de zonificación sísmica, definir los movimientos sísmicos de diseño, definir las características de los materiales de la edificación y el material estructural empleado, se define el procedimiento de análisis como "**Método de análisis dinámico elástico espectral**", el cual se basa en un espectro de pseudo-aceleraciones. Al utilizar esta metodología se debe tener en cuenta:

7.1 ANÁLISIS MODAL

El análisis modal requiere obtener la siguiente información de la estructura: frecuencias/periodos de vibración y la masa participativa en cada uno de los modos de vibración, estas características de la estructura dependen de la geometría de los elementos y la rigidez.

Tabla 8. Información Modal.

Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
1	33.2583	5.2932	0.1889	0
2	77.3386	12.3088	0.0812	8.011E-112
3	101.2126	16.1085	0.0621	7.1429E-103
4	131.7756	20.9727	0.0477	2.3506E-95
5	139.9588	22.2751	0.0449	3.2933E-94
6	209.3601	33.3207	0.03	3.3363E-83
7	319.4668	50.8447	0.0197	3.9069E-73
8	479.0834	76.2485	0.0131	3.9016E-60
9	506.128	80.5528	0.0124	9.8639E-58
10	517.8982	82.4261	0.0121	5.0889E-57
11	541.7382	86.2203	0.0116	5.991E-56
12	586.1273	93.2851	0.0107	7.5639E-55

Tabla 9. Masa participativa.

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT						
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	0.00	0.00	59.37	59.37	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	59.37	0.73	0.73
3	92.56	92.56	0.00	59.37	0.00	0.73
4	0.00	92.56	0.00	59.37	53.68	54.41
5	0.00	92.56	33.12	92.49	0.00	54.41
6	0.00	92.56	0.00	92.49	40.51	94.91
7	0.00	92.56	0.92	93.41	0.00	94.91
8	0.00	92.56	0.00	93.41	0.48	95.40
9	0.00	92.56	0.00	93.41	0.05	95.45
10	0.00	92.56	6.57	99.98	0.00	95.45
11	7.43	99.99	0.00	99.98	0.00	95.45
12	0.00	99.99	0.00	99.98	4.55	100.00

Se incluyen en el análisis dinámico **12 modos** de vibración los cuales contribuyen de manera significativa a la respuesta dinámica. Se considera que la cantidad de modos de vibración es adecuada debido a que más del 90% de la masa participativa en la estructura.

7.2 AJUSTE DE RESULTADOS

Cuando el valor del cortante dinámico total en la base, Vtj , obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis, j , sea menor que el 80 por ciento para estructuras regulares, o que el 90 por ciento para estructura irregulares, del cortante sísmico en la base, Vs , calculado como se indicó en (a), todos los parámetros de la respuesta dinámica, tales como deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos de la correspondiente dirección j deben multiplicarse por el siguiente factor de modificación:

$$1.00 * \frac{Vs}{Vtj}$$

Tabla 10. Ajuste de resultados

Ajuste de resultados		
Carga muerta del módelo matemático, ***D***	1.29	ton
Fuerza sísmica en dirección X, ***EQx***	1.67	ton
Fuerza sísmica en dirección Y, ***EQy***	1.23	ton
Peso propio de los elementos, ***PP***	0.00	ton
Peso propio de las vigas de fundación, ***VF***	0.00	ton
Período fundamental de la estructura, ***T***	0.189	seg
Período aproximado de la estructura, ***Ta***	0.133	seg
Período asociado a la aceleración espectral, ***TSa***	0.160	seg
Sa correspondiente a un período T=0.1600	1.5094	g
Vs	1.95	ton
Ajuste EQx	1.170	-
Ajuste EQy	1.588	-

7.3 REQUISITOS DE RESISTENCIA Y FUNCIONAMIENTO

Para el diseño de los elementos que componen el sistema, se emplearon los resultados del análisis, verificando mediante la ayuda de hojas de cálculo configuradas y ajustadas a los requerimientos del código NSR-10 de acuerdo con el método de esfuerzos admisibles y modulo de elasticidad. Para el diseño de la cimentación y las conexiones, se utilizó el estado límite de resistencia.

7.4 DISEÑO DE COLUMNAS

Columna 40X40

Nivel		Losa	B	H	M1	M2	P	V1	V2	Cuantia	Combi	m/mr
CUB		.30	.40	.40	38.73 -32.80	9.67 -9.80	-40.71	30.35	16.24	8/#5 (1.0%) 8/#5 (1.0%)	2 3	0.57 0.48
N+0.00			.40	.40	35.69 -44.12	8.71 -12.70	-75.03	33.81	15.35	8/#5 (1.8%) 8/#5 (1.8%)	2 3	0.51 0.62

Figura 7.1 Diseño de Columna según NSR-10. Unidades en kN y m.

7.5 CIMENTACION

Para la cimentación de la estructura se realizaron zapatas aisladas a una profundidad de desplante de 1.00 m. La resistencia a la compresión de concreto utilizado en toda la cimentación es de 210 kgf/cm².

Para el diseño de las zapatas hay que tener en cuenta las condiciones de rigidez que este presenta, para el chequeo de rigidez se tienen en cuenta los siguientes parámetros: máxima excentricidad, índice de sobre-esfuerzos de presión admisible, aplastamiento, punzonamiento, cortante directo y momentos flectores.

Se asume una capacidad portante de 150 kN/m2, la cual deberá ser confirmada con ingeniero geotecnista.

DISEÑO BIAXIAL DE ZAPATA CUADRADA AISLADA

Materiales y Solicitaciones	
Pu =	136 kN
MuX =	51 kN·m
MuY =	0 kN·m
qa =	0.150 MPa
f y =	420 MPa
f'c =	21 MPa
bc	450 mm
lc	450 mm
F.C.S =	1.40
P s=	97 kN
MsX =	36.4 kN·m
MsY =	0.0 kN·m
esX =	0.00 m
eSy =	0.37 m

Punzonamiento	
α s =	20
βc =	1.0
b0 =	2720 mm
Vu2 =	108 kN
v υ2 =	0.173 MPa
v p1 =	1.75 MPa
v p2 =	1.05 MPa
v p3 =	1.13 MPa
Øv	0.75 MPa
v p =	1.05 MPa
CUMPLE	

Flexión por Pu + My(En X)	
Directo	
quf	0.087782222
Lv	525
ML =	27 kN·m
ρ L=	0.0009
AsL =	621 mm²
Acero Mínimo	

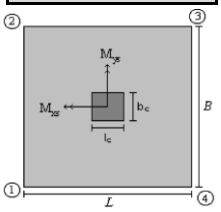
Flexión por Pu + Mu (En Y)	
Directo	
quf	0.087782222
Lv	525
MB =	27 kN·m
ρ B=	0.0009
AsB =	621 mm²
Acero Mínimo	

Cortante por Pu + MuX	
h =	300 mm
d'=	70 mm
d =	230 mm
v c =	0.57 MPa
Directo	
qud	0.116 MPa
Vud	59 kN
vud	0.17
CUMPLE	

Cortante por Pu + MuY	
Directo	
qud	0.116 MPa
Vud	59
vud	0.17 MPa
CUMPLE	

Dimensiones en Planta		
L min =	806 mm	
B min =	806 mm	
L =	1500 mm	
B =	1500 mm	
Área =	2250000 mm²	
q 1 s=	-0.021 MPa	
q2s=	0.108 MPa	CUMPLE
q 3s=	0.108 MPa	CUMPLE
q4s=	-0.021 MPa	

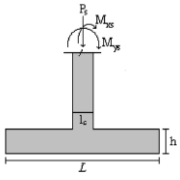
Esfuersos ultimos	
q1u	-0.030 MPa
q2u	0.151 MPa
q3u	0.151 MPa
q4u	-0.030 MPa



1500 mm

1500 mm

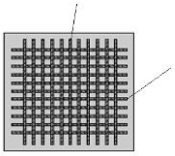
Pedestal (kN) Zapata (kN)
7.68 43.2



1500 mm

300 mm

621 mm²



621 mm²

Refuerzo direccion X		NECESIDAD DE GANCHO	
Var #	5	Ld	692.841801
Cantidad	3	CON GANCHO	
Sep (m)	0.38		
Refuerzo direccion y		**NECESIDAD DE GANCHO**	
Var #	5	Ld	692.841801
Cantidad	3	CON GANCHO	
Sep (m)	0.38		