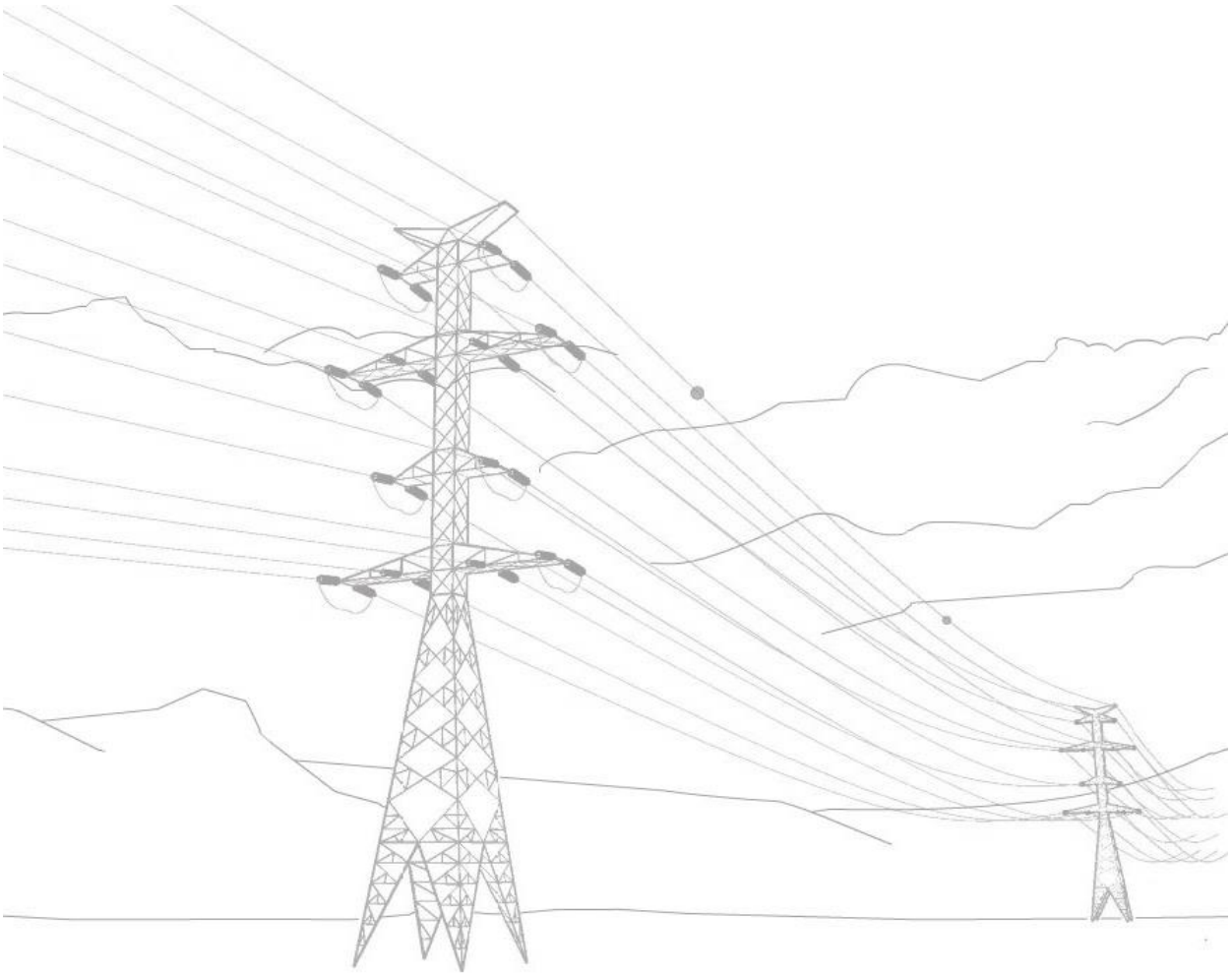


EMISIÓN	ELABORADO:	REVISADO	APROBADO:	FECHA:
PRIMERA	Ing. Jose Nuñez	Ing. Marlon Patiño	Ing. Jorge Proaño	AGOSTO 2023
SEGUNDA				
FINAL	Ing. Jose Nuñez	Ing. Marlon Patiño	Ing. Jorge Proaño	AGOSTO 2023
FIRMA		MARLON RENE PATINO SOLANO Firmado digitalmente por MARLON RENE PATINO SOLANO Fecha: 2023.08.02 18:13:59 -05'00'		

REV. ENGYWORK:

Derechos reservados sobre este documento. Queda prohibida la reproducción y/o distribución de este documento por personas o entidades ajenas al proyecto para el cual fue elaborado.

PROYECTO:	SUC ESTUDIO TÉCNICO PARA LA REPOTENCIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SHUSHUFINDI GD		
DOCUMENTO:	DISEÑO CIMENTACION TRANSFORMADOR		
CÓDIGO:	SE-SU-23-ME-03	N° HOJA:	1/16

REV. CLIENTE

INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO 3
2. NORMAS Y REFERENCIAS 3
3. SISTEMAS DE UNIDADES 3
4. MATERIALES 4
a. HORMIGÓN 4
b. ACERO DE REFUERZO 4
5. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL 4
6. HIPÓTESIS DE CARGA 6
a. CARGA VERTICAL 6
b. CARGA SÍSMICA 6
c. CARGA PARA EL DISEÑO 10
7. COMPROBACION AL VOLCAMIENTO Y PRESION EN EL SUELO 11
8. DISEÑO ZAPATA 12
10. DISEÑO SOPORTE TRANSFORMADOR 16
11. DISEÑO PAREDES DE CUBETO 16

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El presente documento busca describir y detallar los criterios de diseño, materiales, consideraciones y concepción estructural, así como las hipótesis de carga, análisis y diseño para la cimentación de la base del Transformador, del proyecto: "**SUBESTACION SHUSHUFINDI".** Esta subestación está ubicada en la provincia de Sucumbíos.

El contenido de este Informe se resume a continuación:

Contenido 2.- Normas y Referencias: listado de referencias bibliográficas utilizadas para el análisis presentado;
Contenido 3.- Sistema de Unidades: Sistema de unidades a utilizarse en el proyecto, memorias, planos, etc;
Contenido 4.- Materiales: especificaciones básicas de los materiales utilizados;
Contenido 5.- Configuración del sistema estructural: se presenta una idea macro del sistema estructural propuesto;
Contenido 6.- Hipótesis de cargas: se presenta un análisis de las cargas consideradas para el cálculo;
Contenido 7.- Coeficientes de seguridad del sistema estructural: se presentan los factores de carga (combinaciones de carga) aplicables;
Contenido 8.- Modelos de cálculo: se presentan los modelos construidos para el análisis;
Contenido 9.- Resultados: se presentan los resultados del Análisis Estructural, así como comprobaciones básicas de los modelos;
Contenido 10.- Diseño: se presenta un ejemplo de diseño de cada elemento;
Contenido 11.- Conclusiones.

2. NORMAS Y REFERENCIAS

Las siguientes son las principales referencias utilizadas para el cálculo estructural:
i. NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-CG: Cargas (No sísmicas).
ii. NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-DS: Peligro Sísmico y Diseño Sismoresistente.
iii. NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-HA: Estructuras de Hormigón Armado.
iv. NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-AC: Geotecnia y Cimentaciones.
v. ACI 318S-14, Building Code Requirements for Structural Concrete.

3. SISTEMAS DE UNIDADES

Todos los productos de esta consultoría se manejarán con el Sistema Internacional de unidades (SI):

Sistema de Unidades SI

Magnitud	Unidad básica	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Fuerza	Newton	N
Esfuerzo	Pascal	Pa

En base a la tabla anterior, a continuación, se presentan las principales unidades utilizadas en las necesidades de ingeniería estructural:

Unidades usuales en la práctica de ingeniería civil

Magnitud	Unidad básica	Símbolo
Dimensiones de placas	Milímetros	mm
Área de refuerzo	centímetro cuadrado	cm^2
Fuerza	KiloNewton ó Tonelada fuerza	KN ó T
Momento	KiloNewton metro ó Tonelada fuerza - metro	KN-m ó T-m
Resistencia	MegaPascal ó Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado	MPa ó kg/cm^2

4. MATERIALES

a. HORMIGÓN

La resistencia mínima especificada del hormigón a la compresión a los 28 días (ensayada en cilindros) corresponderá a 240 kg/cm^2 o 24 MPa. El módulo de elasticidad para hormigón de densidad normal, como es el caso, se calculará con la expresión:

$$E_c = 4.7\sqrt{f'c}$$

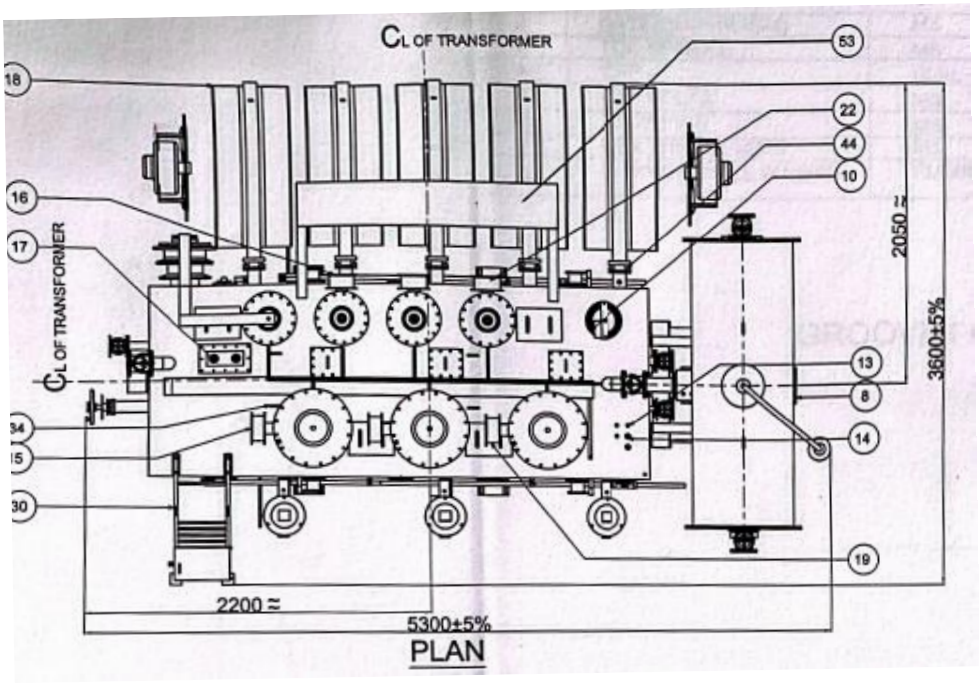
Donde:
E_c= Módulo de elasticidad hormigón (Gpa)
f'c= Resistencia a la compresión del hormigón (Mpa)
El coeficiente de Poisson es 0.20.

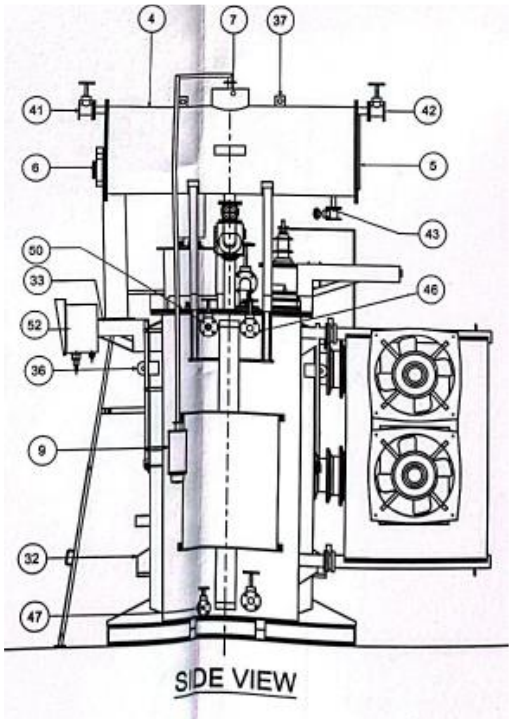
b. ACERO DE REFUERZO

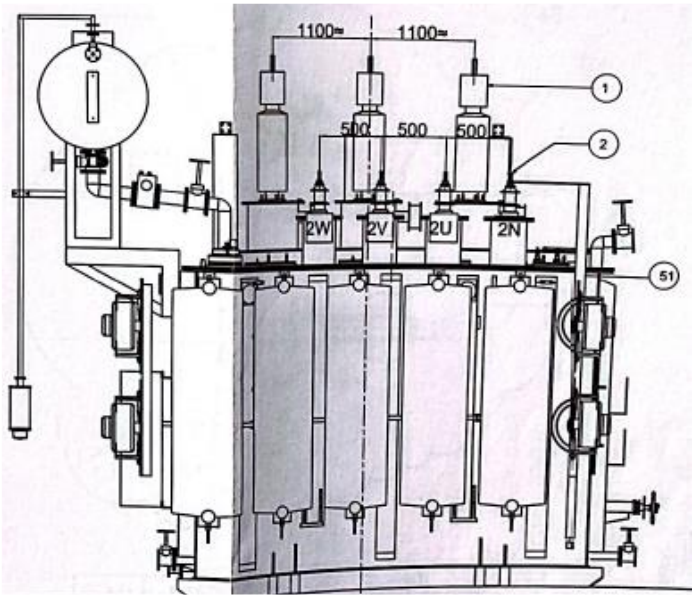
El acero de refuerzo empleado para el hormigón armado es del tipo con resaltes ASTM A615M Gr. 60 [420] o grado A-42 de acuerdo a la INEN 102, con una tensión especificada a la fluencia mínima fy ≥ 420 MPa y con una tensión especificada a la tracción mínima de 420 MPa. El módulo de elasticidad es 200.000 MPa.

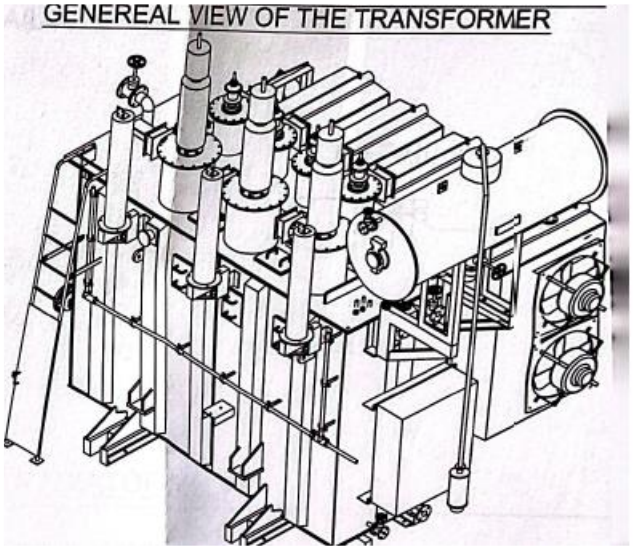
5. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

La cimentación del Transformador se diseñó en base a las características de un Transformador CROPTON cuya geometría y pesos se indican a continuación:




4
7
37
41
42
6
5
43
50
33
46
52
36
9
32
47
SIDE VIEW


1100≈
1100≈
1
500
500
500
2
2W
2V
2U
2N
51


GENEREAL VIEW OF THE TRANSFORMER

6. HIPÓTESIS DE CARGA

a. CARGA VERTICAL

La carga muerta o permanente se compone del peso del equipo con todos sus accesorios y el peso total del aceite; Peso del transformador con aceite 120000 kg, de acuerdo con los datos del equipo propuesto.

Pequipo=	26700	Kg

WEIGHT OF OIL	Kg	6780
TOTAL WEIGHT	Kg	26700
OIL	LTR	7795

b. CARGA SÍSMICA

La carga de sismo, actúa directamente en el centro de gravedad vertical del transformador.
Para el análisis espectral, se usará el espectro sísmico de respuesta elástico en aceleraciones (S_a) que representa al sismo de diseño, según los parámetros del NEC-SE-DS 2015 (sección 3.3.1.), los cuales se especifican a continuación:

Para $0 \leq T \leq T_c$ $\quad S_a = \eta Z F_a$

Para $T > T_c$ $\quad S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$

Zonificación sísmica y factor de zona

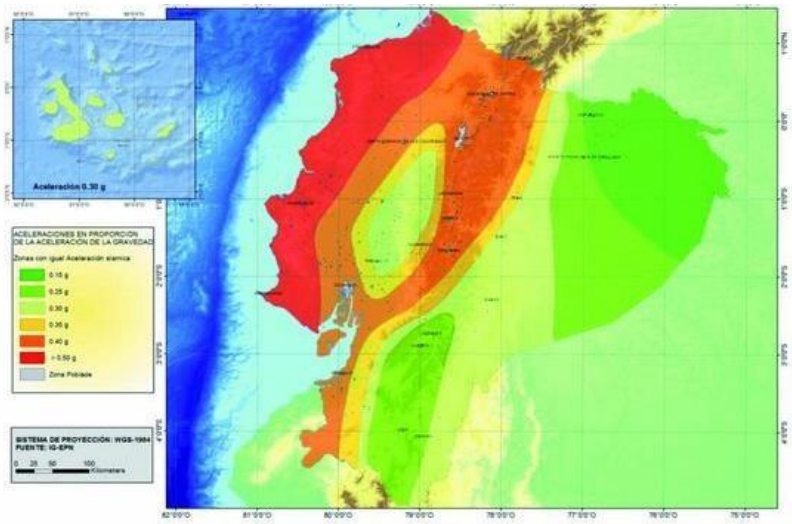


Figura 2.1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

Tabla 2.1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Se usa el valor de Z en el cálculo del espectro elástico de diseño, que representa la aceleración máxima esperada para el sismo de diseño (expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad).

En nuestro caso se tiene una zona sísmica I, cuyo valor de Z = 0.15g, con caracterización de peligro sísmico intermedia.

Geología Local

Se asume un perfil de suelo tipo C, de acuerdo al informe del estudio de suelos presentado.

η Es la razón entre la aceleración espectral Sa (T=0.1 s) y el PGA (peak ground acceleration) para el período de retorno seleccionado, en este caso η= 2.48.

Coeficiente de importancia

Se la clasifica dentro de la categoría: edificación esencial, por ser una estructura que alberga equipos de generación y distribución eléctrica; y por lo tanto tiene un coeficiente I=1.5.

Configuración estructural

En este bloque los requerimientos en planta no son muy regulares y simples, por lo que no se sanciona el coeficiente de irregularidad en planta $ø_p$= 1.0, en elevación la edificación es regular por lo que el coeficiente de irregularidad en elevación $ø_e$= 1.0.

Factor de reducción de resistencia sísmica R

Este factor permite una reducción de fuerzas sísmicas de diseño. Lo cual se permite siempre y cuando las estructuras y sus conexiones desarrollen un mecanismo de falla previsible y una adecuada ductilidad. Dentro de los sistemas dúctiles en la tabla 15 del NEC-SE-DS 2015 se encasilla a esta estructura como: Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes, cuyo Coeficiente R= 3.

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación	3.5
Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes	3
Naves industriales con perfiles de acero	3
Torres en armadura (auto-portantes o atirantadas)	3
Estructuras en forma de péndulo invertido	2
Torres de enfriamiento	3.5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados	3
Letreros y carteleras	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2

Tabla 18 : Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a las de edificación

Período de vibración T

El período de vibración aproximado de la estructura, para cada dirección principal será estimado mediante la siguiente expresión:

$$T = C_t h_n^{\alpha}$$

Para este tipo de estructura que se basa en pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, se tienen los siguientes coeficientes: Ct= 0.055 y α= 0.9.

Cortante basal de diseño

El cortante basal de diseño V, aplicado en una dirección principal específica a nivel de cargas últimas, se determina mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{I \cdot S_a(T_a)}{R \cdot \emptyset_P \cdot \emptyset_E} W$$

Todos estos parámetros ya han sido antes definidos, excepto el peso reactivo W, que según el NEC-SE-DS 2015 (art. 6.1.7) equivale al peso de carga muerta total de la estructura para casos generales.

Distribución lateral de las fuerzas sísmicas horizontales

Las fuerzas laterales de cálculo deben ser distribuidas en toda la altura de la estructura en una distribución lineal triangular, similar al modo de vibración del período fundamental Ta, con la siguiente expresión:

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k} V$$

Donde k es un coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura, en nuestro caso equivale a 1.0. Luego la estructura presenta un solo macizo que actúa como piso o diafragma rígido de manera que Fx se aplicará toda su magnitud en este nivel.

Espectro de diseño sísmico de respuesta en aceleraciones

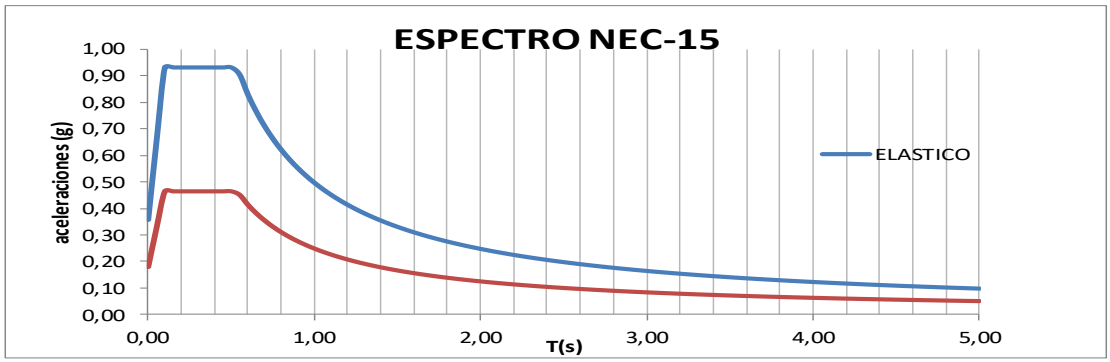
Los resultados del compendio de todos los datos anteriormente definidos se tienen en el siguiente cuadro, donde constan los valores de entrada para el cálculo del espectro:

ESPECTRO NEC-SE-DS

DATOS:		
Z	I	(Zona sísmica NEC-SE-DS figura 1)
SUELO	D	(Tipo de suelo NEC-11 Tabla 2)
LOC	ORIENTE	(Región o provincia)
Fdu	0,95	(Factor de unidades)
I	1,50	(Factor de importancia NEC-11 Tabla 6)
R	3,00	(Factor de reducción inelástico NEC-SE-DS Tabla 18)
ϕp	1,00	(Factor de reducción inelástico NEC-SE-DS Tabla 13)
ϕe	1,00	(Factor de reducción inelástico NEC-SE-DS Tabla 14)
Ct	0,055	(Factor NEC-11 6.3)
hn	4,00 m	(Altura de la estructura)
α	0,90	(Factor NEC-11 6.3)
Cálculos:		
Ta	0,19 s	(Periodo de vibración - Método 1)
Ta	0,25 s	(Periodo de vibración - Método 2)
Tad	0,19 s	(Periodo para calcula el Basal estático)
η	2,60	(Relación entre la aceleración espectral Sa=0,1 s y el PGA en T)
r	1,00	
Ag	0,15	(Aceleración de roca)
Fa	1,60	(Factor de amplificación de suelo)
Fd	1,62	(Factor desplazamientos para diseño en roca)
Fs	1,02	(Factor de comportamiento no lineal suelos)
To	0,10 s	
Tc	0,57 s	
I/(R*ϕp*ϕe)	0,5000	
V (T)	**0,2976 W**	(Cortante basal estático para pre diseño)

Tabla resumen del cálculo del Corte Basal

Y en función de los valores anteriores, se obtienen el espectro sísmico de diseño inelástico, como se muestra en la siguiente figura:

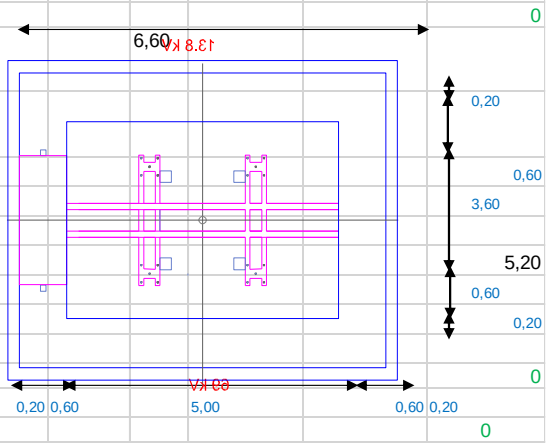


Espectro sísmico de aceleraciones que representa al sismo de diseño

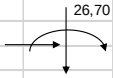
c. CARGA PARA EL DISEÑO

DISEÑO DE LA CIMENTACION DE TRANSFORMADOR

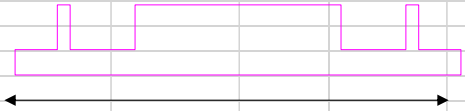
σs =	15,00	T/m^2	
f'c =	240	Kg/cm^2	
fy =	4200	Kg/cm^2	
γ_H=	2,40	T/m^3	
γs=	2,00	T/m^3	
γαχειτε=	0,90	T/m3	
ø	30,00	0,523599	**rad**
øarrancamiento	20,00	0,349066	**rad**



X



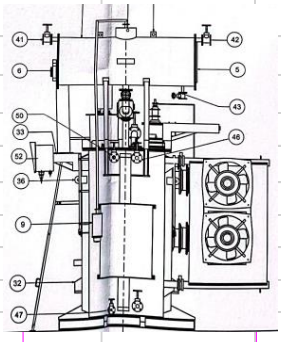
10,73	T-m	SISMO
6,68	T-m	EXCENTRICIDAD
17,40	T-m	TOTAL



EXCENTRICIDAD TRANSFORMADOR EN Y 0,25

Pequipo= 26700 Kg

Pequipo= 26700 Kg



Sx

1,35

0,2
1,1
0,9

0,7
0,4

7. COMPROBACION AL VOLCAMIENTO Y PRESION EN EL SUELO

COMPROBACIÓN DE LA ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO EN EL SENTIDO MÁS DESFAVORABLE

	HORMIGON											
	5,20	x	6,60	x	0,40	x	2,40	=	32,95	x	2,6	= 85,67
1	x 3,60	x	5,00	x	0,70	x	2,40	=	30,24	x	2,35	= 71,06
1	x 6,60	x	0,20	x	0,70	x	2,40	=	2,22	x	0,1	= 0,22
	6,60	x	0,20	x	0,70	x	2,40	=	2,22	x	5,1	= 11,32
2	4,80	x	0,20	x	0,70	x	2,40	=	3,23	x	2,6	= 8,40
								=	70,86			176,67
	SUELO											
	0,00		6,60		0,50		2,00		0,00		0	0,00
	0,00		6,60		0,50		2,00		0,00		5,20	0,00
2	5,20		0,00		0,50		2,00		0,00		2,6	0,00
									0,00			0,00
1	0,00		5,20		0,50		2,00		0,00		3,3	0,00
	PESO DEL EQUIPO								26,70			
							$\sum P =$		97,56	T.	Mr=	176,67 T-m

Mv=	17,40	+	7,95	x	1,10
Mv=	26,14	T-m			
FS=	$\frac{Mr}{Mv}$				
FS=	$\frac{176,67}{26,14}$				
FS=	6,76	>	3	**Cumple**	
e=	$\frac{M}{\sum P}$	<	$\frac{L}{6}$		
e=	$\frac{26,14}{97,56}$	<	$\frac{5,20}{6,00}$		
e=	0,27	<	0,87	**oK**	

COMPROBACIÓN DE LAS PRESIONES EN EL TERRENO

$$PNS = \frac{P}{A_{fadp}} \pm \frac{6 * M}{S * L^2}$$

PNS=	$\frac{97,56}{34,32}$	$\pm$	$\frac{156,86}{178,46}$				
PNS_1=	3,72	T/m^2	<	σs=	15,00	T/m^2	**Cumple**
PNS_2=	1,96	T/m^2	<	σs=	15,00	T/m^2	**Cumple**

8. DISEÑO ZAPATA

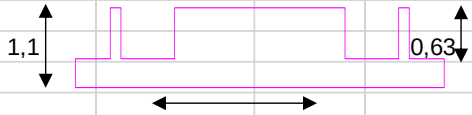
DISEÑO BASE CENTRAL APOYO TRANSFORMADOR

σs =	15,00	T/m^2		CMequipo=	26700	Kg	1.2CM=	117,07 T
pedestal	5,00	x 3,60		CV=	0	Kg	1.0CV=	0,00 T
f'c =	240	Kg/cm2		CMestruc=	0	Kg	1.0SX=	7,95 T
fy =	4200	Kg/cm2		Cconductor=	0	Kg		
				Peso Hormigón=			70,86	Ton
					M en el suelo=		8,74	Ton-m

P = 117,07 Ton

7,95

M= 26,14 $T-m$



3,60

As=0.0018Ag

As = r*b*d

As = 1,00 x100 x 0,63

As = 11,3 cm2

db =	18	mm
Ab =	2,54	cm2
As =	4,46	cm²/m

1	**f**	**18**	**mm**	**@**	**20,00 cm**

ADOPTAMOS POR GEOMETRIA DE EQUIPO 5,20 x 6,60 → AF = 34,32 m2

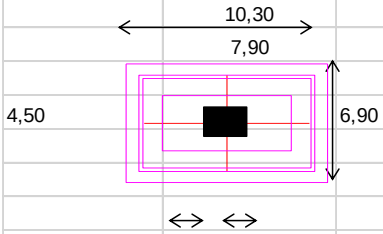
$$PNS = \frac{P}{A_{fadp}} \pm \frac{6 * M}{S * L^2}$$

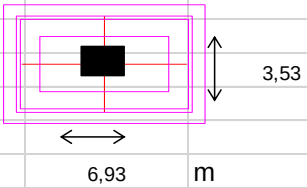
$$PNS = \frac{117,07}{34,32} \pm \frac{156,86}{178,464}$$

PNS1=	4,29	T/m^2	<	σs=	15,00	T/m^2	**oK**
PNS2=	2,53	T/m^2	<	σs=	15,00	T/m^2	**oK**

9. DISEÑO ZAPATA

1.- CHEQUEO DE PUNZONAMIENTO DE LA ZAPATA





m

bo= 20,92 m

m

hmin =	40,00	cm		
d=	hmin-rec			
d=	33	cm	0,33	m

CORTANTE POR PUNZONAMIENTO

Vu = (A-Apun)*PNS

Vu = $\left[\left(6{,}9 \times 10{,}30\right) - \left(6{,}93 \times 3{,}53\right)\right] \times 5{,}79$

Vu = 270,09 T

CORTANTE ADMISIBLE POR PUNZONAMIENTO

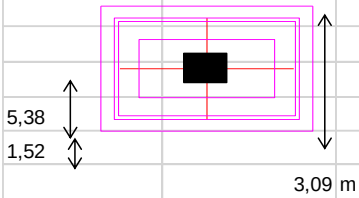
vc = $1.06*\sqrt{f'c} \times bo \times d$

vc = $1.06*\sqrt{240} \times 20{,}92 \times 0{,}33 \times 10$

vc = 1133,67 T

Vu	<	Ø Vc	
270,09	**<**	**1133,67**	**oK**

2.- CHEQUEO POR CORTANTE DE LA ZAPATA



Vu = 90,73 T

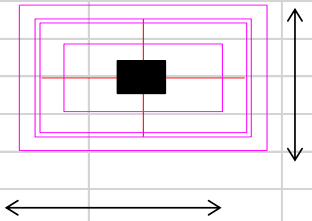
Vc = $0{,}53\sqrt{f'c} \times b \times d$

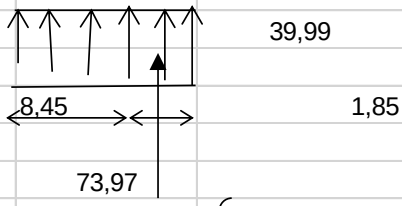
Vc= 279,08 T

Vu	<	øVc	
90,73	**<**	**209,31**	**oK**

3.- DISEÑO A FLEXION

ARMADURA INFERIOR VOLADO





M= $\left(\frac{1,85 \wedge 2}{2}\right) x$ 39,99

M = 68,42 T-m

Mu = 68,42 x x 100000

Mu = 6842457,7 Kg-cm

$$\rho_{cal}=\frac{0.85\times f'c}{fy}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\times Mu}{\phi\times 0.85\times f'c\times b\times d^2}}\right)$$

r cal = 0,00247

rmin = 0,0018

r cal	<	rmin
0,00247	>	0,0018

As = r*b*d

As = 0,0025 x 100 x 33

As = 8,16 cm²/m

1	f	12	mm	@	20,00 cm

ARMADURA INFERIOR BASE

d1= 103 cm

rmin = 0,0018

As = r*b*d

As = 0,0018 x 450 x 103

As = 83,43 cm²

ADOPTAMOS :	db =	20	mm			
	Ab =	3,14	cm²			
	Nb =	As / Ab				
	Nb =	83,43 / 3,14				
	Nb =	26,56	→	27,00	varillas	
ESPACIAMIENTO S:	S =	450 / 26,00 -rec		rec=	7,00	cm
	S =	16,77	cm			
	1	**f**	**20**	**mm**	**@**	**17 cm**

ARMADURA SUPERIOR BASE

$$Ast = 0.0018xbxh$$

	Ast=	83,43	cm²			
ADOPTAMOS :	db =	20	mm			
	Ab =	3,14	cm2			
	Nb =	As / Ab				
	Nb =	83,43 / 3,14				
	Nb =	26,56	→	27,00	varillas	
ESPACIAMIENTO S:	S =	450 / 26,00 -rec		rec=	7,00	cm
	S =	16,77	cm			
	1	**f**	**20**	**mm**	**@**	**17 cm**

10. DISEÑO SOPORTE TRANSFORMADOR

DISEÑO BASE CENTRAL APOYO TRANSFORMADOR

σs =	15,00	T/m^2		CMequipo=	120000	Kg	1.2CM=	279,89 T
pedestal	6,60	x 3,20		CV=	0	Kg	1.0CV=	0,00 T
f'c =	240	Kg/cm2		CMestruc=	0	Kg	1.0SX=	55,81 T
fy =	4200	Kg/cm2		Cconductor=	0	Kg		
				Peso Hormigón=			113,24	Ton
					M en el suelo=		61,39	Ton-m
		P =	279,89	Ton				
55,81								
M=	151,75	$T-m$						
1,1			0,63					
	3,20							
As=0.0018Ag								
As =	r*b*d							
As =	1,00	x100	x 0,63					
As =	11,3	cm2						
db =	18	mm						
Ab =	2,54	cm2						
As =	4,46	cm²/m						
1	**f**	**18**	**mm**	**@**	**20,00 cm**			

11. DISEÑO PAREDES DE CUBETO

DISEÑO DE PAREDES

				Ka=	0,33333333	
1,1				E=	0,40333333	t/m
				0,36666667		
V						
M	0,2			Vu=	0,40333333	T
				Mu=	0,14788889	T-m
	b=	100	cm			
	r=	4	cm			
	d	0,16	m			
	Vc=	11,5931014	T			
	øVc=	8,69482605				
CORTE UNIDIRECCIONAL						
8,69482605	>	0,40333333	**ok**			
	FLEXION					
As=	2,88	cm2				
ø	12	mm				
Av=	1,13097336	cm2				
Nro varillas	2,54647909	3	por metro			
s=	49,94	cm				
	20	cm				