



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de
Ingeniería Civil

**Diseño de cimientos a base de zapatas
aisladas para torres de transmisión
eléctrica aplicado en el proyecto de
Condorcocha-Tarma-Junín**

Deysi Rossi Alvarez Egoavil

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Mg. Niel Iván Velásquez Montoya

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a mi asesor de Tesis, Mg. Niel Iván Velásquez Montoya por su esfuerzo, dedicación al desarrollo de mi tesis; al Ing. Guido Arauzo por su guía y aporte que han sido fundamentales para mi formación como investigador.

DEDICATORIA

A mi Padre, a mi Madre y mis hermanos que son personas que me dieron su confianza, apoyo y amor incondicional y la calidez de la familia a la cual amo.

Gracias Dios por concederme una hermosa familia.

Deysi

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xi
SUMARIO.....	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I	18
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	18
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	20
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	21
1.5 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	22
1.5.1 HIPÓTESIS.....	22
1.5.2 VARIABLES.....	22
1.6 DELIMITACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN	23
1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
1.7.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	24
1.7.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.7.4 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	24
CAPÍTULO II.....	26
MARCO TEÓRICO	26
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	26
2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	29
2.3 NORMAS DE DISEÑO APLICADOS	31
2.3.1 REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (2012).....	31

2.3.2	CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (SUMINISTRO 2011).	32
2.3.3	NORMAS EXTRANJERAS APLICABLES AL DISEÑO DE FUNDACIONES (CIMENTACIONES).	33
2.4	BASES TEÓRICAS	34
2.4.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	34
2.4.2	TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	35
2.4.3	CRITERIOS DE DISEÑO PARA TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	48
2.4.4	CIMENTOS PARA TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	57
2.4.5	GEOMETRÍA DE LA CIMENTACIÓN	68
2.4.5.1	FUERZAS ACTUANTES EN LA CIMENTACIÓN	70
2.4.6	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN PARA TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	73
CAPITULO III		87
PROYECTO DE REUBICACIÓN DE LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA 44kV PLANTA CONDORCOHA - TARMA – JUNÍN		87
3.1	ALCANCES DEL PROYECTO	87
3.1.1	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	87
3.1.2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	88
3.2	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL SISTEMA PROYECTADO	91
3.3	ESTUDIO GEOTÉCNICO	93
3.3.1	GEOLOGÍA REGIONAL	93
3.3.2	PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO	94
CAPITULO IV		97
ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN		97
4.1	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	97
4.1.1	PRESIÓN DE VIENTO	97
4.1.2	FUERZAS ACTUANTES SOBRE LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	101
4.1.3	SIMULACIÓN DE UNA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	112
4.2	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN	122
4.2.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	123

4.2.2	COMPROBACIÓN AL ARRANQUE	125
4.2.3	COMPROBACIÓN A COMPRESIÓN	129
4.2.4	CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE DE LOS TORNILLOS	134
4.2.5	DISEÑO POR PUNZONAMIENTO:.....	135
4.2.6	DISEÑO POR CORTANTE:.....	137
4.2.7	DISEÑO POR FLEXIÓN:	138
4.2.7.1	DISEÑO DEL CIMIENTO:.....	138
4.2.7.2	DISEÑO DEL PEDESTAL:.....	141
	CONCLUSIONES.....	143
	RECOMENDACIONES	145
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Central eléctrica – Condorcocha	35
Figura 2. Torres de suspensión de transmisión eléctrica	36
Figura 3. Elementos estructurales que componen una torre de transmisión eléctrica.	36
Figura 4. Tensiones Normalizadas CNE	38
Figura 5. Torre de Suspensión	40
Figura 6. Torre de tipo Angular	41
Figura 7. Torre de tipo Terminal	41
Figura 8. torre Arriostrada de telecomunicación	42
Figura 9. Esquema de una torre Arriostrada.	43
Figura 10. Torre Autosoportada.....	44
Figura 11. Plano de Detalle de Torre de Transmisión Eléctrica	45
Figura 12. Elemento de una línea de Transmisión Eléctrica.....	49
Figura 13. Ubicación de las zonas de carga en el Perú.	50
Figura 14. Mapa del Perú – Mapa de viento a 80 m: promedio anual.....	60
Figura 15. Mapa de España – Mapa de velocidad del viento medio anual a 80 m.	62
Figura 16. Mapa de Perú – Mapa de Rugosidad.	63
Figura 17. Geometría de una zapata aislada	69
Figura 18. Distancia d_c , a la aplicación de la carga.	70
Figura 19. Cargas horizontales sobre la torre	71
Figura 20. Cargas Gravitacionales sobre la torre	72
Figura 21. cargas verticales y transversales sobre la torre	74
Figura 22. Cargas longitudinales sobre la torre	75
Figura 23. Representación del cimientto	77
Figura 24. Peso de las tierras que gravitan (relleno) sobre la cimentación. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 25. Peso de las tierras arrancadas	78
Figura 26. Volumen de interferencia de tierra	79
Figura 27. Método de Talud Natural, Diseño para cimientos de Torres de Transmisión Eléctrica. Fuente: Elaboración propia.	82
Figura 28. Diseño por punzonamiento:.....	84
Figura 29. Diseño por cortante.....	85
Figura 30. Ubicación Geográfica del distrito de Unión Leticia	89
Figura 31. Planimetría del Proyecto de Reubicación de la Línea de Transmisión.	90
Figura 32. Fisiografía de la Línea de Transmisión.....	91
Figura 33. Plano de detalle de ubicación de torres de transmisión eléctrica y tendido de clave.	92
Figura 34. Ubicación de las zonas de cargas en Perú.....	99
Figura 35. Características físicas de la torre.....	103
Figura 36. Cargas verticales y transversales sobre la torre	105
Figura 37. Cargas longitudinales sobre la torre	106

Figura 38.Puntos de incidencia de la presión del viento sobre la torre.....	107
Figura 39.Dimensiones geométricas de la torre	113
Figura 40.Factores para el diseño en SAP2000	114
Figura 41.Modelo de la torre de transmisión en tres dimensiones.	115
Figura 42.Árbol de cargas	117
Figura 43.árbol de cargas en el Sap 2000.....	118
Figura 44.Análisis de la torre ante carga muerta	118
Figura 45.Distribución del viento en X, en el Sap 2000.....	120
Figura 46.distribución del viento en Y, en el Sap 2000.....	120
Figura 47.Análisis de la torre con las fuerzas resultantes en la cimentación....	121
Figura 48.Partes de una fundación	122
Figura 49.Representación de una zapata Aislada.....	124
Figura 50.Diagrama de Presiones.....	130
Figura 51.Ángulo de inclinación de la torre.....	131
Figura 52. Diagrama de Presiones Transmitidas al terreno.....	133
Figura 53. Pernos de anclaje	134
Figura 54. Plano en planta y corte de la cimentación	137
Figura 55.Detalle de armado de parrilla inferior	139
Figura 56.Detalle de armado de parrilla superior.....	140
Figura 57.Detalle del montante que va entre las parrillas de la cimentación	140
Figura 58.Detalles del fierro que van en el pedestal	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	
Factores de sobrecarga de línea de transmisión eléctrico	55
Tabla 2	
Factores de sobrecargas alternativosde línea de transmisión eléctrico.....	56
Tabla 3	
Factores de resistencia de línea de transmisión eléctrico	56
Tabla 4	
Equivalencia de la escala Beaufort	59
Tabla 5	
Tabla de rugosidad superficial	64
Tabla 6	
Parámetros de ángulo de fricción y arranque.....	68
Tabla 7	
Coordenadas de la línea de transmisión eléctrica	90
Tabla 8	
Cuadro de clasificación granulométrica.....	94
Tabla 9	
Cuadro de cohesión y ángulo de la fricción del suelo	95
Tabla 10	
Resultados dela Capacidad Portante del Suelo.....	96
Tabla 11	
Zonas de cargas A, B y C de Perú	98
Tabla 12	
Cuadro de velocidad del viento por áreas.....	100
Tabla 13	
Cuadro de cargas últimas	102
Tabla 14	
Cuadro de cargas de la estructura	104
Tabla 15	
Cuadro de momentos por fuerzas transversales y verticales	109
Tabla 16	
Cuadro de reacciones por fuerzas transversales	109
Tabla 17	
Cuadro de momentos por fuerzas longitudinales.....	110
Tabla 18	
Cuadro de reacciones producidas por fuerzas longitudinales	110
Tabla 19	
Cuadro de resultados finales de reacciones.....	111
Tabla 20	
Cuadro de cargas de la hipótesis A	117
Tabla 21	
Cuadro de reacciones obtenidas por el Sap 2000.....	121

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A_s	:	Área del acero, que se necesita para la cimentación.
AP	:	Ancho de la cabeza de la torre, m.
<i>Atorn</i>	:	Sección transversal del tornillo.
b	:	Perímetro de la sección crítica a una distancia de la cara del pedestal.
C	:	Separación entre cimientos, m.
dc	:	Distancia de inclinación
d	:	Peralte Efectivo de la cimentación.
$F_{compresión}$:	Fuerza a Compresión máxima de la zapata.
$F_{tracción}$:	Fuerza a Tracción máxima de la zapata.
F_c	:	Resistencia a cortadura del tornillo.
f_c	:	Resistencia del concreto.
f ub	:	Resistencia última del acero del tornillo.
H	:	Profundidad de la cimentación.
Hs	:	Altura libre de la torre, m.
hp	:	Peralte del dado de a cimentación.
hc	:	Altura del pedestal.
Ls	:	Longitud superior de pedestal.
Lz	:	Longitud de zapata.
Ld	:	Longitud de pedestal.
M_u	:	Momento último actuante en la cimentación.
N_C, N_q, N_γ	:	Factores de carga.

n	:	Número de tornillos que se necesitan en el angular de la cimentación.
Papoyo	:	Peso total de la torre.
$P_{cimiento}$:	Peso de la cimentación.
P_{tierra}	:	Peso de la tierra que gravitan (relleno) sobre la cimentación.
P_{β}	:	Peso de las tierras arrancadas según el ángulo natural del terreno.
q_{ult}	:	Capacidad última de la carga.
S_c, S_q, S_{γ}	:	Factores de forma.
$V_{inter.}$:	Volumen de interferencia de tierras entre los cimientos.
$V_u.$:	Fuerza cortante actuante que actúa en los cimientos.
$V_c.$:	Fuerza resistente que actúa en el pedestal.
$V_{c.limite}$:	Fuerza resistente límite que actúa en los cimientos.
W_q, W_{γ}	:	Factores por nivel freático.
$\delta_{concreto}$:	Peso específico del concreto.
$\delta_{terreno}$:	Peso específico del terreno.
θ	:	Ángulo que forma la cimentación de la torre en el punto donde el angular penetra en la cimentación con el eje vertical.
σ_{adm}	:	Carga admisible del terreno.
σ_t	:	Presión sobre el terreno.
γ_{m2}	:	Coeficiente de seguridad del tornillo, se suele utilizar 1,25.
τ_{adh}	:	Presión de adherencia.

SUMARIO

La presente tesis trata del análisis y diseño de la cimentación de una torre de Transmisión Eléctrica de 44 kV a base de zapatas aisladas que se encuentra ubicado en el distrito de La Unión Leticia de la Provincia de Tarma y Departamento de Junín que forma parte del Proyecto de Reubicación de la línea de Transmisión Eléctrica de la Planta de Condorcocha, la misma que es un tema muy importante para el desarrollo y formación de los ingenieros civiles que se desempeñan dentro de los proyectos de mantenimiento, reubicación e instalación de una torre de Transmisión Eléctrica.

Para el diseño de la cimentación a base de zapatas aisladas para torres de transmisión específicamente, se utilizó el Método del Ingeniero Sulzberger, también conocido como el método de Talud Natural o Ángulo de Arrastre de Tierras, con una capacidad portante de 1.69 kg/cm^2 , se diseñan las zapatas aisladas con una profundidad de 2.25 m.

El desarrollo de la tesis inicia con el análisis del árbol de cargas de la torre de Transmisión Eléctrica, que son analizadas con las cargas últimas requisito importante y fundamental para poder realizar los cálculos del diseño, para el buen comportamiento de la torre. Una vez calculada las reacciones de la zapata y obteniendo la fuerza a compresión y fuerza a tracción, se procede a definir la geometría de la cimentación, para después continuar con la aplicación del método propuesto, Método de Talud Natural, que contiene a las comprobaciones de compresión y arranque

principalmente, que necesariamente las dimensiones de la cimentación deberán ser verificadas por las mismas para continuar con el Diseño de Punzonamiento, Cortante y Flexión, para finalizar realizar el Diseño del Pedestal de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E-060 y teorías que rigen para el diseño de este elemento estructural.

Se desarrolló una simulación de la torre de Transmisión Eléctrica en el programa SAP 2000, que fue utilizado para realizar el análisis de los resultados obtenidos con el programa y el método aplicado, que en este caso las fuerzas a tracción y a compresión nos dan resultados similares al 90%, verificando que las dimensiones empleados fueron las correctas y logrando un control adecuado del comportamiento de la cimentación. Se concluyó que el Método de Talud Natural, también puede ser utilizado para diferentes tipos de suelo, para cada tipo de suelo existirá variante en las dimensiones de los cimientos de las torres de transmisión eléctrica.

ABSTRACT

This thesis deals with the analysis and design of the foundation of a 44 kV electric transmission tower based on isolated footings that is located in the district of La Unión Leticia of the Province of Tarma and Department of Junín that is part of the Project Relocation of the Condorcocha Plant's Electrical Transmission line, which is a very important issue for the development and training of civil engineers who work in the maintenance, relocation and installation projects of an Electric Transmission tower. .

For the design of the foundation based on insulated footings specifically for transmission towers, the Sulzberger Engineer's Method, also known as the Natural Slope or Landslide Angle method, with a carrying capacity of 1.69 kg / cm^2 , was used. The insulated footings are designed with a depth of 2.25 m.

The development of the thesis begins with the analysis of the load tree of the tower of Electrical Transmission, which are analyzed with the last loads important and fundamental requirement to be able to perform the calculations of the design, for the good behavior of the tower. Once the shoe reactions have been calculated and the compression force and tensile force are obtained, the geometry of the foundation is defined, and then the application of the proposed method, Natural Slope Method, which contains the verifications of compression and starting mainly, that necessarily the dimensions of the foundation must be verified by them to continue with the design of punching, shearing and bending, to finalize the design of the

pedestal according to the National Building Regulations E-060 and theories that they govern for the design of this structural element.

A simulation of the Electric Transmission tower was developed in the SAP 2000 program, which was used to perform the analysis of the results obtained with the program and the applied method, which in this case the traction and compression forces give us similar results. 90%, verifying that the dimensions used were the correct ones and achieving an adequate control of the behavior of the foundation. It was concluded that the Natural Slope Method, can also be used for different types of soil, for each type of soil there will be variant in the dimensions of the foundations of the electrical transmission towers.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura de un país es un aspecto de suma importancia de servicios e instalaciones necesarias para su desarrollo, como son la existencia de redes de drenaje, vías de comunicación, el abastecimiento de agua potable y el suministro de energía eléctrica, son elementalmente las bases de un país en desarrollo.

Para transportar la energía eléctrica a las ciudades, en la actualidad es un reto ya que se requieren estructuras de gran magnitud como lo son: estaciones eléctricas, subestaciones eléctricas, postes y torres de transmisión eléctrica.

Un factor importante para garantizar la estabilidad y el buen funcionamiento de las torres de transmisión eléctrica se encuentra en el diseño de su cimentación, principalmente por el amplio grado de condiciones que presenta el suelo donde se construirán estas estructuras.

Investigar y describir una opción de diseño de cimentación para torres de transmisión eléctrica adecuada para este tipo de estructuras, es el objetivo principal de esta tesis, para dar solución a la necesidad actual de construcción de infraestructura segura y económica para torres de transmisión eléctrica.

Actualmente existen varias opciones de cimientos para torres autoportadas, la opción que se plantea en la presente tesis es el diseño de cimientos a base de zapatas aisladas, desarrollado por el Método del Talud Natural o Ángulo de Arrastre de Tierras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El avance de la tecnología en los últimos años ha sido acelerado y el desarrollo de un país se da por una fuente importante que es la electricidad. La industria, la minería, las actividades comerciales son posibles por esta importante fuente de energía.

Para transportar la energía eléctrica a las diferentes ciudades de nuestro país, en la actualidad es un reto, ya que se requieren estructuras de gran potencia como son las estaciones eléctricas, subestaciones eléctricas, postes y torres de transmisión eléctrica. Dentro del suministro de

energía eléctrica, las torres de transmisión eléctrica tienen un papel importante, son aquellos que soportan los cables de alta tensión, medio por el cual la energía es llevada a los diversos lugares recónditos de nuestro país.

La electricidad, mejora la economía de un pueblo, porque se van a ver dinamizados, al tener la posibilidad de conectar un molino, una máquina u otros equipos, en cualquier condición la electricidad motiva para que usen toda su creatividad y para mejorar su calidad de vida.

La construcción de cimentaciones de concreto armado para torres de transmisión eléctrica, juegan un factor muy importante para garantizar la estabilidad, seguridad y funcionamiento de la misma, principalmente por las condiciones que presenta el suelo, es así que el diseño de los cimientos tiene un papel muy esencial y es donde se identifica el problema para las empresas de suministro eléctrico de nuestro país, debido a que no se detalla un diseño específico para los cimientos de torres de transmisión eléctrica en el Reglamento Nacional de Edificaciones - 2012.

Es así que esta tesis proporciona el Método del Ingeniero Sulzberger, diseño por el Método del Talud Natural para las cimentaciones a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica, controlando que se cumplan los requisitos que se menciona en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú – E-050 (Suelos y Cimentaciones) – E – 060 (Concreto Armado) - 2012 y el Código Nacional de Electricidad del Perú – Suministro 2011. De acuerdo lo requiera el contexto.

La norma **American Society of Civil Engineers (A.S.C.E./SEI 48 - 11)** – Design of Steel Transmisión Pole Structures y el Reglamento de Alta tensión con Decreto Real 223/2008, mencionan detalles respecto al diseño de cimientos para las Torres de Transmisión Eléctrica y esta última establece que para este tipo de cimientos deben absorber las cargas de compresión y arranque que la torre transmite al suelo, donde especifica que comprobaciones se debe cumplir para el diseño de cimientos a base de zapatas aisladas, pero no se detalla lo suficiente como para seguir una metodología. Según el ingeniero Sulzberger que pertenece a la Comisión Federal Suiza nos especifica el Método de Talud Natural, en el cual nos basaremos para el desarrollo de la tesis y la aplicación de la misma en el proyecto de Línea de Transmisión de Tarma – Junín.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Será posible el diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica aplicado en el Proyecto de Condorcocha – Tarma - Junín?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica aplicado en el Proyecto de Condorcocha – Tarma – Junín.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar las bases teóricas del diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torre de Transmisión Eléctrica.
- Indicar procedimientos complementarios de diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de Transmisión Eléctrica.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Por lo expuesto, se proporciona el diseño de cimientos a base de zapata aislada para torres de transmisión eléctrica, desarrollando el cálculo estructural y criterios utilizados en las comprobaciones de arranque y compresión que son necesarias para el diseño de la cimentación. La aplicación del diseño por el Método del Talud Natural se da en proyectos de reubicación, mantenimiento e instalación de torres de Transmisión Eléctrica de Media y Alta tensión.

Es importante mencionar que este tipo de diseño requiere un grado de seguridad elevado, en caso de fallar causarían pérdidas mortales o perjuicios económicos; su funcionamiento es imprescindible y debe continuar después de la ocurrencia de fenómenos naturales.

Para el diseño y cálculo de los cimientos para torres de transmisión eléctrica se consideran fuerzas solicitantes obtenidas a través del análisis estructural. Esta tarea está a cargo de la empresa "Servicios de Ingeniería S.A.C.", quienes entregan las solicitudes necesarias para las cimentaciones.

El diseño para cimientos de torre de transmisión eléctrica a base de zapatas aisladas, desarrollado por el Método de Talud Natural, pretende cumplir los requisitos establecidos en el Código Nacional de Electricidad - 2011 y en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú E- 050 (Suelos Y Cimentaciones) – E- 060 (Concreto Armado) - 2012, de acuerdo al contexto que lo requiera.

En la norma American Society of Civil Engineers (A.S.C.E./SEI 48 - 11) – Design of Steel Transmisión Pole Structures y en el Reglamento de Alta tensión con Decreto Real 223/2008, hacen referencia sobre el diseño de los cimientos para torres de transmisión eléctrica, las mismas que siendo normas internacionales aportan a la propuesta del diseño de cimientos de torres de transmisión eléctrica específicamente.

1.5 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.5.1 HIPÓTESIS

El diseño de cimientos a base de zapatas aisladas, es posible para torres de transmisión eléctrica.

1.5.2 VARIABLES

- **Variable independiente:** Diseño de cimientos

- **Descripción de Variable:**

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN
Diseño de cimientos	Conjunto de Procedimientos (metodología a aplicar bajo lineamientos y normatividades) que tiene como objetivo transmitir las cargas (compresión y arranque) de las superestructuras y el peso propio de las mismas al terreno, con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras.	Conjunto de procedimientos

1.6 DELIMITACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

- La tesis parte del Proyecto de Reubicación de la Torre de Transmisión Eléctrica; el presente estudio proporciona el diseño para cimientos de Torres de Transmisión Eléctrica específicamente, buscando la factibilidad del diseño por el Método del Talud Natural.
- El diseño proporcionado solo es aplicable para cimientos a base de zapatas aisladas para Torres de Transmisión Eléctrica de Alta Tensión y Media Tensión, según requiera el proyecto.

1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

- La investigación es Aplicada por que tiene como propósito dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables, siguiendo una metodología.

1.7.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

- El nivel es Descriptivo debido a que damos a conocer las características, de dicha investigación.

1.7.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

- El diseño es Descriptivo ya que se va determinar el análisis estructural de la cimentación de una torre de transmisión eléctrica de 44 kV. Cumpliendo con la Norma, Decreto Real de España y el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú.

1.7.4 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de ingeniería inicia con el diseño de los cimientos a base de zapatas aisladas para torre de Transmisión Eléctrica desarrollado por el método de talud natural que se realiza de acuerdo a los siguientes pasos para el análisis de cargas sobre la cimentación:

- Primer paso: Análisis del árbol de cargas ultimas de la torre de Transmisión Eléctrica, de donde se obtendrán, la fuerza a compresión y la fuerza a tracción sobre la cimentación; para luego utilizarlo dentro de la aplicación del Método de Diseño de talud Natural.
- Segundo paso: Análisis estructural de cargas verticales y cargas transversales, mediante la simulación con el programa SAP 2000.
- Tercer paso: Análisis de los resultados por el método de talud Natural y el programa SAP 2000, controlando los límites de resultados basándonos en el Reglamento Nacional de Edificaciones - 2012.
- Cuarto paso: Calcular la geometría de la zapata aislada de la torre de transmisión eléctrica.
- Quinto paso: Detalle de las dimensiones (base y altura) de la torre de transmisión eléctrica.
- Sexto paso: Aplicación del Método de Talud Natural para diseño de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica, verificando que la geometría de la zapata cumpla los requerimientos.
- Séptimo paso: Realizar el diseño del pedestal, controlando que se cumpla, según el Reglamento Nacional de Edificaciones E-060.
- Octavo paso: Calcular la cantidad de acero de la zapata y el pedestal de acuerdo al reglamento ACI- 318, para el diseño estructural de la cimentación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El diseño estructural de la cimentación de una torre de transmisión eléctrica se realiza a partir de un análisis de cargas sobre la torre, partiendo de sus características ambientales y resolviendo las cargas en la condición de la hipótesis más crítica. Las investigaciones sobre diseño estructural de cimientos buscan el mejor comportamiento de una torre de transmisión eléctrica, asegurando la estabilidad y seguridad. A continuación, se mencionan algunas de las investigaciones sobre el estudio estructural de cimentaciones a nivel internacional:

DE LA CRUZ BAUTISTA, Juan M. y SANCHEZ HERNANDEZ, María M. (2010) – desarrolló la tesis titulada DISEÑO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN A BASE DE ZAPATAS AISLADAS ANCLADAS EN ROCA PARA EL PROYECTO L.T. QUEVEDO – MENONITA, con el objetivo de proporcionar el diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales a base de zapatas aisladas de concreto reforzado para torres autosoportadas que se encuentran desplantadas en roca y forman parte del proyecto “Línea de Transmisión Quevedo – Menonita” bajo los lineamientos que señala la especificación CFE JA 100-64 “Cimentaciones para estructuras de Líneas de transmisión”. En conclusión. En la especificación CFEJA 100-64 no se contempla la existencia de suelos estratificados. El diseño geotécnico aquí desarrollado limita su uso a la existencia de afloramientos superficiales de roca, por lo que es necesario realizar nuevos proyectos que puedan emplearse para distintas condiciones del terreno.

ARREDONDO SANHUEZA, Miguel I. (2012) – desarrolló la tesis titulada EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE FUNDACIONES (cimiento y pedestal) CON MICROPILOTES TIPO TORNILLO EN TORRES DE ALTA TENSIÓN, con el objetivo de evaluar el diseño de la fundación (cimiento y pedestal) utilizando micropilotes tipo tornillo, para luego realizar un análisis de la posibilidad de uso de este sistema de fundación en reemplazó a las fundaciones (cimiento y pedestal) tradicionales conocidas de hormigón armado (concreto armado) utilizadas actualmente en torres de alta tensión. En conclusión. Los micropilotes helicoidales o tipo tornillo se presentan como una nueva alternativa constructiva en obras de fundaciones para las

torres de alta tensión. En la construcción de torres de alta tensión poseen grandes ventajas y cualidades en relación con la rapidez y economía que se genera, facilitando la posibilidad de realizar este tipo de instalaciones en espacios reducidos y de difícil acceso en donde no se utilizara grandes equipos de maquinaria, debido a que no se utilizaran grandes cantidades de hormigón sino pequeñas cantidades de mortero si fuese necesario, con esto no se realizaran excavaciones en el terreno.

MARTÍNEZ ZAMBRANA, Karelía M. y LIRA CORRALES, Verania I. (2010) – desarrollo la tesis titulada DISEÑO Y ANÁLISIS DE CIMENTACIONES PARA TORRE DE TELEFONÍA CELULAR, con el objetivo de diseñar los tipos de fundaciones requeridas para torres de telefonía celular, en distintas zonas del territorio nacional, determinar el tipo de fundación de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de suelo. En conclusión. El presente trabajo es una contribución al aprendizaje de los estudiantes ya que se presentó de forma didáctica el análisis y diseño de cimentaciones, adaptando el procedimiento convencional de análisis de cimentación de los requerimientos especiales de acuerdo al tipo de construcción.

SACALXOT LÓPEZ, Wiliam Lisandro (2005) – desarrolló la tesis titulada CIMENTACIONES PARA TORRES AUTOSOPORTADAS, con el objetivo de elaborar una guía básica para el diseño de cimentación para torres auto soportadas (caso especial torres de telefonía celular), bajo determinadas condiciones de suelo de nuestro país. En conclusión. El diseño de las torres auto-soportadas y en especial el caso de torres de

telefonía celular en Guatemala, así como de los cimientos de éstas, está regido básicamente por la acción de las cargas de viento sobre la torre, lo que implica que las cargas predominantes son las laterales, que producen grandes momentos de volteo.

2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Anclaje:** Punto seguro de fijación al cual se está asegurando como protección contra caídas.
- **Arrancamiento:** efecto que se debe a la presión que el viento ejerce en los cables y que es transmitida a la estructura propiamente, estas acciones provocan que la cimentación sea sometida a fuerzas de tensión considerablemente grande.
- **Cable:** Un conductor con aislamiento, o un conductor con varios hilos trenzados, con o sin aislamiento y otras cubiertas o una combinación de conductores aislados entre sí.
- **Cable de guarda:** Conductor de protección de conductores aéreos contra descargas atmosféricas.
- **Cimiento:** Elemento estructural que transmite las cargas de las superestructuras y el peso propio de las mismas al terreno.
- **Compresión:** efecto que tiene la tendencia de causar hundimiento en el terreno.
- **Nivel de tensión:** Uno de los valores de tensión nominal utilizados en un sistema dado.

- **Alta tensión (a.t.):** Es un sentido restringido, conjunto de niveles de tensión superior utilizados en los sistemas eléctricos para la transmisión masiva de electricidad. Con límites comprendidos entre 35 kV < U < 230 kV.
- **Línea:** Es una disposición de conductores, materiales aislantes y accesorios para transmitir electricidad entre dos puntos de un sistema.
- **Longitud de vano:** Distancia horizontal entre dos puntos de enlace del conductor sobre dos soportes consecutivos.
- **Rugosidad:** se llama al efecto conjunto de la superficie del terreno y los obstáculos, los cuales conducen a un retardo del viento cerca del suelo.
- **Relleno:** Materiales tales como arena, agregado o tierra que son colocados para compactar una excavación.
- **Subestación:** Conjunto de instalaciones, incluyendo las eventuales edificaciones requeridas para albergarlas, destinado a la transformación de la tensión eléctrica y al seccionamiento y protección de circuitos o solo al seccionamiento y protección de circuitos y está bajo el control d personas calificadas.
- **Separación:** La distancia entre dos objetos medida de superficie a superficie y usualmente relleno de material sólido o líquido.
- **Tensión:** La diferencia de potencial eficaz entre dos conductores cualquiera o entre un conductor y la tierra. Las tensiones están expresadas en valores nominales a menos que se indique lo

contrario. La tensión nominal de un sistema o circuito es el valor asignado al sistema o circuito para una clase dada de tensión con el fin de tener una designación adecuada. La tensión de operación del sistema puede variar por encima o por debajo de este valor.

2.3 NORMAS DE DISEÑO APLICADOS

Para el desarrollo del diseño de cimiento de la torre de transmisión eléctrica, se debe conocer los siguientes conceptos básicos sobre el tema, las normas de diseño empleadas y el tipo de diseño a aplicar.

2.3.1 REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (2012).

Norma técnica E.050 “suelos y cimientos”, fue aprobada por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, mediante Resolución Ministerial N° 048-97-MTC/15.VC, del 27 de enero de 1997; su actualización estuvo a cargo del Comité Especializado de Suelos y Cimientos del SENCICO, integrado por representantes de las universidades, colegios profesionales, empresas constructoras y otras instituciones involucradas en el tema.

El objetivo de la Norma E.050, es establecer los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), con fines de cimentación, de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma.

Los EMS se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras y para promover la utilización racional de los recursos.

Norma técnica E.060 “Concreto Armado”, modificada por D.S. N° 010-2009 – VIVIENDA, esta norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis estructural, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado.

2.3.2 CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (SUMINISTRO 2011).

El Código Nacional de Electricidad son reglas que se aplican a las instalaciones de suministro eléctrico donde comprende las instalaciones de generación, transmisión, distribución y utilización. ¹Todas las líneas de suministro eléctrico y de comunicaciones, así como el equipo eléctrico asociado serán diseñadas, construidas, operadas y mantenidas cumpliendo con los requerimientos de estas reglas. Deberá tenderse a disponer de instalaciones en armonía con el medio ambiente, tratando de mantener – en lo práctico posible – el equilibrio con el ornato en particular, y cumplir con las demás normas técnicas y recomendaciones de las entidades gubernamentales competentes según corresponda, siempre y cuando no se contraponga con el marco legal vigente.

El objetivo del CNE es establecer las reglas preventivas que permitan salvaguardar a las personas y las instalaciones durante la construcción, operación y/o mantenimiento de las instalaciones tanto de suministro eléctrico como de comunicaciones, y sus equipos asociados, ciudad de no afectar a las propiedades públicas y privadas, ni el ambiente, ni el Patrimonio Cultural de la Nación

2.3.3 NORMAS EXTRANJERAS APLICABLES AL DISEÑO DE FUNDACIONES (CIMENTACIONES).

En nuestro país el Código Nacional de Electricidad - 2011 y el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú – 2012 no mencionan un diseño específico para los cimientos de torres de transmisión eléctrica; ni hacen referencia a las verificaciones que deben ser sometidas para asegurar su funcionamiento y su vida útil.

En el Reglamento de Alta Tensión con R.D. 223/2008, refiere a las prescripciones técnicas que deberán cumplir las líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos, como también detallan los criterios a tener en cuenta para el diseño de los cimientos de torres de transmisión eléctrica.

La aplicación del Reglamento de Alta Tensión con Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero aporta al desarrollo de este trabajo, ya que en el numeral 3.6, describe las características generales que debe contar todo diseño de cimentaciones para torres de Alta

Tensión, así como comprobaciones de arranque, a compresión y adherencia entre anclaje y cimiento; que se realiza a la cimentación de las torres de transmisión eléctrica.

2.4 BASES TEÓRICAS

2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. La misma que es conducida a los centros de consumos a través de las Torres de Transmisión Eléctrica².

La subestación de acuerdo al nivel de tensión: las de Distribución, son aquellas que alimentan o interconectan líneas de nivel intermedio de tensión 44 kV o 34.5kV, para transporte a distancia moderadas y con cargas distribuidas a lo largo de la línea.

² UNIVALLE Agosto – Subestaciones eléctricas Cap I - Diciembre 2005



Figura 1. Central eléctrica – Condorcocha
(Fuente: Elaboración propia)

2.4.2 TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Estructura de gran altura, normalmente construida en celosía de acero, cuya función principal es servir de soporte de los conductores eléctricos aéreos de las líneas de transmisión de energía eléctrica³. Se utilizan tanto en la distribución eléctrica de alta y baja tensión como en sistemas de corriente continua tales como la tracción ferroviaria. Pueden tener gran variedad de formas y tamaños en función del uso y del voltaje de la energía transportada.

³ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – (A.S.C.E./SEI 48)

El sistema eléctrico del Perú considera los siguientes niveles de tensión: 220 kV, 138kV, 60 kV, 33kV, 22.9kV, 20kV y 10kV.



Figura 2. Torres de suspensión de transmisión eléctrica
(Fuente: Elaboración propia).



Figura 3. Elementos estructurales que componen una torre de transmisión eléctrica
(Fuente: Elaboración propia).

Según el Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011), en el diseño estructural de las torres de transmisión eléctrica, se busca resistir la acción de fenómenos naturales tales como el viento, hielo y sismo, manteniendo la estabilidad de la estructura con deformación admisible, no permanente. Las torres que componen la línea de transmisión se clasifican de acuerdo a su tensión de operación, a su función de la estructura, número de circuitos y el número de conductores por fase.

Para las torres de transmisión eléctrica en su estructura se utiliza acero en celosía para transmisión eléctrica. Estas estructuras pueden ser autoportadas o retenidas. Las mismas consisten de miembros prismáticos de acero rolado en caliente o en frío conectado por tornillos.

La estructuración de las torres de transmisión eléctrica, se basa en gran medida en la experiencia y creatividad de los ingenieros proyectistas. Esta etapa del proceso de diseño deberá llevarse a cabo cuidando que se cumpla con las especificaciones vigentes.

La estructuración de la torre deben ser conceptualizadas de manera, que se presenten de formas sencillas y simétricas y que estas características se cumplan también en lo referente a masa de rigideces, tanto en plano en planta como plano en elevación, para que la transmisión de las cargas a los cimientos sea de manera efectiva y obtener como resultado un mejor comportamiento de la estructura de la torre con el cimiento de la torre ante cualquier fenómeno, por consiguiente el cumplimiento de estas características nos ayudara a asegurar el comportamiento adecuado de la torre de transmisión eléctrica.

2.4.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Clasificación de las torres de transmisión eléctrica se de acuerdo a los niveles de tensión de energía según el Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011) que se encuentra en apartado 017., 017.A.

A. Niveles de Tensión: uno de los valores de tensión nominal utilizados en un sistema dado:⁴

Baja Tensión	Alta Tensión
<ul style="list-style-type: none"> • 380 / 220 V • 440 / 220 V 	<ul style="list-style-type: none"> • 60 kV • 138 kV • 220 kV
Media Tensión	Muy Alta Tensión
<ul style="list-style-type: none"> • 20,0 kV • 22,9 kV • 33 kV • 22,9 / 13,2 kV • 33 / 19 kV 	<ul style="list-style-type: none"> • 500 kV

Figura 4. Tensiones Normalizadas CNE
(Fuente: Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011).

⁴ norma NTP-IEC 60038: Tensiones Normalizadas IEC.

- **Baja Tensión** (abreviatura: B.T.): Conjunto de niveles de tensión utilizados para la distribución de la electricidad. Su límite superior generalmente es $U \leq 1 \text{ kV}$, siendo U la Tensión Nominal.
- **Media Tensión** (abreviatura: M.T.): Cualquier conjunto de niveles de tensión comprendidos entre la alta tensión y la baja tensión. Los límites son $1 \text{ kV} < U \leq 35 \text{ kV}$, siendo U la Tensión Nominal.
- **Alta Tensión** (abreviatura: A.T.): En un sentido general, conjunto de niveles de tensión que exceden la baja tensión (en el contexto del Código Nacional de Electricidad-Utilización).
- **En un sentido restringido**, conjunto de niveles de tensión superior utilizados en los sistemas eléctricos para la transmisión masiva de electricidad. Con límites comprendidos entre $35 \text{ kV} < U \leq 230 \text{ kV}$
- **Muy Alta Tensión** (abreviatura: M.A.T.): Niveles de tensión utilizados en los sistemas eléctricos de transmisión, superiores a 230 kV.

B. Tipos de estructura por su función:

- **Suspensión:** Son las que soportan el peso de los cables, cadenas de aisladores y herrajes. Son usados en los tramos rectos de la línea de transmisión y son estructuras muy livianas.



Figura 5. Torre de Suspensión
(Fuente: Elaboración propia).

- **Angular:** Tiene cargas transversales producidas por el ángulo entre los cables de llegada y los de salida, usados cuando se requiere un cambio de dirección en la línea para sortear obstáculos como vías, montañas o poblados. Tiene una abertura mayor entre las stub, para soportar el momento de volteo.



Figura 6. Torre de tipo Angular
(Fuente: Elaboración propia).

- **Terminales:** Son colocados al inicio y final de la línea, soportan una longitudinal muy grande la misma que genera un momento de vuelco, este tipo de torres son las más robustas de la línea.



Figura 7. Torre de tipo Terminal
(Fuente: Elaboración propia).

C. GEOMETRÍA DE LA TORRE. Estructuralmente las torres pueden ser de dos tipos:

- **Torre Arriostrada,** Son estructuras se pueden utilizar cuando es necesario instalar una radiobase dentro de un inmueble existente como son casas y edificios, ya que es posible ubicarlas en las azoteas y en sitios donde no hay problema de espacio.



Figura 8.torre Arriostrada de telecomunicación
(Fuente: Elaboración propia).

Estas estructuras son de sección triangular en planta y esbeltas, están sujetadas por retenidas, son más ligera en peso, pero requiere mayor espacio libre para el anclaje de los cables que lo sujetan.

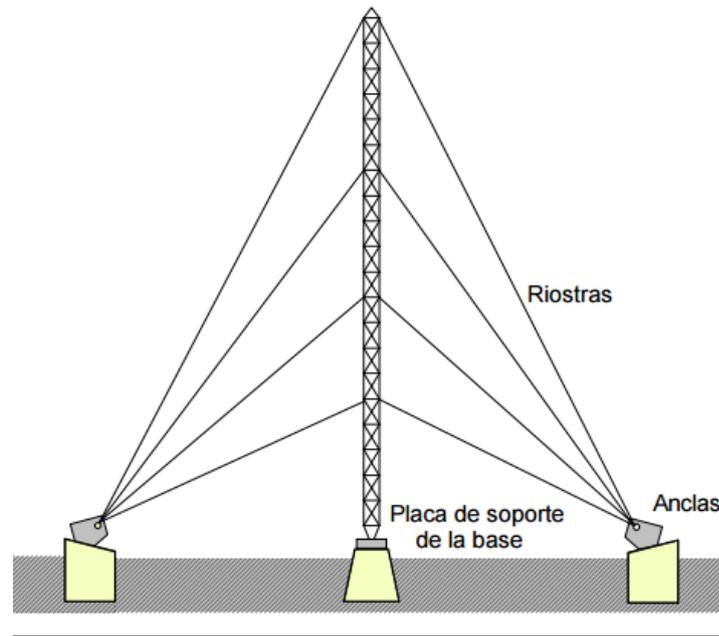


Figura 9. Esquema de una torre Arriostrada.
(Fuente: <http://www.yumpu.com/full/url>.)

- **Torre Autoportada**, Son vigas incrustadas en el suelo, las cuales transmiten la tensión de los conductores a las cimentaciones; estas estructuras pueden ser rígidas o flexibles, las primeras no sufren deformaciones en presencia de esfuerzos irregulares son fabricadas en acero o en concreto armado y las flexibles son postes metálicos que sufren deformación en caso de estos esfuerzos.



Figura 10. Torre Autosoportada
Fuente: <http://www.sectorelectricidad.com/full/url.>

Las partes que componen una torre vertical auto-soportada son las siguientes:

- Ángulos de anclaje en cimentación (stub)
- Extensiones
- Cerramientos
- Cuerpo piramidal (aumentos o extensiones de cuerpo)
- Cuerpo común (incluidos en todos los niveles de torre)
- Cuerpo recto
- Crucetas de conductor (triangular o rectangular)
- Crucetas de cable de guarda (triangular o rectangular)
- Cuadro de cerramiento

- Cuadro de cintura
- Cuadro en conexiones de cuerda inferior de crucetas a cuerpo recto
- Cadena de aisladores (en V o vértices)

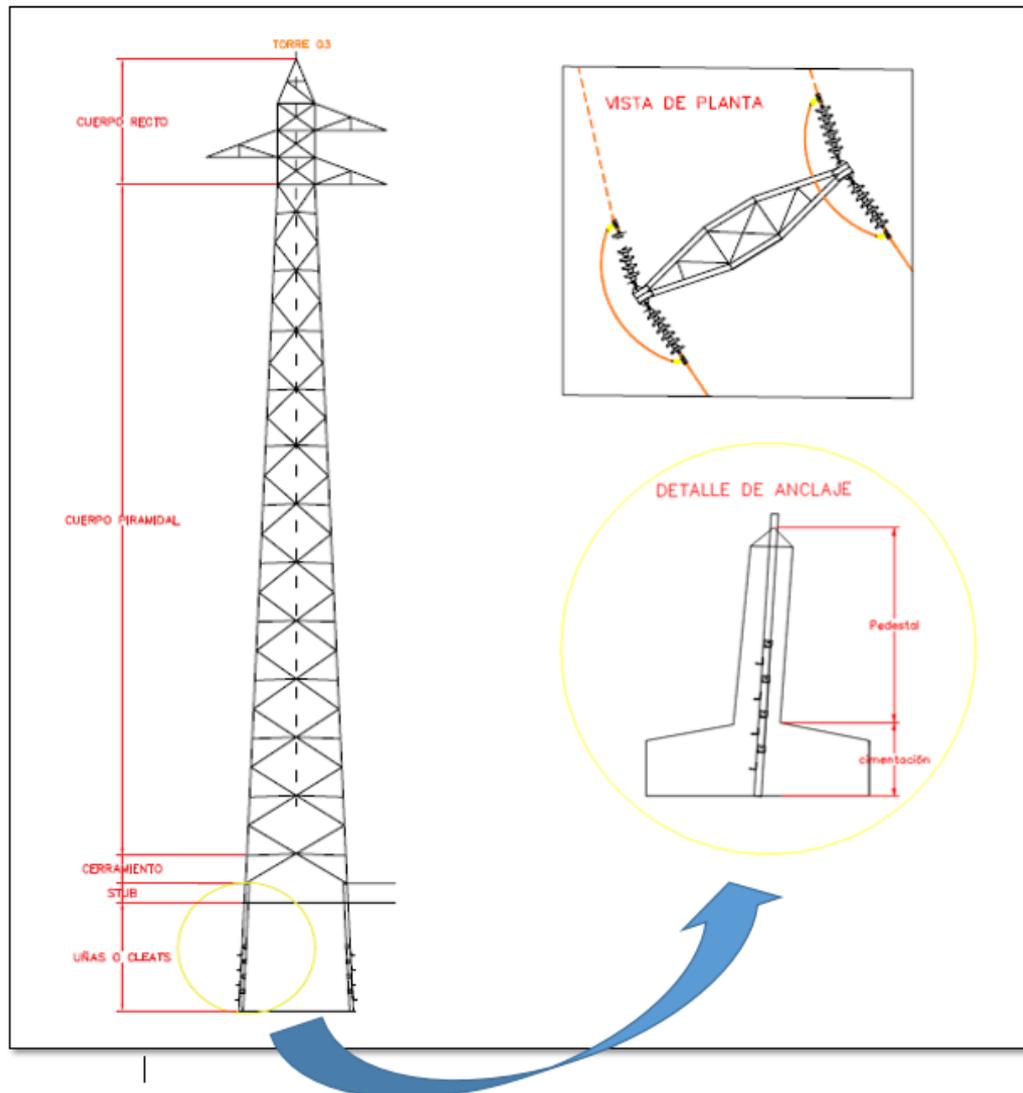


Figura 11. Plano de Detalle de Torre de Transmisión Eléctrica
Fuente: Elaboración propia.

El stub (el ángulo de anclaje en cimentación) se debe diseñar de acuerdo a las especificaciones de A.S.C.E., ya que posee ciertas características para que se ancle a la cimentación con el fin que el perfil propuesto tenga el anclaje suficiente para resistir las fuerzas de tensión y compresión a las que se somete la estructura en la zona donde terminan las extensiones y termina el terreno para así dar comienzo a la cimentación.

El stub posee lo que es el ángulo de espera que es el perfil que llega a la cimentación y las uñas que con perfiles LI sujetos al ángulo en espera y colocados de cierta manera para distribuir los esfuerzos a la cimentación.

2.4.2.2 CARGAS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.

En el Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011), parte de la regla de instalaciones y mantenimiento de líneas de suministro eléctrico que mencionan a los tipos de cargas a las que van estar sometidas que a continuación describiremos:

- A. Líneas de transmisión.** Estas están sometidas a diversos tipos de cargas durante su vida útil, como son:
- Cargas debidas al peso propio de los componentes de la línea.

- Cargas debidas a eventos climáticos: viento y hielo
- Cargas debidas a maniobras de tendido durante la construcción
- Cargas por mantenimiento

B. Las condiciones básicas de carga. Estas deben considerarse en el diseño estructural de torres para líneas de transmisión. Es así que se subdividen en cargas que actúan directamente sobre la torre, y estas pueden ser:

- Peso propio de la torre, de las cadenas de los aisladores, herrajes y accesorios.
- Acción del viento sobre el cuerpo de la torre, cadena de aisladores y herrajes.
- Cargas concentradas por tendido (peso de linderos y equipo).

Asimismo, se cuenta también con Cargas que transmiten los cables a la torre:

- Por el peso propio de los cables que soporta y en su caso.
- Por la acción del viento sobre los propios cables
- Por tensiones mecánicas en los cables (proyectadas en las direcciones que produzcan la carga máxima sobre la torre) debida a condiciones propias del proyecto, cambios de dirección de la línea y tendido.

2.4.3 CRITERIOS DE DISEÑO PARA TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Para cada tipo de línea con la cantidad predefinida de estructura de suspensión, ángulo y terminales con una distancia proporcional al voltaje de la línea según el tipo de terreno, el cálculo de las estructuras metálicas (torres de celosía), se efectúan de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se determina previamente el tipo de conductor a utilizar, de acuerdo al nivel de tensión de la línea de transmisión eléctrica.

2.4.3.1 TIPO DE ESTRUCTURA

Se determina de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Material de la estructura.
- El número de ángulos que tiene el trazo de la línea.
- La configuración del terreno.
- El número de circuitos o ternas.
- La longitud de la línea, pues en una línea corta no debe concebirse una gran variedad de tipos de estructuras.
- La estructura de anclaje de ángulo intermedio puede usarse como suspensión para vanos vientos mayores, siempre y cuando la distancia entre fases lo permita.

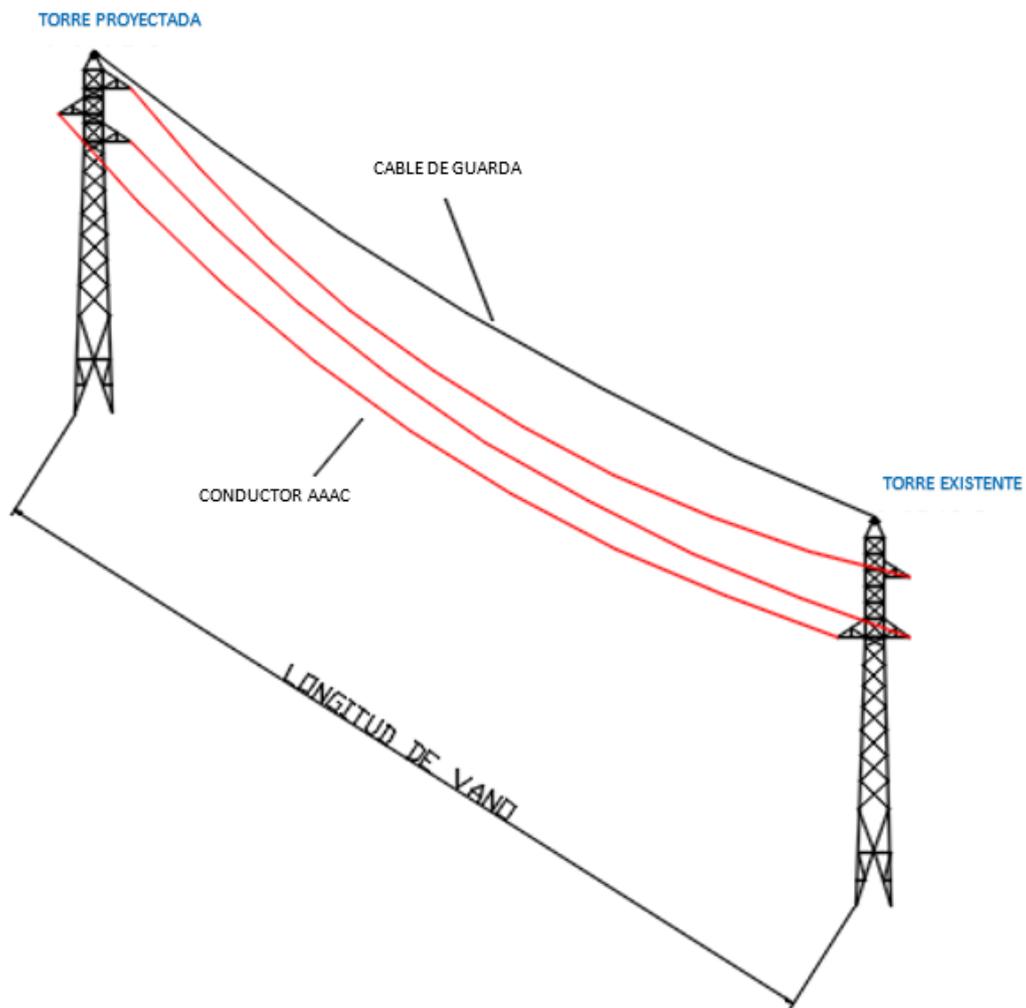


Figura 12. Elemento de una línea de Transmisión Eléctrica.
(Fuente: Empresa Servicios de Ingeniería S:A:C:.)

Seguidamente se efectúa el cambio de estado del conductor de acuerdo con condiciones adoptadas según zona de carga (costa, sierra, selva) previsto en el Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011. Así mismo se define el tensado EDS (Every day stress = esfuerzo medio de cada día) en condición final para el conductor seleccionado.



MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD

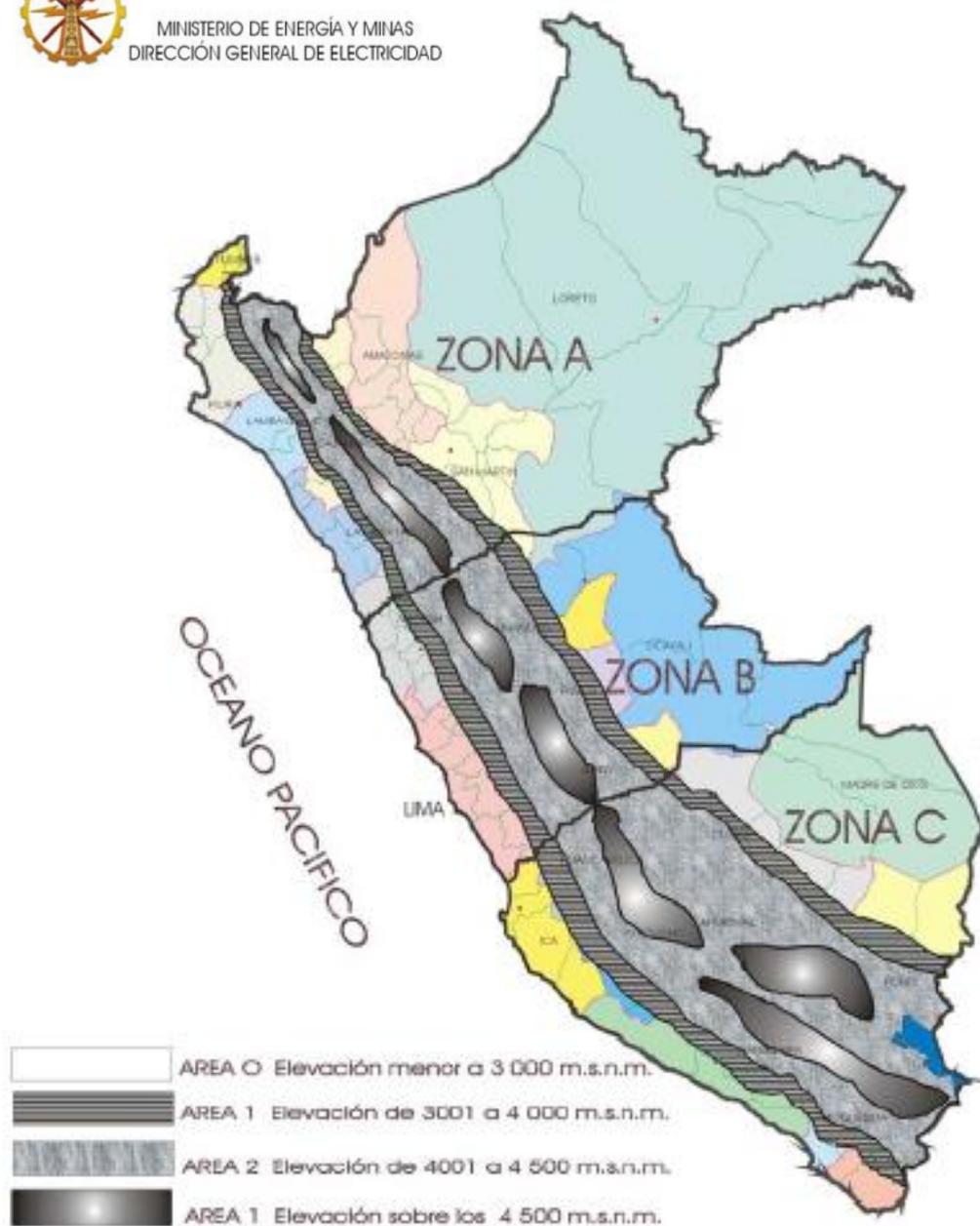


Figura 250-1
Ubicación de las zonas de carga en el Perú

Figura 13. Ubicación de las zonas de carga en el Perú.
(Fuente: Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011.)

2.4.3.2 CRITERIOS PARA ESTABLECER EL ÁRBOL DE CARGAS

A. Para torres de estructura de tipo suspensión. Las hipótesis de cargas, según la tabla 250-1-B del CNE, son:

- HIPÓTESIS A: Presión de viento transversal máximo sobre la estructura, el conductor y los aisladores. Se tomará según la zona de carga de solo viento según el CNE.
- HIPÓTESIS B: Presión de viento máximo en 45° con respecto al eje de la línea.
- HIPÓTESIS C: Rotura de una fase en condiciones de EDS (Every day stress = esfuerzo medio de cada día). En zonas con hielo se considerará la rotura de un cable con viento nulo, pero con carga de hielo sobre todos los cables.
- HIPÓTESIS D: Rotura de un cable de guarda en condiciones de EDS. En zonas con hielo se considera la rotura con viento nulo, pero con carga de hielo sobre todos los cables.
- HIPÓTESIS E: Carga con hielo máximo (donde exista) y máxima presión promedio de viento transversal a la estructura.
- HIPÓTESIS F: Condición de tendido (para la verificación del peso sobre las crucetas) al EDS.
- HIPÓTESIS G: Caso correspondiente a la zona de carga sólo hielo según el CNE.

B. Para torres de estructura de tipo ángulo o anclaje. Las hipótesis de cargas serán las mismas que para la de tipo suspensión salvo

en lo referente a la hipótesis C en la que se debe considerar el 100% del tiro remanente longitud de la rotura de toda la fase.

C. Para torres de estructura de tipo retención. Las hipótesis de cargas, según la tabla 250-1-B del CNE, son:

- HIPÓTESIS A: Presión de viento transversal máximo sobre la estructura, cables y los aisladores. Se tomará según la zona de carga de solo viento según el CNE.
- HIPÓTESIS B: Presión de viento máximo en 45° con respecto al sentido longitudinal de la línea.
- HIPÓTESIS C: Condición de rotura de una de los cables o conductores de guarda de un solo lado de la estructura a condiciones de EDS sin considerar reducción del tiro longitudinal salvo el debido a la elasticidad del conjunto soporte de la ménsula. En zonas con hielo se considerará el viento nulo, pero con carga de hielo sobre todos los cables.
- HIPÓTESIS D: Cargas con hielo máximo (donde exista) y máxima presión promedio de viento transversal a la estructura.
- HIPÓTESIS F: Condición de tendido (para la verificación del peso sobre las crucetas) al EDS.
- HIPÓTESIS G: Caso correspondiente a la zona de carga sólo hielo según el CNE.

D. Para torres de estructura de tipo terminales. Las hipótesis de cargas, según la tabla 250-1-B del CNE, son:

- HIPÓTESIS A: La totalidad de las tracciones máximas unilaterales de los conductores y simultáneamente la carga máxima del viento que actúa transversalmente a la dirección de la línea principal. En caso de zonas con hielo simultáneamente, carga de éstas.
- HIPÓTESIS B: Rotura de un conductor o cable de guarda a condiciones de ED. En zonas con hielo se considerará el viento nulo y la sobrecarga por hielo sobre todos los cables.
- HIPÓTESIS C: Caso de solo hielo según el CNE.
- HIPÓTESIS D: Caso combinado de hielo y viento según el CNE.

2.4.3.3 FACTORES DE SEGURIDAD

A. CONDUCTORES

Se utilizarán cables que son: **ACAR, AAAC** o **ACSR** para las líneas aéreas y cobre para los cables subterráneos se utilizan los tipos **XLPE** para cables de 60 Kv.

Según Hidrandina S.A. (2006), del Estudio de los Costos de Peaje de Transmisión Secundaria; debido al efecto de la topografía y las cargas según la región se adaptarán los siguientes materiales:

- Costa ACAR o Aleación de Aluminio con Grasa.
- Costa de Alta Contaminación AAAC compactado tipo aero-Z.

- Sierra ACSR a partir de los 3000 msnm.

No deberá superarse el 60% del esfuerzo de rotura en cualquier parte del conductor en su condición máxima de trabajo y a condición del esfuerzo medio de cada día (EDS) se trabajará a condiciones finales según se observará los límites de la norma, que dependen del material, sección, vano y dispositivos de protección antivibratoria.

Los cables de guarda se utilizan como protección de las descargas atmosféricas y se describe de la siguiente manera para su uso según su clasificación a los niveles de líneas de transmisión son:

- En las líneas de transmisión con niveles de 33, 60 y 138 kV se utiliza el cable de guarda de acero galvanizado de calibre 5/16", sección igual a 38,36 mm² y diámetro 7,92 mm.
- Para el nivel de tensión de 220 kV se utiliza el cable de guarda de acero galvanizado de calibre 3/8", sección 51,08 mm² y diámetro 9,14 mm.

B. ESTRUCTURAS

Para las líneas de alta tensión aéreas se consideran como estructuras de grado de construcción B según el Código Nacional de Electricidad de Suministro 2011, por tanto se deberán conservar los factores de sobrecarga establecidos en las tablas 253-1 y 253-

2 así como los factores de resistencia indicados en la tabla 261-A del Código Nacional de Electricidad de Suministro 2011, las mismas que se tienen en cuenta en la elaboración de cada torre de transmisión eléctrica para obtener el árbol de cargas; las cuales son las siguientes tablas:

Tabla 1
Factores de sobrecarga de línea de transmisión eléctrica

Tabla 253-1
Factores de sobrecarga para estructuras¹, crucetas, herrajes de soporte, retenidas, cimentaciones y anclajes que se utilizarán con los factores de resistencia de la Tabla 261-1A

Factores de sobrecarga		
	Grado B	Grado C
Cargas de la Regla 250.B cargas verticales ³	1,50	1,90 ⁶
Cargas transversales Viento Tensión del alambre	2,50 1,65 ²	2,20 ⁴ 1,30 ⁵
Cargas longitudinales En los cruces En general En los amarres (anclajes)	1,10 1,65 ²	Ningún requerimiento 1,30 ⁵
En cualquier lugar En general En los amarres	1,00 1,65 ²	Ningún requerimiento 1,30 ⁵
Cargas, Regla 250.C	1,00	1,00

Nota. Los factores de sobrecarga para estructuras, crucetas, herrajes de soporte retenidas, cimentaciones y anclajes que e utilizan con los factores de resistencia de la tabla 261-1-1A del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011

Tabla 2
Factores de sobrecarga alternativos de línea de transmisión eléctrica

Tabla 253-2
Factores de sobrecarga alternativos para estructuras de concreto armado^{1,5} (no pretensado) que se utilizarán con los factores de resistencia de la Tabla 261-1B

	Factores de sobrecarga			
	Grado B		Grado C	
	Cuando esté instalado	En reemplazo ^{2,3}	Cuando esté instalado	En reemplazo ^{2,3}
Cargas de la Regla 250 B				
Cargas verticales ⁴	2,20	1,50	2,20	1,50
Cargas transversales				
Viento (en los cruces)	4,00	2,67	2,67	1,33
Viento (en cualquier lugar)	4,00	2,67	2,00	1,33
Tensión del alambre	2,00	1,33	1,33	1,00
Cargas longitudinales				
En general	1,33	1,00	Ningún requerimiento	Ningún requerimiento
En los amarres	2,00 ⁶	1,33 ⁷	1,33	1,00
Cargas, Regla 250.C	1,33	1,00	1,33	1,00

Nota. Factores de Sobrecargas alternativos para estructura de concreto armado(no pretensado)que se utilizarán con los factores de resistencia de la Tabla 261-1B del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011.

Tabla 3
Factores de resistencia de línea de transmisión eléctrica

Tabla 261-1A
Factores de Resistencia para las Estructuras, Crucetas, Retenidas, Cimentaciones y Anclajes para ser utilizados con factores de sobrecarga de la Tabla 253-1

	Grado B	Grado C
Factores de resistencia para ser utilizados con cargas de la regla 250.B		
Estructuras de metal y concreto pretensado	1,00	1,00
Estructuras de madera y concreto armado	0,65	0,85
Alambre de retenida	0,90	0,90
Anclaje y cimentaciones de retenida	1,00	1,00
Factores de resistencia para ser utilizados con cargas de la regla 250.C	1,00	1,00
Estructuras de madera y concreto armado	0,75	0,75
Alambre de retenida	0,90	0,90
Anclaje y cimentaciones de retenida	1,00	1,00

Nota. Factores de resistencia para estructuras, crucetas, cimentaciones y anclajes para ser utilizados con factores de sobrecarga de la Tabla 253-1 del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011.

Para el diseño de las cimentaciones se basarán en la información geotécnica y de las cargas últimas que nos proporciona el árbol de cargas de la torre de transmisión eléctrica, determinado en el estudio electromecánico.

2.4.4 CIMIENTOS PARA TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Las cimentaciones para torres de transmisión eléctrica son superficiales o profundas. 5Técnicamente las cimentaciones superficiales se encuentran a una profundidad menor a 5 m y se forman por zapatas aisladas o corridas, zapatas aisladas conectadas con viga, zapatas combinadas, cimientos continuos (cimientos corridos) o zapatas ancladas en roca. Mientras que las cimentaciones profundas pueden ser pilas o pilotes.

2.4.4.1 NORMATIVIDAD APLICABLE AL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

En la actualidad nuestro país no cuenta con un código de diseño propio, para los cimientos de torres de transmisión eléctrica. Para el presente trabajo se empleó la norma internacional española (Instrucción Técnica Complementaria ITC – LAT 07: Líneas aéreas con conductores desnudos), que se aplica para el diseño de los

5 Reglamento nacional de edificaciones E.050 pag. 341.

cimientos de torres de transmisión eléctrica, la cual se adapta a nuestros fenómenos naturales a las cuales están sometidas.

De acuerdo al documento que se hace referencia que es de Reglamento de Líneas de Alta Tensión y se trata del diseño de los cimientos para las torres de transmisión eléctrica.

Se trabaja con esa bibliografía para lo siguiente:

- Comprobación al arranque de la cimentación
- Comprobación a compresión de la cimentación
- Comprobación de la adherencia entre anclaje y cimentación

El RLAT (Reglamento de Líneas de Alta Tensión) establece que este tipo de cimentaciones deben absorber las cargas de compresión y arranque que el apoyo transmite al suelo. De las cuatro cimentaciones de la torre de transmisión eléctrica dos de ellas trabajan al arranque y las otros dos a la compresión. Es así que el cálculo de las cargas de compresión y arranque está basado en el Método del Talud Natural o Ángulo de arrastre de tierras.

Para la elección de la norma internacional, en la cual se basa la investigación, se tuvo en cuenta dos factores: la velocidad del viento y la rugosidad superficial del mapa de España en comparación con los mapas de Perú que son dos:

A. Según la velocidad del viento

- **Análisis del mapa eólico del Perú a 80m.** 6La unidad que mide la velocidad del viento en el sistema internacional son el metros y segundo (m/s), por familiaridad, también se emplean el kilómetro y la hora (km/h).

La escala de velocidades utilizada propia del viento es la Beaufort, que es puramente fenomenológica y que estima la velocidad del viento en función del aspecto de la superficie del mar.

Tabla 4
Equivalencia de la escala Beaufort

Número Beaufort	Velocidad (km/h)	Denominación
0	< 1	Calma
1	2 – 5	Ventolina
2	6 – 11	Flojito (Brisa muy débil)
3	12 – 19	Flojo (Brisa débil)
4	20 – 28	Bonancible (Brisa moderada)
5	29 – 38	Fresquito (Brisa fresca)
6	39 – 49	Fresco (Brisa fuerte)
7	50 – 61	Frescachón (Viento fuerte)
8	62 – 74	Temporal (Viento duro)
9	75 – 88	Temporal fuerte (Muy duro)
10	89 -102	Temporal duro (Temporal)
11	103 – 117	Temporal muy duro (Borrasca)
12	> 118	Temporal huracanado (Huracán)

Nota. Nos muestra el resultado de la velocidad del viento en la escala Beaufort.
Fuente: Atlas Eólico del Perú, Lima – Perú, Noviembre 2008.

En el mapa de viento de 80 m., se observa que la velocidad en promedio que predomina se encuentra en el rango de 3 m/s – 6 m/s denominadas Flojita (brisa muy débil) y Flojo (brisa débil), según la escala de Beaufort.

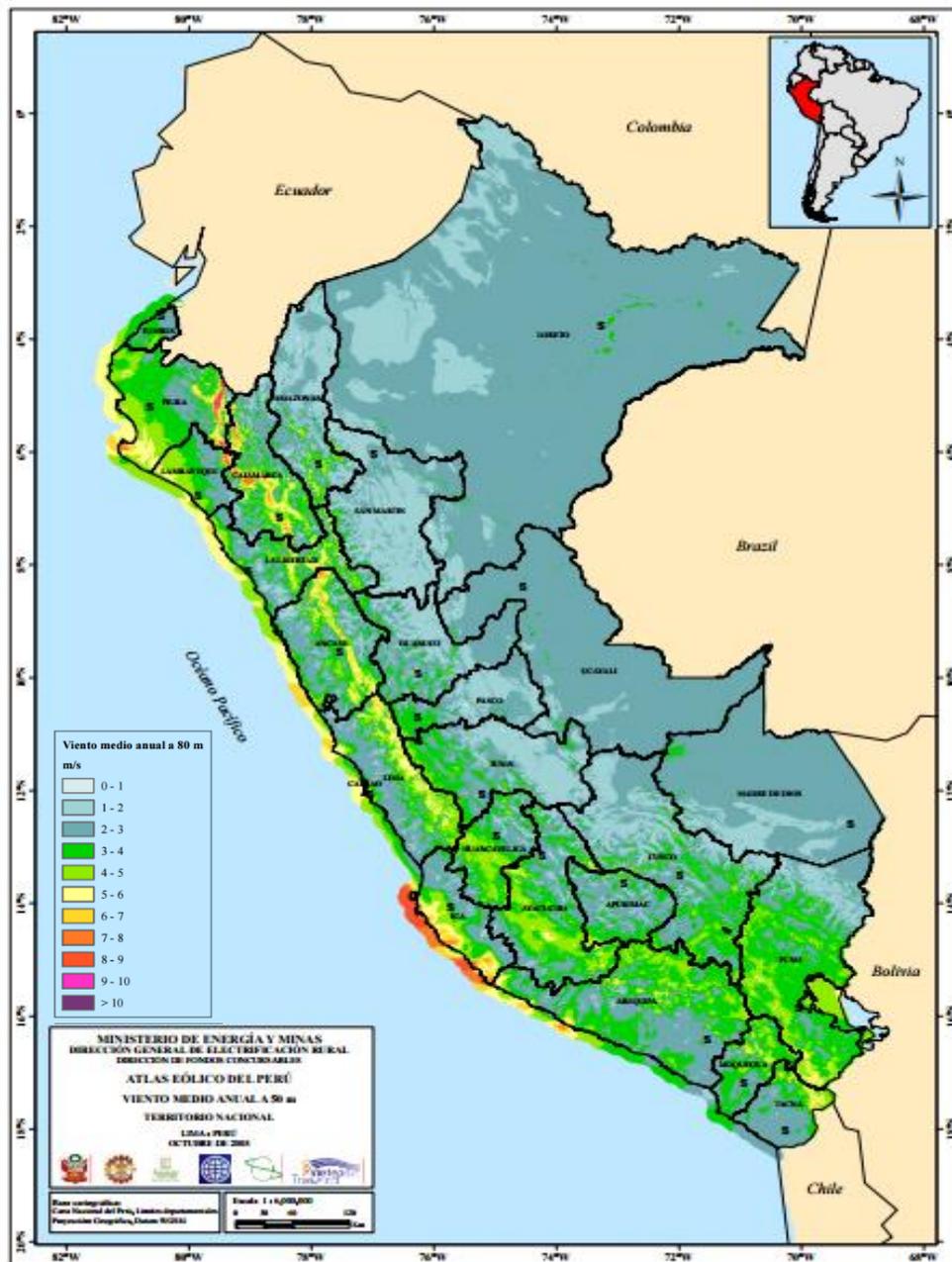


Figura 14. Mapa del Perú – Mapa de viento a 80 m: promedio anual.
(Fuente: Atlas Eólico del Perú, Lima – Perú, Noviembre 2008)

- **Análisis del mapa eólico de España a 80m.** ⁷Para la representación visual, se ha utilizado una paleta de colores que pretende que pueda apreciarse rápidamente el nivel del recurso eólico disponible en cada zona:

- Bajo: velocidad de viento medio anual (v) < 5 m/s.
- Medio – Bajo: $5 \text{ m/s} \leq V < 6.5 \text{ m/s}$.
- Medio – alto: $6.5 \text{ m/s} \leq V < 8 \text{ m/s}$.
- Elevado: $V \geq 8 \text{ m/s}$.

En el mapa de viento de 80 m., se observa que la velocidad en promedio que predomina se encuentra en el rango de 5.5 m/s – 8 m/s denominadas Medio – Bajo y Medio – Alto, según lo describe el nivel del recurso eólico de España.

⁷ *Análisis del Recurso Atlas Eólico de España – Estudio Técnico PER- 2011 – 2020.*

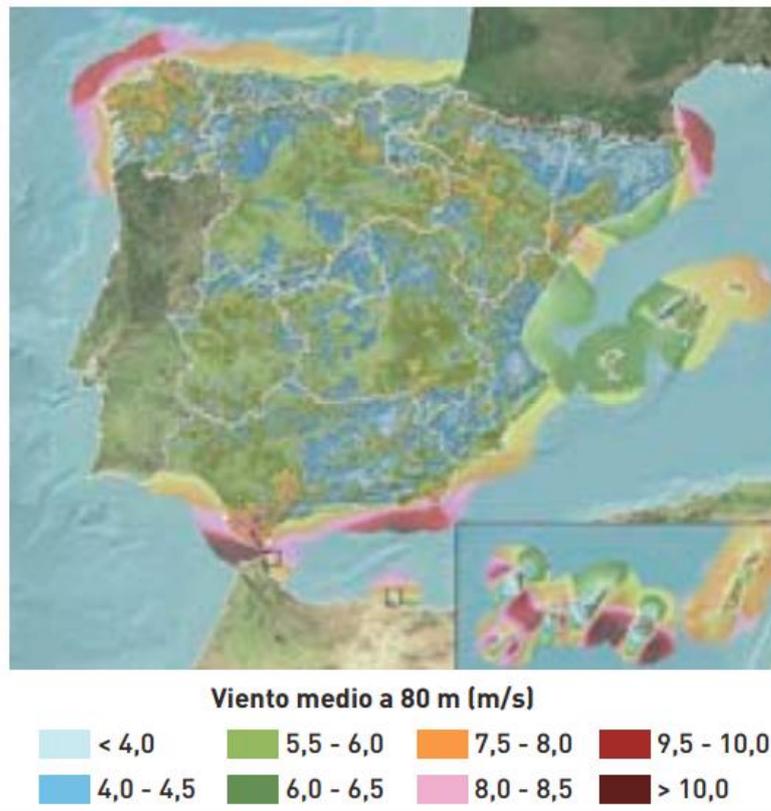


Figura 15. Mapa de España – Mapa de velocidad del viento medio anual a 80 m.
(Fuente: Análisis del Recurso Atlas Eólico de España – Estudio Técnico PER 2011 – 2020)

A manera de conclusión, haciendo el análisis de los mapas eólicos, el de España llega a 80 m, la velocidad del viento supera en 2 m/s; mientras que el de Perú llega a 80 m, en un promedio anual según nos muestra el Atlas eólico del 2011 - 2020.

- B. Según la rugosidad del suelo.** La rugosidad de un área dada está determinada por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene.

- **Análisis del mapa de rugosidad de Perú.** En el mapa de Perú se detallada estos valores de rugosidad según las regiones. 8Los valores típicos de rugosidad van de 0.001 m en campo abierto sin árboles o arbustos significativos, a 0.1 m en terrenos mayoritariamente arbustivos, y a 1m o más en zonas con muchos árboles.

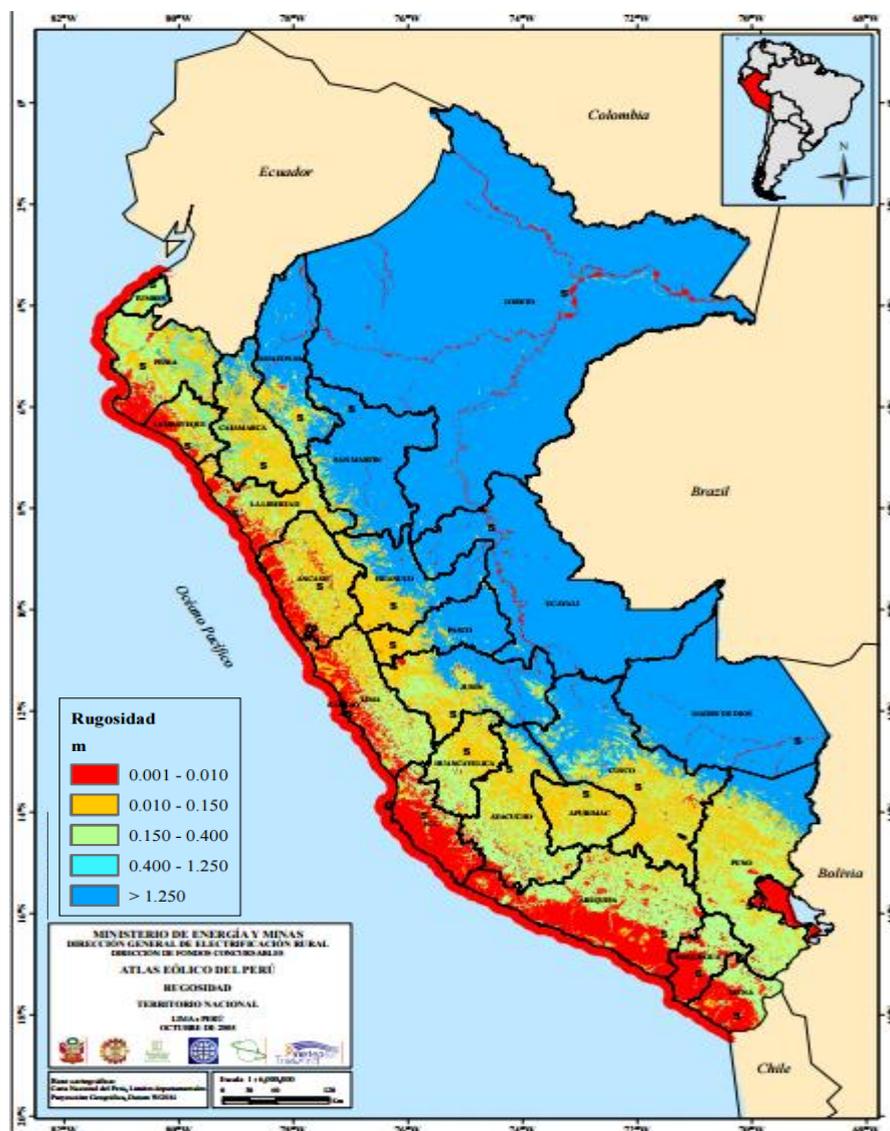


Figura 16. Mapa de Perú – Mapa de Rugosidad.
(Fuente: Atlas Eólico del Perú, Lima – Perú, noviembre 2008.)

- **Análisis de la rugosidad de España.** Para los tipos de superficie del país de España, se realizó un parámetro de rugosidad a partir de los usos del suelo. ⁹Se estima que estos valores son los típicos para la región de interés, a pesar de que los valores de rugosidad para cada una de las clases pueden variar en un amplio rango dependiendo de las especificaciones de cada localización.

Tabla 5
Tabla de Rugosidad Superficial

Descripción	Rugosidad [m]
Glaciares y nieves perpetuas	0,003
Cultivos	0,03
Prados y herbazales	0,05
Terrenos con arbustos	0,07
Bosques caducifolios	0,60
Bosques perennifolios y mixtos	0,75
Zonas urbanas	0,75

Nota. Los valores de la rugosidad superficial para los distintos tipos de superficies. Fuente: Análisis del Recurso Atlas Eólico de España – Estudio Técnico PER 2011 – 2020

A manera de conclusión, según el análisis de rugosidad en ambos países existe mucha variación dependiendo donde se ubica según las regiones.

Para el diseño y detalle del acero de refuerzo de las cimentaciones se utiliza el Código ACI 318 – 95 y Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú E-060 (Concreto Armado).

2.4.4.2 ESTUDIO GEOLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DE UNA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.

Los estudios geológicos son fundamentales y de mucha importancia ya que representa el inicio para los proyectos civiles y de electrificación. El buen funcionamiento de las obras civiles depende esencialmente de la manera en que fueron amoldadas a las condiciones geológicas del terreno. En lo que se relaciona a los proyectos de torres de transmisión eléctrica, los estudios geológicos (estudios de suelos) deben realizarse desde el momento en que se inicia la elección del trazo de la línea, para las torres proyectantes, con el fin de seleccionar la mejor alternativa de trayectoria.

De acuerdo a la especificación del RNE – E 0.50 “suelos y cimientos” establece requisitos para los Estudios de Mecánica de Suelos para asegurar la estabilidad y permanencia de las obras, basadas en el NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de Suelos.

Los Ensayos de Laboratorio que se realizarán de acuerdo con las normas son.

- Contenido de Humedad – Norma Técnica Peruana 339.127 (ASTM D2216)
- Análisis Granulométrico – Norma Técnica Peruana 339.128 (ASTM D422)
- Peso Específico Relativo de Sólidos – Norma Técnica Peruana 339.131 (ASTM D854)
- Clasificación Unificada de Suelos – Norma Técnica Peruana 339.134 (ASTM D2487)
- Densidad Relativa – Norma Técnica Peruana 339.137 (ASTM D 4253)
- Peso volumétrico de suelo cohesivo – Norma Técnica Peruana 339.139 (BS 1377)

Para la realización de la presente tesis se utilizó la metodología aplicada para Cálculo de la Capacidad Portante del Suelo (Capacidad Admisible del Suelo). En esta se calculó la capacidad portante última del suelo a partir de las características físicas y mecánicas del suelo, la geometría de la cimentación y un mecanismo racional de falla. La capacidad portante admisible, q_{adm} , se obtiene dividiendo el valor anterior entre un factor de seguridad de 3,0.

Con los datos obtenidos en el Ensayo de Corte Directo (ϕ , c) se aplicará la Teoría de Karl Terzaghi y los aportes de Vesic para el cálculo de la capacidad admisible. El problema de capacidad portante se reduce a los casos, de presencia de suelos friccionando cuya formulación será válida en los cimientos cuadrados, circulares y corridos que se presenta la siguiente fórmula:

$$q_{ult} = CN_C S_C + \gamma_1 D_f N_q W_q S_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma W_\gamma S_\gamma$$

Donde:

q_{ult} = Capacidad última de la carga

C = Cohesión

γ = Peso Volumétrico

B = Ancho o diámetro de la
cimentación

D_f = Profundidad de cimentación

N_C, N_q, N_γ = Factores de carga

S_C, S_q, S_γ = Factores de forma

W_q, W_γ = Factores por nivel freático

Capacidad Portante Admisible:

$$Q_{adm} = Q_{ult}/FS$$

Según Hidrandina S.A. (2006), en el Estudio de los Costos de Peaje de Transmisión Secundaria hace referencia en la relación a diseño de cimientos de concreto se utilizan los siguientes parámetros del estudio de suelos (pág. 447).

Tabla 6
Parámetros de ángulo de fricción y arranque.

REGIÓN GEOGRÁFICA	ÁNGULO DE FRICCIÓN	ÁNGULO DE ARRANQUE
COSTA	30°	20°
SIERRA	35°	25°

Nota. Valores de ángulos de fricción y ángulos de arranque de acuerdo a la región de la geografía. Fuente: Hidrandina.S.A., estudio de los Costos de Peaje de Transmisión Secundaria. Lima – Perú 2006

2.4.5 GEOMETRÍA DE LA CIMENTACIÓN

En la figura se puede observar de manera general la geometría de una cimentación a base de zapatas aisladas.

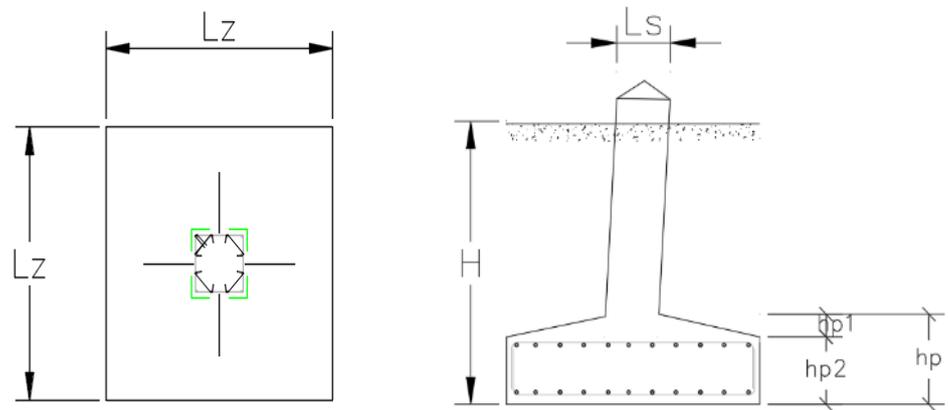


Figura 17. Geometría de una zapata aislada
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Lz = Longitud de zapata

Ls = Longitud superior del pedestal

hp = altura del peralte del dado

H = altura de la zapata.

Como se observa en la figura, el dado de la zapata presenta un ángulo de inclinación β , dicho ángulo coincide al de la extensión (l_d) del montante de la torre; esta condición provoca que los elementos mecánicos se apliquen con una excentricidad d_c , respecto al centro geométrico de la zapata.

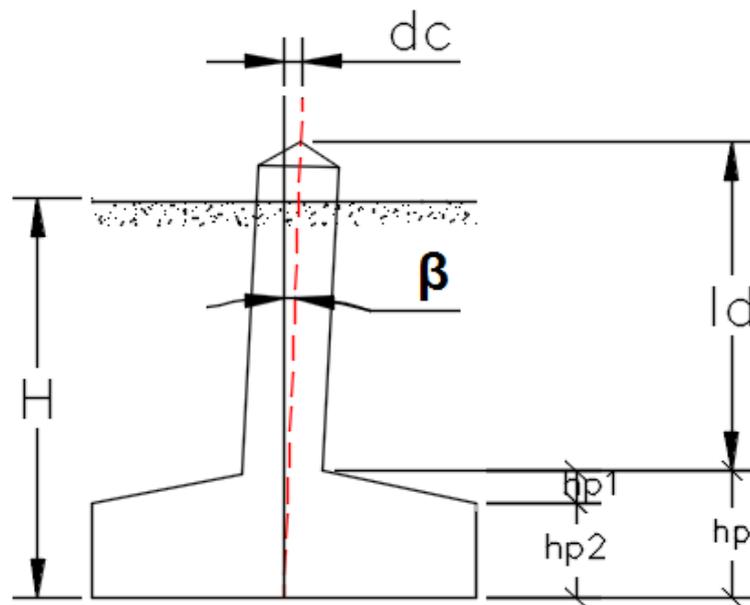


Figura 18. Distancia dc , a la aplicación de la carga.
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

dc = distancia de inclinación

β = ángulo de inclinación

hp = altura del peralte del dado

ld = longitud de pedestal.

2.4.5.1 FUERZAS ACTUANTES EN LA CIMENTACIÓN

Las cargas que se consideraron para el diseño son:

- A. Cargas Horizontales (F).** Que son producidas por el tiro longitudinal del Conductor, tiro transversal del conductor (debido al ángulo), viento transversal sobre el conductor, tiro longitudinal del conductor (barras) y viento sobre la estructura.

Para cargas horizontales o laterales. Estas acciones o reacciones son provocadas por la fuerza del viento y el sismo, en el caso más crítico se da en la presencia del viento, las acciones se pueden visualizar mejor en la siguiente figura.

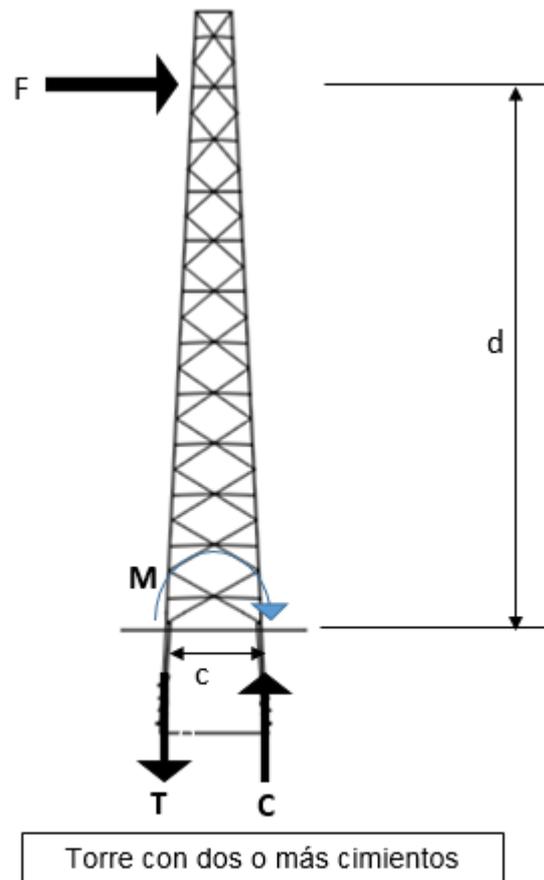


Figura 19. Cargas horizontales sobre la torre
Fuente: Elaboración propia.

- B. Cargas Verticales.** Sus características son: peso de los conductores, cadenas de aisladores y aisladores rígidos, peso propio de la estructura, peso de la fundación de concreto, peso del relleno y cargas vivas provocadas por el personal y el equipo para el mantenimiento de la torre.

Las cargas verticales o gravitacionales son provocadas por la fuerza de gravedad la cual tienen una trayectoria perpendicular a la superficie terrestre; por lo tanto, la torre trasladará una carga puntual e compresión a sus cimientos a través de cada uno de sus apoyos. Esto se puede comprender mejor si se observa y analiza la siguiente figura.

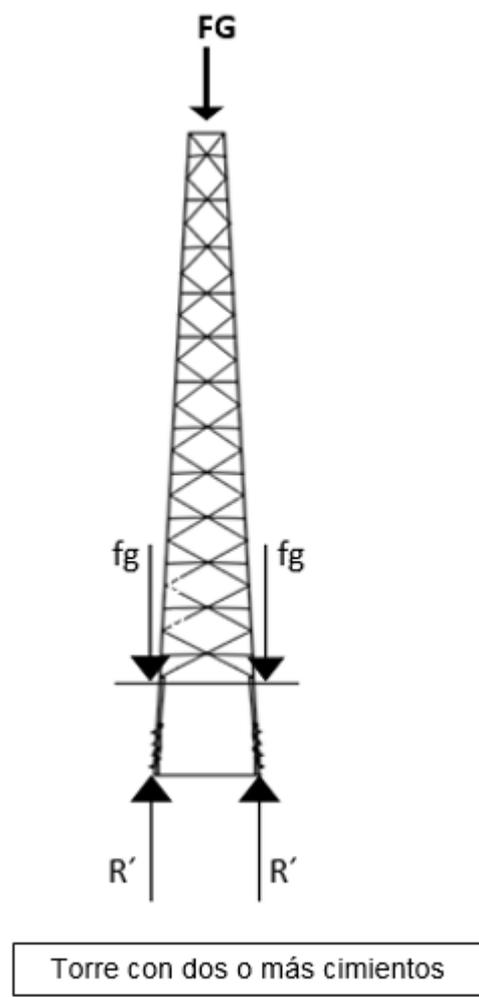


Figura 20. Cargas Gravitacionales sobre la torre
Fuente: Elaboración propia

Las funciones se dimensionan para que estas cumplan, con los siguientes factores de seguridad mínima:

- F.S. VOLTEO : 1.5
- F.S. ARRANQUE : 1.5

Presiones Actuantes < Presión Admisible (F.S. \geq 1.0)

2.4.6 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN PARA TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Diseño de una Zapata Aislada para una torre de Alta Tensión por el Método del Talud Natural o Ángulo de Arrastre de Tierras, propuestas por el ingeniero Sulzberger que pertenece a la Comisión Federal Suiza, basándose en la aplicación al Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT) R.D. 223/2008.

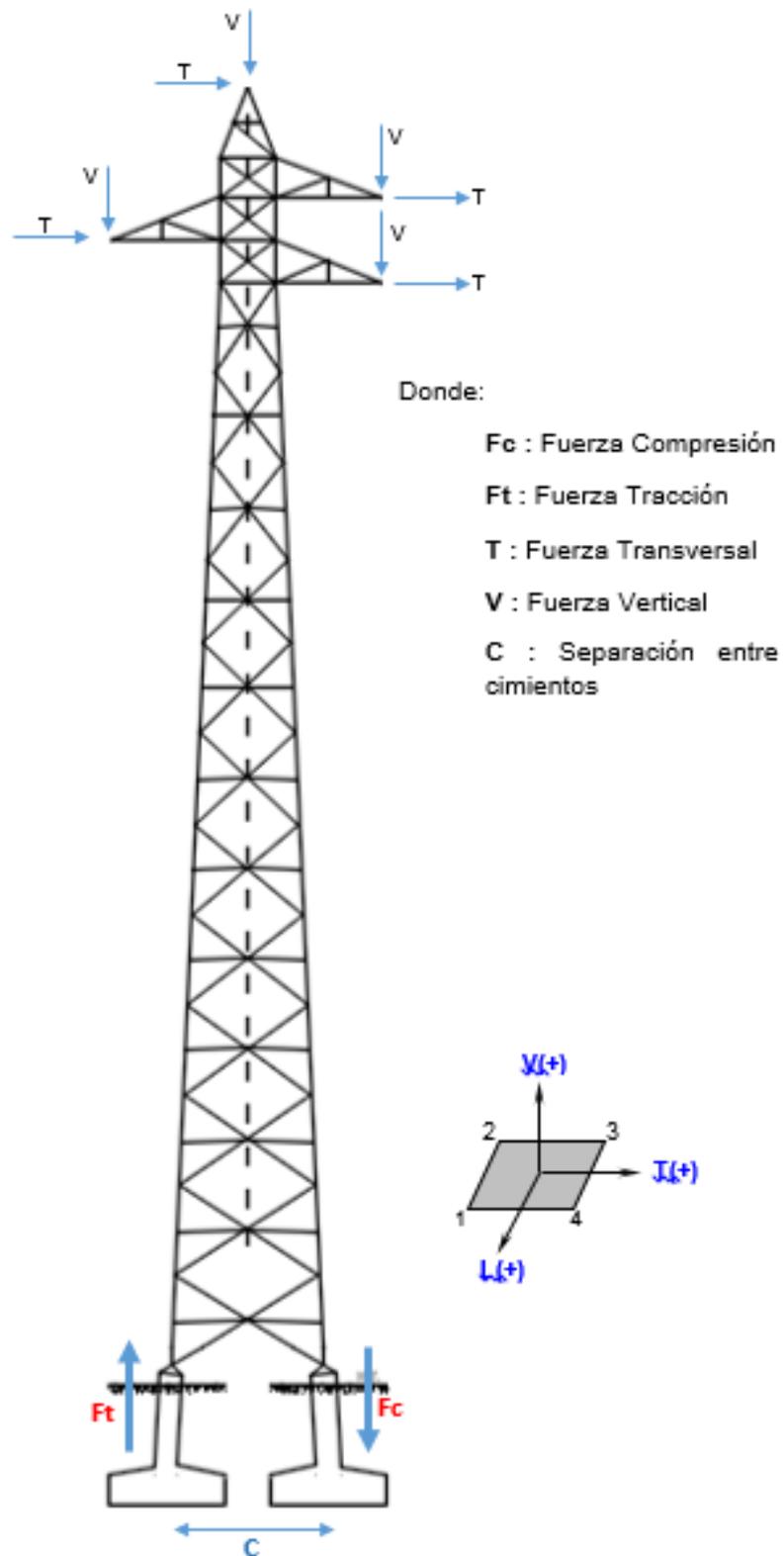


Figura 21. cargas verticales y transversales sobre la torre
Fuente: Elaboración propia

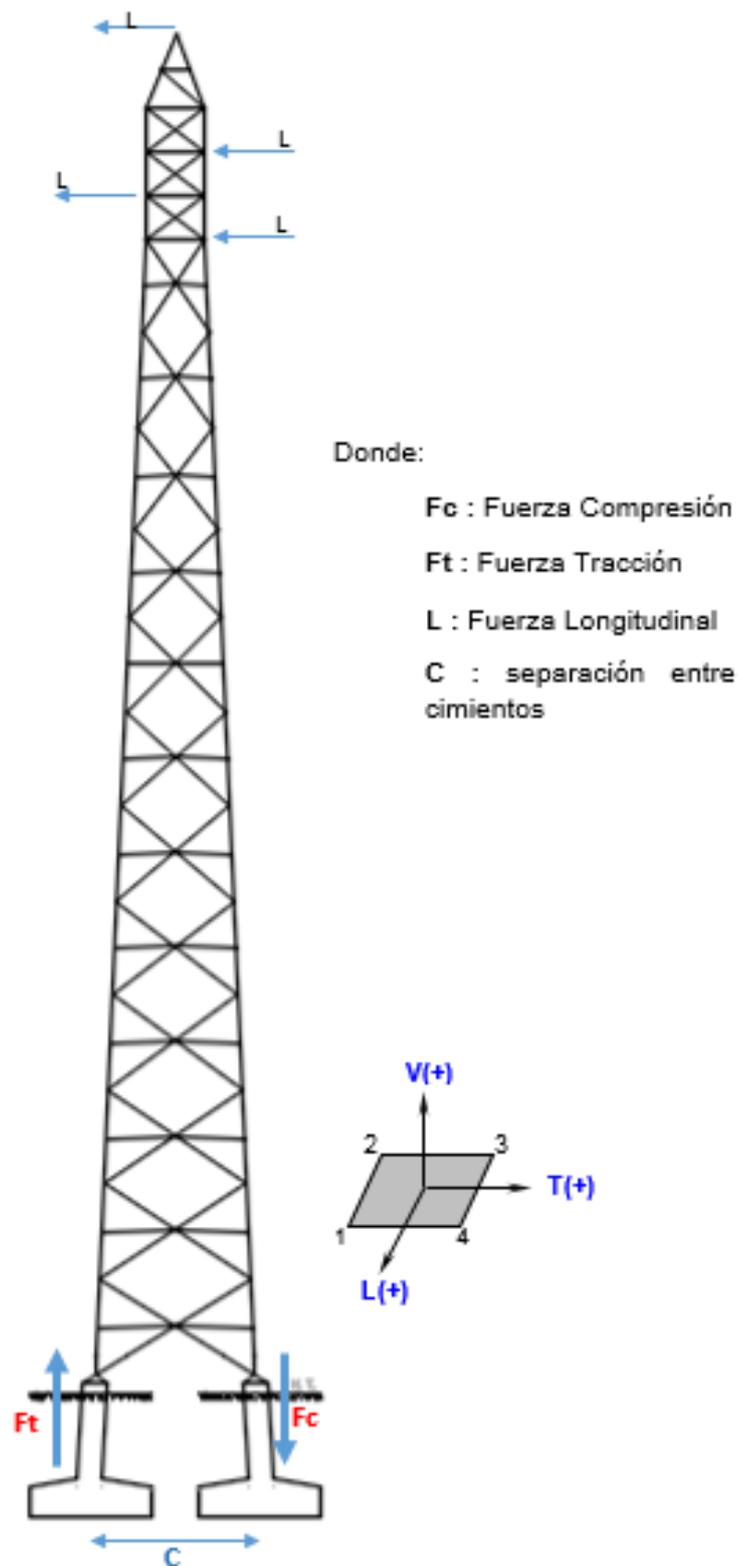


Figura 22. Cargas longitudinales sobre la torre
Fuente: Elaboración propia

2.4.6.1 COMPROBACIÓN AL ARRANQUE:

Es la verificación, que consiste en evaluar la relación entre las cargas resistentes al arrancamiento y la fuerza estabilizador, dicha relación debe ser mayor que 1.5 que corresponde al factor de seguridad al arranque. Según especifica el apartado 3.6.3. de la Instrucción Técnica Complementaria - Líneas aéreas con conductores desnudos (ITC – LAT 07). En el caso de no disponer de las características reales del terreno mediante ensayos realizados en el emplazamiento de la línea, se recomienda utilizar como ángulo de talud natural o de arranque de tierras: 30° para terreno normal y 20° para terreno flojo (pág. 36).

Las cargas que se oponen son:

- Peso de la torre
- Peso propio de la cimentación
- Peso de las tierras que arrastraría el cimiento de hormigón al ser arrancado.

A. Fuerza estabilizadora

Para el cálculo de la fuerza del estabilizador se utiliza la siguiente formula:

$$P_{est.} = P_{cimiento} + P_{tierra} + P_{\beta} - \delta_{terreno} * V_{inter.}$$

Para la disgregación de la formula anterior se debe tener en cuenta los siguiente:

- Cálculo del peso de la cimentación:

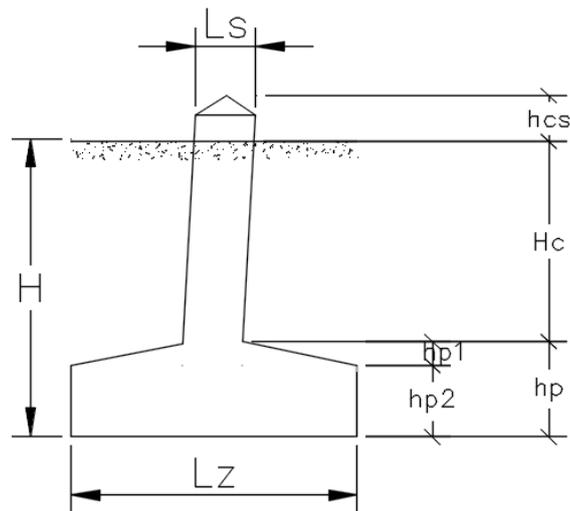


Figura 23. Representación del cimiento
Fuente: Elaboración propia

$$P_{cimiento} = \delta_{concreto} \left[L_Z^2 \cdot h_{p2} + \frac{h_{p1}}{3} (L_Z^2 + L_S^2 + L_S \cdot L_Z) + L_S^2 \cdot (H_C + h_{cs}) \right]$$

- Peso de las tierras que gravitan (se utilizan como relleno) sobre la cimentación:

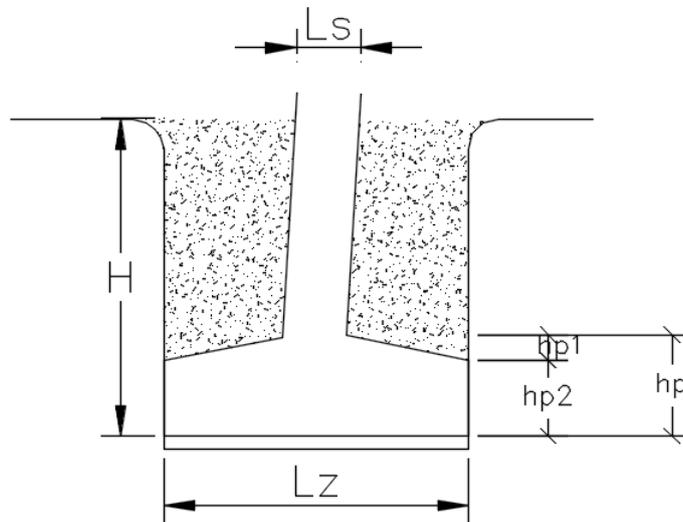


Figura 24. Peso de las tierras que gravitan (relleno) sobre la cimentación. Fuente: Elaboración propia

$$P_{tierra} = \delta_{Terr} \left[H \cdot LZ^2 - \frac{P_{cimiento}}{\delta_{concreto}} \right]$$

- Peso de las tierras arrancadas según el ángulo natural del terreno:

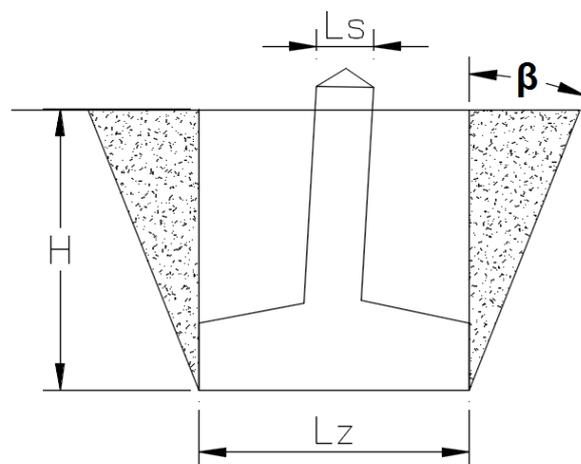


Figura 25. Peso de las tierras arrancadas
Fuente: Elaboración propia

$$P_{\beta} = \delta_{terr} \left[\frac{H}{3} [(LZ + 2 \cdot H \cdot \tan\beta)^2 + LZ \cdot (LZ + 2 \cdot H \cdot \tan\beta) + LZ^2] - H \cdot LZ^2 \right]$$

- Cálculo del Volumen de Interferencia:

$$B = \frac{LZ}{2} + H \cdot \tan\beta$$

Existe interferencia si $B > C/2$

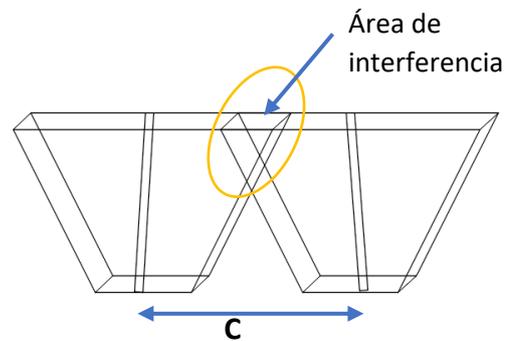


Figura 26. Volumen de interferencia de tierra
Fuente: Elaboración propia

Luego se reemplaza en:

$$V_{interf} = \frac{B \cdot (C - 2B)^2}{4 \cdot \tan\beta}$$

B. Verificación de la comprobación de arranque:

$$\frac{P_{est.}}{F_{tracción}} > k$$

K = 1.5 hipótesis normales

K = 1.2 hipótesis anormales

2.4.6.2 COMPROBACIÓN A COMPRESIÓN:

Según especifica el apartado 3.6.2. de la Instrucción Técnica Complementaria - Líneas aéreas con conductores desnudos (ITC – LAT 07); se consideran todas las cargas de compresión que la cimentación transmite al terreno (pág. 37):

- Peso de torre
- Peso propio de la cimentación
- Peso de las tierras que actúan sobre la solera de la cimentación.
- Carga de compresión ejercida por la torre.

A. Carga admisible del terreno:

Según especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones E-050, es la predisposición del suelo de soportar una carga sin que se produzcan fallas en su masa.

Se comprobará que todas las cargas de compresión anteriores, divididas por la superficie de la solera de la cimentación, no sobrepasa la carga admisible del terreno.

B. Presión sobre el terreno:

La presión sobre el terreno viene dada por la relación entre la fuerza total sobre el terreno y el área afectada.

$$\sigma_t = \frac{F_{\text{compresión}} + P_{\text{cimiento}} + P_{\text{tierra}}}{\text{Area}}$$

C. Verificando la comprobación a compresión:

$$\sigma_{\text{admisible}} > \sigma_{\text{terreno}}$$

2.4.6.3 CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE DE LOS TORNILLOS

$$F_c = \frac{n \times 0.5 \times f_{ub} \cdot A_{\text{torn}}}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

n = número de tornillos

f_{ub} = resistencia última del acero del tornillo.

γ_{M2} = coeficiente de seguridad del tornillo, se suele utilizar 1,25.

A_{torn} = sección transversal del tornillo

Según especifica el Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT) la fuerza a cortante debe ser la mitad de la fuerza, F₂, con un coeficiente de seguridad de 1.5, por tanto, el cumplimiento de esta condición viene dada por la relación (pág. 37):

$$F_c > 0.75 * F_2$$

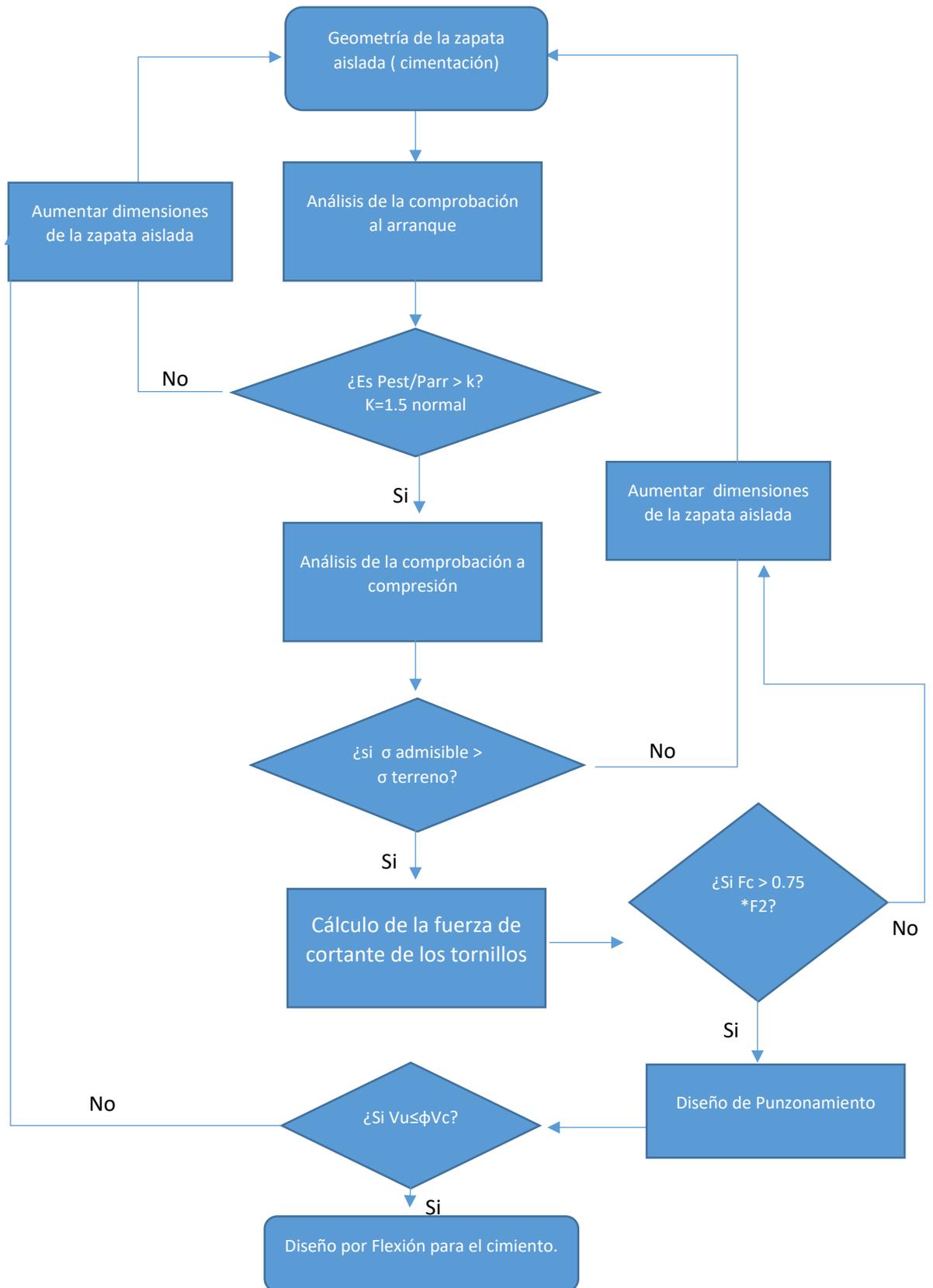


Figura 27. Método de Talud Natural, Diseño para cimientos de Torres de Transmisión Eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

2.4.6.4 DISEÑO ESTRUCTURAL

Para el diseño de la cimentación se considera la resistencia del concreto de 210 kg/cm², en base a las exigencias del cálculo estructural (capacidad de soportar cargas y esfuerzos) realizados de la línea de transmisión eléctrica teniendo en cuenta las condiciones de durabilidad de la estructura de concreto por circunstancias de exposición y agresividad al medio ambiente.

Para la resistencia estructural del diseño de los concretos elaborados en obra a los 28 días se ha asumido el factor del código 318 - 89 (ACI). La resistencia en compresión del f'_c es el parámetro de referencia más difundido tanto a nivel de diseño estructural cuanto en tecnología del concreto para evidenciar las características resistentes y la calidad de un concreto.

A. DISEÑO POR PUNZONAMIENTO:

Según especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones E-060, se caracteriza, para evitar el asentamiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella.

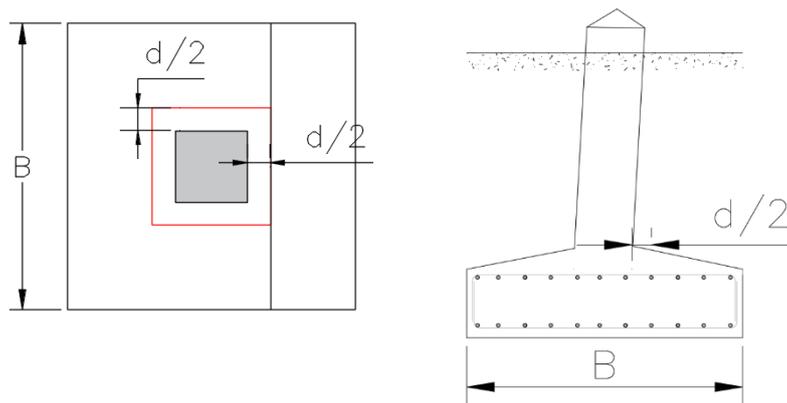


Figura 28. Diseño por punzonamiento:
Fuente: Elaboración propia

- Cortante actuante:

$$V_u = Hx$$

- Cortante resistente:

$$V_c = \left(0.53 + \frac{1.1}{\beta_c}\right) * \sqrt{f_c} * b_o * d$$

- Cortante resistente límite:

$$V_c \text{ limite} \leq 1.1 * \sqrt{f_c} * b_o * d$$

$$V_u \leq \phi V_c$$

Donde:

f_c : Resistencia del concreto.

b_o : Perímetro de la sección crítica a $d/2$.

d : Peralte efectivo.

B. DISEÑO POR CORTANTE:

Según especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones E-060, se caracteriza, por la falla por cortante en cimentaciones asumiremos que todo el cortante es absorbido por el concreto. La sesión se ubica a una distancia d de la cara de la columna.

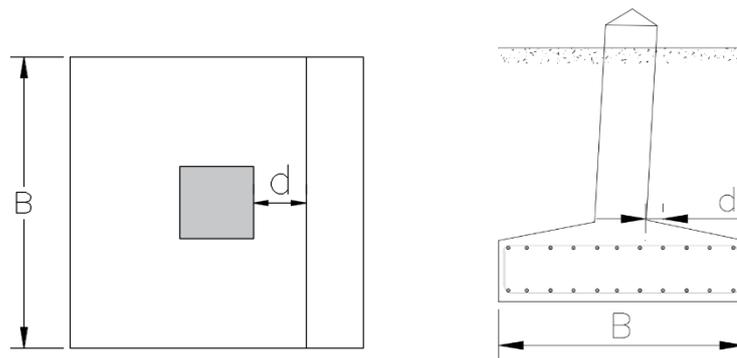


Figura 29. Diseño por cortante
Fuente: Elaboración propia

- Cortante actuante:

$$V_u = Hx$$

- Cortante resistente:

$$V_c = (0.53) * \sqrt{f_c} * B * d$$

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$\phi = 0.85$$

Donde:

f_c : Resistencia del concreto.

B : Base de la cimentación.

d : Peralte efectivo.

C. DISEÑO POR FLEXIÓN:

Según especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones E-060, en el diseño se busca el mayor efecto que produzcan los elementos estructurales, como producto de los esfuerzos internos de las estructuras de la torre de alta tensión.

Encontrando el punto de inflexión entre estos extremos de falla de los elementos, para así poder calcular la cantidad de acero necesario.

- Cálculo de la cuantía:

Cuantía mínima: 0.0018

- Cálculo del área de acero:

$$A_s = \rho * b * d$$

Donde:

ρ : Cuantía.

b : Base de la cimentación.

d : Peralte efectivo.

CAPITULO III

**PROYECTO DE REUBICACIÓN DE LA TORRE DE
TRANSMISIÓN ELÉCTRICA 44kV PLANTA CONDORCOHA -
TARMA – JUNÍN**

3.1 ALCANCES DEL PROYECTO

3.1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La Central Hidroeléctrica de Carpapata suministra energía eléctrica de base a la planta productora de cementos UNACEM S.A.A. En el sector denominado Condorcocha. La línea de transmisión que une la subestación Condorcocha y la subestación Ninatambo opera a 44 kV y tiene una longitud aproximada de 34 Km.

Del proyecto es satisfacer la necesidad de un crecimiento en bloque de la planta productora de cementos para lo cual se requiere reubicar la línea de transmisión en el nivel de 44 kV ya que además en su cercanía la línea recorre libre de construcciones.

3.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

La zona del presente proyecto se ubica en:

Lugar : Planta Condorcocha

Distrito : La Unión Leticia

Provincia : Tarma

Departamento : Junín



Figura 30. Ubicación Geográfica del distrito de Unión Leticia
Fuente: Elaboración propia

El Proyecto de reubicación de la línea de transmisión se inicia con la torre de transmisión eléctrica existente (TE), ubicada en las coordenadas UTM, que se menciona en el siguiente cuadro:

Tabla 7
Coordenadas de la Línea de Transmisión Eléctrica

TORRE	TIPO	VÉRTICE	CONDICIÓN	ZONA	UTM WGS 84		DISTANCIAS (m)	
					Norte (m)	Este (m)	Parcial	Acumulada
T-1	A90	V1	Proyectado	17M	8742446.91	415387.96	0.00	0.00
T-2	A90	V2	Proyectado	17M	8742377.46	415334.89	87.39	87.39
T-3	A20	V3	Proyectado	17M	8742351.64	415377.84	50.11	137.50
T-E	EXIST	V4	Existente	17M	8742326.70	415474.01	99.35	236.86

Nota. Coordenadas en formato UTM WGS 84 sobre la ubicación de las torres del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

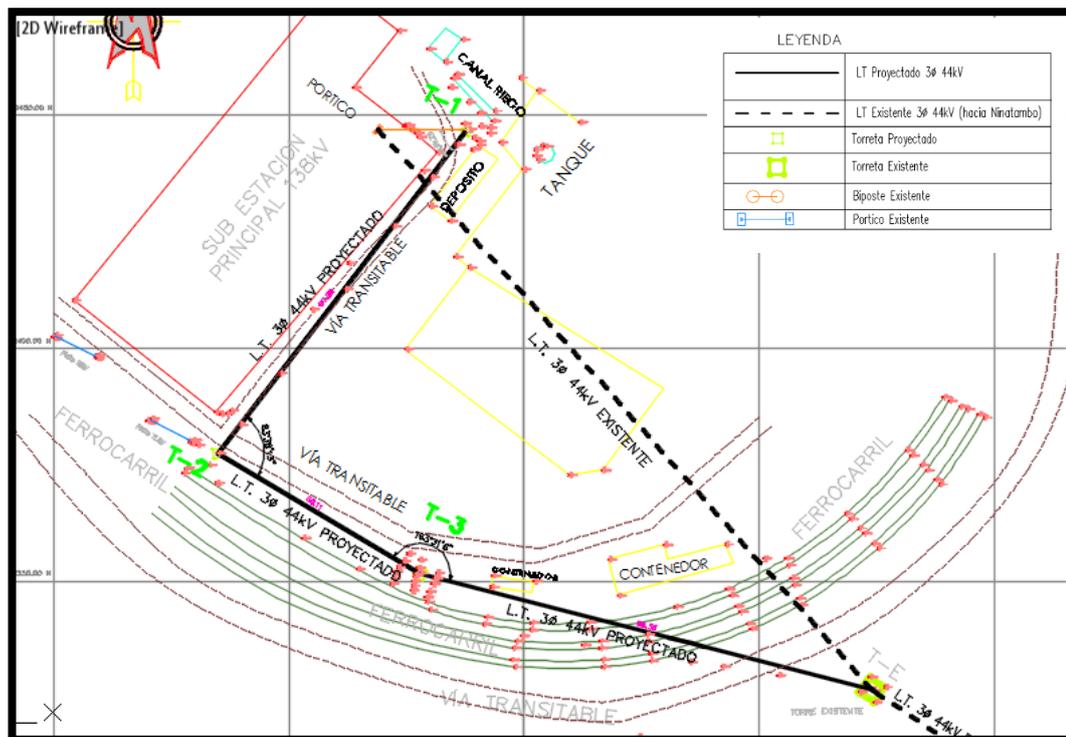


Figura 31. Planimetría del Proyecto de Reubicación de la Línea de Transmisión.
(Fuente: Empresa de Servicios de Ingeniería S.A.C.)

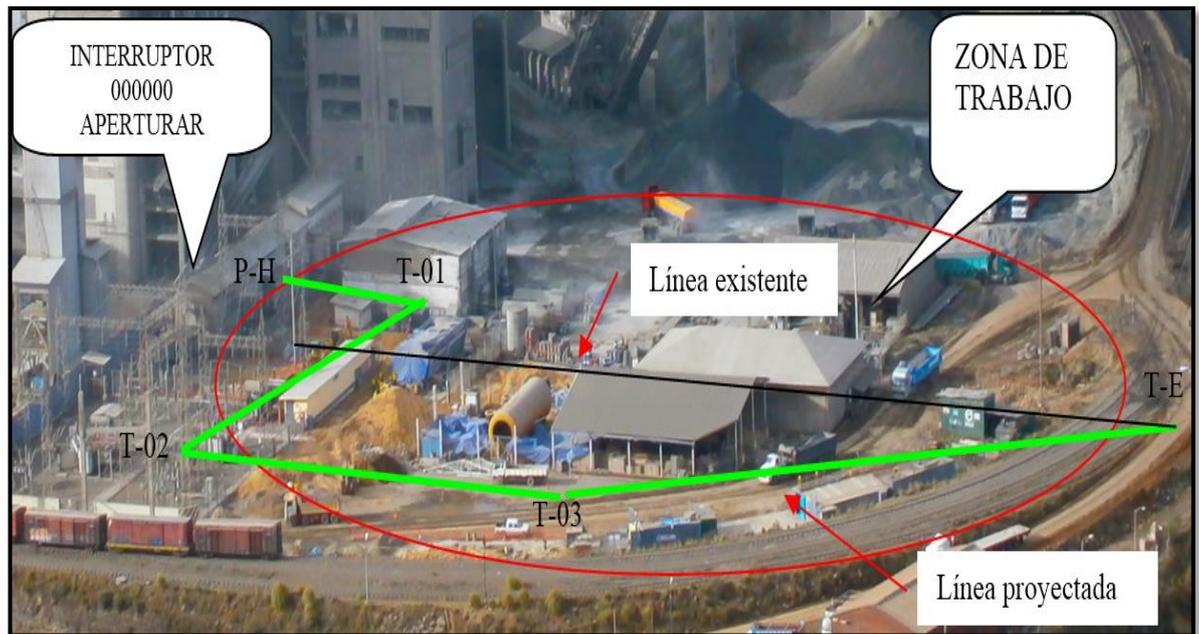


Figura 32. Fisiografía de la Línea de Transmisión
(Fuente: Empresa de Servicios de Ingeniería S.A.C.)

3.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL SISTEMA PROYECTADO

La Línea de alta tensión, será aéreo trifásico con torres de celosía, que partirá desde el punto de diseño hasta la estructura existente y estará ubicada dentro de la propiedad de la Planta Productora de Cemento, como puede apreciarse en los planos y detalles del proyecto, con las siguientes características:

Tensión Nominal	:	44 kV
Sistema Adaptado	:	Trifásico
Frecuencia	:	60 Hz
Conductor a emplear	:	AAAC de 120 mm ²
Torre de celosía	:	22.93 mts. de A.G.

La Línea Proyectada será con torres de celosía de acero al carbono galvanizado en caliente.

El Sistema de protección proyectada será el cable de guarda y el sistema de puesta a tierra.

Las ferreterías serán de acero Galvanizado en caliente de acuerdo a las especificaciones técnicas indicadas en el presente proyecto.

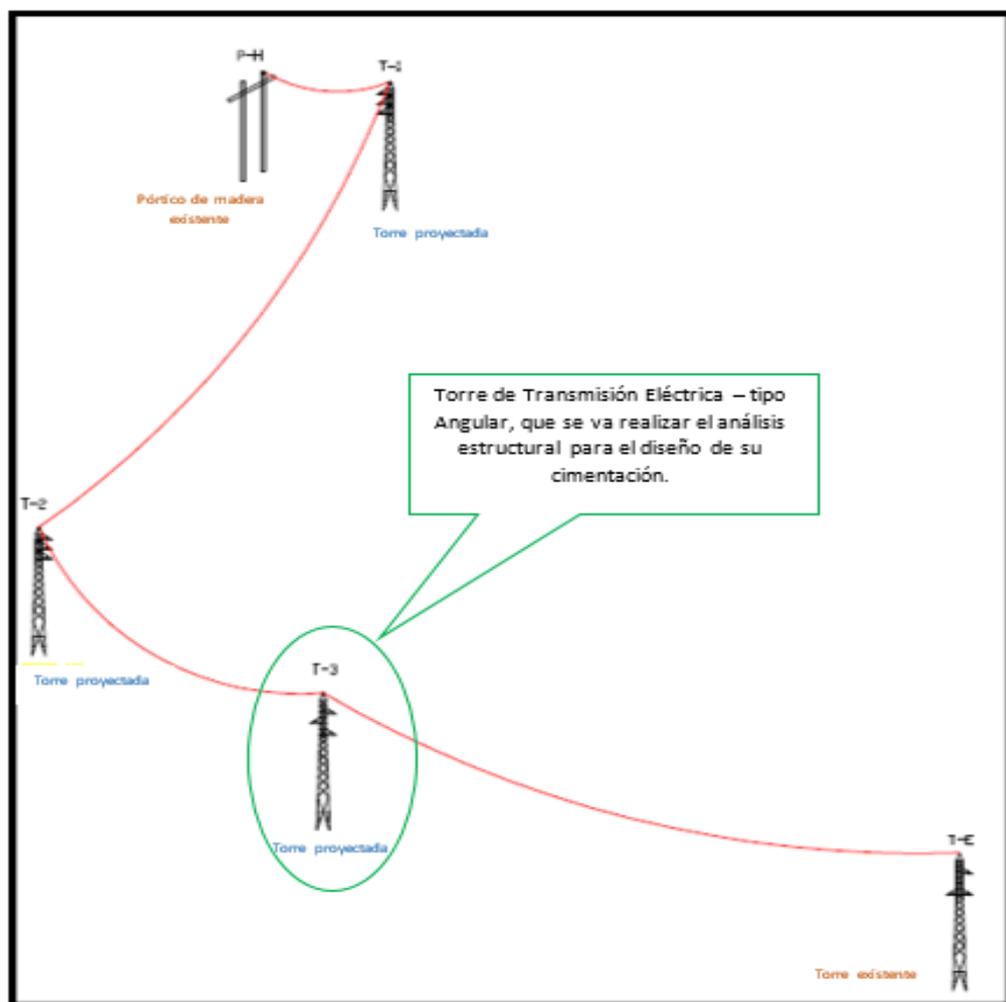


Figura 33. Plano de detalle de ubicación de torres de transmisión eléctrica y tendido de clave. (Fuente: Empresa de Servicios de Ingeniería S.A.C.)

3.3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico se ha realizado teniendo en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones – 2012, vigente para el año que ha sido aprobado el expediente técnico “Reubicación de tramo de línea de transmisión eléctrica 44 kV Planta Condorcocha - Tarma – Junín”. El estudio geotécnico tiene como objetivo clasificar los diferentes tipos de suelos como terreno de base, basándonos en sus propiedades mecánicas.

3.3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Las características climatológicas de la zona del proyecto, hacen referencia básicamente a los principales parámetros, tales como: temperatura, humedad relativa, presión de viento, altitud, etc. Que caracterizan la zona del proyecto. Se seleccionan los siguientes valores para el Proyecto:

- Temperatura Mínima : -5 °C
- Temperatura Máxima : 15 °C
- Temperatura Media Anual : 2 °C
- Humedad relativa promedio : 60%
- Velocidad Máxima del Viento : 104 Km/h
- Meses de Lluvias intensas : Enero a Marzo
- Altitud promedio : 3920 m.s.n.m
- Nivel Isocerámico : 40 días con tormentas al año

3.3.2 PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO

Según el estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación, Ensayo de Capacidad Portante, la exploración del subsuelo se realizó 02 excavaciones a cielo abierto o calicatas estratégicamente ubicadas y los resultados fueron los siguientes:

- El parámetro sísmico a usarse es factor de zona 2, el cual asume un valor de 0.3.
- El tipo de suelo es S3 cuya descripción es un suelo de Suelos flexibles o con estratos de gran espesor y asume un valor de $T_p(s) = 0.9$ y $S = 1.4$. Clasificadas según el Reglamento Nacional de Edificaciones 2012.

En base a los trabajos de campo, ensayos de laboratorio realizados y análisis efectuados se concluyó:

3.3.2.1 Clasificación Granulométrica

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y la AASHTO para cada calicata se clasificaron en:

Tabla 8
Cuadro de clasificación granulométrico

CALICATA	UBICACIÓN	MUESTRA	CLASIFICACIÓN		NOMBRE DEL GRUPO
			SUCS	AASHTO	
C-1	T-01	M-1	SM	A-1-4(0)	Arena Arcillosa con Grava
C-2	T-02	M-1	SM	A-1-4(0)	Arena Arcillosa con Grava

Nota. Cuadro de clasificación de granulométrica de las calicatas evaluadas. Fuente: Empresa TERRALAB S.A.C., Mecánica de Suelos

3.3.2.2 Condiciones del Suelo de Cimentación

Se efectuó 03 ensayos de corte directo por muestras en laboratorio, obteniéndose los siguientes parámetros de resistencia:

Tabla 9
Cuadro de cohesión y ángulo de fricción del suelo

CALICATA	UBICACIÓN	COHESIÓN	ϕ
C - 1	T-01	0.058	22.8
C - 2	T-02	0.48	23.1

Nota. Valores de Cohesión y Ángulo de Fricción del suelo de las calicatas evaluadas. Fuente: Empresa TERRALAB S.A.C., Mecánica de Suelos

3.3.2.3 Cálculo de la Capacidad Admisible de carga y asentamiento:

El ingeniero estructural verifica las cargas transmitidas al terreno por unidad de área. En el presente, se ha realizado el análisis estático de la capacidad de carga, en la cual se ha determinado características geométricas asumidas.

La expresión que determina la capacidad admisible, estará afectada por un factor de seguridad de acuerdo a las recomendaciones de diseño empleados en el país ($q_{adm} = q_{ult}/FS$), en el cálculo se han empleado factores de seguridad que responden a cada uno de los parámetros que participan en el desarrollo de los cálculos.

Para la evaluación de la capacidad portante tenemos los datos brindados por el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Empresa

TERRALAB SAC: valores que varían de acuerdo a la profundidad y geometría de la cimentación además a mayor profundidad notamos que se va ganando propiedades de resistencia.

Tabla 10
Resultado de la Capacidad Portante del suelo

CALICATA	UBICACIÓN	CAPACIDAD PORTANTE
C – 1	T - 01	1.69 kg/cm ² para una Prof. De 3.00 m.
C – 2	T - 02	1.77 kg/cm ² para una Prof. De 3.00 m

Nota. Cálculo de la Capacidad portante del suelo correspondiente a las calicatas evaluadas. Fuente: Empresa TERRALAB S.A.C., Mecánica de Suelos

Para el desarrollo del diseño de la cimentación para torre de transmisión eléctrica se utilizó la capacidad de carga admisible de 1.69 Kg/cm².

CAPITULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

4.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.1.1 PRESIÓN DE VIENTO.

La presión de viento que se aplicarán sobre las áreas proyectadas de los conductores, estructuras de soporte y aisladores, se calculara mediante la fórmula del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011, Regla 250.C., que a continuación se presenta.

$$PV = K * V^2 * Sf * A$$

Donde:

P_v = Carga en Newton

K = Constante de Presión

0.455 para elevaciones mayores de 3000 m.s.n.m.

V = Velocidad del viento en m/s

S_f = Factor de forma

3.2 para torres de celosía

1.00 para conductores, aisladores y postes de concreto o metálico.

A = Área proyectada en m^2

Tabla 11
Zonas de cargas A, B y C de Perú

Tabla 250-1.A
Viento y temperatura para las zonas de carga A, B y C
(Para ser utilizado con la Regla 250.B)

Zona de Carga	A Ligera	B Regular	C Fuerte
Velocidad horizontal del viento	19,5 m/s (70 km/h)	22,2 m/s (80 km/h)	25 m/s (90 km/h)
Temperatura	20 °C	15 °C	10 °C

Nota. Viento y temperatura para las zonas de carga A, B y C de Perú.
Fuente: Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011

La velocidad del viento se aplicará según el Código Nacional de Electricidad Suministro para la zona B de carga y Área 1 para altitudes de 3 000 m.s.n.m. a 4 000 m.s.n.m., utilizando la Tabla 250-

1. B y la fórmula de la regla 250.C, en donde se establece la velocidad horizontal de viento igual a 29,0 m/s (104 km/h) relacionado con una temperatura del medio ambiente de 15°C.

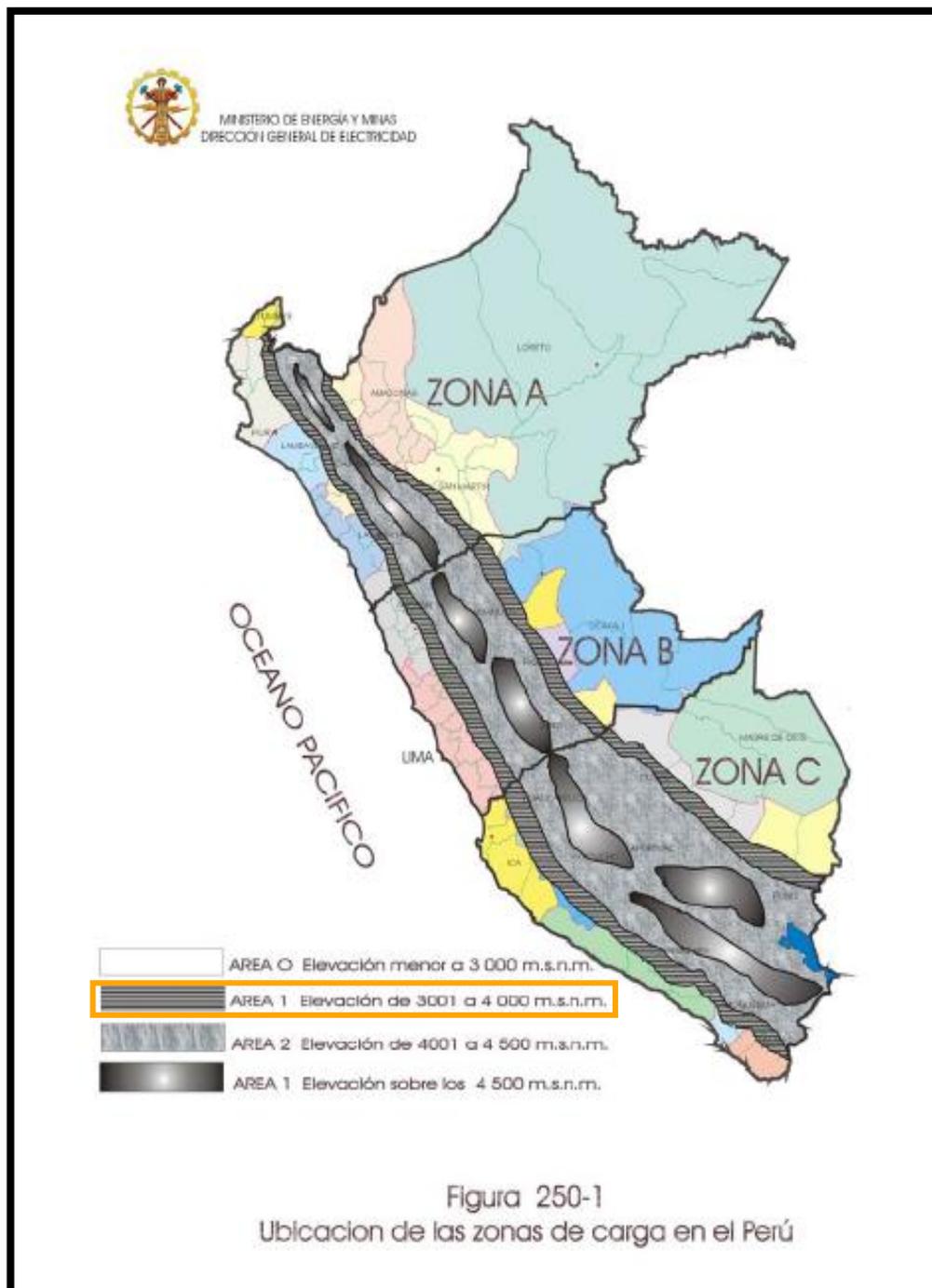


Figura 34. Ubicación de las zonas de cargas en Perú
(Fuente: Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011)

Tabla 12
Cuadro de velocidad del viento por áreas

Tabla 250-1-B
Viento, hielo y temperatura para las áreas de carga 1, 2 y 3
(Para ser utilizado con la Regla 250.B)

Zona de carga	Área 0 elevación menor de 3 000 m.s.n.m.	Área 1 elevación 3 000-4 000 m.s.n.m.	Área 2 elevación 4 001-4 500 m.s.n.m.	Área 3 elevación a partir de 4 500 m.s.n.m.
Caso de sólo viento				
Velocidad horizontal del viento	26 m/s (94 km/h)	29 m/s (104 km/h)	31,5 m/s (113 km/h)	33,5 m/s (120 km/h)
Temperatura °C	10 °C	5 °C	0 °C	-5 °C
Caso de sólo hielo				
Grosor radial del hielo mm	No hay	6 mm	25 mm	50 mm
Temperatura	0 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C
Caso combinado de hielo y viento				
Grosor radial del hielo	No hay	3 mm	12 mm	25 mm
Velocidad horizontal del viento	14 m/s (50 km/h)	14,5 m/s (52 km/h)	15,5 m/s (56 km/h)	17 m/s (61 km/h)
Temperatura	5 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C

Nota. Velocidad del viento, hielo y temperatura según área de zona. Fuente: Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011

- Reemplazando en la fórmula:
- Presión Máxima de viento:

$$P_v = 0.455 * 29^2 * 1 * 1 = 382.65 \frac{N}{m^2} = 39.01 \frac{kg}{m^2}$$

- Presión Mínima de viento:

$$P_v = 0.455 * 14.5^2 * 1 * 1 = 95.66 \frac{N}{m^2} = 9.75 \frac{kg}{m^2}$$

4.1.2 FUERZAS ACTUANTES SOBRE LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.

Las cargas son las fuerzas exteriores e interiores que actúan sobre cualquier estructura, son el punto principal para el análisis y diseño.

Las cargas verticales o gravitacionales, son provocadas por la fuerza de atracción de la tierra sobre cualquier objeto. Las cargas vivas consisten principalmente en las provocadas por el peso del personal y el equipo para realizar el mantenimiento de la torre de transmisión eléctrica. Las cargas muertas pueden ser básicamente de tres tipos: las cargas debidas al peso propio de la estructura, las cargas debido al peso de los conductores y fundación (pedestal y cimiento) del concreto.

Las cargas horizontales o laterales, para el diseño de la torre las que se toman en nuestro país son las provocadas por el viento y sismo.

4.1.2.1 DETERMINACIÓN DE CARGAS EN ESTRUCTURAS DE TORRES DE CELOSÍA.

- A. **Hipótesis para la determinación del árbol de carga** para las líneas de transmisión eléctrica de 44kV, se verifica para las condiciones finales de carga del conductor.
- **HIPÓTESIS A:** Viento Transversal Máximo.

- **HIPÓTESIS B:** Viento Máximo 45° del eje de la línea.
- **HIPÓTESIS C:** Rotura de Conductor, Viento Nulo.
- **HIPÓTESIS D:** Condición de tendido, Viento Nulo.

Tabla 13
Cuadro de cargas últimas.

HIPÓTESIS	T1	V1	L1	T2	V2	L2	T3	V3	L3
A	879	823.5	3	879	823.5	3	879	823.5	3
B	462	823.5	31.5	462	823.5	31.5	462	823.5	31.5
C	15.6	682.5	1136	32.5	713.7	0	32.5	713.7	0
D	0	1649	0	0	1649	0	0	1649	0

Nota. Cuadro de cargas últimas de acuerdo a cada hipótesis. Fuente: Empresa de Servicios de Ingeniería S.A.C.

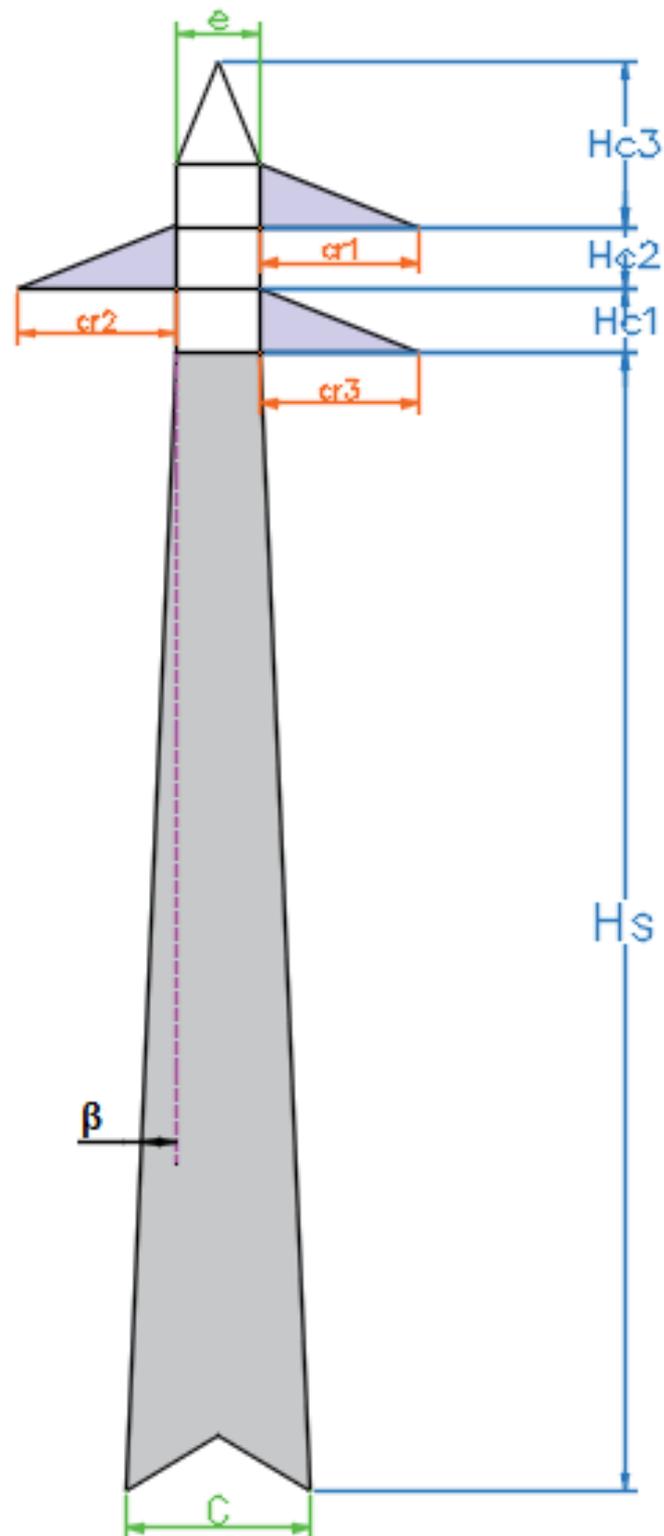
B. Características físicas (dimensiones) de la estructura

Figura 35. Características físicas de la torre
(Fuente: Elaboración propia)

Donde:

$$\begin{aligned} H_s &= 18.80 \text{ m} \\ H_{c1} &= 0.73 \text{ m} \\ H_{c2} &= 0.73 \text{ m} \\ H_{cg} &= 1.94 \text{ m} \\ H_m &= 3.39 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} cr_1 &= 3.95 \text{ m} \\ cr_2 &= 3.95 \text{ m} \\ cr_3 &= 3.95 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 3.00 \text{ m} \\ e &= 0.97 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Tg \ b = 0.05$$

Tabla 14
Cuadro de cargas de la estructura

CARGA	HIPÓTESIS "A"		HIPÓTESIS "B"		HIPÓTESIS "C"		HIPÓTESIS "D"	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Tcg	507	0	507	0	507	0	507	0
Vcg	648	0	648	0	648	0	648	0
Lcg	0	130	0	130	0	130	0	130
T1	879	0	462	0	16	0	0	0
V1	824	824	824	824	683	683	1 649	1 649
L1	0	3	0	32	0	1 136	0	0
T2	879	0	462	0	33	0	0	0
V2	824	824	824	824	714	714	1 649	1 649
L2	0	3	0	32	0	0	0	0
T3	879	0	462	0	33	0	0	0
V3	824	824	824	824	714	714	1 649	1 649
L3	0	3	0	32	0	0	0	0

Nota. Cuadro de cargas de la estructura descrita por cada hipótesis. Fuente: Empresa de Servicios de Ingeniería S.A.C.

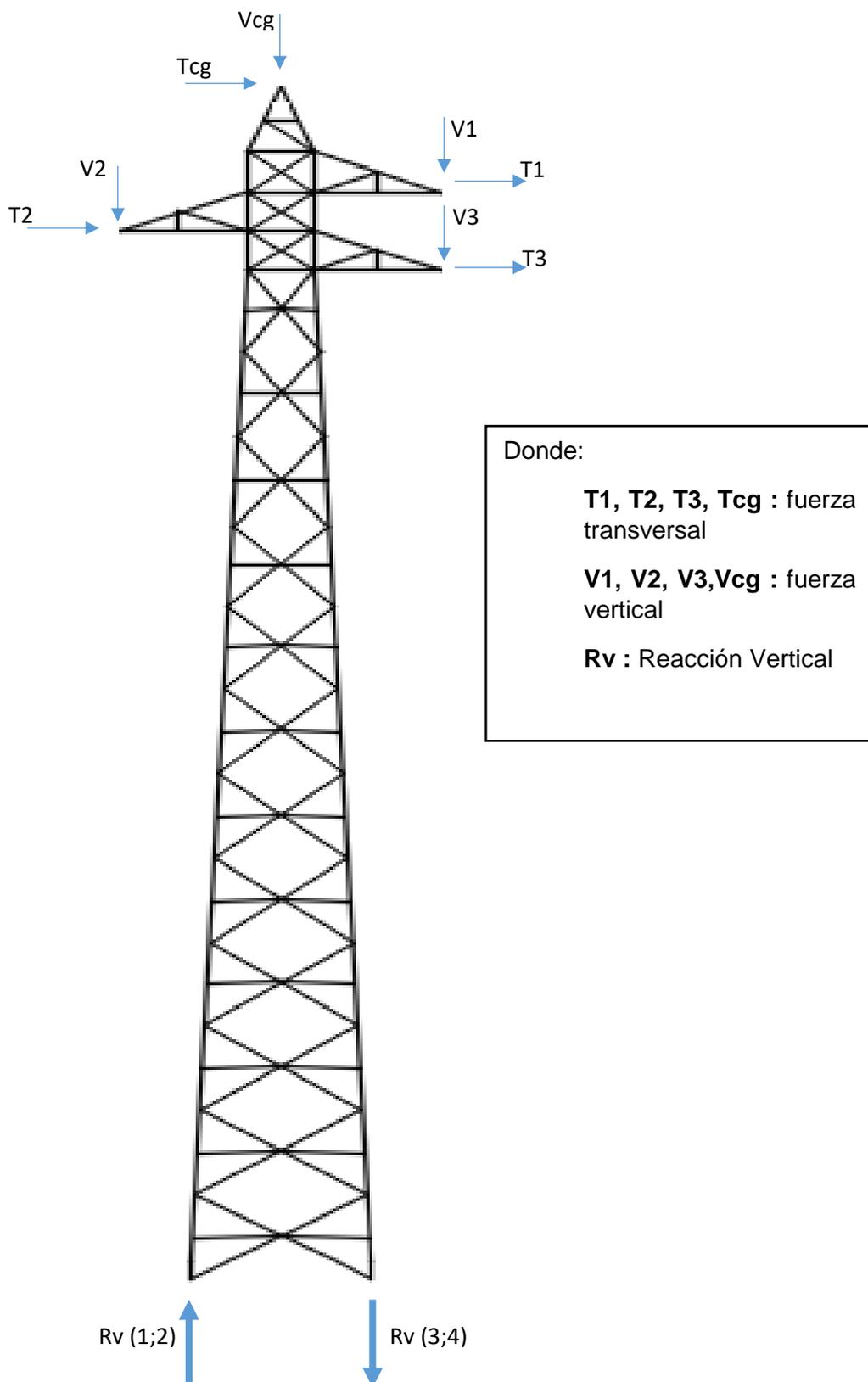


Figura 36. Carga vertical y transversal sobre la torre
(Fuente: Elaboración propia)

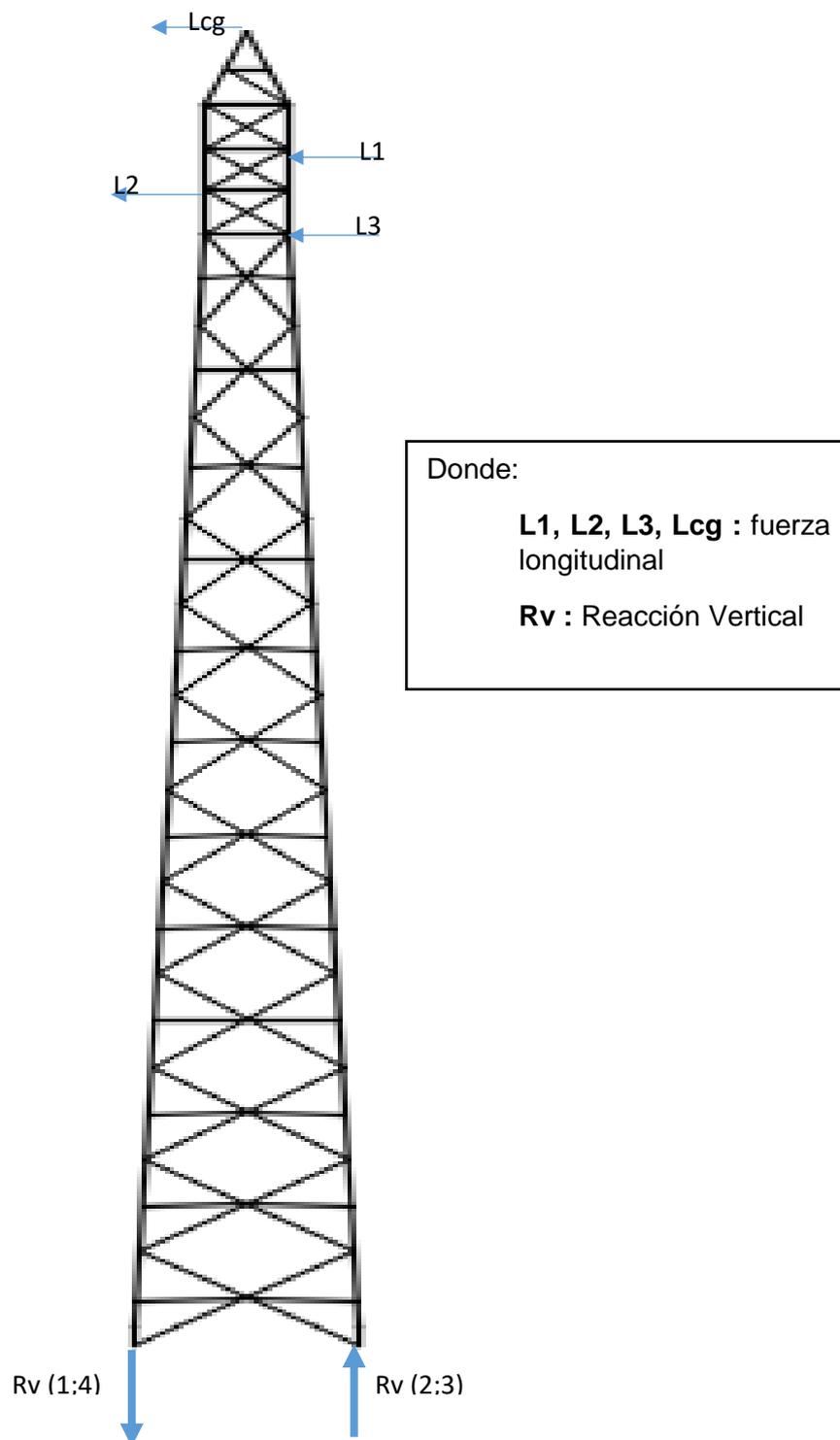


Figura 37. Carga Longitudinal sobre la torre
(Fuente: Elaboración propia)

4.1.2.2 CÁLCULO DE LAS REACCIONES VERTICALES DE ACUERDO A CADA HIPÓTESIS.

A. Análisis estático en el sentido transversal

- Cálculo de la presión del viento por área de incidencia.

La superficie lateral de la torre la dividimos en 2 zonas de incidencia de la presión del viento.

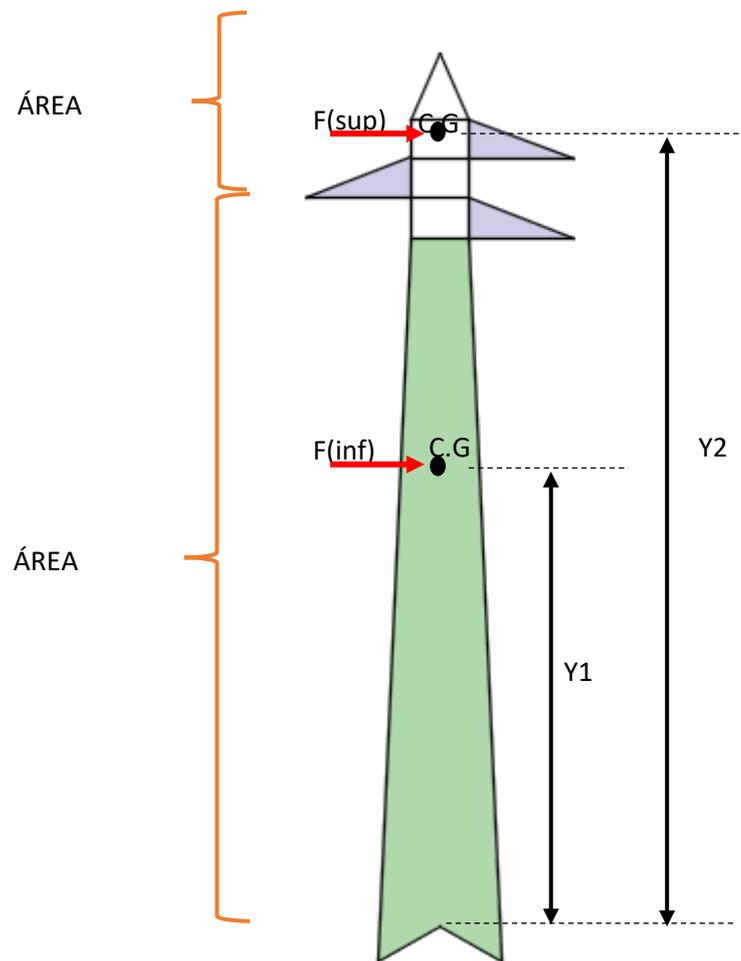


Figura 38. Puntos de incidencia de la presión del viento sobre la torre
(Fuente: Elaboración propia)

- Cálculo de las áreas de incidencia:

$$\begin{aligned} \text{Área inferior (A1)} &= 37.31 \quad \text{m}^2 \\ \text{Área superior (A2)} &= 3.29 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A1 real (10\%)} &= 3.73 \quad \text{m}^2 \\ \text{A2 real (25\%)} &= 0.82 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

- La Fuerza Máxima aplicada será:

$$\begin{aligned} F(\text{inf}) &= 145.55 \quad \text{kg} \\ F(\text{sup}) &= 32.09 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

- Los puntos de aplicación de la presión del viento serán los C.G. de las áreas superior e inferior:

$$\begin{aligned} y_1 &= 7.71 \quad \text{m} \quad (\text{inferior}) \\ y_2 &= 20.50 \quad \text{m} \quad (\text{superior}) \end{aligned}$$

- El Momento Máximo aplicado será:

$$M_1 = 7.71 \times 145.55 = 1\,122 \quad \text{kg-m}$$

$$M_2 = 20.50 \times 32.09 = 658 \quad \text{kg-m}$$

$$M_W = 1\,122 + 658 = 1\,780 \quad \text{kg-m}$$

- Cálculo de momentos generados por las fuerzas transversales y verticales.

Tabla 15
Cuadro de momentos por fuerzas transversales y verticales.

MOMENTOS EN		HIPOTESIS "A"		HIPOTESIS "B"		HIPOTESIS "C"		HIPOTESIS "D"	
		L	T	L	T	L	T	L	T
ESTRUCTURA									
MTcg	(kg-m)	11 253	0	11 253	0	11 253	0	11 253	0
MT1	(kg-m)	17 805	0	9 358	0	316	0	0	0
MT2	(kg-m)	17 166	0	9 022	0	635	0	0	0
MT3	(kg-m)	16 527	0	8 687	0	611	0	0	0
MVcg	(kg-m)	- 972	0	- 972	0	- 972	0	- 972	0
MLcg	(kg-m)	0	-2 791	0	-2 791	0	-2 791	0	-2 791
MV1	(kg-m)	2 417	2 417	2 417	2 417	2 003	2 003	4 838	4 838
MV2	(kg-m)	-4 887	-4 887	-4 887	-4 887	-4 235	-4 235	-9 783	-9 783
MV3	(kg-m)	2 417	2 417	2 417	2 417	2 094	2 094	4 838	4 838
MPp	(kg-m)	-5 520	-5 520	-5 520	-5 520	-5 520	-5 520	-5 520	-5 520
MW	(kg-m)	1 780	1 780	1 780	1 780	1 780	1 780	1 780	1 780
S M	(kg-m)	57 984	-6 585	33 554	-6 585	7 964	-6 670	6 432	-6 639

Nota. Cuadro de resultados de valores de momentos por fuerzas transversales y verticales. Fuente: Elaboración propia.

- Reacciones verticales en los cimientos de la estructura (por fuerzas transversales).

Tabla 16
Cuadro de reacciones por fuerzas transversales y verticales

	HIPOTESIS "A"		HIPOTESIS "B"		HIPOTESIS "C"		HIPOTESIS "D"	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Rv (1) kg	9 664	-1 098	5 592	-1 098	1 327	-1 112	1 072	-1 107
Rv (2) kg	9 664	-1 098	5 592	-1 098	1 327	-1 112	1 072	-1 107
Rv (3) kg	-13 063	-1 977	-8 991	-1 977	-4 546	-1 783	-5 709	-3 206
Rv (4) kg	-13 063	-1 977	-8 991	-1 977	-4 546	-1 783	-5 709	-3 206

Nota. Cuadro de resultados de reacciones sobre la fundación para cada hipótesis. Fuente: Elaboración propia.

- Cortante máxima por fuerzas transversales (hx).
 $H_x = C_{\text{máx}} * T_{g\beta} = 13\ 063 \times 0.05 = 653 \text{ Kg}$ (por cimentación)

B. Análisis estático en el sentido longitudinal.

- Cálculo de momentos generados por las fuerzas longitudinales.

Tabla 17
Cuadro de momentos por fuerzas longitudinales

MOMENTOS EN ESTRUCTURA		HIPOTESIS "A"		HIPOTESIS "B"		HIPOTESIS "C"		HIPOTESIS "D"	
		L	T	L	T	L	T	L	T
MLcg	(kg-m)	0	2 791	0	2 791	0	2 791	0	2 791
ML1	(kg-m)	0	59	0	615	0	22 189	0	0
ML2	(kg-m)	0	56	0	592	0	0	0	0
ML3	(kg-m)	0	56	0	592	0	0	0	0
S M	(kg-m)	0	2 962	0	4 591	0	24 980	0	

Nota. Cuadro de resultados de momentos producidas por las fuerzas longitudinales.
Fuente: Elaboración propia.

- Reacciones verticales en las patas de la estructura (por fuerzas longitudinales).

Tabla 18
Cuadro de reacciones producidas por fuerzas longitudinales

	HIPOTESIS "A"		HIPOTESIS "B"		HIPOTESIS "C"		HIPOTESIS "D"	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Rv (1) kg	0	494	0	765	0	4 163	0	0
Rv (2) kg	0	494	0	765	0	4 163	0	0
Rv (3) kg	0	494	0	765	0	4 163	0	0
Rv (4) kg	0	494	0	765	0	4 163	0	0

Nota. Resultado de cuadro de reacciones producidas por fuerzas longitudinales en las cuatro cimentaciones la de torre. Fuente: Elaboración propia.

- Cortante máxima por fuerzas longitudinales (hy).

$$H_x = C_{\text{máx}} * T_{g\beta} = 494 \times 0.05 = 25 \text{ Kg (por cimentación)}$$

C. Reacciones verticales totales en las cimentaciones de la estructura (por todas las fuerzas).

Tabla 19
Cuadro de resultados finales de reacciones

	HIPOTESIS "A"		HIPOTESIS "B"		HIPOTESIS "C"		HIPOTESIS "D"	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Rv (1) kg	9 664	- 604	5 592	- 333	1 327	3 051	1 072	-1 107
Rv (2) kg	9 664	- 604	5 592	- 333	1 327	3 051	1 072	-1 107
Rv (3) kg	-13 063	-1 483	-8 991	-1 212	-4 546	2 380	-5 709	-3 206
Rv (4) kg	-13 063	-1 483	-8 991	-1 212	-4 546	2 380	-5 709	-3 206

Nota. Cuadro de reacciones producidas por todas las fuerzas, siendo los de signo negativo (-) representa a la fuerza a compresión y el signo Positivo (+) representa a la fuerza a tracción.

De acuerdo al análisis realizado para cada hipótesis, se obtuvo que la Hipótesis A, es el caso mas crítico y dándonos como resultado final fuerza de tracción máxima igual a 9 664 Kg (por cimentación) y la fuerza de compresión máxima y a 13 063 Kg (por cimentación).

4.1.3 SIMULACIÓN DE UNA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.

En la actualidad, existen muchos programas de análisis o de diseño estructural. Uno de estos programas es el programa SAP 2000, que es empleado en el área de ingeniería estructural para analizar, diseñar o revisar estructuras de acuerdo con el reglamento ACI, entre otros reglamentos.

El objetivo principal de realizar la modelación de estructuras en el programa SAP 2000, es obtener los desplazamientos, deformaciones y fuerzas en los elementos de la estructura a analizar, el cual nos ayudara a verificar si las fuerzas estáticas calculadas manualmente se asemejan al resultado de la modelación y asegurando el adecuado comportamiento de la estructura, en este caso la estabilidad de la torre de transmisión eléctrica.

Para la simulación se tomó en cuenta todos los aspectos citados a continuación:

4.1.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA:

- A. Tipo de estructura:** Torre autosoportada de transmisión eléctrica
- tipo angular.

B. Configuración: La estructura es de tipo celosía con conexiones, entre elementos empernadas.

C. Dimensiones básicas:

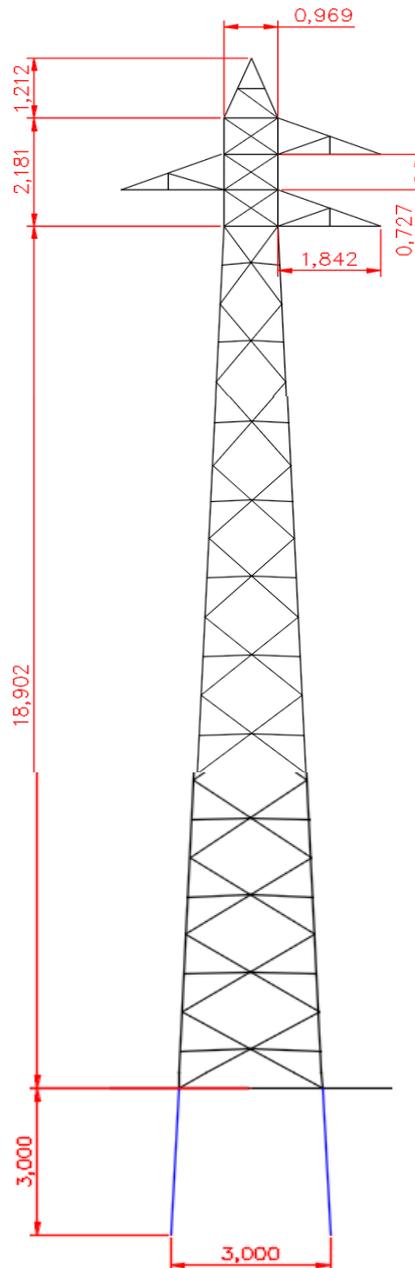


Figura 39. Dimensiones geométricas de la torre
(Fuente: Elaboración propia).

4.1.3.2 NORMAS APLICADAS CON EL PROGRAMA SAP 2000:

La revisión y diseño de los elementos lo realiza el SAP 2000 con base en el a las siguientes normas:

- Manual de Diseño para Marcos de Acero AISC 360-05/IBC 2006 – LRFD para estructuras metálicas.
- Norma ASCE 10-97, Diseño de estructuras reticuladas para transmisión eléctrica.

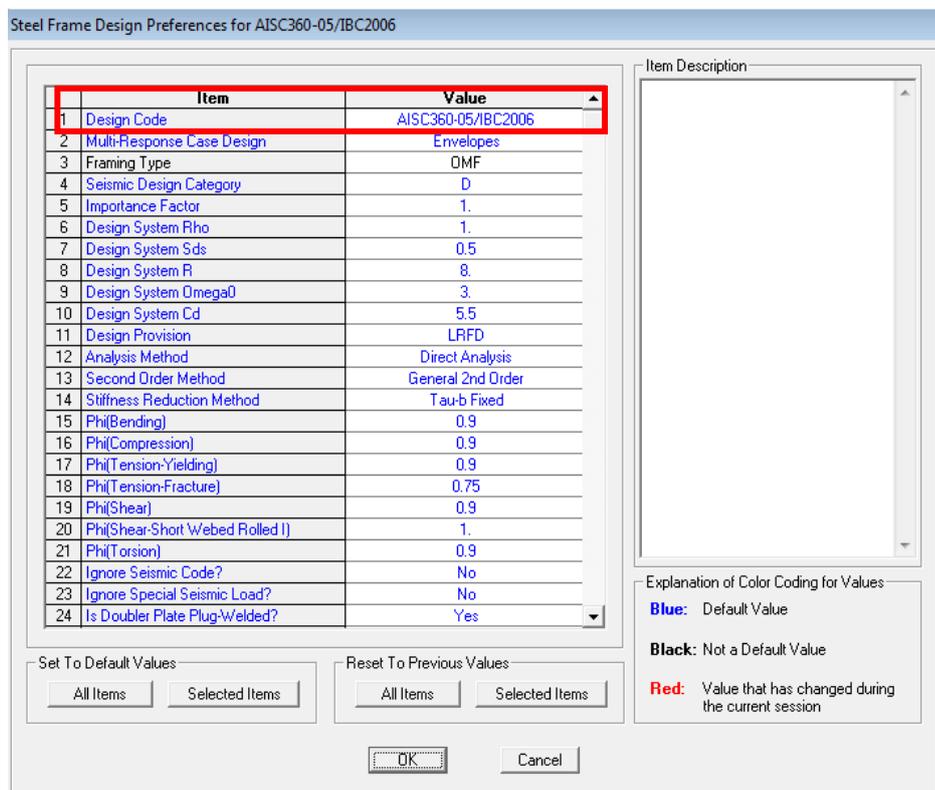


Figura 40. Factores para el diseño en SAP2000
(Fuente: Elaboración propia).

4.1.3.3 MODELACIÓN CON EL PROGRAMA SAP 2000:

Para la elaboración del modelo de la torre de transmisión se tomaron en cuenta aspectos como el peso propio de los elementos que conforman la torre, el peso propio de los cables conductores y de guarda, así como el peso propio de los herrajes y aisladores, las que se trabajaron obteniendo las cargas ultimas en el árbol de cargas de torre de transmisión eléctrica. La velocidad que considero para la modelación corresponde a una velocidad regional de viento de 29m/s (104 km/h).

Para realizar la modelación de la torre de transmisión se tomó como base una torre de 60 kV para una potencia a transferir de 44 kV, según nos especifica el Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011.

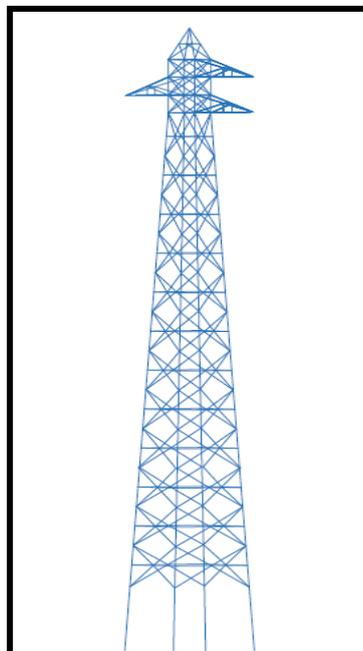


Figura 41. Modelo de la torre de transmisión en tres dimensiones (Fuente: Elaboración propia).

4.1.3.4 ANÁLISIS DE CARGAS

A. ANÁLISIS ANTE CARGA MUERTA

Para realizar el análisis de la torre ante carga muerta se tomaron en cuenta las cargas por el peso propio de la estructura que es igual a 3680.29 kg. El peso propio de la estructura fue afectado por un factor de 1.5 para considerar los elementos no estructurales que no se incluyen en el programa de análisis, tales como los ángulos que conforman a la torre, el peso propio de los herrajes y aisladores, tornillos, platinas, galvanizados, entre otros.

Según lo que indican los esquemas de carga de la torre de transmisión eléctrica, se diseñaron las torres considerando los estados de carga antes mencionados, teniendo en cuenta que las cargas son últimas e incluyen los factores de seguridad.

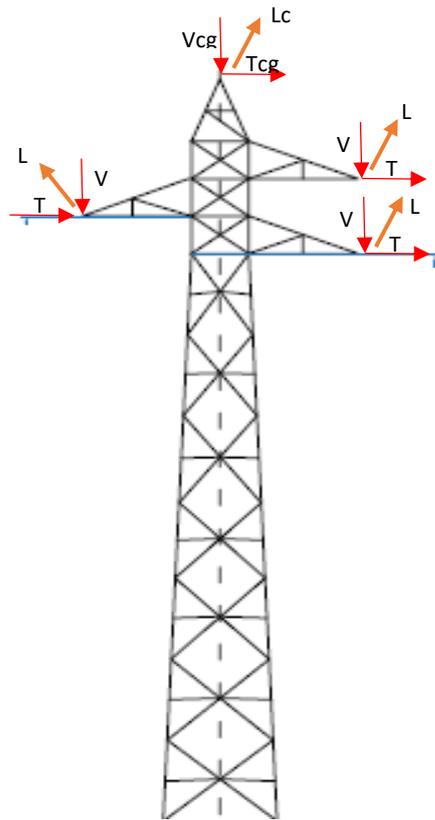


Figura 42.Árbol de cargas
(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 20
Cuadro de cargas de la Hipótesis A

HIPÓTESIS	T1	V1	L1	T2	V2	L2	T3	V3	L3	Tcg	Vcg	Lcg
A	879	823.5	3	879	823.5	3	879	823.5	3	507	648	130

Nota: Cuadro de cargas de la estructura de la hipótesis A. Fuente: Empresa de Servicios S.A.C.

- T : Fuerza transversal
- V : Fuerza vertical
- L : Fuerza Longitudinal

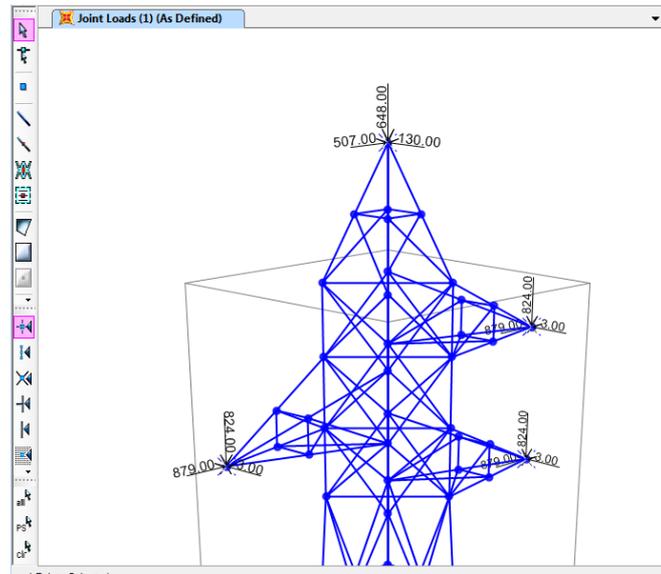


Figura 43. árbol de cargas en el Sap 2000
(Fuente: Elaboración propia)

De los análisis realizados con los diferentes tamaños de secciones, los elementos que resultan más esforzados son los que se localizan en la parte inferior de la torre.

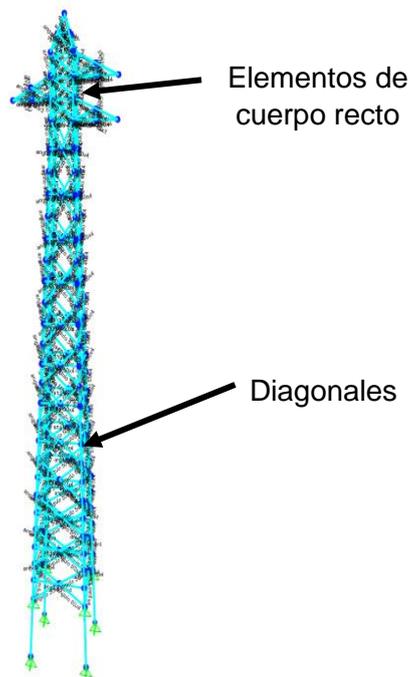


Figura 44. Análisis de la torre ante carga muerta
(Fuente: Elaboración propia).

En la figura 46, nos muestra la torre de transmisión eléctrica de color celeste que quiere decir que son los elementos menos esforzados de la torre ante la combinación de cargas que considera: carga muerta, viento y el efecto de los conductores en la torre y cuando en la simulación nos muestras algunos elementos de color rojo, lo que indica la falla del elemento.

B. ANÁLISIS ANTE CARGA DE VIENTO

- **Presión de viento:** Se aplicarán sobre las áreas proyectadas de los conductores, estructuras de soporte y aisladores, se calculará mediante la fórmula del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011, regla 250.C., que a continuación se presenta:

$$Pv = K \times V^2 \times S \times f \times A$$

Reemplazando en la fórmula: Para estructuras de celosía (torres):

$$Pv = 0.455 \times (29)^2 \times 3.2 \times 1.00 \times 1.00 = 1224.49 \frac{N}{m^2}$$

$$Pv = 124.86 \text{ kg /m}^2$$

- **Análisis resultados de las fuerzas sobre la torre:**

De la modelación que se realizó, las fuerzas resultantes que actúan en la cimentación son las siguientes nos muestra la siguiente figura:

Tabla 21

Cuadro de reacciones obtenidas por Sap 2000

reacciones	VERTICAL	TRANSVERSAL
R (1)	-10 569.14 kg	-3 844.11 kg
R (2)	-11 346.12 kg	-3 665.36 kg
R (3)	9 011.58 kg	-3 929.00 kg
R (4)	9 783.69 kg	-3 583.39 kg

Nota. Cuadro de resultados de reacciones obtenidas por Sap 2000 que se ejercen sobre la cimentación de la torre. Fuente: Elaboración propia.

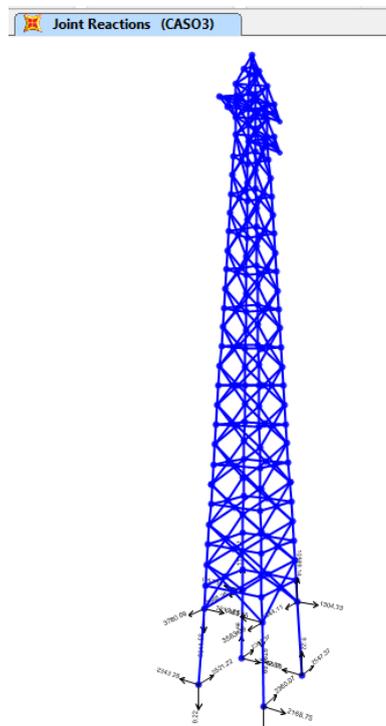


Figura 47. Análisis de la torre con las fuerzas resultantes en la cimentación (Fuente: Elaboración propia)

4.1.3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS:

De los resultados obtenidos del análisis estructural de la torre de forma mecánica la fuerza de tracción es **9, 664 Kg** que equidista en 119.69 Kg de la obtenida por medio del SAP 2000, siendo la fuerza de tracción 9, 783.69 Kg. La fuerza a compresión obtenida de forma mecánica es **13, 063 Kg** que equidista en 1,766.88 Kg de la obtenida por el SAP 2000, siendo la fuerza a compresión 11, 346.12 Kg. Se toma la decisión de continuar con el diseño de la cimentación con las fuerzas obtenidas de forma mecánica por ser resultados más conservadores a la realidad.

4.2 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

Se aplica el método del Talud natural o ángulo de arrastre de Tierras para el diseño de la cimentación para torres de transmisión eléctrica.

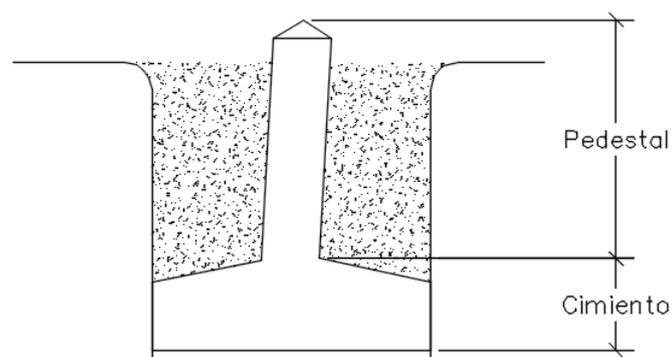


Figura 48. Partes de una fundación
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.

4.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES:

- Peso específico concreto (δ concreto).....2400.00 kg/m³
- Peso específico del terreno (δ terreno).....1800.00 kg/m³
- Resistencia a la fluencia (f_y)..... 4200.00 kg/cm²
- Resistencia del concreto (f_c)..... 210.00 kg/cm²
- Capacidad Portante del Terreno (σ)..... 1.69 kg/cm²
- Angulo del talud (β)..... 22.8°

4.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE:

- Separación entre cimentación de eje (C)..... 3.00 m
- Peso de la torre 3680.29 kg

4.2.1.3 FUERZAS MECÁNICAS:

- Fuerza a la Compresión (C)..... 13063.00 kg
- Fuerza a la Tracción (T)..... 9664.00 kg
- Fuerza Cortante Transversal en la Base (Hx)..... 653.00 kg
- Fuerza Cortante Longitudinal en la Base (Hy)..... 25.00 kg
- Factor de Seguridad (F.S.)..... 1.00

4.2.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA FUNDACIÓN:

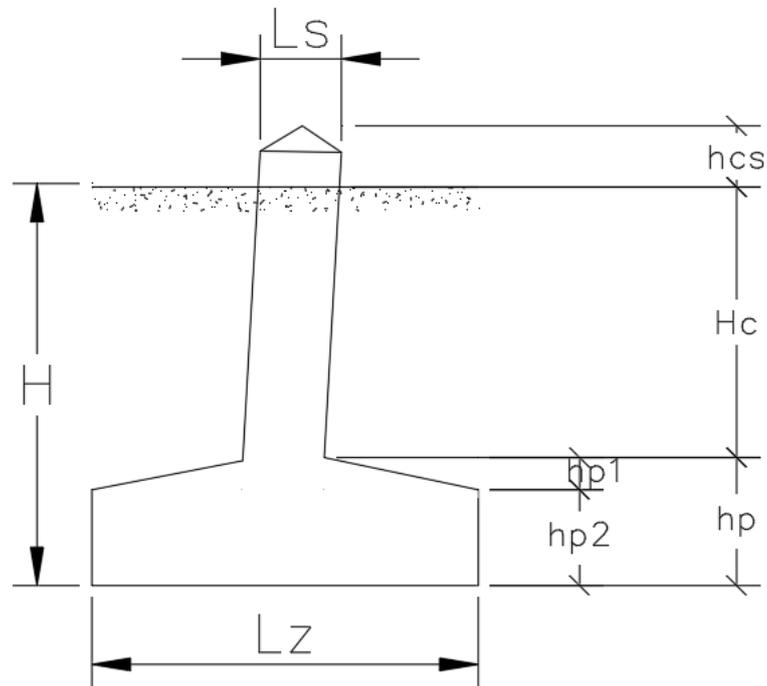


Figura 49. Representación de una zapata Aislada
(Fuente: Elaboración propia)

Donde:

L_z = Longitud de zapata

L_s = Longitud superior del pedestal

h_p = altura del peralte del dado

H = altura de la zapata.

h_p = altura del peralte del dado

L_s	=	0.50	m
Area sec. pedestal	=	0.25	m^2
H_c	=	1.75	m
h_{cs}	=	0.25	m
H_c+h_{cs}	=	2.00	

hp1	=	0.10	m
hp2	=	0.40	m
hp1+hp2	=	0.50	
H	=	2.25	m
Lz	=	2.00	m
Area zapata	=	4.00	m ²

4.2.2 COMPROBACIÓN AL ARRANQUE

Se comprobará que el coeficiente de estabilidad de la cimentación, definido como la relación entre las fuerzas que se oponen al arranque del apoyo y la carga nominal de arranque, no sea inferior a 1.5 para las hipótesis normales.

4.2.2.1 CÁLCULO DEL PESO DEL CIMENTO

$$P_{cimiento} = \delta_{concreto} \left[L_z^2 \cdot h_{p2} + \frac{h_{p1}}{3} (L_z^2 + L_s^2 + L_s \cdot L_z) + L_s^2 \cdot (H_C + h_{cs}) \right]$$

$$P_{cimiento} = 2400 \left[2^2 \cdot 0.40 + \frac{0.10}{3} (2^2 + 0.50^2 + 0.50 \cdot 2) + 0.50^2 \cdot (1.75 + 0.25) \right]$$

$$P_{cimiento} = 5,460.00 \text{ kg}$$

Como resultado de la operación se obtiene que el peso del cemento es 5 460 kg.

4.2.2.2 PESO DE LAS TIERRAS (RELLENO) SOBRE LA CIMENTACIÓN

$$P_{tierra} = \delta_{Terr} \left[H \cdot LZ^2 - \frac{P_{cimiento}}{\delta_{concreto}} \right]$$

$$P_{tierra} = 1800 \left[2.25 * 2^2 - \frac{5460}{2400} \right]$$

$$P_{tierra} = 12,105.00 \text{ kg}$$

Como resultado de la operación se obtiene que el peso de las tierras que se utilizan como relleno sobre la cimentación es de 12 105 kg.

4.2.2.3 PESO DE LAS TIERRAS ARRANCADAS SEGÚN EL ÁNGULO NATURAL DEL TERRENO

$$P_{\beta} = \delta_{suelo} \left[\frac{H}{3} [(A + 2 \cdot H \cdot \tan\beta)^2 + A \cdot (A + 2 \cdot H \cdot \tan\beta) + A^2] - H \cdot A^2 \right]$$

$$P_{\beta} = 1800 \left[\frac{2.25}{3} [(2 + 2.2 \cdot 2.25 \cdot \tan 22.8)^2 + 2 \cdot (2 + 2.2 \cdot 2.25 \cdot \tan 22.8) + 2^2] - 2.25 \cdot 2^2 \right]$$

$$P_{\beta} = 20,153.00 \text{ kg}$$

El resultado de la operación que se obtiene del peso de las tierras arrancadas según el ángulo natural del terreno para la cimentación es de 20 153 kg.

4.2.2.4 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE INTERFERENCIA DEL SUELO

$$B = \frac{Lz}{2} + H.Tan\beta$$

$$B = \frac{2}{2} + 2.25.Tan22.8 = 1.95m$$

- Existirá interferencia si $B > C/2$

$1.95 > 1.5$

Si existe interferencia

Luego se reemplaza en:

$$V_{interf} = \frac{B.(C - 2B)^2}{4.Tan\beta}$$

$$V_{interf} = \frac{1.95 * (3 - 2 * 1.95)^2}{4.Tan22.8} = 0.92m^3$$

Como resultado se identificó que si existe interferencia de tierras y el volumen de interferencia es de 0.92 m³.

4.2.2.5 CÁLCULO DE LA FUERZA ESTABILIZADOR

$$P_{est.} = P_{cimiento} + P_{tierra} + P_{\beta} - \delta_{terreno} * V_{inter.}$$

$$P_{est.} = 5460.00 + 12105.00 + 20153.00 - 1800 * 0.92$$

$$P_{est.} = 36,061.82 \text{ kg.}$$

Verificando la comprobación de arranque:

$$\frac{P_{est.}}{F_{tracción}} > k$$

K = 1.5 hipótesis normales

$$\frac{36,061.82}{9,664} > 1.5$$

$$3.73 > 1.5$$

Si cumple!!!

La relación entre el Peso de Estabilidad y la Fuerza de Tracción es mayor que 1.5, por lo tanto no existe arrancamiento dando estabilidad a la torre.

4.2.3 COMPROBACIÓN A COMPRESIÓN

Se comprobará que, para soportar el esfuerzo a compresión, la carga admisible del terreno debe ser mayor que la presión que ejerce cada cimiento sobre el terreno.

4.2.3.1 CARGA ADMISIBLE DEL TERRENO

Se observa en el Anexo 1, del distrito de la Unión Leticia, provincia Tarma y departamento Junín; donde se llevó a cabo el “proyecto de Reubicación de la línea de transmisión en 44KV Planta – Condorcocha”; la capacidad admisible del suelo según laboratorio.

$$\sigma_{adm} = 16.90 \text{ Tn/m}^2$$

4.2.3.2 PRESIÓN SOBRE EL TERRENO

La presión sobre el terreno viene dada por la relación entre la fuerza total sobre el terreno y el área de la superficie afectada.

$$\sigma_t = \frac{F_{compresión} + P_{cimiento} + P_{tierra}}{Área}$$

- Reemplazando en la fórmula de esfuerzo:

$$\sigma_t = \frac{13063 + 5460 + 12\ 105}{2 * 2}$$

$$\sigma_t = 7.70 \text{ Tn/m}^2$$

4.2.3.3 VERIFICACIÓN DE PRESIONES SOBRE EL SUELO

Las presiones transmitidas al terreno se calcularán considerando los efectos de carga excéntrica sobre las fundaciones, en base a la carga de compresión vertical y momentos biaxiales sobre la base de cimentación.

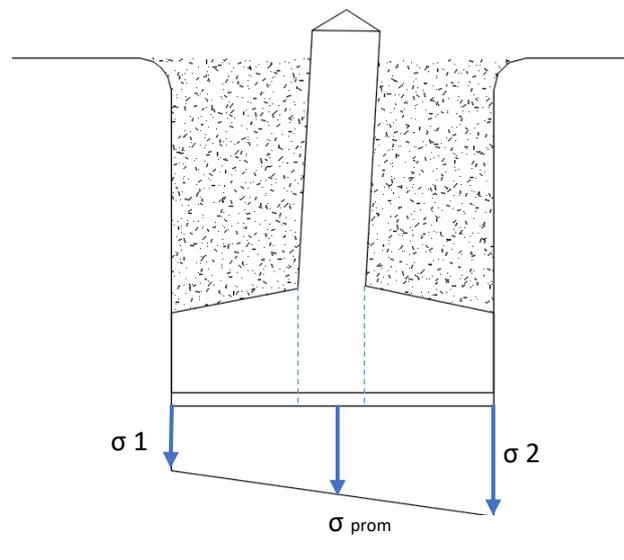


Figura 50. Diagrama de Presiones
(Fuente: Elaboración propia).

- Cálculo de ángulo de inclinación para la excentricidad de la zapata.

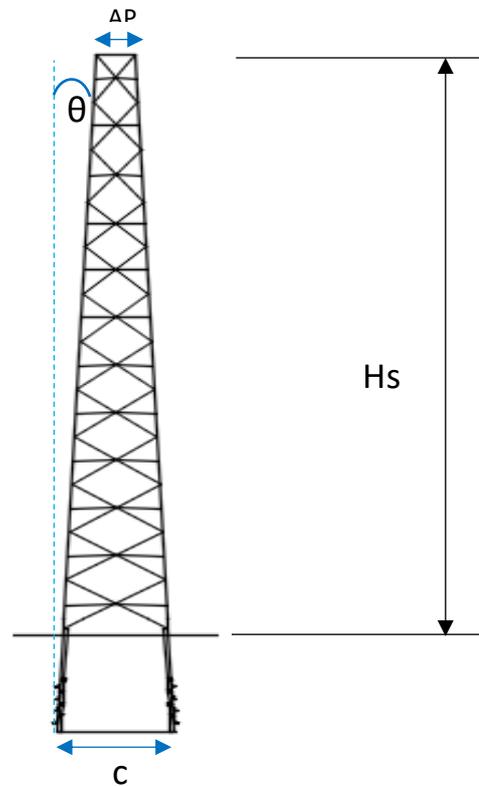


Figura 51. Ángulo de inclinación de la torre
(Fuente: Elaboración propia)

$$\theta = \arctan\left(\frac{\frac{C - AP}{2}}{H_s}\right)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\frac{3 - 0.97}{2}}{18.8}\right)$$

$$\theta = 3.09^\circ$$

- Cálculo de momentos actuantes en la cimentación de la torre de transmisión eléctrica.

- Momento en dirección x (M_x):

$$M_x = H_x \cdot (H_c + h_{cs} + h_p) - F_{\text{compresión}} \cdot (H_c + h_{cs}) \cdot \tan\theta$$

$$M_x = 653 \cdot (1.75 + 0.25 + 0.5) - 13063 \cdot (1.75 + 0.25) \cdot \tan(3.09)$$

$$M_x = 223 \text{ kg. m}$$

- Momento en dirección y (M_y):

$$M_y = H_y \cdot (H_c + h_{cs} + h_p) - F_{\text{compresión}} \cdot (H_c + h_{cs}) \cdot \tan\theta$$

$$M_y = 25 \cdot (1.75 + 0.25 + 0.5) - 13063 \cdot (1.75 + 0.25) \cdot \tan(3.09)$$

$$M_y = 1,349 \text{ kg. m}$$

- Cálculo de presiones:

- Peso estabilizante para el volteo (W_{ev}):

$$W_{ev} = F_{\text{compresión}} + P_{\text{cimiento}} + P_{\text{tierra}}$$

$$W_{ev} = 13\,063 + 5\,460 + 12\,105$$

$$W_{ev} = 30\,628 \text{ kg}$$

- Cálculo de la presión 1 al extremo izquierdo de la cimentación.

$$\text{Presión 1 sobre el suelo } (\sigma_1) = \left(\frac{30628}{2^2} + \frac{6 \cdot (223 + 1349)}{2^3} \right) / 10^4$$

$$\text{Presión 1 sobre el suelo } (\sigma_1) = 0.68 \text{ kg/cm}^2 = 6.8 \text{ Tn/m}^2$$

- Cálculo de la presión 2 al extremo derecho de la cimentación.

$$\text{Presión 2 sobre el suelo } (\sigma_2) = \left(\frac{30628}{2^2} - \frac{6 \cdot (223 + 1349)}{2^3} \right) / 10^4$$

$$\text{Presión 2 sobre el suelo } (\sigma_2) = 0.85 \text{ kg/cm}^2 = 8.5 \text{ Tn/m}^2$$

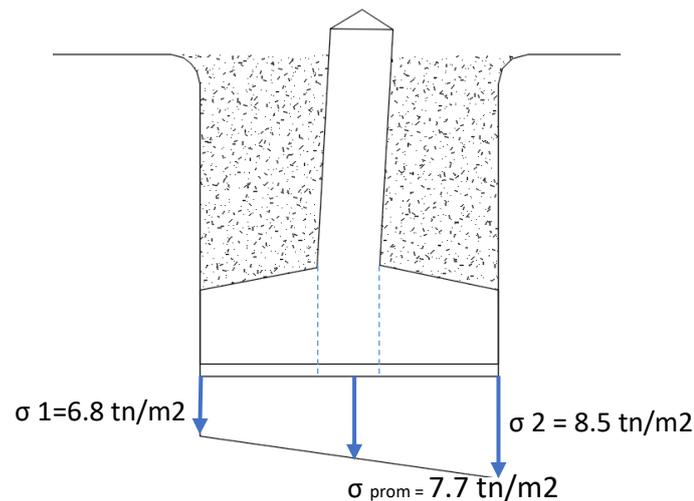


Figura 52. Diagrama de Presiones Transmitidas al terreno
(Fuente: Elaboración propia).

Se verifica que las presiones producidas en la base de las cimentaciones, debido a las fuerzas de compresión máxima en ningún caso excedieron a la capacidad portante del suelo para as condiciones normales de carga.

4.2.3.4 VERIFICANDO LA COMPROBACIÓN A COMPRESIÓN

$$\sigma_{admisible} > \sigma_{terreno}$$

$$16.90 \text{ Tn/m}^2 > 7.7 \text{ Tn/m}^2$$

Si cumple!!!

Para nuestro proyecto la capacidad admisible del terreno calculado es menor a la capacidad admisible del suelo, por lo tanto, la cimentación no presentara asentamientos.

4.2.4 CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE DE LOS TORNILLOS

Calculo de la fuerza cortante de los tornillos que van en el anclaje.

$$F_C = \frac{n \times 0.5 \times f_{ub} \cdot A_{torn}}{\gamma_{M2}}$$

- Modelo de tornillo:
 - Diámetro del tornillo $\varnothing=12.6$ mm (1/2")
 - Numero de tornillos $n= 4$



Figura 53. Pernos de anclaje
Fuente: Elaboración propia

- Reemplazando en la fórmula:

$$F_c = \frac{4 * 0.5 * 500 * 10^5 * 0.1247 * 10^{-3}}{1.25}$$

$$F_c = 9\,975.19 \text{ kg}$$

4.2.4.1 VERIFICANDO LA FUERZA CORTANTE DE LOS TORNILLOS

$$F_c > 0.75 * F_{\text{Compresión}}$$

$$9\,975.19 \text{ kg} > 9\,797.25 \text{ kg}$$

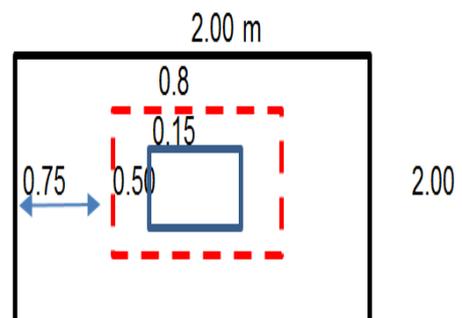
Si cumple!!!

Cumple que el tornillo absorbe el 0.5 de F2 de la carga a compresión donde la estructura no presentara deslizamiento.

4.2.5 DISEÑO POR PUNZONAMIENTO:

DATOS:

c=	0.75
bo=	3.20 m
Ao=	0.64 m
At=	4.00 m



4.2.5.1 CORTANTE ACTUANTE:

$$V_u = 0.653 \text{ Ton}$$

4.2.5.2 CORTANTE RESISTENTE:

$$V_c = \left(0.53 + \frac{1.1}{\beta_c}\right) * \sqrt{f_c} * b_o * d$$

$$V_c = \left(0.53 + \frac{1.1}{1}\right) * \sqrt{210} * 320 * 30 = 226.76 \text{ Ton}$$

4.2.5.3 CORTANTE RESISTENTE LÍMITE:

$$V_c \text{ limite} \leq 1.1 * \sqrt{f_c} * b_o * d$$

$$V_c \text{ limite} \leq 1.1 * \sqrt{210} * 320 * 30 = 153.02 \text{ Ton}$$

4.2.5.4 VERIFICANDO SI CUMPLE:

$$\phi V_c = 0.85 * 153.02 = 130.07 \text{ Ton}$$

$V_u \leq \phi V_c$

Si cumple!!!

El peralte asumido es el correcto para la cimentación.

4.2.6 DISEÑO POR CORTANTE:

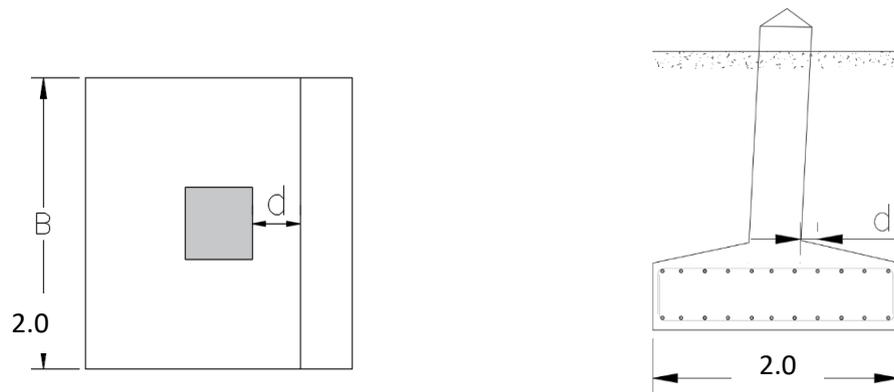


Figura 54. Plano en planta y corte de la cimentación
(Fuente: Elaboración propia).

4.2.6.1 CORTANTE ACTUANTE:

$$V_u = 0.653 \text{ Ton}$$

4.2.6.2 CORTANTE RESISTENTE:

$$V_c = (0.53) * \sqrt{f_c} * B * d$$

$$V_c = (0.53) * \sqrt{210} * 200 * 30$$

$$V_c = 46.08 \text{ ton}$$

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$\phi = 0.85$$

4.2.6.3 VERIFICANDO SI CUMPLE:

$$\phi V_c = 0.85 * 46.08 = 39.17 \text{ Ton}$$

$$V_u \leq \phi V_c$$

Si cumple!!!

Cumple por tanto no se requiere refuerzo por cortante.

4.2.7 DISEÑO POR FLEXIÓN:

4.2.7.1 DISEÑO DEL CIMIENTO:

- Cálculo del momento

- Momento positivo

$$MU(+) = \sigma_2 * LZ * \frac{(LZ - Ls)^2}{8} * 1.3$$

$$MU(+) = 8.5 * 2 * \left(\frac{(2 - 0.50)^2}{8} \right) * 1.3$$

$$MU(+) = 6.192 \text{ Ton} - m$$

- Presión del suelo en la cara superior de la zapata en el arranque:

- Presión del suelo en la cara

$$(\sigma_{cara}) = \frac{9664}{(2^2 - 0.5^2) / 10^4} = 0.26 \text{ Kg/m}^2$$

- Momento negativo

$$MU(+) = \sigma_{cara} * LZ * \frac{(LZ - Ls)^2}{8} * 1.3$$

$$MU(+) = 2.6 * 2 * \frac{(2 - 0.50)^2}{8} * 1.3$$

$$MU(+) = 1.88 \text{ Ton} - m$$

- Cálculo de acero zapata:

DATOS:

Momento último: 619 209 kg.cm

Cuantía mínima: 0.0018

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0.0018 \cdot 200 \cdot 30 = 10.80 \text{ cm}^2$$

Para la parrilla de la cimentación se utilizó 11 varillas de $\varnothing 1/2"$ espaciados a 17.5 cm, en ambos sentidos y en dos capas.

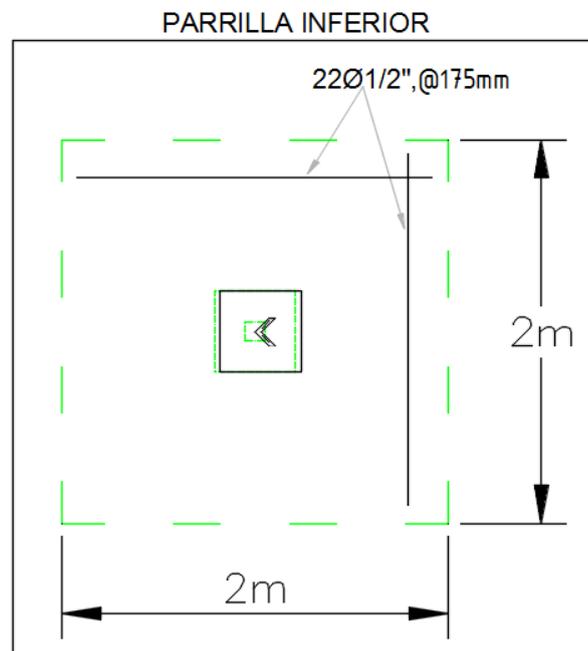


Figura 55. Detalle de armado de parrilla inferior
(Fuente: Elaboración propia)

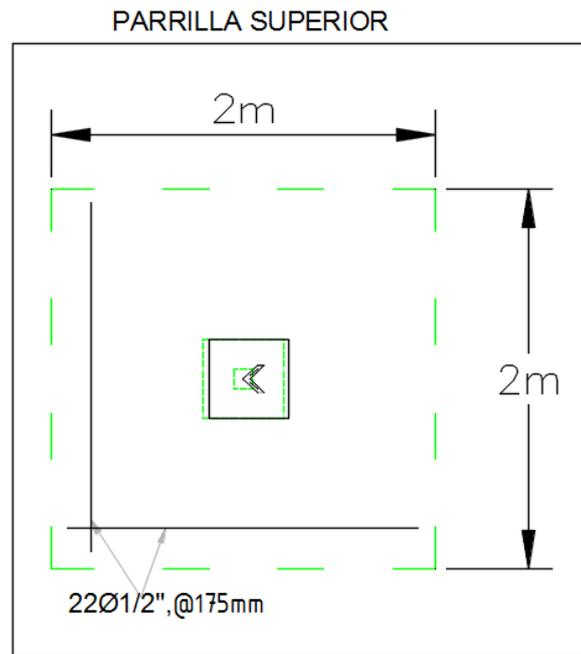


Figura 56. Detalle de armado de parrilla superior
(Fuente: Elaboración propia).

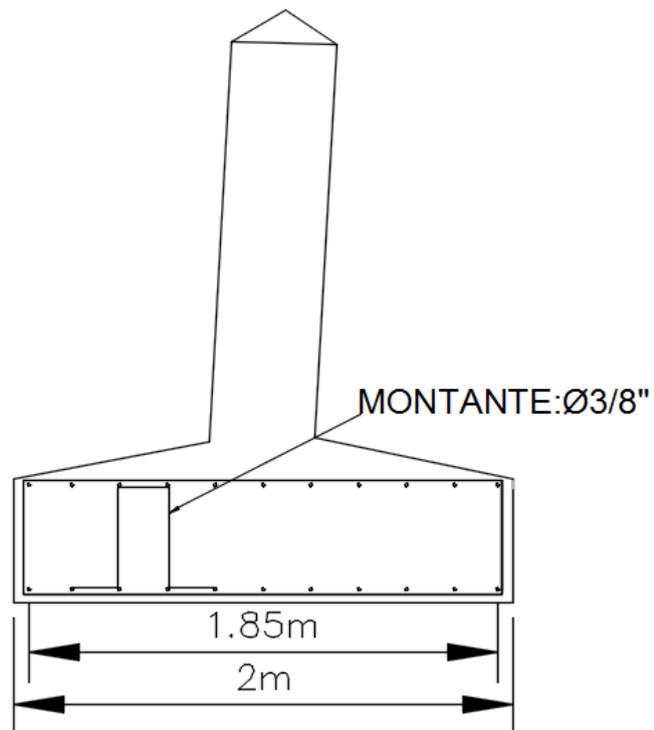


Figura 57. Detalle del montante que va entre las parrillas de la cimentación
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.7.2 DISEÑO DEL PEDESTAL:

- Cálculo de acero del pedestal por cuantía mínima.

Cuantía mínima: 0.01

- Cálculo del área de acero:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0.01 \cdot 50 \cdot 44.21 = 22.103 \text{ cm}^2$$

Para el armado del pedestal se utilizó 12 varillas de ϕ 5/8

- Calculo del acero por corte:

- Fuerza cortante actuante:

$$V = 653 \text{ kg}$$

- Resistencia del concreto al corte:

$$V = 0.85 \cdot 0.53 \cdot 280^{(1/2)}$$

$$V = 7.538 \text{ kg/cm}^2$$

- Cortante que toma el pedestal:

$$V_c = 7.538 \cdot 0.50 \cdot 0.50 \cdot 10^4$$

$$V_c = 18\ 846 \text{ kg}$$

No se requiere acero al corte, sin embargo, se utilizó ϕ 3/8" por cuantía mínima y para confinamiento del concreto.

Usar ϕ 3/8", 2 @0.05, 4@ 0.10, resto @ 0.15m

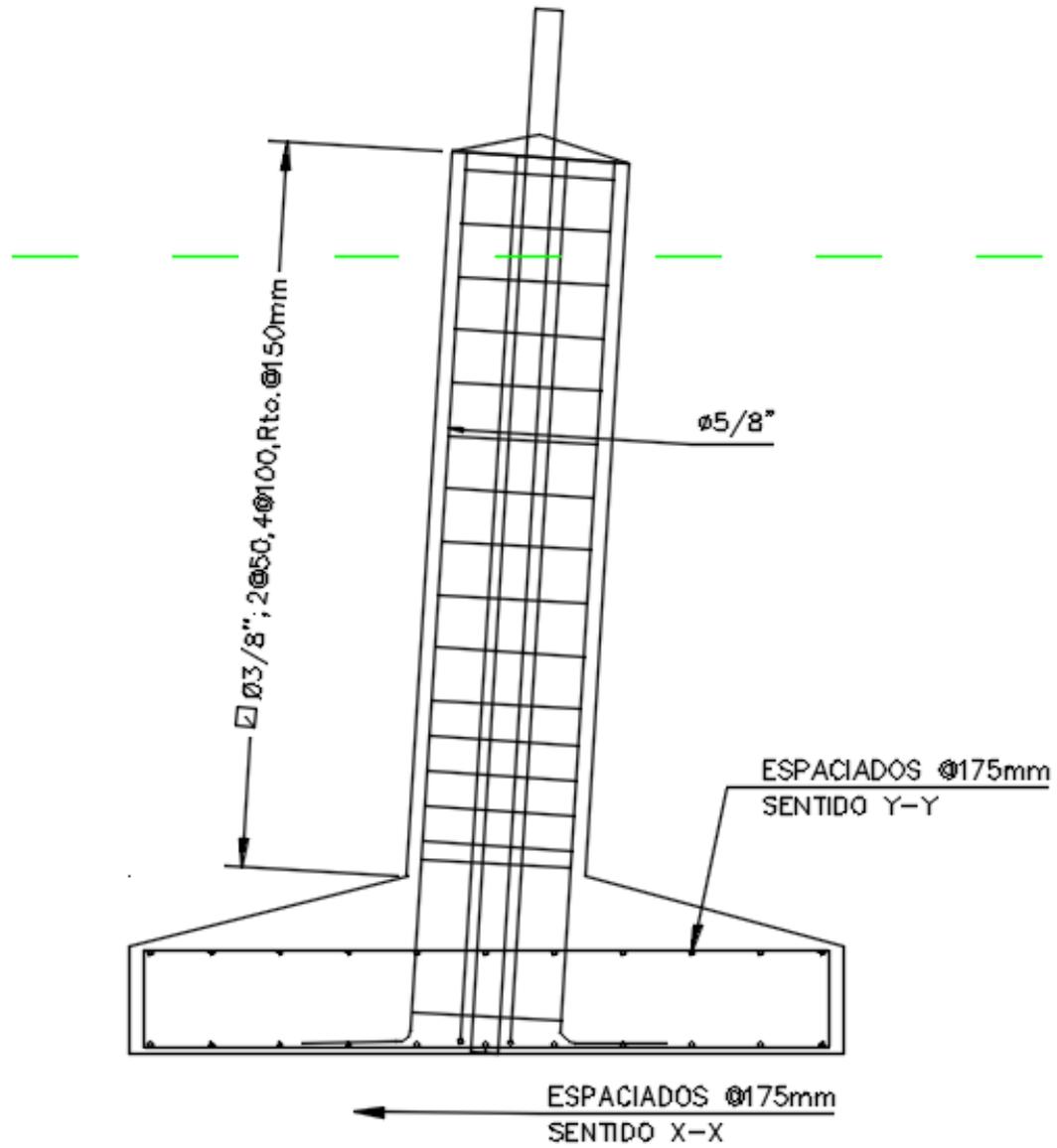


Figura 58. Detalles del fierro que van en el pedestal
(Fuente: Elaboración propia)

CONCLUSIONES

1. El Método de Talud Natural, diseña cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica específicamente, método que se aplica para media y alta tensión de Torres de transmisión eléctrica.
2. El método del Talud Natural diseño proporcionado por esta tesis, es complementado con el Reglamento Nacional de Edificaciones E – 050 y E-060 para el diseño estructural de la cimentación y pedestal; el método propuesto proporciona verificaciones que necesariamente deben ser evaluadas para después continuar con el diseño de Punzonamiento, diseño de Corte y diseño de Flexión, verificando el cumplimiento de la norma E- 060. El análisis estructural de una torre de transmisión eléctrica se calcula de acuerdo al Código Nacional de Electricidad (suministro 2011), para el análisis de las cargas últimas.
3. La cimentación se diseñó fundamentalmente para fuerzas de arranque y fuerzas de compresión para absorber el mayor porcentaje de fuerzas transversales y momento de volteo originados por el viento, y que estas mismas son las fuerzas principales que afectan a la torre de transmisión eléctrica.
4. El diseño estructural de la cimentación, se basó en el diseño de Punzonamiento y diseño de corte, verificando que la cortante actuante sea menor o igual que la cortante resistente afectada por el factor de 0.85 de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, para luego

continuar el diseño por Flexión, con la finalidad obtener cantidad de acero necesario para evitar fisuras o grietas en la cara expuesta a tensión.

5. Para el método de Talud Natural se utilizaron las reacciones obtenidos de manera analítica siendo conservadores a los resultados obtenidos por la simulación con el programa SAP 2000 del análisis estructural de la torre de transmisión, que se describe a continuación: la fuerza de tracción obtenida de forma analítica es 9, 664 Kg que equidista en 119.69 Kg de la obtenida por medio del SAP 2000. y la fuerza a compresión obtenida de forma analítica es 13, 063 Kg que equidista en 1,766.88 Kg de la obtenida por el SAP 2000.
6. El diseño de la cimentación desarrollado por el Método de Talud Natural, aplicado en el proyecto de Condorcocha, se utiliza para diferentes tipos de suelo y tipo de torre autosoportada según su función, para cada tipo de suelo existirá variante en las dimensiones de los cimientos de las torres de transmisión eléctrica, verificando el diseño en la etapa de comprobación de compresión.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones de la investigación:

1. En la proyección de una torre de transmisión eléctrica es conveniente que en el diseño mantenga la simetría y formas sencillas, según nos hace mención la norma A.S.C.E. 48.
2. Para calcular la presión del viento necesariamente se debe utilizar el Código Nacional de Electricidad - Suministro 2011, la fórmula de la regla 250.C.
3. Para el diseño de la cimentación de la torre de transmisión eléctrica, se debe trabajar con la carga última proviene del árbol de cargas de la torre de transmisión eléctrica, después de ser analizada y clasificada la torre de transmisión eléctrica por el Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011) según la regla 250.
4. Para la simulación de una estructura, existe una variedad de software, para el análisis y diseño estructural de una torre de transmisión eléctrica es conveniente desarrollarlo en el SAP 2000 o en algún otro, dependiendo las ventajas y desventajas que proporcione, y al análisis que desees verificar. Se debe dar facilidades en el uso de laboratorio a los tesisistas e implementar cursos de modelación o simulación de estructuras.

Recomendaciones temas futuros:

5. Diseño de zapatas conectadas para torres de transmisión eléctrica
6. Evaluación del presupuesto de construcción de un cimiento a base de zapata aisladas en situ respecto a cimientos prefabricados para torres de Transmisión eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Textos de Investigación

1. RNE (2012). Reglamento Nacional de Edificaciones – Concreto Armado. (4ta. Ed). Lima, Perú.
2. MEN (2012) Ministerio de energía y Minas - Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011. Lima, Perú.
3. Hidrandina S.A., Volumen II (2006). Estudios de los Costos de Peaje de Transmisión Secundaria, Lima, Perú
4. Braja, D. (1998). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Programa de actualización a nivel nacional. Lima, Perú.
5. Simón C., Garnacho F., Moreno J. y Gonzáles A. (2011). Cálculo y Diseño de líneas Eléctricas de Alta Tensión. (1ª. Ed). España.
6. Ottazzi G. (2009). Concreto Armado I (8° Ed)- Pontificia Universidad Católica del Perú.
7. Arredondo M. (2012). Evaluación del diseño de fundaciones con micropilotes tipo tornillo en torres de alta tensión. Universidad Austral de Chile.
8. UNIVALLE (2005). Subestaciones eléctricas Cap. I. Universidad del Valle. Colombia.
9. Sánchez N. (2014). Concreto armado, Cimentaciones - Apuntes de clases. Huancayo.

10. De la Cruz J. y Sánchez M. (2010). Diseño geotécnico de la cimentación a base de zapatas aisladas ancladas en roca para el proyecto I.t. Quevedo – Menonita. México.
11. Sacalxot W. (2005). Cimentaciones para Torres Autosoportadas.. Universidad San Carlos de Guatemala.
12. Semblantes M. (2010). Diseño de una torre de transmisión eléctrica autosoportada para una línea de 69 kV. EPN. Brasil.

Páginas Web

13. Ministerios De Energía Y Minas (2016). Obtenido por Osinergmin
Blog: <http://osinergmin.gob.pe//OtrosEstudios/AtlasEolico/AtlasEolicoLibro>.
14. Instituto Para La Diversificación Y Ahorro De La Energía – Madrid (2016) Recuperado de Blog: http://idae.es/uploads/documentos_atlas_eolico
15. American Society For Testing And Materials (2016). Recuperado de Blog: <https://books.google.com.pe/books?id=KRKrkY8hZmgC&pg=SL1-PA8&dq=astm+d4220&hl>
16. American Concrete Institute (2017). Recuperado del Blog: https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf.
17. American Society Of Civil Engineers (2017) – (A.S.C.E./SEI 48 - 11) – Design of Steel Transmisión Pole Structures, . Blog: [https://books.google.com.pe/books?id=EulSAAAAMAAJ&q=\(A.S.C.E./SEI+48+-+11\)](https://books.google.com.pe/books?id=EulSAAAAMAAJ&q=(A.S.C.E./SEI+48+-+11))

ANEXOS

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN DE TRABAJO

Visita de campo de la construcción de la cimentación de la torre de transmisión eléctrica en condorcocha – tarma junín.

La torre se ubica en el distrito de la Unión Leticia, cerca de la Planta Condorcocha, de la Provincia de Tarma, departamento de Junín.

Para llegar al área del proyecto se puede tomar dos rutas, las dos rutas se inician en la Carretera Central. La primera ruta se deriva de la Carretera Central cerca de La Oroya en un sector denominado Caripa, esta vía es afirmada, está en buenas condiciones y comunica directamente con la Planta de Cemento Andino motivo por cual es transitada diariamente por camiones de gran tonelaje que retiran cemento. Por esta ruta se puede atender los materiales. La segunda ruta se deriva de la Carretera Central e inicia la carretera a Tarma - La Merced - Satipo, es una vía asfaltada en buenas condiciones de operación. De esta carretera principal a la altura de Pomachaca se deriva una trocha carrozable en buen estado de conservación, pero presenta estrecheces al paso por los centros poblados; esta vía termina en Condorcocha.

La torre es de 23.025 metros de altura, y es construida por la Empresa SERVICIOS DE INGENIERÍA SAC, Proyecto de reubicación de tramo de la línea 44kV.

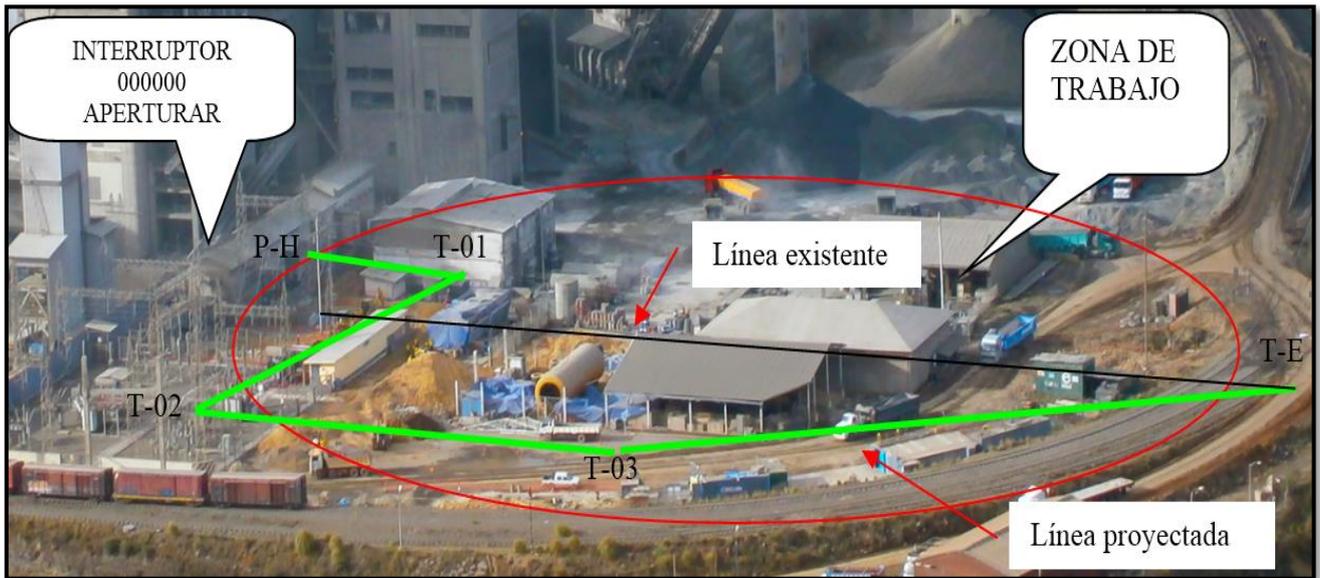


FOTO 1: Ubicación de lugar de construcción de la torre.
(Fuente: Empresa de Servicios de Ingeniería S.A.C.)

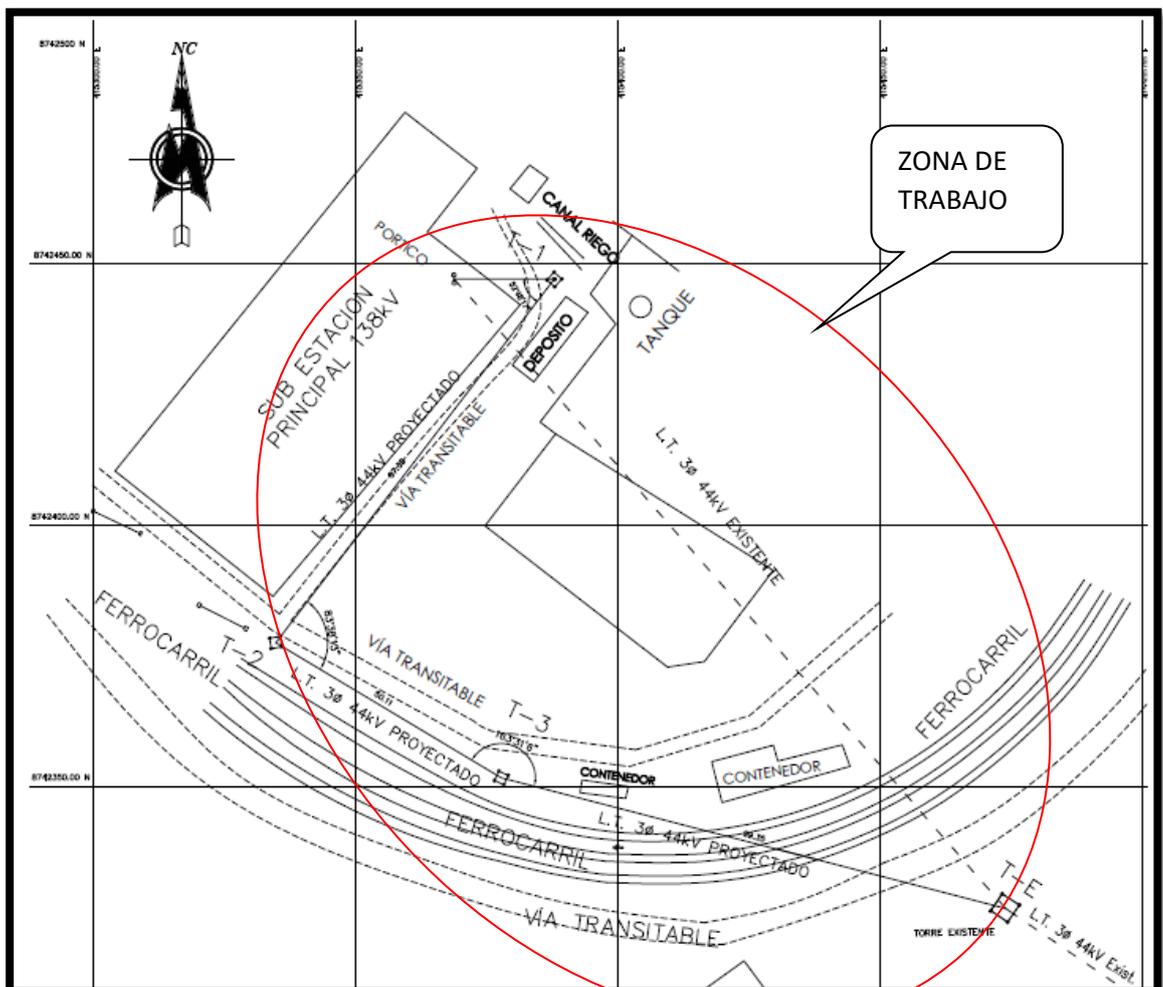


FOTO 2: Plano de ubicación de la construcción de la torre.
(Fuente: Empresa de Servicios de Ingeniería S.A.C.)

La excavación de los pozos para la cimentación se realizó de manera artesanal, con dos personas de apoyo. De acuerdo al estudio de mecánica de suelo, se encontró en la zona es un suelo de tipo arena arcillosa con grava.

Luego de la excavación se procede a la colocación del refuerzo, armado de la parrilla superior e inferior, colocando montante entre ellas, para evitar el efecto de aplastamiento entre los refuerzos y facilidad en el trabajo.



FOTO 3: Armado del refuerzo superior e inferior de la cimentación (Fuente: Elaboración propia).

Después de finalizar el amarrado de refuerzos del cemento, se empieza a ubicar el pedestal (columna), para cada cimiento.



FOTO 4: Armado del pedestal
(Fuente: Elaboración propia).

El anclaje que va en cada cimiento es de 4 pernos, con una longitud de desarrollo de 2.50 metros. Llevará un pedestal (columna) de amarre de 50 cm x 50 cm.



FOTO 5: ubicación de los anclajes
(Fuente: Elaboración propia).

La alineación de los anclajes de los cimientos, se realiza con la ayuda de un equipo topográfico y fijación de los mismos, para que en el momento de la fundación de los cimientos no exista deslizamiento de los anclajes.



FOTO 6: ubicación del equipo topográfico
(Fuente: Elaboración propia).



FOTO 7: alineación de los 4 anclajes de la torre de la transmisión eléctrica
(Fuente: Elaboración propia).

El concreto se realizó con mezcladora, la resistencia del concreto de 210 kg/cm².



FOTO 8: vaciado de fundación (cimentación)
(Fuente: Elaboración propia).

Desencofrado de los pedestales y verificar la fijación de los anclajes.
Finalmente, después del desencofrado se inicia con el relleno de tierra y compactado cada 15 cm.



FOTO 9: Desencofrado de pedestal
(Fuente: Elaboración propia)



FOTO 10: relleno y compactado de cimentación (Fuente: Elaboración propia).

Armado y Montaje de la torre se suspensión, según las fotos siguientes, nos muestra el trabajo de cómo se realiza el montaje de la torre.



FOTO 11: Armado y montaje de la torre (Fuente: Elaboración propia).



FOTO 12: Tendido de cable de guarda y cable de tensión
(Fuente: Elaboración propia).

ANEXO 02



TERRALAB S.A.C.
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES

RUC 20568403038

TEORIA DE CAPACIDAD PORTANTE
(KARL TERZAGHI)

PROYECTO: "REUBICACIÓN DE TRAMO DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 44 KV PLANTA- CONDORCOCHA".

SOLICITANTE: DEYSI ALVAREZ EGOAVIL

CALICATA : C-1 T-01
MUESTRA : M-1

A. DATOS GENERALES:

Angulo de fricción interna	22.8	grados
Cohesión	0.058	kg/cm2
Peso unitario de sobrecarga	1.64	gr/cm3
Peso unitario del suelo de cimentación	1.64	gr/cm3
Relación Ancho/Largo (B/L)	1	Forma:
Ancho de la base o diámetro de cimentación	1	m
Profundidad de fondo de cimentación	3.00	m
Profundidad de desplante	3.00	m
Factor de seguridad	3	
Clasificación SUCS del suelo de cimentación	SC	

B. FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA:

Nc:	17.82
Nq:	8.49
Ny:	7.99

C. FACTORES DE FORMA:

Sc:	1.4767
Sq:	1.4204
Sy:	0.6

D. CAPACIDAD ADMISIBLE

Desplante Df(m)	Cota Relativa	Ancho B(m)	FACTOR W	qult (kg/cm2)	qadm (kg/cm2)
1.00	-1.00	0.5	1	2.70	0.90
1.00	-1.00	1	1	2.90	0.97
1.00	-1.00	1.2	1	2.98	0.99
1.00	-1.00	1.5	1	3.09	1.03
2.00	-2.00	0.5	1	3.69	1.23
2.00	-2.00	1	1	3.89	1.30
2.00	-2.00	1.2	1	3.96	1.32
2.00	-2.00	1.5	1	4.08	1.36
3.00	-3.00	0.5	1	4.68	1.56
3.00	-3.00	1	1	4.88	1.63
3.00	-3.00	1.2	1	4.95	1.65
3.00	-3.00	1.5	1	5.07	1.69

Podemos apreciar un rango de valores que se encuentran comprendido entre 0.90 kg/cm2 y 1.69 kg/cm2 valores que varían de acuerdo a la profundidad y geometría de la cimentación además a mayor profundidad notamos que se va ganando propiedades de resistencia

TERRALAB S.A.C.



Ing. Civil Marino Peña Dueñas
ASESOR TÉCNICO CIVIL 75665 - REG. CONSULTOR C. 5500
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA

AV. MARISCAL CASTILLA 3950 INT. A SAÑOS CHICO EL TAMBO HUANCAYO
CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES.
RUC. 20568403038, CEL 984926008, RPM #984926008

ANEXO 2: Capacidad portante del suelo - Condorcocha.

ANEXO 03

PLANO 1

PLANO DE UBICACIÓN - PROYECTO CONDORCOCHA

PLANO 2

**PLANO DE DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE LA TORRE DE
60kV PARA LA LÍNEA DE 44 kV.**